



UNIVERSITÀ DI PADOVA

**Dipartimento
di Geoscienze**

SCUOLA DI SCIENZE

**TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN GEOLOGIA AMBIENTALE E
DINAMICA DELLA TERRA**

**Rete di monitoraggio potenziometrico nei Campi Geotermici Euganei
(EuGFs): integrazione tra dati storici e nuove acquisizioni**

Relatore: Paolo Fabbri

Correlatore: Diego Di Curzio

Laureando: Diego Mastrangelo

Anno Accademico 2025/2026

INDICE

1 Introduzione.....	- pag. 1
2 Inquadramenti.....	- pag. 4
2.1 Inquadramento geologico strutturale.....	- pag. 4
2.2 Inquadramento idrogeologico	- pag. 10
3 La rete di monitoraggio TREASURE.....	- pag. 13
3.1 Evoluzione della rete di monitoraggio nei Campi Geotermici Euganei (EuGFs).....	- pag. 13
3.2 Il progetto TREASURE e la nuova rete di monitoraggio.....	- pag. 15
3.3 Stazioni di monitoraggio tipo e strumentazione.....	- pag. 18
3.3.1 Inquadramento generale della strumentazione.....	- pag. 18
3.3.2 Stazione tipo in condizioni di falda non artesiane: Fonte Colli Euganei 1.....	- pag. 20
3.3.3 Stazione tipo in condizioni di falda in pressione.....	- pag. 23
3.3.4 Consumi.....	- pag. 24
4 Metodi e analisi dati di monitoraggio.....	- pag. 26
4.1 Il fenomeno delle maree crostali.....	- pag. 26
4.2 Imputazione dati mancanti.....	- pag. 29
4.3 Trasformata di Fourier.....	- pag. 31
4.4 Trasformate Wavelet.....	- pag. 34
5 Risultati e Discussione.....	- pag. 37
5.1 Romana 1.....	- pag. 38
5.2 Rigati 2.....	- pag. 43
5.3 Regazzoni 1.....	- pag. 48
5.4 Buja Monteortone 11.....	- pag. 53
5.5 Milano 1.....	- pag. 58
5.6 Commodore 5.....	- pag. 63
5.7 Mezzavia 4.....	- pag. 68
5.8 Fonte Colli Euganei 1.....	- pag. 71
5.9 Barillari 2.....	- pag. 76

5.10 Bonato 5.....	- pag. 81
5.11 San Pelagio 1.....	- pag. 86
5.12 Tacchetto 3.....	- pag. 89
5.13 P58.....	- pag. 93
5.14 Ca' Oddo.....	- pag. 96
5.15 Considerazioni generali.....	-pag. 101
6 Conclusioni.....	- pag. 103
7 Bibliografia.....	- pag. 106
8 Ringraziamenti	

ABSTRACT

This thesis focuses on the monitoring of the hydrothermal aquifer of the Euganean Geothermal Fields (EuGFs) and aims to analyze variations in potentiometric levels and temperatures through the comparison between historical data and data acquired by the new monitoring network developed within the TREASURE project. After a geological, structural, and hydrogeological overview of the study area, the work focuses on the description of the monitoring network and the installed instrumentation, highlighting the evolution of data acquisition systems and the improvement in the continuity and quality of the collected data. Subsequently, time series of water level and temperature data are analyzed using frequency-domain techniques, such as Fast Fourier Transform (FFT) and wavelet analysis, in order to identify the main cyclic present in the signals. In particular, wells affected by extraction activities are compared with less disturbed wells to investigate possible correlations between the observed oscillations, anthropogenic withdrawals, and potential natural forcing factors, such as earth tides. The aim of this work is therefore to contribute to a better understanding of the regional dynamics of the Euganean Geothermal System (EuGS), emphasizing the importance of continuous monitoring for the protection and sustainable management of the thermal resource.

1 Introduzione

Le risorse geotermiche rappresentano una fonte naturale di particolare interesse per il loro potenziale energetico, terapeutico ed economico e, al tempo stesso, richiedono una gestione attenta che ne garantisca la conservazione nel lungo periodo. La sostenibilità dello sfruttamento di una risorsa idrotermale dipende infatti dalla capacità del sistema di rispondere ai prelievi e di mantenere nel tempo condizioni compatibili con il suo utilizzo. In questo contesto, la conoscenza delle caratteristiche geologiche e idrogeologiche del sistema e il monitoraggio continuo dei principali parametri che ne descrivono lo stato, costituiscono strumenti fondamentali per valutarne l'evoluzione e supportarne una gestione sostenibile.

I Campi Geotermici Euganei (EuGFs), localizzati nel settore sud-occidentale della provincia di Padova, rappresentano una delle più importanti risorse geotermiche presenti in Italia. Le acque termali euganee vengono utilizzate da secoli e hanno assunto nel tempo un ruolo centrale nello sviluppo economico e turistico dei comuni di Abano Terme, Montegrotto Terme, Battaglia Terme e Galzignano Terme. L'attuale disponibilità della risorsa è il risultato di un sistema di circolazione regionale complesso, il Sistema Geotermico Euganeo (EuGS), nel quale acque di origine meteorica si infiltrano nell'area prealpina, raggiungono profondità elevate all'interno delle successioni carbonatiche e, dopo essersi riscaldate, risalgono verso gli EuGFs attraverso un sistema di faglie e fratture che controlla la permeabilità del substrato.

L'elevato valore della risorsa ha determinato, soprattutto nel corso del Novecento, un progressivo incremento del suo sfruttamento. La crescente richiesta di acqua termale e la diffusione dei pozzi hanno prodotto importanti modifiche dello stato idrodinamico del sistema, evidenziate dall'abbassamento dei livelli potenziometrici, dalla progressiva perdita delle condizioni artesiane in numerosi settori e dalla scomparsa di diverse sorgenti naturali. Tali fenomeni hanno reso evidente la necessità di affiancare allo sfruttamento della risorsa un sistema di controllo in grado di seguirne l'evoluzione nel tempo.

A partire dagli anni Settanta è stata quindi sviluppata una rete dedicata al monitoraggio dei livelli potenziometrici degli acquiferi termali, successivamente integrata con il controllo dei volumi di acqua estratti. Le serie storiche ottenute hanno consentito di ricostruire l'evoluzione del sistema e di evidenziare una stretta relazione tra l'intensità dei prelievi e la risposta dei livelli potenziometrici. In particolare, la progressiva riduzione dei volumi emunti osservata negli ultimi decenni è stata accompagnata, in diversi settori dei Campi Geotermici Euganei, da un recupero dei livelli rispetto alle condizioni di forte depressione raggiunte nella seconda metà del Novecento. Parallelamente, il monitoraggio ha mostrato la presenza di marcate oscillazioni stagionali, anch'esse associate alle variazioni dei consumi della risorsa durante l'anno.

Il progressivo deterioramento della precedente rete di monitoraggio e la conseguente perdita di continuità di numerosi punti di misura hanno tuttavia evidenziato la necessità di un suo completo rinnovamento. In questo contesto si inserisce il progetto TREASURE, promosso dalla Regione del Veneto con l'obiettivo di sviluppare un sistema integrato di monitoraggio del Bacino Idrominerario Omogeneo dei Colli Euganei (B.I.O.C.E.) e delle

aree circostanti. La nuova rete è stata progettata per migliorare la distribuzione spaziale dei punti di osservazione e garantire l'acquisizione continua dei principali parametri idrodinamici e termici, attraverso l'installazione di trasduttori di pressione, sonde di temperatura e sistemi automatici di registrazione e trasmissione dei dati.

Il presente lavoro di tesi si inserisce nella fase iniziale di funzionamento della nuova rete TREASURE e ha come obiettivo principale la caratterizzazione delle variazioni dei livelli potenziometrici registrati durante il primo periodo di monitoraggio, integrando le nuove acquisizioni con le conoscenze derivate dalla rete storica. L'analisi è rivolta sia al comportamento generale del sistema su scala stagionale sia alle oscillazioni che interessano le serie temporali su scale più brevi.

Un primo obiettivo consiste nella descrizione della nuova rete e delle differenti configurazioni strumentali adottate nei pozzi monitorati, tenendo conto delle diverse condizioni idrauliche riscontrate, dalla presenza di livelli inferiori al piano campagna fino a condizioni artesiane caratterizzate da pressioni elevate. L'installazione e il funzionamento della strumentazione durante il primo anno di attività hanno inoltre permesso di individuare alcune criticità operative e di valutare le soluzioni tecniche adottate per garantire la continuità e l'affidabilità delle acquisizioni.

Un secondo obiettivo riguarda l'analisi delle serie temporali dei livelli potenziometrici e, dove disponibili, delle temperature. Le nuove acquisizioni vengono utilizzate per valutare il comportamento stagionale dei diversi punti di monitoraggio e verificare la persistenza della relazione già osservata storicamente tra variazioni dei livelli e intensità dello sfruttamento della risorsa. In questo modo, il primo anno di funzionamento della rete TREASURE consente di fornire un quadro aggiornato della risposta idrodinamica dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs) e di confrontare stazioni localizzate nelle aree maggiormente interessate dall'emungimento con punti situati in settori più periferici.

Una parte specifica del lavoro è inoltre dedicata allo studio delle oscillazioni periodiche presenti nelle serie potenziometriche orarie. Gli acquiferi possono infatti rispondere non soltanto alle perturbazioni associate all'attività antropica, ma anche a forzanti naturali di minore ampiezza. Tra queste, particolare attenzione è rivolta alle maree crostali, deformazioni elastiche periodiche della crosta terrestre prodotte principalmente dall'attrazione gravitazionale della Luna e del Sole, in grado di generare variazioni della pressione interstiziale e conseguenti oscillazioni dei livelli osservati nei pozzi. Per individuare eventuali componenti riconducibili a tali fenomeni, le serie temporali vengono analizzate nel dominio delle frequenze mediante Trasformata di Fourier e, successivamente, attraverso l'analisi Wavelet, che permette di valutarne anche l'evoluzione nel tempo.

L'elaborato è pertanto organizzato secondo un percorso che procede dalla caratterizzazione del sistema alla sua osservazione e interpretazione. Dopo l'inquadramento geologico, strutturale e idrogeologico dell'EuGS, viene ricostruita l'evoluzione della rete di monitoraggio e viene descritta la nuova configurazione sviluppata nell'ambito del progetto TREASURE, con particolare attenzione alla strumentazione e alle modalità di acquisizione dei dati. Successivamente vengono

introdotti i metodi utilizzati per il trattamento delle serie temporali, comprendenti la gestione dei dati mancanti e le analisi nel dominio delle frequenze. I risultati del primo periodo di monitoraggio vengono quindi presentati per ciascuna stazione e successivamente discussi attraverso il confronto tra gli andamenti stagionali e le principali ciclicità individuate. L'insieme delle osservazioni permette infine di formulare alcune considerazioni sul comportamento attuale del sistema, sull'influenza esercitata dallo sfruttamento della risorsa e sulle potenzialità offerte dal monitoraggio continuo per approfondire, negli anni futuri, la conoscenza delle dinamiche idrogeologiche degli EuGFs.

2 Inquadramenti

2.1 Inquadramento geologico e strutturale

Il Sistema Geotermico Euganeo (EuGS – *Euganean Geothermal System*) rappresenta uno dei principali sistemi geotermici a bassa entalpia del nostro Paese. L'area di emergenza e sfruttamento della risorsa termale, definita Campi Geotermici Euganei (EuGFs – *Euganean Geothermal Fields*), si estende per circa 25 km² nel settore sud-occidentale della provincia di Padova, interessando principalmente i comuni di Abano Terme, Montegrotto Terme, Battaglia Terme e Galzignano Terme (Figura 2.1.1) (Fabbri et al., 2017).

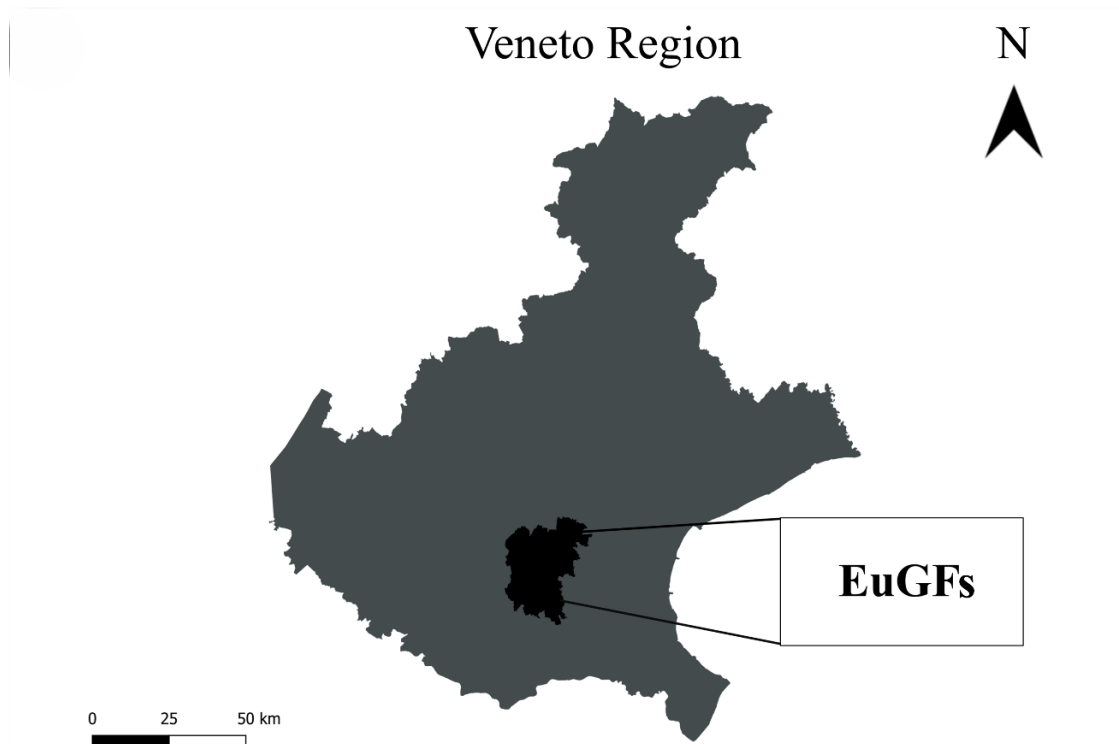


Figura 2.1.1: *Inquadramento geografico dell'area di studio. Localizzazione dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs) nel contesto regionale del Veneto.*

Dal punto di vista geografico, il sistema si colloca nella parte centrale della pianura veneta, in una zona di transizione tra il settore pedemontano e la pianura alluvionale (Figura 2.1.2). I Colli Euganei costituiscono un rilievo isolato di origine vulcanica che emerge dalla pianura circostante, raggiungendo quote prossime ai 600 m s.l.m., e rappresentano un elemento morfologico e strutturale fondamentale per la comprensione delle dinamiche geotermiche dell'area.

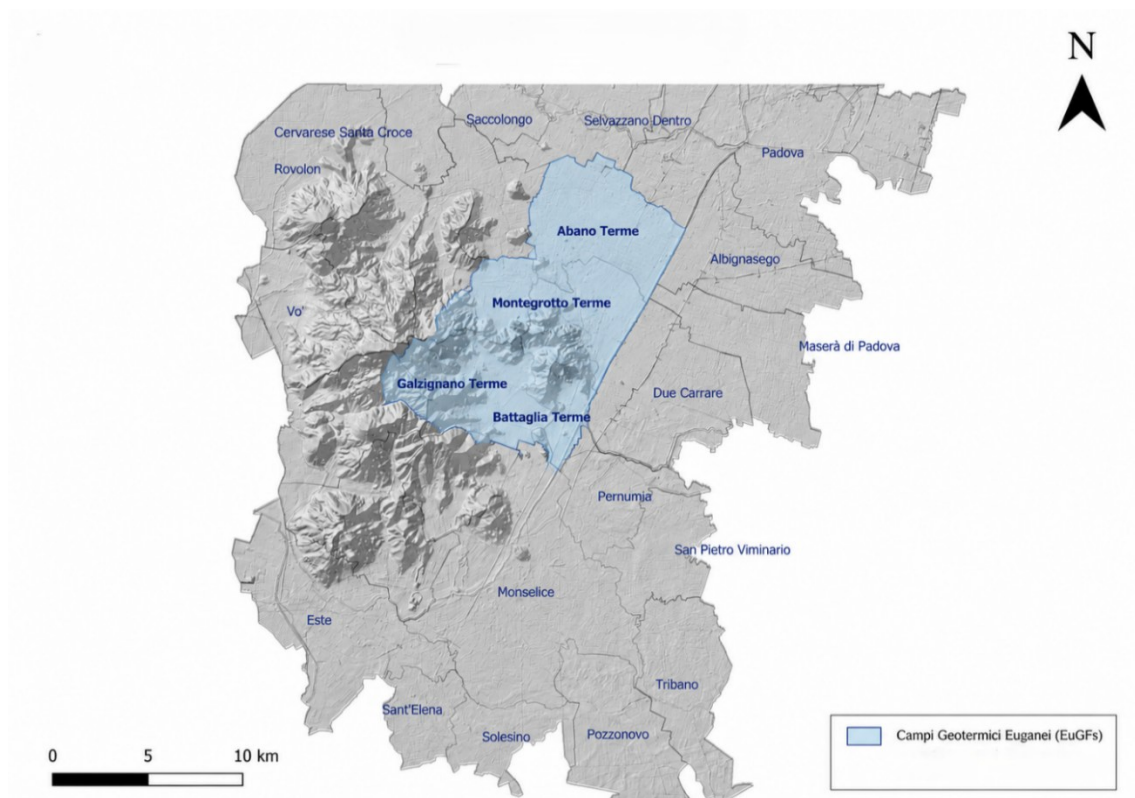


Figura 2.1.2: Hillshade dell'area dei Colli Euganei ottenuto da un Modello Digitale del Terreno (DTM). I comuni appartenenti ai Campi Geotermici Euganei (EuGFs) sono evidenziati in figura.

Gli EuGFs costituiscono soltanto la porzione finale del più ampio EuGS, che si sviluppa su scala regionale per circa 100 km in lunghezza, circa 30 km in larghezza e circa 3 km in profondità, e comprende un'area di ricarica delle acque meteoriche, i percorsi profondi di circolazione e la zona di risalita dei fluidi termali (Pola et al., 2015).

Dal punto di vista geologico, la successione stratigrafica dell'area termale è stata ricostruita principalmente attraverso l'analisi delle stratigrafie dei pozzi termali profondi perforati a partire dagli anni novanta (Tabella 2.1.1). (Antonelli et al., 1993). Le unità attraversate risultano coerenti con la successione tipica del Veneto centrale e comprendono una serie sedimentaria mesozoico-cenozoica sovrastata da depositi alluvionali quaternari (Cucato et al., 2011).

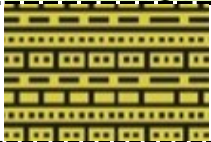
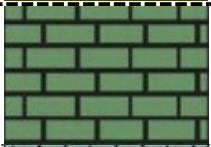
FORMAZIONI	
	Depositi alluvionali
	Formazione di Torreglia
	Scaglia Rossa
	Scaglia Variegata Alpina
	Maiolica
	Rosso Ammonitico
	Calcari Grigi
	Dolomia Principale

Tabella 2.1.1: *Successione stratigrafica ricostruita per l'area dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs).*

La copertura più superficiale è costituita da depositi alluvionali quaternari di ambiente fluviale, composti prevalentemente da sabbie, limi e argille a granulometria variabile. Lo spessore di questi depositi varia notevolmente all'interno dei campi geotermici, passando da poche decine di metri nelle aree di Battaglia Terme e Galzignano Terme fino a circa 200 m nell'area di Abano Terme (Pola et al., 2015).

Al di sotto della copertura quaternaria si sviluppa una successione sedimentaria prevalentemente carbonatica, che costituisce il serbatoio dell'EuGS (Rosignoli 2003). Procedendo dagli strati più antichi raggiunti dalle perforazioni nei EuGFs a quelli più recenti, la successione comprende:

- la Formazione della Dolomia Principale (Triassico Superiore), costituita da dolomie e calcari dolomitici chiari, caratterizzata da uno spessore non ben definito;
- il Gruppo dei Calcari Grigi (Giurassico Inferiore–Medio), formato da calcari oolitici e bioclastici con spessori medi compresi tra 280 e 300 m;
- la Formazione del Rosso Ammonitico (Giurassico Superiore), rappresentata da calcari pelagici nodulari, con spessori medi di circa 25–30 m;
- la Formazione della Maiolica (Giurassico Superiore–Cretaceo Inferiore), costituita da calcari bianchi stratificati con livelli di selce, con spessori medi intorno ai 200 m;
- la Scaglia Variegata Alpina (Cretaceo Inferiore–Superiore), composta da calcari con intercalazioni argillose e bituminose, con spessori medi di 70–80 m;
- la Scaglia Rossa (Cretaceo Superiore–Eocene Inferiore), costituita da calcari marnosi e selciferi a grana fine, con spessori variabili tra 80 e 130 m;
- la Formazione di Torreglia (Eocene Inferiore–Oligocene Inferiore), caratterizzata da litologie calcareo-argillose, con livelli scuri contenenti sostanza organica e livelli vulcanoclastici, con uno spessore anche superiore ai 100 m;
- le Formazioni vulcaniche eocenico-oligoceniche (Castelnuovo di Teolo e Monte Venda), costituite prevalentemente da trachiti e rioliti.

Dal punto di vista strutturale, l'EuGS si colloca in un settore di transizione tra le Alpi Meridionali orientali e la relativa avanfossa veneta. Le Alpi Meridionali sono caratterizzate da strutture compressive a vergenza meridionale, mentre verso sud si sviluppa la pianura veneta, corrispondente all'avanfossa della catena alpina (Castellarin & Cantelli, 2000). Il passaggio tra questi due domini è segnato da una serie di sovrascorrimenti a immersione nord-occidentale, che definiscono il margine meridionale del sistema alpino (Figura 2.1.3) (Torresan et al., 2020).

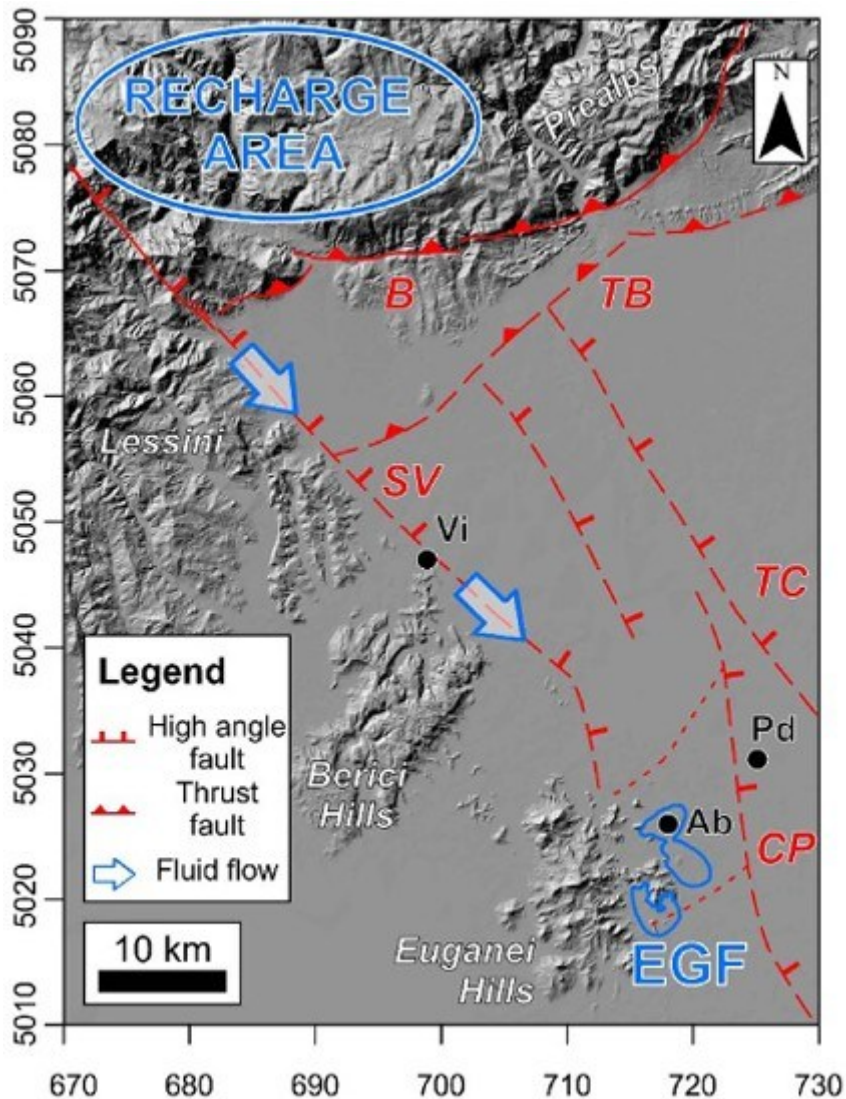


Figura 2.1.3: Schema strutturale semplificato del Veneto centrale. Sono riportate le principali strutture tettoniche regionali che tracciano il substrato (B: Thrust di Bassano; TB: Thrust Thiene-Bassano; SV: Faglia Schio-Vicenza; CP: Faglia Conselve-Pomposa; TC: Faglia Travettore-Codevigo) e gli elementi principali del Sistema Geotermico Euganeo (EuGS), comprendenti l'area di ricarica localizzata nelle Prealpi Venete e l'area di risalita dei fluidi termali corrispondente al Campo Geotermico Euganeo (EuGF) - (Fabbri et al., 2017).

La faglia Schio-Vicenza rappresenta il segmento principale del sistema e definisce il limite tra i rilievi carbonatici e la pianura alluvionale. Altri segmenti importanti sono la faglia Conselve-Pomposa e la faglia Travettore-Codevigo, sepolte al di sotto della copertura alluvionale ma fondamentali per l'assetto strutturale regionale (Torresan et al., 2020).

L'interazione tra la faglia Schio-Vicenza e la faglia Conselve-Pomposa ha portato allo sviluppo, nell'area a sud di Padova, di una struttura di accomodamento a (relay ramp), cioè una zona di trasferimento della deformazione tra segmenti di faglia non allineati (Zampieri et al., 2009).

La relay ramp (Figura 2.1.4) rappresenta l'elemento strutturale chiave dei campi geotermici euganei, ed è caratterizzata da un'intensa deformazione fragile e da una fitta rete di faglie e fratture secondarie con orientazioni prevalenti NNE–SSW, ESE–WNW e NW–SE (Pola et al., 2020). Questa struttura favorisce un aumento importante della permeabilità e consente la connessione idraulica tra le zone più profonde e superficiali del sistema geotermico.

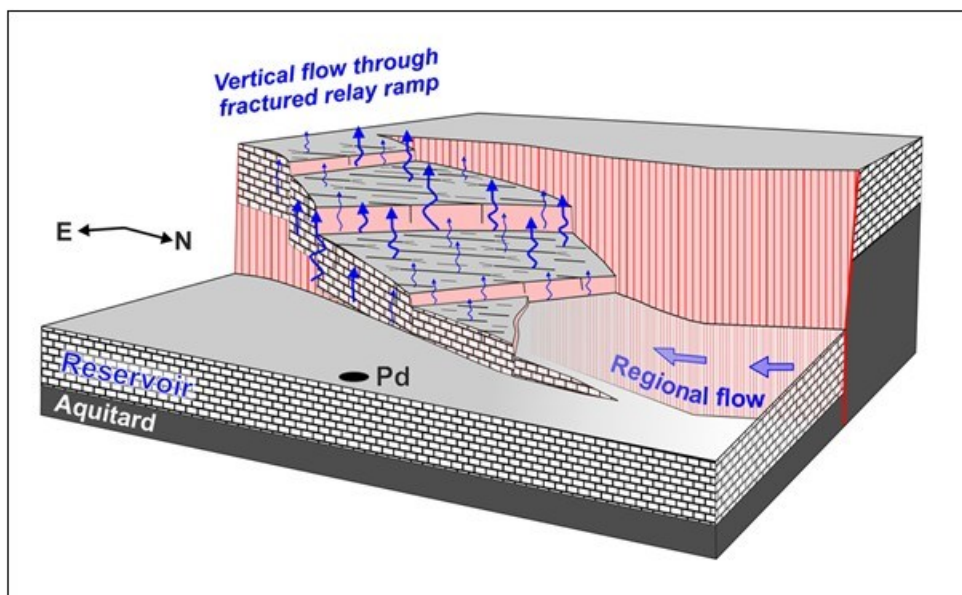


Figura 2.1.4: *Modelli concettuali tridimensionali locali dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs). Il flusso regionale, favorito dalla zona di danneggiamento associata alla faglia ad alto angolo Schio–Vicenza, intercetta il sistema di fratture della relay ramp, favorendo la risalita delle acque termali - (Pola et al., 2020).*

Le principali faglie regionali e le relative zone di danneggiamento (*damage zones*) costituiscono infatti le principali vie preferenziali per la circolazione dei fluidi profondi. In particolare, la zona di fratturazione associata alla faglia Schio-Vicenza risulta probabilmente una delle più permeabili dell'intero sistema, grazie all'elevato grado di deformazione accumulato (Savage et al., 2011).

Nell'area euganea, inoltre, la relay ramp determina il sollevamento relativo delle unità acquifere profonde rispetto alle aree circostanti della pianura veneta. Questo sollevamento, associato all'elevata fratturazione del substrato carbonatico, favorisce la rapida risalita dei fluidi termali. (Torresan et al., 2020).

2.2 Inquadramento idrogeologico

Dal punto di vista idrogeologico, il Sistema Geotermico Euganeo (EuGS) è costituito da un sistema di circolazione regionale di acque di origine meteorica che, infiltrandosi nell'area di ricarica prealpina, raggiungono profondità elevate prima di risalire nei Campi Geotermici Euganei (EuGFs) (Torresan et al., 2020). Le analisi isotopiche effettuate sulle acque termali hanno infatti evidenziato una chiara origine meteorica dei fluidi, con aree di infiltrazione localizzate nell'altopiano dei sette comuni, ad altitudini medie prossime ai 1500 m s.l.m. (Fabbri et al., 2017).

L'area di ricarica è caratterizzata dall'affioramento di rocce carbonatiche intensamente fratturate e carsificate, che favoriscono l'infiltrazione delle acque meteoriche nel sottosuolo (Torresan et al., 2020). Una volta infiltrate, le acque migrano verso sud-sudest all'interno del serbatoio carbonatico mesozoico, seguendo percorsi profondi controllati dall'assetto strutturale regionale. La circolazione avviene principalmente nelle formazioni carbonatiche permeabili, mentre le unità marnoso-argillose svolgono il ruolo di livelli a bassa permeabilità o acquitardi.

Nel corso della circolazione profonda, le acque subiscono un progressivo riscaldamento dovuto alla combinazione di diversi fattori: la densità di flusso di calore crostale regionale, stimato tra 70 e 80 mW/m², la convezione dei fluidi, favorita dall'elevata permeabilità locale associata alla zona di accomodamento, e il contributo del calore radiogenico rilasciato dagli isotopi radioattivi contenuti nelle rocce vulcaniche dei Colli Euganei. L'azione combinata di questi processi consente ai fluidi di raggiungere temperature prossime ai 100 °C già a profondità dell'ordine di 1000 m (Fabbri et al., 2017).

La fase finale della circolazione dei fluidi avviene nei Campi Geotermici Euganei (EuGFs), che rappresenta l'area di risalita delle acque termali. In questo settore, le acque profonde intercettano il reticolo di faglie e fratture associato alla relay ramp e risalgono rapidamente verso livelli più superficiali, alimentando gli orizzonti termali sfruttati dai pozzi (Torresan et al., 2020). La velocità della fase finale di risalita è confermata anche dalle analisi isotopiche su radioisotopi naturali, che suggeriscono tempi relativamente ridotti di qualche giorno nel percorso ascendente (Mayer et al., 2015) (Figura 2.2.1).

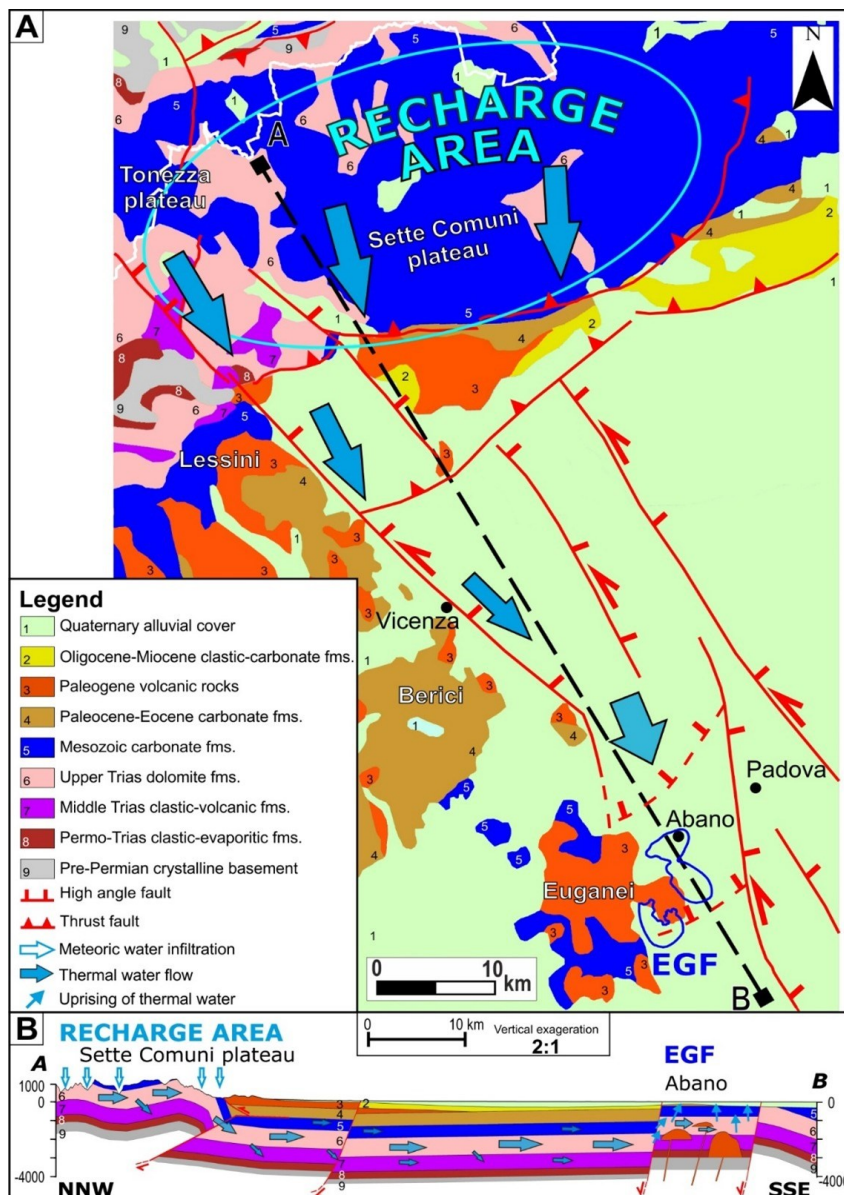


Figura 2.2.1: (A e B) Modello concettuale del Sistema Geotermico Euganeo (EuGS) proposto in questo studio. linea tratteggiata in nero indica la traccia della sezione rappresentata nel modello (B). I corpi magmatici presenti nel sottosuolo dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs) sono rappresentati schematicamente al fine di evidenziarne la presenza e il ruolo nei processi di circolazione delle acque - (Pola et al., 2015).

All'interno degli EuGFs, le risorse idrotermali vengono ospitate in diversi orizzonti acquiferi distribuiti sia nella copertura quaternaria sia nelle formazioni carbonatiche profonde. Gli acquiferi superficiali, localizzati negli orizzonti sabbiosi dei depositi alluvionali, presentano temperature relativamente basse e una distribuzione laterale discontinua. In passato questi livelli venivano sfruttati localmente, ma sono stati progressivamente abbandonati a causa della limitata produttività e dei frequenti problemi di "scavernamento".

L'acquifero confinato termale classico è localizzato nella Formazione della Maiolica, a profondità comprese tra circa 300 e 600 m dal piano campagna. Questo orizzonte, intensamente fratturato, rappresenta il principale serbatoio geotermico sfruttato nei EuGFs e presenta valori di trasmissività compresi tra 13 e 500 m²/giorno (Pola et al., 2015).

A profondità maggiori, tra circa 800 e 1000 m, è presente un secondo orizzonte permeabile ospitato nelle unità del Gruppo dei Calcari Grigi e della Dolomia Principale (Pola et al., 2015). Questo livello risulta meno sfruttato e meno conosciuto dal punto di vista idrogeologico, ma i dati disponibili indicano condizioni di temperatura e carico potenziometrico generalmente superiori rispetto all'acquifero ospitato nella Maiolica.

3 La rete di monitoraggio TREASURE

3.1 Evoluzione della rete di monitoraggio nei Campi Geotermici Euganei (EuGFs)

Il monitoraggio della risorsa idrotermale nei Campi Geotermici Euganei rappresenta un elemento fondamentale per la comprensione delle dinamiche del sistema e per la gestione sostenibile della risorsa nel lungo periodo. L'esigenza di un controllo sistematico nasce già nella seconda metà del XX secolo, in risposta agli effetti prodotti da un intenso e localmente concentrato sfruttamento della risorsa termale.

Nel corso della prima metà del Novecento, infatti, l'incremento delle attività termali e l'aumento dei prelievi hanno determinato un progressivo abbassamento dei livelli potenziometrici all'interno degli EuGFs, causando l'estinzione di numerose sorgenti naturali e la perdita di produttività di diversi pozzi poco profondi. A partire dagli anni '50 si osserva una riduzione significativa e continua dei livelli, strettamente correlata all'intensificarsi delle estrazioni.

Per rispondere a questa criticità, negli anni '70 la Regione del Veneto ha avviato un primo sistema di monitoraggio sistematico, attraverso l'installazione di idrometrografi in pozzi selezionati e distribuiti nelle principali aree termali di Abano Terme, Montegrotto Terme e Battaglia-Galzignano. L'obiettivo principale di questa rete era la registrazione continua dei livelli potenziometrici, al fine di valutare l'evoluzione dello stato della risorsa nel tempo.

Le prime installazioni risalgono al 1975 e hanno interessato alcuni pozzi inattivi ritenuti idonei al monitoraggio, tra cui Molino 7 ad Abano Terme, Fonte Colli Euganei 1 e Mezzavia 4 a Montegrotto Terme (Fabbri et al., 2017). Nel corso degli anni successivi, la rete è stata progressivamente ampliata, fino a comprendere un numero crescente di punti di misura distribuiti all'interno del bacino (Figura 3.1.1).

