

Acquifero della Montagnola Senese: analisi preliminare dei dati di monitoraggio per una gestione sostenibile della risorsa

Elena Calosi – Marcello Panarese
(ARPAT)

GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



PERCHE' L'ACQUIFERO DELLA MONTAGNOLA SENESE?



L'acquifero è sfruttato ad uso idropotabile e, pur non essendo noti elementi di criticità attuali, rappresenta una risorsa strategica per la Provincia di Siena



L'area di alimentazione è boscata, non ci sono rilevanti attività industriali, sono presenti aree agricole nelle pianure fluvio-lacustri



Valutare le variazioni della qualità dell'acquifero in relazione alle modifiche dell'apporto meteorico può permettere di anticipare l'insorgere di eventuali criticità

GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



INQUADRAMENTO TERRITORIALE

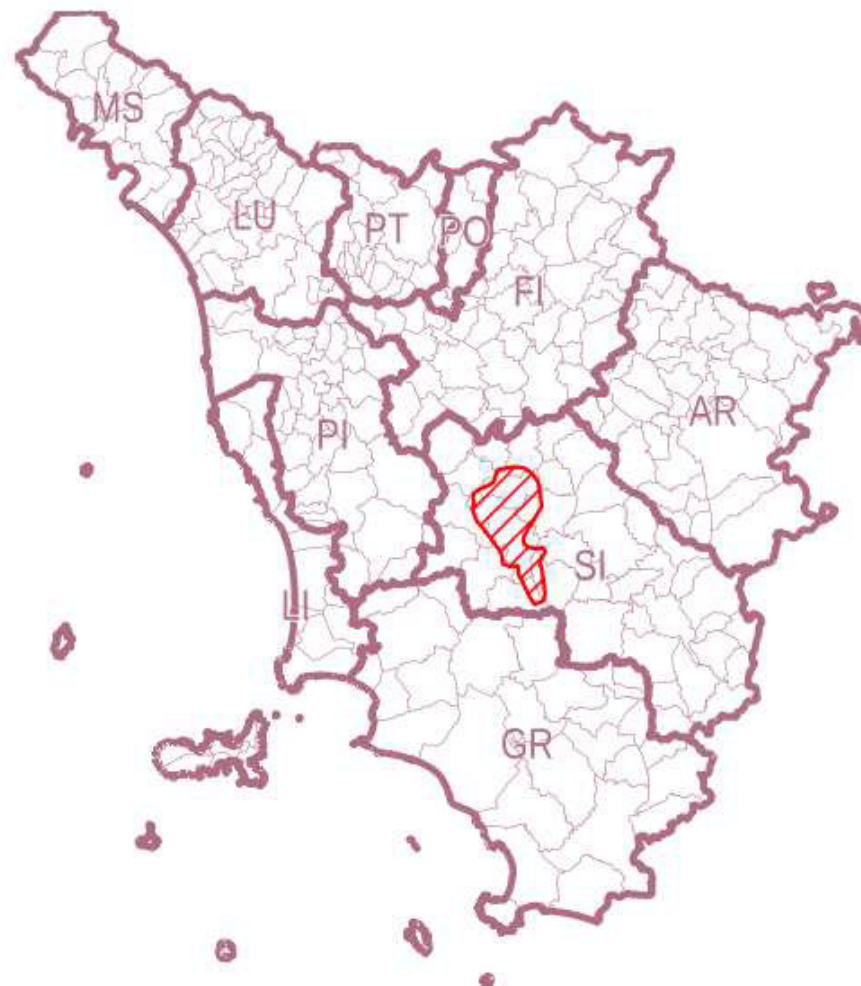
Denominazione ed identificazione (DGRT 225/2003 – « i Corpi Idrici Sotterranei Significativi CISS della Regione Toscana) :
**CARBONATICO DELLA MONTAGNOLA
SENESE E PIANA DI ROSIA - 99MM030**

Provincia: **Siena**

Comuni: **Casole d'Elsa, Monteriggioni,
Siena, Sovicille, Castellina in Chianti,
Monteroni D'Arbia e Murlo**

Bacino di riferimento:
Fiume Ombrone, Fiume Arno

Estensione superficie: **circa 200 Km²**

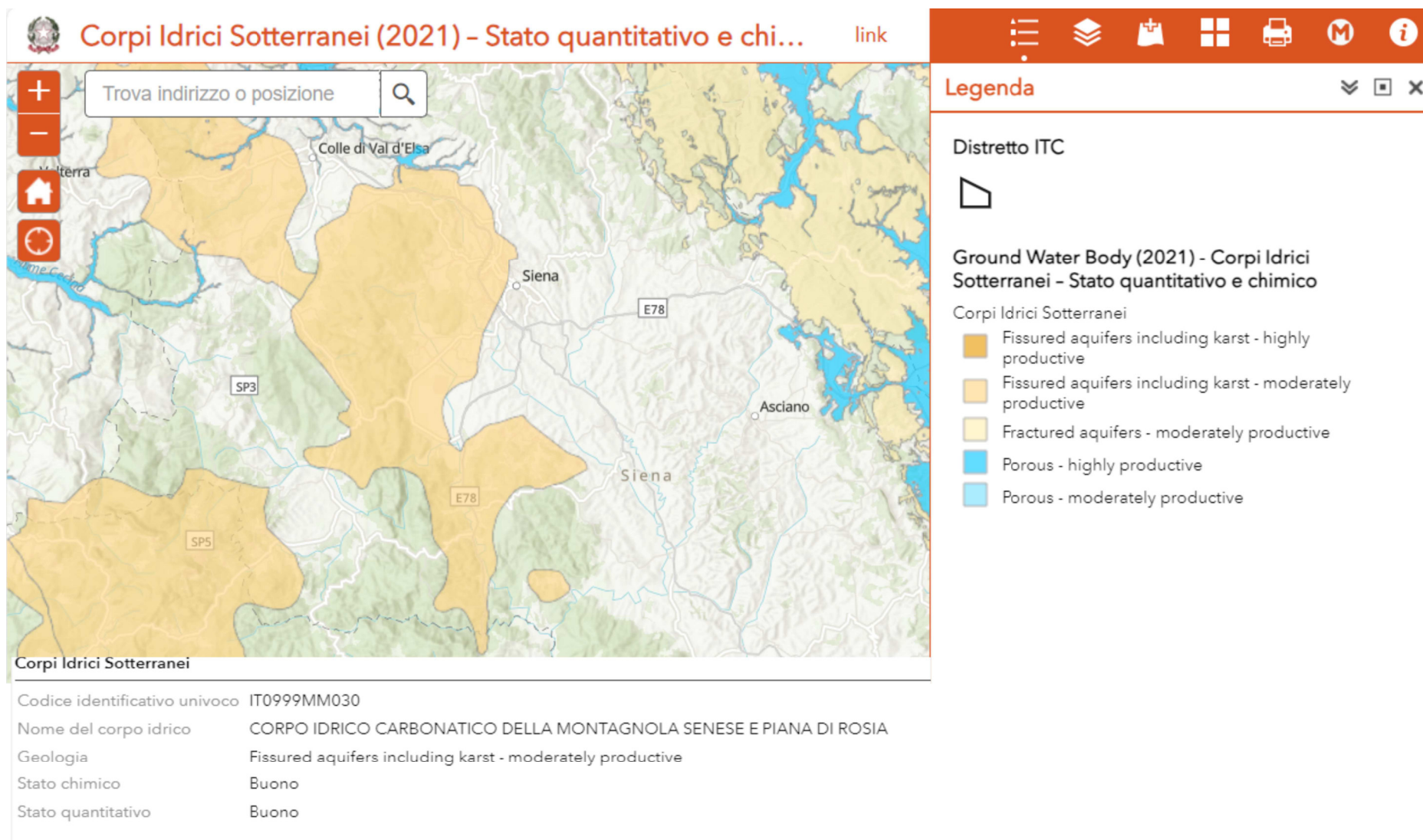


GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



Piano Gestione Acque



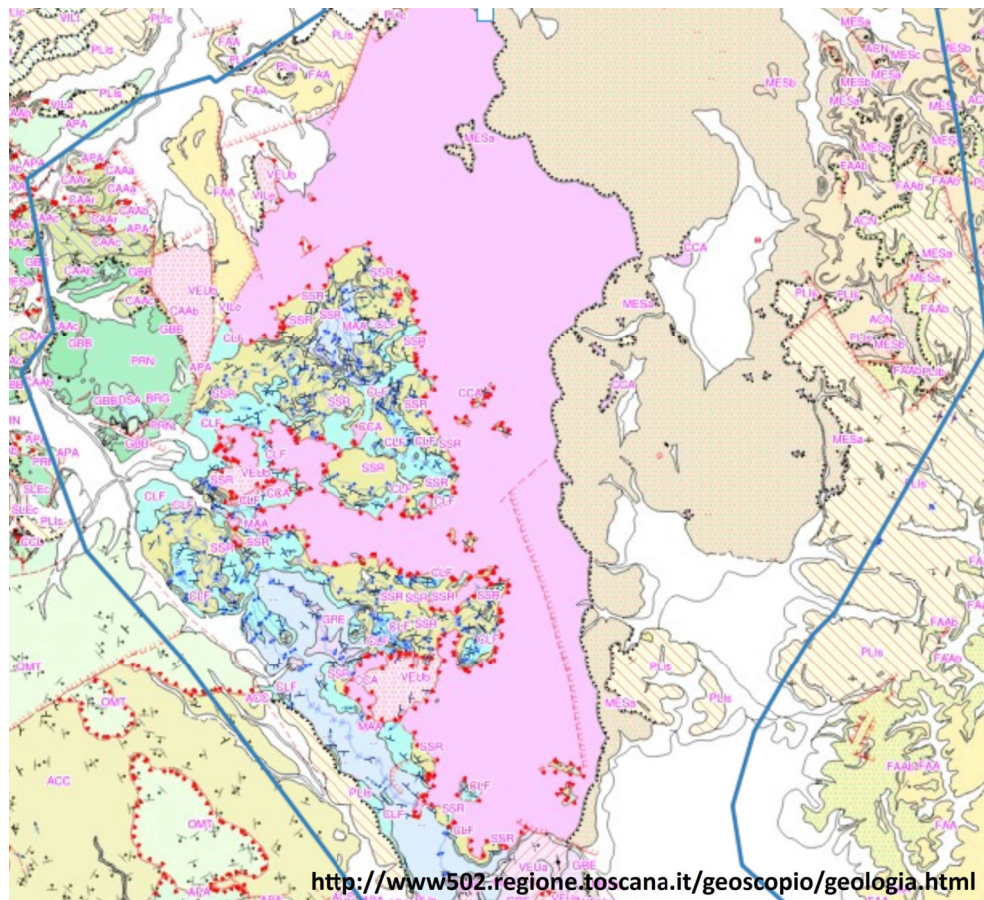
GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



