

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 1

DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)
MONITORAGGIO AMBIENTALE

ACQUE SOTTERRANEE

RELAZIONE DI SINTESI DELL'INTERPRETAZIONE DEI DATI 2019-2023



Giugno 2024

ECOPLAME SRL

ECOPLAME S.R.L.
 Sede Leg.: Via G. Verdi, 18
 80133 Napoli
 P. IVA 08362331210



					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 2

INDICE

Premessa	3
1. Materiali e Metodi	5
1.1. <i>Campionatura ed analisi chimiche</i>	5
1.2. <i>Elaborazione dei dati analitici</i>	7
1.2.1 <i>Il database</i>	7
1.2.2 <i>Rappresentazione cartografica puntuale dei dati (Dot maps)</i>	7
1.2.3 <i>Rappresentazione cartografica dei dati interpolati</i>	7
2. L'area oggetto di studio	8
2.1. <i>Contesto geologico-idrogeologico</i>	8
2.2. <i>Criticità geochimiche emerse durante la fase di progettazione dell'opera</i>	11
3. Classificazione geochimica delle acque analizzate	12
4. Classificazione dello stato di qualità chimica delle acque sotterranee e confronto tra la fase ante operam e in corso d'opera	16
5. Distribuzione degli analiti potenzialmente tossici nelle acque	21
5.1 <i>Fluoruri</i>	21
5.2 <i>Nitriti</i>	24
5.3 <i>Solfati</i>	29
5.4 <i>Alluminio</i>	33
5.5 <i>Ferro</i>	37
5.6 <i>Manganese</i>	42
5.7 <i>Boro</i>	46
6. Analisi statistica multivariata dei dati	51
7. Conclusioni	60
8. Bibliografia	64

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 3

Premessa

Il presente lavoro descrive ed analizza i risultati del monitoraggio ambientale delle acque sotterranee lungo l'asse del terzo Megalotto della nuova SS 106 "Jonica" eseguito dal 30.04.2019 al 31.12.2023, periodo corrispondente dalla fase di A.O. fino al terzo anno di C.O..

Tale elaborato è stato redatto in ottemperanza a quanto richiesto da Arpacal nel corso della Riunione Tecnica del 19/05/2023 (ved. Verbale Riunione Prot. 21906/2023 del 13.07.2023) in relazione all'analisi dei dati di monitoraggio delle acque sotterranee da eseguire con specifici approfondimenti relativi *"...all'analisi spaziale dei dati ambientali disponibili (mappe della distribuzione delle concentrazioni), analisi di eventuali trend evolutivi delle concentrazioni chimiche delle acque (sia spaziali che temporali), confronto tra i dati campionari rappresentativi della situazione pregressa (ante operam) e quella attuale, anche mediante l'applicazione delle più adeguate tecniche statistiche"*.

Il tracciato stradale si estende per oltre 38 chilometri lungo la porzione settentrionale della costa ionica calabrese ed interessa, per i primi 18,5 km circa, la piana alluvionale di Sibari e, per i restanti 20 km, una fascia collinare protesa su di una fascia costiera estremamente stretta (Fig. 1). L'area oggetto di studio rientra interamente all'interno della Provincia di Cosenza e, procedendo da sud verso nord, il tracciato attraversa i comuni di Cassano allo Ionio, Francavilla Marittima, Cerchiara di Calabria, Villapiana, Trebisacce, Albidona, Amendolara e Roseto Capo Spulico.

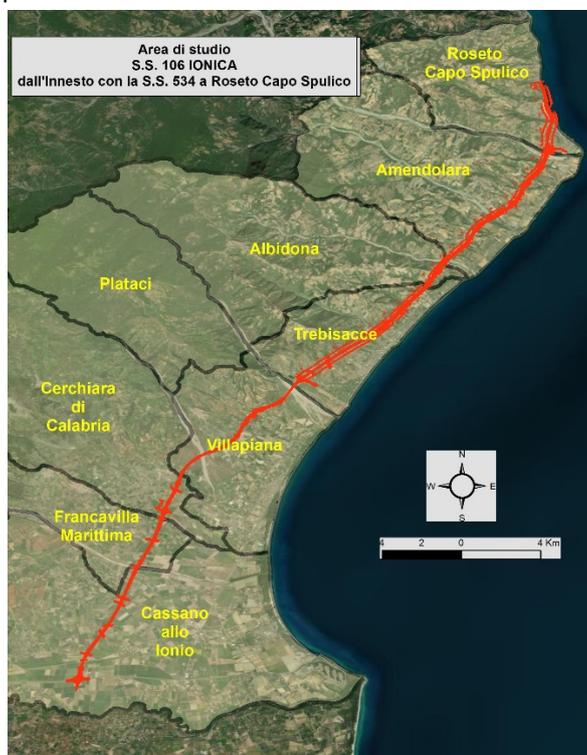


Figura 1. Area oggetto di studio

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 4

L'obiettivo principale del presente lavoro è quello quindi di verificare le condizioni di qualità delle acque sotterranee attraverso un confronto tra i risultati analitici rilevati in ante-operam e quelli relativi alle campagne di analisi di Corso d'opera a tutto il 2023.

Lo scopo principale è quello di fornire una valutazione più approfondita alla luce del campione di dati raccolti nei primi tre anni del monitoraggio ambientale dell'opera.

Nello specifico sono stati elaborati tutti i dati relativi alla matrice acque sotterranee, dalle prime campagne di monitoraggio ambientale in fase Ante Operam (intraprese a partire dal 2019) fino all'ultima campagna del Dicembre 2023.

L'elaborazione geochimica dei dati viene illustrata attraverso grafici, tabelle e mappe geochimiche relative ai parametri analitici che hanno mostrato durante le varie fasi del monitoraggio superamenti dei valori di riferimento fissati dalla legge (D.Lgs. 152/06 All.5 al Titolo V, Parte quarta, Tabella 2).

Il confronto tra Il monitoraggio Ante Operam (AO) e in Corso d'Opera (CO) ha consentito di valutare le differenze temporali nel livello di qualità ambientale dei corpi idrici sotterranei interessati direttamente o indirettamente dalla realizzazione dell'opera.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 5

1. Materiali e Metodi

1.1 Campionatura ed analisi chimiche

I siti campionati ai fini del monitoraggio sono rappresentati da sorgenti, pozzi e piezometri. L'ubicazione dei punti di monitoraggio è riportata nella figura 1.1 La sigla del campione è composta da una stringa di 12 caratteri (9 caratteri separati da 3 trattini) così organizzati:

- ✓ 2 caratteri per l'acronimo della componente (SO)
- ✓ 2 caratteri per l'acronimo della sub-componente (SO sorgente, PO pozzo, VA piezometro)
- ✓ 2 caratteri per l'acronimo del Comune in cui ricadono (CI Cassano Ionico, TR Trebisacce, etc...)
- ✓ 3 numeri per il progressivo della stazione (001, 002, etc...)

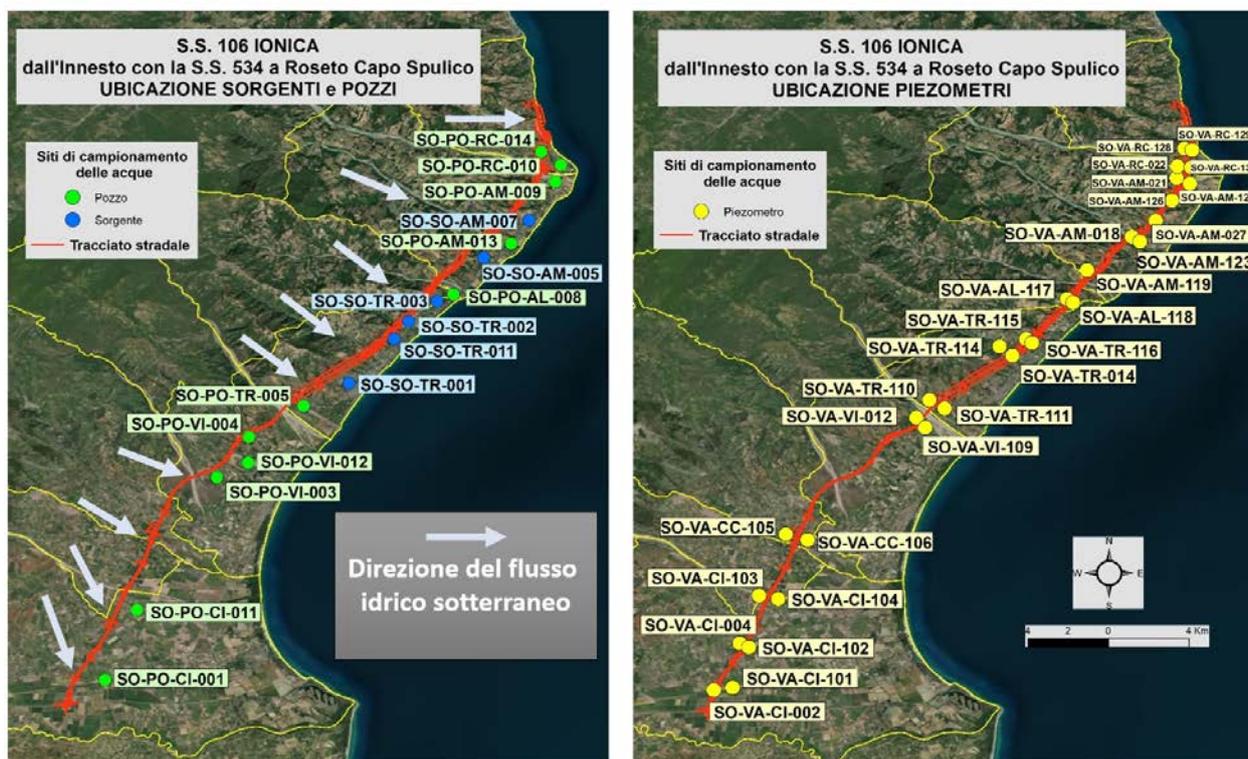


Figura 1.1. Ubicazione dei punti di monitoraggio.

Per il monitoraggio dei parametri di qualità chimico-fisici si è fatto riferimento alle principali norme IRSA-CNR. Le metodiche di campionamento, di conservazione dei campioni e di analisi delle acque sono state coerenti con le indicazioni del manuale “Metodi Analitici per le Acque” prodotto da APAT e IRSA – CNR e pubblicato da APAT in Manuali e Linee Guida 29/2003, e nella norma UNI EN ISO 5667-3 del 2004 (“Qualità dell’Acqua –Campionamento – Parte 3: Guida per la conservazione e il maneggiamento di campioni d’acqua”), tenendo comunque conto anche delle indicazioni contenute in merito nell’Allegato III del D. Lgs. 31/01. Oltre a queste sono state prese in considerazione le UNICHIM-UNI, EPA, APHA, ISO.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 6

Alcuni parametri (pH, Conducibilità, Ossigeno disciolto, Temperatura atmosferica e dell'acqua) sono stati misurati in situ utilizzando una sonda multiparametrica (modello YSI-ProDSS) che consente, tramite elettrodi intercambiabili, di misurare direttamente in campo più parametri. La sonda è stata tarata all'inizio di ogni giornata di rilievo utilizzando le specifiche soluzioni di calibrazione.

Nelle fasi di campionatura sono stati impiegati dispositivi che non alterano le caratteristiche chimiche delle acque; tali dispositivi sono stati puliti prima e dopo ogni prelievo, e i campioni sono stati collocati in contenitori specifici, al fine di mantenere l'originaria composizione. Ogni campione, una volta raccolto, è stato etichettato con sigla identificativa e con data e ora del campionamento, ed è stato conservato ad una temperatura di 4°C per impedirne il deterioramento fino alla consegna al laboratorio entro le 24 ore successive al prelievo. Le aliquote di campione per l'analisi dei metalli sono state filtrate con un filtro da 0,45 µm ed acidificate con HNO₃. Come concordato con ARPACAL, l'acidificazione dei campioni è avvenuta al momento del prelievo in campo. Tutti i dati raccolti in sito sono stati riportati su una specifica scheda che è stata redatta per ogni punto di campionamento. La tabella 1.1 riporta l'elenco dei parametri analizzati per ogni punto campionato con le relative metodologie di analisi. Inoltre, sono stati ricercati anche i seguenti parametri microbiologici: Escherichia Coli, Streptococchi fecali, Coliformi totali e fecali, Salmonelle.

Tabella 1.1. Elenco parametri analizzati.

N°	Parametro	Metodologia analitica/strumentazione	N°	Parametro	Metodologia analitica/strumentazione
1	Livello statico/livello piezometrico	Freatimetro	33	Nichel	EPA 6020 A 2007
2	Temperatura aria	Termometro	34	Cadmio	EPA 6020 A 2007
3	Temperatura acqua	Sonda multiparametrica	35	Cromo totale	EPA 6020 A 2007
4	Ossigeno disciolto	"	36	Cromo VI *	APAT CNR IRSA 3150 B2
4	Conducibilità	"	37	Mercurio	EPA 6020 A 2007
5	pH	"	38	Manganese	EPA 6010 C 2007
6	Potenziale di ossido riduzione redox	"	39	Alluminio	APAT CNR IRSA 3050 man 29 2003
7	Durezza totale	APAT CNR IRSA 2040 B man 29 2003	40	Argento	APAT CNR IRSA 3070 man 29 2003
8	Residuo fisso	Metodo gravimetrico 180°C Istituto superiore di Sanità	41	Berillio	APAT CNR IRSA 3100 man 29 2003
9	Torbidità (residuo fisso a 105°C e 550°C)	APAT IRSA CNR 2110 man 29 2003	42	Cobalto	EPA 6010 C 2007
10	Alcalinità da bicarbonati	APAT IRSA CNR 2010 man 29 2003	43	Selenio	EPA 6010 C 2007
11	Alcalinità da carbonati	APAT IRSA CNR 2010 man 29 2003mg/l	44	Tallio	APAT IRSA CNR 3290 man 29 2003
12	Ione bicarbonato	APAT IRSA CNR 2010 man 29 2003mg/l	45	TOC: carbonio organico totale	APAT IRSA CNR 5040 man 29 2003
13	Cloruri	IRSA APAT CNR 4020 man 29 2003	46	Idrocarburi totali	Std methods n.5520 C&F 18th edition
14	Solfati	IRSA APAT CNR 4020 man 29 2003	47	BTEX	EPA 5030C 2003 +EPA 8260C 2006
15	Azoto ammoniacale	APAT IRSA CNR 4030 man 29 2003	48	IPA	EPA 8270D
16	Azoto nitroso	APAT IRSA CNR 4050 man 29 2003	49	Alifatici clorurati cancerogeni	EPA 8270 D
17	Azoto nitrico	APAT IRSA CNR 4040 man 29 2003	50	Alifatici clorurati non cancerogeni	EPA 8270 D
18	Fosforo totale	APAT IRSA CNR 4060 man 29 2003	51	Alifatici alogenati cancerogeni	APAT IRSA CNR 5150 man 23 2003
19	Tensioattivi non ionici	Unichim n.980/2 1993	52	Fenoli e clorofenoli	APAT IRSA CNR 5070 / UNI EN ISO 17070 2007
20	Tensioattivi anionici	IRSA Q 100 n.5150	53	Fitofarmaci	APAT IRSA CNR 5090 / 2007
21	Fluoruri	APAT IRSA CNR 4020 man 29 2003µg/l			
22	Cianuri	APAT IRSA CNR 4020 man 29 2003µg/l			
22	Sodio	APAT IRSA CNR 3270 man 29 2003			
23	Boro	APAT IRSA CNR 3110 man 29 2003			
24	Antimonio	APAT IRSA CNR 3060 man 29 2003			
25	Arsenico	EPA 6020 A 2007			
26	Potassio	APAT IRSA CNR 3240 man 29 2003			
27	Magnesio	APAT IRSA CNR 3180 man 29 2003			
28	Calcio	APAT IRSA CNR 3130 man 29 2003			
29	Ferro	EPA 6020 A 2007			
30	Piombo	EPA 6020 A 2007			
31	Rame	EPA 6010 C 2007			
32	Zinco	EPA 6010 C 2007			

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 7

1.2. Elaborazione dei dati analitici

1.2.1 Il database

I dati geochimici ottenuti, a seguito della campionatura e delle accurate analisi di laboratorio, sono stati registrati ed organizzati, insieme a tutte le altre informazioni collezionate, in un *database*. Nel *database* i campioni sono stati ordinati in modo che possono essere univocamente individuati attraverso il loro codice identificativo (ID), e soprattutto attraverso le loro coordinate spaziali, riportate come coordinate geografiche. Ad ogni campione ovvero ad ogni ID sono stati associati i valori delle corrispondenti analisi chimiche, e tutte le altre informazioni disponibili. Ciò ha consentito l'elaborazione statistica e geostatistica dei dati e la realizzazione di diverse tipologie di mappe, grafici e tabelle utili all'interpretazione degli stessi dati.

1.2.2 Rappresentazione cartografica puntuale dei dati (Dot maps)

Le carte della distribuzione puntuale delle concentrazioni, per ogni singolo elemento chimico analizzato, si sono rivelate utili per confrontare la reale distribuzione delle concentrazioni medie nei punti campionati nelle fasi ante operam e in corso d'opera. Per la compilazione delle suddette carte si è proceduto a una classificazione dei siti campionati in funzione degli intervalli di concentrazione. A tal fine, il *database* viene richiamato all'interno del progetto cartografico, utilizzando i valori delle coordinate registrate per ogni singolo campione, e i siti campionati vengono visualizzati all'interno della mappa digitale grazie a dei simboli scelti dall'operatore. In particolare, le concentrazioni dei vari elementi sono state classificate in funzione della distribuzione dei dati sulla curva cumulativa di frequenza. Gli intervalli di concentrazione scelti rappresentano le diverse popolazioni di dati individuate sul grafico. Tali intervalli sono rappresentati da una simbologia circolare di dimensione crescente al crescere dei valori delle concentrazioni. Il simbolo colorato in rosso rappresenta i campioni la cui concentrazione supera il valore di riferimento fissato dalla legge (D.Lgs. 152/06 All.5 al Titolo V, Parte quarta, Tabella 2).

1.2.3 Rappresentazione cartografica dei dati interpolati

L'interpolazione è un processo realizzato attraverso l'utilizzo di specifici algoritmi matematici che permettono di generalizzare il dato geochimico trasformandolo, dall'univocità del valore puntuale, in una informazione di tipo spaziale areale di tipo probabilistico. Per quanto numerosi possano essere i campioni prelevati e i dati di concentrazione prodotti per ogni singola sostanza analizzata in una determinata area, la loro rappresentazione cartografica puntuale non potrà mai assumere il carattere di continuità che, invece, deve essere restituito dalla rappresentazione grafica dei dati interpolati (carta geochimica). Si rende perciò necessario formulare un'ipotesi sul comportamento della grandezza in esame fra due o più punti noti e assumere la stessa come la migliore approssimazione possibile dei valori reali.

Il risultato di un processo d'interpolazione dei dati geochimici, attraverso un algoritmo matematico, quindi, non potrà mai prevedere, per quanto complesso ed elaborato esso sia, le variazioni locali di concentrazione dovute alla presenza di particolari condizioni geochimico-litologiche e/o a fenomeni di contaminazione antropica. L'interpolazione dei dati geochimici non fornisce sicuramente, nelle aree non campionate, un'informazione deterministica ma, calcola in modo probabilistico il valore da assegnare a una

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 8

cella in modo da delineare dei *trends/patterns* da relazionare ed interpretare in funzione delle situazioni geologico-strutturali e ambientali dell'area in esame.

Per l'interpolazione spaziale dei dati puntuali si è scelto di utilizzare l'algoritmo dell'*Inverse Distance Weighted* (IDW) associato a una nuova metodologia, per la discriminazione delle popolazioni dei dati geochemici, che scaturisce dall'applicazione della geometria frattale e multifrattale e per questo prende il nome di *Multifractal Inverse Distance Weighted* (MIDW) (Lima et al., 2003).

