

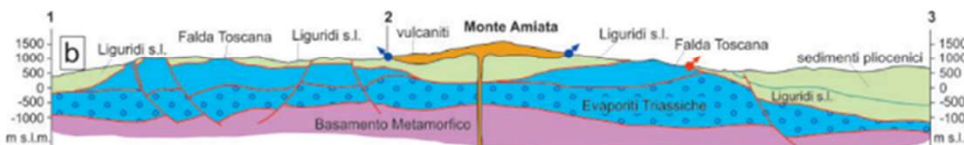
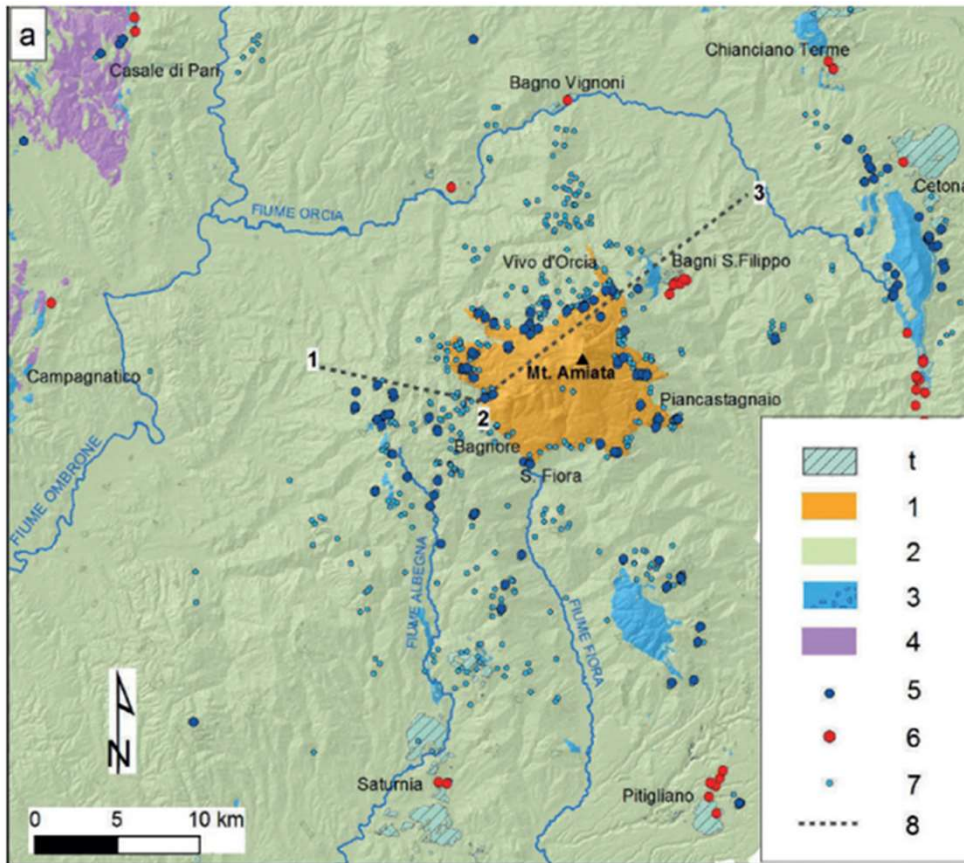
# Il monitoraggio dell'arsenico nelle vulcaniti amiatine

Stefano Menichetti, Luca Sbrilli - ARPAT



# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



**Figura 14.1** - Carta (a) e sezione (b) idrogeologiche della regione amiatina (carta derivata dalla carta geologica 1:10.000 della Regione Toscana, <http://www.lamma.rete.toscana.it/territorio/geologia>; sezione modificata da Marroni et al., 2015). Legenda: t - travertini; 1 - acquifero delle vulcaniti del Monte Amiata; 2 - substrato dell'acquifero del Monte Amiata e copertura del serbatoio carbonatico-evaporitico della Serie Toscana; 3 - serbatoio carbonatico-evaporitico (in sezione appartengono a questo simbolo anche le arenarie e le argilliti della parte alta della Falda Toscana); 4 - substrato metamorfico; 5 - sorgenti idropotabili; 6 - sorgenti termali; 7 - altre sorgenti fredde; 8 - traccia della sezione. – *Hydrogeological sketch map (a) and section (b) of the Monte Amiata region*

L'acquifero vulcanico del M. Amiata occupa una superficie di circa 80,5 km<sup>2</sup> compresa all'interno di 5 bacini idrografici ed alimenta le province di Siena, Grosseto e Viterbo.

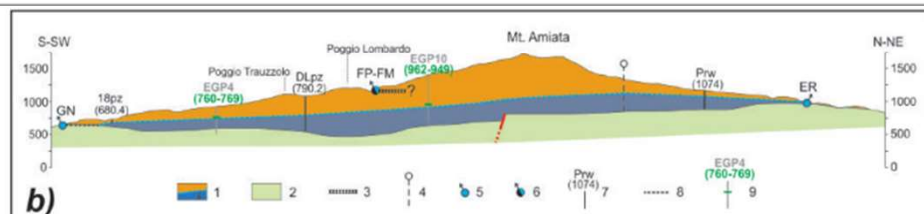
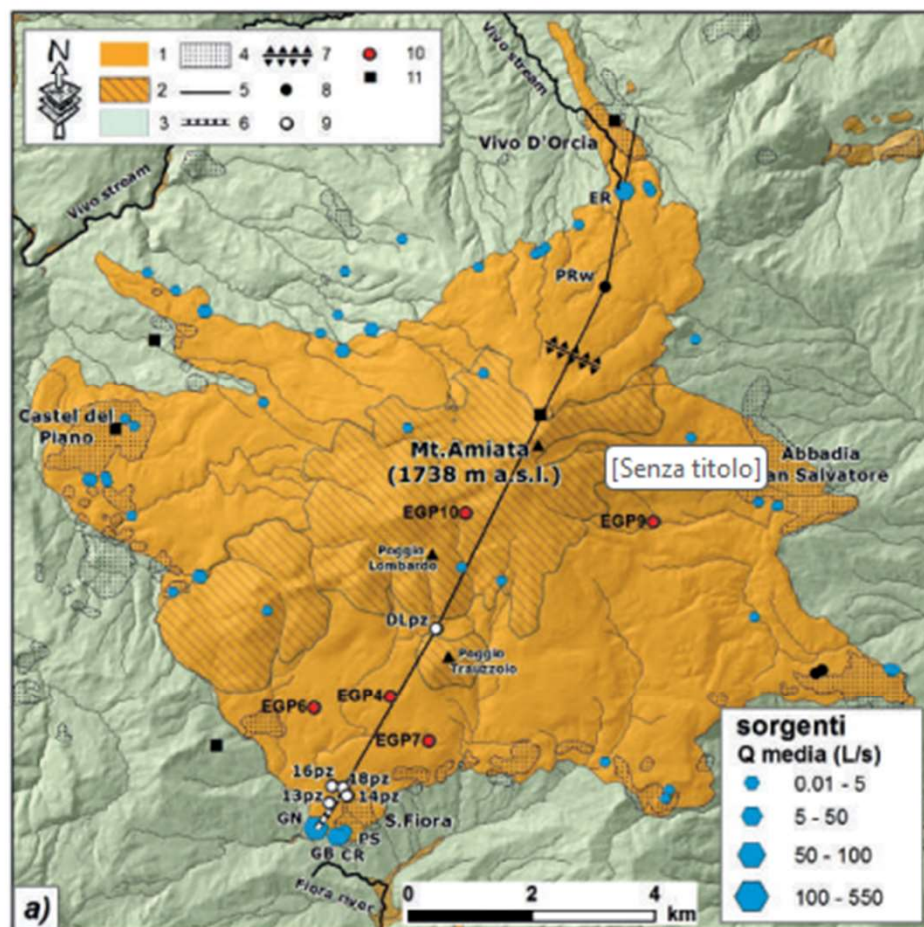
La geometria dell'acquifero può essere ricondotta a quella di un cono, costituito dalle vulcaniti del Monte Amiata; tali rocce vulcaniche, sovrastano un complesso flyscioide (costituito prevalentemente dalle formazioni di facies ligure s.l.) a bassa permeabilità che ne costituisce un limite geologico impermeabile.

Proprio l'impermeabile di fondo è il principale motivo di condizionamento della circolazione idrica di base del Monte Amiata.



# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



**Figura 14.2** - Carta (a) e sezione (b) idrogeologiche del Monte Amiata (da Doveri et al., 2012, con modifiche). Legenda della carta: 1) e 2) vulcaniti con permeabilità medio alta, rispettivamente appartenenti al Complesso di Base (BTC) e al Complesso dei Duomi (DLC), così come definito in Ferrari et al. (1996); 3) substrato prevalentemente argillitico con permeabilità da bassa a molto bassa; 4) principali paesi; 5) traccia della sezione; 6) galleria drenante; 7) zona di spartiacque idrogeologico tra i sistemi relativi alle sorgenti GN e ER; 8) pozzi idropotabili; 9) piezometri; 10) piezometri recentemente realizzati da Enel Green Power; 11) stazioni meteorologiche. Legenda della sezione: 1)

Nell'area amiatina, sono state censite oltre 200 sorgenti di cui quasi 160 (escludendo tutte le scaturigini non misurabili) direttamente alimentate dall'acquifero presente nelle vulcaniti.