Oltre al monitoraggio dei livelli potenziometrici, a partire dal 1977 è stato introdotto il controllo dei volumi emunti, mediante l'installazione di contatori volumetrici sui pozzi attivi. Questo ha consentito di correlare direttamente le variazioni dei livelli con l'intensità dello sfruttamento della risorsa. (Fabbri et al., 2017)

Nel periodo compreso tra il 1975 e il 2020-2021, il monitoraggio ha interessato complessivamente circa 15 pozzi e piezometri, con acquisizione continua dei livelli e, in alcuni casi, delle temperature. Dopo una fase iniziale di sperimentazione, nel 1984 si è raggiunta una configurazione stabile della rete, con sei idrometrografi attivi, tra cui un pozzo artesiano (Regazzoni 1), particolarmente significativo per la comprensione del sistema.

Negli anni '90 il sistema è stato ulteriormente integrato con l'installazione di piezometri dedicati al monitoraggio degli acquiferi superficiali presenti nella copertura alluvionale quaternaria. In particolare, tre piezometri perforati nell'area di Abano Terme hanno consentito di monitorare livelli e temperature a diverse profondità (13 m, 58 m e 136 m), dove le temperature dell'acqua sono rispettivamente di 26 °C, 48 °C e 78 °C (Fabbri et al., 2017).

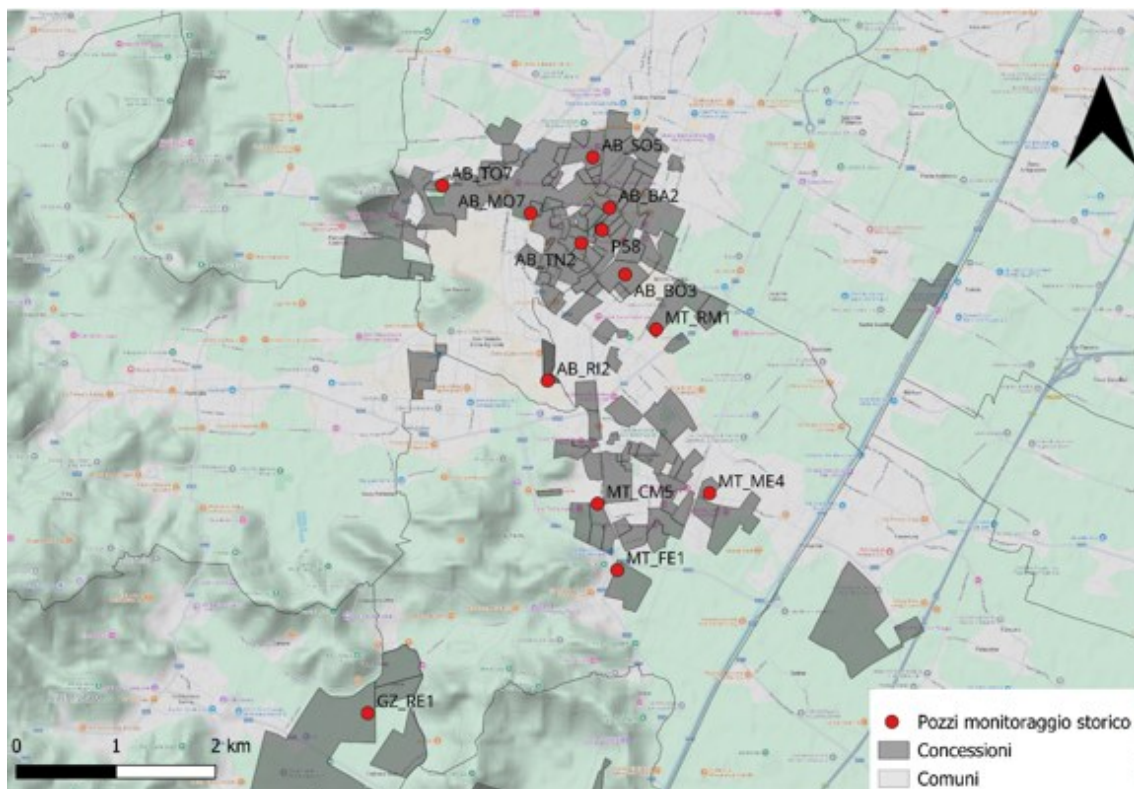


Figura 3.1.1: *Inquadramento dei pozzi storici di monitoraggio del Campo Geotermico Euganeo (EuGF), delle concessioni termali e dei comuni interessati dal sistema geotermico.*

Nel corso degli anni successivi, il sistema di monitoraggio ha subito ulteriori aggiornamenti, tra cui l'introduzione di nuovi strumenti nel 2014. Tuttavia, a partire dal 2020, la mancanza di manutenzione ha portato a un progressivo deterioramento della rete, con conseguente perdita di funzionalità della maggior parte delle stazioni di misura. Solo alcuni piezometri, gestiti dall'Università di Padova, hanno continuato a fornire dati in modo continuativo.

Questa situazione ha evidenziato la necessità di un rinnovamento completo del sistema di monitoraggio, sia dal punto di vista tecnologico sia in termini di distribuzione spaziale dei punti di misura. La ricostruzione della rete rappresenta quindi il punto di partenza per una nuova fase di studio e gestione della risorsa termale, che trova attuazione nel progetto TREASURE, finanziato dalla Regione Veneto.

3.2 Il progetto TREASURE e la nuova rete di monitoraggio

Il progetto TREASURE nasce con l'obiettivo di sviluppare un sistema integrato di monitoraggio dei Campi Geotermici Euganei, finalizzato alla salvaguardia e alla gestione sostenibile della risorsa geotermica.

Il progetto si inserisce all'interno delle politiche regionali che puntano a valorizzare le risorse geotermiche e a tutelare l'ambiente ed il tutto. È stato promosso dalla Regione del Veneto attraverso atti normativi e programmi di pianificazione. In particolare, la realizzazione del sistema di monitoraggio TREASURE è stata formalmente approvata con la D.G.R. n. 784 del 12/07/2024 ed è stata ulteriormente sviluppata mediante il D.D.R. n. 31 del 14/02/2025.

Un aspetto centrale del programma TREASURE riguarda il rapporto tra attività sperimentali di utilizzo della risorsa geotermica per scopi non sanitari e sistemi di monitoraggio. L'avviso esplorativo approvato con D.D.R. n. 31/2025 stabilisce che eventuali progetti geotermici sperimentali debbano essere finalizzati non soltanto alla verifica della potenzialità geotermica della risorsa, ma anche alla produzione di dati scientifici utili alla valutazione dei possibili effetti sul bacino termale euganeo. In questo senso, ogni intervento sperimentale deve essere concepito all'interno di un quadro di tutela della risorsa termale del B.I.O.C.E. (Bacino Idrominerario Omogeneo dei Colli Euganei), con particolare attenzione agli effetti idrodinamici, termici e chimici che potrebbero derivare da nuovi prelievi, dal recupero di pozzi esistenti o da forme di utilizzo indiretto del calore.

L'avviso prevede diverse tipologie di intervento ammissibili, tra cui la realizzazione di nuovi pozzi di prelievo, l'utilizzo o il ripristino di pozzi esistenti, la realizzazione di sonde per il geoscambio in grado di raggiungere gli acquiferi termali senza prelievo di fluido e progetti di riscaldamento di strutture di interesse pubblico senza spreco della risorsa. Queste possibilità sono tuttavia vincolate ad una dettagliata caratterizzazione geologico-tecnica e idrogeologica dell'area interessata, alla definizione degli acquiferi coinvolti e alla predisposizione di un sistema di monitoraggio adeguato. In particolare, i progetti devono includere una rete di monitoraggio idrodinamico, termico e chimico, comprensiva di misure di livello, temperatura, conducibilità e, dove necessario, analisi periodiche di parametri chimici pertinenti al contesto. Devono inoltre essere specificate le modalità e la frequenza di acquisizione dei dati, le modalità di trasmissione e l'eventuale esecuzione di log geofisici in pozzo.

Nella disciplinare sono presenti i vincoli territoriali differenziati in funzione della posizione del progetto rispetto alla rete di monitoraggio (Figura 3.2.1). Nelle aree interne al B.I.O.C.E., corrispondenti alla Rete Interna di Monitoraggio (RIM), gli interventi sperimentali devono rapportarsi con la rete già prevista dal piano di monitoraggio approvato con D.G.R. n. 784/2024. Lo scopo è ottenere dati sui possibili effetti degli sfruttamenti termici diretti e indiretti della risorsa termale. In caso di evidenza di effetti negativi significativi, il progetto deve essere ridimensionato, sospeso o dismesso, secondo quanto previsto dall'autorizzazione.

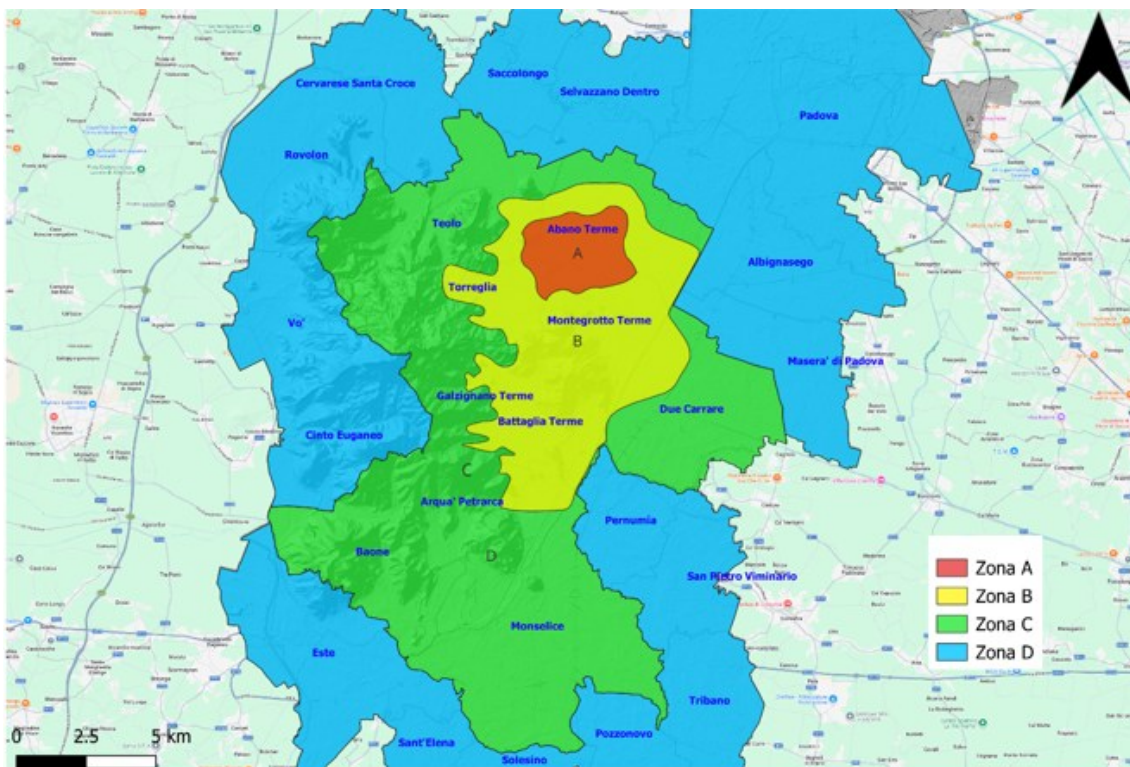


Figura 3.2.1: *Suddivisione territoriale della rete di monitoraggio prevista dal progetto TREASURE. Le aree A, B e C costituiscono la Rete Interna di Monitoraggio (RIM), corrispondente al Bacino Idrotermale Omogeneo dei Colli Euganei (B.I.O.C.E.). L'area D rappresenta la Rete Esterna di Monitoraggio (REM), estesa fino a 10 km dal perimetro del B.I.O.C.E.*

La RIM è articolata in tre zone principali, ciascuna caratterizzata da un diverso grado di tutela e da differenti possibilità di intervento. La zona A corrisponde all'area centrale di Abano Terme, ovvero il settore maggiormente interessato dallo sfruttamento storico della risorsa. In questa zona non è ammessa la realizzazione di nuovi pozzi di prelievo del fluido. Sono invece previsti, in numero limitato, il possibile utilizzo o ripristino di pozzi esistenti, la realizzazione di sonde senza prelievo di fluido e progetti di riscaldamento di strutture di interesse pubblico senza spreco della risorsa. La zona B comprende l'area periferica di Abano Terme e l'area di Montegrotto Terme; qui è consentito un numero maggiore di interventi, ma la realizzazione di nuovi pozzi è ammessa in forma molto limitata e solo esternamente alle concessioni termali. La zona C rappresenta l'area RIM esterna, fino ai limiti del B.I.O.C.E., dove il disciplinare prevede una maggiore possibilità di autorizzazione per nuovi pozzi, recupero di pozzi esistenti e sonde geotermiche.

Diverso è il ruolo della Rete Esterna di Monitoraggio (REM), corrispondente alla zona D, estesa fino a 10 km dal perimetro del B.I.O.C.E. In questo settore i progetti sperimentali hanno soprattutto la funzione di acquisire dati propedeutici alla valutazione della potenzialità degli acquiferi esterni ai campi termali in senso stretto. La REM consente quindi di ampliare il quadro conoscitivo verso le aree periferiche e di confrontare il comportamento degli acquiferi esterni con quello osservato nella RIM. Anche in questo caso, tuttavia, ogni progetto deve essere accompagnato da una rete di monitoraggio dei livelli e della temperatura, da integrare con la rete già presente o prevista dal programma TREASURE (Tabella 3.2.1).

Tipologia di intervento	Zona A (RIM – Area centrale Abano Terme)	Zona B (RIM – Area periferica Abano Terme e Montegrotto)	Zona C (RIM esterna)	Zona D (REM fino a 10 km dal B.I.O.C.E.)
Realizzazione di nuovi pozzi di prelievo del fluido	0	1 (consentito esclusivamente all'esterno delle concessioni termali)	5	10
Utilizzo di pozzi esistenti ed eventuale manutenzione	2	5	10	10
Realizzazione di sonde che raggiungano gli acquiferi termali senza prelievo di fluido	3	10	10	Nessun limite
Progetti di riscaldamento di strutture di interesse pubblico senza spreco di risorsa	5	5	5	0

Tabella 3.2.1: *Numero massimo di progetti geotermici sperimentali autorizzabili nelle diverse zone della rete di monitoraggio TREASURE in funzione della tipologia di intervento prevista dal D.D.R. n. 31 del 14/02/2025 (D.D.R. n. 31/2025).*

La qualità del programma di monitoraggio rappresenta inoltre uno dei criteri principali di valutazione dei progetti. Il disciplinare assegna infatti il punteggio più elevato proprio alla capacità del programma di produrre dati utili a valutare gli effetti di questi interventi sulla risorsa termale del B.I.O.C.E. Questo conferma come il monitoraggio costituisca il nucleo tecnico-scientifico del programma TREASURE ed il principale strumento per garantire che eventuali usi sperimentali della risorsa avvengano in condizioni di sostenibilità e sotto controllo (D.D.R. 31/2025).

3.3 Stazioni di monitoraggio tipo e strumentazione

3.3.1 Inquadramento generale della strumentazione

Le attività di monitoraggio nell'ambito del progetto TREASURE si basano sull'installazione di stazioni di misura, progettate per acquisire in continuo i parametri idrodinamici e termici della falda (Figura 3.3.1.1). Le installazioni sono state realizzate da Tecnopenta S.r.l., nell'ambito delle attività operative di implementazione della rete di monitoraggio del Bacino Idrominerario Omogeneo dei Colli Euganei (BIOCE). Le stazioni sono generalmente costituite da un insieme di componenti dedicate all'acquisizione, alla registrazione e alla trasmissione dei dati. La strumentazione comprende trasduttori di pressione utilizzati per la misura del livello potenziometrico, sonde di temperatura installati a fondo pozzo per il monitoraggio delle variazioni termiche degli acquiferi e datalogger per l'acquisizione delle misure. Il sistema di alimentazione è costituito da batteria e pannello solare e la trasmissione dei dati avviene tramite rete telefonica grazie a una SIM e un modulo di comunicazione GPRS.

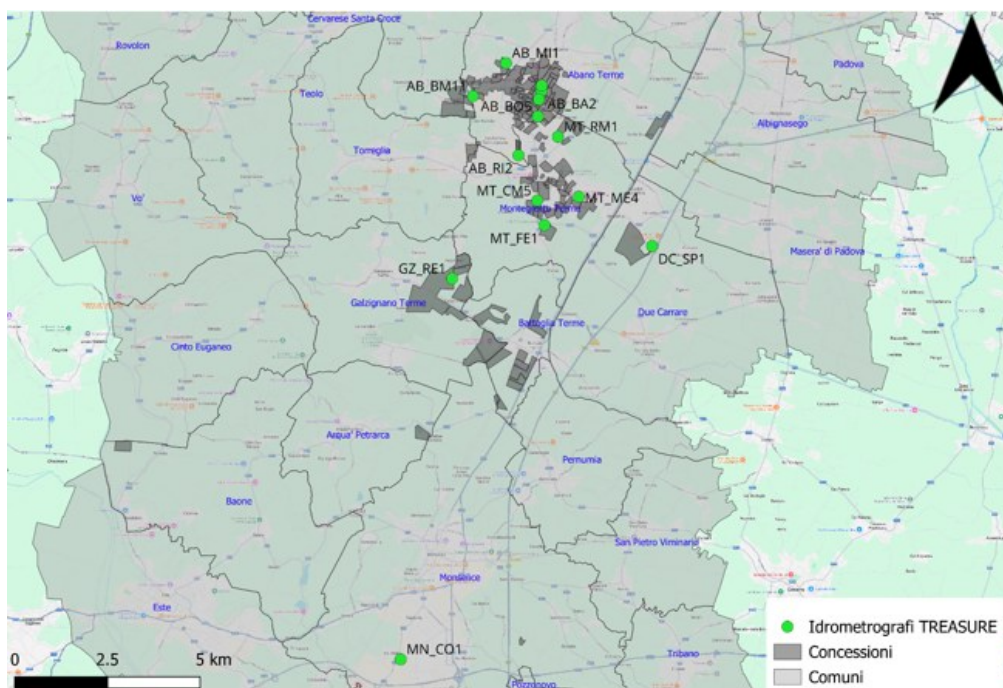


Figura 3.3.1.1: *Inquadramento dei pozzi di monitoraggio del progetto TREASURE e le concessioni.*

La presenza della SIM consente non solo il trasferimento remoto delle misure, ma anche la conservazione delle informazioni in caso di interruzione della comunicazione e la possibilità di recuperarle in loco.

Le componenti elettroniche sono alloggiare all'interno di contenitori stagni (scatole tipo Takachi o scatole in acciaio tipo MICROS), installati in superficie e collegati ai sensori mediante cavi dedicati (Tecnopenta, 2025).

Nella Tabella 3.3.1.1 sono riportate le principali caratteristiche tecniche delle stazioni di monitoraggio installate.

N°	Sigla	Concessione	Sensori	Note
1	AB_BA2	Barillari 2	Sensore di livello da 1 bar	Posizionato a 13,5 metri da bocca pozzo
2	AB_BM1 1	Buja Montortone 11	Sensore di livello da 2 bar + Temperatura	Posizionato a 20 m da bocca pozzo, Temperatura posizionata a 125 m da bocca pozzo
3	AB_BO5	Bonato 5	Sensore di livello da 1 bar + Temperatura	Posizionato a 10,5 m da bocca pozzo, Temperatura posizionata a 90 m da bocca pozzo
4	AB_MI1	Milano 1	Sensore di livello da 2 bar + Temperatura	Posizionato a 23 m da bocca pozzo, Temperatura posizionata a 210 m da bocca pozzo
5	AB_P58	Aponus	Sensore di livello da 1 bar + Temperatura	Posizionato a 9 m da bocca pozzo, Temperatura posizionata a 57 m da bocca pozzo
6	AB_RI2	Righati 2	Sensore di livello da 1 bar	Posizionato a 11 metri da bocca pozzo
7	AB_TA3	Tacchetto 3	Sensore di livello da 2 bar + Temperatura	Posizionato a 20 m da bocca pozzo, Temperatura posizionata a 228 m da bocca pozzo
8	DC_SP1	San Pelagio 1	Sensore di livello da 1 bar + Temperatura	Posizionato a 7 m da bocca pozzo, Temperatura posizionata a 191 m da bocca pozzo
9	GZ_RE1	Regazzoni 1	Trasduttore di pressione ad alta precisione da 4 bar	Pozzo in pressione. Trasduttore installato a bocca pozzo
10	MN_CO1	Ca Oddo 1	Trasduttore di pressione ad alta precisione da 5 bar	Pozzo in pressione. Da attaccare direttamente al filetto del rubinetto
11	MT_CM5	Commodore 5	Sensore di livello da 2 bar + Temperatura	Posizionato a 19 m da bocca pozzo, Temperatura a 180 m da bocca pozzo
12	MT_FE1	Fonte Colli Euganei 1	Sensore di livello da 2 bar + Temperatura	Posizionato a 18 m da bocca pozzo; Temperatura posizionata a 374 m da bocca pozzo
13	MT_ME4	Mezzavia 4	Sensore di livello da 1 bar + Temperatura	Posizionato a 6 m da bocca pozzo, Temperatura a 327 m da bocca pozzo
14	MT_RM1	Romana 1	Sensore di livello da 1 bar	Posizionato a 8,5 m da bocca pozzo

Tabella 3.1.1.1: Pozzi appartenenti alla rete di monitoraggio del progetto TREASURE, con indicazione della sigla identificativa, della concessione di appartenenza e del numero di pozzo della concessione, della tipologia di sensori installati e delle relative profondità di posizionamento.

3.3.2 Stazione tipo in condizioni di falda non artesiane: Fonte Colli Euganei 1

Una configurazione rappresentativa delle stazioni installate nella rete di monitoraggio è quella relativa ai pozzi non artesiani, come nel caso del pozzo 1 della concessione “Fonte Colli Euganei ”.

In questa tipologia di installazione, il livello potenziometrico si trova al di sotto del piano campagna e viene determinato indirettamente mediante trasduttori di pressione compensati barometricamente ed immersi in acqua. Tali sensori, generalmente con campo di misura compreso tra 1 e 2 bar, non misurano direttamente la quota del livello idrico, ma la pressione esercitata dalla colonna d'acqua sovrastante. Essendo tale pressione di natura idrostatica, essa può essere convertita in altezza della colonna d'acqua mediante la relazione [1] tra pressione, densità del fluido e accelerazione di gravità.

$$P = \rho gh \quad [1]$$

Dove P è la pressione misurata dal sensore, ρ la densità dell'acqua, g accelerazione di gravità e h l'altezza della colonna d'acqua sovrastante.

Conoscendo la profondità di installazione della sonda rispetto alla bocca pozzo, è quindi possibile determinare la soggiacenza della falda [2] da b.p. come differenza tra la profondità del sensore e l'altezza della colonna d'acqua calcolata.

$$S = P_s - h \quad [2]$$

Dove S è la misura di soggiacenza, P_s la profondità del sensore rispetto alla bocca pozzo, e h è l'altezza della colonna d'acqua calcolata in precedenza.

Infine, nota la quota della bocca pozzo sul livello medio del mare, il carico idraulico [3] viene ottenuto sottraendo la soggiacenza dalla quota della bocca pozzo.

$$H = Q_{bp} - S \quad [3]$$

Dove H è la misura di carico idraulico m s.l.m., Q_{bp} è la quota da bocca bozzo m s.l.m., S è la misura di soggiacenza calcolata in precedenza.

I sensori utilizzati sono dotati di membrana sensibile e di un sistema di compensazione della pressione atmosferica, realizzato tramite un tubicino capillare integrato nel cavo di collegamento (canula), che consente di acquisire la pressione relativa rispetto all'atmosfera. Questa caratteristica è fondamentale per garantire una misura accurata del livello idrico, evitando errori dovuti alle variazioni barometriche (Tecnopenta, 2025).

Nel caso specifico del pozzo Fonte Colli Euganei 1 (Figura 3.3.2.1, Figura 3.3.2.2), il sistema di monitoraggio ha subito nel tempo alcune modifiche operative: inizialmente era installato un sensore con campo di misura pari a 1 bar, posizionato a circa 9,50 m di profondità dalla bocca pozzo; successivamente, a seguito di interventi di aggiornamento della strumentazione, il sensore è stato sostituito con uno da 2 bar e riposizionato a una profondità maggiore, pari a circa 18 m da b.p., al fine di garantire una migliore copertura del range di misura e una maggiore affidabilità del dato acquisito.



Figura 3.3.2.1: (A) Trasduttore di pressione da 2 bar e (B) sonda di temperatura.



Figura 3.3.2.2: Stazione “Fonte Colli Euganei 1”.

Oltre al sensore di livello, la stazione è dotata anche di un sensore di temperatura installato a 374 metri di profondità. Il sensore è soggetto a condizioni particolarmente gravose in termini di temperatura e pressione.

Dal punto di vista tecnico il segnale acquisito dal trasduttore viene trasmesso tramite un'uscita analogica standard 4–20 mA, una delle soluzioni più diffuse nel monitoraggio ambientale. In questa configurazione il valore misurato viene convertito in un segnale di corrente proporzionale alla grandezza fisica osservata, consentendo la trasmissione affidabile dei dati. L'accuratezza dichiarata dal costruttore è pari a $\pm 0,5\%$ del fondo scala, corrispondente a circa $\pm 0,05$ m per un sensore con campo di misura pari a 1 bar, garantendo una buona precisione nella misura delle variazioni del livello potenziometrico. Inoltre il sensore è realizzata in acciaio inox AISI 316L, materiale particolarmente resistente alla corrosione e idoneo all'impiego in ambiente idrotermale.

Nel corso delle attività di monitoraggio, la strumentazione ha richiesto interventi di manutenzione e aggiornamento: in particolare, il sensore di temperatura è stato sostituito con un nuovo modello opportunamente modificato mediante sigillatura con resina in corrispondenza del pressa-cavo, questo per cercare di garantire una maggiore tenuta e resistenza alle condizioni di forte stress presenti in profondità. L'intervento è stato necessario a seguito dell'ingresso di umidità e acqua presente dentro la scatola d'alloggio per la centralina, probabilmente risalita tramite il cavo della sonda a causa dell'elevata pressione. L'acqua all'interno aveva rigonfiato il cavo e compromesso la funzionalità della sonda precedente (Tecnopenta, 2025).

3.3.3 Stazione tipo in condizioni di falda in pressione: Ca' Oddo

Una seconda tipologia di stazione (Figura 3.3.3.1), più complessa dal punto di vista tecnico, è rappresentata dai pozzi artesiani, come nel caso del pozzo “Ca' Oddo”.

In queste condizioni, il livello potenziometrico si trova al di sopra della bocca pozzo e la falda si presenta in condizioni artesiane, con pressioni che possono raggiungere valori significativi. Nel caso specifico di Ca' Oddo, il monitoraggio viene effettuato mediante un sensore di pressione (manometro) installato direttamente sulla testa pozzo, tramite connessione al sistema idraulico, senza immersione all'interno della colonna d'acqua. Questa configurazione richiede particolare attenzione nella realizzazione dei collegamenti idraulici, al fine di garantire la tenuta del sistema ed evitare perdite o ingressi d'aria che potrebbero compromettere la qualità della misura.

Il sensore utilizzato presenta un campo di misura fino a 5 bar, necessario per registrare correttamente le variazioni di pressione. Le misure disponibili indicano una prevalenza di circa 45 m al di sopra del piano campagna, evidenziando condizioni artesiane eccezionalmente sviluppate e un carico idraulico tra i più elevati osservabili nell'area euganea. Tale caratteristica rende il pozzo Ca' Oddo un punto di monitoraggio particolarmente significativo per lo studio delle dinamiche della pressione non disturbata antropicamente degli acquiferi profondi dei Campi Geotermici Euganei.

Dal punto di vista tecnico, il trasduttore è caratterizzato da un'uscita analogica standard in corrente (4–20 mA), ampiamente utilizzata nelle applicazioni di monitoraggio per la sua robustezza e per la ridotta sensibilità ai disturbi elettrici lungo il cavo di trasmissione. L'accuratezza dello strumento è dell'ordine di $\pm 0,5\%$ del fondo scala, valore che garantisce una buona affidabilità nella misura delle variazioni di pressione anche su intervalli ridotti. Infine la struttura del sensore, realizzata in acciaio inox, assicura un'elevata resistenza meccanica e chimica, rendendolo adatto all'utilizzo in ambienti idrotermali (Tecnopenta, 2025).



Figura 3.3.3.1: Sensore di pressione (A) installato direttamente sulla testa pozzo (B).

3.3.4 Consumi

Il monitoraggio dei volumi emunti rappresenta uno degli strumenti fondamentali per la comprensione delle dinamiche idrogeologiche del Campo Geotermico Euganeo. A differenza dei livelli potenziometrici, che costituiscono una risposta del sistema alle sollecitazioni esterne o naturali, i consumi rappresentano infatti il principale fattore antropico in grado di modificare direttamente l'equilibrio dell'acquifero termale.

A partire dal 1977, i principali pozzi termali attivi sono stati progressivamente dotati di contatori volumetrici, consentendo la registrazione sistematica dei volumi estratti e la successiva correlazione con le variazioni osservate nei livelli. Il monitoraggio continuo dei consumi ha permesso di evidenziare come il comportamento del sistema termale euganeo in alcune aree sia fortemente controllato dall'intensità dello sfruttamento della risorsa.

L'analisi delle serie storiche mostra la presenza di una marcata componente stagionale (Figura 3.3.4.1). I consumi seguono l'andamento dell'attività turistica delle località termali euganee. I valori massimi si registrano generalmente durante i periodi di maggiore affluenza turistica, corrispondenti alle stagioni primaverile e autunnale, mentre i minimi si osservano nei mesi estivi e invernali. Durante il periodo invernale, tuttavia, una parte dei prelievi è mantenuta per soddisfare le esigenze di riscaldamento delle strutture termali e alberghiere soprattutto nei periodi di apertura durante le feste di fine anno.

Oltre alle oscillazioni stagionali, i dati evidenziano una significativa riduzione dei volumi estratti nel corso degli ultimi decenni. Tale diminuzione risulta particolarmente evidente nei principali comuni termali del bacino, soprattutto ad Abano Terme e Montegrotto Terme, dove si concentra la maggior parte dello sfruttamento della risorsa.

Nel comune di Abano Terme (Figura 3.3.4.2), che rappresenta storicamente il principale centro di utilizzo delle acque termali, i consumi sono passati da circa 13,6 milioni di m³/anno nel 1977 a circa 9,5 milioni di m³/anno nel 2014, con una riduzione complessiva prossima al 30%. Un andamento ancora più marcato è osservabile nel comune di Montegrotto Terme, dove i volumi emunti sono diminuiti da circa 10,6 milioni di m³/anno a circa 3,6 milioni di m³/anno nello stesso intervallo temporale, corrispondente a una riduzione superiore al 60%.

La progressiva riduzione dei consumi può essere attribuita a diversi fattori. Da un lato, le politiche regionali orientate alla tutela e allo sfruttamento sostenibile della risorsa hanno contribuito a limitare i prelievi e a promuovere una gestione più razionale delle acque termali. Dall'altro, il settore turistico termale euganeo ha progressivamente superato la fase di forte espansione che aveva caratterizzato la seconda metà del Novecento, determinando una diminuzione della domanda complessiva di acqua termale per scopi terapeutici.

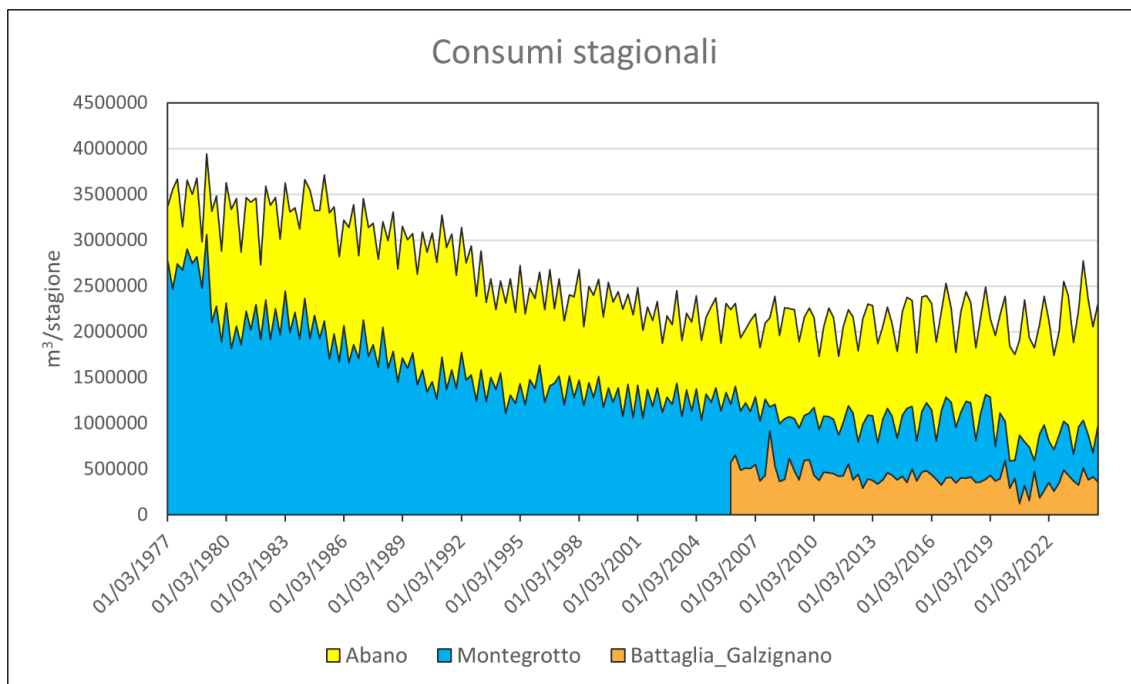


Figura 3.3.4.1: Estrazione stagionale dei volumi d'acqua termale nei comuni di Abano Terme, Montegrotto Terme, Battaglia Terme e Galzignano Terme.

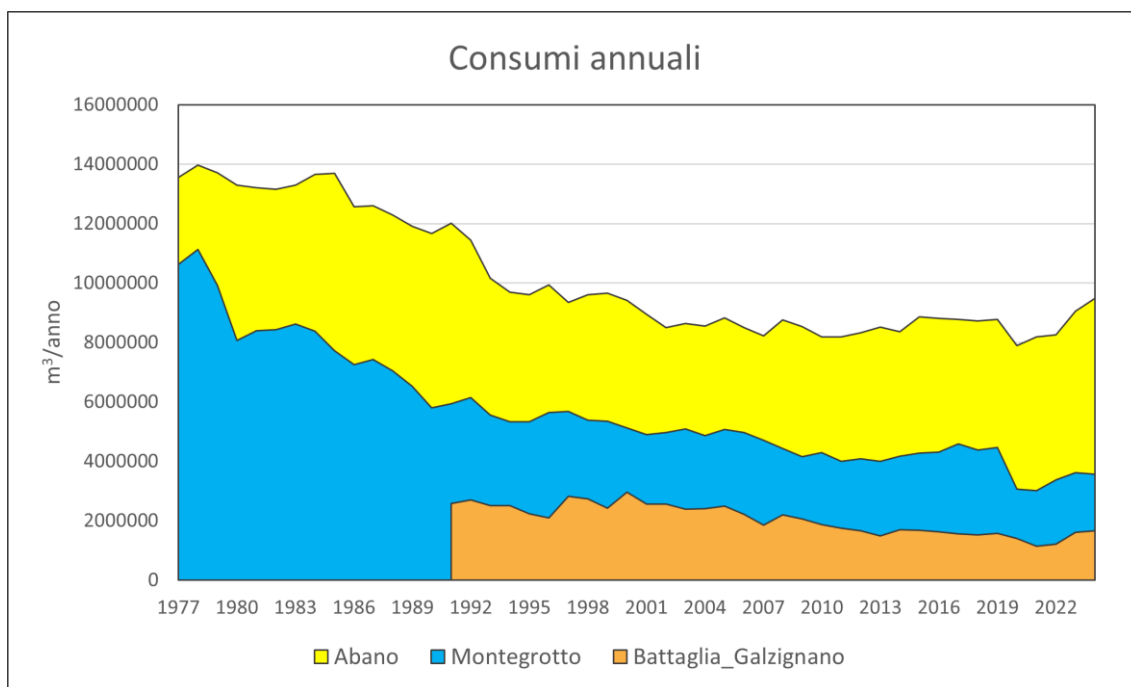


Figura 3.3.4.2: Estrazione annuale dei volumi d'acqua termale nei comuni di Abano Terme, Montegrotto Terme, Battaglia Terme e Galzignano Terme.

4 Metodi e analisi dati di monitoraggio

4.1 Il fenomeno delle maree crostali

Le maree crostali (Earth tides) sono deformazioni elastiche della crosta terrestre generate principalmente dall'attrazione gravitazionale esercitata dalla Luna e dal Sole. Oltre a determinare deformazioni della Terra solida, le forze mareali producono variazioni periodiche del potenziale gravitazionale terrestre, dando origine a movimenti della superficie che possono raggiungere spostamenti verticali dell'ordine di alcune decine di centimetri, fino a circa 40 cm nelle condizioni di massima ampiezza. Tali deformazioni costituiscono una forzante naturale ubiquitaria, presente sull'intera superficie terrestre, e sono in grado di influenzare il comportamento degli acquiferi sotterranei (Bastias Espejo et al., 2022).

A differenza delle maree oceaniche, che producono oscillazioni visibili del livello marino, le maree crostali si manifestano come deformazioni elastiche della crosta terrestre. La risposta del sottosuolo a queste sollecitazioni avviene attraverso deformazioni volumetriche (*strain*) e variazioni di inclinazione (*tilt*), che modificano periodicamente lo stato tensionale delle rocce. Dal punto di vista idrogeologico, tali deformazioni agiscono come uno stress idraulico naturale, inducendo variazioni della pressione interstiziale nei sistemi acquiferi confinati o semi-confinati.

L'effetto delle maree crostali sulle acque sotterranee si manifesta generalmente sotto forma di oscillazioni armoniche dei livelli potenziometrici, osservabili attraverso misure di monitoraggio continuo dei pozzi. Per questo motivo, il fenomeno è frequentemente utilizzato come strumento per studiare la risposta idrodinamica degli acquiferi e stimare indirettamente le loro proprietà idrogeologiche.

Nei Campi Geotermici Euganei (EuGFs) gli acquiferi sfruttati sono ospitati principalmente all'interno delle formazioni carbonatiche fratturate. In questo contesto, la circolazione dell'acqua non avviene attraverso una porosità primaria, ma lungo una rete di fratture e discontinuità che costituiscono il principale spazio disponibile per il fluido (porosità secondaria).

Le deformazioni elastiche generate dalle maree crostali producono una periodica compressione ed espansione di queste fratture. Di conseguenza, varia nel tempo il volume disponibile per l'acqua contenuta nell'acquifero. Il fluido tende ad adattarsi continuamente a queste variazioni di volume, generando oscillazioni della pressione interstiziale che si traducono in variazioni periodiche del livello potenziometrico osservato nei pozzi (Figura 4.1).