La legenda che accompagna ogni carta, che rappresenta la distribuzione dei dati interpolati, comporta la classificazione in intervalli dei *pixel* ai quali è stato assegnato un valore di concentrazione e l'assegnazione a ogni classe di un colore. Come per le carte puntuali, in rosso sono evidenziate le aree la cui concentrazione, probabilmente, supera il valore di riferimento fissato dalla legge (D.Lgs. 152/06).

2. L'area oggetto di studio

2.1. Contesto geologico-idrogeologico

Le caratteristiche geologiche dell'area oggetto di studio sono estremamente complesse e sono state estesamente illustrate nella relazione geologica allegata al Progetto definitivo dell'opera. In questa relazione riassumiamo brevemente tali caratteristiche evidenziandone alcuni aspetti maggiormente utili all'interpretazione dei dati analitici.

Il tratto di territorio esaminato si sviluppa fra quote comprese tra 15-20 m s.l.m. e 130-140 m s.l.m. e comprende la Piana di Sibari, a Sud, ed il tratto collinare compreso tra Trebisacce e Roseto Capo Spulico, a nord. Nel tratto più meridionale (da inizio lotto sino a Trebisacce) l'area è dominata dalla Piana di Sibari, corrispondente ad una struttura tipo graben, caratterizzata da depositi alluvionali fluvio-lacustri recenti ed attuali (Fig. 2.1). La Piana di Sibari è parte di un bacino tettonicamente subsidente, colmato da ingenti spessori di depositi alluvionali di età pleistocenico-olocenica. I depositi olocenici della piana di Sibari, oltre le frazioni più grossolane, del tutto confrontabili, per tipologie e caratteristiche ai depositi terrazzati delle fiumare del settore collinare, presentano delle componenti estremamente fini, rappresentate da limi ed argille di ambiente lacustre, sovente associati ad orizzonti torbosi e di limi organici nerastrati, di ambiente più strettamente palustre. I vari strati hanno una notevole variabilità sia nello spessore, sia nella continuità laterale, mostrando geometrie lentiformi e frequenti passaggi e oscillazioni eteropiche con depositi appartenenti a facies fluviali limitrofe.

In quest'area viene segnalata una falda freatica che si imposta nei sedimenti alluvionali, ad elevata permeabilità; i dati piezometrici evidenziano valori di soggiacenza molto bassi con falda praticamente a piano campagna ed una falda in pressione ospitata nei depositi ghiaiosi presenti oltre 30-40 m dal piano campagna ed il cui acquicludo/acquitardo è rappresentato dai depositi fini limoso/argillosi e livelli di torba presenti a tali quote. La piezometria di questo acquifero si attesta attorno alla quota del piano campagna e, talvolta, mostra carattere di artesianesimo con livelli idrici fino a 2-3 m al di sopra di esso.

Dopo questo tratto le quote si innalzano fino a circa 60-65 m s.l.m. in corrispondenza dell'attraversamento di estesi depositi di conoide legati agli apporti di alcune fiumare. In questo tratto l'asse di progetto si avvicina ai primi rilievi appenninici fino ad incontrarli in corrispondenza dell'abitato di Trebisacce. Questo settore, caratterizzato da depositi essenzialmente ghiaiosi dei conoidi, è

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 9

morfologicamente interrotto dalle incisioni delle fiumare stesse e di alcuni rami torrentizi anastomizzati. Da Trebisacce a Roseto il paesaggio è costituito da versanti terrazzati interrotti da fiumare con coste con un'ampiezza massima di alcune centinaia di metri fino a dimensioni molto ridotte e talora assenti nell'area di Roseto Capo Spulico.

Tale settore collinare è caratterizzato dalla presenza di unità tettoniche considerate appartenenti al cosiddetto cuneo di accrezione della catena. A queste sono sovrapposti i depositi plio-pleistocenici di avanfossa e quelli trasgressivi dei terrazzi marini, ancora più recenti. Le litologie sono molto variabili e comprese tra "end-members" pelitico-marnosi e calcilutitico-calcarenitici, se non addirittura conglomeratici. I caratteri e le strutture sono in genere torbidoitico-flyschoidi e sono ascrivibili ai diversi ambienti deposizionali ed alle differenti condizioni geodinamiche e di sviluppo dell'orogene. Al Complesso Liguride sono ascrivibili diverse Formazioni, ma nell'area in esame affiorano solo la Formazione del Saraceno e quella di Albidona. Si tratta di depositi marini terrazzati, caratterizzati da granulometrie ghiaioso-sabbiose, poggianti in trasgressione sui depositi marini di avanfossa oppure, direttamente, sui sottostanti terreni flyschoidi della catena.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 10

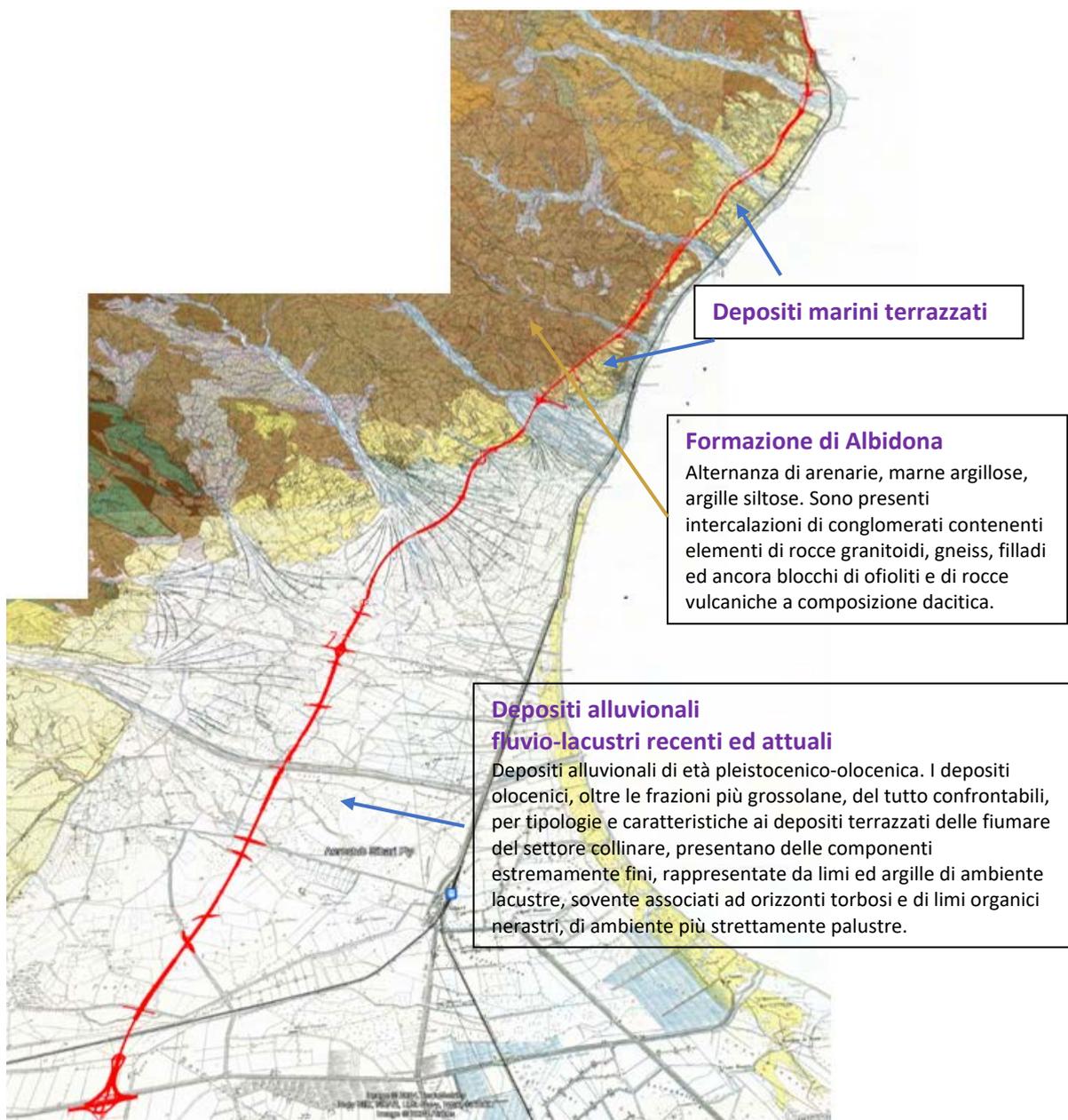


Figura 2.1. Geologia dell'area oggetto di studio.

In quest'area la reale presenza di circolazione idrica è localmente condizionata dai seguenti fattori geologici e morfologici:

- ✓ i terrazzi sono caratterizzati da spessori medi di circa 20-30 m, con massimi di 35-40 m; tali spessori aumentano lungo il bordo prospiciente il mare e tendono ad annullarsi nella fascia di monte.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 11

- ✓ l'alimentazione di tali acquiferi è di carattere locale, prevalentemente legata direttamente alle precipitazioni meteoriche e subordinatamente dagli apporti idrici delle acque superficiali che scorrono sui terreni impermeabili dalle zone di monte.
- ✓ le dimensioni areali dei terrazzi, che insieme alla potenza degli stessi determina la capacità di immagazzinamento di acque di falda, sono molto variabili e sovente la loro superficie è interrotta da numerose incisioni che espongono il substrato impermeabile, determinando una sostanziale riduzione delle potenzialità di immagazzinamento ed un facile smaltimento delle acque meteoriche.

Le sorgenti sono particolarmente numerose ai bordi dei terrazzi di maggiore estensione, quali quelli presenti fra il Torrente Avena e il Canale del Castello. Nelle rimanenti zone, da Trebisacce al Torrente Avena, ove i terrazzi sono poco estesi o isolati da numerose incisioni vallive, le emergenze sorgentizie sono assenti o presenti in numero molto limitato. Lungo l'asse stradale i pozzi sono presenti quasi esclusivamente nella Piana di Sibari dove attingono ad una falda in pressione a profondità di circa 60-70 m dal piano campagna. Nella zona di catena, data la prevalenza di terreni flyschoidi tendenzialmente poco permeabili, i pozzi sono rari e perforati a bassa profondità nei depositi detritici di copertura o negli strati più superficiali, fratturati ed alterati del substrato. Sempre in questa zona, alcuni pozzi sono anche presenti nei letti alluvionali delle fiumare, localizzati soprattutto nelle fasce golenali, che emungono dalla falda di subalveo.

2.2. Criticità geochimiche emerse durante la fase di progettazione dell'opera

Durante la campagna geognostica (descritta in dettaglio negli elaborati specifici LO716CD1301 T00 GE00 GEO PU01 A – PU12 A sono state messe in evidenza due criticità importanti (<https://va.mite.gov.it/it-IT/Oggetti/Documentazione/64/1910?RaggruppamentoID=2%2C2&pagina=201>):

- ✓ presenza di gas nel sottosuolo;
- ✓ presenza di acque e terreni aggressivi per i calcestruzzi.

Nella precedente fase progettuale, la presenza di gas nel sottosuolo era stata indicata come possibile nella tratta della pianura di Sibari; tale condizione era stata verificata anche durante la realizzazione di pozzi per uso irriguo in località adiacenti al tracciato che avevano evidenziato la presenza di acqua in pressione e gas. La presenza del gas era sempre stata messa in relazione ai depositi di torba individuati nel sottosuolo. Durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici per la progettazione definitiva, in fase di perforazione, si sono avute evidenze di presenza di gas nel sottosuolo anche nella tratta collinare interessata dallo scavo delle gallerie. In particolare, durante l'esecuzione di diversi sondaggi è stato incontrato gas (idrogeno solforato H₂S e metano CH₄), in concentrazioni elevate oltre le soglie di allarme.

Inoltre, al fine di valutare le classi di esposizione e di durabilità per il calcestruzzo, secondo quanto previsto dalle norme UNI 11104:2004 e UNI EN 206-1:2006, sono state effettuate una serie di analisi chimiche per valutare l'aggressività dell'ambiente inteso come complesso acqua-terreno. Complessivamente i valori soglia sono stati superati in molti siti (105 campioni: 24 ricadono in XA1, 80 in XA2 ed 1 in XA3); tali superamenti interessano diverse opere e sono distribuiti lungo tutto il tracciato, sia nel settore di pianura che nel tratto collinare.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 12

3. Classificazione geochimica delle acque analizzate

Al fine di avere un quadro chiaro delle varie tipologie di acqua (facies geochimiche) presenti nell'area oggetto di studio, sono stati elaborati i dati di concentrazione relativi alle analisi condotte nella fase ante-operam. Sono stati utilizzati tali dati di concentrazione dei vari analiti non potendo essi essere eventualmente condizionati dai lavori di realizzazione dell'opera. Il primo passo è stato quello di plottare i dati sui diversi diagrammi di classificazione delle acque.

Il Diagramma di Piper permette di identificare la categoria geochimica (facies) dell'acqua, ricavata dalla posizione del punto rappresentativo all'interno della losanga, mentre i triangoli forniscono le dominanze relative cationiche e anioniche. I diagrammi in Figura 3.1 sono relativi alle acque di sorgenti e pozzi. I risultati mostrano come le sorgenti SO-SO-TR-002, SO-SO-TR-003 e SO-SO-AM-005 sono classificabili nella facies idrogeochimica solfato calcica, con una spiccata dominanza dello ione Ca^{2+} in SO-SO-TR-002 e dello ione Cl^- in SO-SO-AM-005 mentre le sorgenti SO-SO-TR-003, SO-SO-TR-011, SO-SO-TR-001 e SO-SO-AM-007 si discostano rientrando nella facies bicarbonato-calcica e/o magnesiacca con una spiccata dominanza degli ioni $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$. Relativamente alle acque dei pozzi, si assiste ad una distribuzione dei campioni più o meno simile, con una parte di essi nella facies idrogeochimica solfato clorurato terrosa (SO-PO-CI-001, SO-PO-AL-008, SO-PO-AM-009, SO-PO-RC-010), una parte verso facies più neutre (SO-PO-AM-013, SO-PO-VI-003) e la restante parte nella facies bicarbonato-terrosa. In tutti, la concentrazione di Cl^- è abbastanza contenuta.

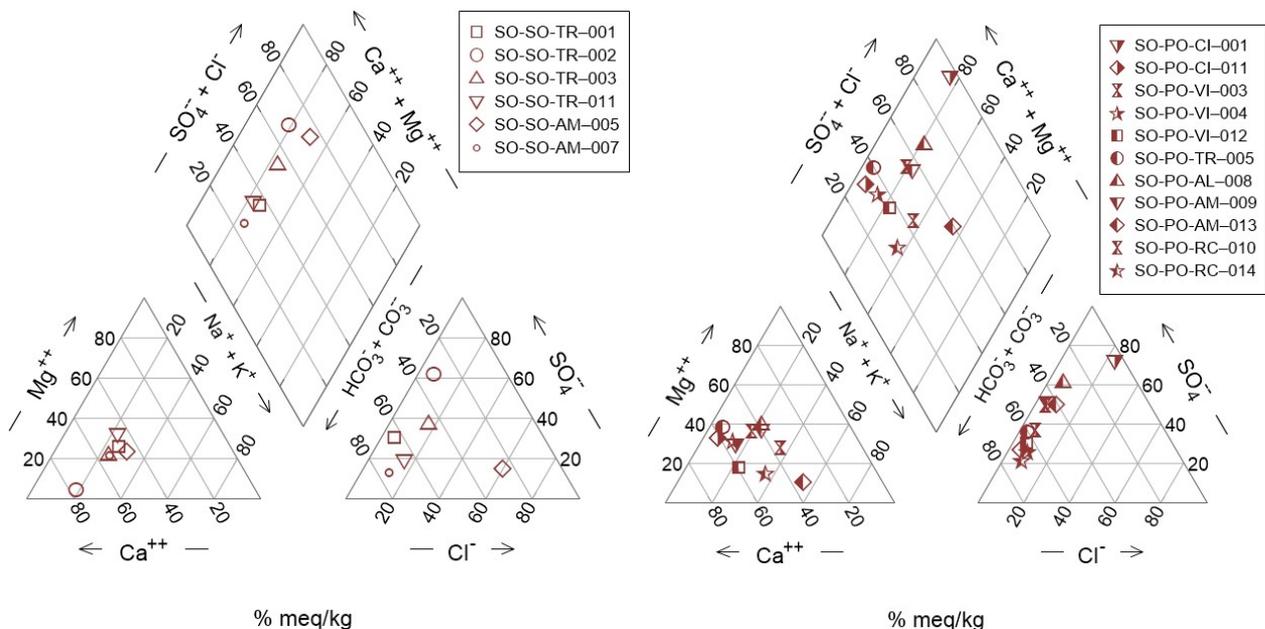


Figura 3.1. Risultati degli ioni maggiori plottati sul diagramma di Piper per sorgenti (a destra) e pozzi (a sinistra).

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 13

Il diagramma di Piper in figura 3.2 è relativo alle acque campionate nei piezometri. Su 29 campioni, 6 mostrano una composizione prevalentemente solfato clorurato alcalina. In particolare, da notare la forte componente alcalina nei campioni SO-VA-TR-110, SO-VA-TR-115, SO-VA-TR-116 e SO-VA-AM-119 e la forte presenza di cloruri nei campioni SO-VA-AM-119, SO-VA-CI-101, SO-VA-TR-115 e SO-VA-TR-116 come meglio messo in evidenza nel diagramma triangolare sulla destra. Una buona parte dei campioni mostra una composizione di tipo bicarbonato-terrosa e altri hanno una composizione mista.