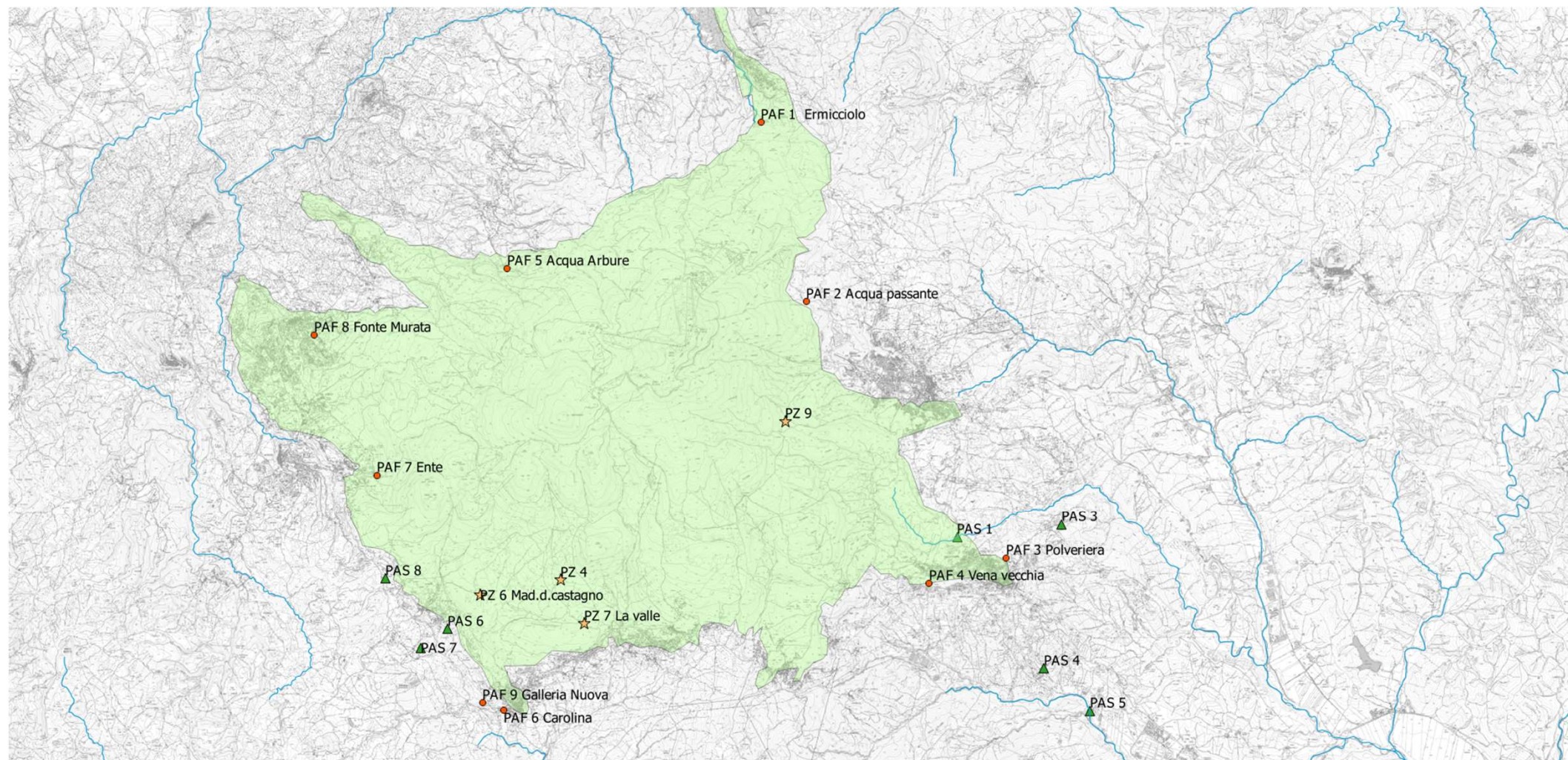
Proprio quest'ultime sorgenti sono normalmente ubicate in prossimità del contatto tra le vulcaniti ed il sottostante complesso flyschoidale di bassa permeabilità.

Secondo la classica schematizzazione di CIVITA (1972), esse sono pertanto classificabili come sorgenti per soglia di permeabilità sottoposta;



# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



N° 9 PAF acque di falda  
N° 8 PAS acque superficiali  
N° 4 Pz piezometri

Il monitoraggio si svolge nei modi e nei tempi stabiliti dal Piano di monitoraggio ENEL n. 1374206 del 11/02/2013, presentato nel procedimento di VIA di Bagnore 4. Tale documento integra e aggiorna il piano di monitoraggio ENEL n. 1002229 del settembre 2011 già presentato nel procedimento di compatibilità ambientale del progetto "Riassetto dell'Area geotermica di Piancastagnaio"