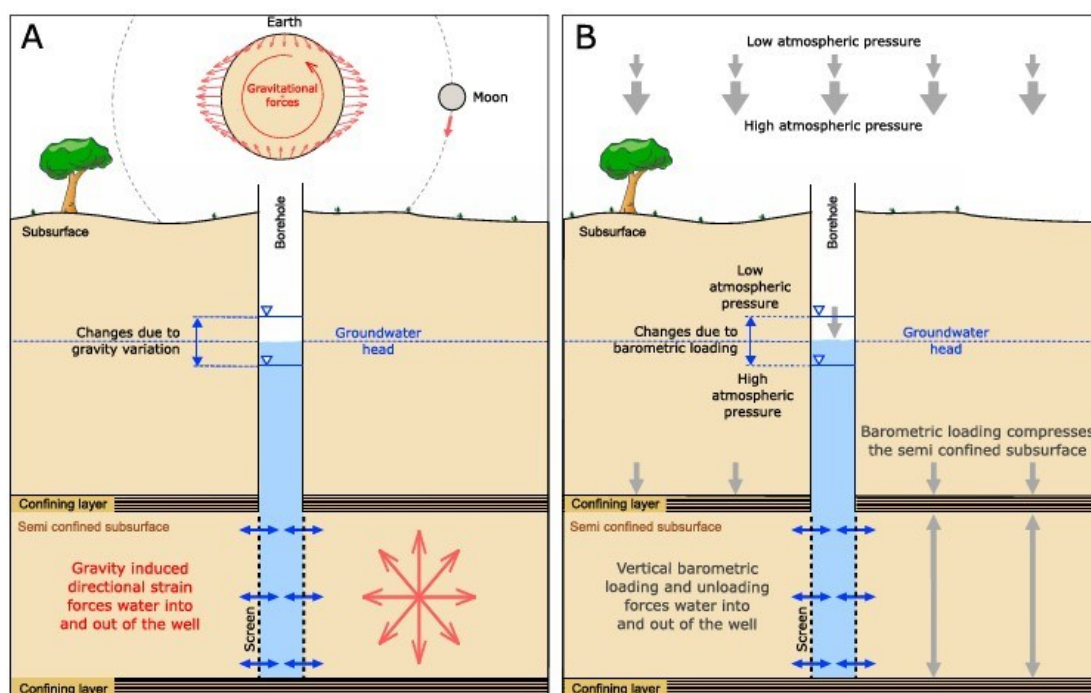


Figura 4.1 - Rappresentazione schematica della risposta del livello potenziometrico in un pozzo che intercetta un acquifero semiconfinato con matrice relativamente rigida, soggetto alle deformazioni indotte dalle maree crostali (a) e al carico barometrico associato alle maree atmosferiche (b) (McMilan et al., 2019).

Poiché i movimenti della Luna e del Sole rispetto alla Terra sono periodici, il potenziale mareale può essere scomposto in una serie di componenti armoniche, ciascuna caratterizzata da una specifica frequenza, ampiezza e fase. Le componenti vengono generalmente suddivise in diurne (circa un ciclo al giorno) e semidiurne (circa due cicli al giorno), secondo la classificazione armonica proposta originariamente da Darwin e tuttora adottata negli studi mareali.

Tra le componenti semidiurne, la più importante è M2, di origine lunare, con frequenza pari a circa 1.93 cpd (cicli al giorno) (periodo di circa 12.42 ore), generalmente dominante nella risposta degli acquiferi confinati. A questa si affiancano S2, componente principale solare con frequenza di 2.00 cpd (periodo di circa 12.00 ore), e N2, componente lunare legata all'eccentricità dell'orbita della Luna, con frequenza di circa 1.90 cpd (periodo di circa 12.66 ore).

Tra le componenti diurne rivestono particolare importanza O1, principale componente lunare, con frequenza di circa 0.93 cpd (periodo di circa 25.82 ore), K1, componente mista lunare-solare, con frequenza di circa 1.00 cpd (periodo di circa 23.93 ore), e P1, componente prevalentemente solare, con frequenza di circa 0.997 cpd (periodo di circa 24.07 ore). Queste armoniche costituiscono le principali frequenze ricercate nelle analisi spettrali delle serie potenziometriche (McMilan et al., 2019).

Accanto alle componenti gravitazionali è inoltre presente la componente S1, caratterizzata da una frequenza di circa 1 cpd (periodo di circa 24.00 ore), che non deriva direttamente dalle forze mareali ma dalle maree atmosferiche, generate dal riscaldamento periodico dell'atmosfera da parte del Sole. Le variazioni cicliche della pressione atmosferica producono infatti un carico variabile sulla superficie terrestre che può indurre oscillazioni del livello potenziometrico, sovrapponendosi al segnale delle maree crostali. Per tale motivo, nelle analisi delle serie temporali è opportuno considerare anche questa componente, distinguendola dalle armoniche di origine gravitazionale (McMilan - 2019).

Numerosi studi hanno evidenziato come la risposta degli acquiferi alle maree crostali sia particolarmente evidente nell'intervallo compreso tra circa 0.5 e 2.5 cicli al giorno, intervallo nel quale ricadono le principali componenti mareali osservabili nei pozzi di monitoraggio

L'intensità del segnale mareale osservabile nei pozzi dipende fortemente dalle caratteristiche idrauliche del sistema acquifero. In particolare, gli acquiferi confinati tendono a mostrare una risposta più netta e facilmente riconoscibile, poiché il contrasto di conducibilità idraulica tra acquifero e acquitardo limita la dispersione delle variazioni di pressione.

Quando invece il contrasto di permeabilità tra acquifero e livelli confinanti diminuisce, il segnale tende a dissiparsi più facilmente e le oscillazioni mareali risultano meno evidenti nelle registrazioni potenziometriche. Di conseguenza, la presenza di un segnale mareale ben definito è generalmente favorita da condizioni di confinamento idraulico più marcate.

Nel contesto del presente lavoro, l'interesse verso il fenomeno delle maree crostali è legato alla possibilità che alcune delle ciclicità osservate nei livelli potenziometrici dei pozzi monitorati siano riconducibili a queste forzanti naturali. Per verificare tale ipotesi, le serie temporali vengono analizzate mediante tecniche nel dominio delle frequenze, descritte nei paragrafi successivi.

4.2 Imputazione dati mancanti

Le serie temporali utilizzate nel presente studio derivano dalle misure di livello potenziometrico registrate con frequenza oraria presso le 14 stazioni di monitoraggio della rete TREASURE. Durante le attività di acquisizione dei dati possono verificarsi interruzioni dovute a manutenzioni della strumentazione, malfunzionamenti dei sensori, problemi di alimentazione o temporanee anomalie nei sistemi di registrazione e trasmissione. Questi eventi determinano la presenza di osservazioni mancanti (data missing) all'interno delle serie temporali, generando lacune che possono compromettere le successive elaborazioni dei dati.

La gestione dei dati mancanti rappresenta un passaggio fondamentale nell'analisi delle serie temporali. Molte tecniche di elaborazione dei segnali, tra cui la Trasformata di Fourier e l'analisi con Wavelet, beneficiano infatti di serie continue e regolarmente campionate. La presenza di valori assenti può introdurre distorsioni nell'identificazione delle periodicità e alterare l'interpretazione delle caratteristiche dinamiche del sistema monitorato. Per questo motivo è stata effettuata una procedura di imputazione finalizzata alla ricostruzione delle osservazioni mancanti.

In statistica, il termine imputazione indica il processo mediante il quale i dati assenti vengono sostituiti con dei valori utilizzando le informazioni disponibili nel dataset. Nel caso delle serie temporali univariate, come quelle considerate in questo lavoro, la stima dei valori mancanti si basa principalmente sulla dipendenza temporale esistente tra osservazioni successive (Moritz & Bartz-Beielstein, 2017). In altre parole, il comportamento della serie prima e dopo l'intervallo mancante fornisce informazioni utili per imputare in modo plausibile i valori non osservati. L'obiettivo dell'imputazione non è quello di determinare il valore reale mancante, che rimane sconosciuto, ma di ottenere una stima coerente con l'andamento generale del fenomeno analizzato.

La procedura di imputazione è stata eseguita in ambiente R (R Core Team, 2026) mediante la libreria “Amelia”, sviluppata per la gestione statistica dei dati mancanti (Honaker et al., 2011). Il metodo implementato in Amelia si basa sull'algoritmo EMB (Expectation-Maximization with Bootstrapping), che combina una procedura di ricampionamento dei dati (*bootstrap*) con l'algoritmo iterativo Expectation-Maximization (EM). In termini generali, il metodo utilizza le informazioni contenute nei dati osservati per stimare i parametri della serie e ricostruire in maniera plausibile i valori mancanti, ripetendo il procedimento fino al raggiungimento della convergenza.

Per ciascuna delle 14 stazioni di monitoraggio sono stati importati i dati relativi al tempo di acquisizione e ai corrispondenti livelli potenziometrici. Successivamente è stata verificata la presenza di eventuali osservazioni mancanti e, ove necessario, è stata applicata la procedura di imputazione. Nel caso della serie temporale del pozzo Cà Oddo sono state generate più imputazioni, al fine di verificare la stabilità delle elaborazioni successive. Per le restanti stazioni di monitoraggio, caratterizzate da un numero limitato di dati mancanti, è risultata sufficiente una singola imputazione.

Per consentire all'algoritmo di riconoscere la successione cronologica delle osservazioni, deve essere utilizzata una variabile “temporale” sequenziale come indice della serie. L'indice temporale assegna a ciascuna misura una precisa posizione all'interno della sequenza di acquisizione e permette di descrivere correttamente l'evoluzione del segnale nel tempo. Questa informazione risulta fondamentale nella fase di imputazione, poiché consente di preservare la struttura temporale della serie durante la ricostruzione dei dati mancanti.

L'algoritmo utilizza l'informazione temporale associata a ciascuna osservazione per descrivere l'evoluzione del segnale nel tempo ed imputare i valori assenti. In questo modo la ricostruzione non dipende esclusivamente dai punti immediatamente adiacenti alla lacuna, ma tiene conto dell'andamento complessivo della serie. Tale approccio risulta particolarmente adatto ai livelli potenziometrici, che generalmente presentano variazioni graduali e continue legate ai processi di ricarica e drenaggio dell'acquifero e alle condizioni idrogeologiche locali.

Al termine dell'elaborazione è stata ottenuta, per ciascuna stazione di monitoraggio, una serie temporale continua nella quale i valori mancanti risultano sostituiti da imputazioni prodotte dall'algoritmo utilizzato (Figura 4.2). Nei grafici, la curva nera rappresenta le osservazioni disponibili, mentre la curva rossa rappresenta la serie restituita dall'algoritmo. Le due curve insieme generano la serie completa, che verranno successivamente utilizzate come base per tutte le elaborazioni descritte nei capitoli successivi. In particolare, la disponibilità di dati continui ha consentito l'applicazione delle analisi spettrali mediante Trasformata di Fourier e delle analisi Wavelet, permettendo di investigare le principali periodicità presenti nelle oscillazioni piezometriche e la loro evoluzione nel tempo.

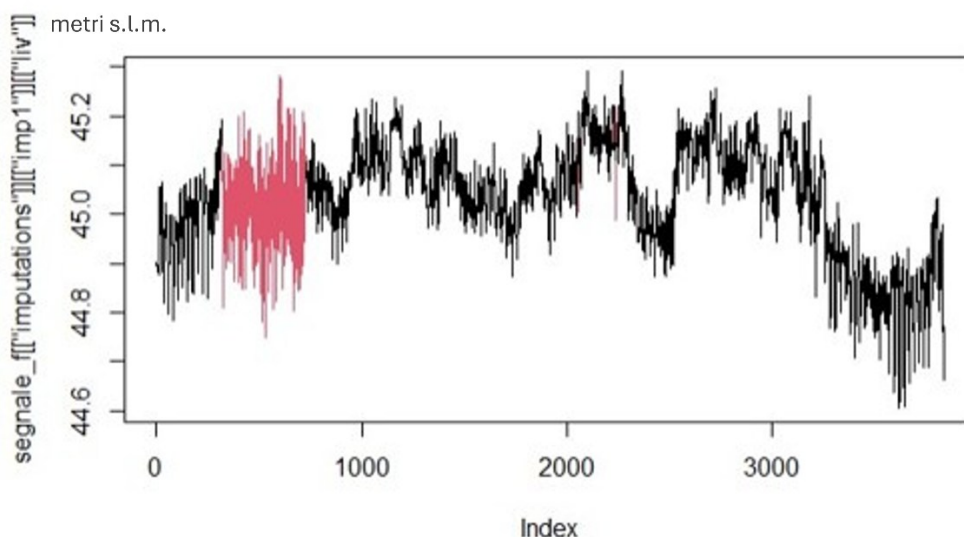


Figura 4.2 – Esempio di risultato della procedura di imputazione applicata alla serie temporale oraria del livello potenziometrico della stazione Cà Oddo dal 08/10/2025 al 22/07/2026. La curva nera rappresenta la serie completa, mentre la curva rossa evidenzia il tratto imputato in corrispondenza delle osservazioni mancanti.

4.3 Trasformata di Fourier

Le serie temporali possono essere analizzate secondo prospettive differenti. L'approccio più immediato consiste nell'osservare l'evoluzione del fenomeno nel tempo, esaminando la successione cronologica delle misure registrate. Un approccio alternativo prevede invece lo studio del segnale nel dominio delle frequenze, con l'obiettivo di individuare eventuali periodicità che ne caratterizzano il comportamento. In questo contesto si inserisce l'analisi di Fourier, fondata sul principio secondo cui ogni segnale può essere rappresentato attraverso il proprio spettro di frequenze (Bracewell, 2000).

La Trasformata di Fourier costituisce uno degli strumenti più utilizzati per l'analisi delle serie temporali e dei segnali periodici. Essa consente di scomporre un segnale complesso in una somma di componenti sinusoidali elementari, ciascuna caratterizzata da una specifica frequenza, ampiezza e fase (Bracewell, 2000). Attraverso questa decomposizione è possibile individuare le oscillazioni, che contribuiscono maggiormente alla variabilità complessiva del segnale.

L'analisi spettrale si basa sul presupposto che eventuali comportamenti regolari presenti nella serie possano essere descritti mediante componenti cicliche. In questo contesto, uno degli obiettivi principali consiste nell'identificare le frequenze dominanti e quantificare il contributo che esse forniscono alla variabilità osservata nella serie temporale (Shumway & Stoffer, 2017). Tale approccio risulta particolarmente utile nello studio di fenomeni naturali caratterizzati da oscillazioni ricorrenti, consentendo di evidenziare periodicità che non sono immediatamente riconoscibili attraverso la semplice osservazione della serie nel dominio del tempo.

Nel presente studio la Trasformata di Fourier è stata applicata alle serie temporali dei livelli potenziometrici registrati presso le 14 stazioni di monitoraggio della rete TREASURE. Le serie, precedentemente sottoposte alla procedura di imputazione dei dati mancanti, risultano costituite da osservazioni orarie continue, condizione necessaria per l'applicazione dell'analisi spettrale.

L'obiettivo dell'analisi è individuare le principali periodicità presenti nelle oscillazioni potenziometriche registrate durante il periodo di monitoraggio. Attraverso il passaggio dal dominio del tempo al dominio delle frequenze, è possibile evidenziare eventuali ciclicità presenti nel segnale e quantificarne l'importanza relativa. In questa fase metodologica l'analisi è finalizzata esclusivamente all'identificazione delle componenti periodiche presenti nelle serie, mentre la loro interpretazione in termini di processi idrogeologici verrà affrontata nel capitolo dedicato alla discussione dei risultati.

L'analisi spettrale è stata eseguita in ambiente R utilizzando la funzione `spectrum()`, che utilizza la FFT (Fast Fourier Transform). Poiché i dati sono costituiti da serie temporali discrete, non si può utilizzare la Trasformata di Fourier continua (FT). Al posto di FT, `spectrum()` calcola la densità spettrale utilizzando un'implementazione della Trasformata di Fourier Discreta (DFT), che si basa proprio sull'algoritmo FFT. Per ciascuna stazione di monitoraggio è stato quindi calcolato il periodogramma della serie, ottenendo una rappresentazione grafica della distribuzione della potenza del segnale in funzione della

frequenza. Al fine di ridurre il rumore presente nel periodogramma grezzo e rendere più agevole l'identificazione delle principali periodicità, è stato applicato uno smussamento spettrale mediante il parametro spans della funzione spectrum(), che implementa un filtro di Daniell (si tratta essenzialmente di una media mobile). Tale procedura consente di evidenziare i principali picchi spettrali senza modificarne significativamente la posizione in frequenza.

Dal punto di vista logico, la procedura confronta il segnale osservato con una serie di oscillazioni sinusoidali caratterizzate da frequenze differenti e valuta il contributo di ciascuna di esse alla variabilità complessiva della serie (Shumway & Stoffer, 2017). Il risultato di questa elaborazione è uno spettro di potenza, nel quale le frequenze associate ai contributi più significativi emergono sotto forma di picchi spettrali.

L'analisi è stata eseguita separatamente per tutte le stazioni della rete TREASURE, consentendo di ottenere uno spettro di potenza specifico per ciascuna serie potenziometrica.

Lo spettro di potenza restituito dalla FFT rappresenta la distribuzione della variabilità del segnale tra le diverse frequenze che lo compongono.

Nelle rappresentazioni grafiche ottenute, l'asse delle ascisse riporta la frequenza, espressa in cicli per osservazione (Shumway & Stoffer, 2017). Poiché le misure considerate nel presente studio sono registrate con frequenza oraria, la frequenza può essere interpretata come numero di cicli per ora.

L'asse delle ordinate rappresenta invece la potenza spettrale, ovvero una misura dell'importanza relativa della corrispondente periodicità. Valori elevati della potenza indicano che una determinata frequenza contribuisce in maniera significativa alla variabilità complessiva del segnale.

Un elemento particolarmente importante nell'interpretazione dello spettro è rappresentato dalla presenza di picchi spettrali. Un picco identifica infatti una frequenza dominante all'interno della serie temporale e segnala l'esistenza di una periodicità ricorrente associata a quella specifica frequenza (Shumway & Stoffer, 2017).

Per una più immediata interpretazione dei risultati, la frequenza può essere convertita nel corrispondente periodo mediante la relazione:

$$T = 1/f$$

dove (T) rappresenta il periodo e (f) la frequenza.

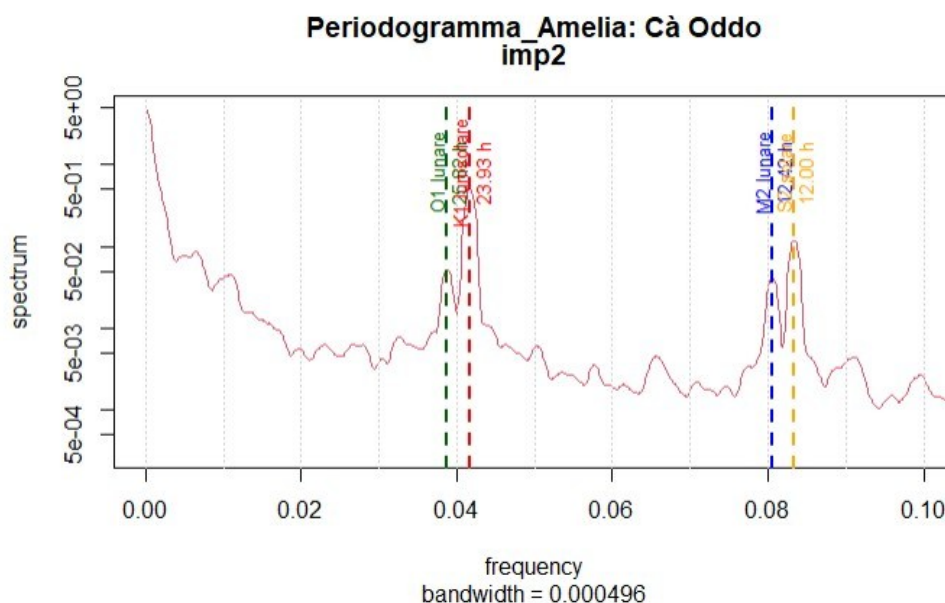


Figura 4.3 – Esempio di periodogramma applicando la FFT alla serie potenziometrica del pozzo Cà Oddo.

Nel caso illustrato in Figura 4.3, relativo alla stazione Cà Oddo, lo spettro evidenzia quattro picchi localizzati in corrispondenza delle principali componenti mareali considerate. I due massimi più evidenti sono associati alla componente K1, con periodo di circa 23,93 ore (frequenza $\approx 0,042$ cicli/ora), e alla componente S2, con periodo di 12 ore ($\approx 0,083$ cicli/ora). Sono inoltre riconoscibili due picchi di minore intensità, corrispondenti alle componenti O1, con periodo di circa 25,82 ore ($\approx 0,039$ cicli/ora), e M2, con periodo di circa 12,42 ore ($\approx 0,081$ cicli/ora). Tali valori corrispondono rispettivamente a periodi di circa 25 ore e 12,5 ore. In questa fase dell'analisi lo spettro viene utilizzato per identificare qualitativamente le principali componenti periodiche presenti nel segnale e per individuare le frequenze maggiormente rappresentative.

Un limite importante dell'analisi FFT è rappresentato dall'ipotesi di stazionarietà del segnale. Nella sua formulazione classica, la trasformata assume infatti che le componenti periodiche identificate siano presenti con caratteristiche sostanzialmente costanti lungo l'intera serie temporale. Di conseguenza, l'analisi spettrale consente di individuare quali frequenze siano presenti nel segnale, ma non permette di stabilire quando tali frequenze risultino predominanti o come la loro intensità vari nel tempo. Questa limitazione ha portato allo sviluppo di tecniche tempo-frequenza, tra cui l'analisi wavelet, che verrà descritta nel paragrafo successivo.

4.4 Trasformate Wavelet

L'obiettivo principale dell'analisi wavelet è determinare il contenuto in frequenza di un segnale e descrivere come tale contenuto vari nel tempo (Labat, 2005). Questa metodologia consente infatti di analizzare simultaneamente le periodicità del segnale e la loro evoluzione lungo l'intera serie temporale.

L'analisi si basa sull'utilizzo di particolari funzioni matematiche denominate wavelet, caratterizzate da una durata limitata nel tempo e da un andamento oscillatorio. A differenza delle funzioni sinusoidali impiegate nell'analisi di Fourier, le wavelet risultano localizzate sia nel dominio del tempo sia nel dominio delle frequenze, consentendo di investigare simultaneamente le due dimensioni del segnale (Torrence & Compo, 1998).

Tutte le wavelet derivano da una funzione di riferimento detta wavelet madre, che viene successivamente modificata per analizzare differenti scale temporali e differenti istanti della serie. La scelta della wavelet madre rappresenta un passaggio fondamentale dell'analisi, poiché ne influenza la capacità di identificare le diverse componenti periodiche presenti nel segnale.

Nel presente studio è stata utilizzata la wavelet classica di Morlet, una delle funzioni maggiormente impiegate nelle applicazioni geofisiche, climatiche e idrogeologiche (Torrence & Compo, 1998). Essa è costituita da una funzione sinusoidale complessa espressa come:

$$\psi(t) = \pi^{-\frac{1}{4}} e^{i\omega_0 t} e^{-\frac{t^2}{2}}$$

La wavelet di Morlet è costituita dalla combinazione di due componenti: una senoide complessa, $e^{i\omega_0 t}$, che fornisce l'informazione di frequenza, e una funzione gaussiana, $e^{-t^2/2}$, che concentra l'energia della wavelet attorno a un intervallo temporale limitato.

Per analizzare il segnale nel tempo, la wavelet madre viene successivamente dilatata o compressa e traslata lungo l'asse temporale. La funzione risultante, detta wavelet scalata e traslata, è definita da:

$$\psi_{s,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{s}} \psi\left(\frac{t-\tau}{s}\right)$$

Dove s rappresenta il parametro di scala che consente alla funzione di dilatarsi o comprimersi, τ rappresenta il parametro temporale che consente invece di far scorrere la wavelet lungo il segnale, permettendo di analizzare il comportamento delle diverse periodicità nei differenti istanti temporali e il fattore $1/\sqrt{s}$ costituisce invece un coefficiente di normalizzazione, che mantiene costante l'energia della wavelet al variare della scala

La Trasformata Wavelet Continua (TWC) viene ottenuta mediante un'operazione matematica denominata convoluzione. Durante questa procedura la wavelet, opportunamente scalata e traslata, viene fatta scorrere lungo il segnale e confrontata con esso nelle diverse posizioni temporali e alle diverse scale considerate. Il risultato

dell'operazione è il coefficiente wavelet $W_x(s, \tau)$, che esprime il grado di somiglianza tra il segnale e la wavelet in un determinato istante temporale e per una specifica scala di analisi. Valori elevati del coefficiente indicano una maggiore corrispondenza tra il segnale e la periodicità investigata in quello specifico intervallo temporale.

$$W_x(s, \tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \psi_{s,\tau}^*(t) dt$$

L'analisi wavelet è stata eseguita in ambiente R utilizzando la libreria WaveletComp (Roesch, A., & Schmidbauer, H. 2025), che consente il calcolo della Trasformata Wavelet Continua e la successiva rappresentazione grafica dei risultati. Le elaborazioni sono state applicate alle serie temporali ottenute al termine della procedura di imputazione dei dati mancanti.

Per ciascuna serie è stata utilizzata la funzione `analyze.wavelet()`, che calcola i coefficienti della Trasformata Wavelet Continua impiegando la wavelet di Morlet come funzione di riferimento. L'analisi è stata eseguita assumendo un intervallo di campionamento unitario ($dt = 1$), corrispondente alla frequenza oraria delle osservazioni.

Il principale risultato dell'analisi wavelet è rappresentato dallo spettro di potenza wavelet, comunemente denominato scalogramma (Figura 4.4), che consente di visualizzare simultaneamente la distribuzione temporale e periodica delle oscillazioni presenti nel segnale.

Nelle rappresentazioni grafiche ottenute, l'asse delle ascisse descrive l'evoluzione temporale della serie mediante l'indice cronologico delle osservazioni, mentre l'asse delle ordinate riporta il periodo delle oscillazioni espresso in ore. Valori elevati del periodo corrispondono a oscillazioni più lente e persistenti nel tempo, mentre valori ridotti rappresentano oscillazioni caratterizzate da frequenze più elevate.

La scala cromatica rappresenta la potenza Wavelet, indicando l'intensità delle oscillazioni presenti nel segnale alle diverse periodicità e nel corso del tempo. Le tonalità fredde identificano regioni a bassa energia, mentre le tonalità calde evidenziano la presenza di periodicità maggiormente significative.

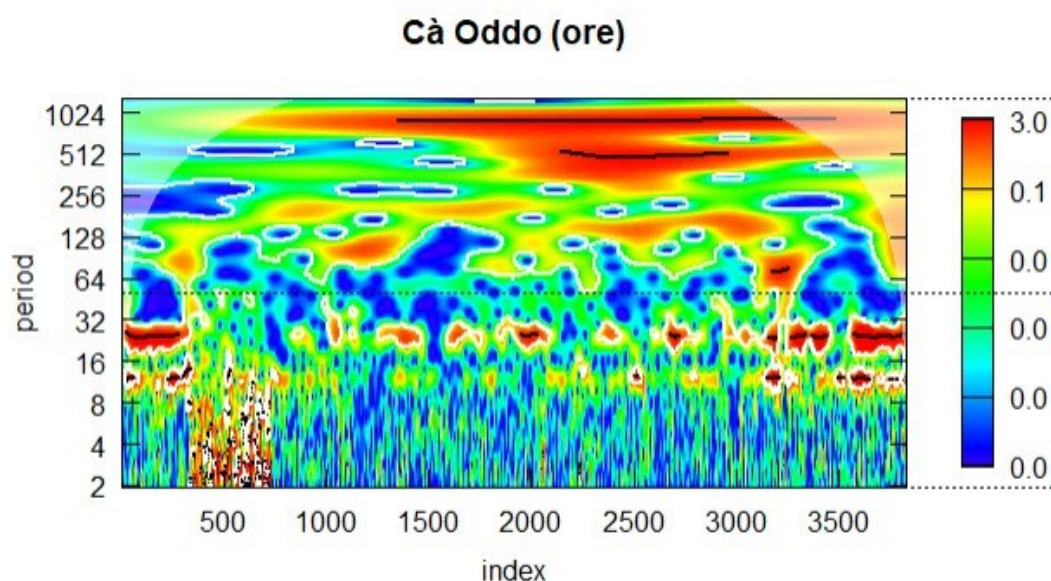


Figura 4.4 – *Spettro di potenza Wavelet della serie potenziometrica oraria acquisita presso la stazione Cà Oddo dal 08/10/2025 al 22/07/2026. L'asse delle ascisse rappresenta l'evoluzione temporale della serie, mentre l'asse delle ordinate riporta il periodo delle oscillazioni espresso in ore. La scala cromatica indica l'intensità delle oscillazioni presenti nel segnale.*

Le principali ciclicità vengono identificate osservando le aree a maggiore potenza, evidenziate dai colori più caldi dello scalogramma. In particolare la curva nera delimita le zone nella quale l'analisi risulta maggiormente affidabile.

Le informazioni ottenute mediante l'analisi Wavelet consentono quindi di individuare le principali ciclicità presenti nel segnale e di osservarne l'evoluzione durante il periodo di monitoraggio. I risultati dell'applicazione della metodologia alle serie potenziometriche della rete TREASURE vengono illustrati e discussi nel capitolo seguente.

5 Risultati e Discussione

In questo capitolo vengono presentati i risultati ottenuti dall'analisi delle serie temporali acquisite dalla rete di monitoraggio del progetto TREASURE. I dati utilizzati derivano dalle stazioni installate nei Campi Geotermici Euganei (EuGFs) e coprono il periodo compreso tra maggio/giugno 2025 e agosto 2026, corrispondente circa al primo anno completo di acquisizione della nuova rete di monitoraggio.

L'analisi riguarda principalmente le misure di livello potenziometrico registrate nei pozzi appartenenti alla rete. Per alcune stazioni sono inoltre disponibili dati di temperatura acquisiti mediante sonde installate a fondo pozzo. Per descrivere l'andamento generale del sistema geotermico, le serie temporali sono state rappresentate mediante valori medi giornalieri, ottenuti a partire dalle acquisizioni effettuate con frequenza oraria. Le stesse serie orarie sono state inoltre utilizzate per le analisi nel dominio delle frequenze mediante Trasformata di Fourier (FFT) e analisi Wavelet, finalizzate all'individuazione delle principali periodicità presenti nei segnali potenziometrici.

L'obiettivo di questa prima analisi è quello di caratterizzare il comportamento generale delle stazioni di monitoraggio e valutare la qualità e la continuità dei dati acquisiti dalla nuova rete. Per ciascuna stazione vengono pertanto presentati l'andamento temporale dei livelli potenziometrici e, successivamente, i risultati delle analisi FFT e Wavelet, rappresentati rispettivamente mediante periodogrammi e scalogrammi. I grafici riportati nei prossimi paragrafi consentono di evidenziare le principali caratteristiche dei dati acquisiti, mettendo in risalto eventuali trend, variazioni stagionali e differenze tra i diversi pozzi monitorati. L'interpretazione dei risultati ottenuti dalle analisi spettrali sarà invece affrontata nel capitolo dedicato alla discussione.

5.1 Romana 1

Il pozzo Romana 1 (MT_RM1) è ubicato nel comune di Montegrotto Terme, all'interno dell'area centrale dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs). Il pozzo ha fatto parte della rete storica di monitoraggio ed è stato oggetto di acquisizioni continue nel periodo compreso tra il 10/04/2014 e il 30/11/2021.

I dati raccolti durante il monitoraggio storico hanno evidenziato livelli potenziometrici medi intorno a 6,3 m s.l.m. e temperature superficiali prossime a 30 °C, caratterizzati da variazioni stagionali.

Nell'ambito del progetto TREASURE, il monitoraggio è stato riattivato il 23/04/2025 mediante l'installazione di un trasduttore di livello immerso a 8,5 m dal bocca-pozzo. Durante le operazioni di installazione è stata misurata una soggiacenza pari a 6,23 m dal bocca-pozzo. La Figura 5.1.1 mostra la configurazione della stazione di monitoraggio installata presso il pozzo Romana 1.



Figura 5.1.1: Stazione di monitoraggio installata nel pozzo Romana 1.

La stratigrafia del pozzo, riportata in Figura 5.1.2, consente di inquadrare la successione delle unità geologiche intercettate e di contestualizzare le misure acquisite dalla stazione di monitoraggio.

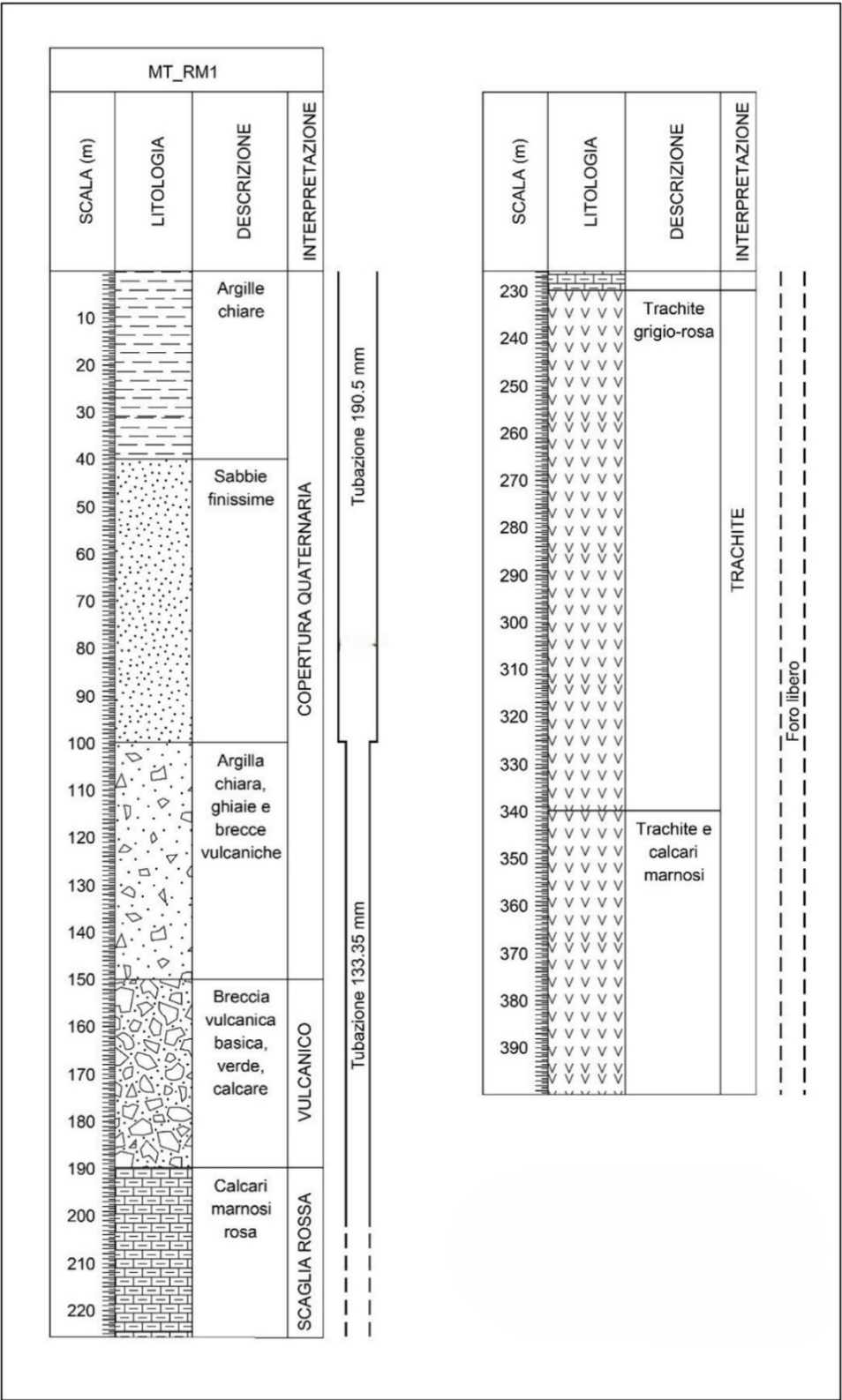


Figura 5.1.2: Stratigrafia del pozzo Romana 1.

La Figura 5.1.3 riporta l'andamento dei livelli potenziometrici registrati nel periodo compreso tra il 23/04/2025 e il 22/07/2026.

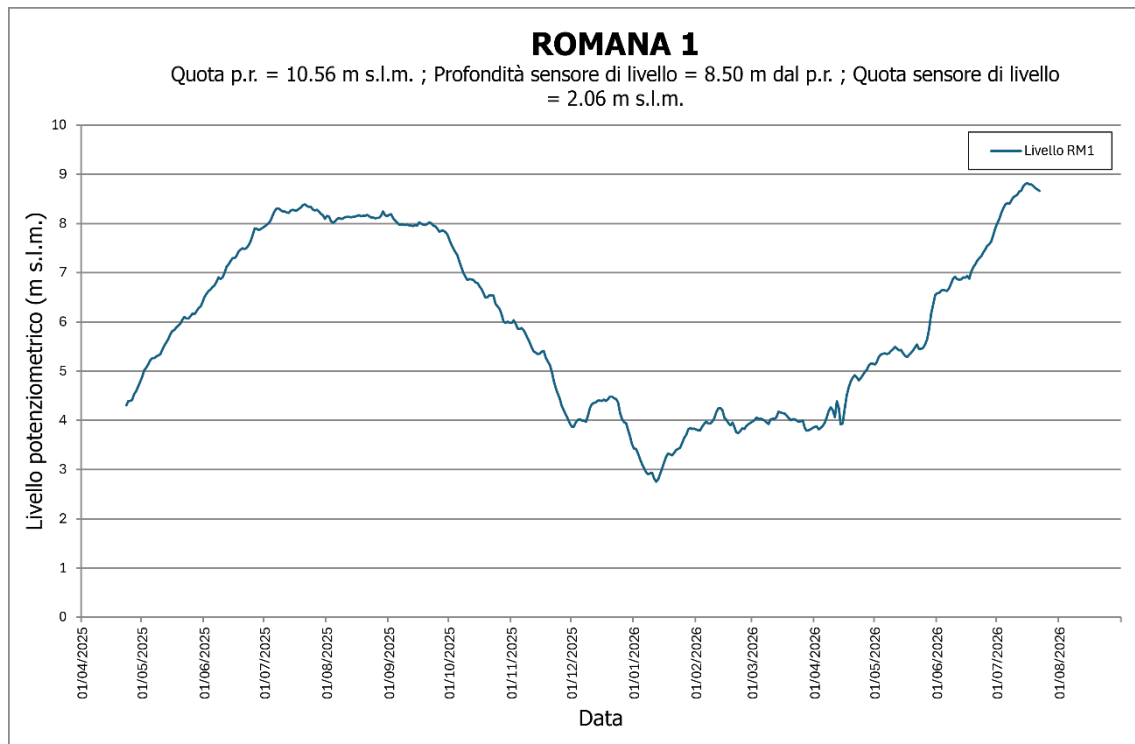


Figura 5.1.3: *Serie temporale giornaliera del livello potenziometrico del pozzo Romana 1 durante il primo anno di monitoraggio.*

La serie potenziometrica mostra un andamento stagionale caratterizzato da un abbassamento dei livelli durante il periodo invernale, nel quale viene raggiunto il minimo potenziometrico, seguito da una successiva fase di recupero. Il livello aumenta progressivamente nei mesi successivi fino a raggiungere il massimo assoluto durante il periodo estivo.