INQUADRAMENTO GEOLOGICO

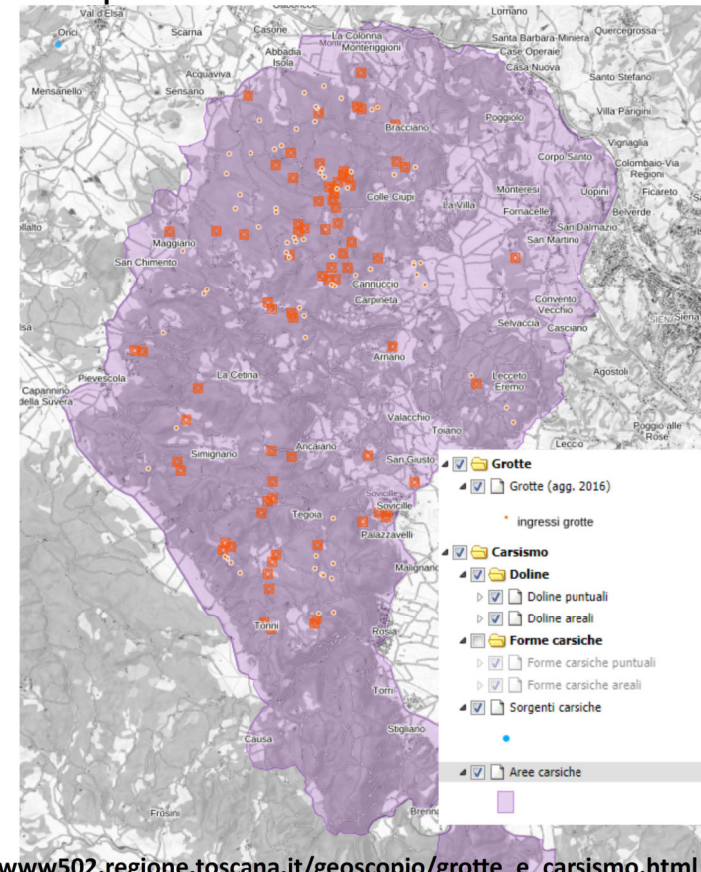
Le «rocce serbatoio» appartengono alle formazioni carbonatiche del:
Calcare Cavernoso; Breccia di Grotti



<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/geologia.html>

- PLis - Sabbie e arenarie gialle. ZANCLEANO - PIACENZIANO
- FAA - Argille azzurre ZANCLEANO - PIACENZIANO
- PLib - Conglomerati marini poligenici ZANCLEANO - PIACENZIANO
- MESa - Breccie e conglomerati ad elementi di Calcare cavernoso TUROLIANO SUPERIORE
- CCA - Calcare cavernoso TRIASSICO SUPERIORE
- CLF - Metacalcari selciferi LIAS MEDIO - LIAS SUPERIORE
- GRE - Grezzoni NORICO
- MAA - Marmi LIAS INFERIORE
- SSR - Scisti Sericitici CRETACICO INFERIORE - PALEOGENE
- VEUb - Formazione della Verruca: Membro delle Anageniti minute LADINICO - CARNICO

Acquifero carsico



http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/grotte_e_carsismo.html

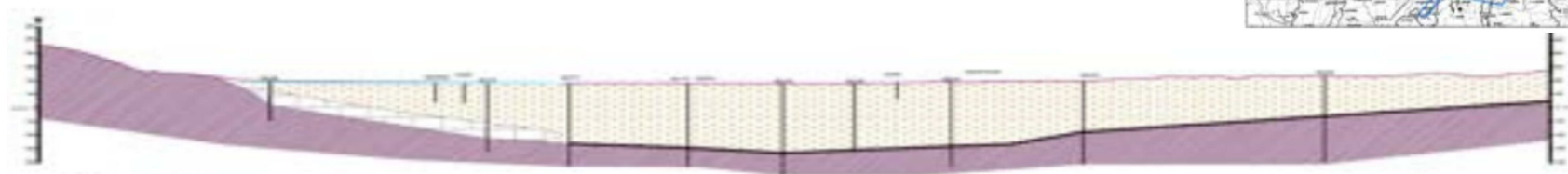
GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



Sezioni idrogeologiche (dallo studio Nocciolini et al 2017, che integra senza apportare sensibili modifiche il modello di Migliorini et al., 2012) :

- il substrato formato dalle Unità Metamorfiche e Unità Liguri
- le formazioni costituenti l'acquifero comprendono la Breccia di Grotti e il sottostante Calcare Cavernoso (le due formazioni hanno comportamenti idrodinamici ed elettrici simili)



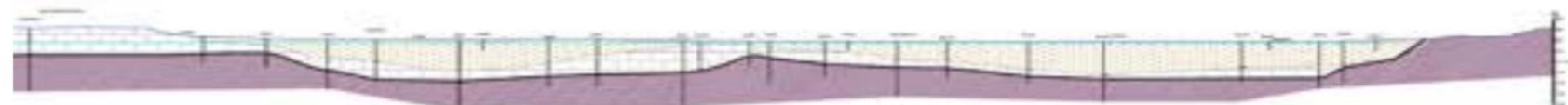
Sezione 6



Sezione 7



Sezione 8 parte A



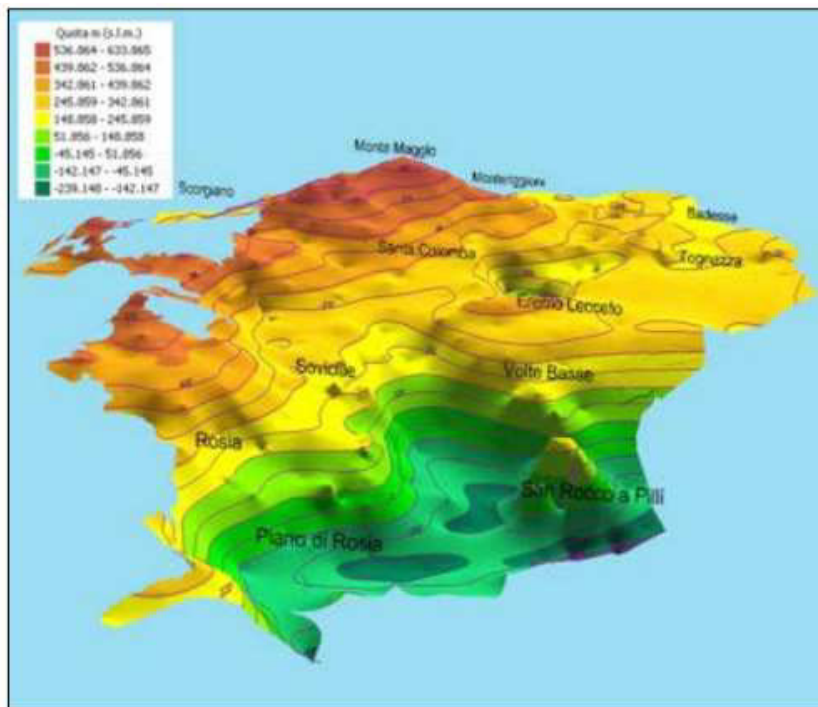
Sezione 8 parte B

GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



MODELLO CONCETTUALE: dalla tesi di dottorato del dott. Fausto Capacci (a.a. 2021/2022) 1/3

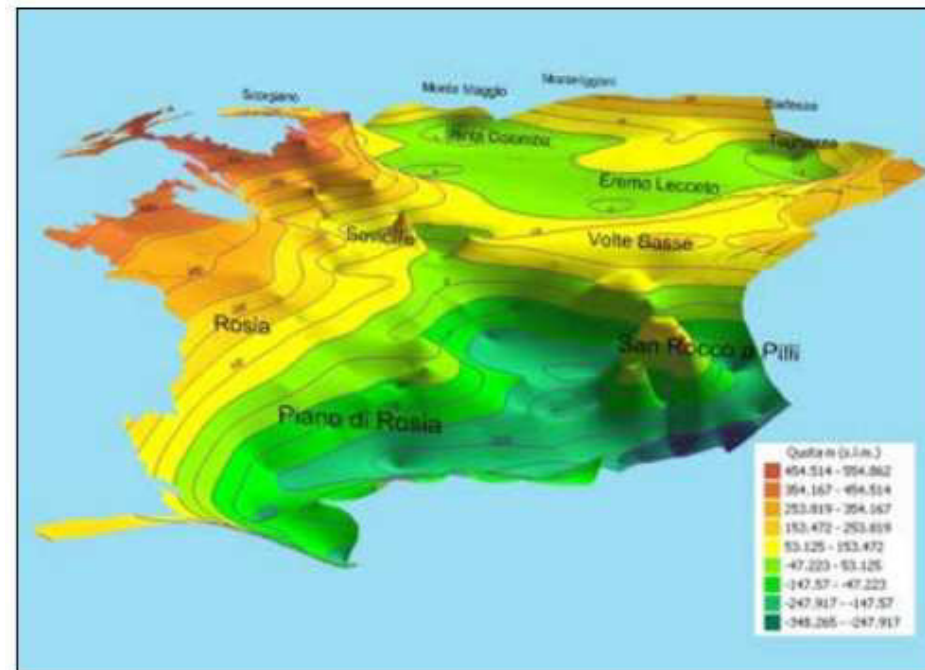


Isobate del tetto:

quota max = 633 m s.l.m. (Monte Maggio)

quota min = -239 m s.l.m. (nel Piano di Rosia)

quota media = circa 256 m s.l.m.



Isobate del substrato "impermeabile" dell'acquifero

quote max = 555 m s.l.m. a nord di Simignano

quota min = -348 m s.l.m. nel Piano di Rosia, (presenza di un sistema di faglie che lo ribassa)

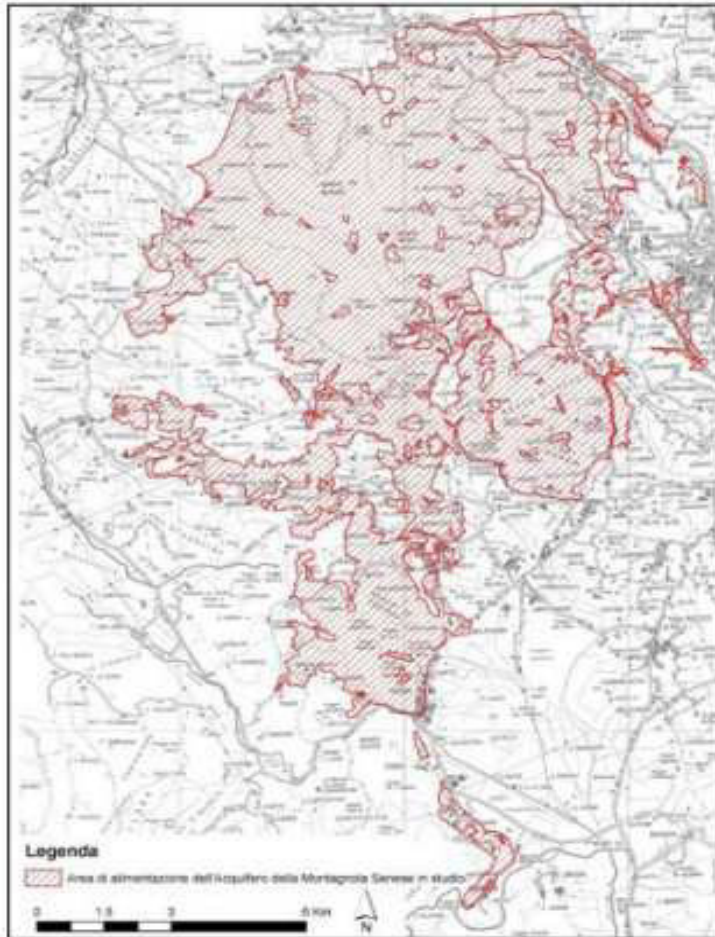
quota media = 78 m s.l.m.