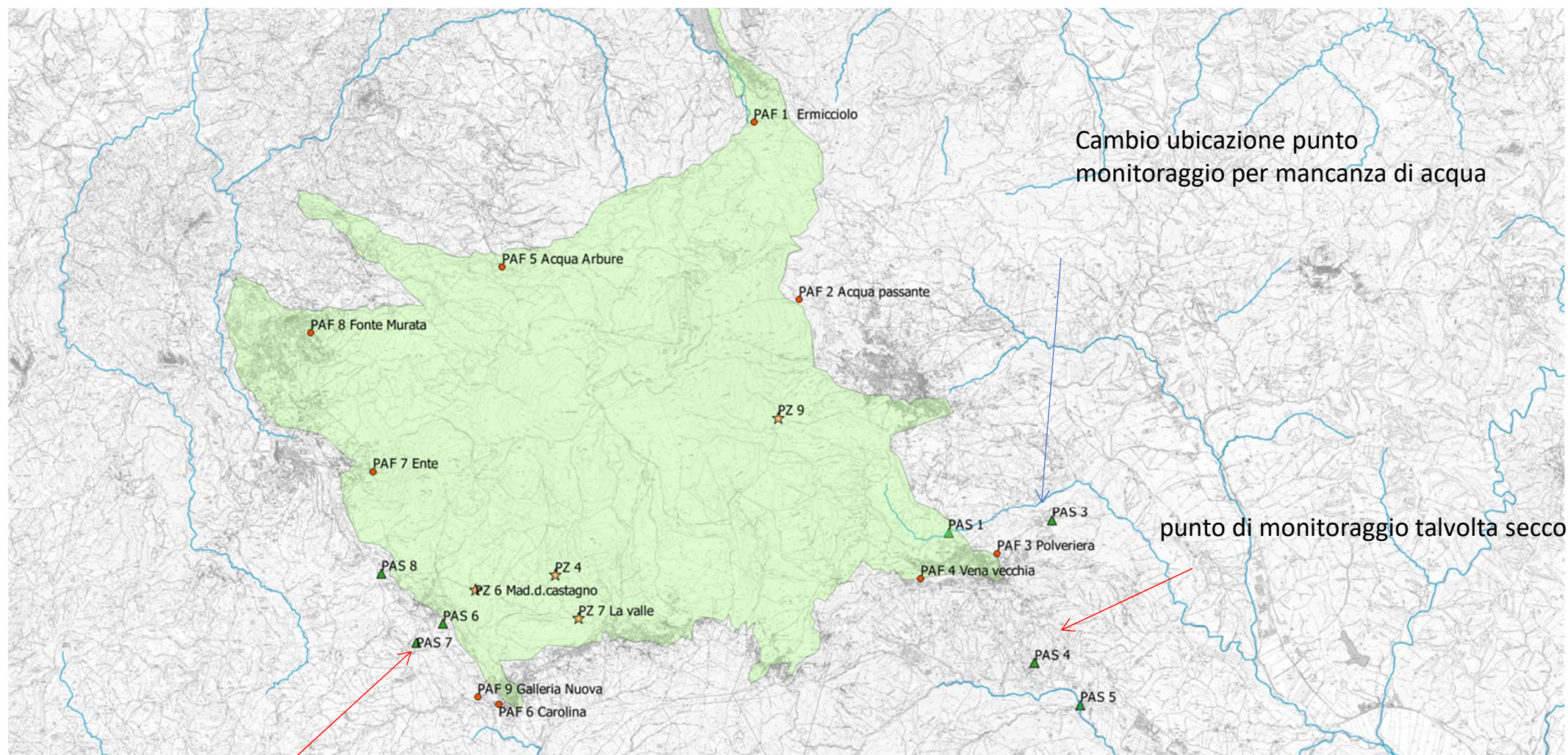


# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



## Criticità nei punti di campionamento delle acque superficiali



punto di monitoraggio talvolta secco



# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



## ANALISI DELLE SORGENTI

ERMICCIOLO a Nord  
ENTE a ovest  
GALLERIA ALTA a sud

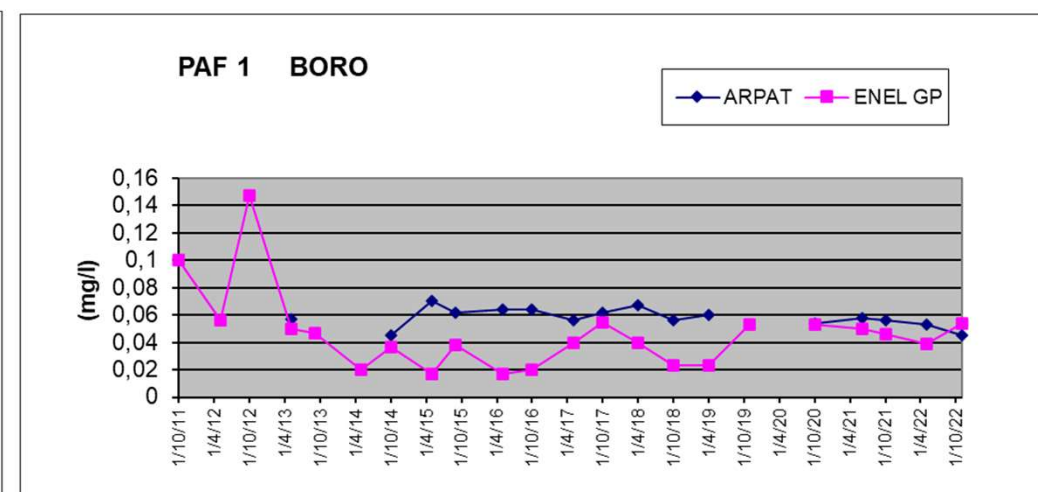
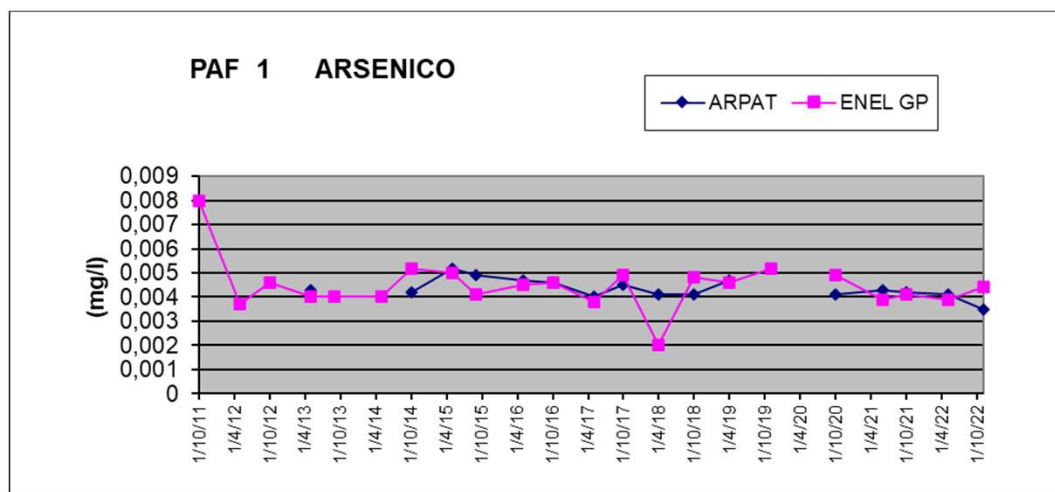
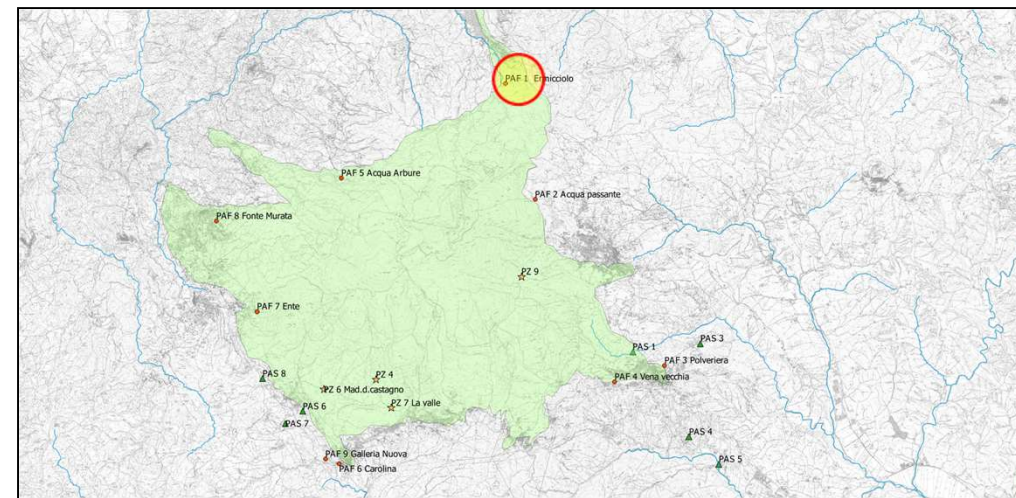
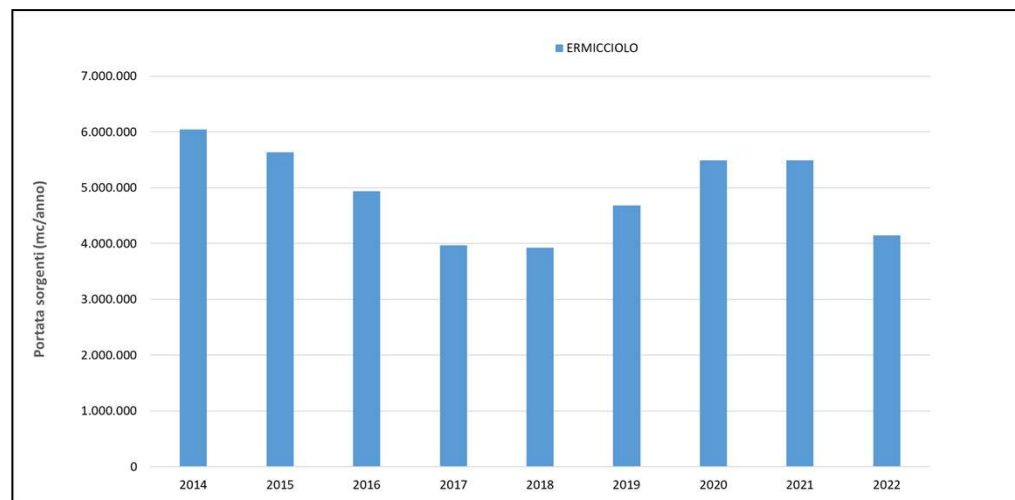


# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



## (PAF 1) - SORGENTE ERMICCIOLO



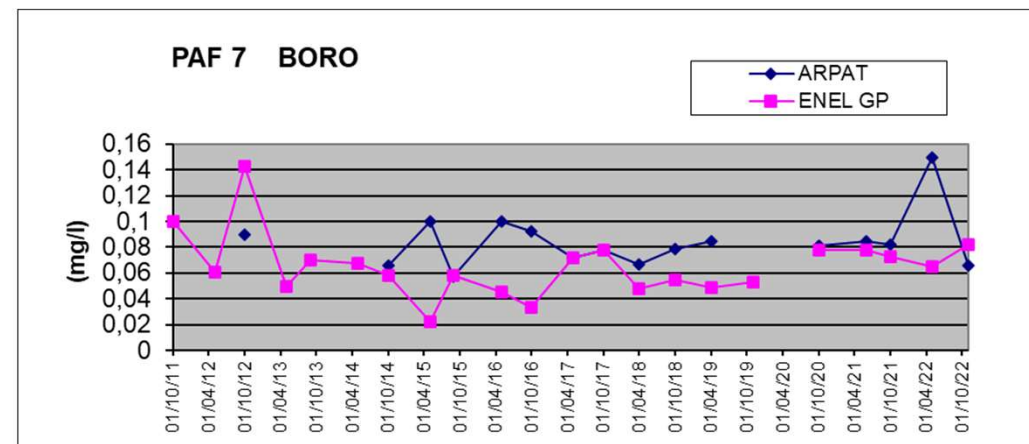
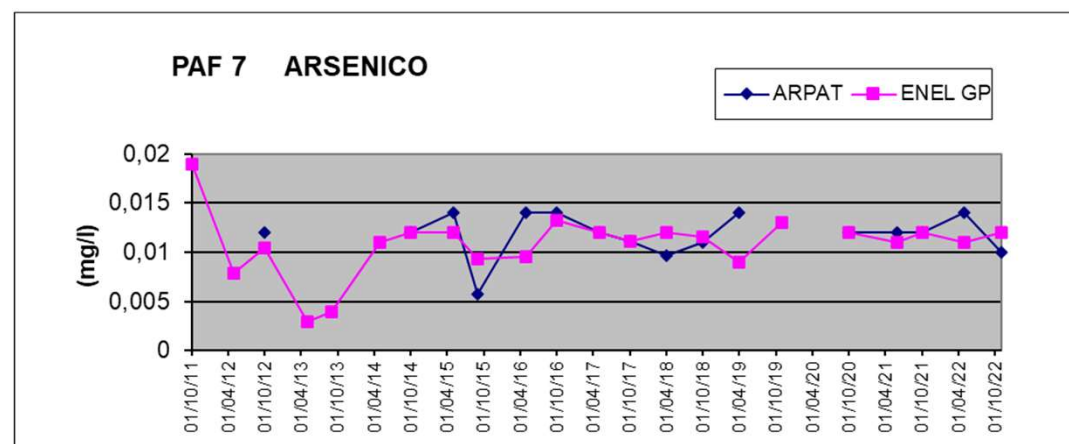
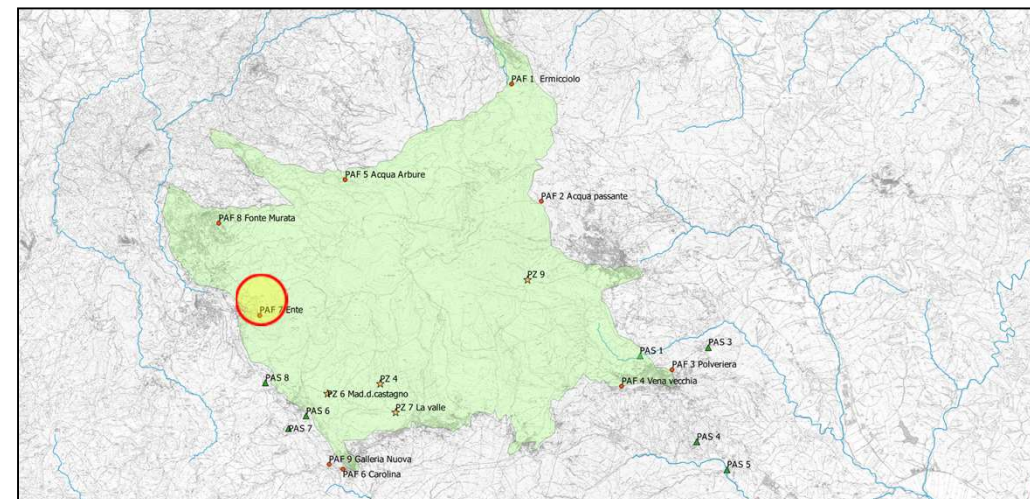
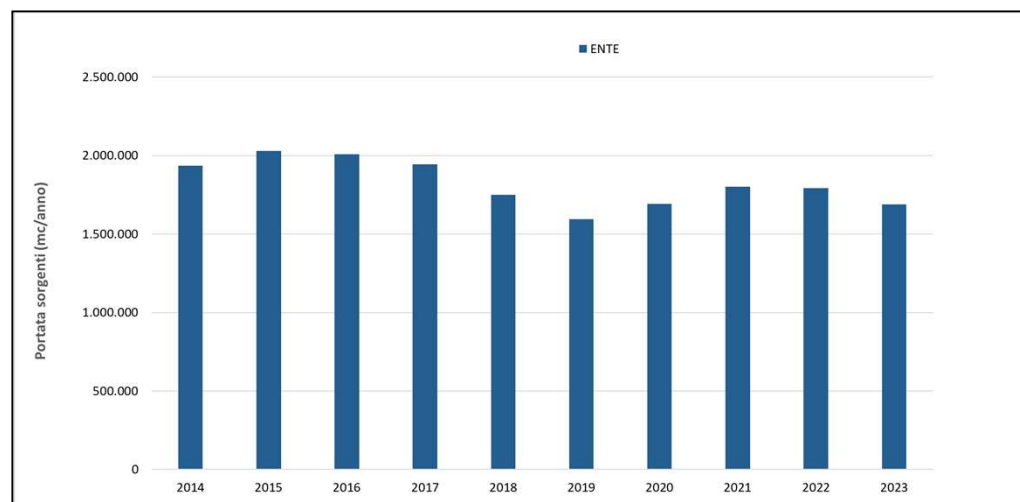


# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



(PAF 7) - SORGENTE ENTE



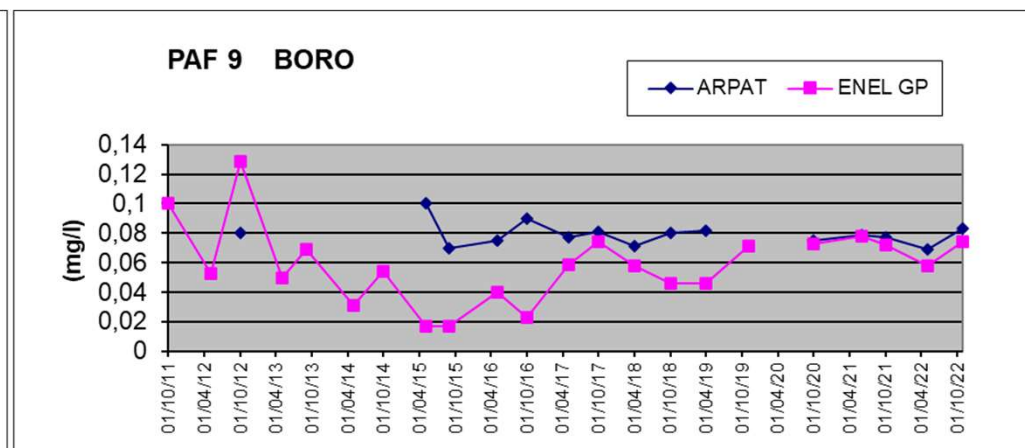
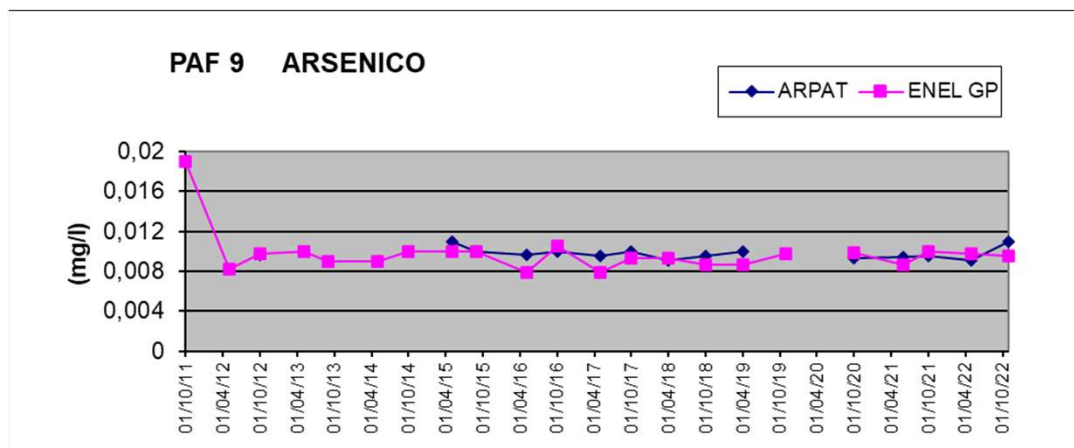
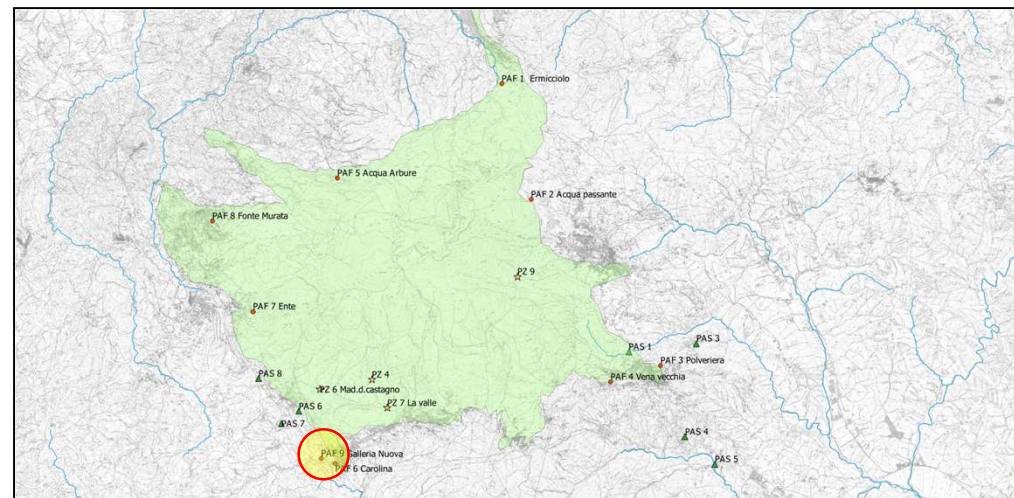
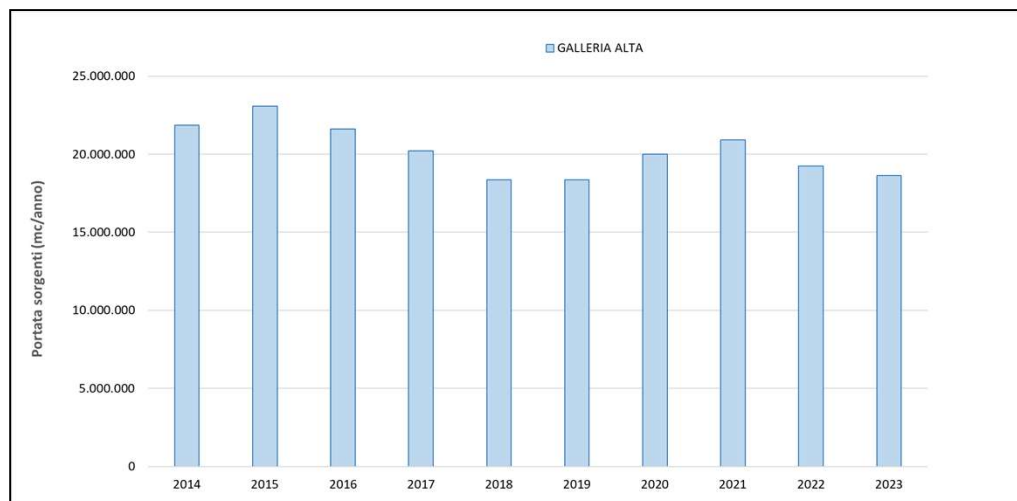


# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



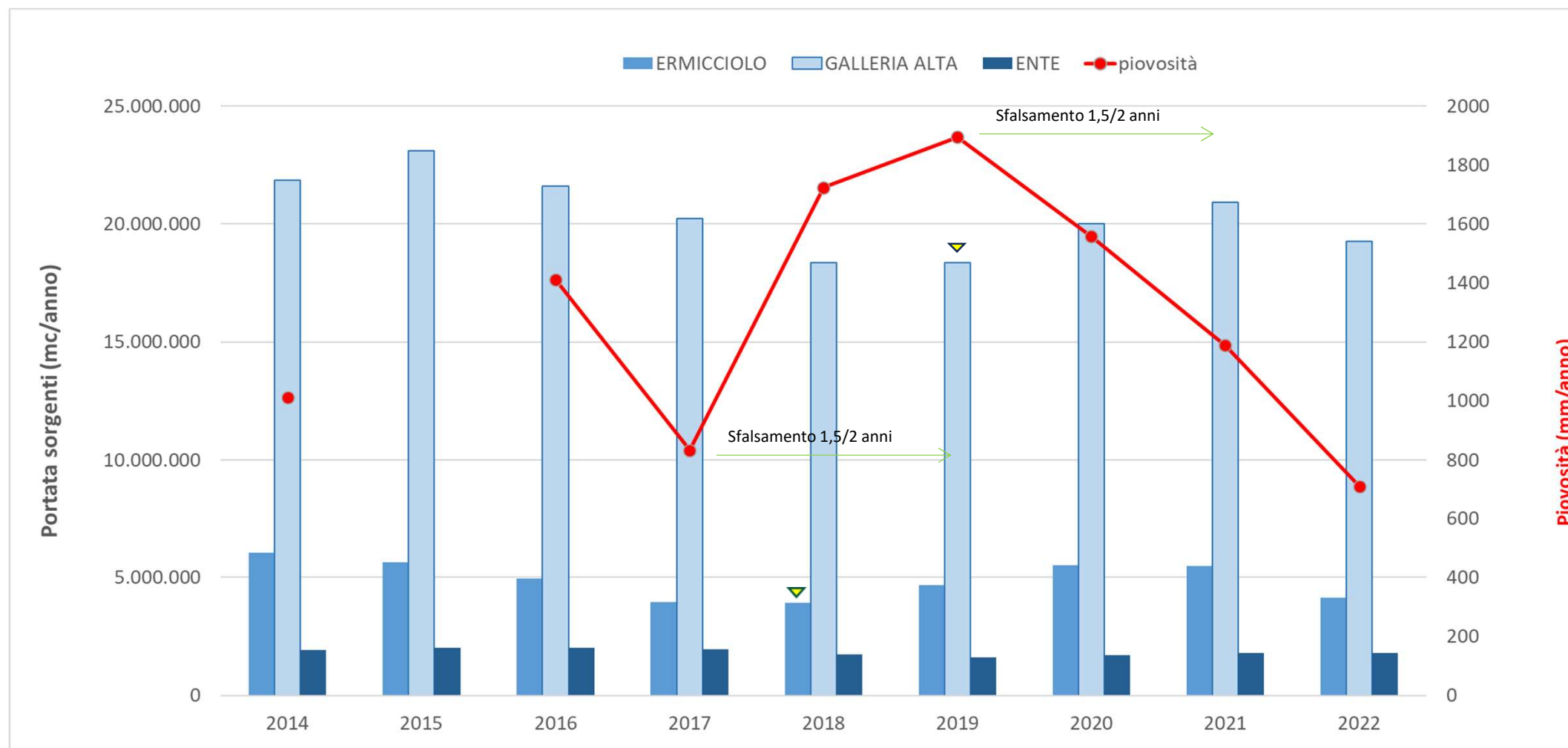
## (PAF 9) - SORGENTE GALLERIA ALTA





# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



Valori delle portate gentilmente concessi da Acquedotto del Fiora SPA

▼ Sfalsamento tra sorg. Ermicciolo e Galleria Alta già rilevato da Doveri e Menichini