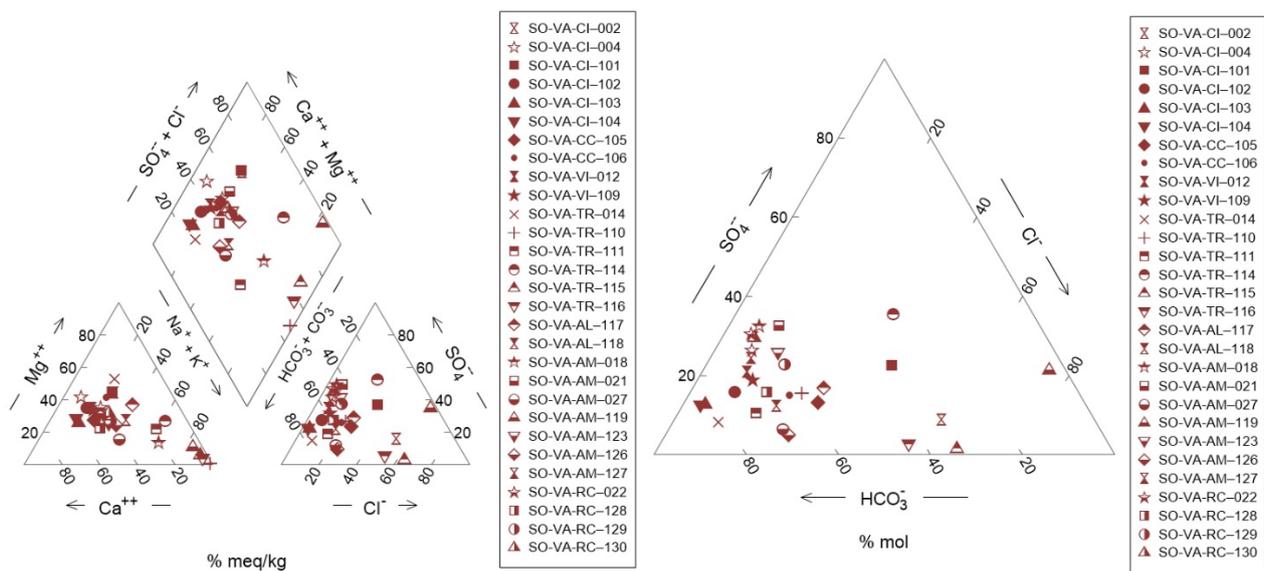
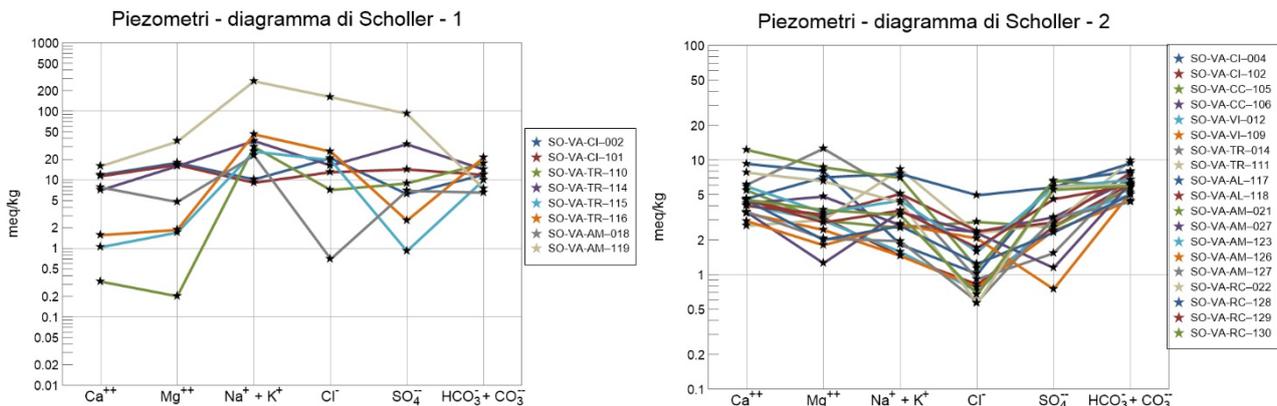


Figura 3.2. Risultati degli ioni maggiori plottati sul diagramma di Piper per i piezometri (a sinistra). Diagramma triangolare SO_4^{2-} - Cl^- - HCO_3^- (a destra)



					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 14

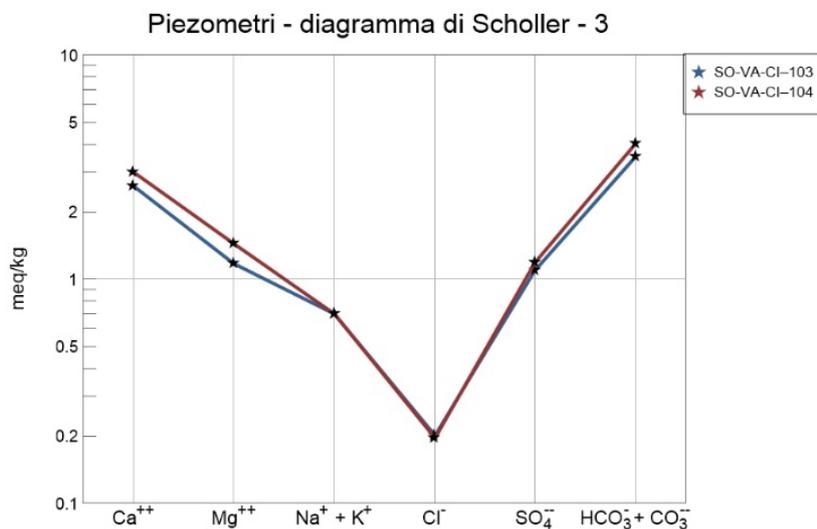


Figura 3.3. Risultati degli ioni maggiori plottati sul diagramma di Scholler per i piezometri.

Il diagramma di Schoeller (Fig. 3.3) permette invece di caratterizzare dal punto di vista idrochimico le acque attraverso una correlazione tra le concentrazioni dei costituenti fondamentali (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, e HCO₃) consentendo anche di distinguere (grazie alla scala logaritmica) tra acque a debole o intensa mineralizzazione. L'elemento saliente che permette di correlare acque della stessa famiglia con tenori salini diversi è la pendenza della spezzata che unisce le concentrazioni degli ioni adiacenti evidenziandone il rapporto caratteristico. Mediante il diagramma di Schoeller è dunque possibile evidenziare sia anomalie del singolo punto di campionamento nei confronti dell'andamento tipico dell'area che la congruenza tra campioni dello stesso tipo chimico più o meno diluiti. In questo diagramma le concentrazioni degli elementi considerati sono espresse in meq/L. I risultati delle concentrazioni degli ioni maggiori nei piezometri, plottati su diagramma di Schoeller (Fig. 3.3), sono stati raggruppati in 3 famiglie differenti. Alla prima famiglia, rappresentata nel diagramma di Scholler 1, appartengono i siti con concentrazioni sensibilmente elevate di ioni sodio e cloro; il campione prelevato nel piezometro SO-VA-AM-119 ha addirittura una composizione molto simile all'acqua di mare. Come già evidenziato dal diagramma di Piper, la maggior parte dei siti, rappresentati nel diagramma di Scholler 2, presentano concentrazioni più moderate di Na⁺+K⁺ e possono essere considerati rappresentativi di una composizione bicarbonato-calcica-magnesiaca. I due siti (SO-VA-CI-103 e SO-VA-CI-104), rappresentati nel diagramma di Scholler 3, hanno una composizione chiaramente bicarbonato-calcica.

Il diagramma di Langelier-Ludwig in figura 3.4 suggerisce l'influenza in alcuni siti (in particolare quelli che si allineano lungo la retta di mixing) da parte delle acque marine. La composizione chimica della maggior parte dei campioni è di tipo misto con una netta prevalenza di acque alcaline a cloruri e solfati e alcaline a bicarbonati.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 15

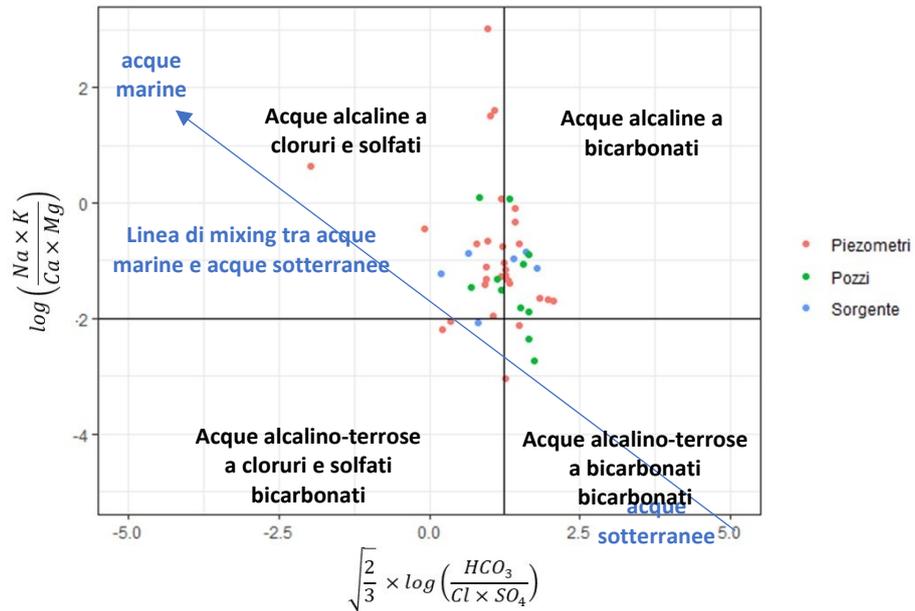


Figura 3.4 Versione in chiave composizionale del diagramma di Langelier-Ludwig di classificazione delle acque sotterranee dell'area d'indagine.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 16

4. Classificazione dello stato di qualità chimica delle acque sotterranee e confronto tra fase ante operam e in corso d'opera

Lo SCAS (Stato Chimico delle Acque Sotterranee) è un indice che riassume in modo sintetico lo stato qualitativo delle acque sotterranee (di un corpo idrico sotterraneo o di un singolo punto d'acqua) basandosi sul confronto delle concentrazioni medie annue dei parametri chimici analizzati con i relativi standard di qualità e valori soglia definiti a livello nazionale dal **DM 6/7/2016**, tenendo conto anche dei valori di fondo naturale. Lo stato chimico viene descritto in 2 classi di qualità, **Buono** e **Scarso**, secondo il giudizio di qualità definito dall'Allegato 1 Parte terza del D.lgs. 152/06. Il superamento dei valori di riferimento (standard e soglia), può determinare la classificazione del corpo idrico in stato chimico "scarso". Qualora ciò interessi solo una parte del volume del corpo idrico sotterraneo, inferiore o uguale al 20%, il corpo idrico può ancora essere classificato come in stato chimico "buono". I valori soglia, fissati a livello nazionale su base eco tossicologica per i diversi parametri, possono essere rivisti a scala di corpo idrico quando il fondo naturale delle acque sotterranee ha concentrazioni superiori ai valori soglia, tali per cui questi ultimi vengono innalzati pari ai valori di fondo naturale. La determinazione dei valori di fondo naturale per diverse sostanze assume pertanto grande importanza al fine di non classificare le acque di qualità scadente per cause naturali in stato Scarso, oppure di identificare improbabili punti di inversione dei trend con conseguente attivazione di misure di ripristino impossibili da realizzarsi nella pratica.

Al fine di classificare le acque campionate e di confrontare la loro qualità in fase ante operam e in corso d'opera, sono stati calcolati i valori di concentrazione media dei singoli parametri nei diversi siti di campionamento nelle due fasi del monitoraggio. La **tabella 4.1** riporta i risultati della classificazione. In **verde** sono evidenziati i siti la cui qualità delle acque è **buona**. Nello specifico, in tali siti, la composizione chimica del corpo idrico sotterraneo è tale che le concentrazioni di inquinanti non presentano effetti di intrusione salina, non superano gli standard di qualità ambientale e i valori soglia stabiliti e, infine, non sono tali da impedire il conseguimento degli obiettivi ambientali stabiliti per le acque superficiali connesse. Inoltre, lo stato chimico non è tale da comportare un deterioramento significativo della qualità ecologica o chimica di tali corpi, né da recare danni significativi agli ecosistemi terrestri direttamente dipendenti dal corpo idrico sotterraneo. In **rosso** sono evidenziati i siti la cui qualità delle acque è **scarsa** cioè laddove non sono verificate le condizioni di buono stato chimico del corpo idrico sotterraneo. La tabella riporta, nell'ultima colonna, l'ubicazione del punto di campionamento rispetto all'asse viario, cioè se esso si trova a monte o a valle, anche dal punto di vista idrogeologico. Questo al fine di valutare l'eventuale peggioramento dello stato chimico e le relative misure che si rendessero necessarie. Sebbene nel **DM 6/7/2016** non siano previsti valori di concentrazione soglia per ferro, manganese e alluminio; nel classificare le acque si è tenuto conto anche di questi parametri come previsto dal D.lgs. 152/06.

Dall'analisi della tabella 4.1 si evince, relativamente alla qualità delle acque delle sorgenti, che quelle dei siti SO-SO-TR-001, SO-SO-TR-002, SO-SO-TR-011 e SO-SO-AM-007 presentano buone caratteristiche idrochimiche sia in fase ante operam che in corso d'opera. Lo stato chimico dell'acqua che scaturisce dalla sorgente SO-SO-TR-003 è scarso sia in fase ante operam che in corso d'opera, i valori fuori norma riguardano essenzialmente solfati e alluminio in fase ante operam e solfati, cloruri e ione ammonio in corso d'opera. Va sottolineato che in entrambi i casi tali valori di concentrazione sono leggermente superiori ai valori soglia e non sono tali da destare preoccupazione. Da mettere in evidenza la presenza di antimonio (Sb) (9,5 µg/L) riscontrata nella sorgente SO-SO-TR-003 il 28/05/2019 in fase di monitoraggio ante operam e poi mai più

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 17

riscontrata nelle successive analisi. Altri valori fuori norma si presentano nelle acque della sorgente SO-SO-AM-005 relativamente ai parametri Eh, Cl⁻, NH₄⁺ a cui si aggiunge F⁻ in corso d'opera. Anche in questo caso, tali valori di concentrazione sono solo leggermente superiori ai valori soglia e non sono tali da destare preoccupazione. In conclusione, dal confronto delle analisi dei dati, appare evidente che le attività di realizzazione dell'opera non hanno influenzato in alcun modo la qualità delle acque delle sorgenti. I due punti di campionamento dove si manifestano deboli criticità presentano le stesse caratteristiche idrochimiche sia prima che durante i lavori dell'opera.

Tabella 4.1 Stato Chimico delle Acque Sotterranee DM 6/7/2016

SORGENTI				
Fase Ante operam	Parametri fuori norma	Fase in corso d'opera	Parametri fuori norma	Pos.
SO-SO-TR-001		SO-SO-TR-001		valle
SO-SO-TR-002		SO-SO-TR-002		valle
SO-SO-TR-003	solforati, Al, Sb	SO-SO-TR-003	cloruri, solforati, ione ammonio	valle
SO-SO-TR-011		SO-SO-TR-011		valle
SO-SO-AM-005	conducibilità, cloruri, ione ammonio	SO-SO-AM-005	conducibilità, cloruri, fluoruri, ione ammonio	valle
SO-SO-AM-007		SO-SO-AM-007		valle
POZZI				
Fase Ante operam	Parametri fuori norma	Fase in corso d'opera	Parametri fuori norma	Pos.
SO-PO-CI-001	Mn	SO-PO-CI-001	Fe, Mn	valle
SO-PO-CI-011	-	SO-PO-CI-011		valle
SO-PO-VI-003		SO-PO-VI-003		valle
SO-PO-VI-004		SO-PO-VI-004		valle
SO-PO-VI-012		SO-PO-VI-012		valle
SO-PO-TR-005		SO-PO-TR-005		valle
SO-PO-AL-008	solforati, ione ammonio	SO-PO-AL-008	solforati, ione ammonio	valle
SO-PO-AM-009		SO-PO-AM-009	solforati, ione ammonio	valle
SO-PO-AM-013	solforati	SO-PO-AM-013	solforati	valle
SO-PO-RC-010	solforati	SO-PO-RC-010	trialometani	valle
SO-PO-RC-014		SO-PO-RC-014		valle
PIEZOMETRI				
Fase Ante operam	Parametri fuori norma	Fase in corso d'opera	Parametri fuori norma	Pos.
SO-VA-CI-002	conducibilità, solforati, ione ammonio, Mn	SO-VA-CI-002	conduc., fluor., clor., solforati, ammonio, Fe, Mn	monte
SO-VA-CI-101	Conduc., cloruri, solforati, ammonio, Mn	SO-VA-CI-101	conduc., cloruri, solforati, ione ammonio, Mn	valle
SO-VA-CI-004	solforati, Mn	SO-VA-CI-004	solforati, ione ammonio, Mn	monte
SO-VA-CI-102	ione ammonio, Mn	SO-VA-CI-102		valle
SO-VA-CI-103		SO-VA-CI-103	ione ammonio, Al	monte
SO-VA-CI-104		SO-VA-CI-104		valle
SO-VA-CC-105		SO-VA-CC-105		monte
SO-VA-CC-106		SO-VA-CC-106		valle
SO-VA-VI-012		SO-VA-VI-012		monte
SO-VA-VI-109		SO-VA-VI-109		valle
SO-VA-TR-110	fluor., nitriti, solforati, ammon., boro, Al, Fe	SO-VA-TR-110	conduc., cloruri, solforati, boro, Al, Fe	monte
SO-VA-TR-111		SO-VA-TR-111		valle
SO-VA-TR-114	conduc., clor., solforati, ammonio, boro, Mn	SO-VA-TR-114	conduc., cloruri, solforati, ione ammonio, Mn	monte
SO-VA-TR-014	solforati	SO-VA-TR-014	solforati	valle
SO-VA-TR-115	conducibilità, cloruri, ione ammonio, boro	SO-VA-TR-115	conduc., cloruri, fluor., ammonio, boro, Al, Fe	monte
SO-VA-TR-116	conducibilità, cloruri, boro, Al	SO-VA-TR-116	conduc., fluor., clor., ammon., boro, Al, Fe, Mn	valle
SO-VA-AL-117	solforati	SO-VA-AL-117	solforati, ione ammonio,	monte
SO-VA-AL-118		SO-VA-AL-118		valle
SO-VA-AM-119	conduc, fluor, clor, solf, ammon, boro, Mn	SO-VA-AM-119	conduc, fluor, clor, nitriti, solf, boro, Mn	monte
SO-VA-AM-126	cloruri, ione ammonio, Mn	SO-VA-AM-126	cloruri, ione ammonio, Al, Fe, Mn	valle
SO-VA-AM-018	solforati	SO-VA-AM-018	solforati, ione ammonio,	monte

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 18

SO-VA-AM-127		SO-VA-AM-127	ione ammonio, boro, Mn	valle
SO-VA-AM-027		SO-VA-AM-027		valle
SO-VA-AM-021	solfiti	SO-VA-AM-021	solfiti	monte
SO-VA-AM-123	solfiti, ione ammonio	SO-VA-AM-123	solfiti	valle
SO-VA-RC-022	solfiti	SO-VA-RC-022		monte
SO-VA-RC-129		SO-VA-RC-129		valle
SO-VA-RC-128		SO-VA-RC-128	nitriti	monte
SO-VA-RC-130	solfiti	SO-VA-RC-130	solfiti, Al	valle

Per le acque campionate dai pozzi, l'analisi dei dati mette in evidenza diverse criticità in alcuni di essi. I siti SO-PO-AL-008, SO-PO-AM-009, SO-PO-AM-013 e SO-PO-RC-010 non presentano una buona qualità delle acque perlopiù a causa delle alte concentrazioni di solfiti presenti sia ante operam che in corso d'opera (fino a una concentrazione media massima di 528 mg/L misurati in SO-PO-AL-008 in fase ante operam).

Il pozzo SO-PO-CI-001 presenta i valori mediamente fuori norma di Mn in fase ante operam e di Fe e Mn in corso d'opera. Relativamente al ferro sono concentrazioni (219 µg/L) appena superiori alla soglia di 200 µg/L, mentre relativamente al manganese la concentrazione media massima (303 µg/L) si osserva in fase ante operam. Tale concentrazione è comunque da ritenersi per nulla preoccupante se si considera che in Italia il **DM 29/12/03** che norma la qualità delle Acque minerali pone una soglia per il manganese pari a 500 µg/L.

La maggiore criticità riscontrata è nella qualità delle acque del pozzo SO-PO-RC-010 ubicato nel comune di Roseto Capo Spulico (Fig. 1.1) che in fase ante operam come unica anomalia presentava un alto, seppur contenuto, valore di solfiti (253 mg/L) mentre in corso d'opera a partire dal campionamento dell'8/06/2021 e fino al 27/11/2023 ha fatto rilevare la presenza di trialometani (Fig. 4.1). Mentre triclorometano e bromodichlorometano nell'ultimo campionamento non sono stati rinvenuti, continuano ad essere rilevate concentrazioni significative di tribromometano e dibromoclorometano le cui concentrazioni più elevate sono state misurate nei campioni prelevati a settembre 2021 e a giugno del 2022. Da allora le concentrazioni sembrano essersi notevolmente ridotte pur restando, relativamente a queste due sostanze, ancora al di sopra delle soglie imposte dal D.Lgs. 152/2006 (Fig. 4.1).

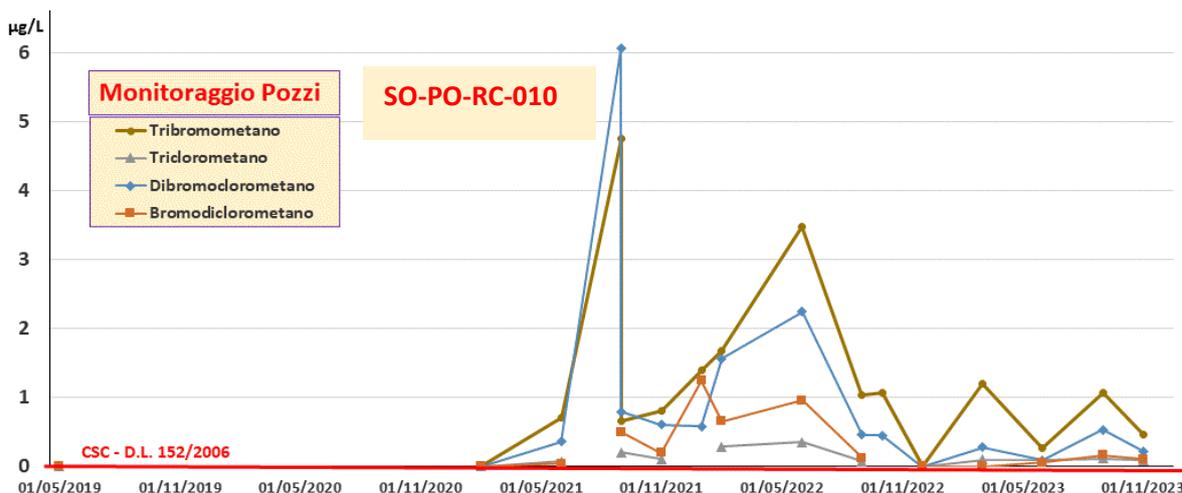


Figura 4.1 Andamento delle concentrazioni di tribromometano, dibromoclorometano, triclorometano e bromodichlorometano nelle acque del pozzo SO-PO-RC-010 ubicato nel comune di Roseto Capo Spulico.