La Figura 5.1.4 riporta il periodogramma ottenuto mediante analisi FFT della serie potenziometrica oraria.

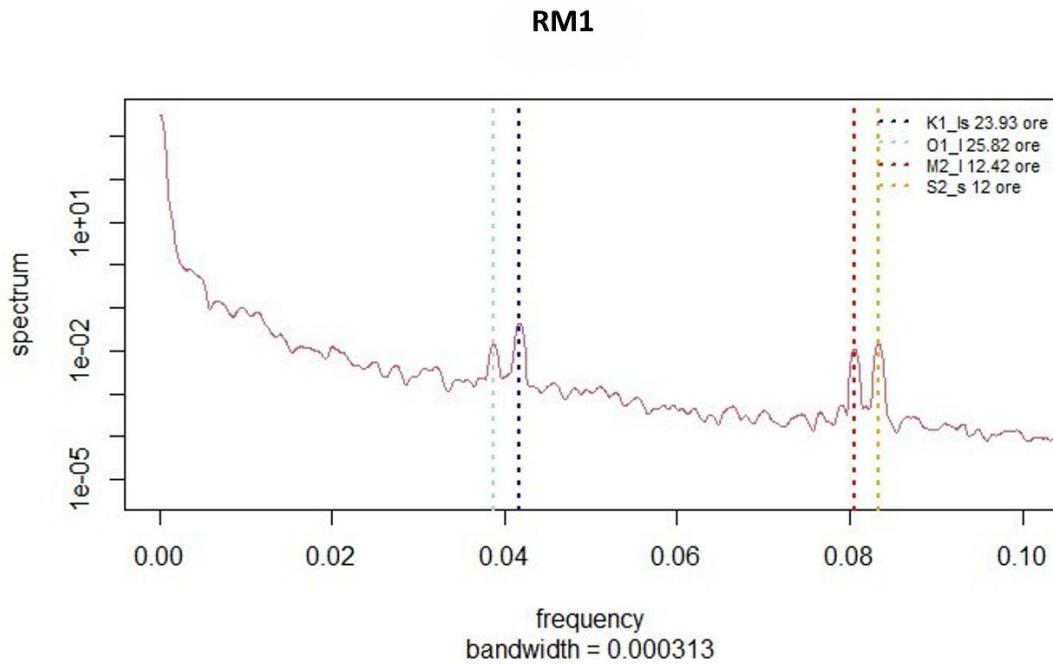


Figura 5.1.4: *Periodogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Romana 1.*

Lo spettro evidenzia alcuni massimi in corrispondenza delle principali periodicità mareali considerate. I picchi maggiormente riconoscibili sono associati alle componenti K1, con frequenza di circa 1,00 cicli/giorno e periodo di circa 23,93 ore, e S2, con frequenza di 2,00 cicli/giorno e periodo di 12 ore. Risultano inoltre individuabili, sebbene con minore evidenza, le componenti O1, con frequenza di circa 0,93 cicli/giorno e periodo di circa 25,82 ore, e M2, con frequenza di circa 1,93 cicli/giorno e periodo di circa 12,42 ore. Nel complesso, i picchi associati a queste periodicità sono presenti, ma non risultano particolarmente intensi rispetto al resto dello spettro.

Lo scalogramma ottenuto mediante analisi Wavelet è riportato in Figura 5.1.5.

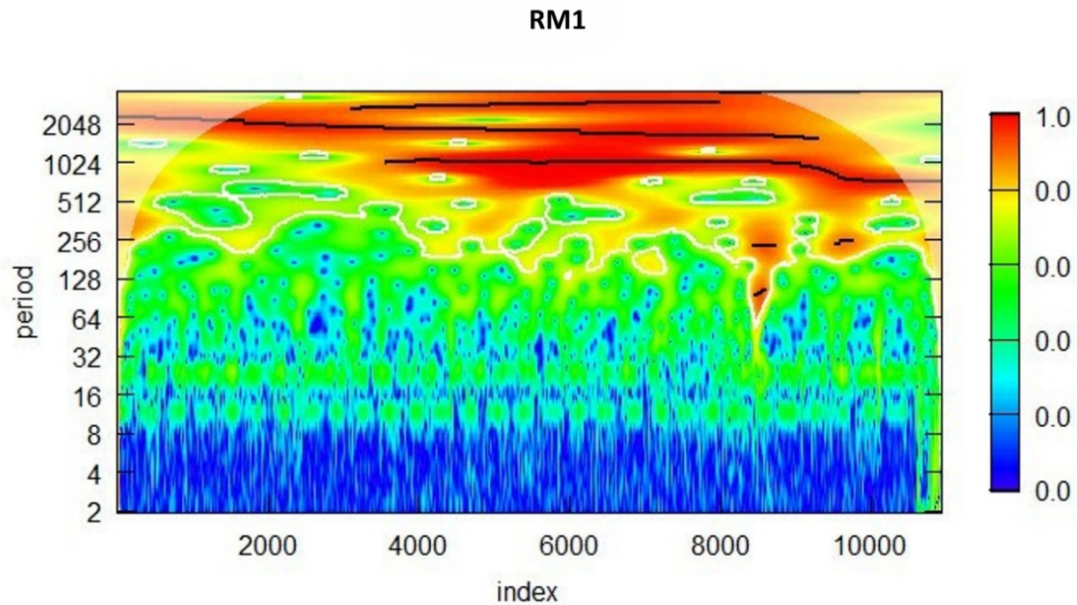


Figura 5.1.5: *Scalogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Romana 1.*

Lo scalogramma consente di osservare la distribuzione temporale delle periodicità individuate. In corrispondenza delle periodicità diurne, prossime a 24–26 ore e a frequenze di circa 0,93–1,00 cicli/giorno, e semidiurne, prossime a 12–12,4 ore e a frequenze di circa 1,93–2,00 cicli/giorno, non si osservano bande continue durante l'intero periodo analizzato. Tali periodicità compaiono quindi in maniera discontinua nel corso della serie e non mostrano una persistenza evidente nel tempo

5.2 Rigati 2

Il pozzo Rigati 2 (AB_RI2) è ubicato nel comune di Abano Terme, all'interno dell'area centrale dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs). Il pozzo ha fatto parte della rete storica di monitoraggio ed è stato monitorato in modo continuativo dal 10/09/1982 al 27/11/2020.

Le misure acquisite durante il periodo di monitoraggio storico hanno evidenziato un livello potenziometrico medio di circa 1,7 m s.l.m. e una temperatura superficiale media prossima a 20 °C, entrambi caratterizzati da variazioni stagionali.

Nell'ambito del progetto TREASURE, il monitoraggio è stato riattivato il 23/04/2025 mediante l'installazione di un trasduttore di livello immerso a circa 11,0 m dal bocca-pozzo. Durante le operazioni di installazione è stata misurata una soggiacenza pari a 8,37 m dal bocca-pozzo.

Una particolarità di questa stazione riguarda il sistema di acquisizione: il datalogger è stato installato all'interno del box di protezione appartenente al precedente sistema di monitoraggio, ancora presente in sito, e collegato al pannello solare esistente.

La Figura 5.2.1 mostra la configurazione della stazione di monitoraggio installata presso il pozzo Rigati 2.



Figura 5.2.1: Stazione di monitoraggio installata nel pozzo Rigati 2.

La stratigrafia del pozzo, riportata in Figura 5.2.2, consente di inquadrare la successione delle unità geologiche intercettate e di contestualizzare le misure acquisite dalla stazione di monitoraggio.

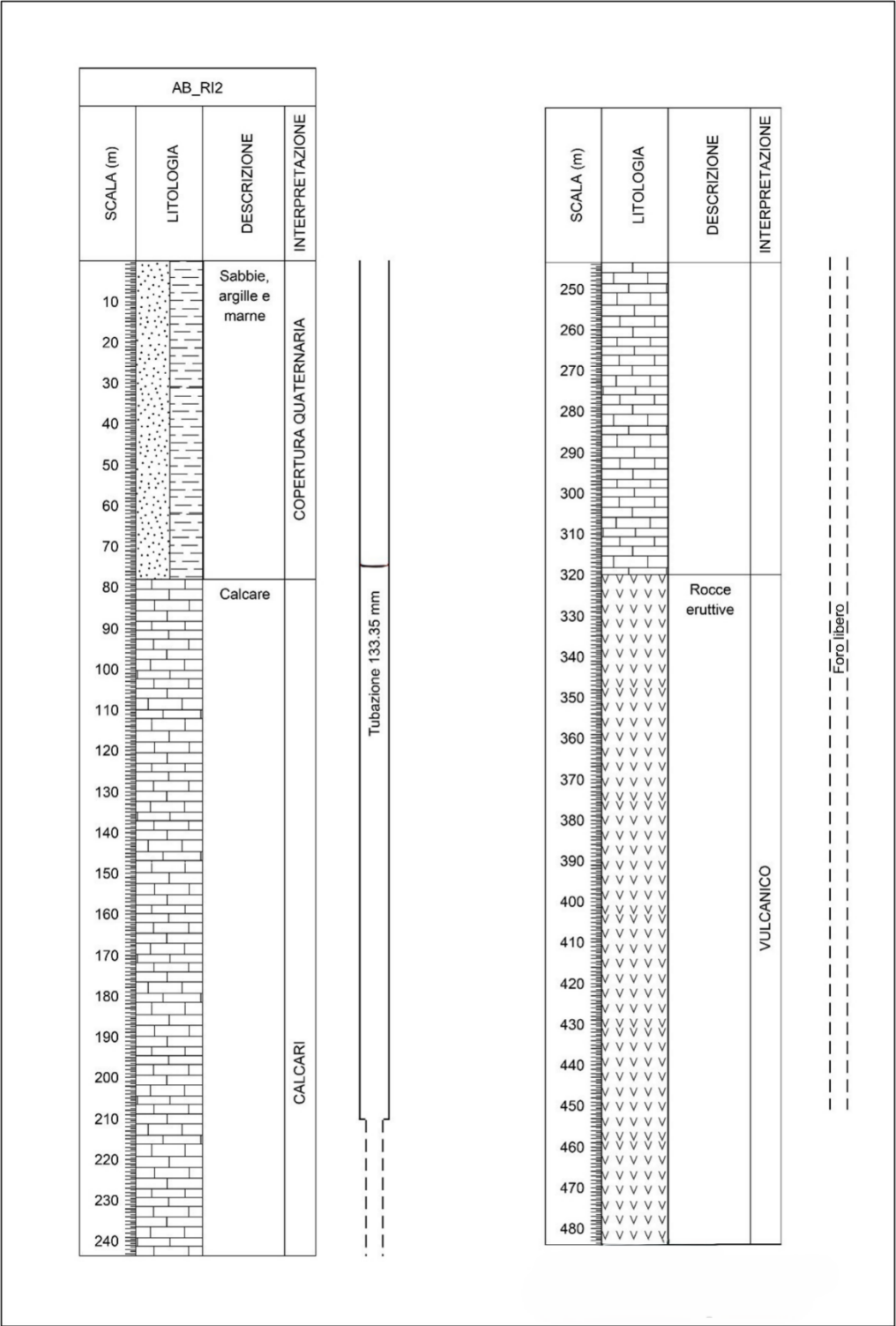


Figura 5.2.2: Stratigrafia del pozzo Rigati 2.

La Figura 5.2.3 riporta l'andamento dei livelli potenziometrici registrati nel periodo compreso tra il 23/04/2025 e il 22/07/2026.

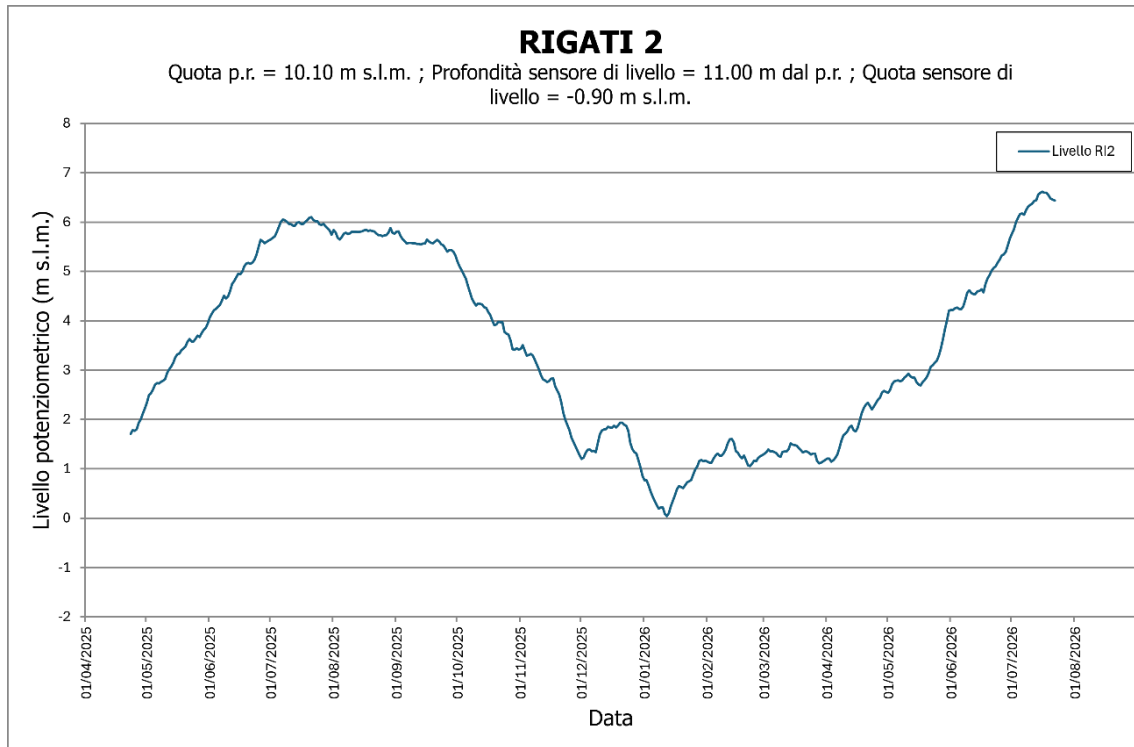


Figura 5.2.3: Serie temporale giornaliera del livello potenziometrico del pozzo Rigati 2 durante il primo anno di monitoraggio.

La serie potenziometrica mostra un andamento simile a quello osservato nel pozzo Romana 1, caratterizzato da un abbassamento dei livelli durante il periodo invernale e dal successivo recupero, fino al raggiungimento dei valori massimi nel periodo estivo.

Il periodogramma, riportato in Figura 5.2.4, presenta caratteristiche analoghe a quelle osservate per Romana 1.

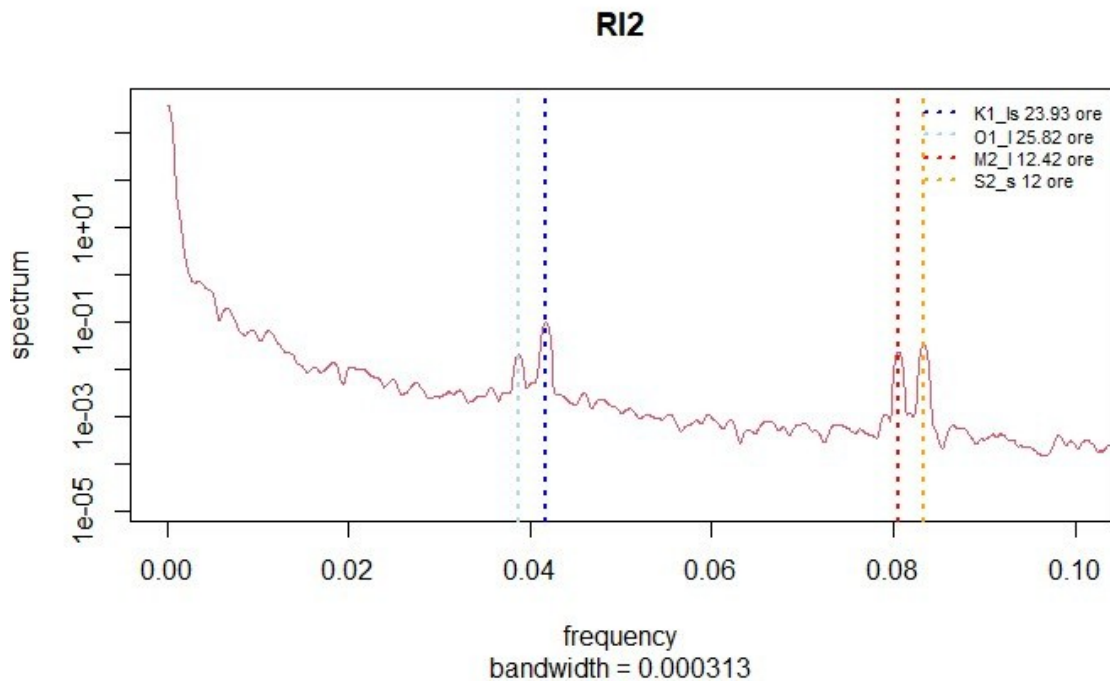


Figura 5.2.4: Periodogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Rigati 2.

I picchi maggiormente riconoscibili sono associati alle componenti K1, con frequenza di circa 1,00 cpd e periodo di circa 23,93 ore, e S2, con frequenza di 2,00 cpd e periodo di 12 ore. Le componenti O1, con frequenza di circa 0,93 cpd e periodo di circa 25,82 ore, e M2, con frequenza di circa 1,93 cpd e periodo di circa 12,42 ore, risultano invece meno evidenti. Nel complesso, i massimi associati alle periodicità mareali considerate non risultano particolarmente intensi rispetto al resto dello spettro.

Lo scalogramma Wavelet è riportato in Figura 5.2.5.

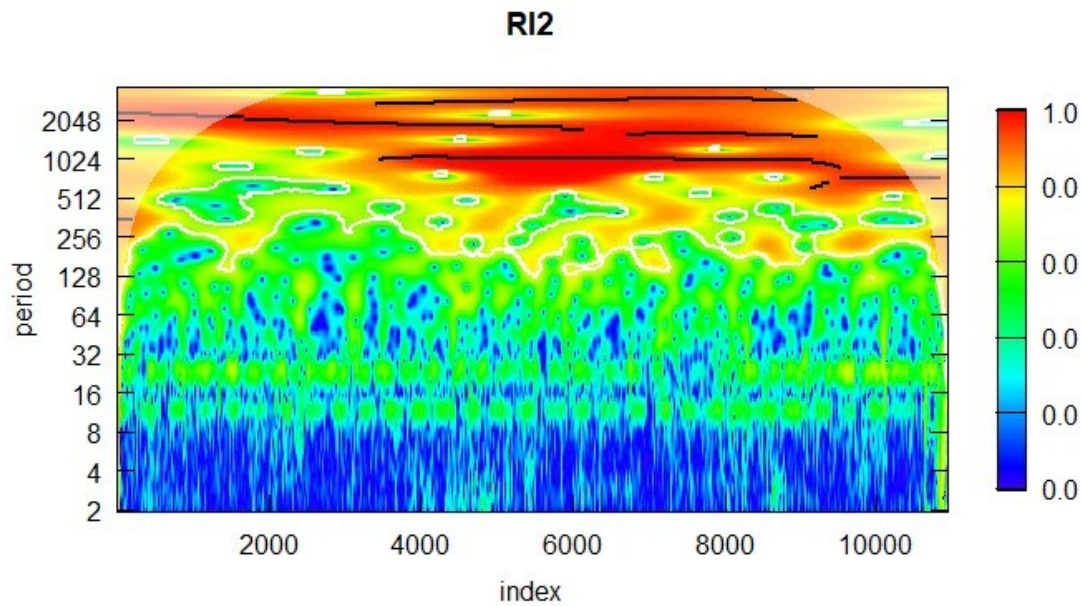


Figura 5.2.5: *Scalogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Rigati 2.*

Lo scalogramma mostra che le periodicità diurne, prossime a 24–26 ore e a frequenze di circa 0,93–1,00 cpd, e semidiurne, prossime a 12–12,4 ore e a frequenze di circa 1,93–2,00 cpd, individuate nel periodogramma non presentano una marcata continuità nel tempo, comparendo in maniera discontinua nel corso della serie analizzata.

5.3 Regazzoni 1

Il pozzo Regazzoni 1 (GZ_RE1) è ubicato nel comune di Galzignano Terme e rappresenta uno dei pochi punti di monitoraggio situati nel settore periferico dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs). La principale particolarità di questo pozzo è la presenza di condizioni artesiane, con livello potenziometrico al di sopra della bocca-pozzo.

Il pozzo ha fatto parte della rete storica di monitoraggio ed è stato monitorato in modo continuativo dal 31/01/1984 al 06/10/2021. Le misure acquisite nel corso del monitoraggio storico hanno evidenziato valori medi di livello potenziometrico pari a circa 16,8 m s.l.m., una pressione media prossima a 1,4 bar e temperature superficiali intorno a 20 °C, tutti caratterizzati da variazioni stagionali.

Nell'ambito del progetto TREASURE, il monitoraggio è stato riattivato il 23/04/2025 mediante l'installazione di un trasduttore di pressione dedicato ai pozzi artesiani. Il sensore è stato installato in corrispondenza della testa pozzo, posta a circa 80 cm al di sopra del piano campagna. Al momento dell'attivazione della strumentazione è stata misurata una prevalenza pari a 14,37 m sopra la bocca-pozzo.

A differenza di altre stazioni della rete, non è stata installata una sonda di temperatura. La presenza di condizioni artesiane rende infatti particolarmente complesso il posizionamento di una sonda a fondo foro, mentre eventuali misure effettuate a basse profondità non sarebbero rappresentative delle caratteristiche termiche dei fluidi profondi. Per questa stazione è stato inoltre riutilizzato il pannello solare appartenente al precedente sistema di monitoraggio, ancora presente in sito.

La Figura 5.3.1 mostra la configurazione della stazione di monitoraggio installata presso il pozzo Regazzoni 1.



Figura 5.3.1: Stazione di monitoraggio installata nel pozzo Regazzoni 1.

La stratigrafia del pozzo, riportata in Figura 5.3.2, consente di inquadrare la successione delle unità geologiche intercettate e di contestualizzare le misure acquisite dalla stazione di monitoraggio.

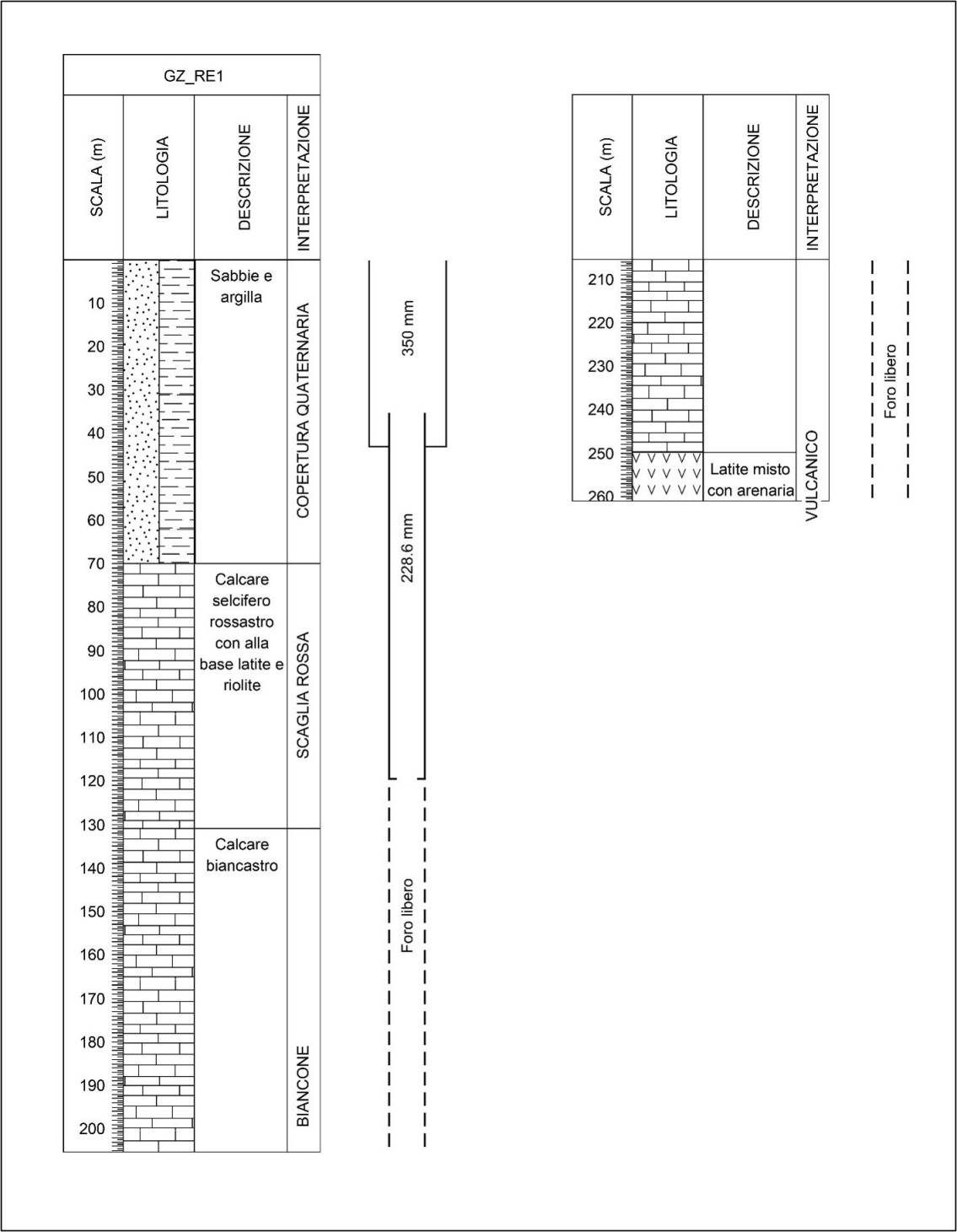


Figura 5.3.2: Stratigrafia del pozzo Regazzoni 1.

La Figura 5.3.3 riporta l'andamento dei livelli potenziometrici registrati nel periodo compreso tra il 23/04/2025 e il 22/07/2026.

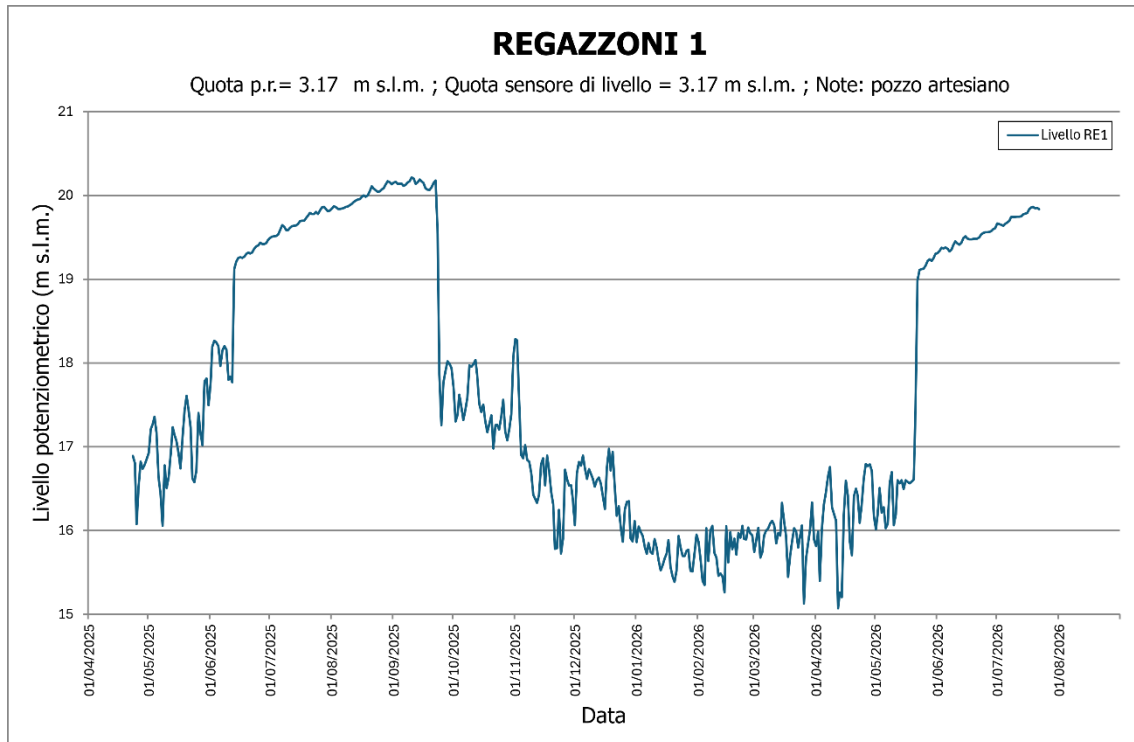


Figura 5.3.3: Serie temporale giornaliera del livello potenziometrico del pozzo Regazzoni 1 durante il primo anno di monitoraggio.

La serie presenta un andamento stagionale complessivamente analogo a quello osservato negli altri pozzi della rete, con una fase di abbassamento durante il periodo invernale e un successivo recupero dei livelli verso il periodo estivo.

Le analisi spettrali mostrano invece un segnale particolarmente evidente. Il periodogramma, riportato in Figura 5.3.4, presenta due picchi molto marcati.

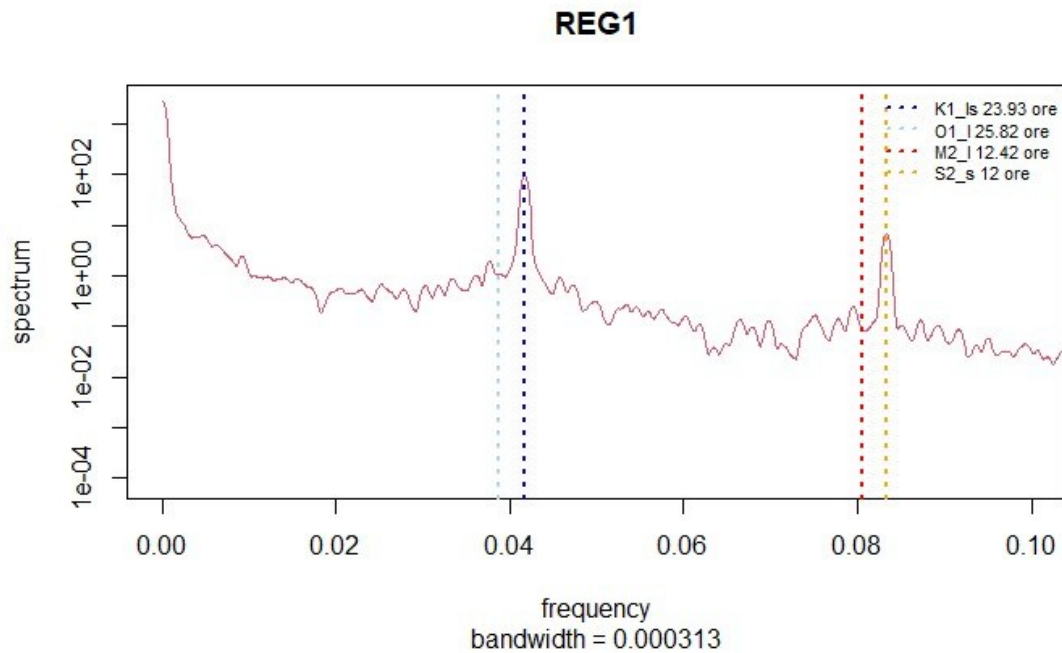


Figura 5.3.4: *Periodogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Regazzoni 1.*

I due picchi sono associati alle componenti K1, con frequenza di circa 1,00 cpd e periodo di circa 23,93 ore, e S2, con frequenza di 2,00 cpd e periodo di 12 ore. Le componenti O1, con frequenza di circa 0,93 cpd e periodo di circa 25,82 ore, e M2, con frequenza di circa 1,93 cpd e periodo di circa 12,42 ore, non risultano invece chiaramente distinguibili nello spettro.

Lo scalogramma Wavelet, riportato in Figura 5.3.5, conferma la presenza delle periodicità individuate nel periodogramma.

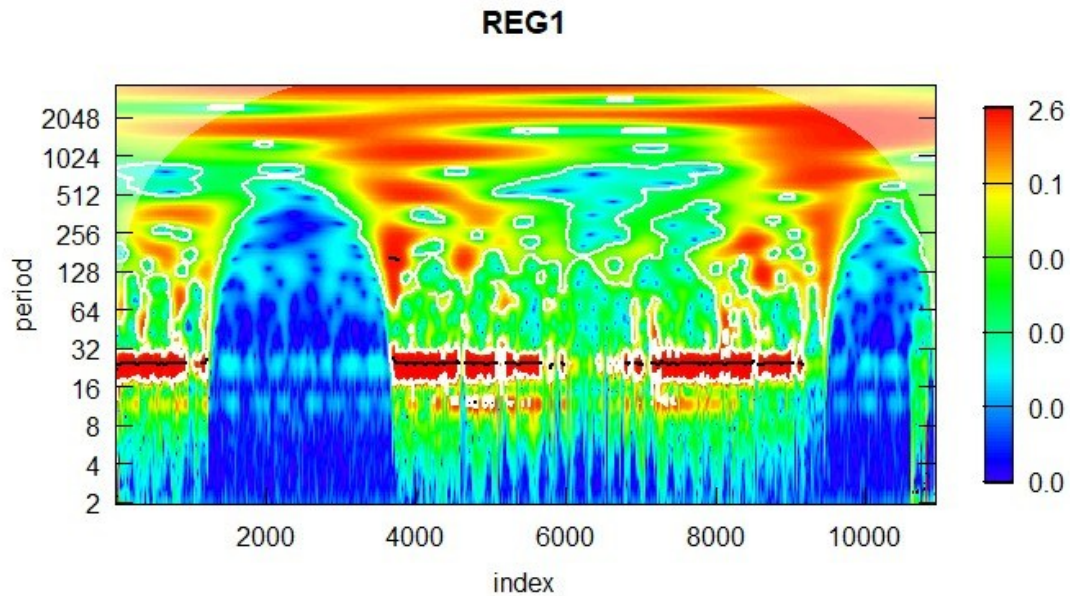


Figura 5.3.5: Scalogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Regazzoni 1.

In corrispondenza delle periodicità di circa 24 ore, corrispondenti a frequenze prossime a 1,00 cpd, e di circa 12 ore, corrispondenti a frequenze prossime a 2,00 cpd, sono infatti visibili bande ad elevata potenza, ben riconoscibili in diversi intervalli della serie. Tali periodicità non persistono in maniera continua per l'intero periodo di monitoraggio, ma mostrano un comportamento intermittente, alternando intervalli nei quali risultano particolarmente evidenti ad altri nei quali la loro intensità si riduce.

5.4 Buja Monteortone 11

Il pozzo Buja Monteortone 11 (AB_BM11) è ubicato nel comune di Abano Terme, in località Monteortone, all'interno dell'area centrale dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs). A differenza dei pozzi descritti in precedenza, AB_BM11 non ha fatto parte della rete storica di monitoraggio; le misure disponibili derivano esclusivamente dalle attività svolte nell'ambito del progetto TREASURE.

La stazione è stata attivata il 24/04/2025 mediante l'installazione di un trasduttore di livello immerso a circa 20 m dal bocca-pozzo e di una sonda di temperatura posizionata a 125 m di profondità entro le tubazioni. Durante le operazioni di installazione è stata misurata una soggiacenza pari a 16,35 m dal bocca-pozzo, mentre la temperatura registrata in corrispondenza della sonda è risultata pari a 58,8 °C.

Il pozzo è collocato all'interno di una struttura in calcestruzzo destinata alla protezione e all'ispezione dell'opera. Considerata la presenza di episodi di vandalismo segnalati nell'area in passato, il datalogger e il pannello solare sono stati installati su un supporto metallico di altezza maggiore rispetto a quello adottato nelle altre stazioni della rete, al fine di ridurre il rischio di danneggiamenti o manomissioni.

La Figura 5.4.1 mostra la configurazione della stazione di monitoraggio installata presso il pozzo Buja Monteortone 11.



Figura 5.4.1 Stazione di monitoraggio installata nel pozzo Buja Monteortone 11.

La stratigrafia del pozzo, riportata in Figura 5.4.2, consente di osservare le principali unità geologiche intercettate e la profondità di installazione della sonda di temperatura, posizionata a 125 m e indicata in rosso nella figura.

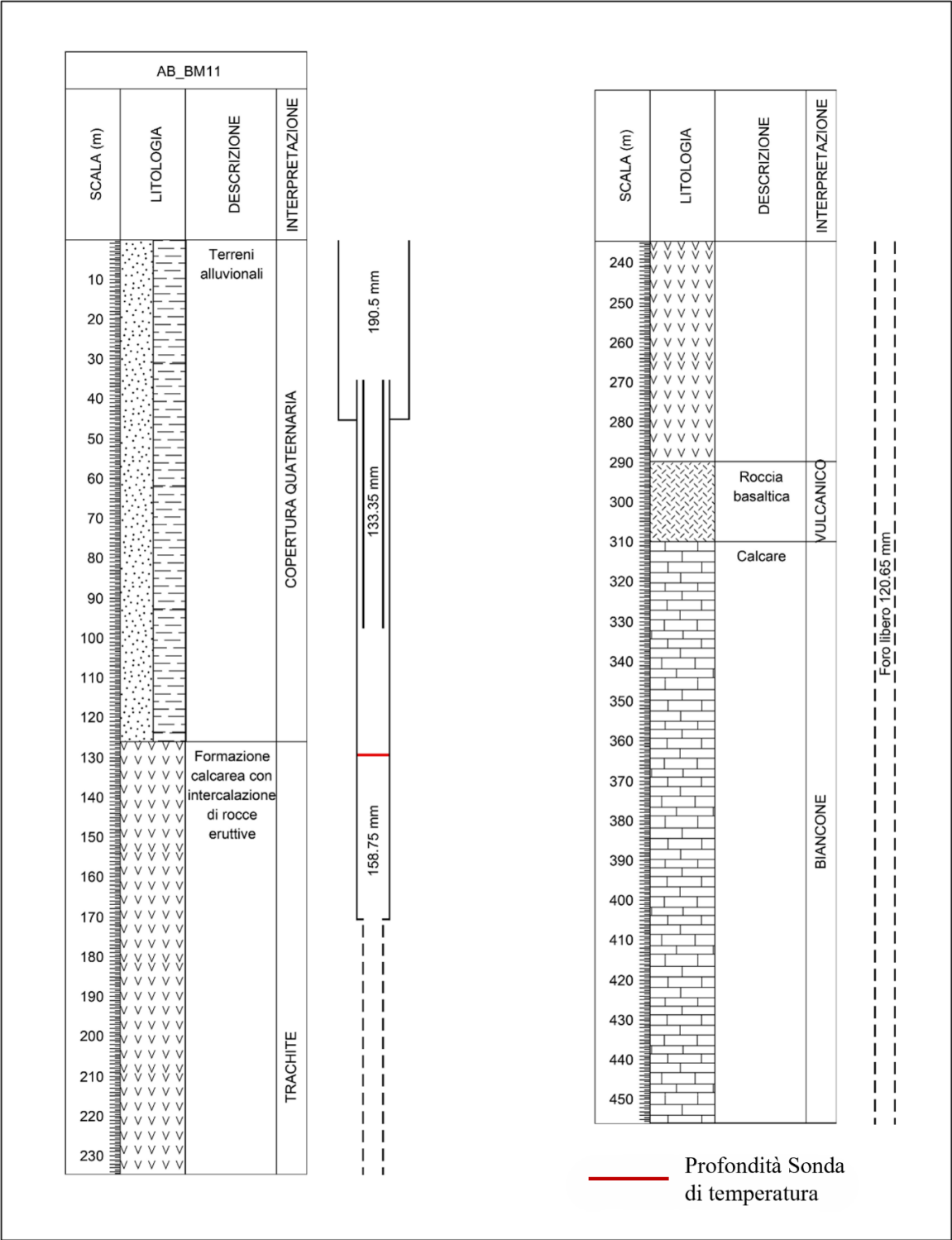


Figura 5.4.2: Stratigrafia del pozzo Buja Monteortone 11.