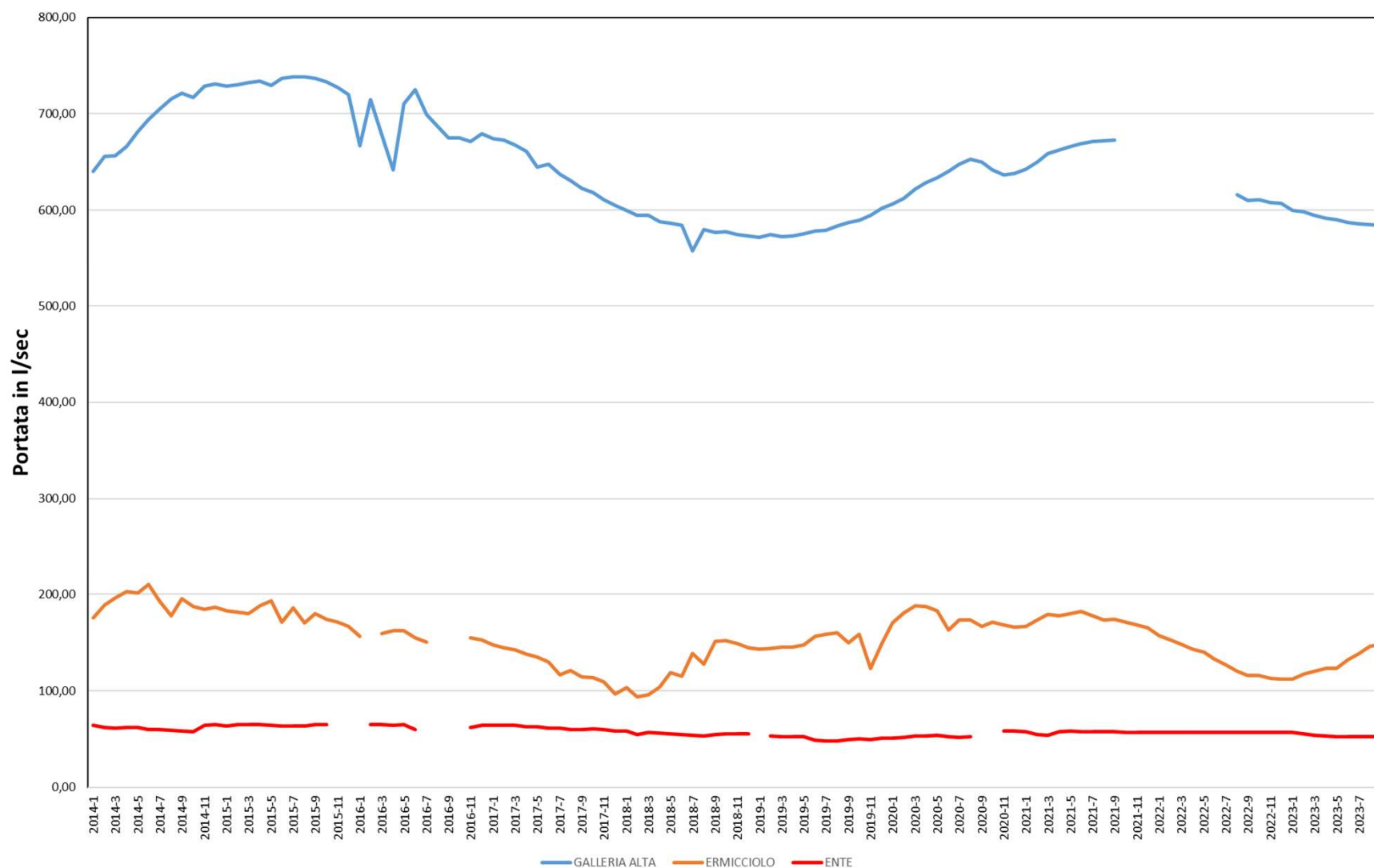


# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



**PORTATE A CONFRONTO** Galleria Alta, Ermicciolo, Ente





# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023

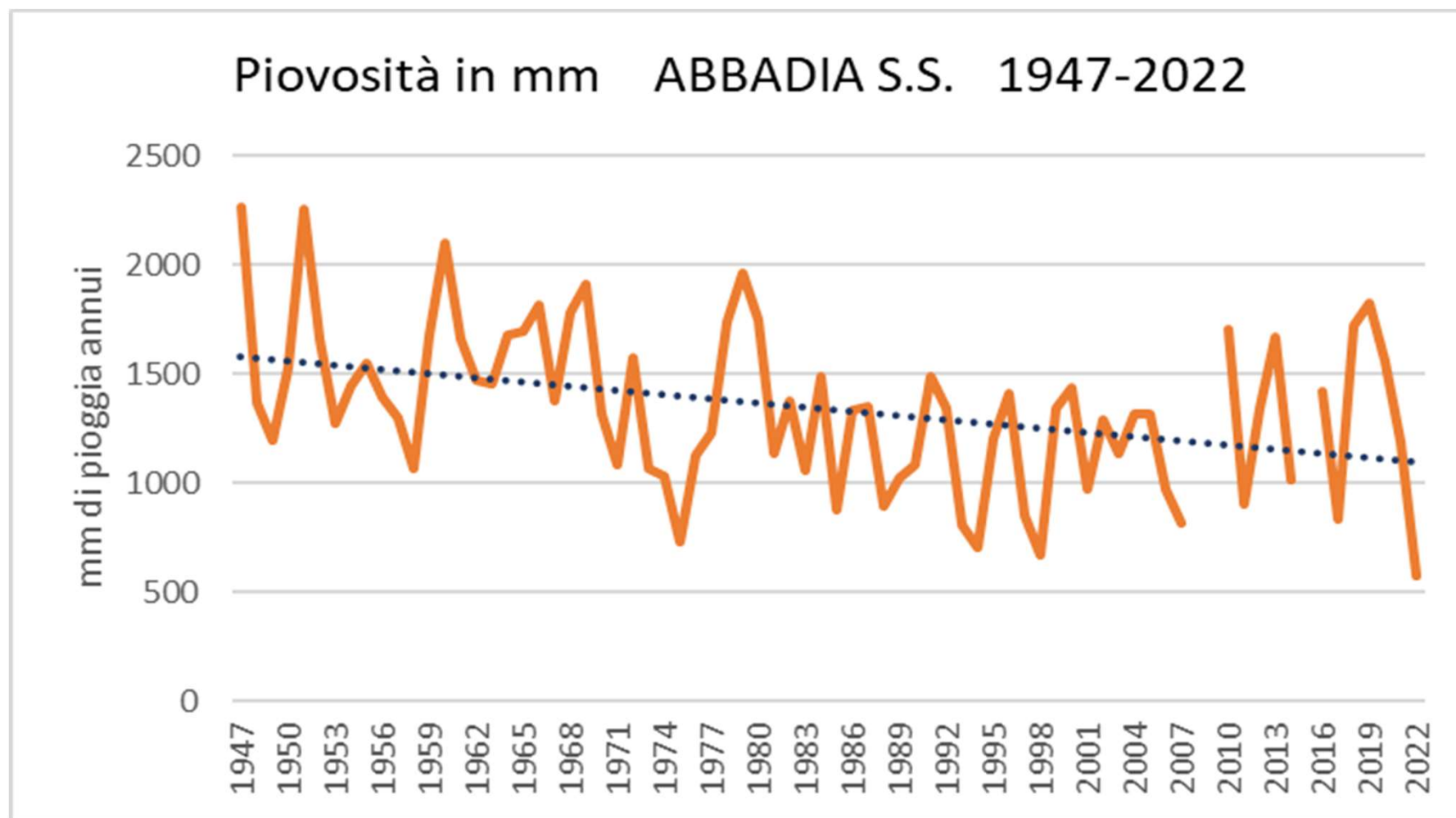


LE VARIAZIONI DELLA PIOVOSITA E TEMPERATURA  
SUL MONTE AMIATA



# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



Valori ricavati dagli Annali Idrologici Parte I Ministro LL.PP.



# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



Temperature Max e min    Abbadia San Salvatore    2010-2022

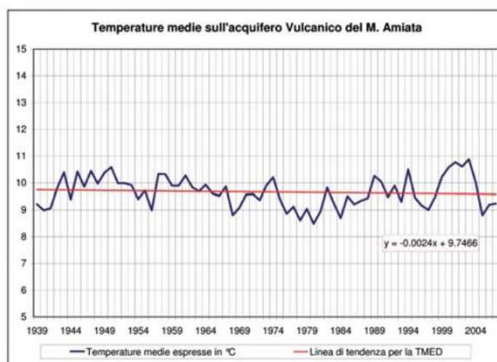
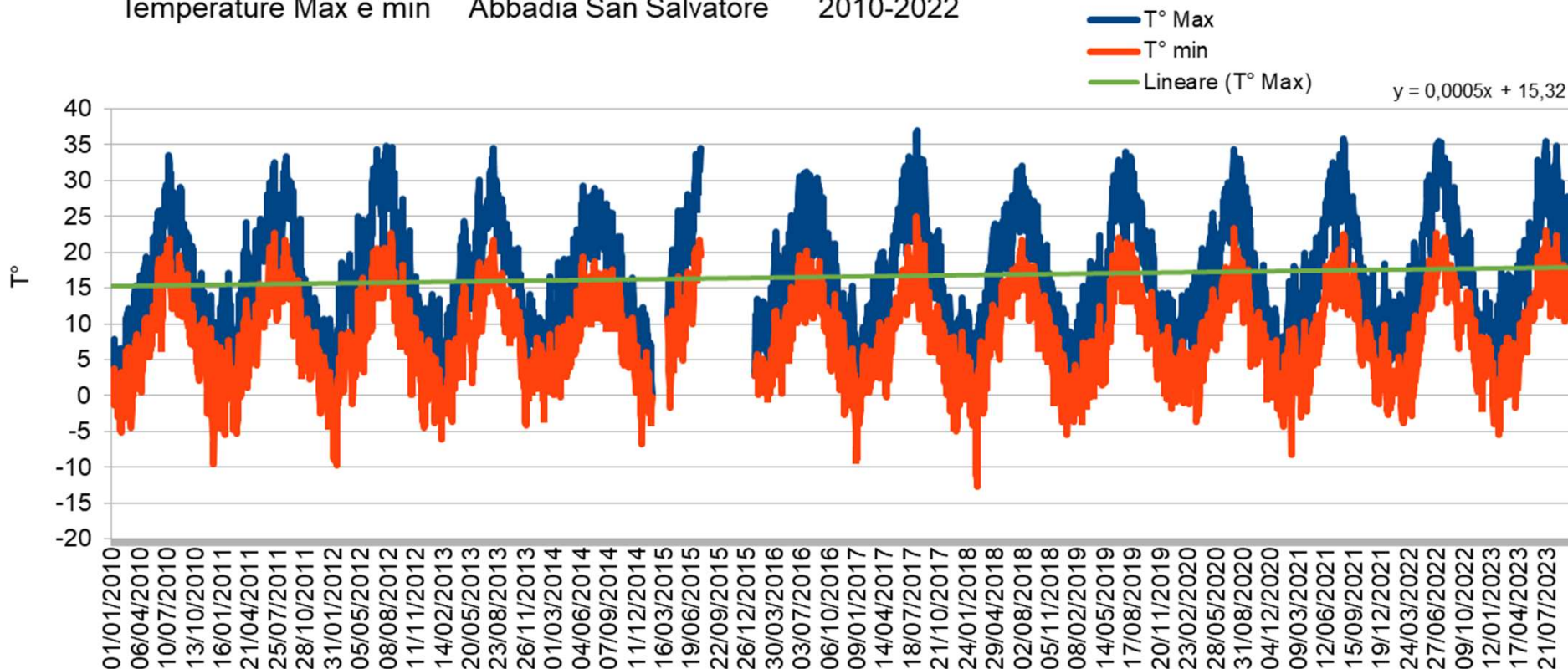


Fig 6. Grafico delle variazioni di temperature (espresse in °C) sull'acquifero vulcanico del M. Amiata attraverso il metodo dei topoi (Thiessen, 1911) - Graphic of changes in temperature (in °C) on the aquifer volcanic M. Amiata through the method of topoi (Thiessen, 1911)

Da 2010 al 2022 INCREMENTO ANNUO MEDIO DI 0,18 °C

Da **Valutazioni delle risorse idriche dell'acquifero contenuto nelle vulcaniti del Monte Amiata attraverso criteri strettamente idrologici** - Barazzuoli et Alii



# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



ANALISI DEI PIEZOMETRI DI SANTA FIORA E ABBADIA S.S

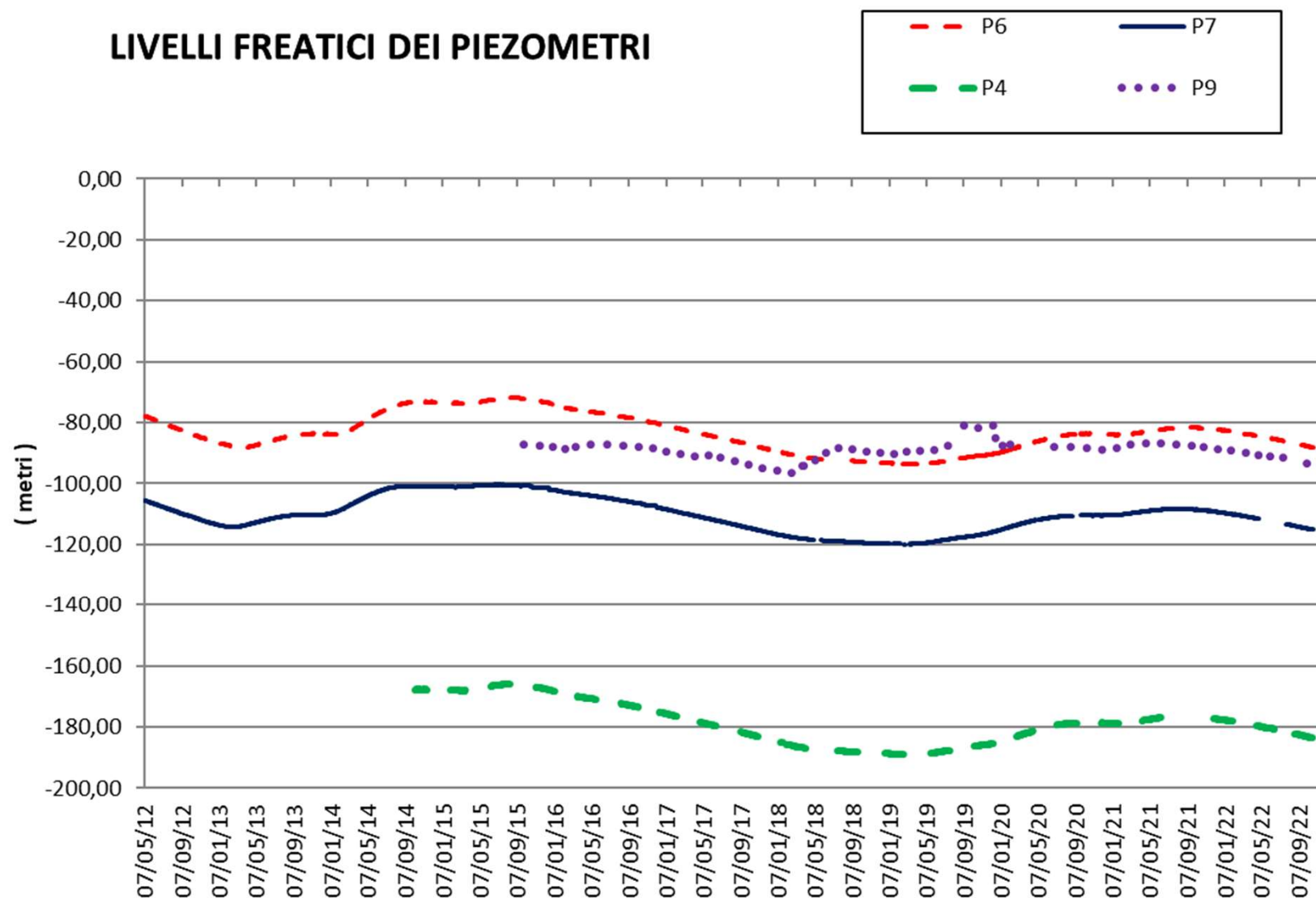


# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



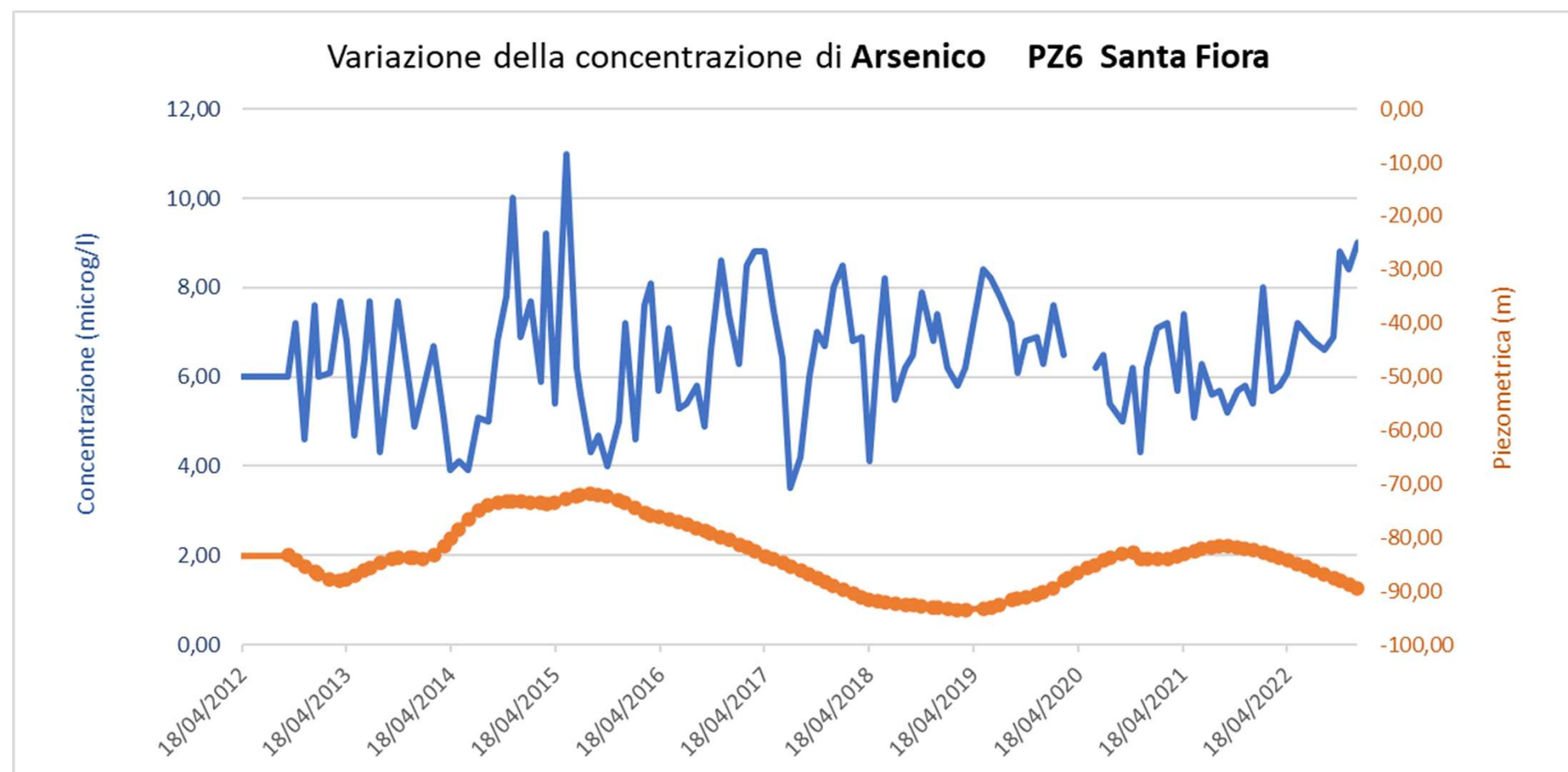
## LIVELLI FREATICI DEI PIEZOMETRI





# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

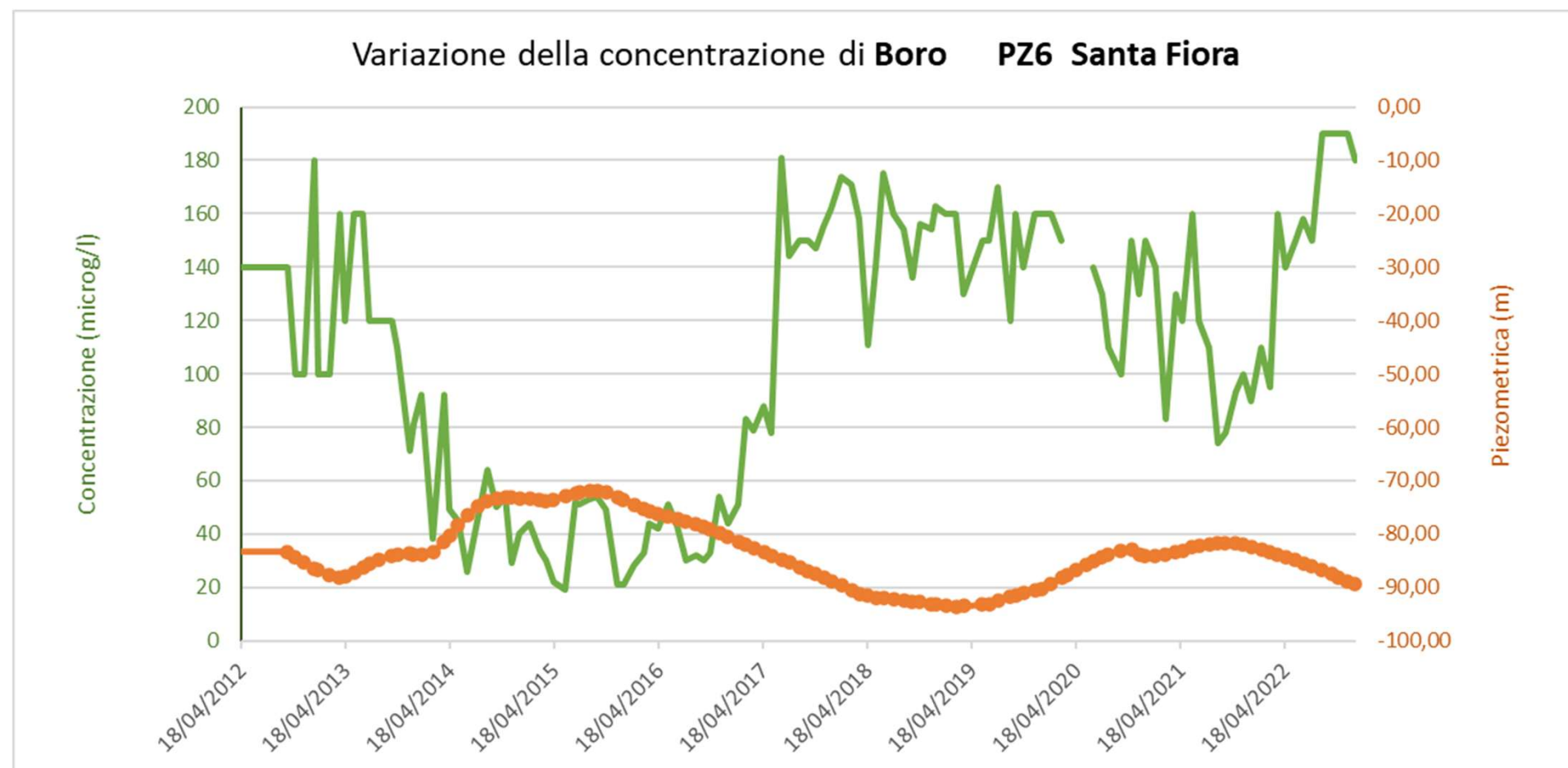
Venerdì 27 ottobre 2023





# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



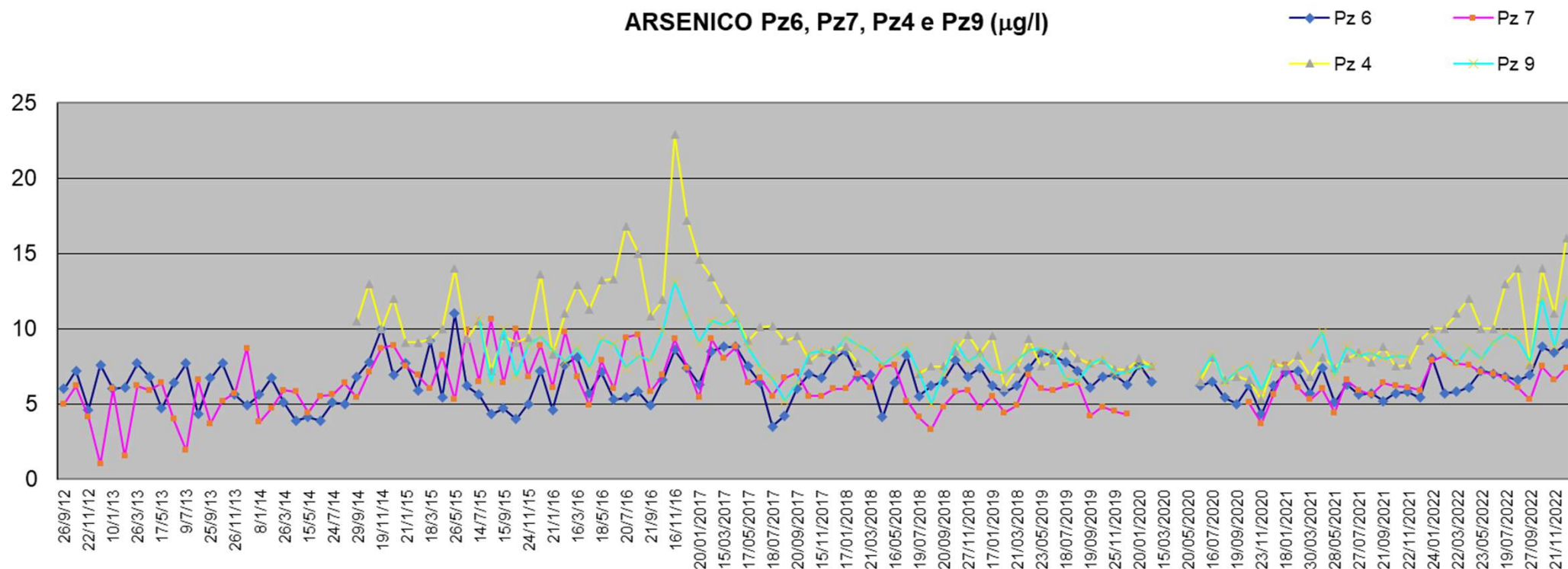


# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



ARSENICO Pz6, Pz7, Pz4 e Pz9 ( $\mu\text{g/l}$ )



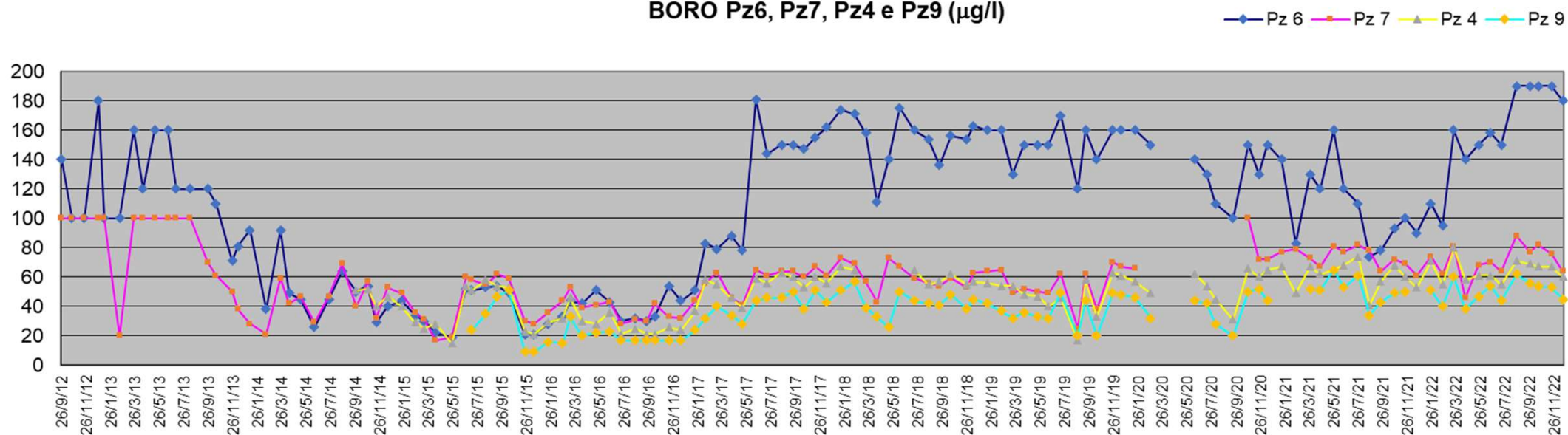


# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



**BORO Pz6, Pz7, Pz4 e Pz9 ( $\mu\text{g/l}$ )**





## ANALISI SERIE TEMPORALI

- I risultati dell'ultimo report relativo al periodo 2003-2018 confermano:
  - con il progredire delle serie temporali e maggiori evidenze di tipo statistico, l'**ipotesi** iniziale di una **stretta relazione** tra **arricchimenti in arsenico** ed **episodi di deficit idrico**.
- Aggiornamento al 2022 delle analisi statistiche contenute nel report per le **serie temporali**:
  - **precipitazioni** al pluviometro di Castel del Piano,
  - **livelli piezometrici** ai piezometri
    - David Lazzeretti
    - Santa Fiora 8
  - **tenori di arsenico** della Galleria Alta nel comune di Santa Fiora.