Vogliamo brevemente ricordare che questi composti fanno parte della famiglia dei trialometani (THMs) che sono composti nei quali tre dei quattro atomi di idrogeno della molecola di metano (CH₄) sono

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 19

sostituiti con atomi di uno o più alogeni. A seguito del D.Lgs. 31/2001, le acque destinate al consumo umano vengono monitorate anche per rilevare la presenza dei trihalometani: in esse, il limite imposto per la sommatoria di tali composti è fissato a 30 µg/l. Se sommiamo tra di loro i valori di concentrazione più elevati riscontrati nel pozzo SO-PO-RC-010 nel settembre 2021, siamo ben al di sotto dei 30 µg/l quindi della soglia di potabilità dell'acqua. È comunque da escludere assolutamente l'ipotesi che i lavori dell'opera abbiano potuto generare tali anomalie. Nelle acque potabili destinate al consumo umano, i trihalometani si formano in particolar modo quando si utilizza il metodo di disinfezione della clorazione, con quantità che variano a seconda della concentrazione di cloro, ioni di bromuro e acidi umidi organici, oltre che al pH e alla temperatura dell'acqua. Il cloro, infatti, è ancora oggi la soluzione più diffusa per trattare l'acqua, e tale reazione avviene quando entra a contatto con la materia organica naturalmente presente nelle acque; e il maggior sottoprodotto di questo processo è il cloroformio (triclorometano), mentre con presenza di bromuri si avrà una minore concentrazione di CHCl₃ e una maggiore quantità di bromo-trihalometani. Nel caso specifico, il punto di campionamento SO-PO-RC-010 altro non è che un rubinetto di acqua potabile erogata dalla società SORICAL che, con nota del 17/02/2022 inviata allo scrivente e per conoscenza ad altri enti e istituzioni locali, ha dichiarato di essere ben a conoscenza di tale problematica e che essa è legata "al dosaggio dell'agente disinfettante che giocolforza, oltre alla richiesta azione microbica, dà luogo alla formazione di tali composti".

Relativamente all'analisi dei campioni di acque dei piezometri, possiamo affermare che nel tratto da Francavilla a Villapiana, i risultati restituiscono un quadro accettabile caratterizzato da acque con buone caratteristiche idrochimiche. I piezometri, ubicati nel comune di Cassano allo Jonio e da Trebisacce a Roseto Capo Spulico, con qualche eccezione, presentano in genere acque con caratteristiche idrochimiche scadenti. La scarsa qualità è generalmente causata dalla presenza in concentrazione anomala di analiti quali Cloruri, Fluoruri, Nitriti, Solfati, Alluminio, Boro, Ferro e Manganese. Nei piezometri SO-VA-AM-123 e SO-VA-RC-129 sono state rilevate anche tracce di triclorometano anche se in basse concentrazioni (< 1.6 µg/L) tali da non destare preoccupazione per la salute dell'ambiente circostante. Va detto che non si osserva un sostanziale peggioramento dello stato chimico delle acque sotterranee tra la fase ante operam e l'attuale. Laddove si osserva una qualche differenza, essa si manifesta in genere nei piezometri a monte difficilmente influenzabili dai lavori di costruzione dell'opera.

Come descritto finora, la qualità delle acque sotterranee nell'area oggetto di studio (tranne gli sporadici e comunque contenuti superamenti dei trihalometani) è strettamente legata alle variazioni di concentrazione di elementi e ioni naturalmente presenti nelle falde acquifere. Il grande interrogativo a cui cercheremo di dare risposta è se tali variazioni siano legate a fenomeni naturali o all'impatto antropico. Rispondere a tale domanda non è semplice per diversi motivi. Come già detto, l'area presenta una geologia molto complessa con la presenza di terreni di diversa natura e composizione chimica per cui le acque sotterranee attraversano diversi litotipi e possono arricchirsi o meno in queste sostanze. Le continue oscillazioni dei livelli di falda, legate sia alle precipitazioni che all'emungimento d'acqua da parte delle diverse attività antropiche insistenti sul territorio, causano continue variazioni delle condizioni chimico-fisiche degli acquiferi generando dissoluzione o precipitazione di composti contenenti tali elementi e ioni. Infine, come sottolineato in precedenza, tali analiti sono presenti nelle acque in maniera del tutto naturale e lo possono essere anche in elevate concentrazioni superiori ai limiti di legge.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 20

Nelle pagine che seguono passiamo ad analizzare in dettaglio le concentrazioni nelle acque sotterranee soffermandoci nello specifico su quei parametri che hanno fatto rilevare le maggiori criticità. I dati relativi ad ognuno di essi vengono illustrati attraverso grafici e attraverso mappe che riportano la distribuzione delle concentrazioni medie sia in fase ante operam che in corso d'opera.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 21

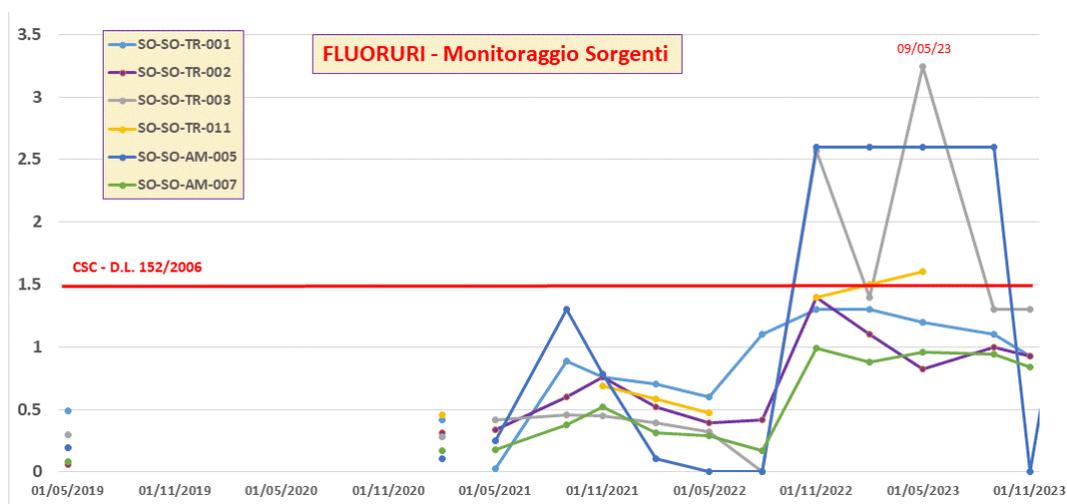
5. Distribuzione degli analiti potenzialmente tossici nelle acque

5.1 Fluoruri

I fluoruri sono naturalmente presenti nelle acque sotterranee in concentrazioni che variano da meno di 0,1 mg/L a valori fino a 10–20 mg/L. I limiti massimi consentiti specificati per l'acqua potabile vanno da 1,5 a 5 mg/L. Le concentrazioni naturali di F^- nelle acque sotterranee dipendono dalla disponibilità di F^- nelle rocce o nei minerali che l'acqua incontra durante il suo movimento lungo le linee di flusso e dai limiti di solubilità imposti dalla fluorite CaF_2 o dalla fluorapatite $Ca_5(PO_4)_3F$.

A causa della mancanza di PO_4^{3-} nella maggior parte degli ambienti idrici sotterranei, CaF_2 è probabilmente la fase minerale che esercita il vincolo di solubilità in situazioni in cui F^- è disponibile dalla roccia ospite. Tuttavia, per questo limite di solubilità sono necessarie concentrazioni di Ca^{2+} di molte centinaia di milligrammi litro per limitare le concentrazioni di F^- a livelli inferiori agli standard di potabilità. Il fatto che quasi tutte le acque sotterranee siano sottosature rispetto alla fluorite e alla fluorapatite suggerisce che il contenuto di F^- nelle acque sotterranee sia generalmente limitato dalla disponibilità di F^- nelle rocce e nei sedimenti attraverso le quali si muovono le acque sotterranee piuttosto che dalla solubilità di questi minerali. Le acque sotterranee con contenuti di F^- che superano gli standard di potabilità sono molto comuni in Italia e anche in Calabria.

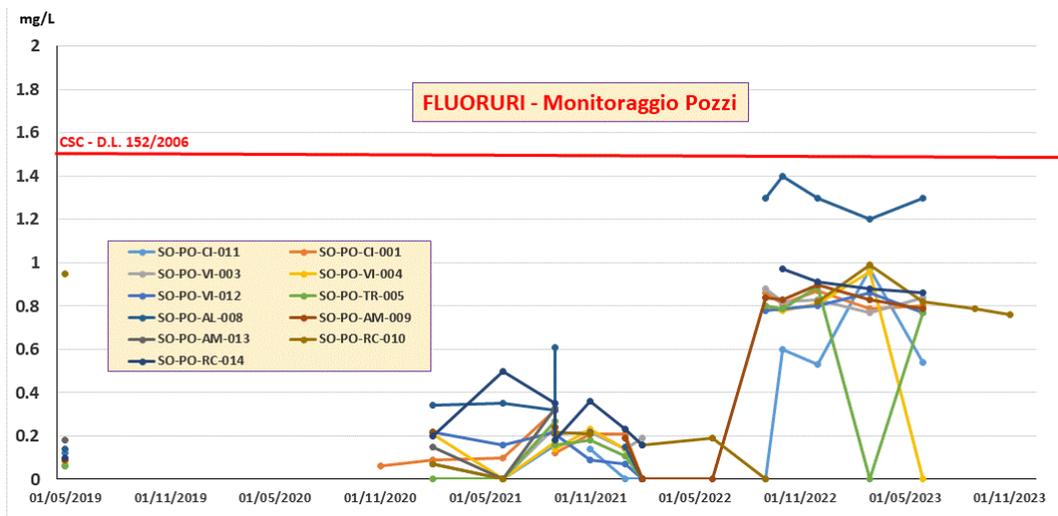
Il grafico sottostante riporta la distribuzione dei fluoruri nelle sorgenti dalla fase ante operam fino all'ultima campionatura. È possibile osservare che fino al febbraio 2021 le concentrazioni dei fluoruri sono sempre risultate < 0,5 mg/L. Valori superiori alla soglia di 1,5 mg/L sono stati misurati nelle sorgenti SO-SO-TR-011 (una sola volta), SO-SO-AM-005 e SO-SO-TR-003. Va detto che la concentrazione più elevata misurata è pari a 3,24 mg/L che, pur superando il limite di legge per le acque sotterranee, è ben inferiore al limite di 5 mg/L presente nella legge italiana per le acque minerali imbottigliate.



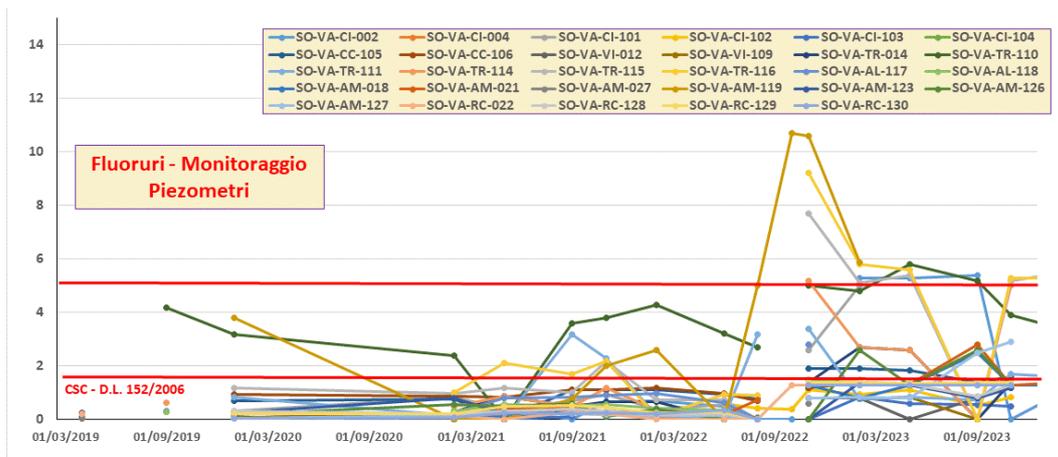
Il prossimo grafico riporta la distribuzione della concentrazione dei fluoruri nei pozzi. In questo caso i valori di concentrazione, seppure oscillanti, non hanno mai superato il valore soglia di 1,5 mg/L. Il pozzo SO-

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 22

PO-AL-008, ubicato nel Comune di Albidona è il sito in cui sono state misurate le concentrazioni di fluoruri più elevate (fino ad un massimo di 1,4 mg/L).



Il grafico che segue riporta la distribuzione della concentrazione dei fluoruri nei piezometri. Si nota subito una discreta variazione nel tempo dei valori di concentrazione che per la maggior parte sono tutte al disotto di 1,5 mg/L nella fase ante operam fino a raggiungere valori alquanto anomali a partire dal novembre 2022 quando nel pozzo SO-VA-AM-119 nel Comune di Amendolara viene misurata una concentrazione di 10,7 mg/L. A partire dal 16 febbraio 2023, i valori di concentrazione nelle acque sono risultati nella maggior parte dei siti inferiori al limite di legge e in altri pochi siti superiori al limite (1,5 mg/L), ma inferiori o di poco superiori ai 5 mg/L.



Nelle mappe di distribuzione dei dati puntuali e nel grafico 5.1 viene evidenziato che nella fase ante operam gli unici due valori > 1,5 mg/L sono stati rilevati in due piezometri a monte dell'asse viario: SO-VA-TR-110 ubicato nel Comune di Trebisacce e SO-VA-AM-119 ubicato nel Comune di Amendolara; i due valori

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 23

di concentrazione misurano rispettivamente 4,2 e 3,8 mg/L. Osservando la carta di distribuzione dei dati puntuali in corso d'opera relativa ai dati delle ultime campionature è possibile vedere che 7 siti presentano valori > 1,5 mg/L. Sei di essi sono concentrati nel tratto dell'opera che va da Trebisacce ad Amendolara e uno nel comune di Cassano allo Jonio. Si nota inoltre che sempre nella fase ante operam la maggior parte dei campioni presentava una concentrazione di fluoruri < 0,5 mg/L. Va comunque fatto notare (grafico 5.1) che **la maggior parte dei piezometri che mostrano valori anomali (5 su 7) sono ubicati nel tratto a monte dell'asse viario e rispetto alla direzione di flusso della falda così come accadeva nella fase ante operam. Ciò induce ad escludere un impatto dell'opera sulla concentrazione di fluoruri nelle acque sotterranee.**

Nelle mappe di distribuzione dei dati interpolati, viene data una distribuzione probabilistica della concentrazione dei fluoruri in falda che mette in evidenza come l'estensione dell'area di superamento della soglia di legge sia aumentata nel tempo.

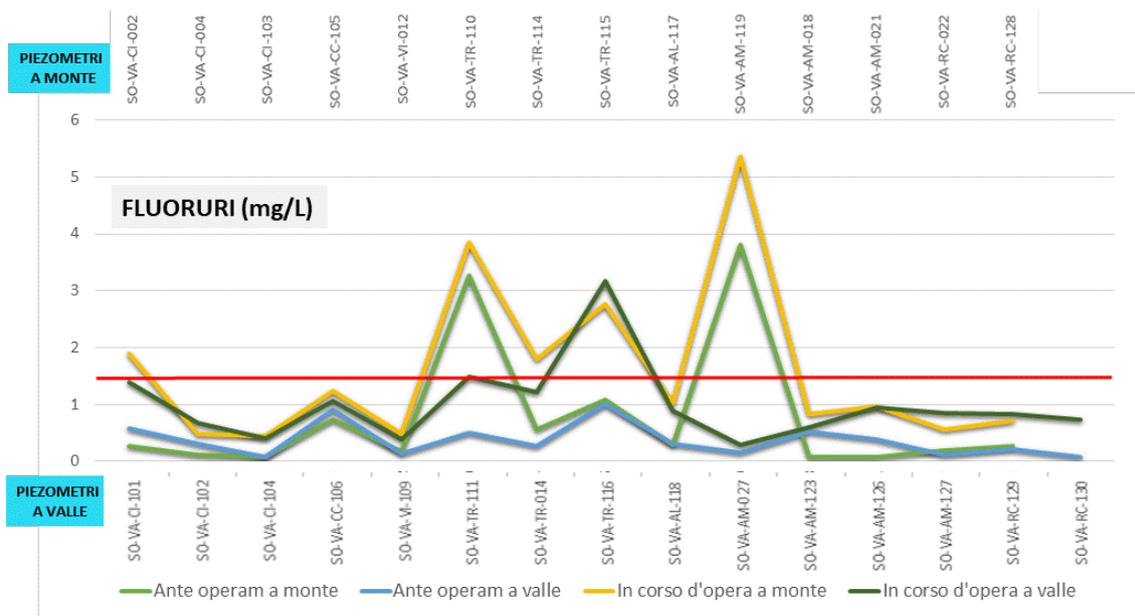
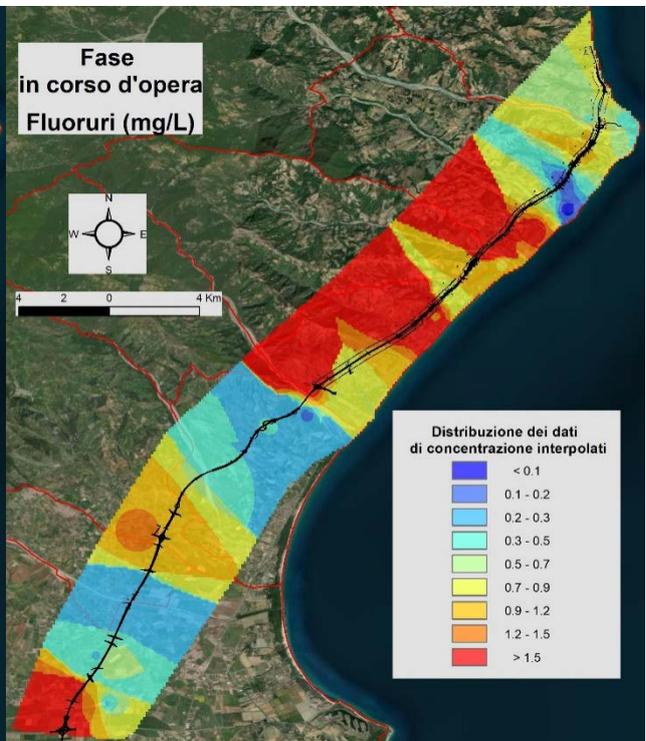
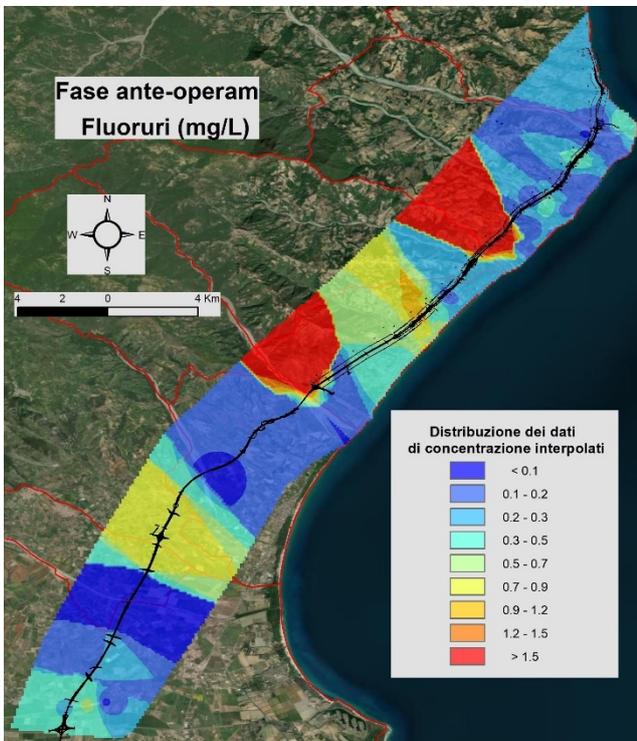
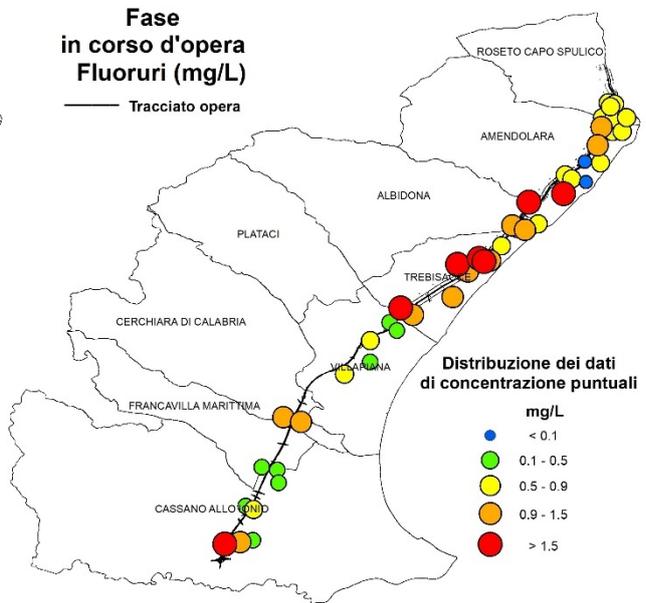
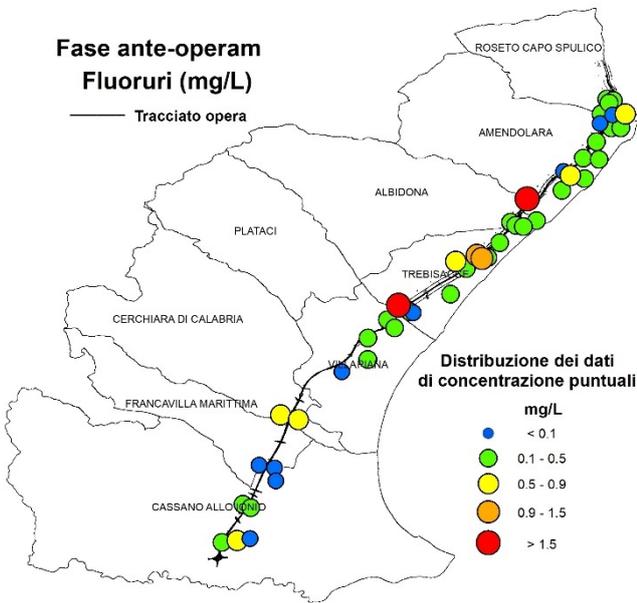