- estensione totale = a circa 166,3 Km² dei quali 142,5 Km² con falda permanente,
- volume totale dell'acquifero = $29 \cdot 10^9$ m³,
- porosità efficace = circa 8%,
- capacità di immagazzinamento totale = circa $2,3 \cdot 10^9$ m³

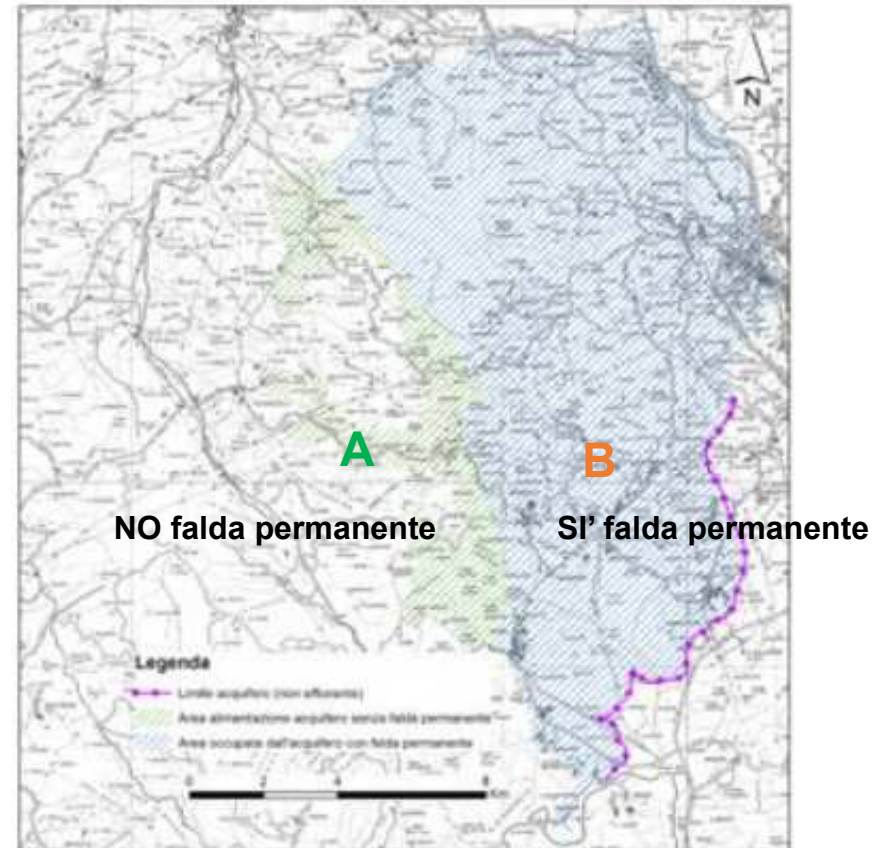
GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023

MODELLO CONCETTUALE: dalla tesi di dottorato del dott. Fausto Capacci (a.a. 2021/2022) 2/3



«area di alimentazione = circa 91,6 Km²
affioramento diretto, o subito al di sotto di un sottile
strato di suolo, del Calcare cavernoso e della Breccia di
Grotti, meno i depositi superficiali a bassa permeabilità
(alluvioni, terre rosse, depositi lacustri ecc.)»



Presenti due limiti geologico-idrogeologici:

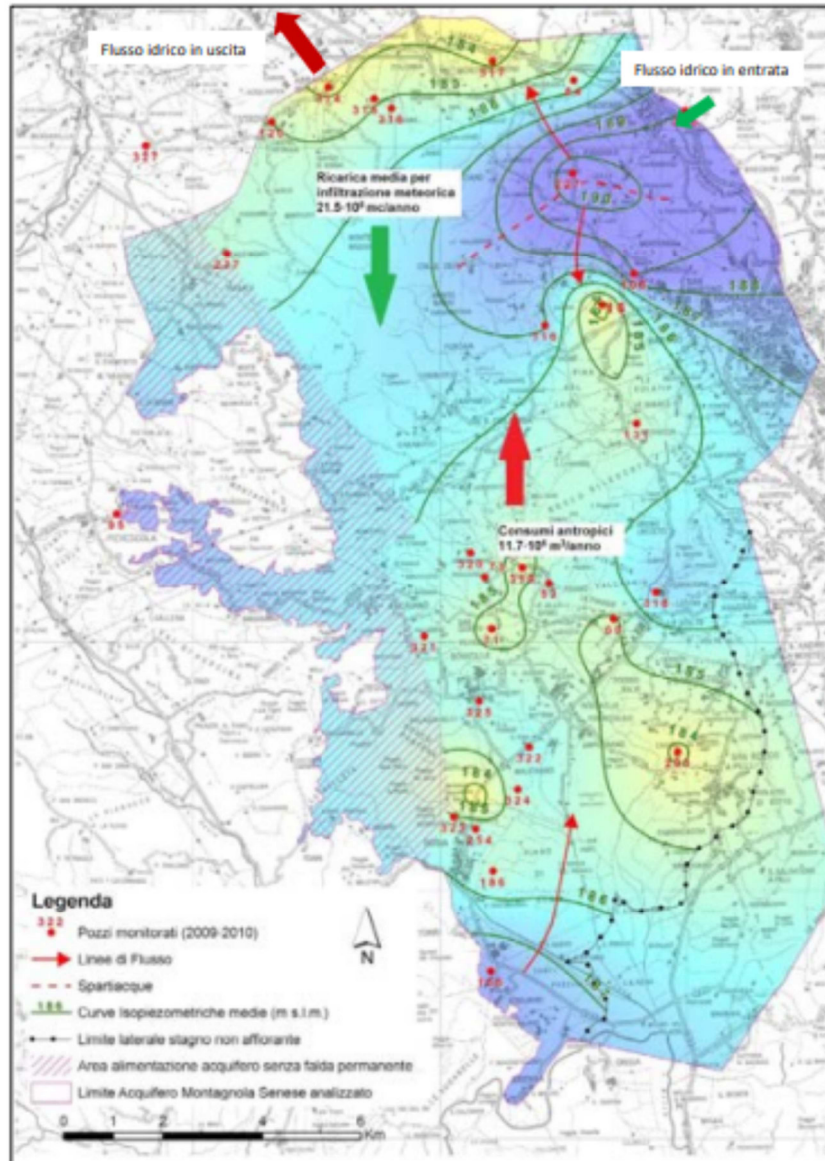
- 1) faglia orientata Nord-Ovest Sud-Est che disloca l'acquifero (area A e area B)
- 2) nel settore Sud-Est, coincide con la chiusura dell'acquifero

GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



MODELLO CONCETTUALE: dalla tesi di dottorato del dott. Fausto Capacci (a.a. 2021/2022) 3/3



Il flusso della falda, avviene prevalentemente in due direzioni: verso Sud e verso Nord-Ovest.

Nel settore Nord-Est è stato individuato uno spartiacque idrogeologico con andamento Est-Ovest.

La ricarica idrica media (risorsa rinnovabile) è imputabile **quasi esclusivamente all'infiltrazione meteorica** e risulta essere pari a circa $21 \times 10^6 \text{ m}^3 / \text{anno}$.

Modello concettuale dell'acquifero (Migliorini et al. 2012, con modifiche)

GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



IL MONITORAGGIO

REGIONE TOSCANA

[http://
www.sir.toscana.it/
consistenza-rete](http://www.sir.toscana.it/consistenza-rete)

pluviometria
piezometria
conducibilità

ARPAT

[https://
sira.arpat.toscana.it/
apex2/f?p=115:3:0](https://sira.arpat.toscana.it/apex2/f?p=115:3:0)
ACQUEDOTTO DEL FIORA

analisi chimiche

GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



Monitoraggio in continuo **Regione Toscana**: stazioni



Piezometria:

- Santa Colomba
- Podere Casetta

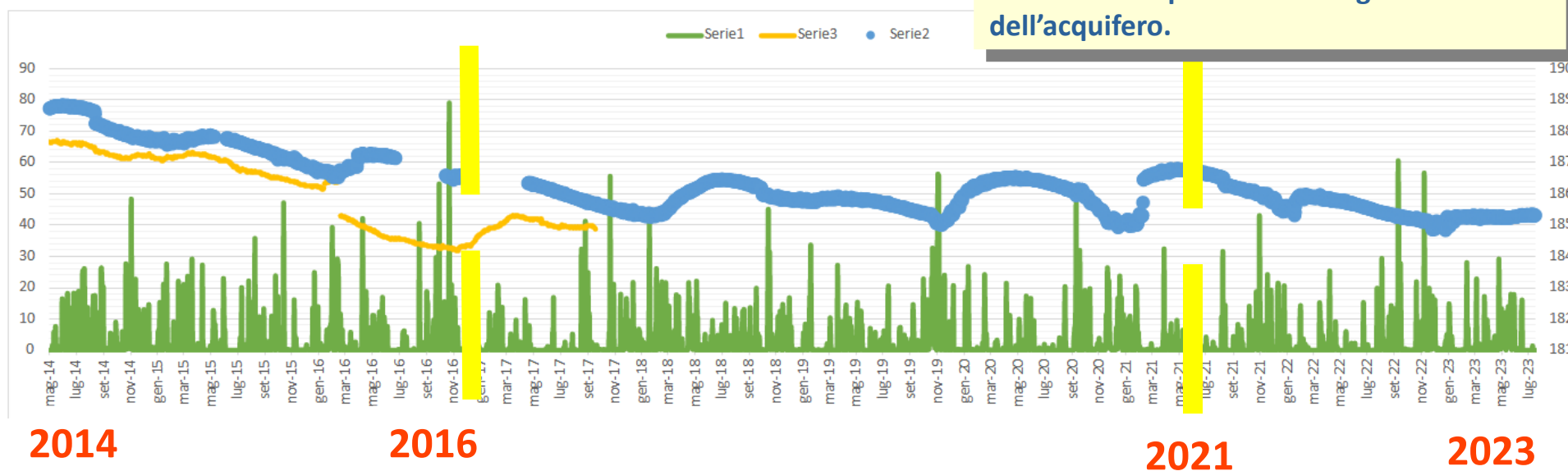
Pluviometria:

- Simignano
- Sovicille
- Scorgiano
- Poggio al Vento
- Ponte d'Orgia

Venerdì 27 ottobre 2023

Confronto tra livelli piezometrici e pluviometria

(azzurro –serie 2= piezometria S. Colomba; arancione- serie 3 = piezometria Casetta; verde- serie1 = media mm piogge/giorno calcolata sui tutti i pluviometri dell'acquifero)



2014

2016

2021

2023

2014 - 2016: abbassamento livelli piezometrici (le piogge non permettono di ripristinare i livelli originari)

2016 – 2021: I livelli piezometrici seguono la ciclicità stagionale (non sono ripristinati i livelli originari del 2014)

2021 – 2023: tendenza all'abbassamento, i livelli piezometrici non subiscono modifiche in conseguenza di eventi piovosi intensi in brevi periodi