Allegato al protocollo ARPAT n° 0016893 del 05/03/2021



### ACQUIFERO DEL MONTE AMIATA

MONITORAGGIO ARPAT  
ANNI 2003 - 2018

Valutazioni statistiche  
per i parametri  
maggiormente significativi





Venerdì 27 ottobre 2023

## ANALISI SERIE TEMPORALI

- serie stagionali  
trimestrali piogge vs  
livelli:
  - la freatimetria, segue  
l'andamento dei cicli  
pluriennali delle  
**precipitazioni** con un  
ritardo di 1-2 anni
    - Castel del Piano vs Santa  
Fiora 8
    - Castel del Piano vs  
Lazzeretti

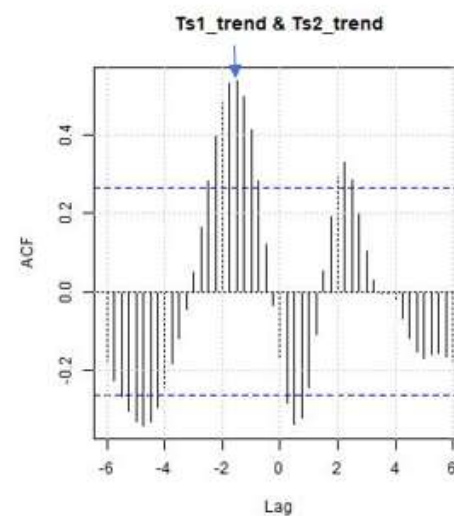
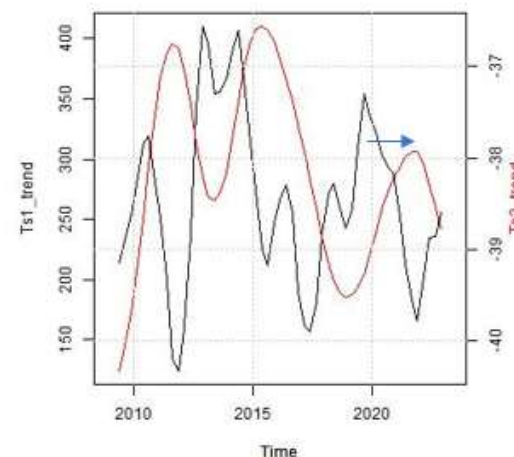


Figura 14: Pluviometria Castel del Piano vs freatimetria Santa Fiora 8 (linea rossa) – serie temporali delle componenti destagionalizzate e diagramma di cross correlazione

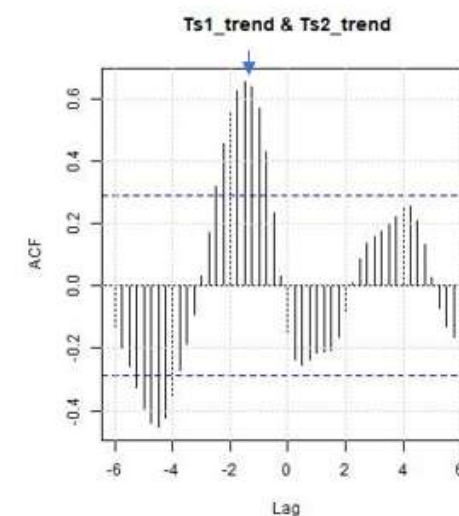
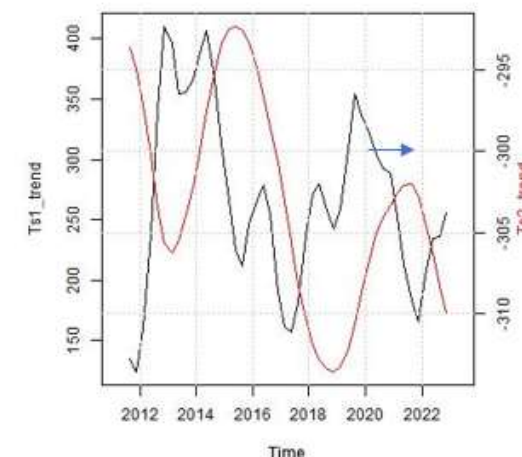


Figura 15: Pluviometria Castel del Piano vs freatimetria David Lazzeretti (linea rossa) – serie temporali delle componenti destagionalizzate e diagramma di cross correlazione



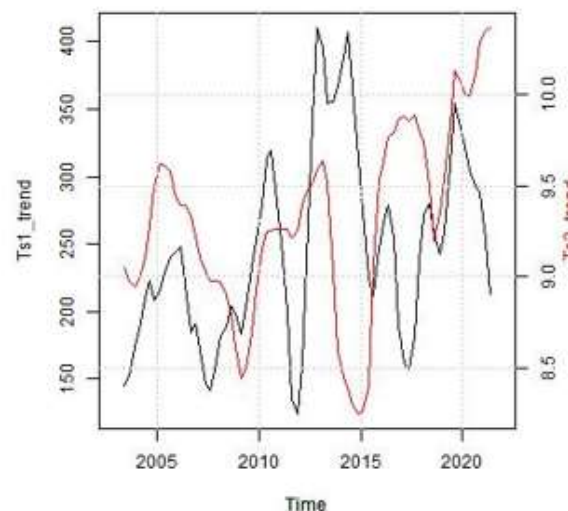
# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



## ANALISI SERIE TEMPORALI

- **Piogge vs arsenico**
  - **correlazione negativa** tra **piogge** e tenori di **arsenico** anche per qui un **tempo di ritardo di 1,5 anni** comparabili ai tempi di ritardo piogge – livelli
- **Livelli vs arsenico**
  - Risposta più complessa oscillazioni arsenico sembrano anticipare oscillazioni livelli, tuttavia segnale evidente:
    - alla **tendenza al decremento** dei **livelli** al **piezometro Lazzaretti** sembra corrispondere **temuta tendenza opposta all'incremento** delle concentrazioni di arsenico nelle Galleria Alta



Ts1\_trend & Ts2\_trend

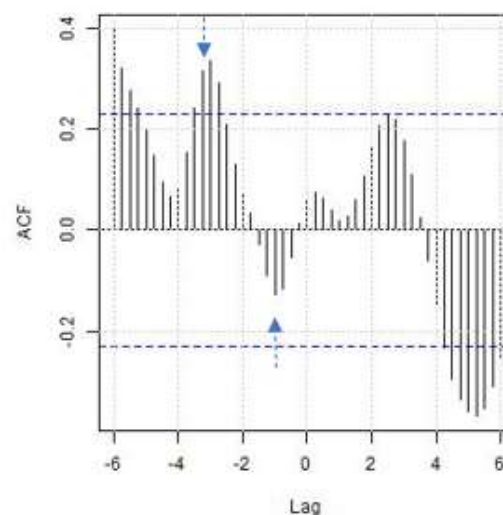
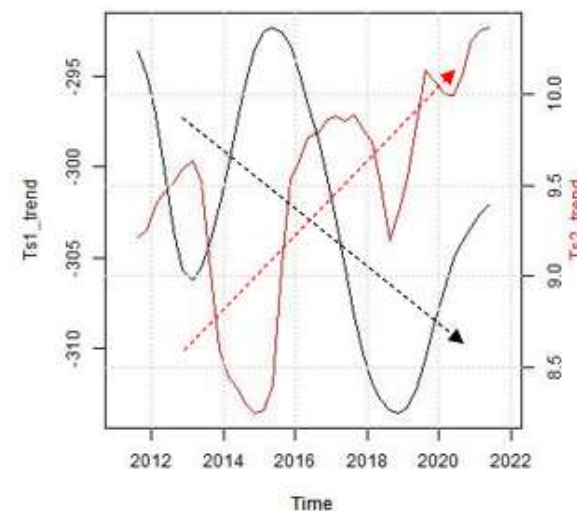


Figura 16: Pluviometria Castel del Piano vs As Galleria Alta (linea rossa) – serie temporali delle componenti destagionalizzate e diagramma di cross correlazione



Ts1\_trend & Ts2\_trend

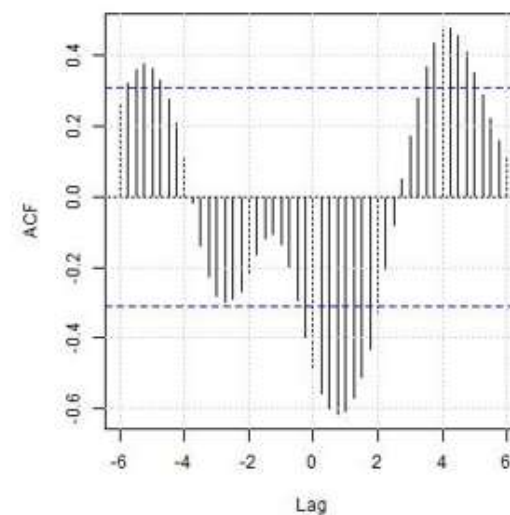


Figura 17: Freatimetria David Lazzaretti vs As Galleria Alta (linea rossa) – serie temporali delle componenti destagionalizzate e diagramma di cross correlazione



# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



## CONCLUSIONI

- i dati pluviometrici (dal 1947 al 2022) e termometrici (dal 2010 al 2022) evidenziano, rispettivamente, una diminuzione delle piovosità e un incremento della temperatura
- Le portate delle sorgenti ed i monitoraggi piezometrici delle falda sotterranea nell'ultimo decennio evidenziano un leggero decremento
- La variazione delle portate e della piezometrica, alla data odierna, sembra avere particolare influenza sulla variazione delle concentrazioni dei parametri arsenico e boro. Incremento delle concentrazioni in condizioni di ridotte portate e bassi livelli, all'opposto, decremento delle concentrazioni in condizioni di elevate portate e alti livelli piezometrici.
- Il sistema acquifero del Monte Amiata, vista l'importanza strategica della risorsa, dimostra l'importanza di controlli più sistematici tra cui i monitoraggi ARPAT.



# GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



*Grazie dell'attenzione*

Si ringrazia :

Acquedotto del Fiora SpA per i dati di portata delle sorgenti