Grafico 5.1. Confronto della distribuzione delle concentrazioni medie tra monte e valle dell'asse viario e tra fase ante operam e in corso d'opera.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 24

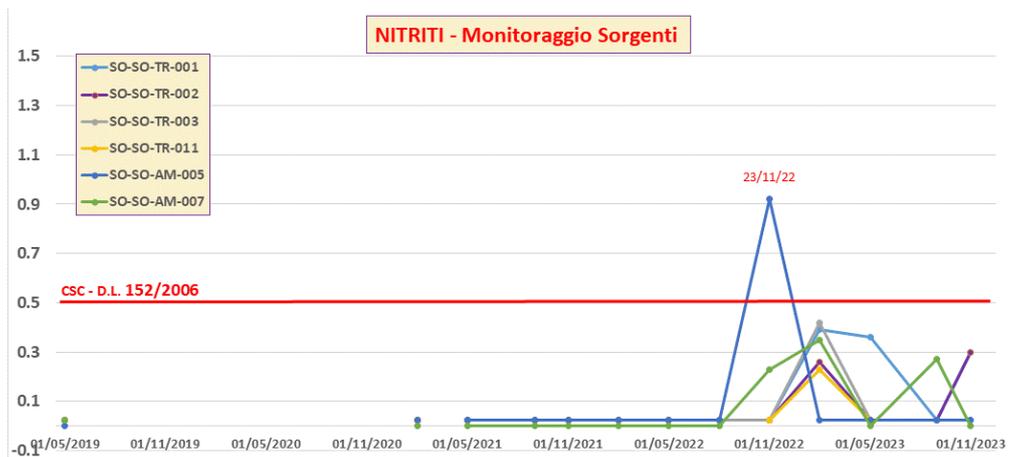


5.2 Nitriti

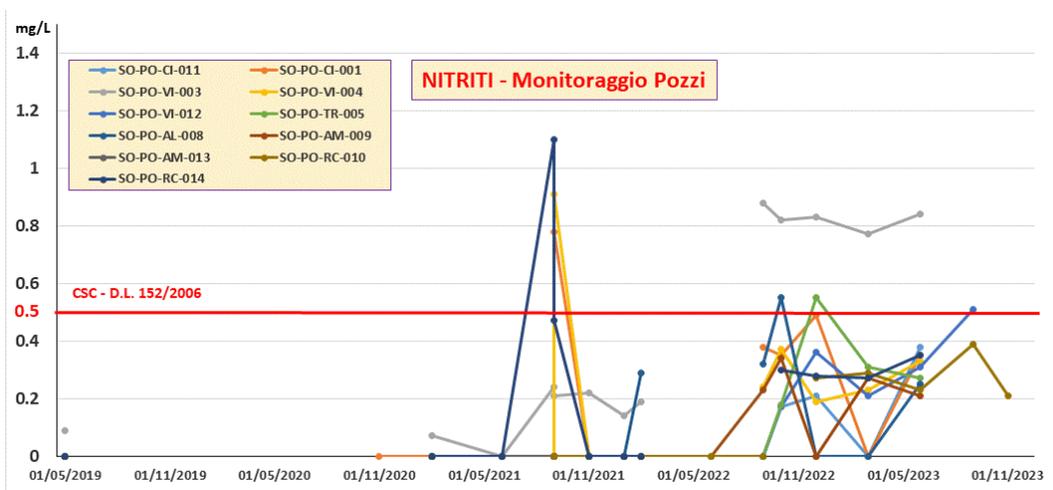
Nitriti e nitrati possono essere prodotti in natura da processi ossidativi dello ione ammonio oppure da fenomeni conseguenti all'impiego dei fertilizzanti azotati in agricoltura. Lo ione nitrato può essere presente

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 25

come componente di sali molto solubili impiegati come fertilizzanti, pertanto può passare velocemente nelle acque sotterranee per dilavamento del suolo agricolo. Nella normativa vigente (D.lgs. n. 152/2006) sono previsti valori massimi rispettivamente di 0,50 mg/l per i nitriti e di 50 mg/l per i nitrati. Ricordando che le concentrazioni di nitriti e nitrati nelle acque sono strettamente correlate, **non illustriamo, in questa sede, la distribuzione dei nitrati, in quanto essi non hanno mai superato i limiti di legge nelle acque sotterranee monitorate.** Nel grafico sottostante sono riportate le concentrazioni misurate dei nitriti nelle sorgenti dalla fase ante operam fino all'ultima campionatura. È possibile osservare che fino al 23/11/22 le concentrazioni dei nitriti sono sempre risultate < 0,5 mg/L. Un solo valore superiore alla soglia di 0,5 mg/L è stato misurato nel novembre del 2022 nella sorgente SO-SO-AM-005 (0,92 mg/L).

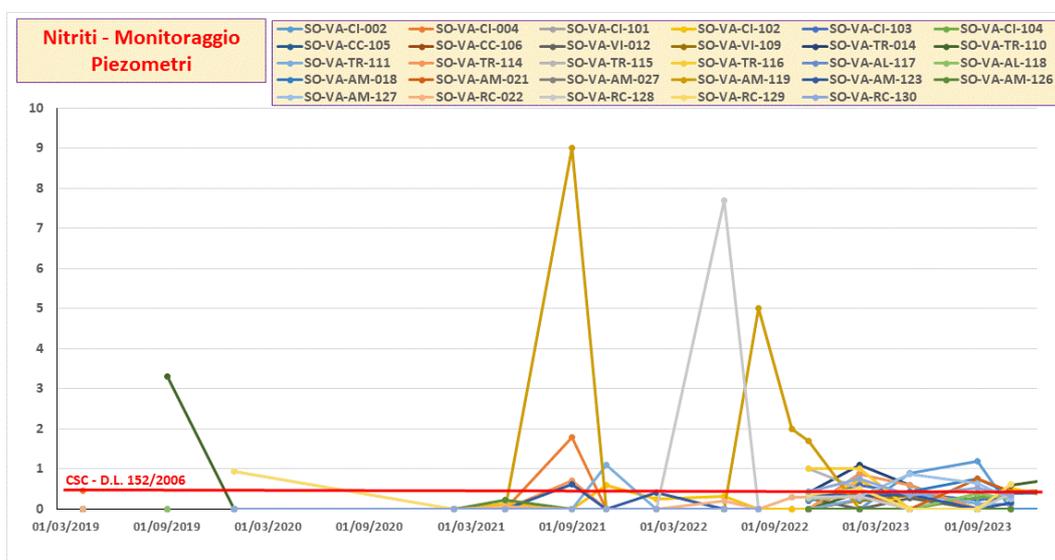


Il prossimo grafico riporta la distribuzione della concentrazione dei nitriti nei pozzi. In questo caso i valori di concentrazione, seppure molto oscillanti, superano il valore soglia (0,5 mg/L) diverse volte nel pozzo SO-PO-VI-003 a partire da settembre 2022 a giugno 2023 ed una sola volta nel mese di settembre 2021 nei pozzi SO-PO-RC-014 (1,1 mg/L), SO-PO-VI-004 e SO-PO-CI-001.



					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 26

Il prossimo grafico riporta la distribuzione della concentrazione dei nitriti nei piezometri. In questo caso, si nota subito, a parte alcune eccezioni, un andamento più o meno costante nel tempo con valori di concentrazione spesso superiori a 0,5 mg/L, ma quasi sempre <1 mg/L. Il valore di concentrazione maggiormente anomalo è stato misurato nel pozzo SO-VA-AM-119 (9 mg/L) nel settembre 2021, data questa che, come visto sopra, ha fatto registrare valori anomali di nitriti anche in alcuni pozzi. A partire da novembre 2022, seppur superando la soglia in diversi piezometri, i valori di concentrazione si sono quasi sempre attestati al di sotto della concentrazione di 1 mg/L.



La presenza di nitriti e non di nitrati in concentrazioni anomale fa pensare che la denitrificazione sia il processo più importante in atto in queste acque sotterranee. La denitrificazione è un processo a più fasi che comporta la riduzione di NO_3^- attraverso una catena di reazioni microbiche, incluso appunto il nitrito (NO_2^-), che conduce al formarsi infine di gas NO , N_2O e N_2 . Questa reazione può essere mediata biologicamente e abioticamente, ma nel sottosuolo la prima è più comune poiché gli organismi capaci di denitrificazione tendono ad essere ubiquitari nelle acque sotterranee. Questo processo è condotto principalmente da batteri eterotrofi che ottengono la loro energia dall'ossidazione dei composti organici (Fig. 5.2.1) (Jurado et al., 2017).

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 27

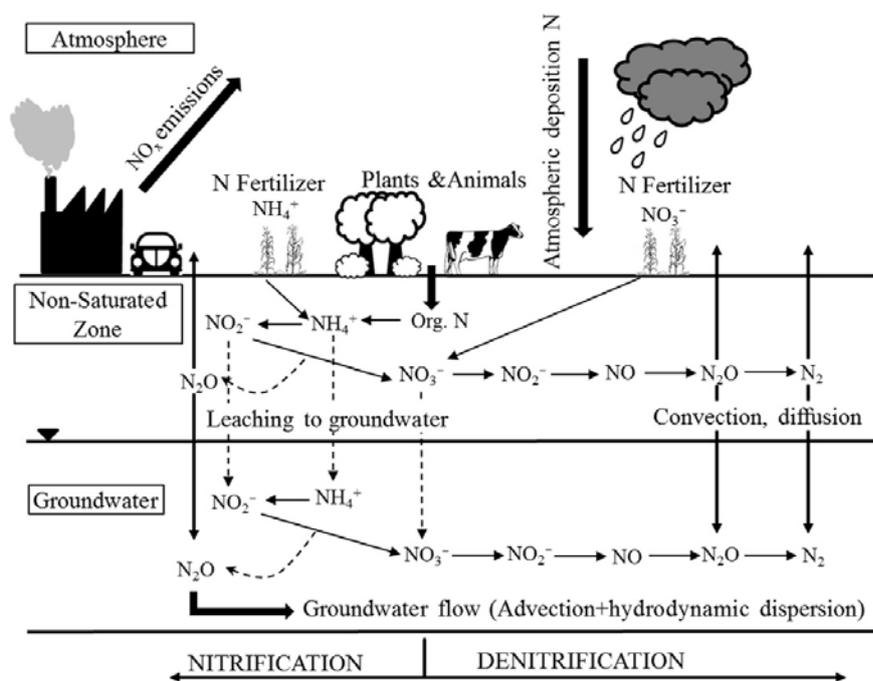


Figura 5.2.1 Le fonti antropiche includono l'uso di fertilizzanti, la combustione di combustibili fossili e le attività industriali. Da notare che sono rappresentati i principali processi (denitrificazione e nitrificazione) che contribuiscono alla produzione di N₂O (da Jurado et al., 2017).

Nelle mappe di distribuzione dei dati puntuali e nel grafico 5.2 viene evidenziato che nella fase ante operam l'unico valore > 0,5 mg/L è stato rilevato nel piezometro SO-VA-TR-110 ubicato a monte dell'asse viario nel Comune di Trebisacce. Osservando, invece, il grafico 5.2 e la carta di distribuzione dei dati puntuali, relativi ai dati di concentrazione media nella fase in corso d'opera, è possibile vedere che 2 dei siti indagati, ubicati nei comuni di Amendolara e Roseto Capo Spulico, presentano valori di concentrazione media > 0,5 mg/L. Entrambi i siti di campionamento, SO-VA-AM-119 e SO-VA-RC-128, sono ubicati a monte dell'opera.

Si nota inoltre che la concentrazione media di nitriti nelle acque è generalmente più bassa nella fase ante operam rispetto alla fase in corso d'opera anche laddove non supera le soglie di legge. Nelle mappe di distribuzione dei dati interpolati, viene data una distribuzione probabilistica della concentrazione dei nitriti in falda che mette in evidenza come l'estensione dell'area di superamento della soglia di legge sia probabilmente aumentata nel tempo soprattutto nei comuni di Amendolara e Roseto Capo Spulico.

In considerazione del fatto che la presenza anomala dei nitriti in falda è legata al processo di denitrificazione dei nitrati che avviene in condizione anossiche, che si verifica perlopiù a monte dell'asse viario e che la fonte principale è l'impiego dei fertilizzanti azotati in agricoltura, possiamo escludere qualsiasi interferenza dei lavori di costruzione dell'opera sulla concentrazione dei nitriti nelle falde acquifere dell'area oggetto di studio.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 28

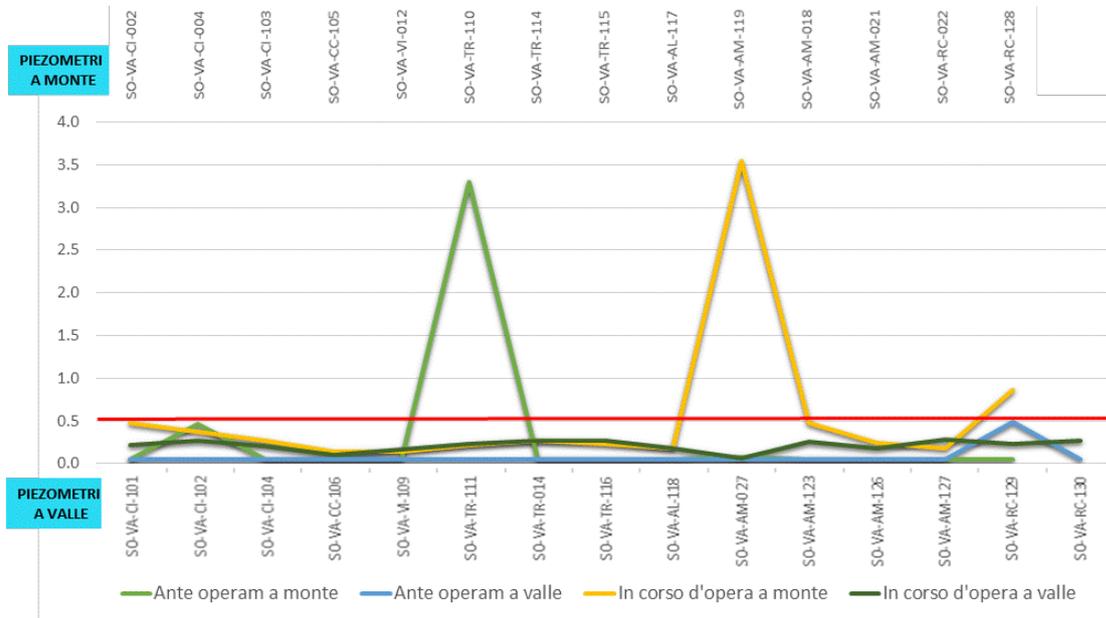
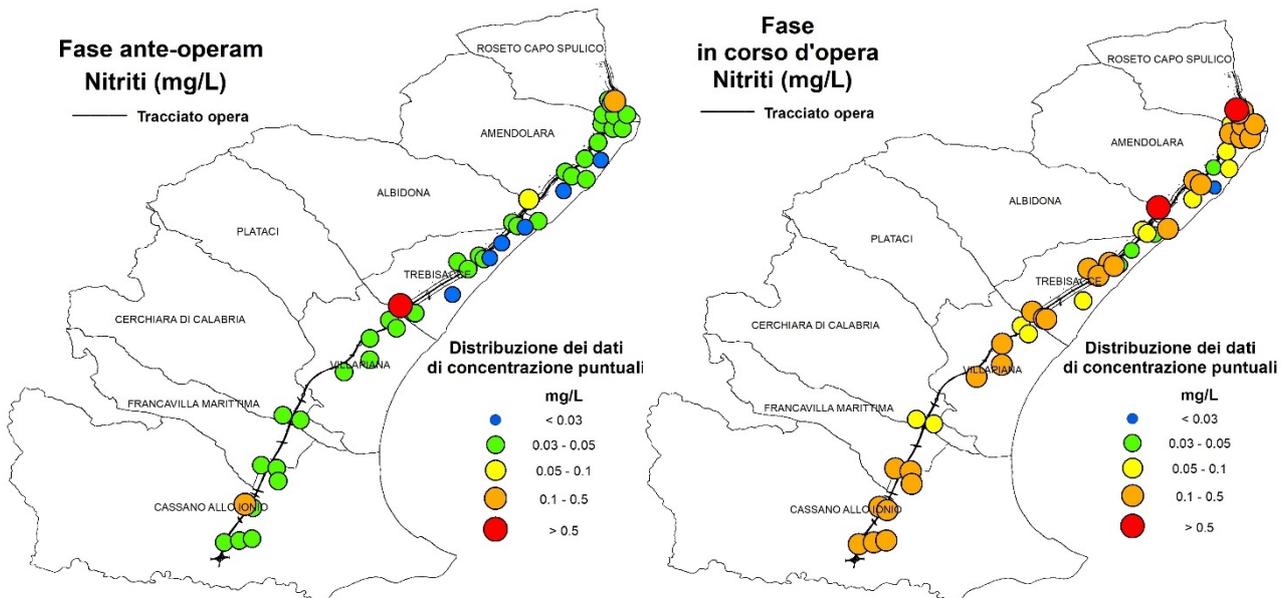
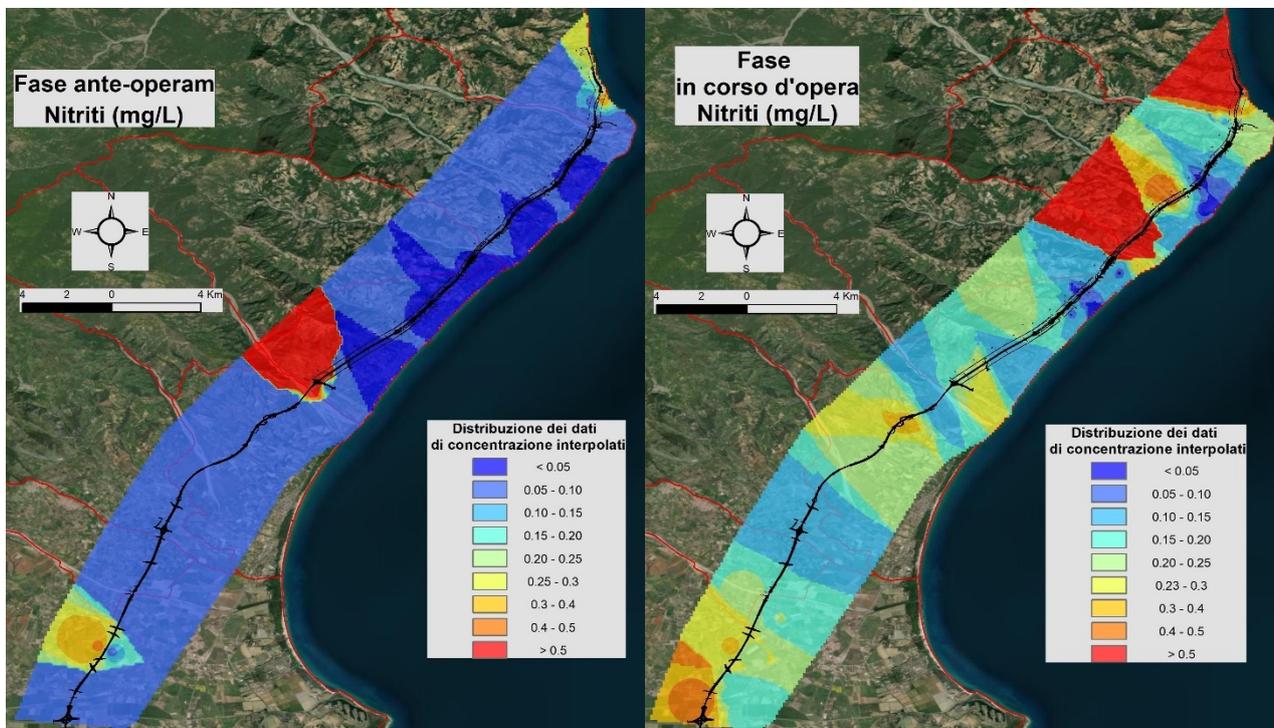


Grafico 5.2. Confronto della distribuzione delle concentrazioni medie tra monte e valle dell'asse viario e tra fase ante operam e in corso d'opera.