La Figura 5.4.3 riporta l'andamento dei livelli potenziometrici e delle temperature registrate nel periodo compreso tra il 24/04/2025 e il 22/07/2026.

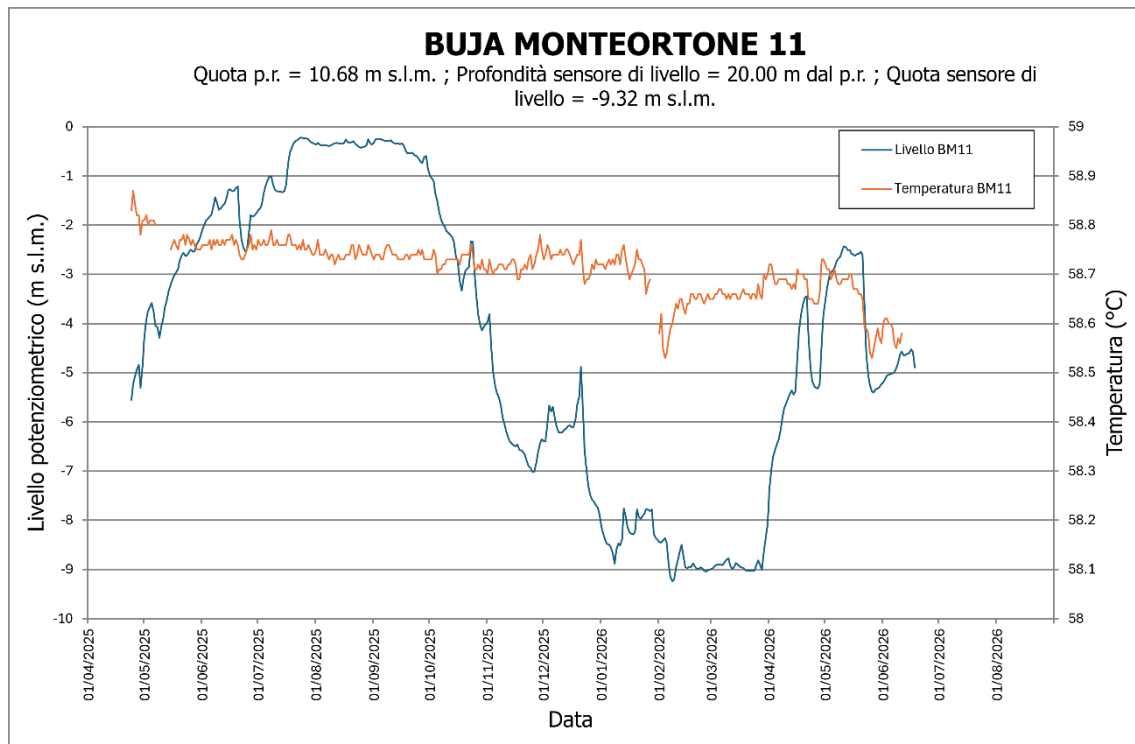


Figura 5.4.3: Serie temporale giornaliera del livello potenziometrico e della temperatura del pozzo Buja Monteortone 11 durante il primo anno di monitoraggio.

La serie potenziometrica presenta un andamento stagionale analogo a quello osservato nelle precedenti stazioni, con un abbassamento dei livelli durante il periodo invernale e un successivo recupero verso il periodo estivo. La temperatura si mantiene complessivamente stabile nel periodo analizzato, mostrando una lieve diminuzione da circa 58,8 °C a 58,5 °C. I dati relativi alla parte finale della serie non sono stati considerati a causa di problemi di funzionamento della sonda di temperatura.

Il periodogramma, riportato in Figura 5.4.4, mostra picchi di intensità contenuta.

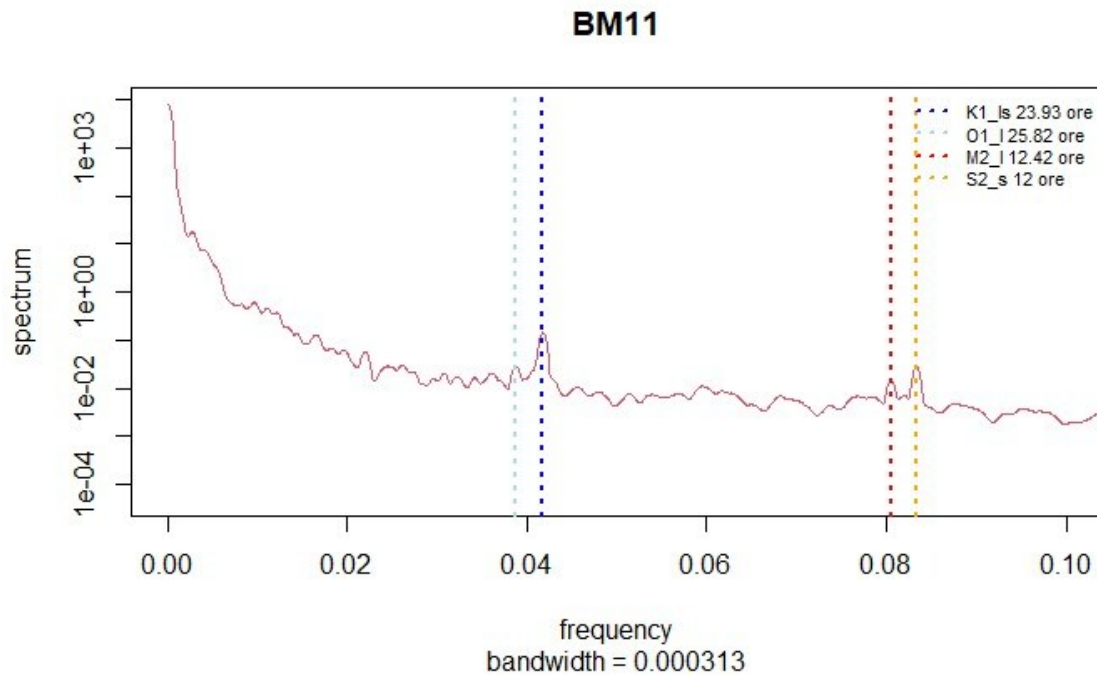


Figura 5.4.4: *Periodogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Buja Monteortone II.*

Tra questi risultano maggiormente riconoscibili quelli in corrispondenza delle componenti K1, con frequenza di circa 1,00 cpd e periodo di circa 23,93 ore, e S2, con frequenza di 2,00 cpd e periodo di 12 ore. Nel complesso, tuttavia, tali massimi non risultano particolarmente marcati rispetto al resto dello spettro.

Lo scalogramma Wavelet è riportato in Figura 5.4.5.

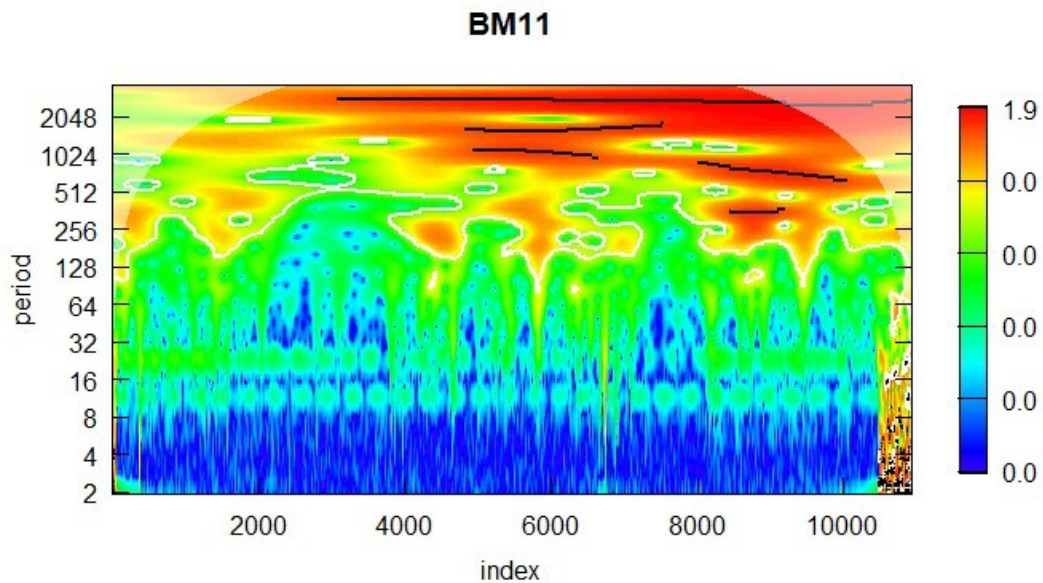


Figura 5.4.5: Scalogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Buja Monteortone 11.

Lo scalogramma non evidenzia una chiara continuità temporale delle periodicità diurne, con periodi prossimi a 24 ore e frequenze prossime a 1,00 cpd, e semidiurne, con periodi prossimi a 12 ore e frequenze prossime a 2,00 cpd, che risultano poco persistenti nel corso del periodo di monitoraggio.

5.5 Milano 1

Il pozzo Milano 1 (AB_MI1) è ubicato nel comune di Abano Terme, nel settore settentrionale dell'area centrale dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs). A differenza dei pozzi appartenenti alla rete storica di monitoraggio, per questo punto di misura non erano disponibili informazioni pregresse riguardanti l'andamento dei livelli potenziometrici e le relative oscillazioni stagionali.

Nell'ambito del progetto TREASURE, la stazione è stata attivata il 24/04/2025 mediante l'installazione di un trasduttore di livello immerso a circa 22 m dal bocca-pozzo e di una sonda di temperatura posizionata a 210 m di profondità. Durante le operazioni di installazione è stata misurata una soggiacenza pari a 17,45 m dal bocca-pozzo, mentre la temperatura registrata alla profondità della sonda è risultata pari a 60,5 °C.

Poiché non erano disponibili dati storici di riferimento, il sensore di livello inizialmente installato era stato scelto assumendo oscillazioni potenziometriche confrontabili con quelle osservate negli altri pozzi dell'area. Nei mesi successivi all'attivazione della stazione è stata tuttavia registrata una marcata risalita del livello potenziometrico, tale da superare il campo di misura del sensore installato. Per garantire la continuità e l'affidabilità delle misure, il trasduttore è stato quindi sostituito il 15/09/2025 con uno strumento avente un campo di misura maggiore, installato a circa 23 m dal bocca-pozzo.

La Figura 5.5.1 mostra la configurazione della stazione di monitoraggio installata presso il pozzo Milano 1.



Figura 5.5.1: Stazione di monitoraggio installata nel pozzo Milano 1.

La stratigrafia del pozzo, riportata in Figura 5.5.2, consente di osservare le principali unità geologiche intercettate e la profondità di installazione della sonda di temperatura, posizionata a 210 m e indicata in rosso nella figura.

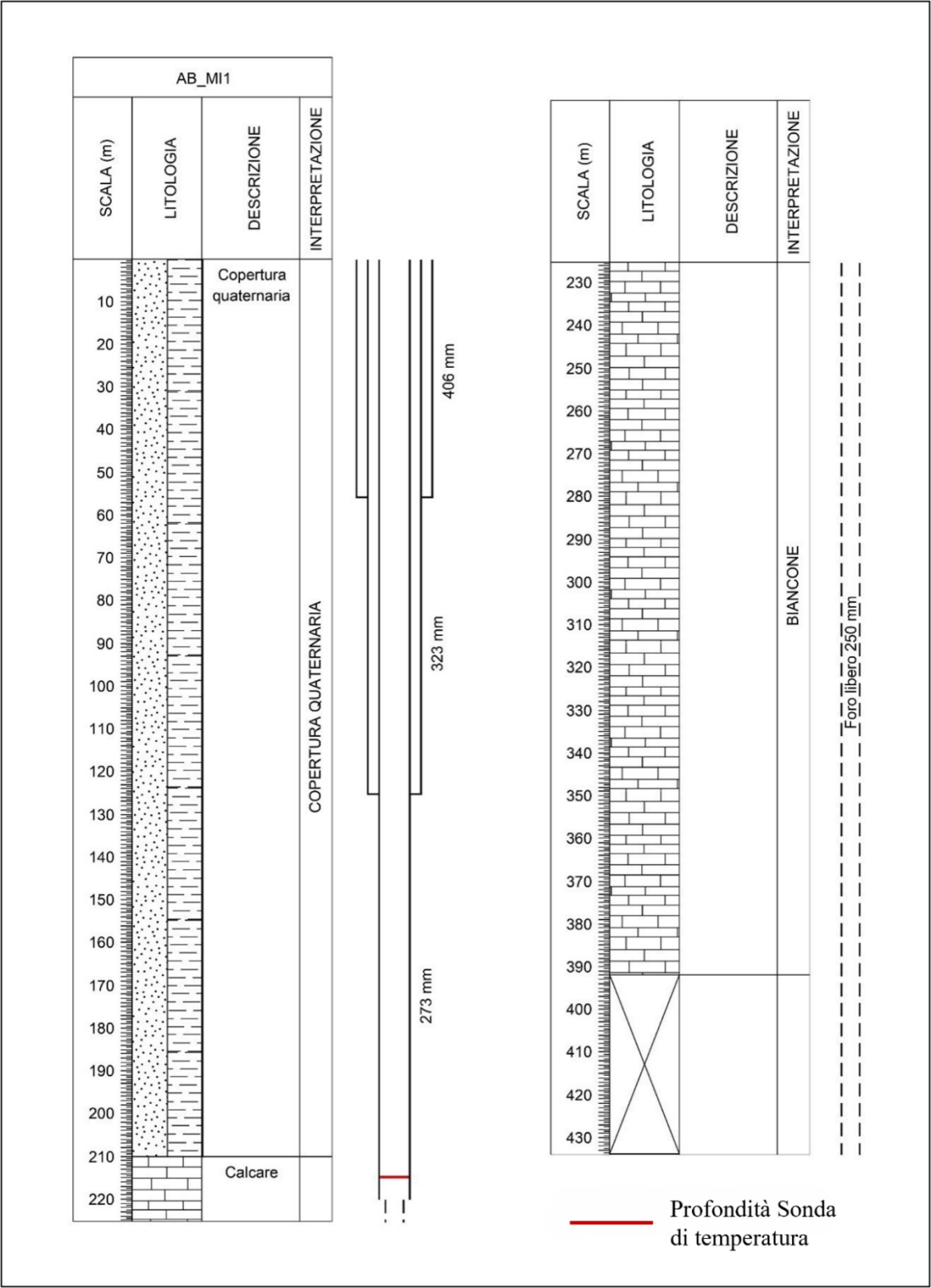


Figura 5.5.2: Stratigrafia del pozzo Milano.

La Figura 5.5.3 riporta l'andamento dei livelli potenziometrici e delle temperature registrate nel periodo compreso tra il 24/04/2025 e il 22/07/2026.

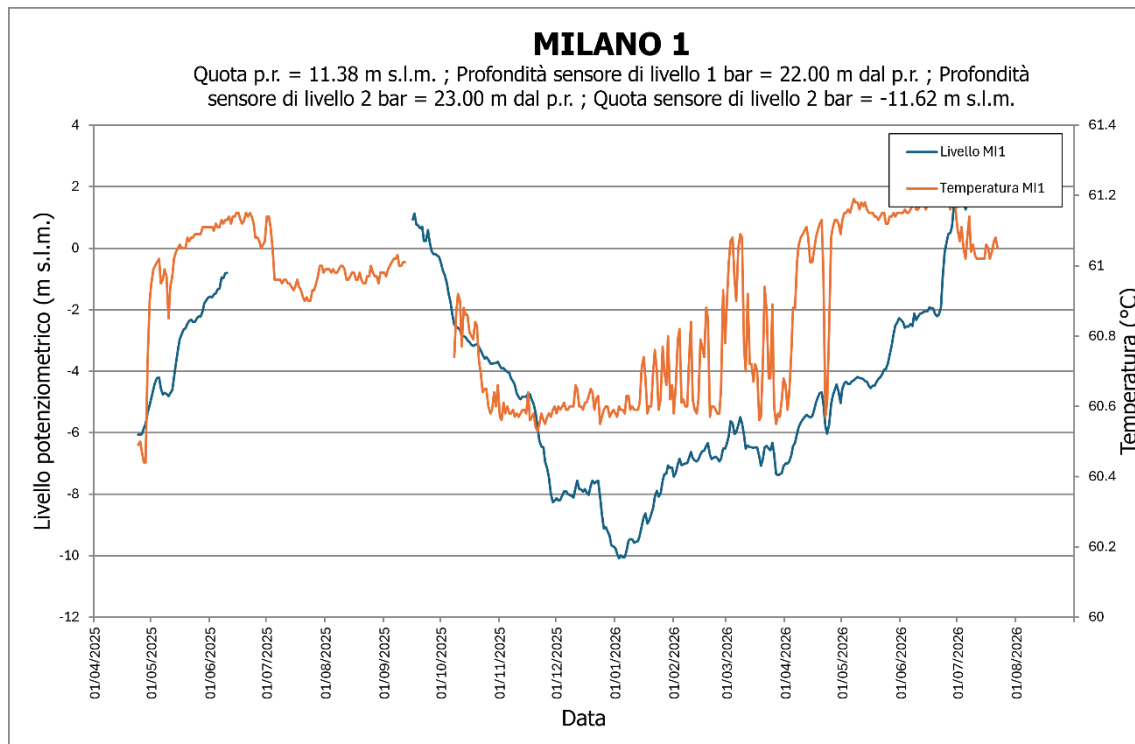


Figura 5.5.3: Serie temporale giornaliera del livello potenziometrico e della temperatura del pozzo Milano 1 durante il primo anno di monitoraggio.

La serie presenta alcune lacune nei dati, ma consente comunque di riconoscere il consueto andamento stagionale del livello potenziometrico, caratterizzato da una fase di abbassamento durante il periodo invernale e dal successivo recupero verso il periodo estivo. La temperatura si mantiene prevalentemente compresa tra circa 60,5 e 61 °C.

Il periodogramma, riportato in Figura 5.5.4, mostra picchi di intensità contenuta.

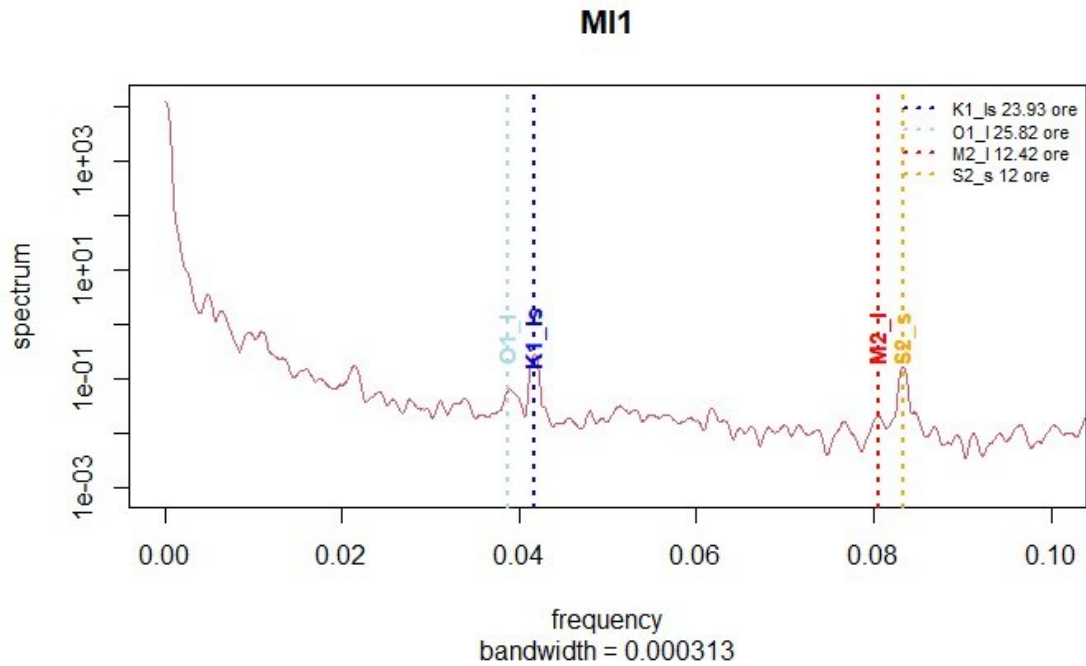


Figura 5.5.4: *Periodogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Milano 1.*

I picchi maggiormente riconoscibili sono associati alle componenti K1, con frequenza di circa 1,00 cpd e periodo di circa 23,93 ore, e S2, con frequenza di 2,00 cpd e periodo di 12 ore, mentre le componenti O1, con frequenza di circa 0,93 cpd e periodo di circa 25,82 ore, e M2, con frequenza di circa 1,93 cpd e periodo di circa 12,42 ore, risultano meno evidenti.

Lo scalogramma Wavelet è riportato in Figura 5.5.5.

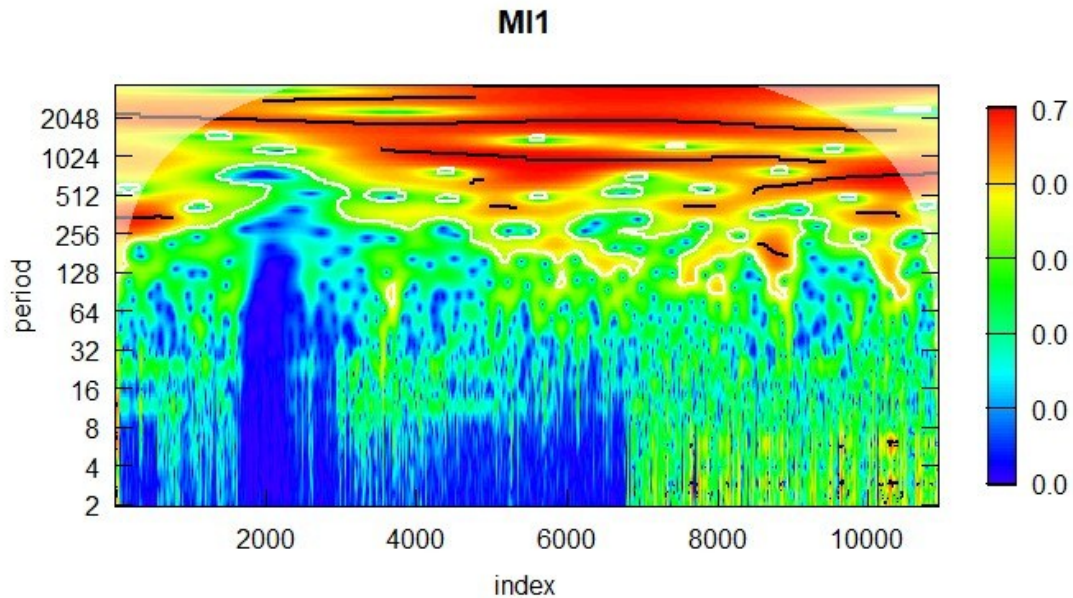


Figura 5.5.5: *Scalogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Milano 1.*

Lo scalogramma non evidenzia una chiara continuità temporale delle periodicità diurne, con periodi prossimi a 24–26 ore e frequenze di circa 0,93–1,00 cpd, e semidiurne, con periodi prossimi a 12–12,4 ore e frequenze di circa 1,93–2,00 cpd, che compaiono in maniera discontinua nel corso della serie.

5.6 Commodore 5

Il pozzo Commodore 5 (MT_CM5) è ubicato nel comune di Montegrotto Terme, all'interno dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs). Il pozzo ha fatto parte della rete storica di monitoraggio ed è stato monitorato nel periodo compreso tra il 04/04/2014 e il 01/12/2021.

Le misure acquisite durante il monitoraggio storico hanno evidenziato un livello potenziometrico medio di circa 0,3 m s.l.m. e una temperatura superficiale media prossima a 32 °C, entrambi caratterizzati da variazioni stagionali.

Nell'ambito del progetto TREASURE, il monitoraggio è stato riattivato il 24/04/2025 mediante l'installazione di un trasduttore di livello immerso a circa 14 m dal bocca-pozzo e di una sonda di temperatura posizionata a 180 m di profondità, in prossimità del fondo pozzo. Durante le operazioni di installazione è stata misurata una soggiacenza pari a 11,10 m dal bocca-pozzo, mentre la temperatura registrata alla profondità della sonda è risultata pari a 69,0 °C.

La Figura 5.6.1 mostra la configurazione della stazione di monitoraggio installata presso il pozzo Commodore 5.



Figura 5.5.1: Stazione di monitoraggio installata nel pozzo Commodore 5.

La stratigrafia del pozzo, riportata in Figura 5.6.2, consente di osservare le principali unità geologiche intercettate e la profondità di installazione della sonda di temperatura, posizionata a 180 m in prossimità del fondo pozzo e indicata in rosso nella figura.

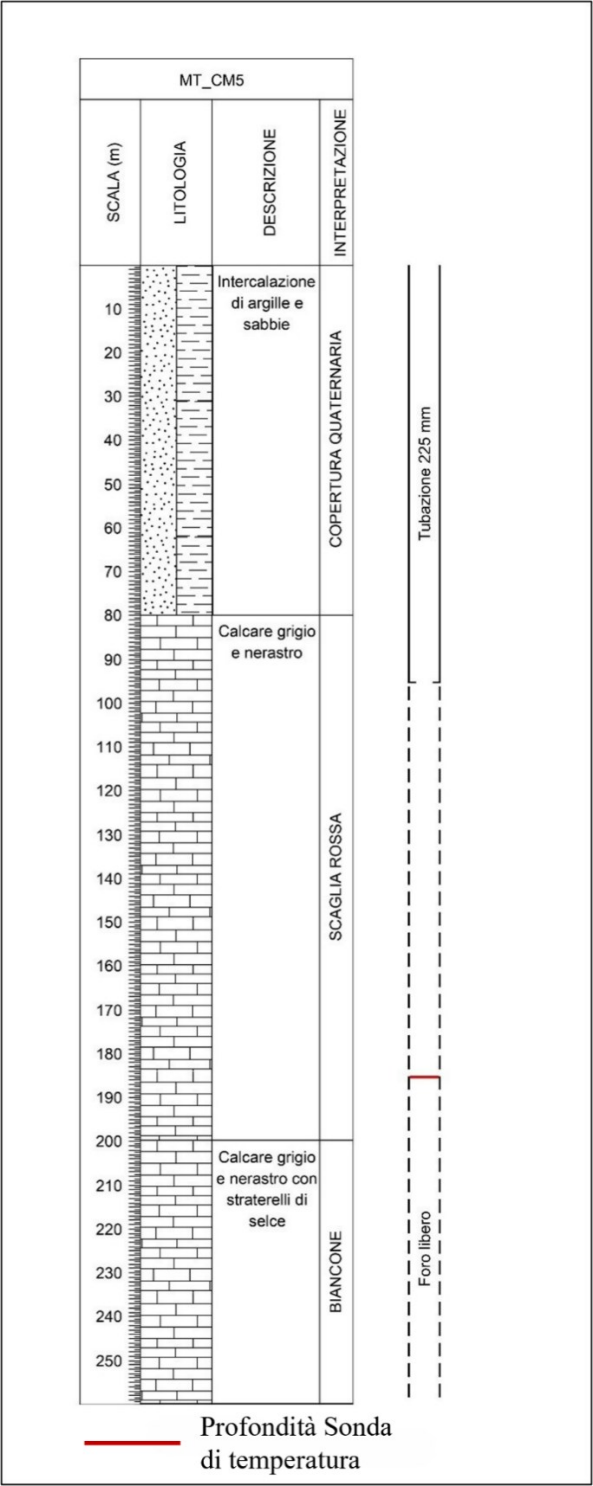


Figura 5.6.2: Stratigrafia del pozzo Commodore 5.

La Figura 5.6.3 riporta l'andamento dei livelli potenziometrici e delle temperature registrate nel periodo compreso tra il 24/04/2025 e il 22/07/2026.

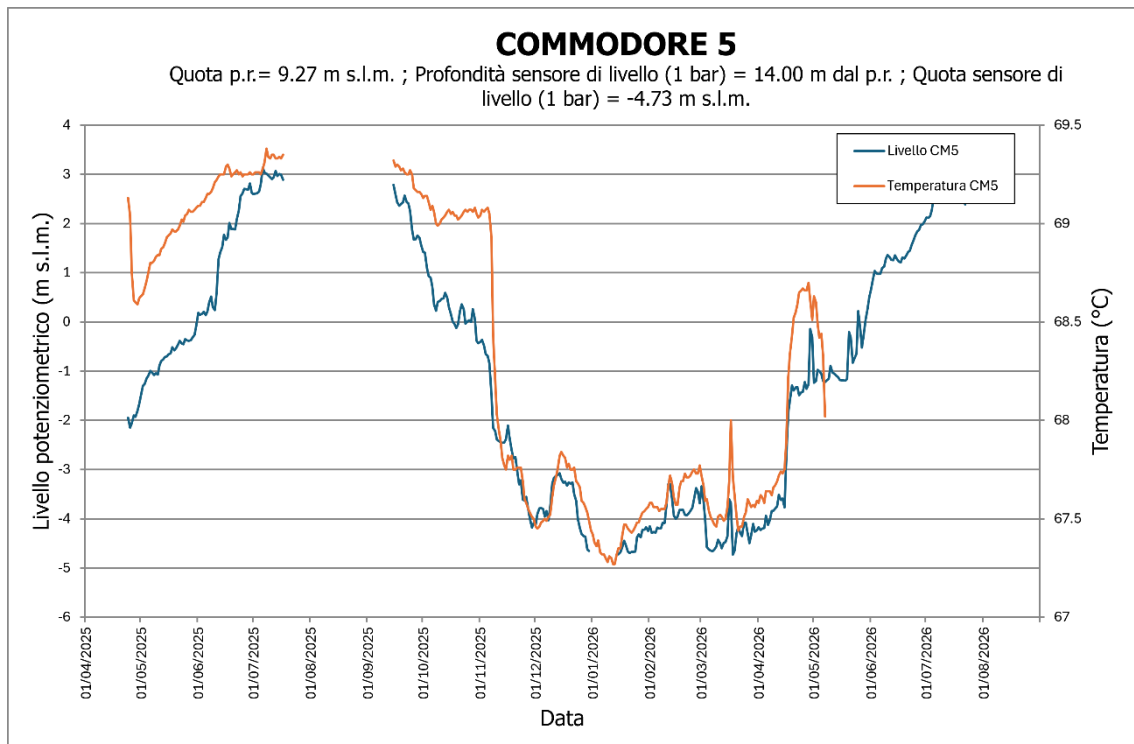


Figura 5.6.3: Serie temporale giornaliera del livello potenziometrico e della temperatura del pozzo Commodore 5 durante il primo anno di monitoraggio.

La serie presenta alcune lacune nei dati, ma consente comunque di riconoscere il consueto andamento stagionale del livello potenziometrico, caratterizzato da una fase di abbassamento durante il periodo invernale e dal successivo recupero verso il periodo estivo. La temperatura presenta variazioni comprese indicativamente tra 67,5 e 69,5 °C e mostra, nel complesso, un andamento che segue parzialmente quello del livello potenziometrico.

Il periodogramma è riportato in Figura 5.6.4.

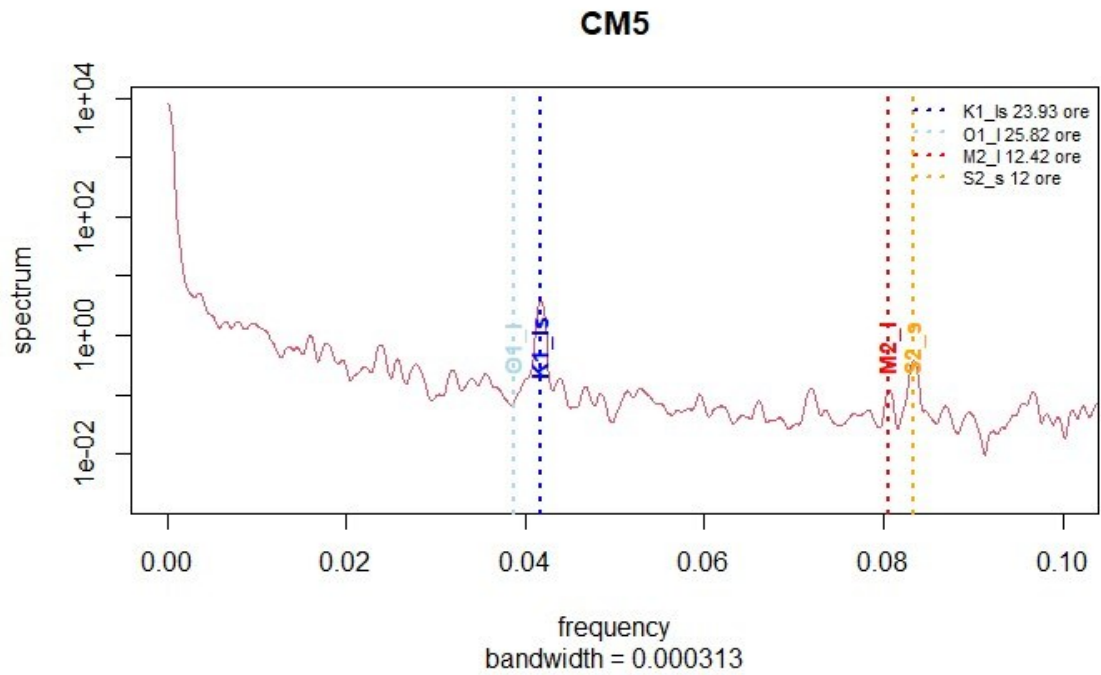


Figura 5.6.4: Periodogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Commodore 5.

Lo spettro mostra picchi in corrispondenza delle componenti K1, con frequenza di circa 1,00 cpd e periodo di circa 23,93 ore, e S2, con frequenza di 2,00 cpd e periodo di 12 ore. I relativi picchi risultano riconoscibili, sebbene presentino un'intensità contenuta.

Lo scalogramma Wavelet è riportato in Figura 5.6.5.

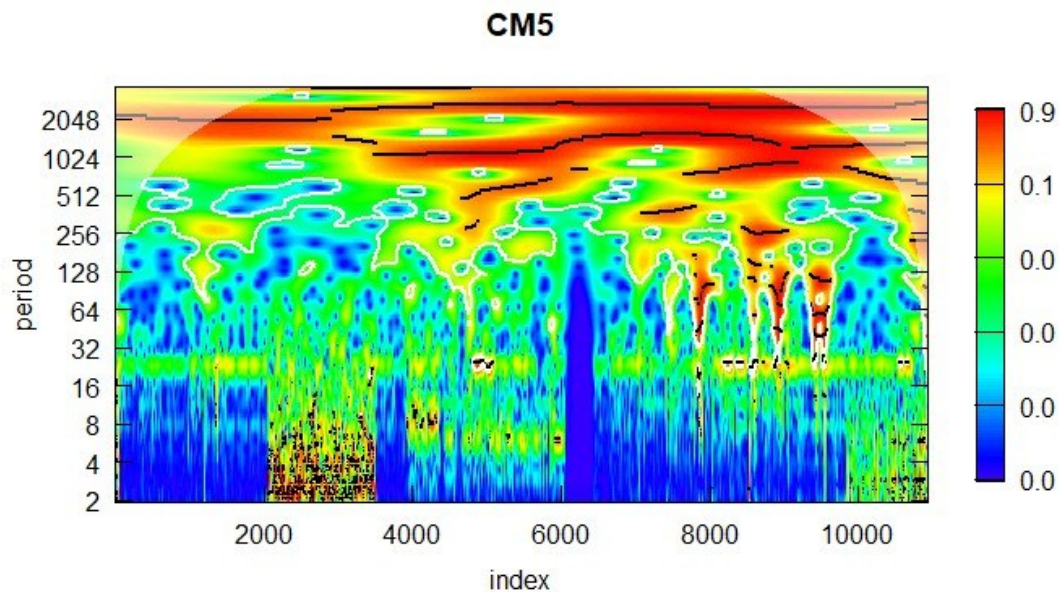


Figura 5.6.5: Scalogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Commodore 5.

Lo scalogramma non evidenzia una chiara continuità temporale delle periodicità diurne, con periodi prossimi a 24 ore e frequenze prossime a 1,00 cpd, e semidiurne, con periodi prossimi a 12 ore e frequenze prossime a 2,00 cpd, che risultano poco persistenti nel corso del periodo analizzato.

5.7 Mezzavia 4

Il pozzo Mezzavia 4 (MT_ME4) è ubicato nel comune di Montegrotto Terme e rappresenta uno dei punti di monitoraggio storicamente più longevi dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs). Il pozzo ha infatti fatto parte della rete storica di monitoraggio sin dalle prime fasi di controllo della risorsa, con acquisizioni effettuate nel periodo compreso tra il 26/03/1975 e il 10/08/2020.

Le misure storiche hanno evidenziato un livello potenziometrico medio di circa 4,1 m s.l.m. e una temperatura superficiale media prossima a 22 °C nel periodo più recente di monitoraggio. Le differenze rispetto alle temperature registrate negli anni precedenti sono attribuibili al diverso posizionamento della strumentazione lungo la colonna del pozzo. Sia i livelli potenziometrici sia le temperature risultano caratterizzati da variazioni stagionali e oscillazioni di breve periodo.

Nell'ambito del progetto TREASURE, il monitoraggio è stato riattivato il 30/04/2025 mediante l'installazione di un trasduttore di livello immerso a circa 6 m dal bocca-pozzo e di una sonda di temperatura posizionata a 324 m di profondità, in prossimità del fondo pozzo. Durante le operazioni di installazione è stata misurata una soggiacenza pari a 4,27 m dal bocca-pozzo, mentre la temperatura registrata alla profondità della sonda è risultata pari a 82,0 °C.