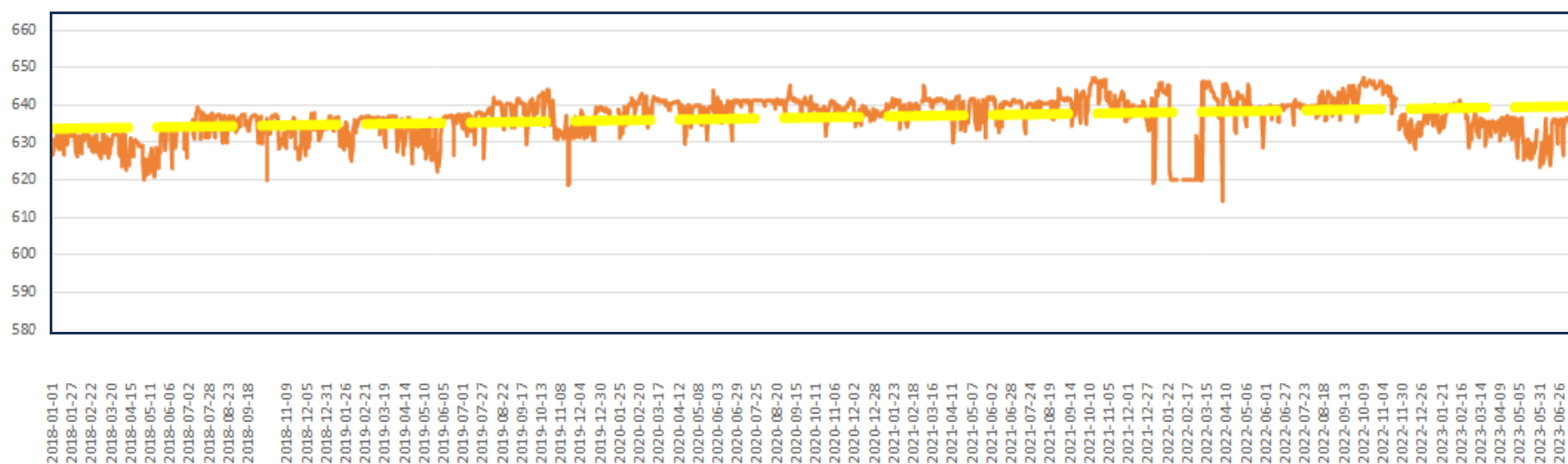
GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



La conducibilità

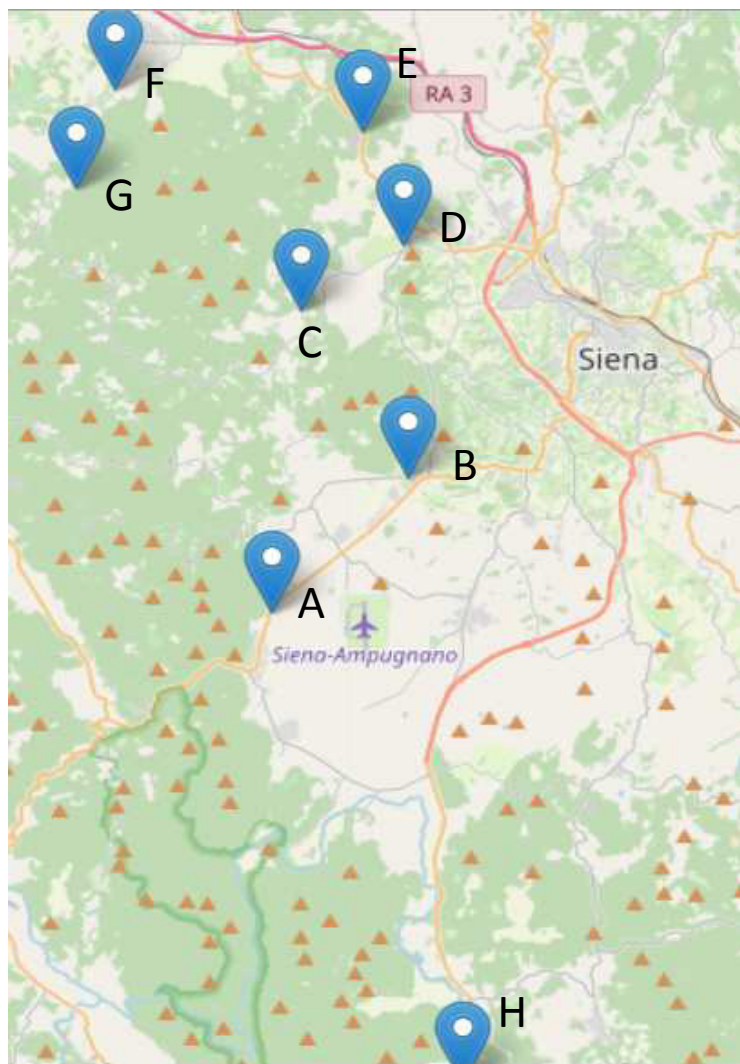
*Piezometro S. Colomba
(2018-2023)*



Tendenza moderatamente ascendente

GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023

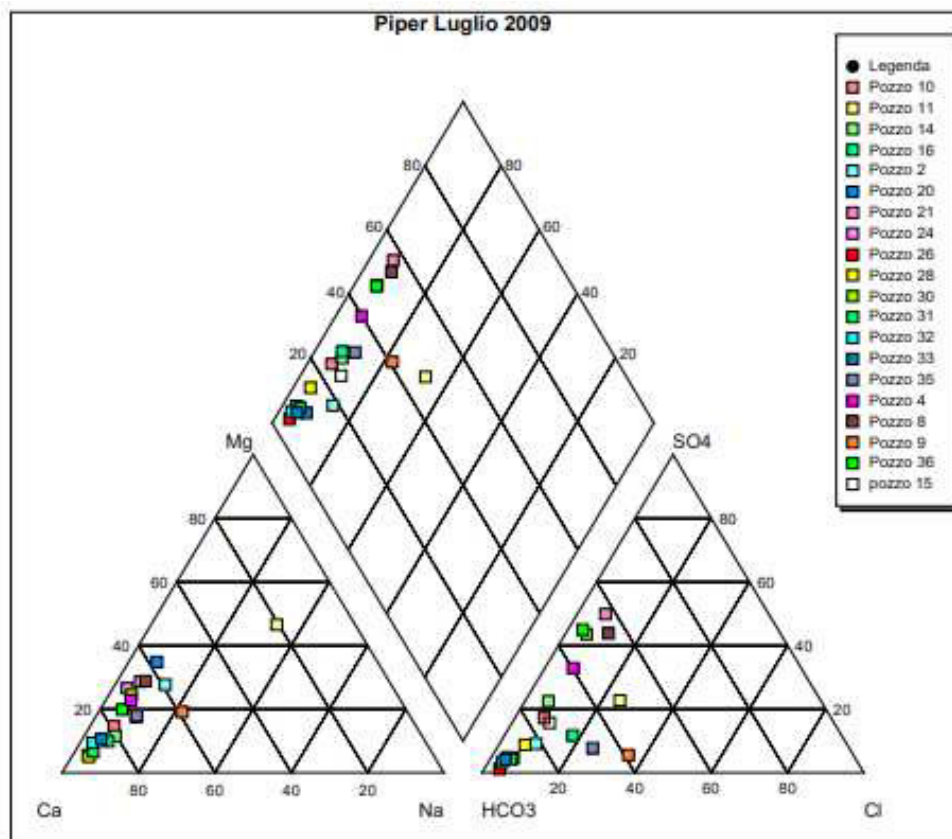


Monitoraggio chimico/fisico ARPAT

- A) Pozzo Luco 4 (MAT-P291)
- B) Pozzo Volte Basse (MAT -P341)
- C) Pozzo Santa Colomba (MAT-P345)
- D) Pozzo Pian Del Lago (MAT- P680)
- E) Pozzo Cava Val di Merse (MAT-P348)
- F) Pozzo Podere Casanova (MAT-P475)
- G) Pozzo Podere Sammonti (MAT - P452)
- H) Pozzo Macereto (MAT-P287)

GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



CLASSIFICAZIONE

Da Capacci et al 2009 - Il diagramma di Piper indica che la quasi totalità dei campioni di acqua sotterranea ricade all'interno del campo delle **acque bicarbonato-alcalino terrose** con la formula anionica $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4 > \text{Cl}$ e cationica $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{Na} \dots$

IONI PRESI IN ESAME

Cloruri

Solfati

Dissoluzione di rocce carbonatiche, anidriti e suoli (terre rosse)

I solfati possono anche provenire dalla decomposizione di sostanze organiche nel suolo, come i solfiti, in presenza di ossigeno. I solfiti possono essere ossidati a solfati, aumentando le concentrazioni di solfati nell'acquifero.

Componenti principali nelle acque, ne modificano le caratteristiche organolettiche e sono di difficile gestione negli impianti di trattamento

La riduzione della quantità complessiva di acqua che entra nell'acquifero può concentrare i sali naturali già presenti nell'acqua sotterranea, aumentando le concentrazioni di cloruri e solfati

Dati chimici stazioni MAT **(analisi trend dei cloruri e solfati secondo LG161/17)** ***metodologia***

Analisi delle tendenze secondo la Direttiva 2006/18 (GWDD direttiva sorella delle acque sotterranee delle WFD) e DLgs 30/2009, linee guida MLG 161/17-SNPA:

procedura di analisi delle tendenze adeguata anche in presenza di un dataset limitato, basata sul metodo di Mann-Kendall per il calcolo della significatività statistica della tendenza ascendente e sul metodo di Sen per la stima della pendenza lineare

Analisi delle tendenze è finalizzata a:

- 1) ricerca degli incrementi dei contaminanti e dunque priorità e urgenza delle misure
- 2) ricerca le curve di inversione, cioè i segnali, attesi, di arresto degli incrementi e diminuzione delle contaminazioni;

Per la ricerca dei “segnali” di inversione, è stato scelto il test di Pettitt che ci dice se la nostra serie ha differenze statisticamente significative, ed in quale posizione (anno), tra due diverse sezioni (c.d. pre e post)

GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



Segnali di incremento ed inversione Cloruri e Solfati

stazione	parametro	periodo	anni	median	pvalue	slope	change_time	pvalue_ptt	med_pre	pvalue_pre	slope_pre	med_pos	pvalue_pos	slope_pos	change_type	legenda
MAT-P452	mat/INCLN10	2003-2021	12	24	5,10E-07	-6,27E-02	2013	8,71E-05	24,25	2,44E-03	-1,07E-01	23,38333	7,91E-01	0,00E+00	inc	dd+
MAT-P475	mat/INCLN10	2003-2021	10	22	2,46E-05	5,76E-02	2007,5	4,03E-03	21,45			22	1,44E-01	0,00E+00	inc	inc
MAT-P291	mat/INCLN10	2002-2021	13	20,175	1,38E-04	8,51E-02	2016	9,86E-03	20,25	2,60E-01	0,00E+00	22,525	7,49E-03	2,32E-01	inc	si
MAT-P287	mat/INCLN10	2002-2018	10	17,65	8,07E-14	-2,84E-01	2011	1,48E-05	17,5	5,00E-05	-3,88E-01	13,625	8,43E-08	-8,33E-02	inc	dd+
MAT-P348	mat/INCLN10	2002-2021	11	11,55	5,14E-01	0,00E+00	2012,5	1,62E-03	11,0575	3,66E-01	0,00E+00	15,18182	3,29E-09	-1,69E-01	inv	sd
MAT-P452	mat/INS06O	2003-2021	12	225	1,70E-01	0,00E+00		1,60E-01								sta
MAT-P291	mat/INS06O	2002-2021	13	112,025	4,13E-04	7,05E-01	2009,5	1,23E-02	105,15	4,44E-01	0,00E+00	120	2,48E-02	5,43E-01	inc	si
MAT-P475	mat/INS06O	2003-2021	10	107,75	6,02E-05	-3,64E-01	2012,5	6,02E-06	110	2,70E-01	0,00E+00	95,27273	1,84E-01	0,00E+00	inv	ss-
MAT-P287	mat/INS06O	2002-2018	10	54,1	2,46E-14	-8,26E-01	2010,5	1,24E-05	53,6	3,74E-05	-1,02E+00	40,33333	2,68E-08	-4,17E-01	inc	dd+
MAT-P348	mat/INS06O	2002-2021	11	14,65	1,15E-03	5,02E-01	2012,5	2,59E-06	14,65	1,53E-02	4,67E-01	51,45455	2,72E-09	-1,88E+00	inv	id