					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 29



5.3 Solfati

I solfati sono un costituente maggiore delle acque e possono derivare naturalmente dalla lisciviazione di rocce evaporitiche o dall'interazione con circolazioni idrotermali ricche in solfati. I solfati rappresentano altresì un indice di contaminazione organica. La specie più importante in ambiente acquoso è rappresentata dallo ione solfato SO_4^{2-} in acque ossigenate. In assenza di ossigeno la molecola di acido solfidrico (H_2S) essolve con facilità fuoriuscendo dal sistema in forma gassosa (Fig. 5.3.1). Nelle acque sotterranee si possono riscontrare valori che vanno da pochi mg/l fino a 1500 mg/l, in quest'ultime l'origine è di tipo minerale ed è legata al fenomeno di dissolvimento dello ione solfato nell'acqua freatica quando attraversa alcuni terreni e rocce che contengono principalmente solfato di sodio, solfato di magnesio e solfato di calcio. Il Decreto Legislativo n. 31 del 02/02/2001, relativo alla qualità delle acque destinate al consumo umano, fissa il limite di 250 mg/l. Va fatto notare come l'Organismo Mondiale della Sanità consiglia un limite massimo di 500 mg/l.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 30

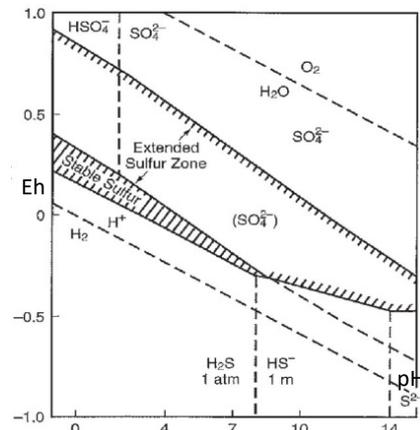
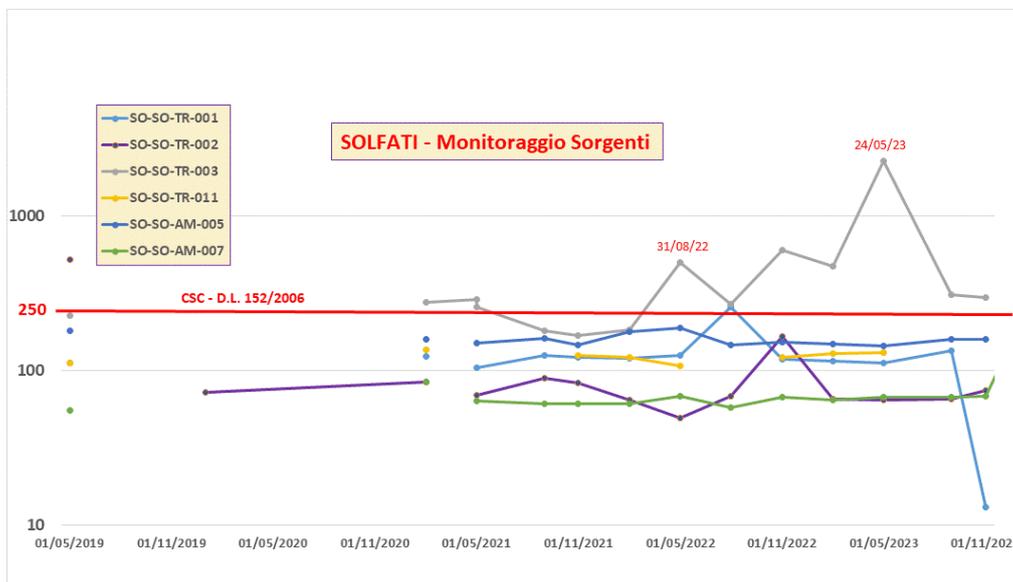


Figura 5.3.1 Diagramma Eh-pH per il Sistema S-H₂O, che indica la regione estesa di stabilità dello zolfo

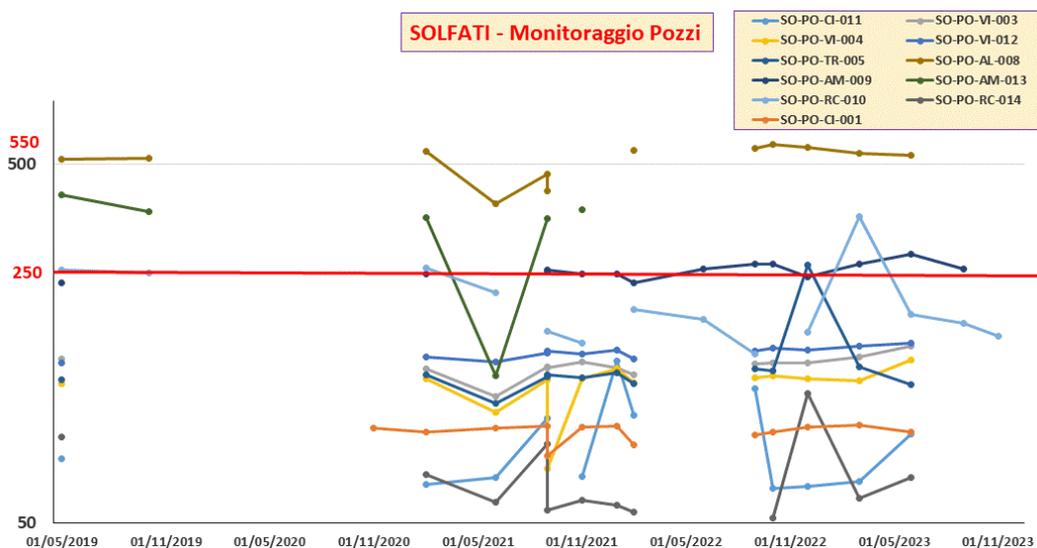
Il grafico sottostante riporta la distribuzione dei solfati nelle sorgenti dalla fase ante operam fino all'ultima campionatura. È possibile osservare che già in questa fase due delle sei sorgenti SO-SO-TR-002 e SO-SO-TR-003 presentavano valori di concentrazione superiori alla soglia di 250 mg/L. Tali valori sono poi rientrati nel sito SO-SO-TR-002 mantenendosi sempre sotto la soglia nel tempo, mentre la sorgente SO-SO-TR-003 ha sempre mostrato elevate concentrazioni di solfati, altalenanti nel tempo e che hanno raggiunto un picco di 2290 mg/L nel campione d'acqua prelevato a maggio 2023.



Il grafico che segue riporta la distribuzione della concentrazione dei solfati nei pozzi. La maggior parte di essi presenta concentrazioni inferiori ai 250 mg/L durante tutte le fasi di monitoraggio. I pozzi con valori elevati sono SO-PO-AM-009 le cui concentrazioni oscillano intorno ai 250 mg/L dalla fase di campionamento ante operam fino all'ultimo campionamento che lo ha interessato nel settembre 2023 dove mostrava una concentrazione di 255 mg/L. Un altro pozzo con valori fuori norma è SO-PO-AM-013 e soprattutto SO-PO-AL-

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 31

008 le cui concentrazioni di solfati nelle acque si attestano al di sopra dei 500 mg/L dalla fase ante operam fino all'ultimo campionamento.



Il prossimo grafico riporta la distribuzione della concentrazione dei solfati nei piezometri. Con l'unica eccezione del piezometro SO-VA-TR-116, si nota un andamento più o meno costante nel tempo dalle fasi di campionamento e analisi eseguite ante operam alle ultime analisi effettuate. Le acque della maggior parte dei piezometri presentano tutto sommato valori di concentrazione accettabili, seppure in diversi casi superano i 250 mg/L, mantenendosi comunque con concentrazioni perlopiù inferiori ai 500 mg/L valore questo indicato come valore guida limite dall'OMS per le acque potabili. Valori di concentrazione ben più elevati sono stati riscontrati sempre fin dalla fase ante operam nelle acque dei piezometri SO-VA-TR-014 e SO-VA-TR-114, ma soprattutto nel piezometro SO-VA-AM-119 che presenta concentrazioni costantemente molto elevate intorno ai 4000 mg/L. Le acque di questo piezometro sono state classificate acque solfato clorurato alcaline con una forte presenza di cloruri. La loro composizione è molto simile all'acqua di mare.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 32

Nelle mappe di distribuzione dei dati puntuali e nel grafico 5.3 viene evidenziata una situazione molto simile sia nella fase ante operam che in corso d'opera. La maggiore criticità è legata ai valori di concentrazione medi sia ante operam che in corso d'opera del piezometro SO-VA-AM-119.

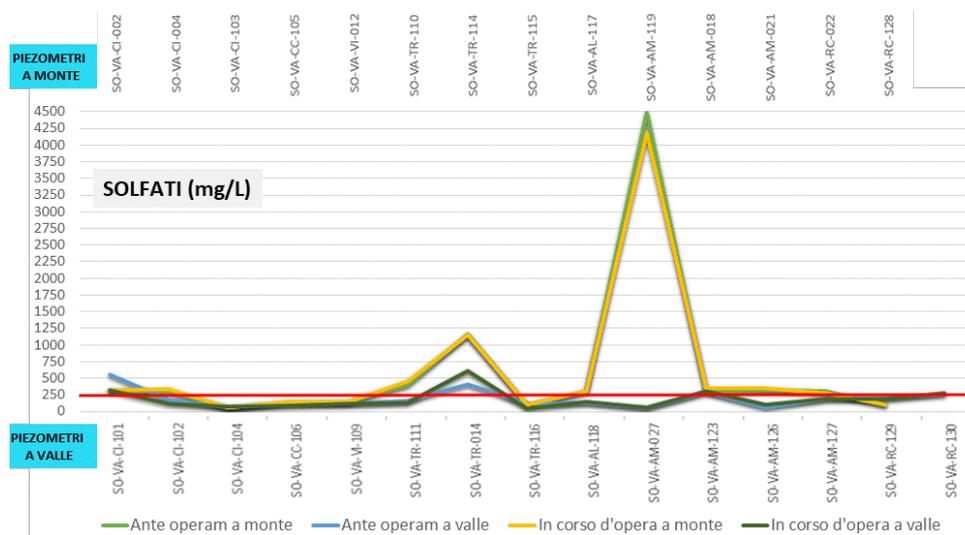
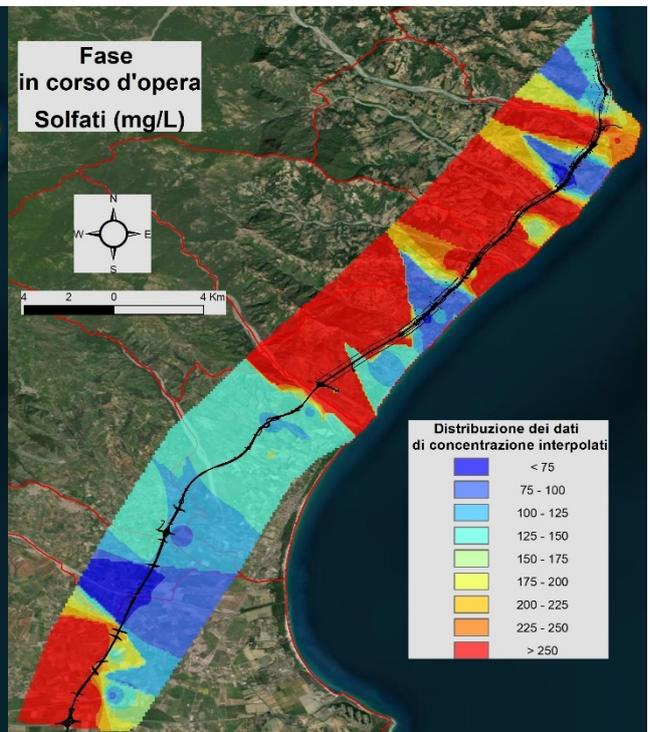
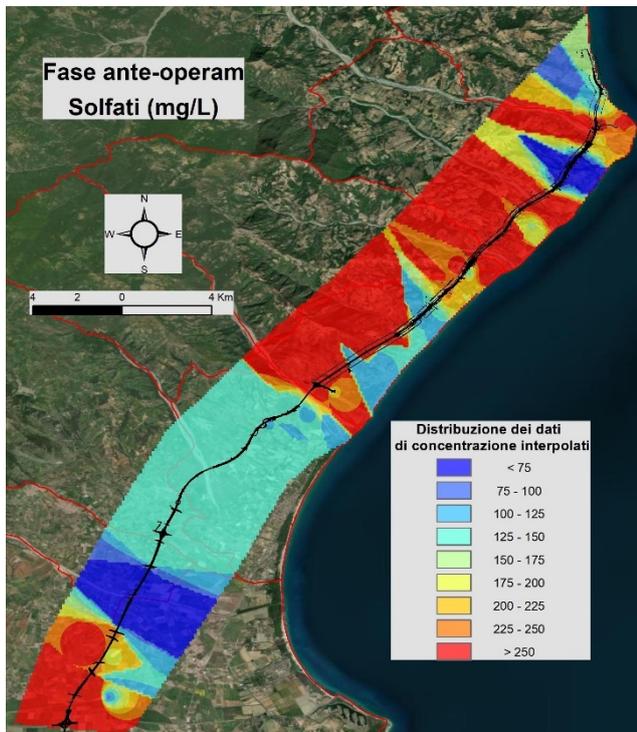
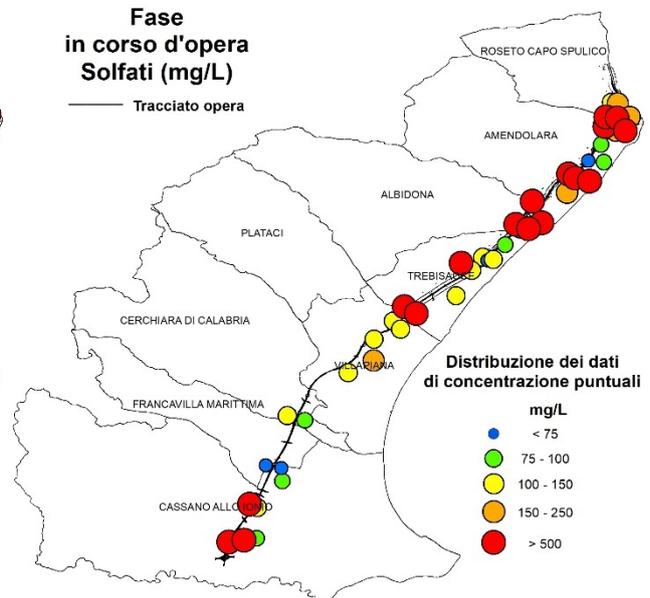
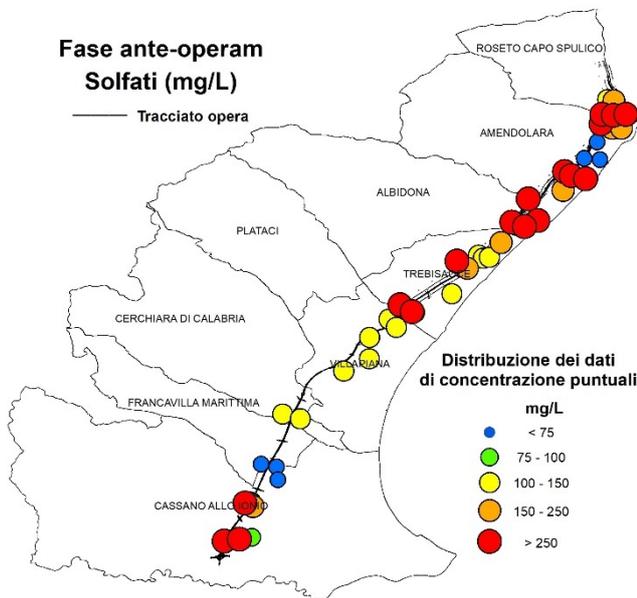


Grafico 5.3. Confronto della distribuzione delle concentrazioni medie tra monte e valle dell'asse viario e tra fase ante operam e in corso d'opera.

Nelle mappe di distribuzione dei dati interpolati, viene data una distribuzione probabilistica della concentrazione dei solfati in falda che sostanzialmente non cambia nel tempo come è possibile osservare dal confronto delle due mappe. Si osserva che diversi siti presentano valori di concentrazione media superiori alla soglia di legge sia in fase ante operam che in corso d'opera, ma va detto che nella maggior parte di essi le concentrazioni sono di poco superiori ai 250 mg/L tranne che nei piezometri SO-VA-AM-119 e SO-VA-TR-114 entrambi ubicati a monte dell'opera. Appare evidente che i lavori di realizzazione dell'asse viario non hanno influito vista la presenza della maggior parte delle anomalie ubicate a monte e già presenti prima dell'inizio dei lavori.