Una particolarità di MT_ME4 è la presenza di condizioni idrauliche variabili nel corso dell'anno. In funzione dell'entità dei prelievi all'interno del campo geotermico, il pozzo può infatti presentare condizioni artesiane in alcuni periodi e livelli potenziometrici inferiori al piano campagna in altri. Per garantire il corretto funzionamento della strumentazione durante entrambe le condizioni operative, la testa pozzo è stata opportunamente sigillata mediante pressacavi, assicurando la tenuta idraulica del sistema e la corretta acquisizione delle misure di pressione.

La Figura 5.7.1 mostra la configurazione della stazione di monitoraggio installata presso il pozzo Mezzavia 4.



Figura 5.7.1: Stazione di monitoraggio installata nel pozzo Mezzavia 4.

La stratigrafia del pozzo, riportata in Figura 5.7.2, consente di osservare le principali unità geologiche intercettate e la profondità di installazione della sonda di temperatura, posizionata a 324 m in prossimità del fondo pozzo e indicata in rosso nella figura.

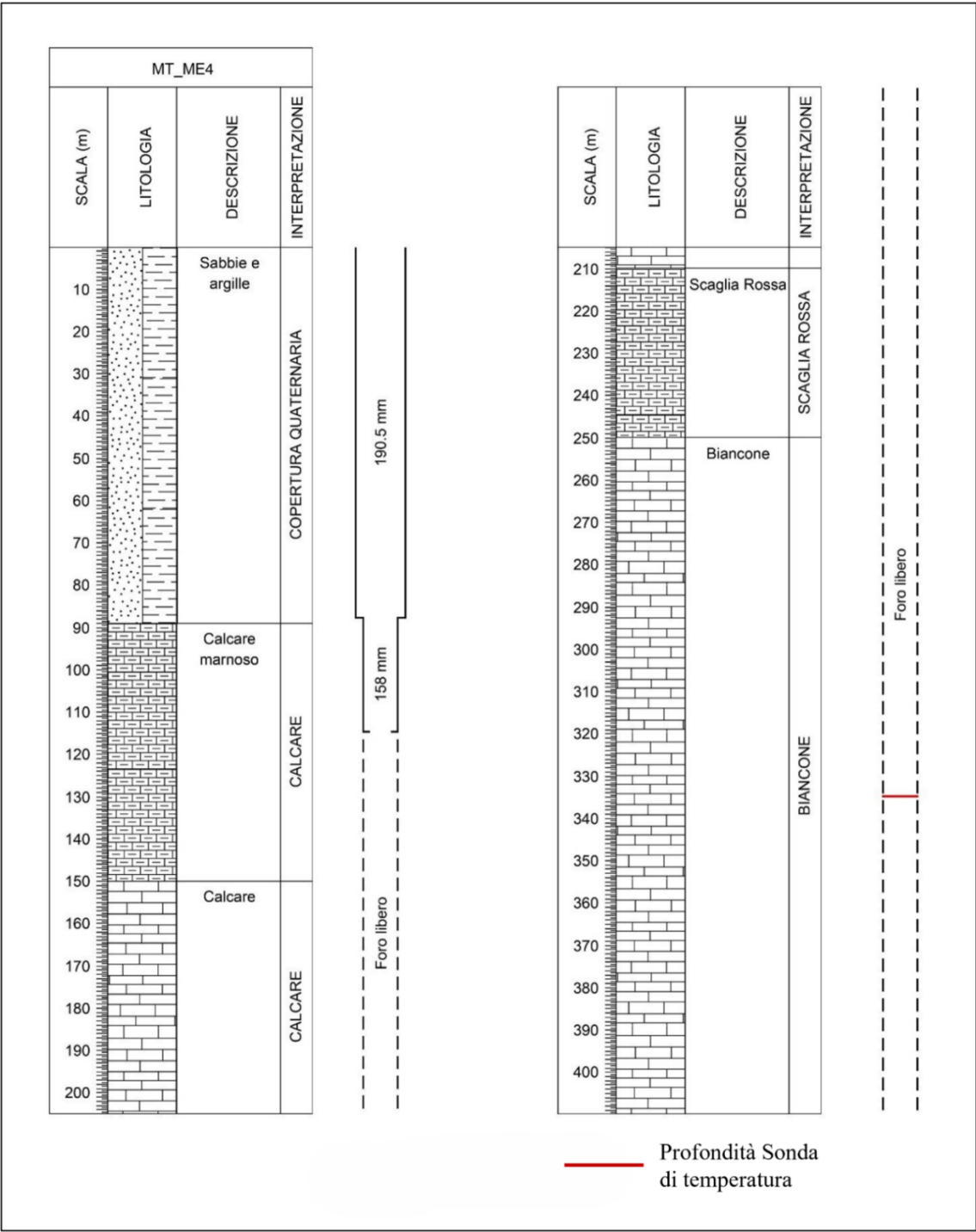


Figura 5.7.2: Stratigrafia del pozzo Mezzavia 4.

La Figura 5.7.3 riporta l'andamento dei livelli potenziometrici e delle temperature registrate nel periodo compreso tra il 30/04/2025 e il 22/07/2026.

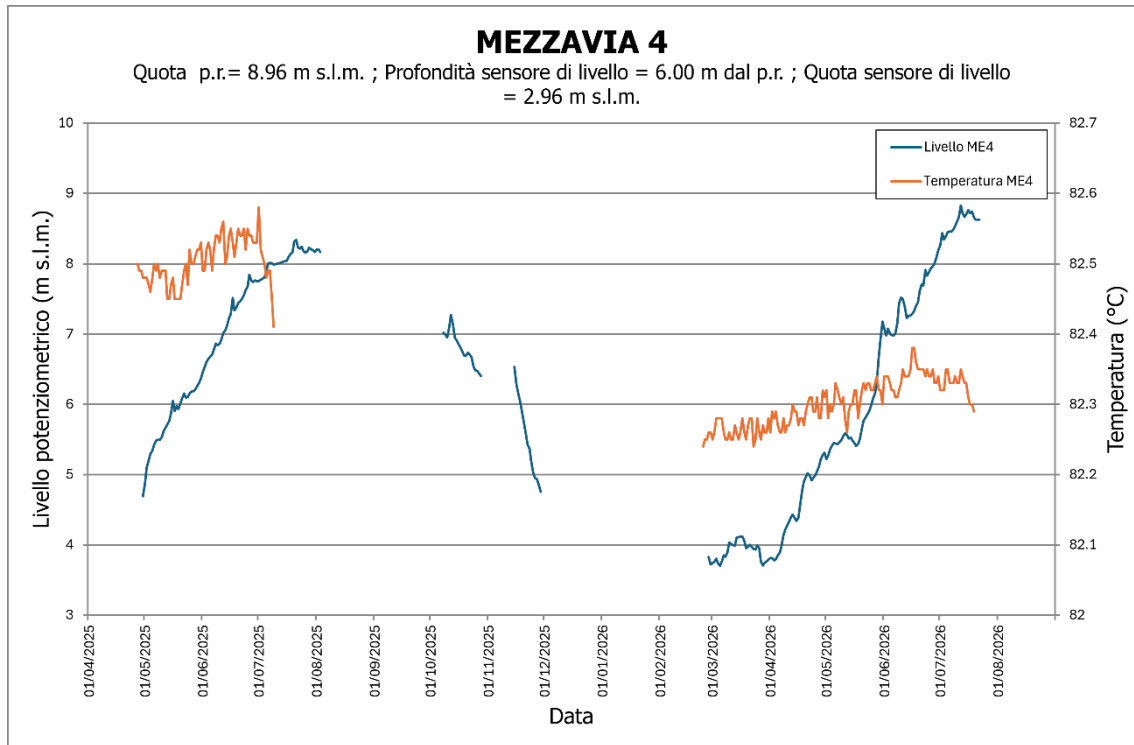


Figura 5.7.3: Serie temporale giornaliera del livello potenziometrico e della temperatura del pozzo Mezzavia 4 durante il primo anno di monitoraggio.

La serie presenta numerose lacune nel corso del periodo di monitoraggio; nonostante la discontinuità dei dati, nei tratti disponibili è comunque riconoscibile il generale andamento stagionale del livello potenziometrico, con una fase di abbassamento durante il periodo invernale e il successivo recupero verso il periodo estivo. La temperatura si mantiene indicativamente tra 82,3 e 82,6 °C, sebbene anche la relativa serie presenti alcune discontinuità dovute a problemi della sonda verificatisi durante il primo anno di monitoraggio.

A causa dell'elevata percentuale di dati mancanti, la serie di Mezzavia 4 è stata esclusa dalle analisi spettrali, poiché la loro applicazione avrebbe richiesto l'imputazione di una porzione significativa della serie temporale.

5.8 Fonte Colli Euganei 1

Il pozzo Fonte Colli Euganei 1 (MT_FE1) è ubicato nel comune di Montegrotto Terme, in un settore periferico dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs). Il pozzo ha fatto parte della rete storica di monitoraggio ed è stato monitorato in modo continuativo dal 02/04/1975 al 15/08/2020, rappresentando uno dei punti di osservazione storicamente più significativi del sistema.

Le misure acquisite nel corso del monitoraggio storico hanno evidenziato un livello potenziometrico medio di circa 2,2 m s.l.m. e una temperatura superficiale media prossima a 20 °C, entrambi caratterizzati da variazioni stagionali e oscillazioni di breve periodo.

Nell'ambito del progetto TREASURE, il monitoraggio è stato riattivato il 30/04/2025 mediante l'installazione di un trasduttore di livello immerso a circa 6 m dal bocca-pozzo e di una sonda di temperatura posizionata a 374 m di profondità. Quest'ultima rappresenta la sonda installata alla maggiore profondità dell'intera rete di monitoraggio.

Durante le operazioni di installazione è stata misurata una soggiacenza pari a 6,95 m dal bocca-pozzo, mentre la temperatura registrata alla profondità della sonda è risultata pari a 58,0 °C.

La Figura 5.8.1 mostra la configurazione della stazione di monitoraggio installata presso il pozzo Fonte Colli Euganei 1.



Figura 5.8.1: Stazione di monitoraggio installata nel pozzo Fonte Colli Euganei 1.

La stratigrafia del pozzo, riportata in Figura 5.8.2, consente di osservare le principali unità geologiche intercettate e la profondità di installazione della sonda di temperatura, posizionata a 374 m e indicata in rosso nella figura.

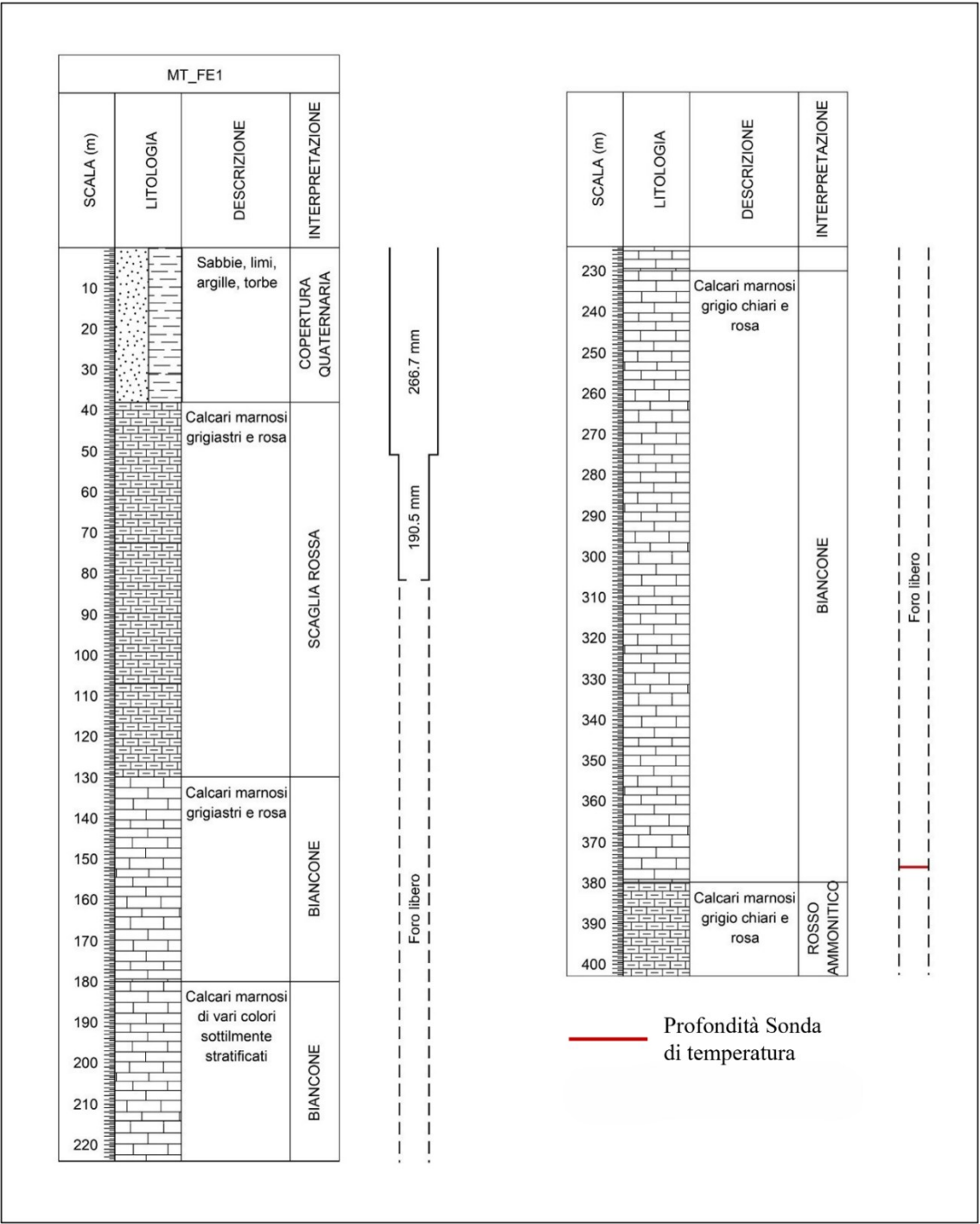


Figura 5.8.2: Stratigrafia del pozzo Fonte Colli Euganei 1.

La Figura 5.8.3 riporta l'andamento dei livelli potenziometrici e delle temperature registrate nel periodo compreso tra il 30/04/2025 e il 22/07/2026.

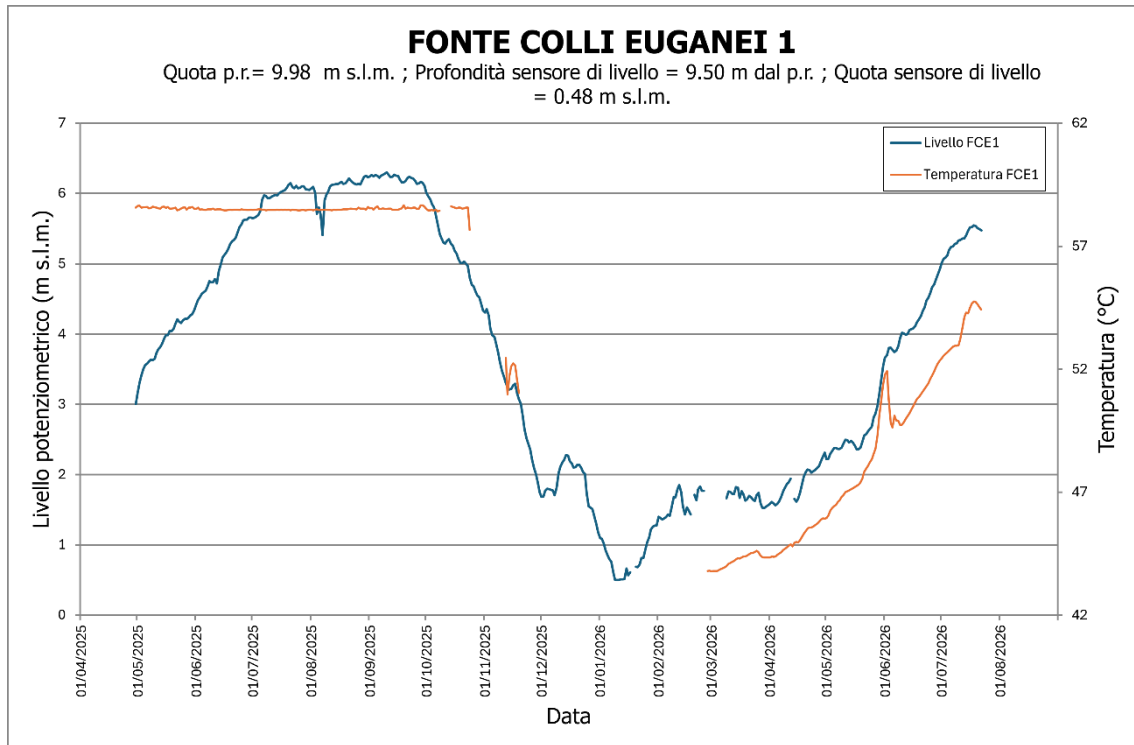


Figura 5.8.3: Serie temporale giornaliera del livello potenziometrico e della temperatura del pozzo Fonte Colli Euganei 1 durante il primo anno di monitoraggio.

La serie potenziometrica mostra il consueto andamento stagionale, con una fase di abbassamento durante il periodo invernale e il successivo recupero dei livelli verso il periodo estivo. La serie di temperatura ha invece presentato diversi problemi nel corso del monitoraggio, risultando discontinua e pertanto meno affidabile per una valutazione complessiva del suo andamento.

Il periodogramma è riportato in Figura 5.8.4.

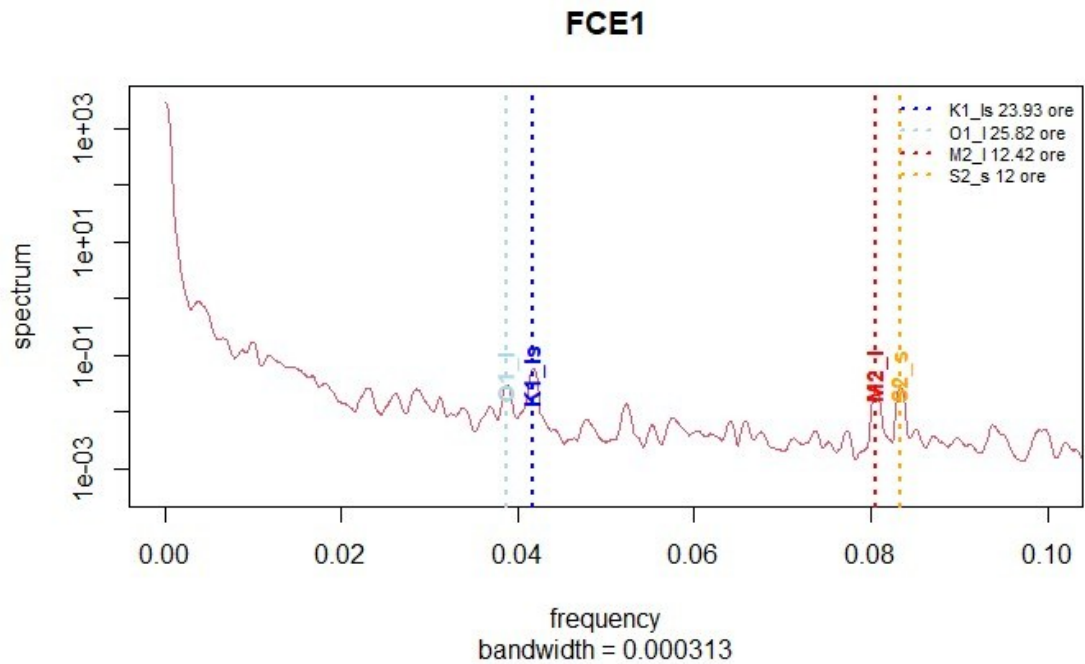


Figura 5.8.4: Periodogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Fonte Colli Euganei 1.

Il periodogramma, evidenzia principalmente i picchi associati alle componenti K1, con frequenza di circa 1,00 cpd e periodo di circa 23,93 ore, e S2, con frequenza di 2,00 cpd e periodo di 12 ore. Le componenti O1, con frequenza di circa 0,93 cpd e periodo di circa 25,82 ore, e M2, con frequenza di circa 1,93 cpd e periodo di circa 12,42 ore, risultano meno evidenti. Nel complesso, i picchi osservati presentano comunque un'intensità contenuta.

Lo scalogramma Wavelet è riportato in Figura 5.8.5

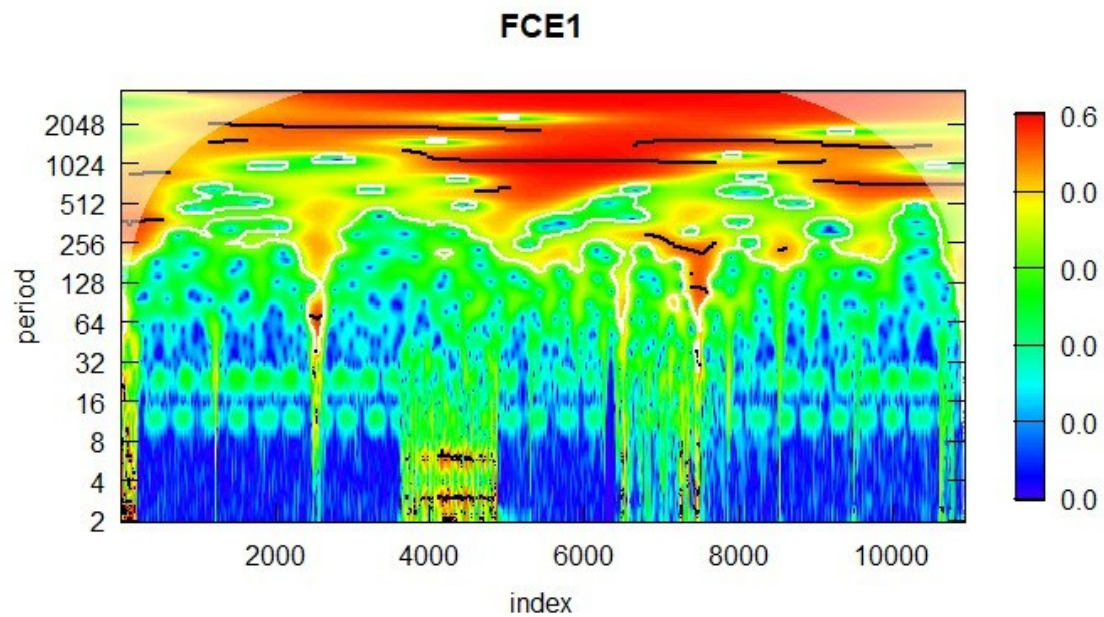


Figura 5.8.5: *Scalogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Fonte Colli Euganei 1.*

Lo scalogramma non mostra una chiara continuità temporale delle periodicità individuate nel periodogramma. In corrispondenza delle periodicità diurne, con periodi compresi tra circa 23,93 e 25,82 ore e frequenze comprese tra circa 0,93 e 1,00 cpd, e semidiurne, con periodi compresi tra circa 12 e 12,42 ore e frequenze comprese tra circa 1,93 e 2,00 cpd, non si osservano infatti bande persistenti per l'intero periodo analizzato.

5.9 Barillari 2

Il pozzo Barillari 2 (AB_BA2) è ubicato nel comune di Abano Terme, all'interno dell'area centrale dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs), presso la struttura dell'Hotel Universal Terme. Il pozzo faceva parte della rete storica di monitoraggio regionale ed è stato monitorato in modo continuativo dal 27/05/1980 al 21/03/2020.

Le misure storiche hanno evidenziato una progressiva risalita dei livelli potenziometrici nel corso degli ultimi decenni. Nel periodo compreso tra il 2010 e il 2020 il livello potenziometrico medio si è attestato intorno a 2,3 m s.l.m., mostrando comunque variazioni stagionali e oscillazioni di breve periodo.

Nell'ambito del progetto TREASURE, il monitoraggio è stato riattivato in data 08/05/2025 mediante l'installazione di un trasduttore di livello immerso a circa 13,5 m dal bocca-pozzo. Durante le operazioni di installazione è stata misurata una soggiacenza pari a 9,70 m dal piano di riferimento del pozzo.

A causa dell'ostruzione del foro a circa 28 m di profondità non è stato possibile installare una sonda di temperatura. Le eventuali misure termiche ottenibili a profondità inferiori non sarebbero infatti rappresentative delle condizioni dei fluidi termali profondi presenti nell'area.

La Figura 5.9.1 mostra la configurazione della stazione di monitoraggio installata presso il pozzo Barillari 2.



Figura 5.9.1: Stazione di monitoraggio installata nel pozzo Barillari 2.

La stratigrafia del pozzo, riportata in Figura 5.9.2, consente di inquadrare le principali unità geologiche attraversate dal pozzo.

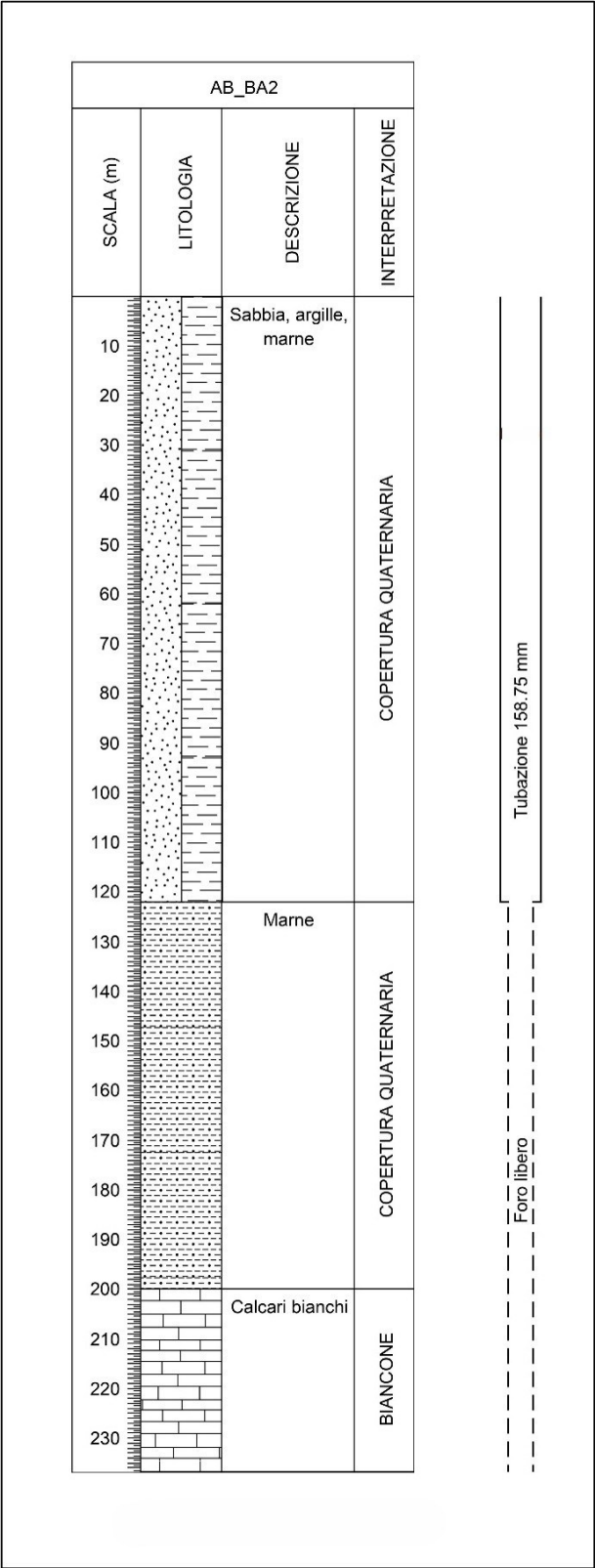


Figura 5.9.2: Stratigrafia del pozzo Barillari 2.

La Figura 5.9.3 riporta l'andamento dei livelli potenziometrici registrati nel periodo compreso tra il 01/06/2025 e il 22/07/2026.

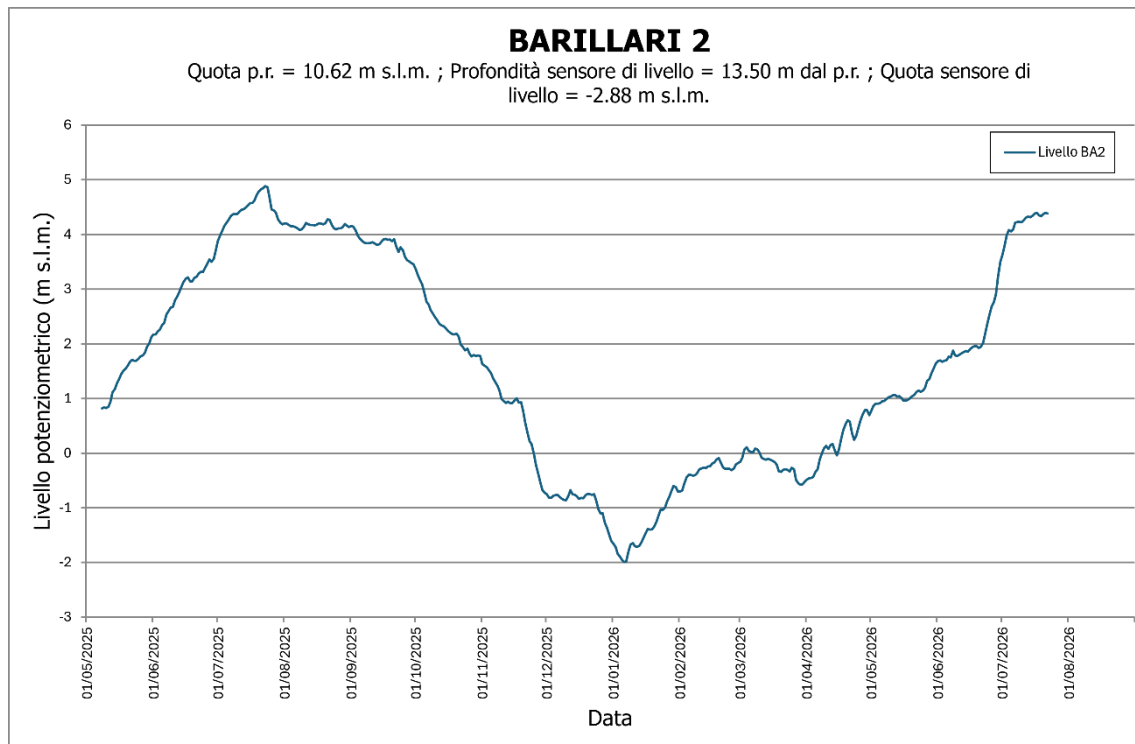


Figura 5.9.3: Serie temporale giornaliera del livello potenziometrico del pozzo Barillari 2 durante il primo anno di monitoraggio.

La serie presenta un andamento stagionale molto simile a quello osservato nei pozzi Romana 1 e Rigati 2, con un abbassamento dei livelli durante il periodo invernale e il successivo recupero, fino al raggiungimento dei valori più elevati nel periodo estivo.

Il periodogramma è riportato in Figura 5.9.4.

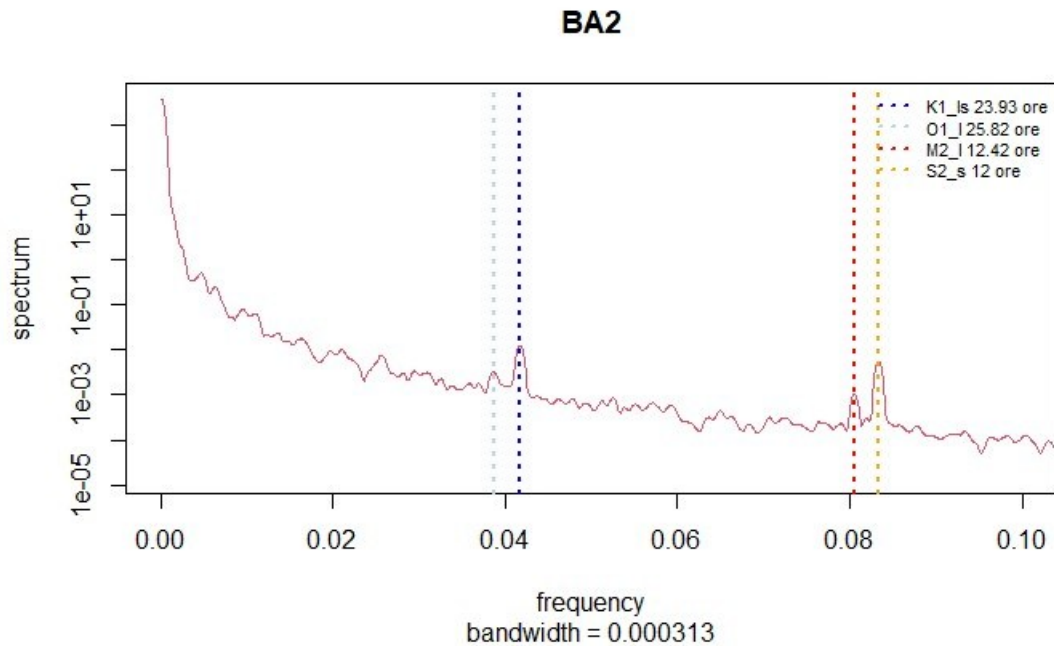


Figura 5.9.4: *Periodogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Barillari 2.*

Il periodogramma presenta caratteristiche analoghe a quelle osservate per altri pozzi della rete. I picchi maggiormente riconoscibili sono associati alle componenti K1, con frequenza di circa 1,00 cpd e periodo di circa 23,93 ore, e S2, con frequenza di 2,00 cpd e periodo di 12 ore. Le componenti O1, con frequenza di circa 0,93 cpd e periodo di circa 25,82 ore, e M2, con frequenza di circa 1,93 cpd e periodo di circa 12,42 ore, risultano invece meno evidenti. Nel complesso, i massimi associati alle periodicità mareali considerate non risultano particolarmente intensi rispetto al resto dello spettro

Lo scalogramma Wavelet è riportato in Figura 5.9.5.

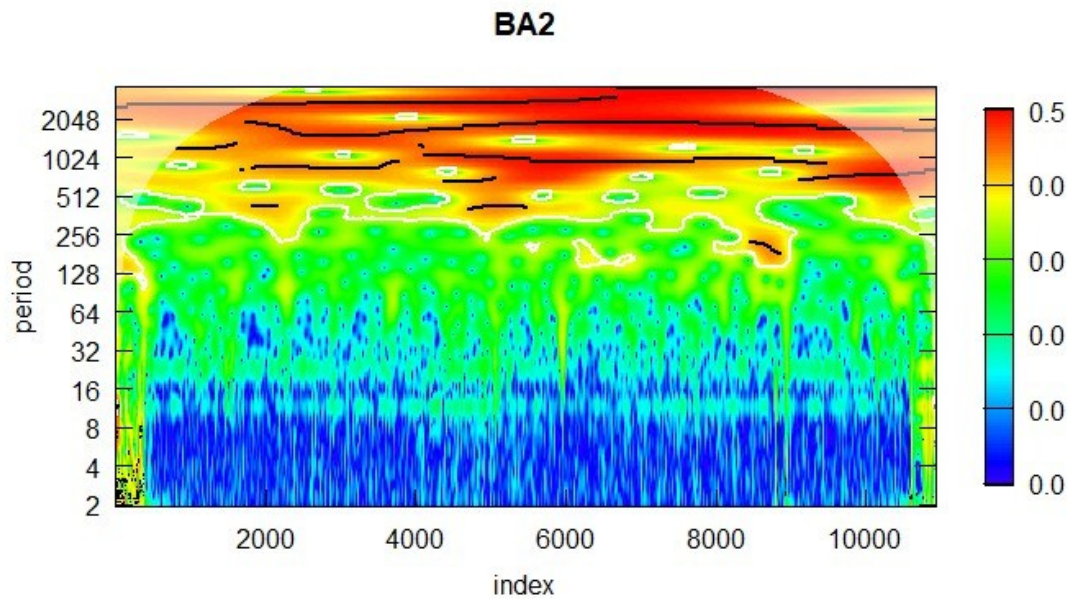


Figura 5.9.5: *Scalogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Barillari 2.*

Lo scalogramma non mostra una chiara continuità temporale delle periodicità individuate nel periodogramma. In corrispondenza delle periodicità diurne, con periodi compresi tra circa 23,93 e 25,82 ore e frequenze comprese tra circa 0,93 e 1,00 cpd, e semidiurne, con periodi compresi tra circa 12 e 12,42 ore e frequenze comprese tra circa 1,93 e 2,00 cpd, non si osservano bande persistenti nel corso della serie analizzata.

5.10 Bonato 5

Il pozzo Bonato 5 (AB_BO5) è ubicato nel comune di Abano Terme, all'interno dell'area centrale dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs), presso la concessione dell'Hotel Terme Dolomiti. A differenza di altri punti della rete, questo pozzo non ha fatto parte del monitoraggio storico, essendo stato utilizzato per attività di estrazione della risorsa termale. All'interno della stessa concessione era tuttavia presente il pozzo Bonato 3 (AB_BO3), monitorato nell'ambito della rete storica tra il 10/04/2014 e il 04/07/2018.

Nell'ambito del progetto TREASURE, le attività di monitoraggio presso AB_BO5 sono iniziate l'08/05/2025 mediante l'installazione di un trasduttore di livello immerso a circa 10,5 m dal bocca-pozzo e di una sonda di temperatura posizionata a 90 m di profondità, dove il pozzo presenta un'ostruzione.

Durante le operazioni di installazione è stata misurata una soggiacenza pari a 6,60 m dal bocca-pozzo, mentre la temperatura registrata alla profondità della sonda è risultata pari a 48,8 °C.

Il pozzo è ospitato all'interno di una struttura metallica di protezione che garantisce la sicurezza della strumentazione e ne agevola le operazioni di manutenzione e controllo.

La Figura 5.10.1 mostra la configurazione della stazione di monitoraggio installata presso il pozzo Bonato 5.



Figura 5.10.1: Stazione di monitoraggio installata nel pozzo Bonato 5.

La stratigrafia del pozzo, riportata in Figura 5.10.2, consente di osservare le principali unità geologiche intercettate e la profondità di installazione della sonda di temperatura, posizionata a 90 m in corrispondenza dell'ostruzione del pozzo e indicata in rosso nella figura.