Tabella, convezioni/simboli:

- verde per la probabilità significativa,
- il celeste ed il nero per le tendenze (nero = condizioni scadenti di incremento, celeste = positive inversioni)

Le 9 combinazioni tra sezione pre e sezione post

		pos		
		inc	sta	dec
pre	inc	ii+ ii-	is	id
	sta	si	ss+ ss-	sd
	dec	di	ds	dd+ dd-

Inc – incremento sta – stazionario dec - decremento

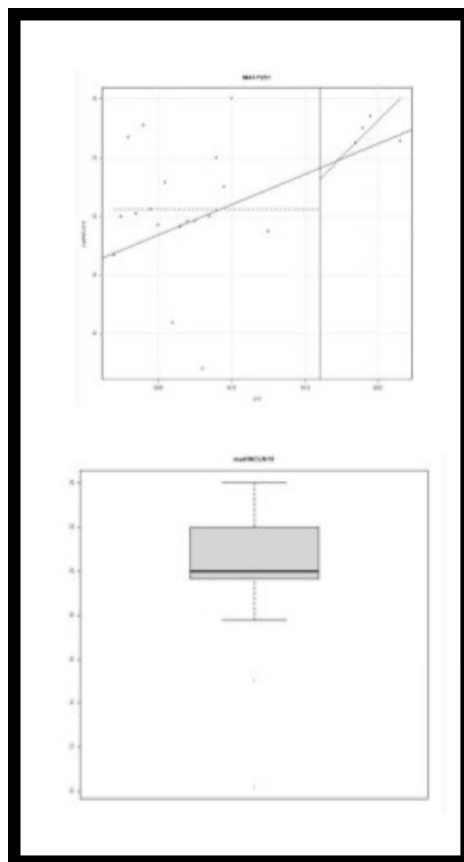
mat/INCLN10 (cloruri) e mat/INS06O (solfati) : generalizzato incremento dei cloruri (tale tendenza è confermata anche dall'incremento della conduttività)

GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023

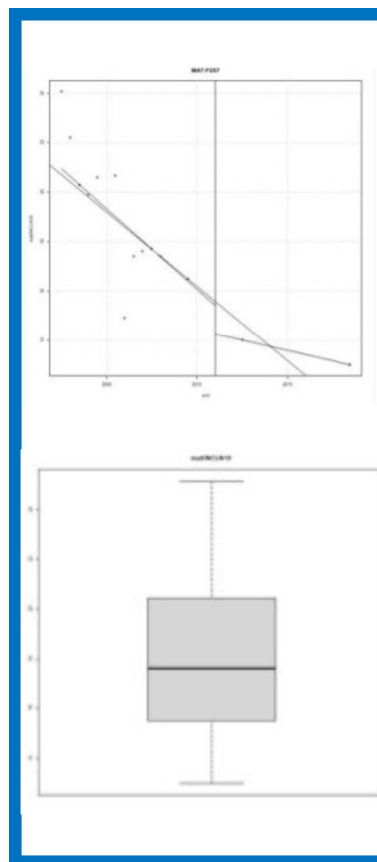


Cloruri MAT- P291
(Pozzo Luco 4)

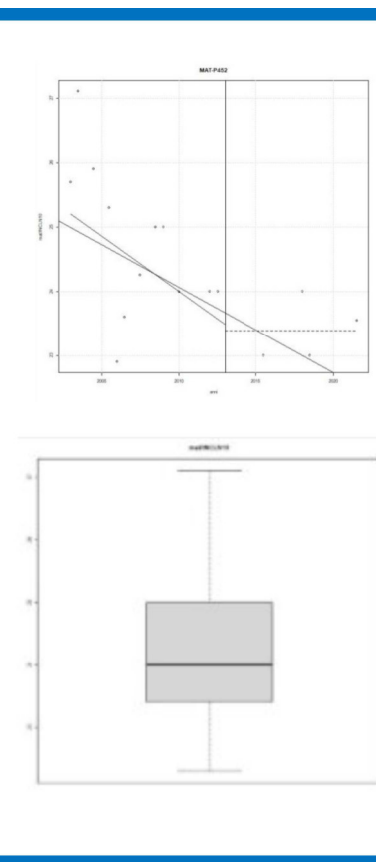


tendenza ascendente

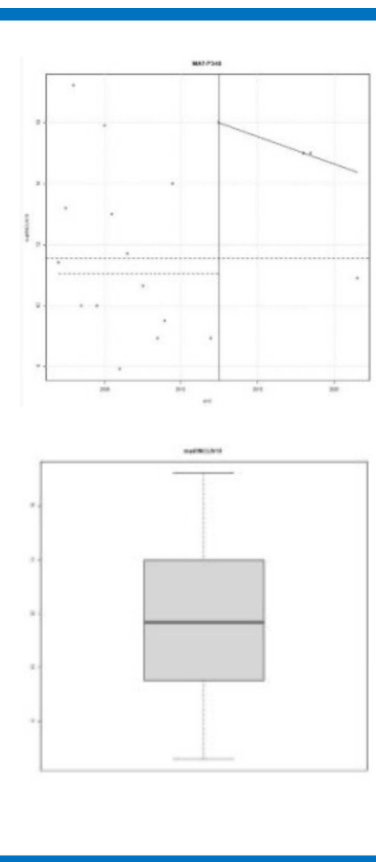
Cloruri MAT- P287:



Cloruri MAT- P452:



Cloruri MAT- P348:



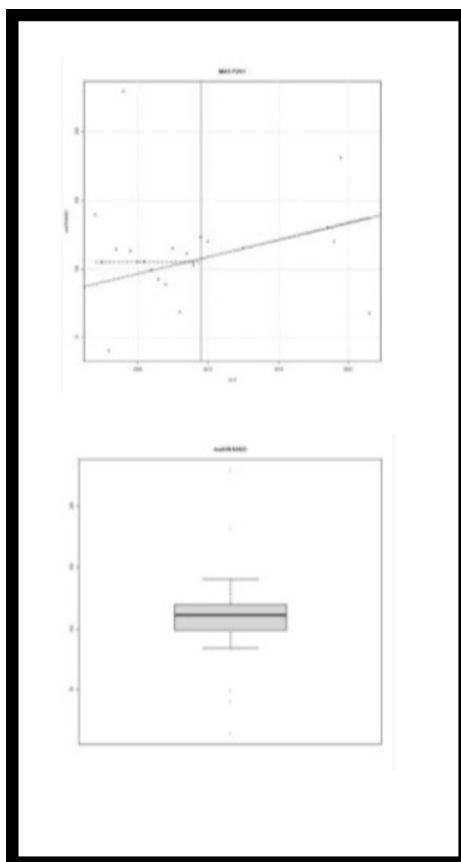
tendenza inversione

GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023

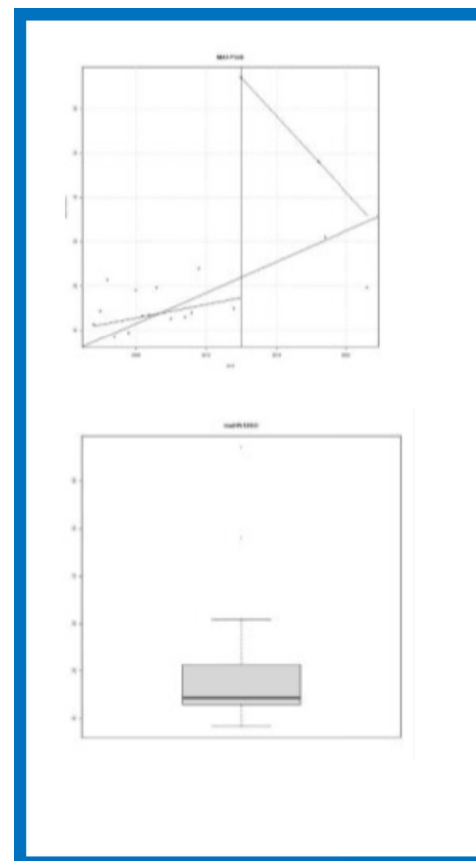


Solfati MAT- P291
(Pozzo Luco 4)



tendenza ascendente

Solfati MAT- P348:

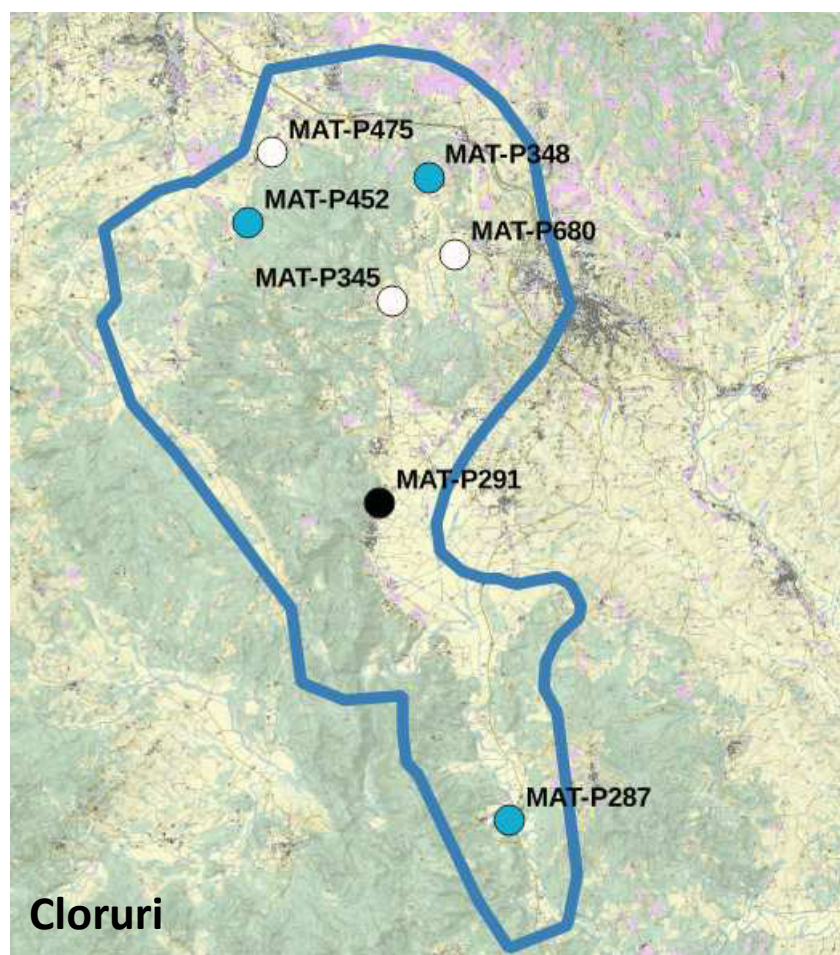


tendenza inversione

GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023

Rappresentazione su mappa delle tendenze



○ dati insufficienti

● ascendente

● discendente

GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

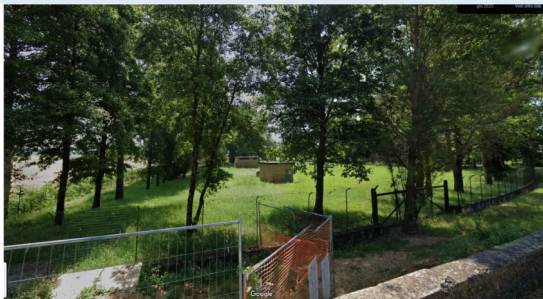
Venerdì 27 ottobre 2023



POZZI ACQUEDOTTO DEL FIORA

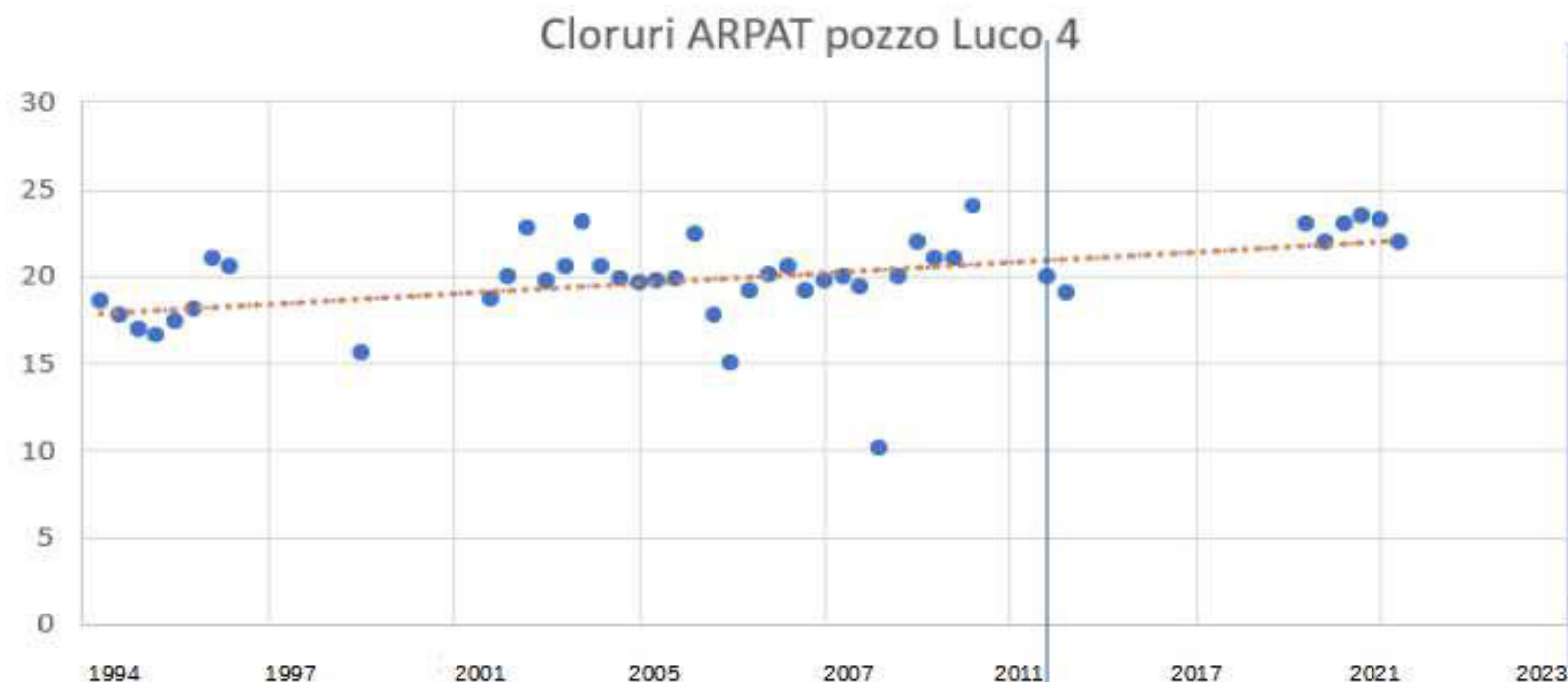


uso potabile: circa 10 milioni mc/anno a servizio
dei comuni di Siena, Sovicille, Monteriggioni



GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



MONITORAGGIO:
Dati Acquedotto del Fiora

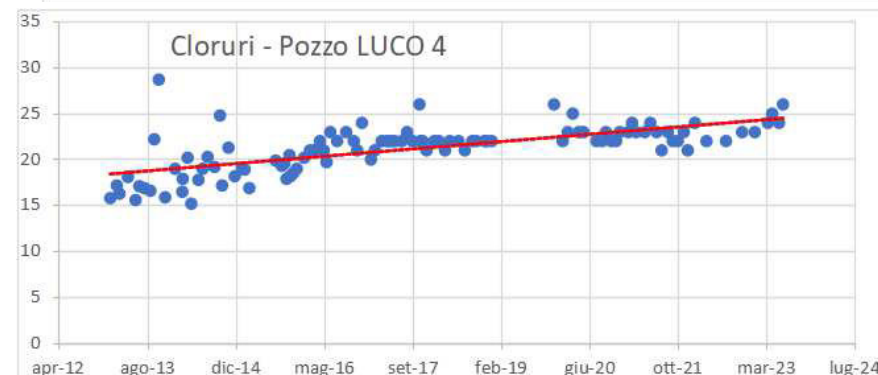
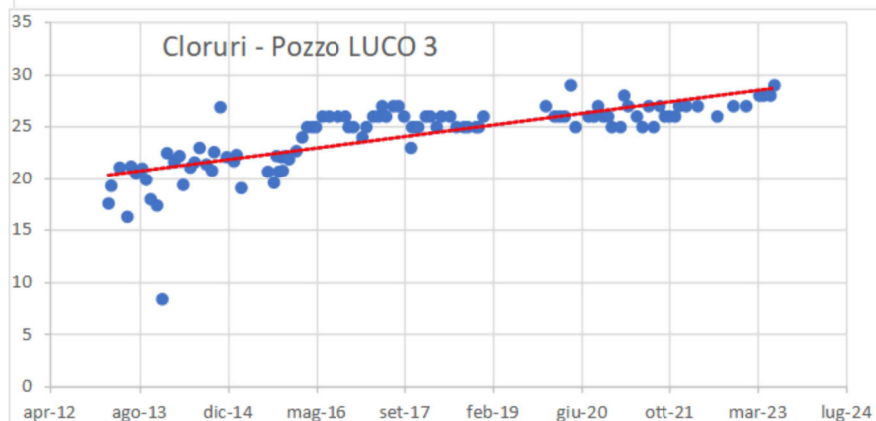
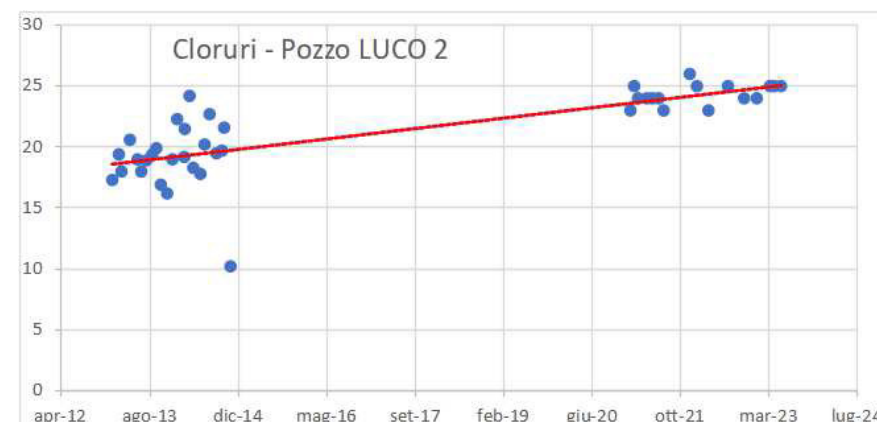
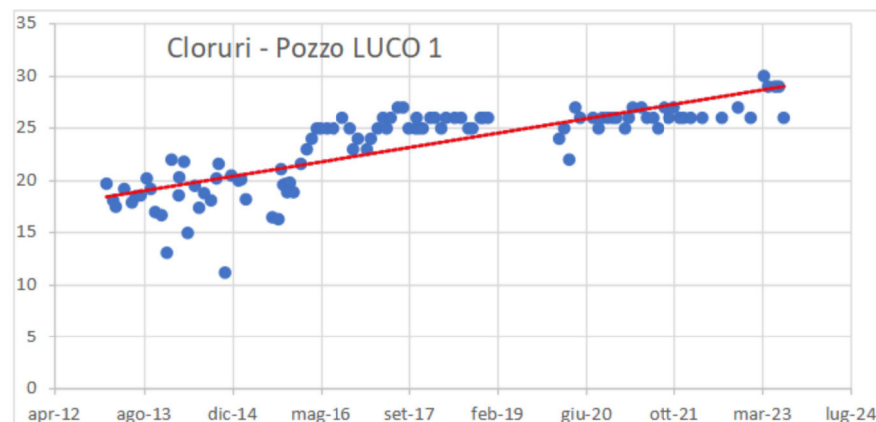


GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



Analisi Acquedotto del Fiora (2013 -2023) Cloruri



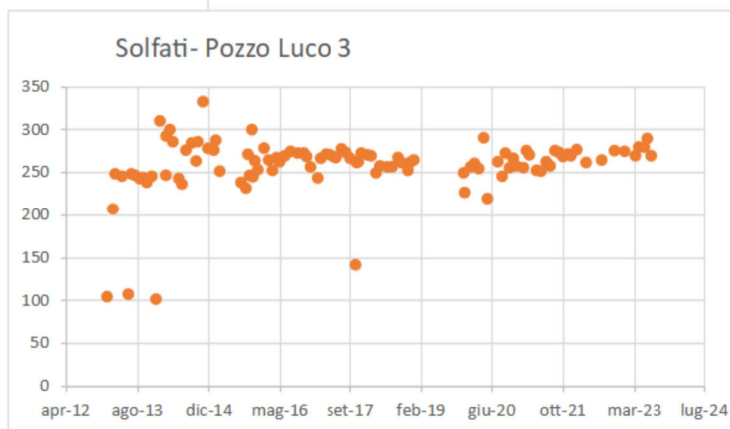
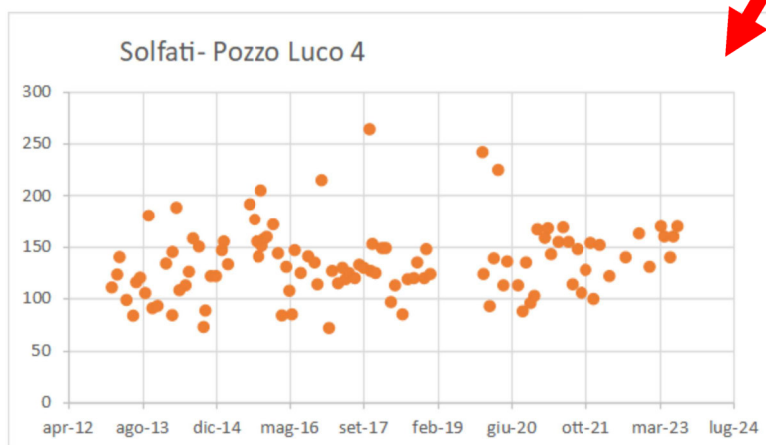
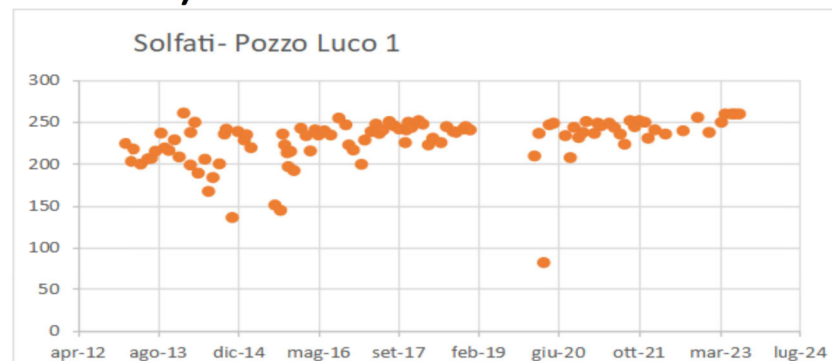
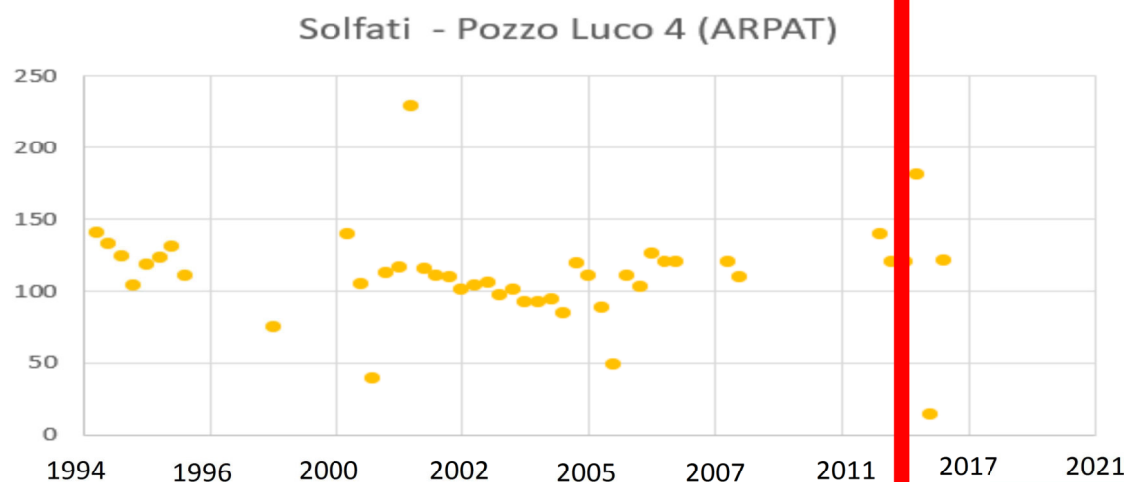
GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



Analisi Acquedotto del Fiora (2013 -2023)

Solfati

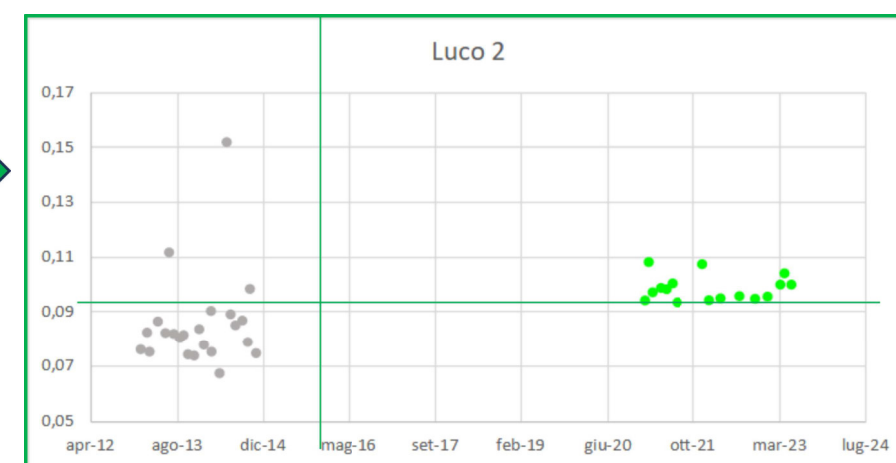
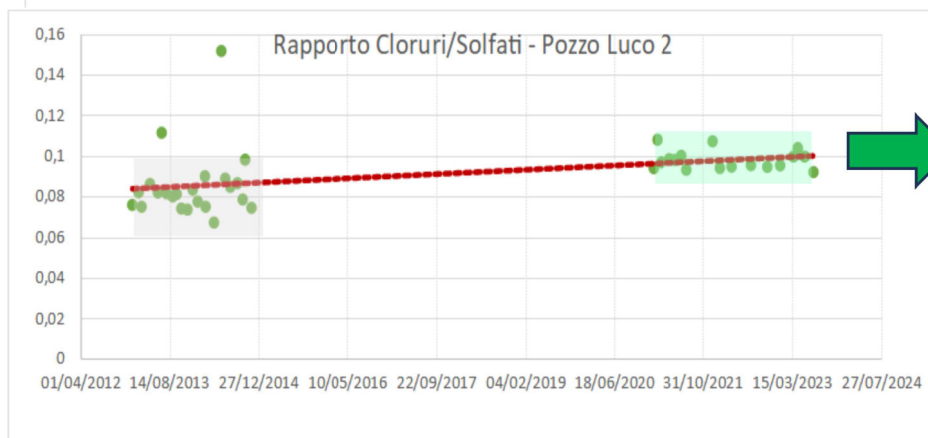
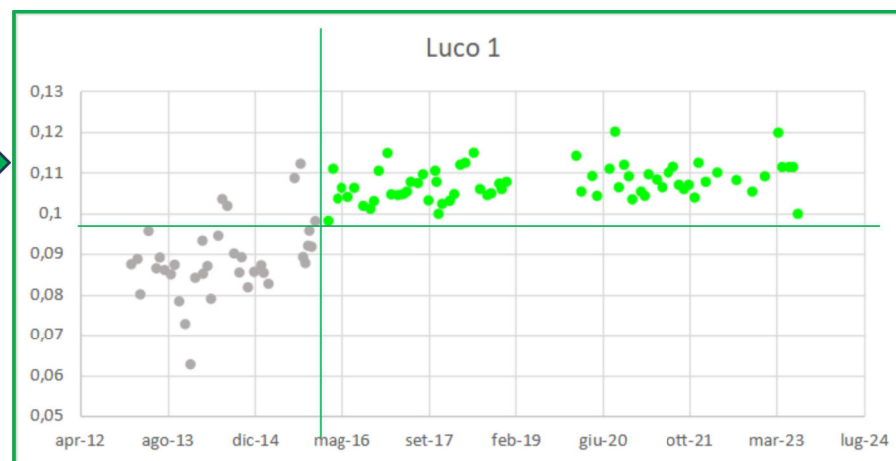
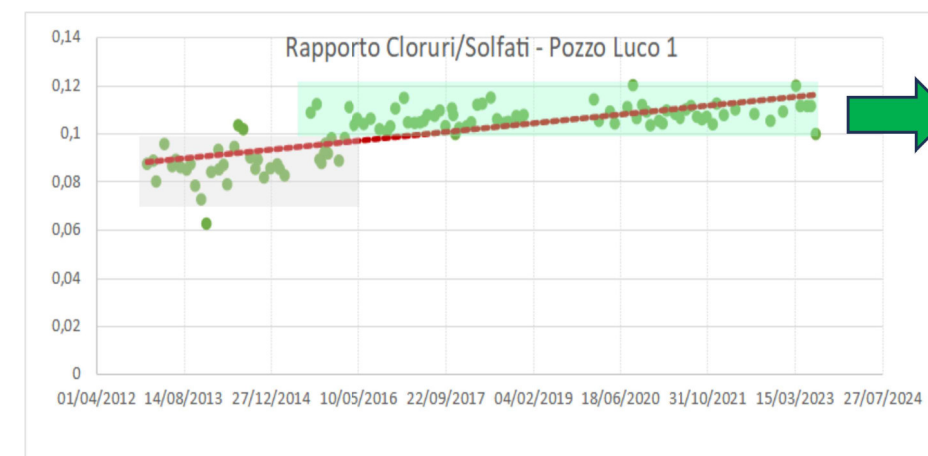


GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



Analisi Acquedotto del Fiora (2013 -2023) Rapporto Cloruri/Solfati – (P1 e P2)

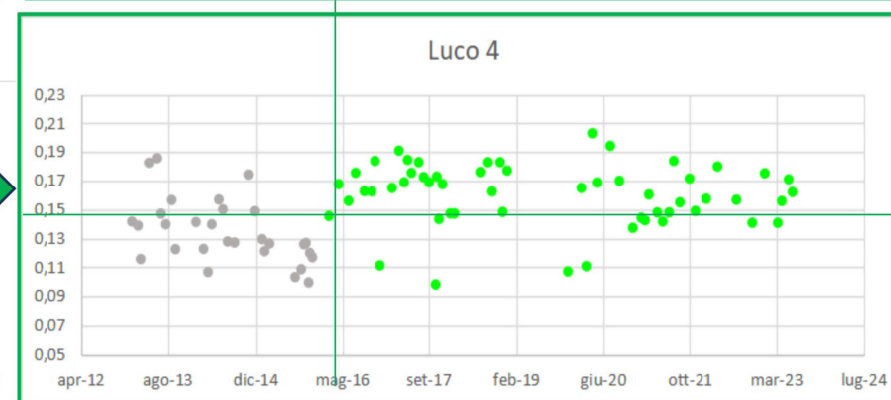
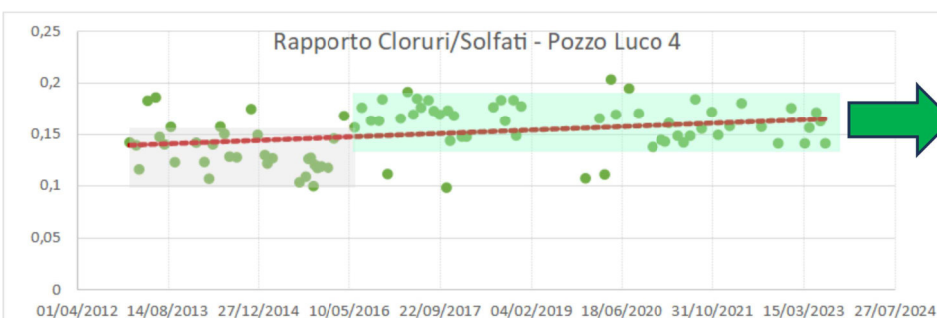
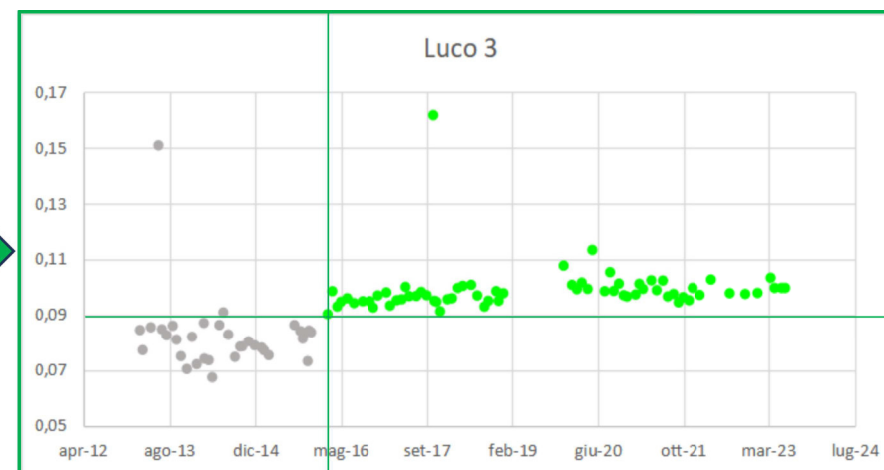
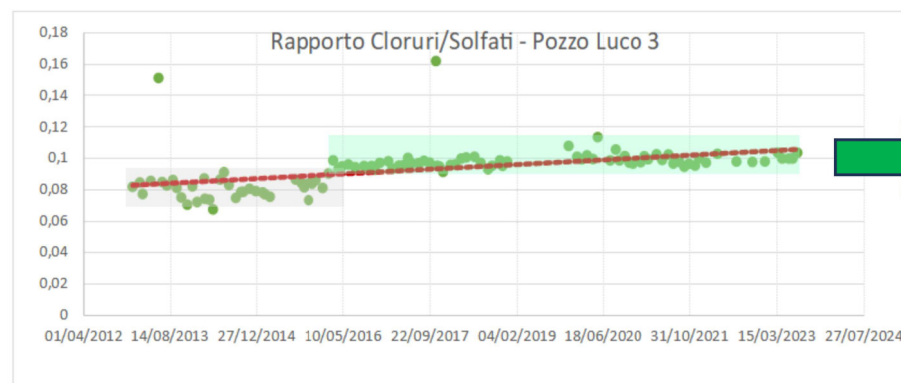


GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



Analisi Acquedotto del Fiora (2013 -2023) Rapporto Cloruri/Solfati – (P3 e P4)



- ➡ Tendenza ascendente su tutti i pozzi
- ➡ Sono distinguibili due «intervalli» di distribuzione dei punti
- ➡ Limite individuabile al 2016

GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

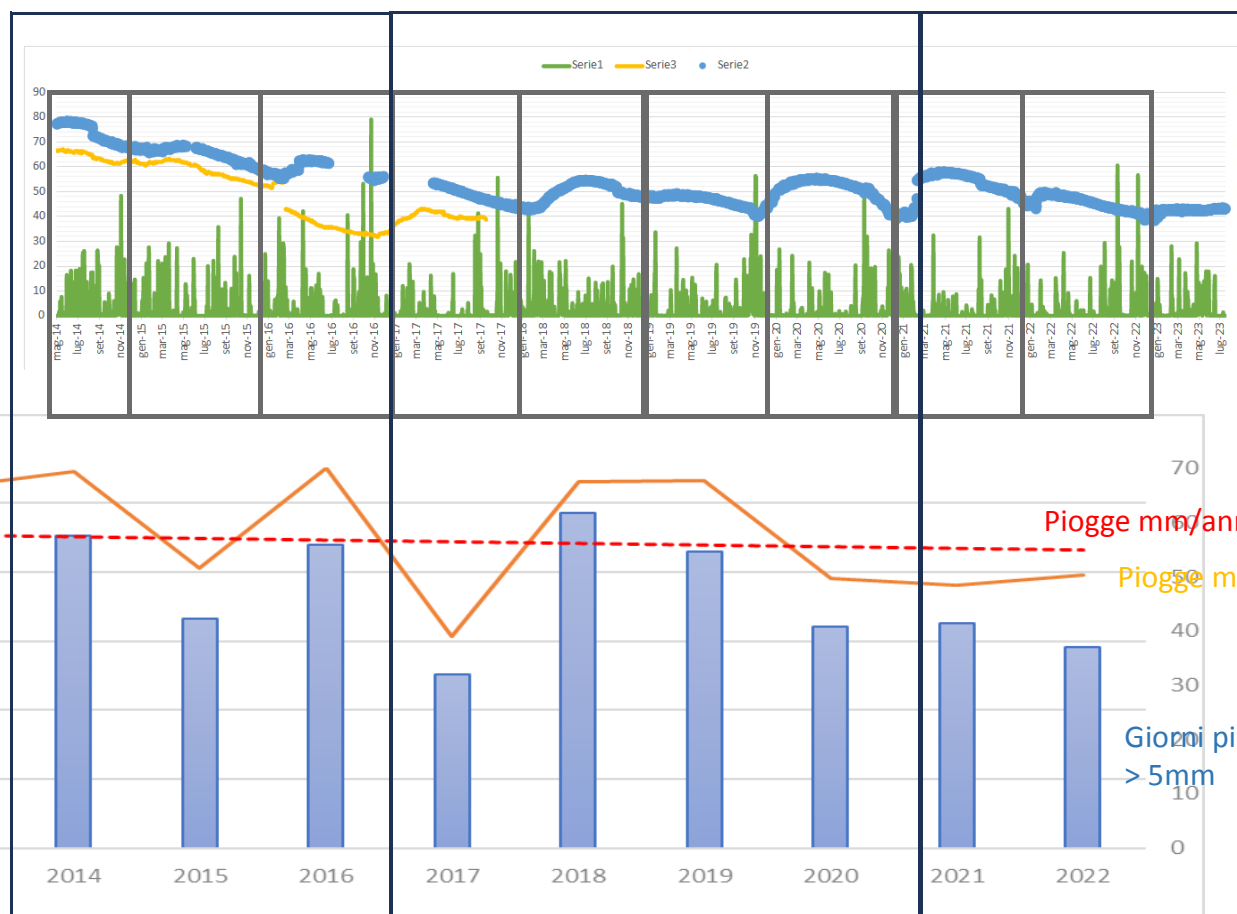
Venerdì 27 ottobre 2023



Confronto tra livelli piezometrici e pluviometria

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
<i>mm/anno (media n.5 pluviometri)</i>	637	911	1045	1092	813	1103	612	1060	1066	783	762	793

- Piogge tendenzialmente costanti nel ciclo decennale
- Cambia la distribuzione (piogge concentrate in brevi periodi)

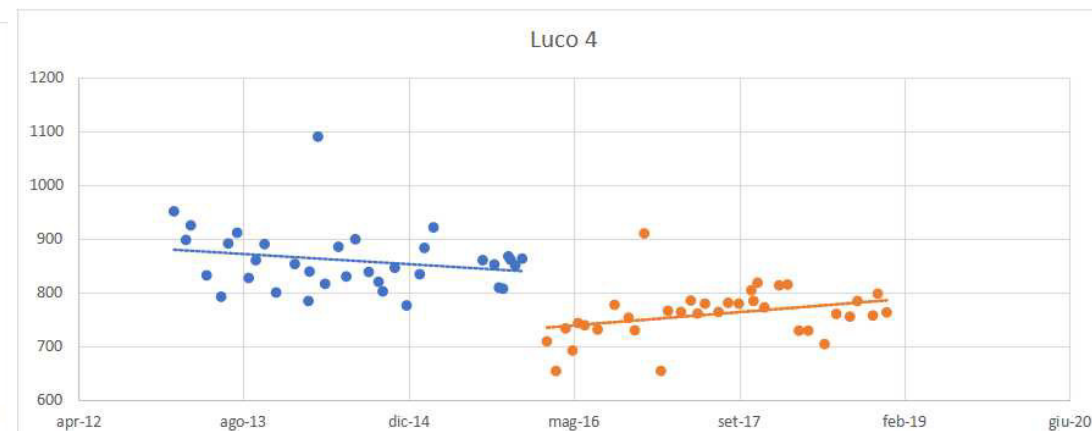
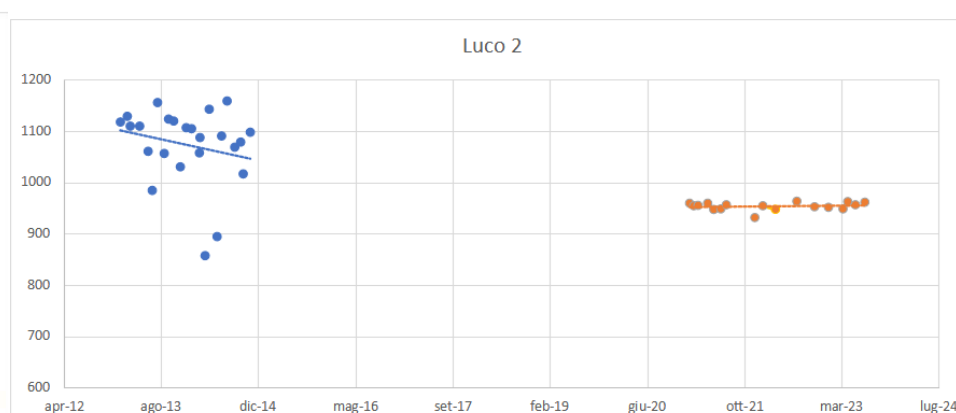
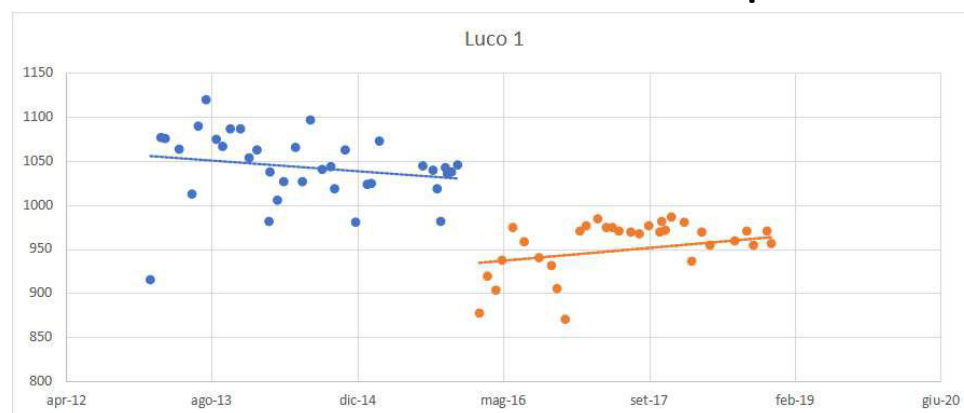


GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



Analisi Acquedotto del Fiora: **Conducibilità**



GLI IMPATTI DEI CAMBIAMENTI CLIMATICI SULLE ACQUE SOTTERRANEE E SUPERFICIALI

Venerdì 27 ottobre 2023



Considerazioni:

- la pluviometria presenta ciclicità stagionale, caratterizzata da eventi piovosi concentrati, ma nel complesso non mostra tendenze decise di scostamento dalla media decennale;
- i livelli piezometrici mostrano un andamento prevalentemente decrescente;
- diversa distribuzione di cloruri e solfati fra pozzi monitorati (in base agli usi);
- nei pozzi ad emungimento continuo ad uso potabile (LUCO) generale tendenza aumento dei cloruri e solfati;
- il rapporto cloruri/solfati presenta un salto dopo il 2016;
- ante e post 2016 distribuzione diversa dei dati di conducibilità e contemporanea variazione dell'andamento piezometrico e della distribuzione della piovosità.