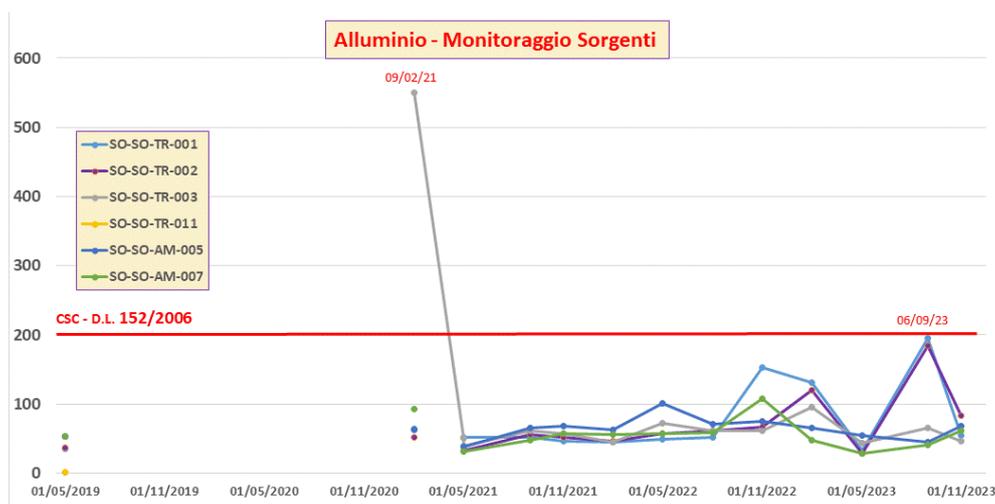
5.4 Alluminio

L'alluminio è un elemento metallico molto abbondante sulla Terra e lo si ritrova perlopiù sotto forma di allumino-silicati nel suolo, nei sedimenti e nelle rocce. Esso è un componente comune dei minerali argillosi (ad esempio, la caolinite) ed è particolarmente abbondante nelle rocce a grana fine come scisti, argilliti, siltiti ed equivalenti metamorfizzati (ardesia, fillite e scisto). Sebbene gli allumino-silicati tendano ad essere

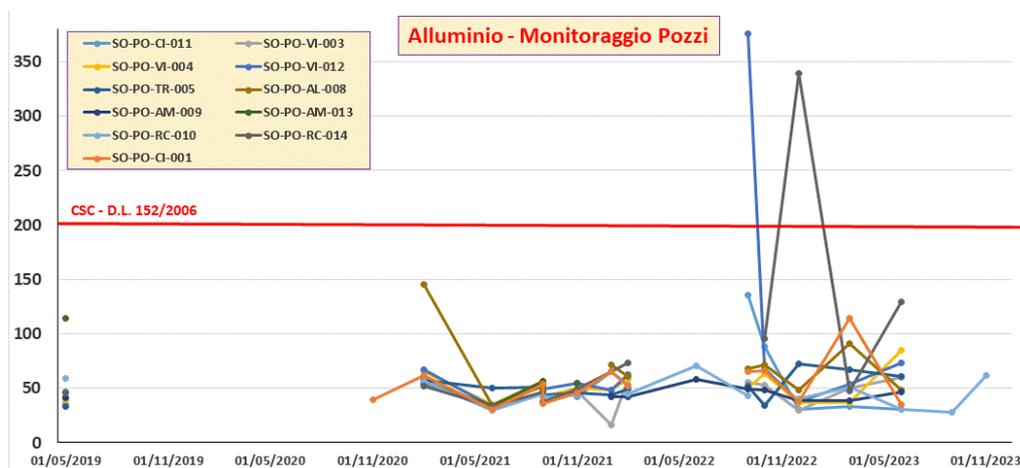
					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 34

resistenti agli agenti atmosferici e chimici e insolubili nelle acque sotterranee nelle normali condizioni di pH (6-8), in ambienti a pH basso, l'Al può essere lisciviato dal suolo e dai minerali delle rocce andando ad arricchire le acque sotterranee nella forma di Al inorganico (Al^{3+}) o come AlF_3 , $Al(OH)_3$, $AlPO_4$ e $Al_2(SO_4)_3$

Il grafico sottostante riporta la distribuzione dell'alluminio nelle sorgenti dalla fase ante operam fino all'ultima campionatura. È possibile osservare che fino al febbraio 2021 le concentrazioni dell'alluminio sono sempre risultate < 200 µg/L. L'unico valore di concentrazione superiore alla soglia (200 µg/L) è stato misurato nella sorgente SO-SO-TR-003 nelle fasi iniziali del monitoraggio il 9 febbraio 2021 ed era pari a 550 µg/L. Tale valore è poi subito rientrato e nessuna delle sorgenti ha mai più manifestato valori di concentrazione anomali.

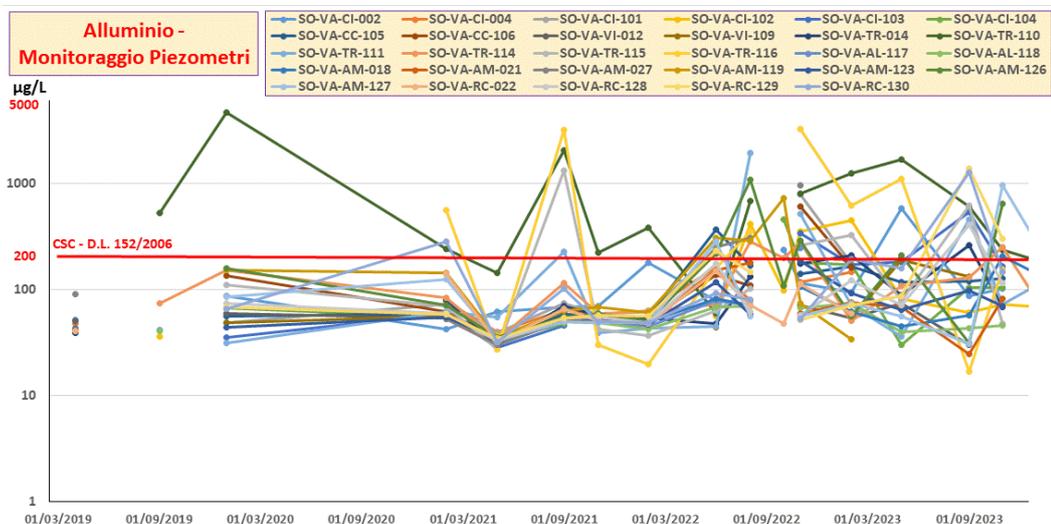


Il prossimo grafico riporta la distribuzione della concentrazione dell'alluminio nei pozzi. Anche in questo caso, i valori di concentrazione hanno superato il valore soglia di 200 µg/L raramente. Nello specifico solo in due casi: a settembre 2022 nel pozzo SO-PO-VI-012 dove ha raggiunto una concentrazione di 376 µg/L e a dicembre 2022 nel pozzo SO-PO-RC-014 dove ha raggiunto una concentrazione di 340 µg/L.



					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 35

Il grafico che segue riporta la distribuzione della concentrazione dell'alluminio nei piezometri. Si notano subito delle discrete variazioni nel tempo dei valori di concentrazione che per la maggior parte sono tutte al disotto di 200 µg/L nella fase ante operam (tranne il piezometro SO-VA-TR-110 che misurava un'elevatissima concentrazione pari a 4646 µg/L) per poi raggiungere valori alquanto anomali a partire da marzo 2021. I piezometri che hanno mostrato le maggiori criticità sono i piezometri SO-VA-TR-110, SO-VA-TR-111, SO-VA-TR-116, SO-VA-RC-128, SO-VA-RC-129, SO-VA-AM-126. Come si può osservare dal grafico, nell'ultima campagna di monitoraggio, molti dei valori anomali sembrano essere rientrati e ritornati a valori di concentrazione accettabili.



Nelle mappe di distribuzione dei dati puntuali e nel grafico 5.4 viene evidenziato che nella fase ante operam gli unici valori anomali sono stati rilevati nel Comune di Trebisacce. Osservando la carta di distribuzione dei dati puntuali in corso d'opera è possibile vedere che 9 siti indagati presentano valori > 200 µg/L. Sono concentrati nel tratto dell'opera che va da Trebisacce a Roseto Capo Spulico e uno a Francavilla e sono posizionati sia a monte che a valle dell'asse viario e rispetto alla direzione di flusso della falda.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 36

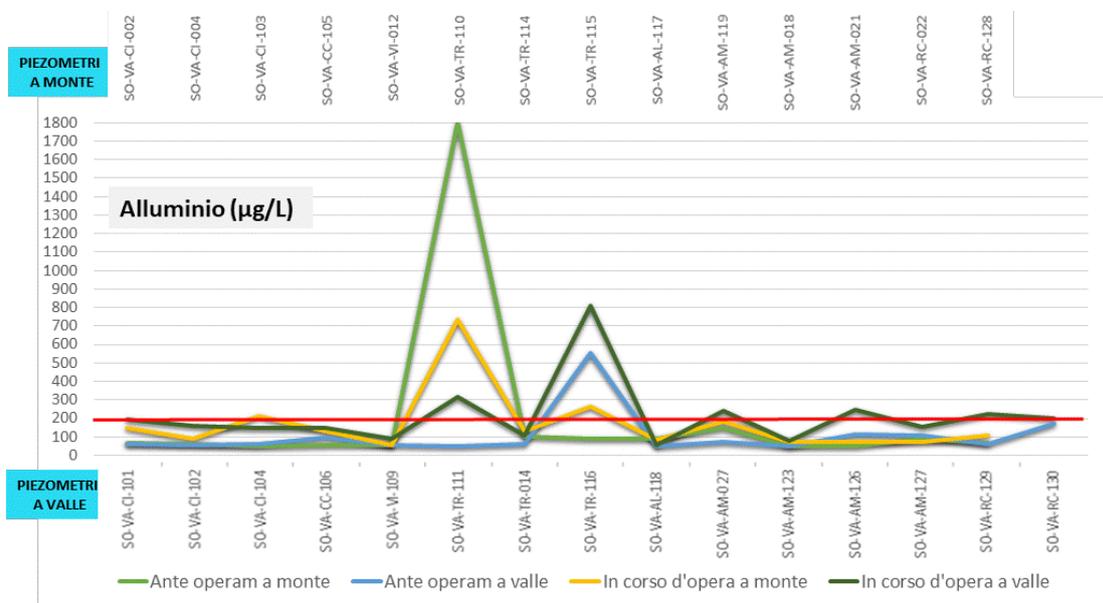
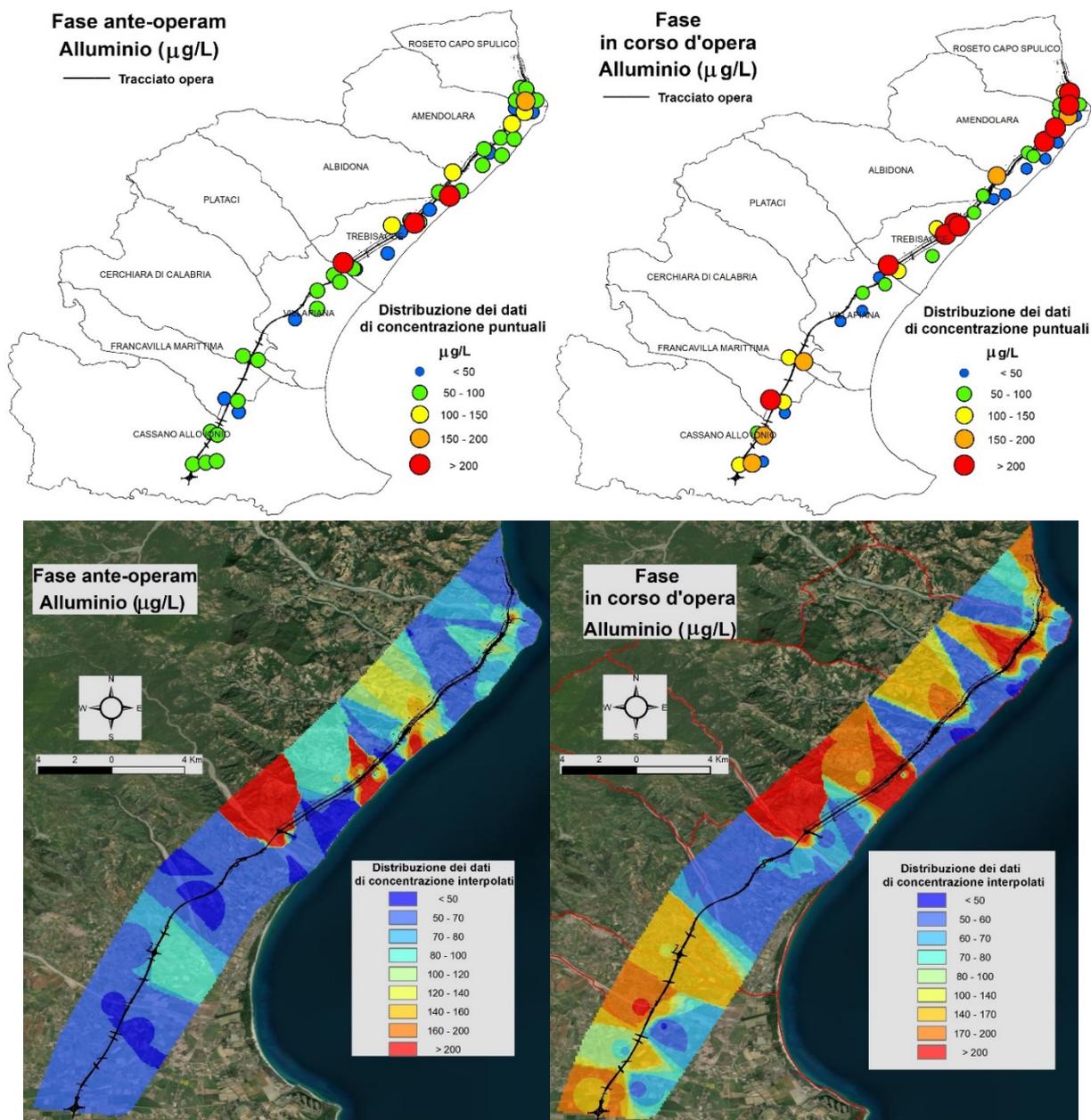


Grafico 5.4. Confronto della distribuzione delle concentrazioni medie tra monte e valle dell'asse viario e tra fase ante operam e in corso d'opera.

Le mappe di distribuzione dei dati interpolati mettono in evidenza come l'estensione dell'area di superamento della soglia di legge e più in generale le aree con valori di concentrazione più elevata siano aumentate nel tempo andando ad interessare un po' tutta l'area del tracciato. Va evidenziato che in uno dei pochi studi sulla qualità delle acque sotterranee condotto in quest'area dal Distretto idrografico dell'Appennino Meridionale nel febbraio 2010 (cioè ben prima dell'inizio dei lavori di costruzione dell'opera) e consultabile al sito <https://www.distrettoappenninomeridionale.it/index.php/pgd-acque-articolo>, la Piana di Sibari viene indicata come "una delle aree più intensamente urbanizzate e popolate, dove la particolare combinazione degli inquinanti, è indicativa di pressioni antropiche ascrivibili all'agricoltura e agli agglomerati industriali e urbani". Nello specifico, gli inquinanti rinvenuti nelle diverse aree monitorate durante questo studio sono stati sempre gli stessi ed in particolare: nitrati, ferro, manganese, fluoruri, antiparassitari totali, idrocarburi policiclici aromatici, ammonio, arsenico e alluminio.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 37



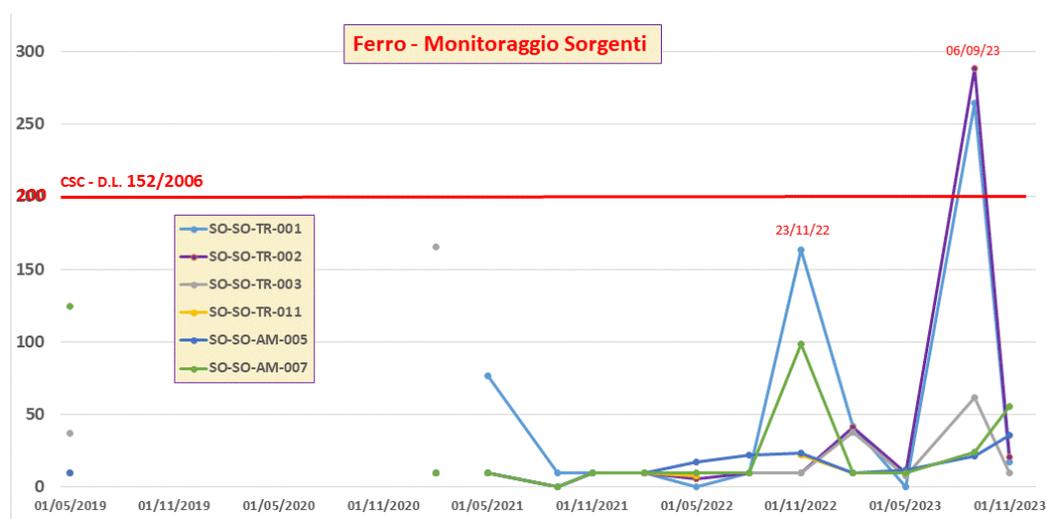
5.5 Ferro

La misura in cui ferro e manganese vanno in soluzione nelle acque sotterranee dipende dalla quantità di ossigeno nell'acqua e, in misura minore, dal suo grado di acidità, cioè dal suo pH. Il ferro, ad esempio, può presentarsi in due forme: come Fe^{2+} e come Fe^{3+} . Quando i livelli di ossigeno disciolto nelle acque sotterranee sono maggiori di 1–2 mg/L, il ferro si presenta come Fe^{3+} , mentre a livelli inferiori di ossigeno disciolto il ferro si presenta come Fe^{2+} . Sebbene Fe^{2+} sia molto solubile, Fe^{3+} non si dissolverà in modo apprezzabile.

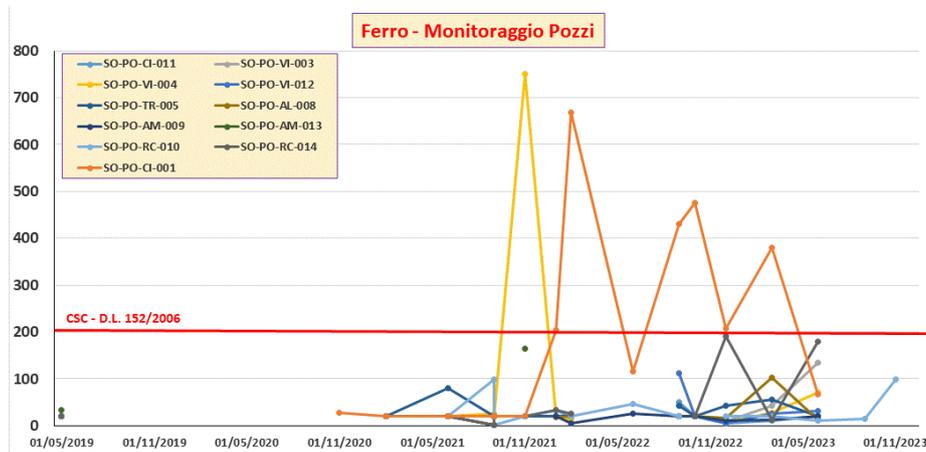
					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 38

Se l'acqua sotterranea è povera di ossigeno, il ferro (e il manganese) andranno in soluzione più facilmente, in particolare se il pH dell'acqua è basso (leggermente più acido). Il contenuto di ossigeno disciolto è tipicamente basso nelle falde acquifere profonde, in particolare se la falda acquifera contiene materia organica. La decomposizione della materia organica riduce l'ossigeno nell'acqua e il ferro si dissolve come Fe^{2+} . In queste condizioni, il ferro disciolto è spesso accompagnato da manganese disciolto o idrogeno solforato. Quando quest'acqua viene pompata in superficie, il ferro disciolto reagisce con l'ossigeno nell'atmosfera, si trasforma in Fe^{3+} (cioè si ossida) e forma minerali di ferro color ruggine. Il manganese disciolto può formare particelle nerastre nell'acqua.