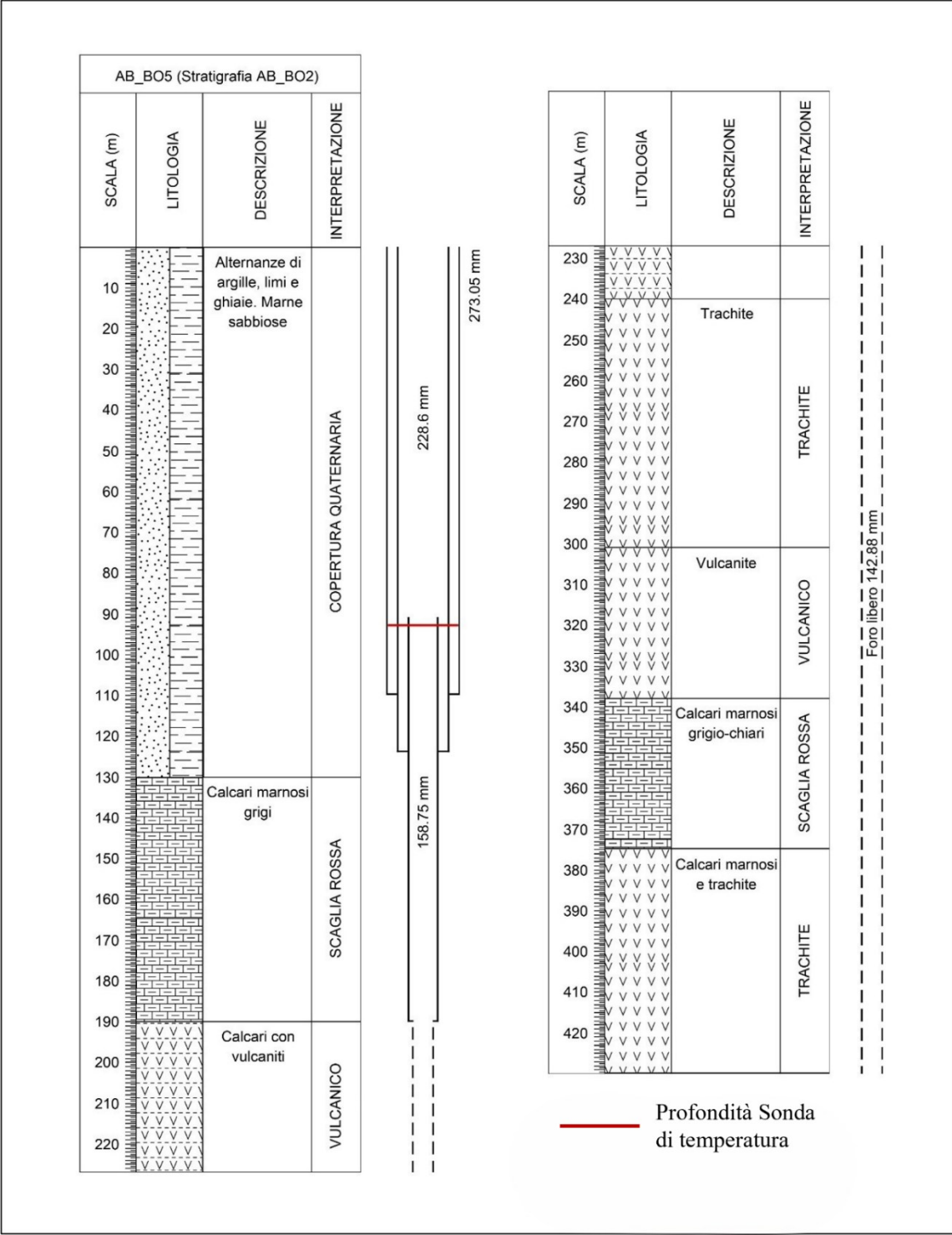


Figura 5.10.2: Stratigrafia del pozzo Bonato 5.

La Figura 5.10.3 riporta l'andamento dei livelli potenziometrici e delle temperature registrate nel periodo compreso tra l'08/05/2025 e il 22/07/2026.

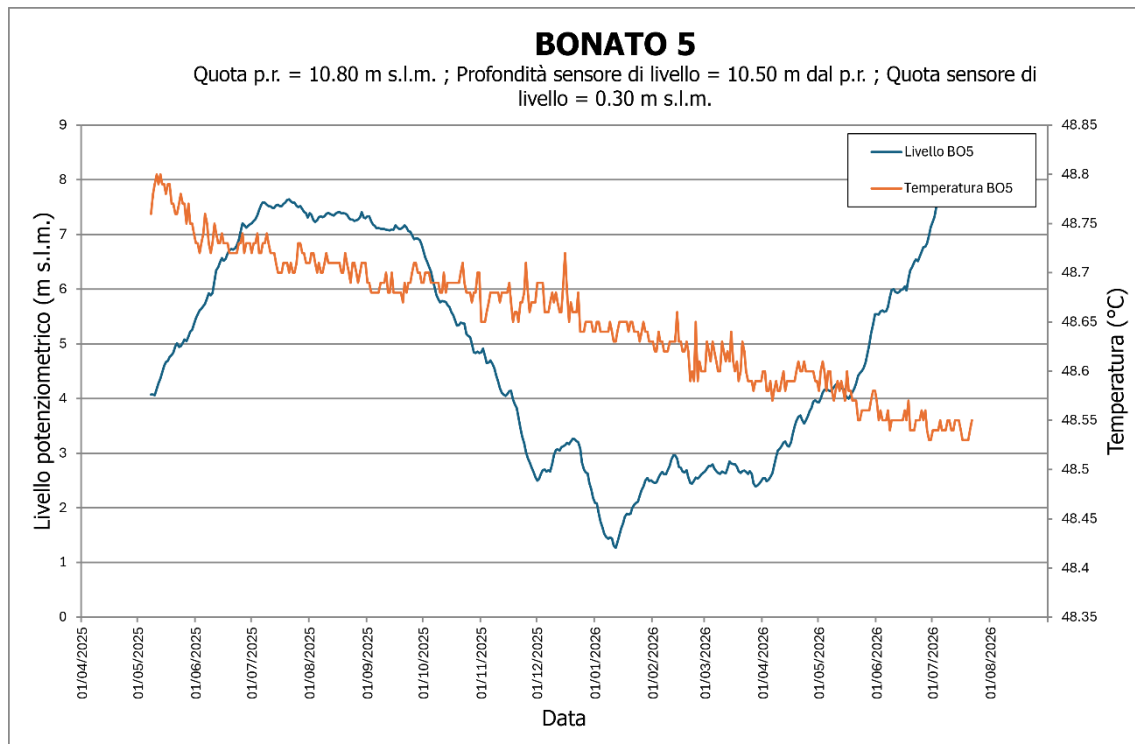


Figura 5.10.3: Serie temporale giornaliera del livello potenziometrico e della temperatura del pozzo Bonato 5 durante il primo anno di monitoraggio.

La serie potenziometrica presenta un andamento conforme alla stagionalità osservata nelle serie storiche, con valori più bassi durante il periodo invernale e un progressivo recupero dei livelli verso il periodo estivo. La temperatura mostra invece una lieve diminuzione nel corso del periodo analizzato, passando indicativamente da 48,8 a 48,55 °C.

Il periodogramma è riportato in Figura 5.10.4.

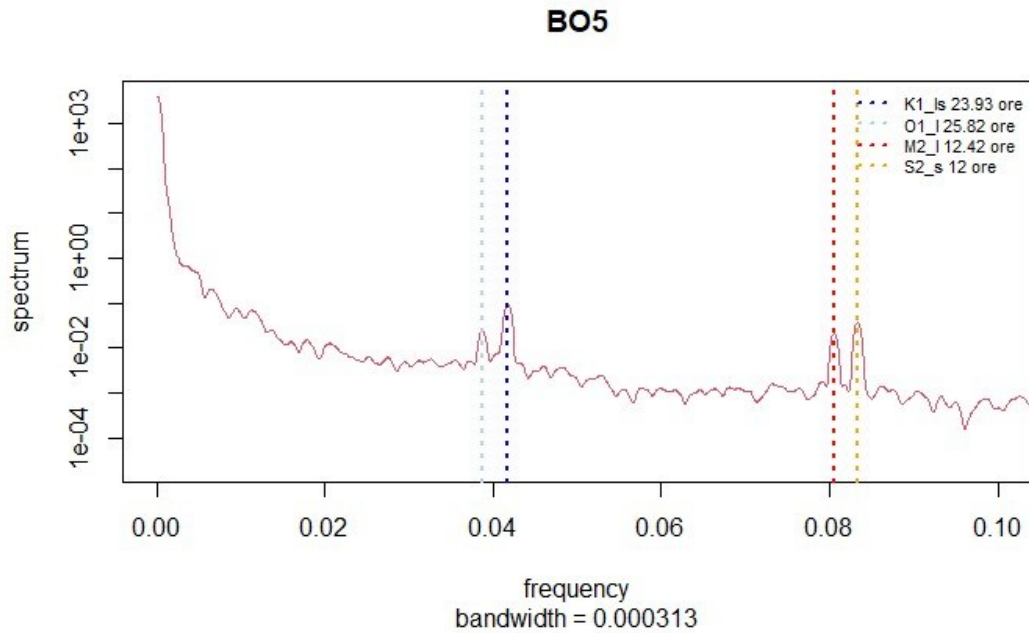


Figura 5.10.4: *Periodogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Bonato 5.*

Il periodogramma mostra picchi riconoscibili soprattutto in corrispondenza delle componenti K1, con frequenza di circa 1,00 cpd e periodo di circa 23,93 ore, e S2, con frequenza di 2,00 cpd e periodo di 12 ore. Risulta inoltre individuabile, sebbene con minore evidenza, la componente M2, con frequenza di circa 1,93 cpd e periodo di circa 12,42 ore.

Lo scalogramma Wavelet è riportato in Figura 5.10.5.

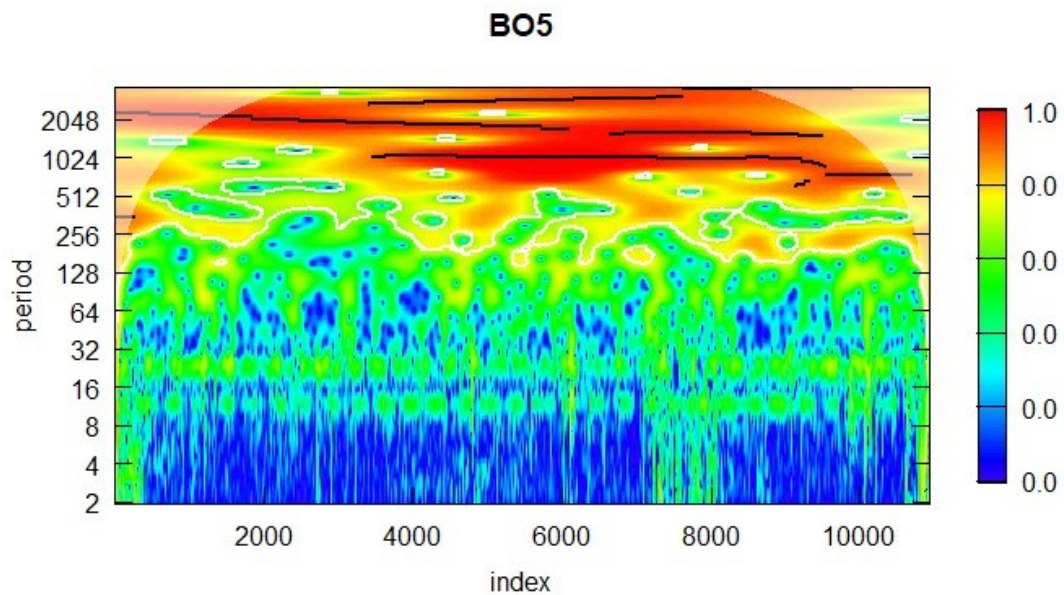


Figura 5.10.5: Scalogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Bonato 5.

Lo scalogramma Wavelet non evidenzia una chiara continuità temporale delle periodicità individuate nel periodogramma. In corrispondenza delle periodicità diurne, con periodi prossimi a 23,93 ore e frequenze prossime a 1,00 cpd, e semidiurne, con periodi prossimi a 12 ore e frequenze prossime a 2,00 cpd, non si osservano infatti bande persistenti nel corso della serie analizzata.

5.11 San Pelagio 1

Il pozzo San Pelagio 1 (DC_SP1) è ubicato nel comune di Due Carrare, in prossimità del Castello di San Pelagio, nel settore periferico dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs). Il pozzo non ha fatto parte della rete storica di monitoraggio; pertanto, le misure disponibili derivano esclusivamente dalle attività svolte nell'ambito del progetto TREASURE.

La stazione è stata attivata l'08/05/2025 mediante l'installazione di un trasduttore di livello immerso a circa 7 m dal bocca-pozzo e di una sonda di temperatura posizionata a 191 m di profondità, al termine della parte tubata. Durante le operazioni di installazione è stata misurata una soggiacenza pari a 1,34 m dal bocca-pozzo, mentre la temperatura registrata alla profondità della sonda è risultata pari a 44,0 °C. Al momento dell'installazione, la testa pozzo risultava sopraelevata di circa 1,25 m rispetto al piano campagna.

Nel giugno 2025 la strumentazione è stata temporaneamente rimossa per consentire interventi di manutenzione sulla testa pozzo, che presentava una perdita localizzata nella porzione emergente della tubazione. Al termine delle operazioni, i sensori sono stati reinstallati l'08/10/2025 alle medesime profondità operative.

A seguito degli interventi di manutenzione, la quota della testa pozzo è stata ridotta di circa 0,6 m, risultando attualmente sopraelevata di circa 0,65 m rispetto al piano campagna. Questa modifica ha aumentato il rischio di fuoriuscita d'acqua durante i periodi caratterizzati da livelli potenziometrici elevati. Per garantire la tenuta idraulica del sistema e la corretta acquisizione delle misure, sono stati installati appositi pressacavi, analogamente a quanto realizzato presso il pozzo Mezzavia 4.

La Figura 5.11.1 mostra la configurazione della stazione di monitoraggio installata presso il pozzo San Pelagio 1.



Figura 5.11.1: Stazione di monitoraggio installata nel pozzo San Pelagio 1.

La stratigrafia del pozzo, riportata in Figura 5.11.2, consente di osservare le principali unità geologiche intercettate e la profondità di installazione della sonda di temperatura, posizionata a 191 m al termine della parte tubata e indicata in rosso nella figura.

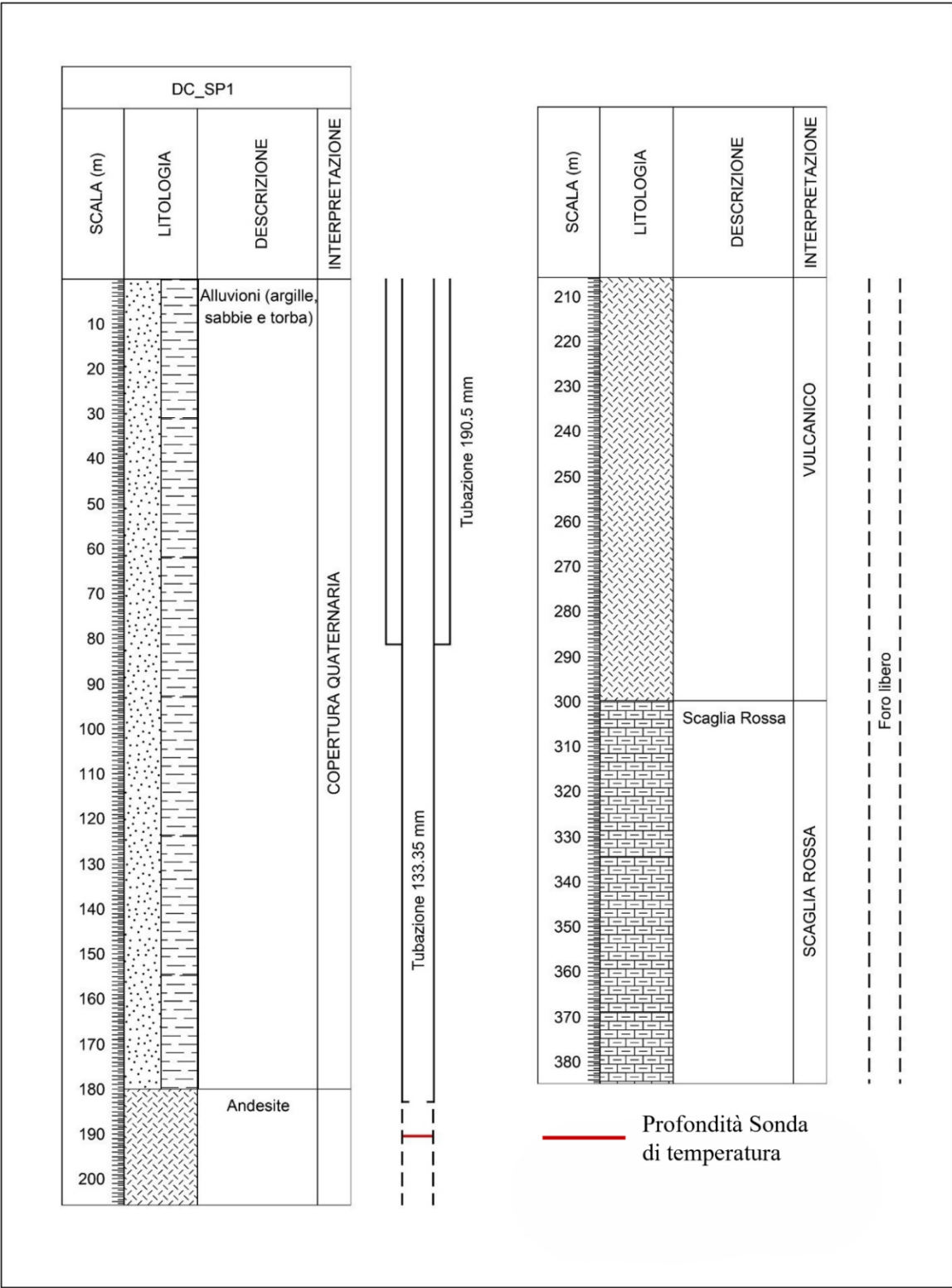


Figura 5.11.2: Stratigrafia del pozzo San Pelagio 1.

La Figura 5.11.3 riporta l'andamento dei livelli potenziometrici e delle temperature registrate nel periodo compreso tra l'08/05/2025 e il 22/07/2026.

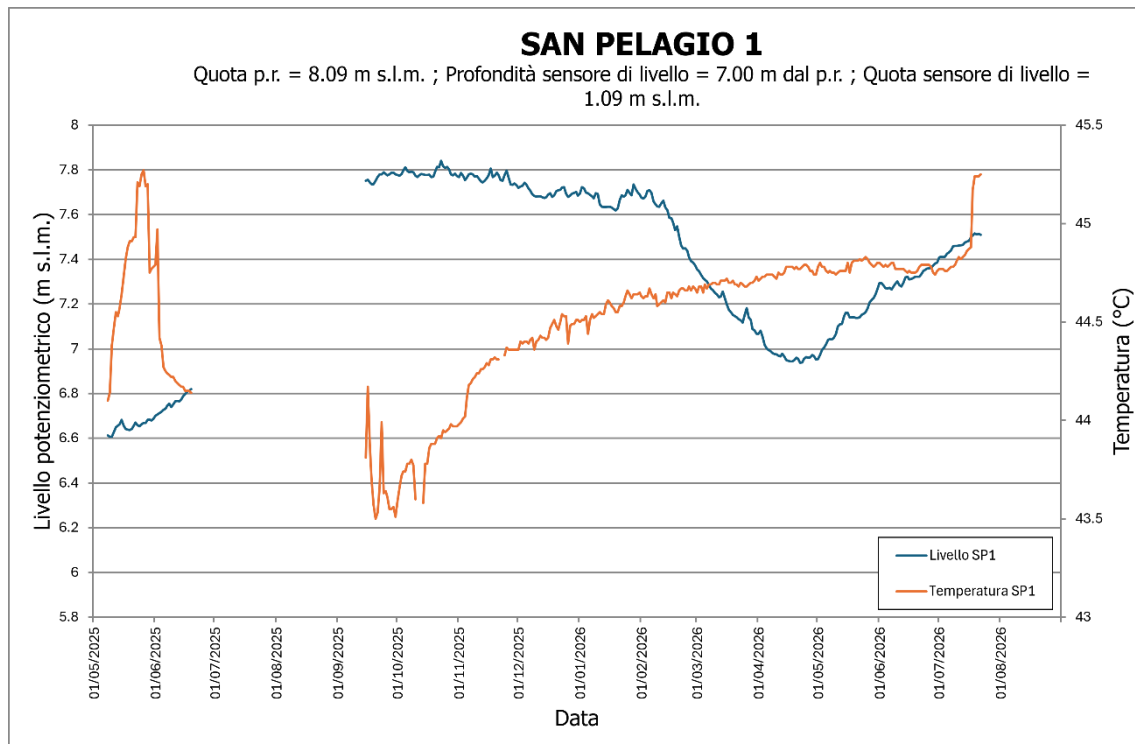


Figura 5.11.3: Serie temporale giornaliera del livello potenziometrico e della temperatura del pozzo San Pelagio 1 durante il primo anno di monitoraggio.

Pur presentando diverse lacune, la serie consente di riconoscere il generale andamento stagionale del livello potenziometrico, caratterizzato da una fase di abbassamento durante il periodo invernale e dal successivo recupero verso il periodo estivo. La temperatura si mantiene indicativamente tra 44 e 45 °C, sebbene anche la relativa serie presenti alcune discontinuità.

A causa dell'elevata percentuale di dati mancanti, la serie di San Pelagio 1 è stata esclusa dalle analisi spettrali, poiché la loro applicazione avrebbe richiesto l'imputazione di una porzione significativa della serie temporale.

5.12 Tacchetto 3

Il pozzo Tacchetto 3 (AB_TA3) è ubicato nel comune di Abano Terme, all'interno dell'area centrale dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs), presso la concessione dell'Abano Grand Hotel. Il pozzo non ha fatto parte della rete storica di monitoraggio e pertanto non erano disponibili informazioni pregresse sull'entità delle oscillazioni piezometriche caratteristiche del sito.

Le attività di monitoraggio sono state avviate nell'ambito del progetto TREASURE il 19/06/2025. Durante le operazioni preliminari è emersa una significativa variabilità del livello potenziometrico, superiore a quella ipotizzata sulla base delle informazioni disponibili per altri pozzi dell'area. Tale comportamento ha evidenziato l'inadeguatezza del trasduttore inizialmente previsto per il monitoraggio dei livelli, caratterizzato da un campo di misura fino a 1 bar.

Per garantire una corretta acquisizione dei dati, il sensore è stato successivamente sostituito con un trasduttore avente un campo di misura fino a 2 bar, installato il 15/09/2025 a una profondità di circa 20 m dal bocca-pozzo. La sonda di temperatura è stata invece installata il 19/06/2025 a una profondità di 228 m, poco al di sotto della parte tubata del pozzo.

La Figura 5.12.1 mostra la configurazione della stazione di monitoraggio installata presso il pozzo Tacchetto 3.



Figura 5.12.2: Stazione di monitoraggio installata nel pozzo Tacchetto 3.

La stratigrafia del pozzo, riportata in Figura 5.12.2, consente di osservare le principali unità geologiche intercettate e la profondità di installazione della sonda di temperatura, posizionata a 228 m poco al di sotto della parte tubata e indicata in rosso nella figura.

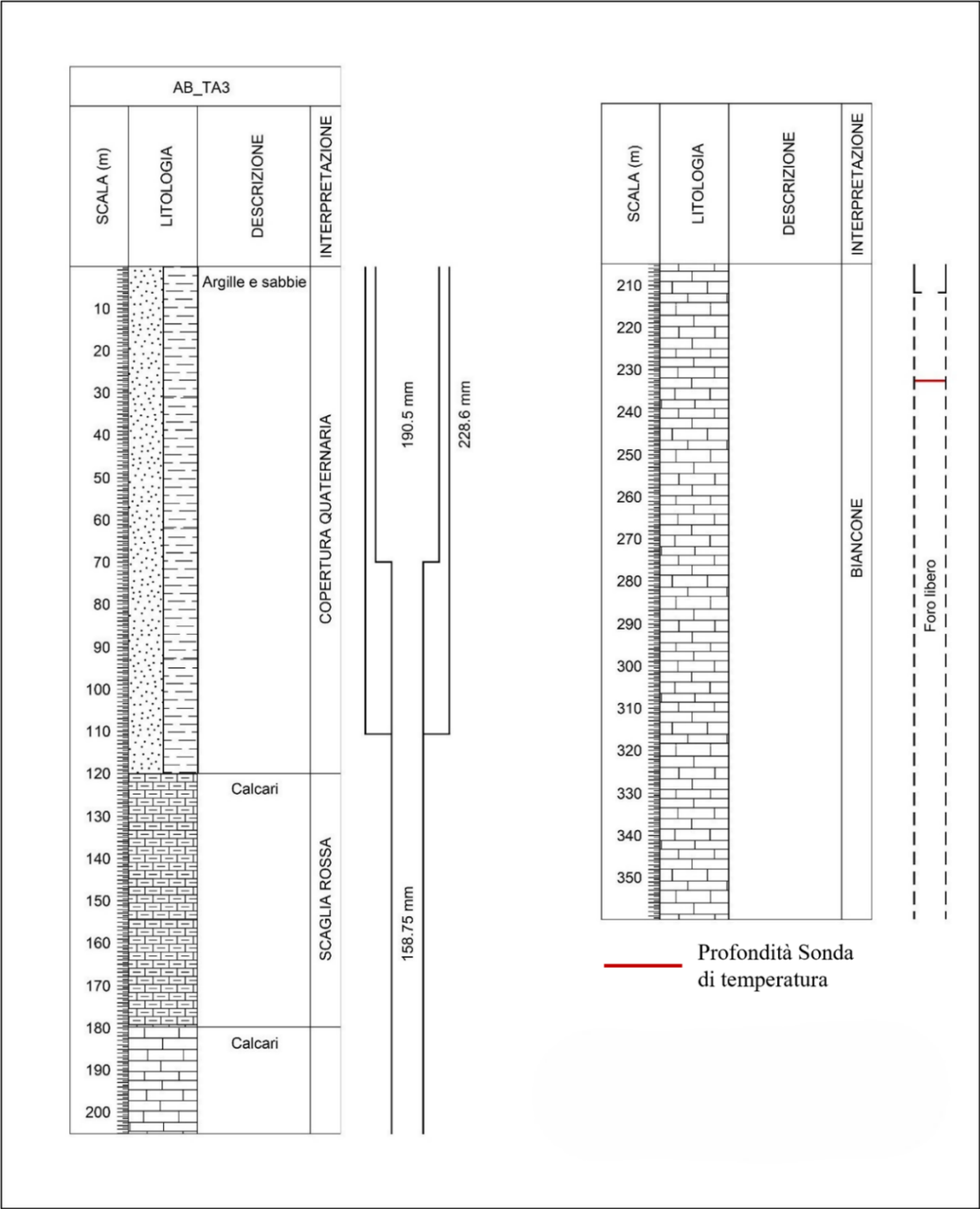


Figura 5.12.2: *Stratigrafia del pozzo Tacchetto 3.*

Durante la discesa della strumentazione è stato inoltre realizzato un profilo termico lungo la colonna del pozzo, mediante acquisizioni effettuate a intervalli regolari di profondità. Il profilo, riportato in Figura 5.12.3, mostra l'andamento della temperatura con la profondità. In corrispondenza della profondità di installazione della sonda, pari a 228 m, è stata registrata una temperatura di 83,8 °C, una delle più elevate misurate all'interno della rete di monitoraggio.

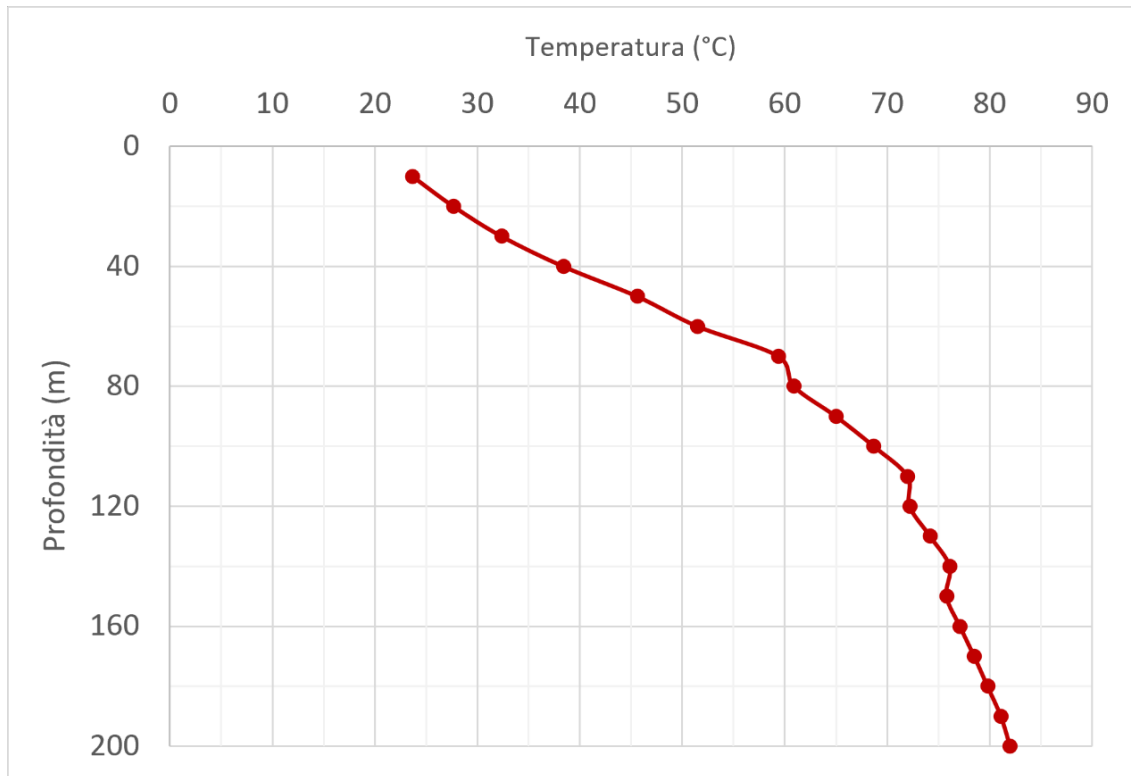


Figura 5.12.3: *Profilo di temperatura nel pozzo Tacchetto 3.*

La Figura 5.12.4 presenta l'andamento dei livelli potenziometrici e delle temperature registrate nel periodo compreso tra il 19/06/2025 e il 22/07/2026.

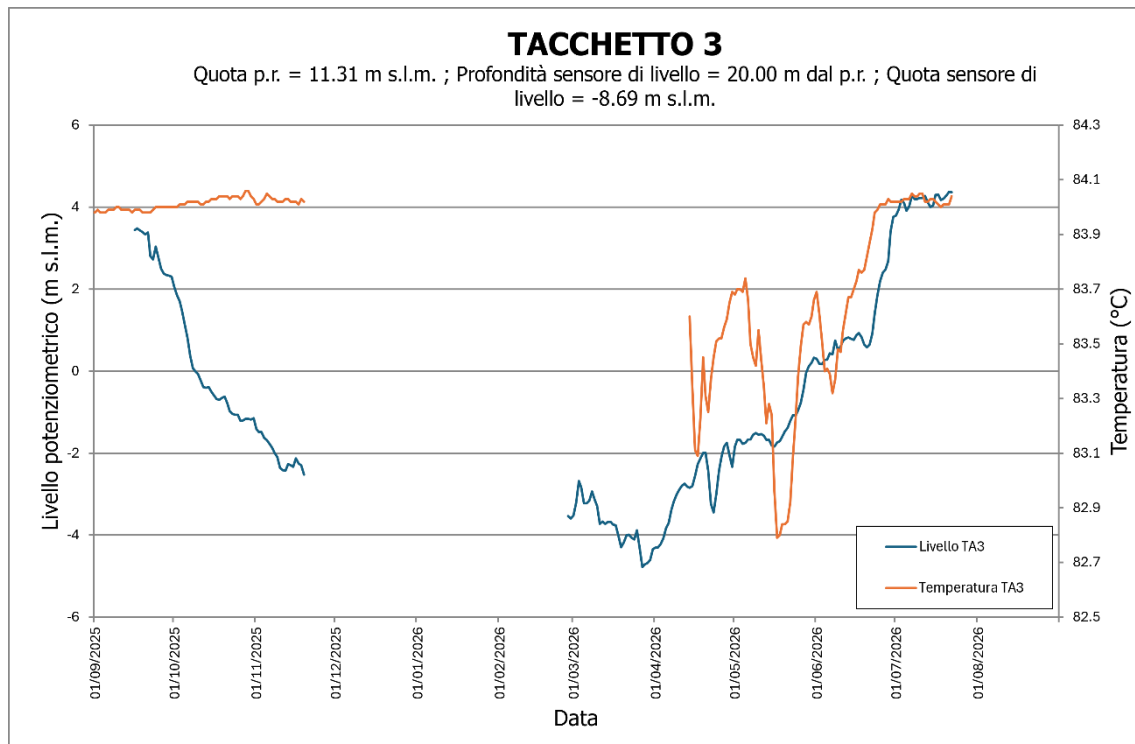


Figura 5.12.4: Serie temporale giornaliera del livello potenziometrico e della temperatura del pozzo Tacchetto 3 durante il primo anno di monitoraggio.

La serie termica risulta disponibile fin dall'attivazione della stazione, mentre le misure definitive di livello sono acquisite a partire dall'installazione del nuovo trasduttore, avvenuta il 15/09/2025. Nonostante le lacune presenti nella serie, i dati disponibili permettono di riconoscere un andamento stagionale dei livelli potenziometrici compatibile con quello osservato negli altri pozzi della rete, con una fase di abbassamento durante il periodo invernale e un successivo recupero verso il periodo estivo. La temperatura, pur essendo stata in parte ricostruita mediante imputazione, si mantiene indicativamente intorno agli 84 °C.

A causa dell'elevata percentuale di dati mancanti, la serie di Tacchetto 3 è stata esclusa dalle analisi spettrali, poiché la loro applicazione avrebbe richiesto l'imputazione di una porzione significativa della serie temporale.

5.13 P58

Il piezometro P58 è ubicato nel comune di Abano Terme, all'interno dell'area centrale dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs), presso la proprietà dell'Hotel All'Alba. A differenza della maggior parte delle stazioni della rete, P58 intercetta l'acquifero termale superficiale sviluppato nei depositi alluvionali quaternari. Le temperature relativamente elevate registrate in questo acquifero sono attribuibili all'anomalia termica che caratterizza il sistema geotermico euganeo e alla connessione idraulica con gli acquiferi termali profondi ospitati nelle formazioni carbonatiche fratturate.

P58 ha fatto parte della rete storica di monitoraggio ed è stato monitorato in modo continuativo dal 27/06/1990 fino ad oggi, rappresentando uno dei punti di osservazione più significativi per lo studio dell'acquifero superficiale. Le misure storiche hanno evidenziato un livello potenziometrico medio di circa 6,2 m s.l.m. e una temperatura media prossima a 27,4 °C, entrambi caratterizzati da variazioni stagionali.

Nell'ambito del progetto TREASURE, la stazione è stata aggiornata il 13/10/2025 mediante l'installazione di un trasduttore di livello immerso a circa 9 m dal bocca-pozzo e di una sonda di temperatura posizionata a 57 m di profondità, in prossimità del fondo del piezometro. Durante le operazioni di installazione è stata misurata una soggiacenza pari a 3,43 m dal bocca-pozzo, mentre la temperatura registrata alla profondità della sonda è risultata pari a 48,0 °C.

La Figura 5.13.1 mostra la configurazione della stazione di monitoraggio installata presso il piezometro P58.



Figura 5.13: *Stazione di monitoraggio installata nel piezometro P58.*

La stratigrafia del piezometro, riportata in Figura 5.13.2, consente di osservare le principali unità geologiche intercettate e di inquadrare l'acquifero termale superficiale sviluppato nei depositi alluvionali quaternari.

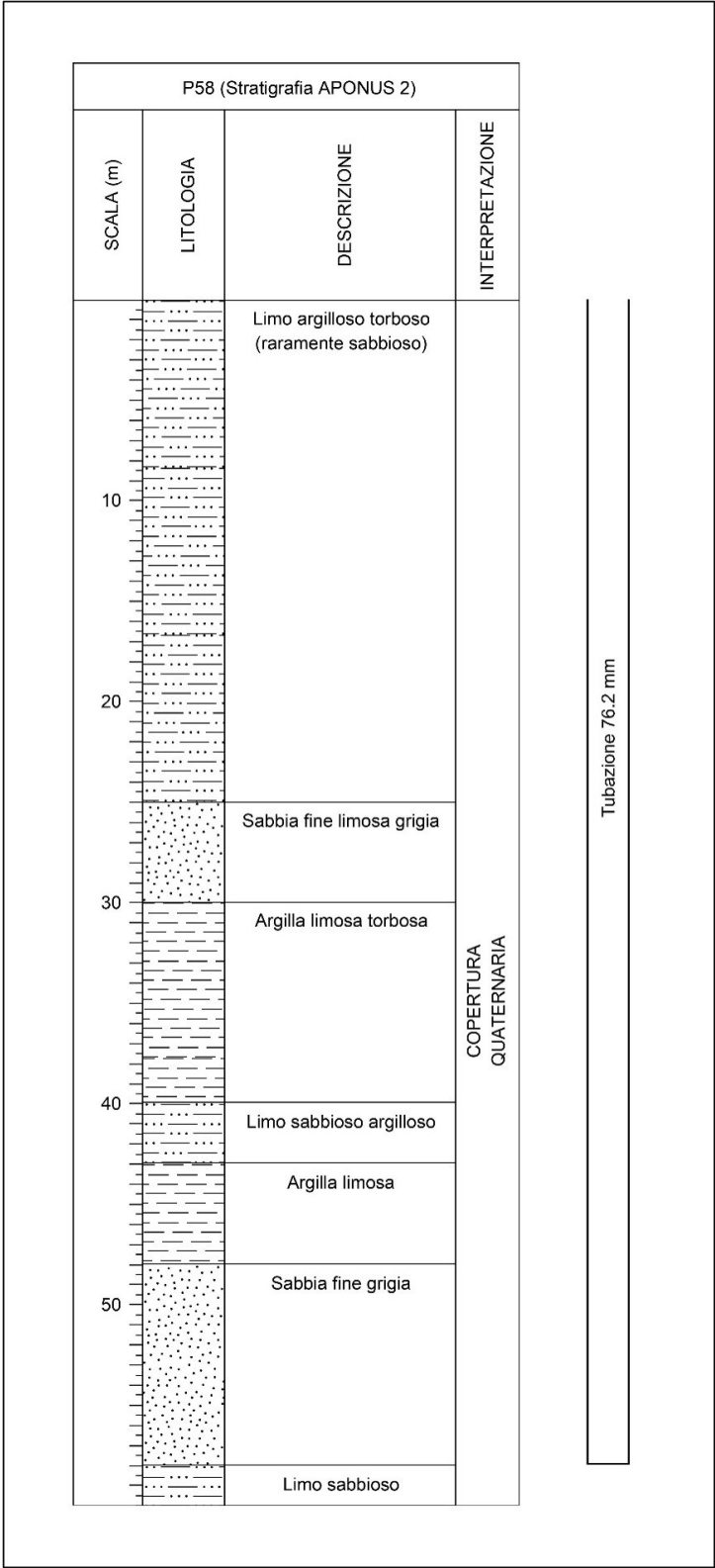


Figura 5.13.2: Stratigrafia del piezometro P58.

La Figura 5.13.3 riporta l'andamento dei livelli potenziometrici e delle temperature registrate nel periodo compreso tra il 13/10/2025 e il 22/07/2026.

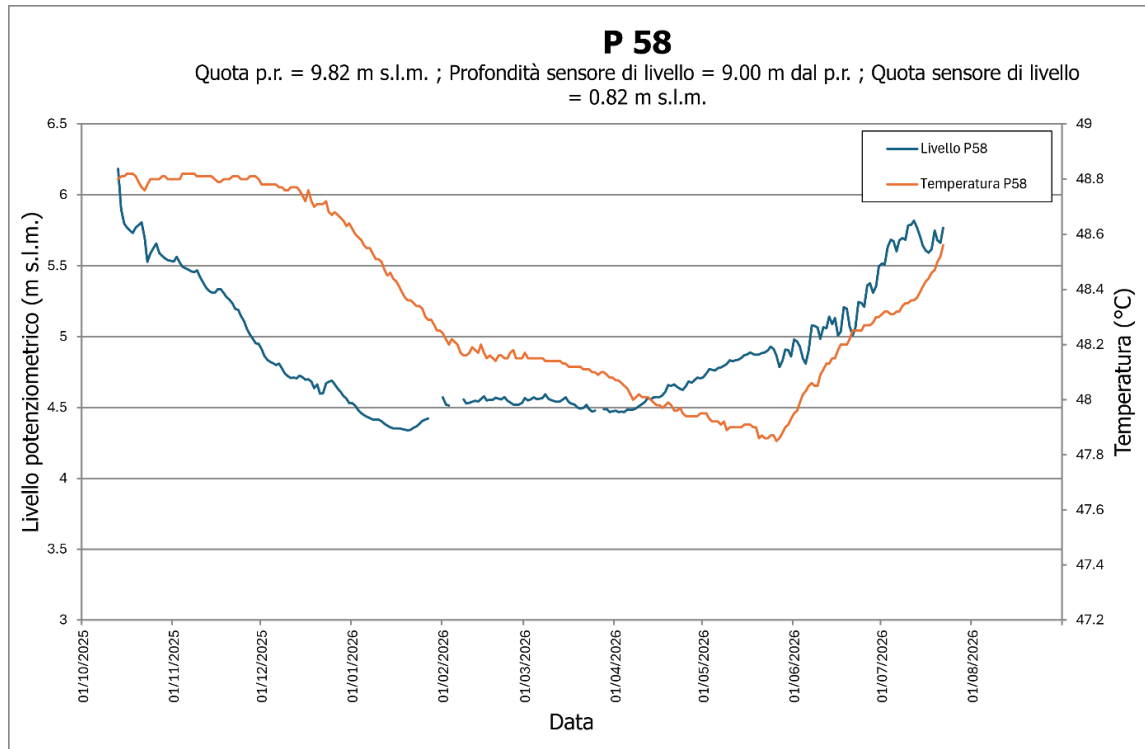


Figura 5.13.3: Serie temporale giornaliera del livello potenziometrico e della temperatura del piezometro P58 durante il primo anno di monitoraggio.

La serie potenziometrica presenta un andamento stagionale complessivamente simile a quello osservato negli altri pozzi della rete, sebbene le oscillazioni risultino meno marcate e i periodi di minimo e massimo siano meno nettamente riconoscibili. La temperatura mostra nel complesso un andamento simile a quello dei livelli potenziometrici, con valori compresi indicativamente tra 47,8 e 48,8 °C.

Per il piezometro P58, che intercetta l'acquifero termale superficiale sviluppato nei depositi alluvionali quaternari, l'analisi è stata limitata all'andamento dei livelli potenziometrici e della temperatura e non sono state effettuate le elaborazioni spettrali mediante periodogramma e analisi Wavelet.

5.14 Ca' Oddo

Il pozzo Ca' Oddo (MN_CO1) è ubicato nel comune di Monselice, al di fuori dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs). Realizzato nel 2017 nell'ambito di un permesso di ricerca per acque termali, rappresenta l'unico punto di monitoraggio del progetto TREASURE situato all'interno dell'area C della Rete Interna di Monitoraggio (RIM), un settore nel quale l'utilizzo della risorsa termale risulta attualmente limitato.

Il pozzo raggiunge una profondità di circa 351 m ed è caratterizzato da condizioni artesiane. Durante le attività di perforazione è stata misurata una temperatura dell'acqua pari a circa 48 °C, mentre successive verifiche hanno evidenziato pressioni superiori a 4 bar.

Nell'ambito del progetto TREASURE, il monitoraggio è stato avviato l'08/10/2025 mediante l'installazione di un trasduttore di pressione dedicato ai pozzi artesiani, posizionato in prossimità della testa pozzo. A causa delle elevate pressioni presenti e delle difficoltà tecniche associate all'installazione della strumentazione in condizioni artesiane, non è stata installata una sonda di temperatura.

La Figura 5.14.1 mostra la configurazione della stazione di monitoraggio installata presso il pozzo Ca' Oddo.



Figura 5.14.1 *Stazione di monitoraggio installata nel pozzo Ca' Oddo.*

La stratigrafia del pozzo, riportata in Figura 5.14.2, consente di osservare le principali unità geologiche intercettate lungo i circa 351 m di profondità del pozzo.

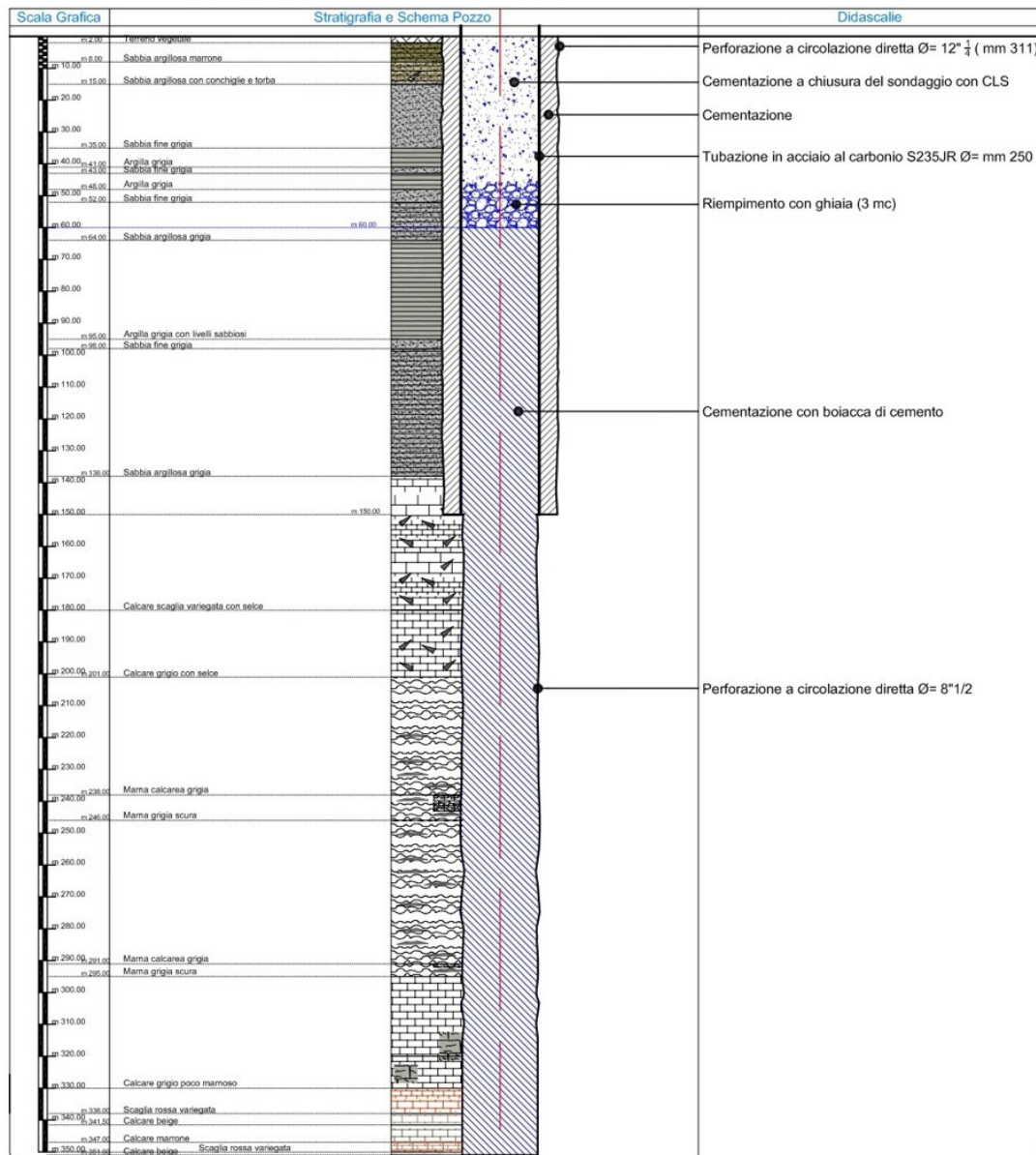


Figura 5.14.2: Stratigrafia del pozzo Cà Oddo.

La Figura 5.14.3 riporta l'andamento dei livelli potenziometrici registrati nel periodo compreso tra l'08/10/2025 e il 22/07/2026.

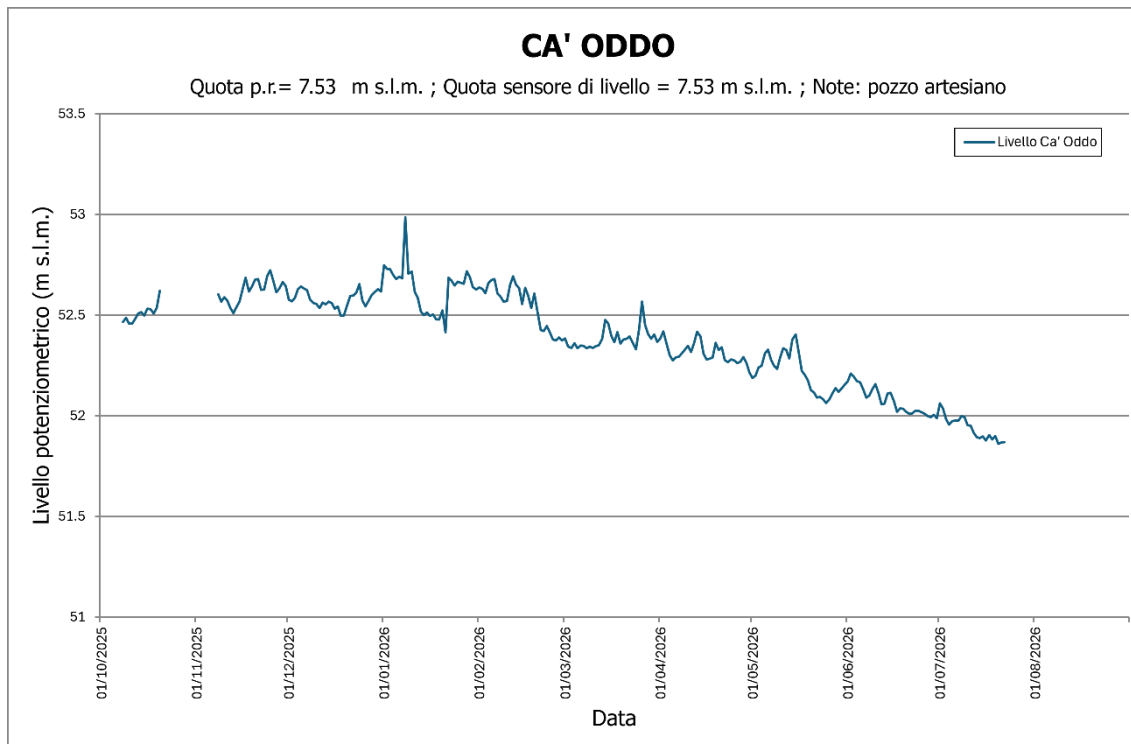


Figura 5.14.3: *Serie temporale giornaliera del livello potenziometrico del pozzo Ca' Oddo durante il primo anno di monitoraggio.*

La serie potenziometrica di Ca' Oddo presenta un comportamento nettamente differente rispetto a quello osservato nella maggior parte delle altre stazioni della rete. Nel periodo analizzato non è infatti riconoscibile il tipico andamento stagionale caratterizzato dall'abbassamento invernale e dal successivo recupero verso il periodo estivo. Si osserva invece una tendenza complessiva alla diminuzione del livello potenziometrico, sulla quale si sovrappongono oscillazioni di breve periodo, senza che emergano chiaramente i massimi e i minimi stagionali individuati negli altri pozzi.

Il periodogramma è riportato in Figura 5.14.4

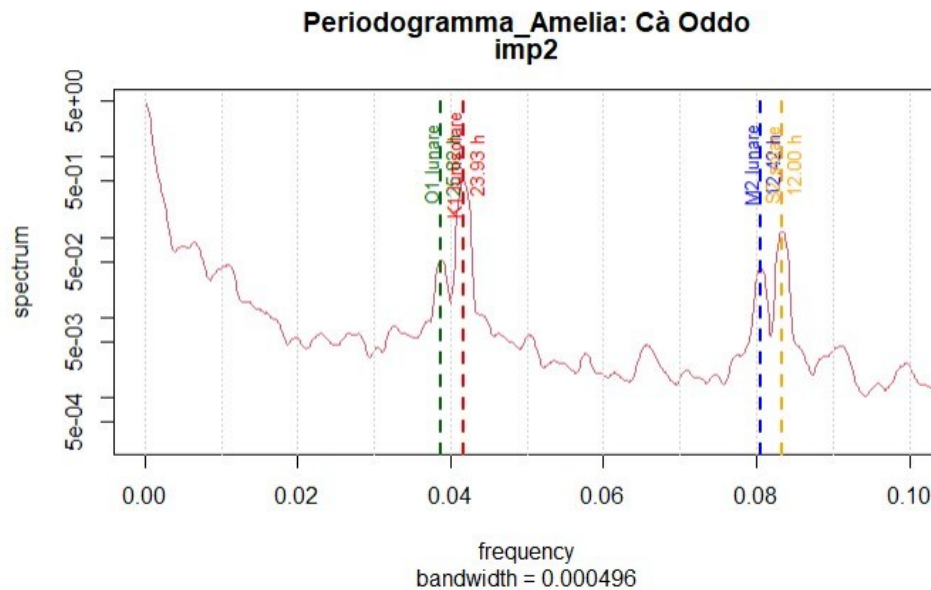


Figura 5.14.4: *Periodogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Cà Oddo*

Il periodogramma evidenzia in modo ben definito i picchi associati alle principali componenti mareali considerate. Risultano particolarmente evidenti le componenti K1, con frequenza di circa 1,00 cpd e periodo di circa 23,93 ore, e S2, con frequenza di 2,00 cpd e periodo di 12 ore. Sono inoltre chiaramente riconoscibili le componenti O1, con frequenza di circa 0,93 cpd e periodo di circa 25,82 ore, e M2, con frequenza di circa 1,93 cpd e periodo di circa 12,42 ore.

Lo scalogramma Wavelet è, riportato in Figura 5.14.5.

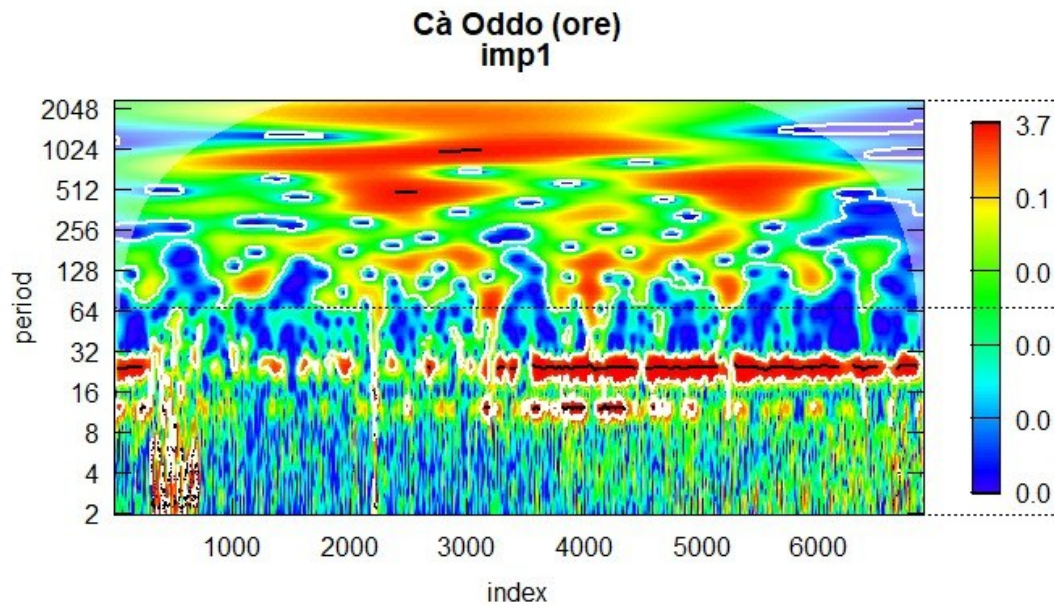


Figura 5.14.5: Scalogramma della serie potenziometrica oraria del pozzo Cà Oddo.

Lo scalogramma mostra una maggiore persistenza temporale delle periodicità individuate nel periodogramma rispetto a quanto osservato nella maggior parte degli altri pozzi analizzati. Le periodicità diurne, con periodi compresi tra circa 23,93 e 25,82 ore e frequenze comprese tra circa 0,93 e 1,00 cpd, e semidiurne, con periodi compresi tra circa 12 e 12,42 ore e frequenze comprese tra circa 1,93 e 2,00 cpd, risultano ben riconoscibili nel corso della serie. La loro presenza non è tuttavia continua, mostrando alcuni intervalli nei quali risultano meno evidenti.

5.15 Considerazioni generali

Il confronto tra le diverse stazioni della rete TREASURE permette di individuare alcuni elementi comuni, ma anche differenze significative nel comportamento dei livelli potenziometrici e nelle caratteristiche delle componenti periodiche riconosciute attraverso le analisi spettrali.

Per quanto riguarda gli andamenti stagionali, la maggior parte dei pozzi mostra una successione di fasi di abbassamento e recupero dei livelli che riproduce, almeno nelle caratteristiche principali, il regime già documentato dalle serie storiche dei Campi Geotermici Euganei. Tale regime è caratterizzato dall'alternanza di massimi e minimi potenziometrici nel corso dell'anno: i minimi si verificano generalmente all'inizio dell'inverno, all'inizio della primavera e durante l'autunno, mentre i massimi sono osservati a metà inverno, durante l'estate e tra la fine dell'autunno e l'inizio dell'inverno. Negli ultimi decenni il minimo assoluto è generalmente rappresentato dal minimo invernale, mentre il massimo assoluto si registra durante il periodo estivo (Fabbri et al., 2017).

La presenza di un andamento comparabile nella maggior parte delle stazioni TREASURE conferma quindi quanto già osservato attraverso il monitoraggio storico. Le oscillazioni stagionali dei livelli possono essere messe in relazione con le variazioni dei volumi di acqua termale emunti durante l'anno, a loro volta legate ai principali utilizzi della risorsa, quali le attività termali e il riscaldamento delle strutture alberghiere. Nei periodi caratterizzati da un maggiore sfruttamento si osserva generalmente un abbassamento del livello potenziometrico, mentre la riduzione dei prelievi favorisce il successivo rapido recupero.

Da questo comportamento si distingue soprattutto Cà Oddo, la cui serie non riproduce il regime stagionale osservato nella maggior parte delle stazioni interne. Questo elemento assume particolare interesse considerando la posizione del pozzo, esterna alla principale area di emungimento dei Campi Geotermici Euganei. Il Regazzoni 1, pur presentando anch'esso condizioni artesiane, mostra invece un andamento maggiormente confrontabile con quello delle altre stazioni. La sua ubicazione nel settore di Galzignano Terme, più vicina e maggiormente connessa all'area interessata dallo sfruttamento rispetto a Cà Oddo, potrebbe contribuire alla differente risposta osservata. Il confronto suggerisce quindi che la posizione rispetto alle aree di emungimento rappresenti un elemento importante nella differenziazione degli andamenti potenziometrici registrati dalla rete.

Un quadro altrettanto interessante emerge dalle analisi nel dominio delle frequenze. I periodogrammi mostrano, con intensità differenti tra le stazioni, massimi localizzati in prossimità delle periodicità corrispondenti alle principali componenti mareali considerate. Il caso più evidente è ancora una volta quello di Cà Oddo, dove risultano chiaramente riconoscibili quattro picchi associati a O1 (componente diurna lunare), K1 (componente diurna luni-solare), M2 (componente semidiurna lunare) e S2 (componente semidiurna solare). Nella maggior parte degli altri pozzi le componenti K1 e S2 risultano generalmente più evidenti, mentre O1 e M2 presentano picchi meno marcati e maggiormente confusi con il fondo spettrale. Le ragioni della maggiore evidenza di K1 e

S2 rispetto alle altre due componenti non possono essere definite sulla base delle analisi effettuate nel presente lavoro.

Le differenze tra le stazioni risultano ancora più evidenti considerando gli scalogrammi Wavelet. Cà Oddo presenta bande a maggiore potenza ben riconoscibili e caratterizzate da una notevole continuità temporale in corrispondenza delle periodicità diurne e semidiurne. Un comportamento simile, sebbene meno netto e maggiormente variabile nel tempo, è osservato anche in Regazzoni 1. Nella maggior parte degli altri pozzi, invece, in corrispondenza delle stesse periodicità le zone a maggiore potenza risultano meno intense e soprattutto meno continue nel corso del periodo analizzato.

La distribuzione spaziale di queste differenze costituisce uno degli aspetti più interessanti emersi dal confronto. Cà Oddo è localizzato all'esterno della principale area di sfruttamento, mentre Regazzoni 1 si trova nel settore di Galzignano Terme, in posizione più periferica rispetto alle principali aree di emungimento di Abano Terme e Montegrotto Terme, ma vicino ad un polo di estrazione legato alla floricultura. Nei pozzi maggiormente inseriti nell'area di sfruttamento, al contrario, le periodicità considerate risultano generalmente meno nette, soprattutto negli scalogrammi.

Una possibile interpretazione è quindi legata all'influenza dell'attività di emungimento sulla dinamica dei livelli potenziometrici. L'ipotesi iniziale prevedeva che nei settori maggiormente sfruttati le oscillazioni prodotte dai prelievi potessero mascherare quasi completamente le variazioni di minore ampiezza associate alle deformazioni mareali. I risultati mostrano invece una situazione più articolata. Le componenti riconducibili alle principali periodicità mareali non sembrano scomparire nei pozzi posti in aree a maggiore sfruttamento, poiché alcuni massimi rimangono riconoscibili nei periodogrammi, ma risultano generalmente meno definiti e, soprattutto, meno persistenti nel tempo negli scalogrammi.

Il confronto complessivo suggerisce pertanto che il segnale associato alle maree crostali possa essere presente nell'intero sistema, ma con una diversa riconoscibilità nelle varie stazioni. In condizioni caratterizzate da una limitata influenza dell'emungimento, come nel caso di Cà Oddo, esso emerge in maniera particolarmente chiara; Regazzoni 1 mostra una situazione intermedia, mentre nei pozzi maggiormente inseriti nell'area di sfruttamento le stesse periodicità risultano più deboli e discontinue. In questi ultimi, le oscillazioni prodotte dall'attività di prelievo potrebbero sovrapporsi al segnale di minore ampiezza associato alle deformazioni crostali, rendendone più difficile l'identificazione.

Tale interpretazione deve comunque essere considerata come un'ipotesi derivante dai risultati del primo periodo di monitoraggio. Serie temporali più lunghe permetteranno di verificare la persistenza del comportamento osservato e di valutare con maggiore dettaglio il ruolo dell'emungimento rispetto ad altri fattori in grado di influenzare le oscillazioni potenziometriche, quali le condizioni meteorologiche, le variazioni di temperatura e ulteriori forzanti naturali o antropiche.

6 Conclusioni

Il presente lavoro di tesi ha avuto come obiettivo principale lo studio delle dinamiche idrogeologiche dei Campi Geotermici Euganei (EuGFs) attraverso l'analisi dei dati acquisiti dalla nuova rete di monitoraggio realizzata nell'ambito del progetto TREASURE. Il lavoro si inserisce in un contesto caratterizzato da una lunga storia di sfruttamento della risorsa termale e da altrettanto consolidate attività di monitoraggio, avviate a partire dagli anni Settanta in seguito agli importanti abbassamenti dei livelli potenziometrici prodotti dall'intenso emungimento sviluppatosi nel corso del Novecento.

La realizzazione della nuova rete rappresenta un elemento importante per dare continuità alle conoscenze acquisite attraverso il monitoraggio storico e, allo stesso tempo, per ampliare il numero e la distribuzione dei punti di osservazione. Le attività svolte nell'ambito del progetto TREASURE hanno permesso di ripristinare il monitoraggio in alcuni pozzi appartenenti alla rete storica e di introdurre nuovi punti di misura, comprendendo condizioni idrogeologiche e operative differenti. La presenza di pozzi localizzati, sia nelle aree maggiormente interessate dallo sfruttamento, sia nei settori periferici, ha consentito di ottenere un quadro più articolato del comportamento del sistema.

Il primo periodo di funzionamento della rete ha inoltre rappresentato una fase di verifica della strumentazione installata. Alcune stazioni hanno richiesto modifiche, sostituzioni dei sensori o interventi finalizzati a migliorare la tenuta e l'affidabilità del sistema di acquisizione. Tali problematiche costituiscono un aspetto inevitabile nella fase iniziale di una rete di monitoraggio e hanno permesso di individuare soluzioni tecniche maggiormente adatte alle particolari condizioni presenti nei pozzi termali, caratterizzati localmente da temperature elevate e condizioni artesiane significative. Il mantenimento della rete e la continuità delle acquisizioni risultano pertanto essenziali affinché il sistema TREASURE possa produrre, nel tempo, serie sufficientemente lunghe e affidabili per lo studio della risorsa.

L'analisi dei dati acquisiti ha confermato innanzitutto la presenza di una marcata risposta stagionale dei livelli potenziometrici. Pur con ampiezze differenti tra le diverse stazioni, gli andamenti osservati durante il primo anno di monitoraggio risultano complessivamente coerenti con quanto documentato dalle serie storiche. Le variazioni dei livelli seguono infatti le variazioni dell'intensità dello sfruttamento della risorsa termale durante l'anno: un aumento dei prelievi determina generalmente un abbassamento del livello potenziometrico, mentre la riduzione dei volumi emunti favorisce il successivo recupero.

Questo risultato conferma come l'attività di emungimento costituisca uno dei principali fattori di influenza sulla dinamica potenziometrica degli acquiferi termali euganei. Le differenze osservate tra i singoli pozzi indicano tuttavia che la risposta non è uniforme nello spazio. Le stazioni localizzate nei settori maggiormente sfruttati possono risentire più direttamente delle variazioni dei prelievi, mentre nei settori periferici il comportamento appare generalmente meno condizionato dall'attività antropica. La prosecuzione del monitoraggio consentirà di verificare con maggiore dettaglio queste

differenze e di valutare la risposta del sistema su scale temporali superiori a quella annuale considerata nel presente lavoro.

Accanto allo studio delle variazioni stagionali, l'utilizzo delle serie con frequenza oraria ha permesso di approfondire la presenza di oscillazioni di minore ampiezza attraverso l'applicazione delle analisi nel dominio delle frequenze. La combinazione tra periodogrammi ottenuti mediante Trasformata di Fourier e scalogrammi Wavelet ha consentito di riconoscere componenti periodiche che sarebbero difficilmente individuabili attraverso la sola osservazione delle serie temporali.

Il risultato più evidente delle analisi nel dominio delle frequenze è stato ottenuto nel pozzo Cà Oddo, situato al di fuori dell'area di maggiore sfruttamento e quindi caratterizzato da un'assenza di influenza delle attività di emungimento. In questa stazione il periodogramma evidenzia picchi ben definiti in corrispondenza delle frequenze teoriche associate alle componenti a O1 (componente diurna lunare), K1 (componente diurna luni-solare), M2 (componente semidiurna lunare) e S2 (componente semidiurna solare). Anche l'analisi Wavelet mostra una presenza chiara e persistente delle periodicità diurne e semidiurne compatibili con tali componenti. Nel loro insieme, queste osservazioni suggeriscono che una parte delle oscillazioni registrate possa essere ricondotta alla risposta dell'acquifero alle forzanti mareali.

Un risultato particolarmente interessante riguarda tuttavia il confronto tra Cà Oddo e le stazioni appartenenti alla rete TREASURE. L'ipotesi iniziale prevedeva che il disturbo prodotto dall'emungimento potesse mascherare quasi completamente le oscillazioni di minore ampiezza associate alle forzanti naturali. I risultati ottenuti mostrano invece una situazione più complessa: componenti localizzate in corrispondenza delle principali frequenze mareali risultano riconoscibili anche nei pozzi interni ai Campi Geotermici Euganei, sebbene con caratteristiche differenti tra le diverse stazioni.

Queste differenze risultano particolarmente evidenti negli scalogrammi Wavelet. Oltre a Cà Oddo, anche il pozzo Regazzoni 1 mostra infatti una risposta relativamente intensa e persistente in corrispondenza delle periodicità diurne e semidiurne, mentre nella maggior parte delle altre stazioni tali componenti appaiono generalmente meno intense e discontinue nel tempo. La posizione di Regazzoni 1 nel settore di Galzignano Terme, più periferico rispetto alle principali aree di sfruttamento di Abano Terme e Montegrotto Terme, rappresenta in questo senso un elemento di particolare interesse.

Nei settori meno influenzati dall'emungimento, come Cà Oddo sito in comune di Monselice e, in misura minore, Regazzoni 1, il segnale risulta maggiormente evidente e persistente; nelle stazioni maggiormente inserite nell'area di sfruttamento, invece, le stesse periodicità sono ancora individuabili, ma risultano generalmente meno definite. Una possibile interpretazione è che le oscillazioni associate alle forzanti mareali non vengano eliminate dall'attività di sfruttamento, ma rimangano sovrapposte alle variazioni prodotte dai prelievi e da altre perturbazioni che interessano il sistema, risultando quindi maggiormente mascherate nei settori più disturbati.

Nel complesso, il lavoro svolto evidenzia il valore del monitoraggio continuo come strumento conoscitivo e gestionale del Sistema Geotermico Euganeo (EuGS). La nuova rete TREASURE non rappresenta soltanto il recupero della precedente capacità di osservazione del sistema, ma costituisce la base per una nuova fase di studio nella quale dati potenziometrici, termici e relativi allo sfruttamento della risorsa termale potranno essere analizzati congiuntamente e su scale temporali differenti. La prosecuzione delle acquisizioni consentirà di affinare le interpretazioni proposte nel presente lavoro, confermandole o eventualmente modificandole alla luce di serie temporali più estese.

La corretta gestione della risorsa termale euganea richiede una conoscenza approfondita del comportamento degli acquiferi e della loro risposta, sia allo sfruttamento della risorsa, sia alle forzanti naturali. La relazione osservata tra livelli potenziometrici e prelievi conferma l'importanza del controllo dell'attività antropica, mentre l'individuazione di oscillazioni riconducibili a forzanti naturali mostra come le serie di monitoraggio possano contenere informazioni ulteriori sul comportamento idrodinamico del sistema. In questa prospettiva, la continuità della rete TREASURE potrà fornire un supporto sempre più solido alla comprensione, alla tutela e alla gestione nel lungo periodo della risorsa termale degli EuGFs.

7 Bibliografia

- Antonelli, R., Callegari, E., Fabbri, P., & Sedea, R. (1993). *Recenti contributi alla conoscenza dell'idrostruttura del bacino termale Euganeo (Padova)*. *Memorie e Note Geom.*, 79, 49–55.
- Bastias Espejo, J. M., Rau, G. C., & Blum, P. (2022). *Groundwater responses to Earth tides: Evaluation of analytical solutions using numerical simulation*. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 127, 1–3.
- Bracewell, R.N., 2000. *The Fourier Transform and Its Applications*. 3rd ed. Boston: McGraw-Hill.
- Castellarin, A., & Cantelli, L. (2000). *Neo-Alpine evolution of the Southern Eastern Alps*. *Journal of Geodynamics*, 30(1–2), 1–2.
- Cucato, M., De Vecchi, G. P., Mozzi, P., Abbà, T., Paiero, G., & Sedea, R. (2011). *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. Foglio 147 Padova Sud*. LTS Land Technology & Services, Padova e Treviso.
- Honaker, J., King, G., & Blackwell, M. (2011). *Amelia II: A Program for Missing Data*. *Journal of Statistical Software*, 45(7), 1–5.
- Labat, D., 2005. *Recent Advances in Wavelet Analyses: Part I. A Review of Concepts*. *Journal of Hydrology*, 314(1–4), pp. 275–288.
- Mayer, A., Pola, M., Fabbri, P., Piccinini, L., & Zampieri, D. (2015). *Radium–radon–actinium systematic in geothermal groundwater: Constraints for groundwater upwelling-time in the Euganean Geothermal Field (Italy)*. In *International Symposium on Isotope Hydrology Revisiting Foundations and Exploring Frontiers – Book of Extended Synopses* (pp. 209–211). Wien, Austria, 11–15 May 2015. (Poster Session 1).
- McMillan, T. C., Rau, G. C., Timms, W. A., & Andersen, M. S. (2019). *Utilizing the impact of Earth and atmospheric tides on groundwater systems: A review reveals the future potential*. *Reviews of Geophysics*, 57(2), 281–315.
- Moritz, S. & Bartz-Beielstein, T., 2017. *imputeTS: Time Series Missing Value Imputation in R*. *The R Journal*, 9(1), pp. 207–218.
- Pola, M., Fabbri, P., Piccinini, L., & Zampieri, D. (2015). *Conceptual and numerical models of a tectonically-controlled geothermal system: A case study of the Euganean Geothermal System, Northern Italy*. *Central European Geology*, 58(1–2), 129–151.
- Pola, M., Cacace, M., Fabbri, P., Piccinini, L., Zampieri, D., & Torresan, F. (2020). *Fault control on a thermal anomaly: Conceptual and numerical modelling of a low-temperature geothermal system in the Southern Alps foreland basin (NE Italy)*. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 125(5).

Fabbri, P., Pola, M., Piccinini, L., Zampieri, D., Roghel, A., & Dalla Libera, N. (2017). *Monitoring, utilization and sustainable development of a low-temperature geothermal resource: A case study of the Euganean Geothermal Field (NE, Italy)*. *Geothermics*, 70, 281–294.

R Core Team (2026) *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Regione del Veneto (2025,. *Avviso esplorativo per l'autorizzazione di progetti geotermici sperimentali a prevalente interesse pubblico finalizzati alla produzione di dati scientifici nell'ambito del programma di monitoraggio del Bacino Termale Euganeo (TREASURE), Allegato A al Decreto del Direttore della Direzione Geologia e Georisorse n. 31 del 14 febbraio 2025*

Roesch, A., & Schmidbauer, H. (2025). *WaveletComp: Computational Wavelet Analysis (R package version 1.2)*

Rosignoli, A. (2003). *Studio geologico ed idrogeologico dei campi idrotermali di Galzignano ed Abano Terme (Tesi di laurea inedita)*. Università degli Studi di Padova.

Savage, H. M., & Brodsky, E. E. (2011). *Collateral damage: Evolution with displacement of fracture distribution and secondary fault strands in fault damage zones*. *Journal of Geophysical Research*, 116(B3).

Shumway, R.H. & Stoffer, D.S., 2006. *Time Series Analysis and Its Applications: With R Examples*. 2nd ed. New York: Springer

Tecnopenta S.r.l. (2025). *Schede tecniche e documentazione operativa della rete di monitoraggio TREASURE. Report interno*.

Torrence, C. & Compo, G.P., 1998. *A Practical Guide to Wavelet Analysis*. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(1), pp. 61–78

Torresan, F., Piccinini, L., Pola, M., Zampieri, D., & Fabbri, P. (2020). *3D hydrogeological reconstruction of the fault-controlled Euganean Geothermal System (NE Italy)*. *Engineering Geology*, 274, 105740.

Zampieri, D., Fabbri, P., & Pola, M. (2009). *Structural constraints to the Euganean Geothermal Field (NE Italy)*. *Rendiconti Online della Società Geologica Italiana*, 5, 238–240.

Zampieri, D., Pola, M., & Fabbri, P. (2010). *The fissure ridge of Abano Terme (Padova)*. *Rendiconti Online della Società Geologica Italiana*, 11, 366–367

8 Ringraziamenti

Al termine di questo percorso, desidero dedicare alcune parole alle persone che, in modi diversi, ne hanno fatto parte e mi hanno accompagnato fino a questo traguardo.

Il primo e più importante ringraziamento va ai miei genitori, Paola e Antonio, per essermi sempre stati accanto e per avermi sostenuto durante tutti questi anni. Grazie per avermi dato la possibilità di intraprendere e portare a termine questo percorso, per la fiducia che avete sempre riposto in me e per essere stati un punto di riferimento costante, nei momenti più semplici così come in quelli più difficili. Un grazie va naturalmente anche a tutta la mia famiglia, per la presenza, l'affetto e il sostegno che non sono mai mancati.

Desidero poi ringraziare il Professor Paolo Fabbri, mio relatore, per avermi seguito durante questi mesi e per avermi dato la possibilità di prendere parte a questo progetto. La ringrazio per la disponibilità, per i consigli e per avermi permesso di lavorare su un argomento che mi ha dato l'opportunità di mettere in pratica e approfondire molte delle conoscenze acquisite durante il mio percorso universitario.

Un ringraziamento particolare va poi a Tecnopenta e a tutto il suo team. Quello iniziato a marzo come uno stage di sei mesi si è trasformato, con mia grande soddisfazione, nell'ingresso effettivo in questa squadra. Grazie per avermi accolto e per la fiducia che avete deciso di riporre in me. Concludere il percorso universitario sapendo che, allo stesso tempo, ne sta iniziando uno nuovo dal punto di vista professionale rende questo momento ancora più significativo.

Infine, un enorme grazie va a tutti i miei amici e alle persone che mi sono vicine. Siete troppi per potervi nominare uno ad uno, ma ognuno di voi, a modo proprio, ha contribuito a rendere più bello e leggero questo percorso. Grazie per i momenti di serenità e di conforto, ma soprattutto per quelli di pazzia, spensieratezza e divertimento. Perché, soprattutto nei periodi più impegnativi, avere accanto persone con cui poter staccare, ridere e semplicemente stare bene ha fatto la differenza.

Un grazie speciale va anche a tutti i miei compagni di corso, con i quali ho condiviso questi due anni di magistrale. Tra lezioni, esami, lavori, giornate interminabili e momenti più difficili, siete stati una forza e uno stimolo per continuare, rendendo questo percorso non soltanto più affrontabile, ma soprattutto più bello da vivere e da ricordare.

A tutte le persone che hanno condiviso con me anche solo una parte di questo percorso, grazie. Questo traguardo porta inevitabilmente con sé anche qualcosa di voi.