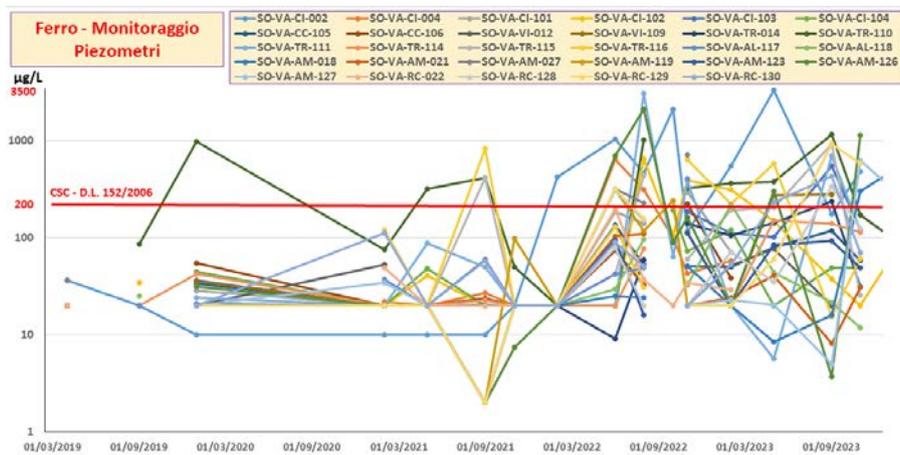
Il grafico sottostante riporta la distribuzione del ferro nelle sorgenti dalla fase ante operam fino all'ultima campionatura. È possibile osservare che le concentrazioni di ferro sono sempre risultate $< 200 \mu\text{g/L}$ fino al settembre 2023 quando sono state rilevate concentrazioni di 288 e 264 $\mu\text{g/L}$ rispettivamente nelle sorgenti SO-SO-TR-002 e SO-SO-TR-001. Va detto che tali valori di concentrazione non destano alcuna preoccupazione ai fini dello stato di salute qualora vi fosse un eventuale utilizzo di queste acque.



Il prossimo grafico riporta la distribuzione della concentrazione del ferro nei pozzi. In nove pozzi i valori di concentrazione non hanno mai superato nel corso del tempo il valore soglia di $200 \mu\text{g/L}$. Il pozzo SO-PO-VI-004 ha manifestato un solo superamento ($751 \mu\text{g/L}$) della soglia il 9/11/2021 mentre il pozzo che ha manifestato maggiori criticità è stato il SO-PO-CI-001 che a partire da febbraio 2022 ha mostrato un andamento dei valori di concentrazione altalenante partendo da una concentrazione pari a $669 \mu\text{g/L}$ e via via scemando fino a raggiungere nell'ultimo campionamento un valore di concentrazione ben al di sotto della soglia ($69 \mu\text{g/L}$).



Il grafico che segue riporta la distribuzione della concentrazione del ferro nei piezometri. Si nota subito una discreta variazione nel tempo dei valori di concentrazione che sono tutti al disotto di 200 µg/L nella fase ante operam tranne che nel piezometro SO-VA-TR-110 che mostrava una concentrazione molto alta pari a 979 µg/L. Nelle successive fasi di campionamento sono stati raggiunti valori di concentrazione alquanto anomali fino ad un picco massimo di 3314 µg/L nel pozzo SO-VA-CI-002. Dall'osservazione del grafico si nota come questi valori di concentrazione presentano un andamento molto altalenante. La spiegazione potrebbe essere strettamente legata al fenomeno illustrato all'inizio del presente paragrafo e cioè alla diversa disponibilità di ossigeno libero in falda. Il grafico in figura 5.5.1 mostra l'andamento nel tempo delle concentrazioni di ferro nell'acqua analizzata in funzione della quantità di ossigeno disciolto in essa nel piezometro SO-VA-CI-002, cioè quello che presenta le maggiori anomalie di ferro e un andamento estremamente altalenante di quest'ultime, che passano tra un campionamento e l'altro da valori estremamente elevati a valori molto bassi al di sotto del limite di legge. Appare evidente la stretta correlazione tra le due variabili: al diminuire della concentrazione di ossigeno disciolto cresce esponenzialmente la concentrazione di ferro nei campioni di acqua prelevati. In poche parole, vi è, in falda, un continuo alternarsi di condizioni riducenti e ossidanti che portano a continue variazioni nella concentrazione del ferro in acqua. La causa di queste continue variazioni è imputabile alle continue oscillazioni dei livelli della piezometrica con conseguente variazione delle condizioni chimico fisiche e quindi l'alternarsi di condizioni riducenti e ossidanti.



Piezometro SO-VA-CI-002 - Variazione del Fe al variare dell'ossigeno disciolto

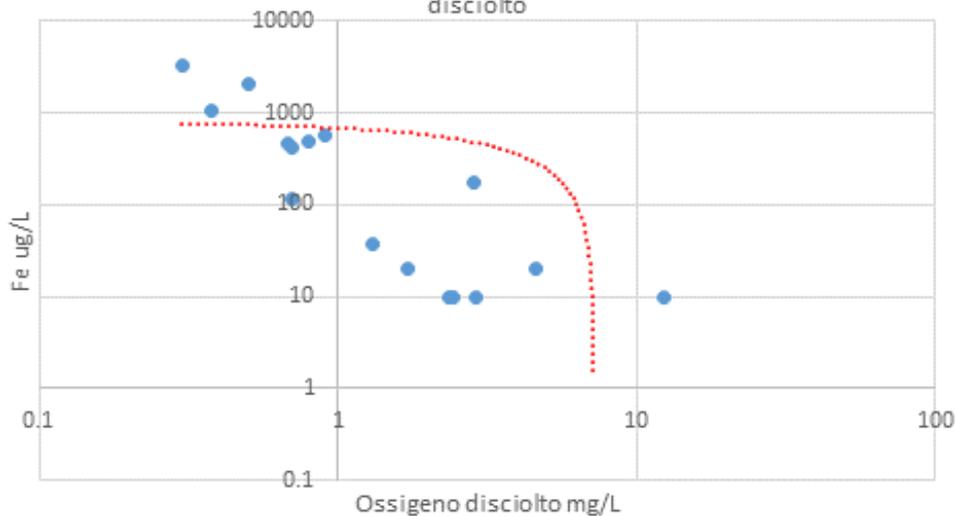


Figura 5.5.1

Nelle mappe di distribuzione dei dati puntuali e nel grafico 5.5 è possibile osservare che, nella fase ante operam, il solo campione SO-VA-TR-110 ha mostrato valori di concentrazione >200 µg/L. Osservando la carta di distribuzione dei dati puntuali in corso d'opera relativa ai dati delle ultime campionature è possibile vedere che ben 7 dei siti indagati presentano valori superiori al limite imposto per legge. La maggior parte di essi sono concentrati nel tratto dell'opera che va da Trebisacce ad Amendolara e due nel comune di Cassano allo Jonio e sono ubicati sia a monte che a valle dell'opera. Si nota inoltre che sempre nella fase ante operam la maggior parte dei campioni presentava una concentrazione di ferro < 50 µg/L e comunque non superiore a 150 µg/L. Nell'ultima campionatura poco meno della metà dei campioni presentavano una concentrazione media minore a 50 µg/L. L'anomalia maggiore si riscontra nella fase in corso d'opera nel piezometro SO-VA-CI-002 ubicato a monte dell'opera nel comune di Cassano allo Jonio.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 41

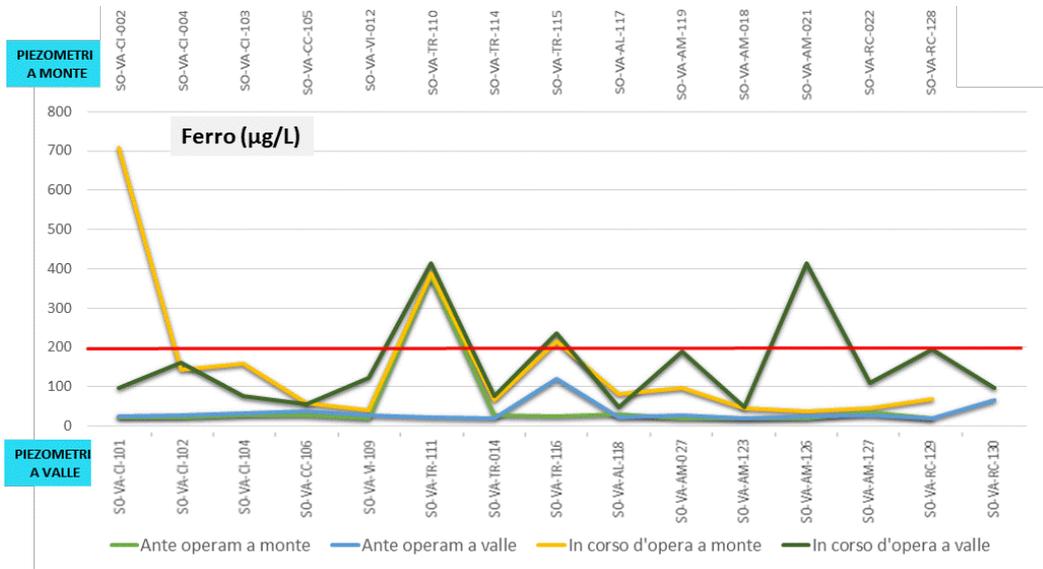
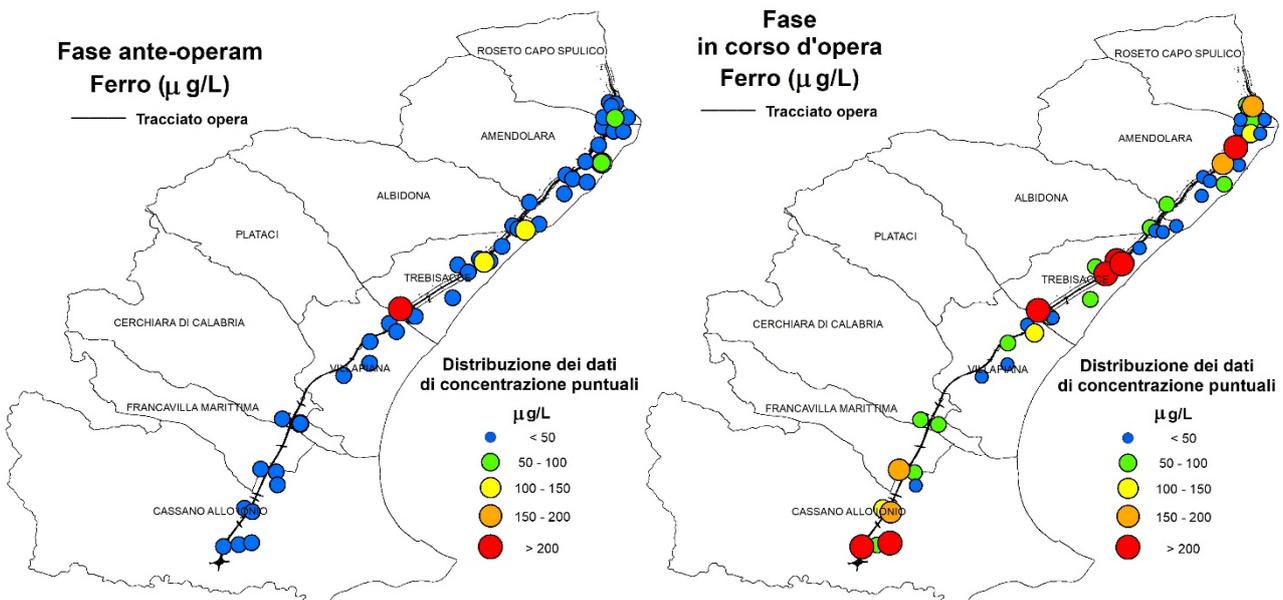
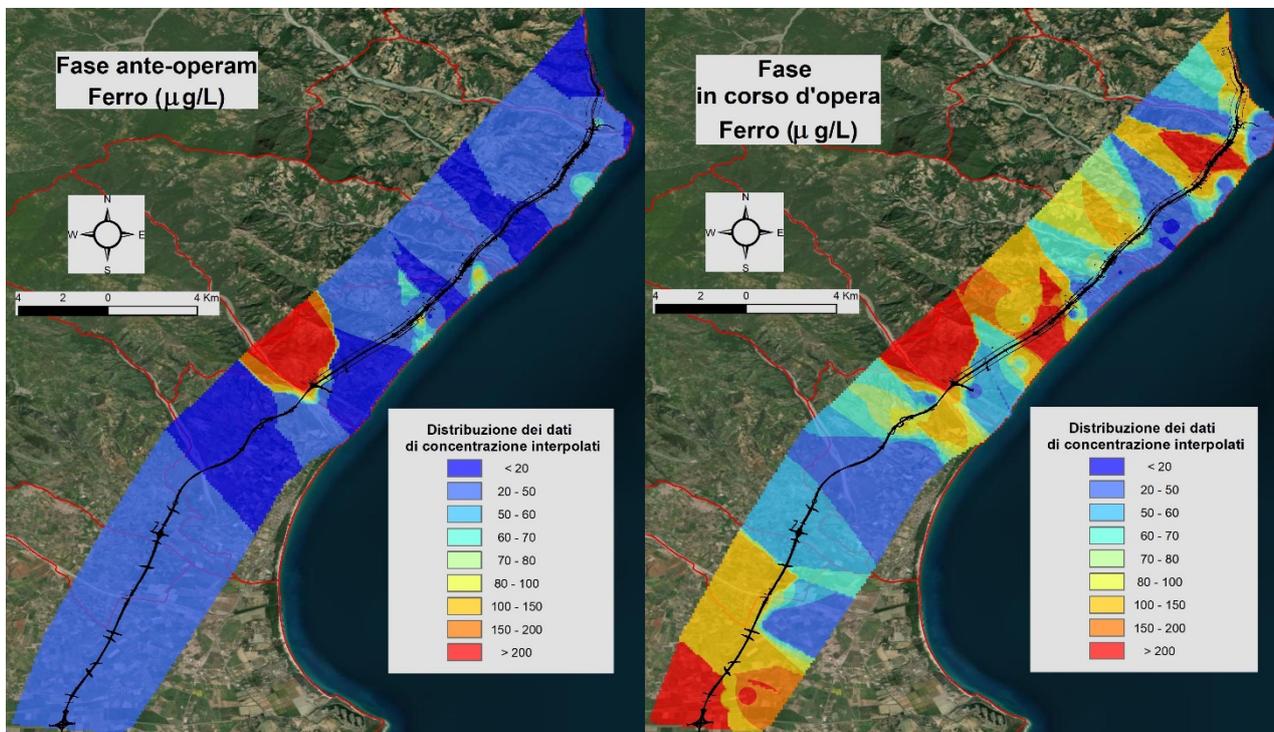


Grafico 5.5. Confronto della distribuzione delle concentrazioni medie tra monte e valle dell’asse viario e tra fase ante operam e in corso d’opera.

Nelle mappe di distribuzione dei dati interpolati, viene data una distribuzione probabilistica della concentrazione del ferro nelle falde acquifere che mette in evidenza come l’estensione dell’area di superamento della soglia di legge sia aumentata nel tempo soprattutto nell’area compresa tra il Comune di Amendolara e Roseto Capo Spulico. Le anomalie si presentano sia nei piezometri a monte che in quelli a valle e non sembrano correlate ai lavori in corso piuttosto a variazioni naturali delle condizioni chimico fisiche degli acquiferi come descritto sopra.



					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 42



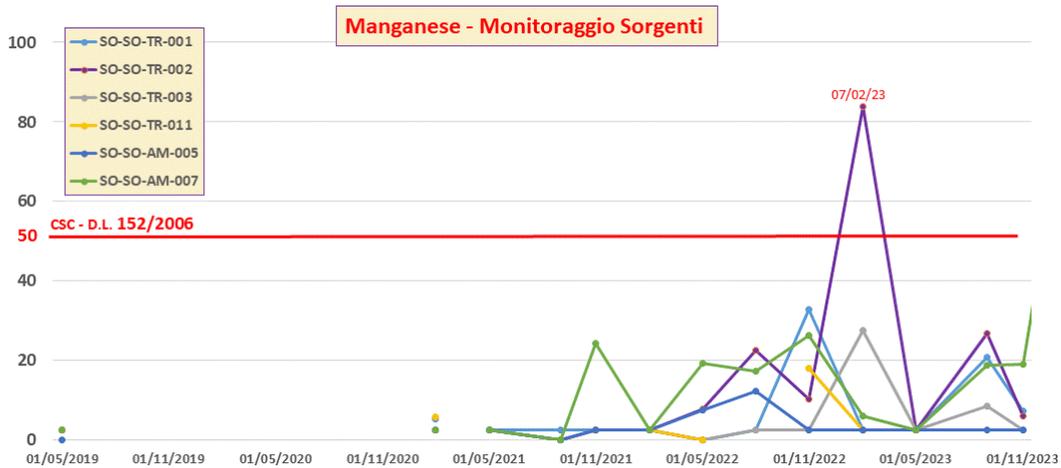
5.6 Manganese

Il manganese è uno dei metalli più abbondanti nella crosta terrestre e può essere presente naturalmente nelle acque sotterranee a causa della dissoluzione di ossidi, silicati e carbonati di manganese. La sua concentrazione nelle acque sotterranee è controllata da molti fattori, i principali sono la geochimica delle rocce, la chimica dell'acqua e l'attività microbiologica. Alcuni tipi di rocce, come le rocce mafiche e ultramafiche, lo scisto, la grovaccia e il calcare, contengono alte concentrazioni di Mn, che possono portare a concentrazioni elevate nel suolo e nei sedimenti attraverso processi di alterazione. La chimica dell'acqua, in particolare il pH, il potenziale redox (Eh), l'ossigeno disciolto (DO) e il carbonio organico disciolto (COD), è determinante nella mobilizzazione del Mn e nel controllo della sua speciazione e concentrazione nell'ambiente acquatico. Di conseguenza, i livelli di manganese nelle acque sotterranee derivanti dai processi naturali di lisciviazione possono variare ampiamente a seconda dei tipi di roccia e minerali presenti nella falda freatica. In genere, le concentrazioni di manganese derivanti dai processi naturali sono basse ma possono variare anche fino a 1500 µg/l o valori superiori. Fonti di inquinamento ricche di materia organica (quali discariche, compost, o altre sostanze chimiche come la benzina) possono aumentare il livello di fondo aumentando il rilascio di manganese dal suolo o dal substrato roccioso nelle acque sotterranee.

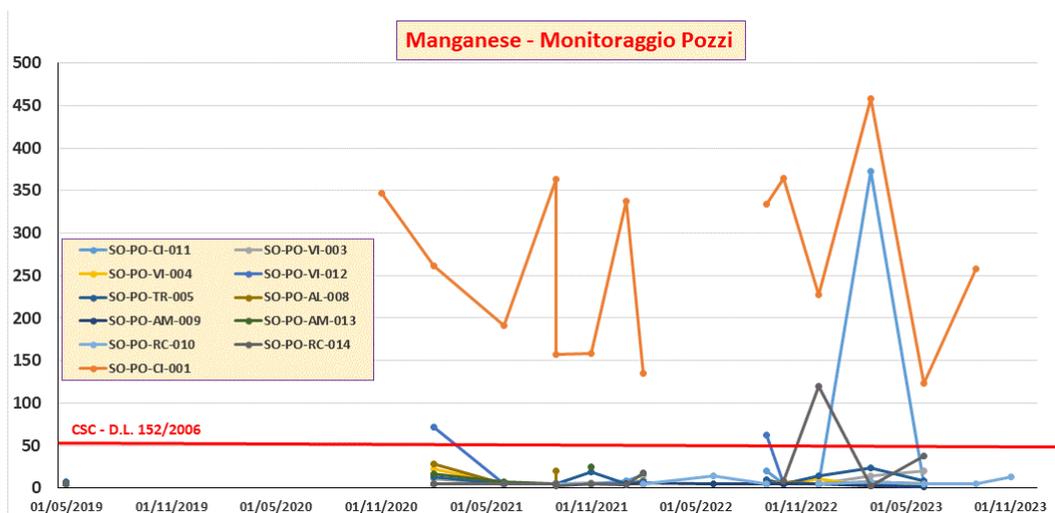
Il grafico sottostante riporta la distribuzione del manganese nelle sorgenti dalla fase ante operam fino all'ultima campionatura. È possibile osservare che le concentrazioni di manganese sono sempre risultate < 50 µg/L fino al febbraio 2023 quando è stata rilevata una concentrazione di 84 µg/L nella sorgente SO-SO-TR-

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 43

002. Va detto che tale valore di concentrazione non desta alcuna preoccupazione ai fini dello stato di salute qualora vi fosse un eventuale utilizzo di queste acque.



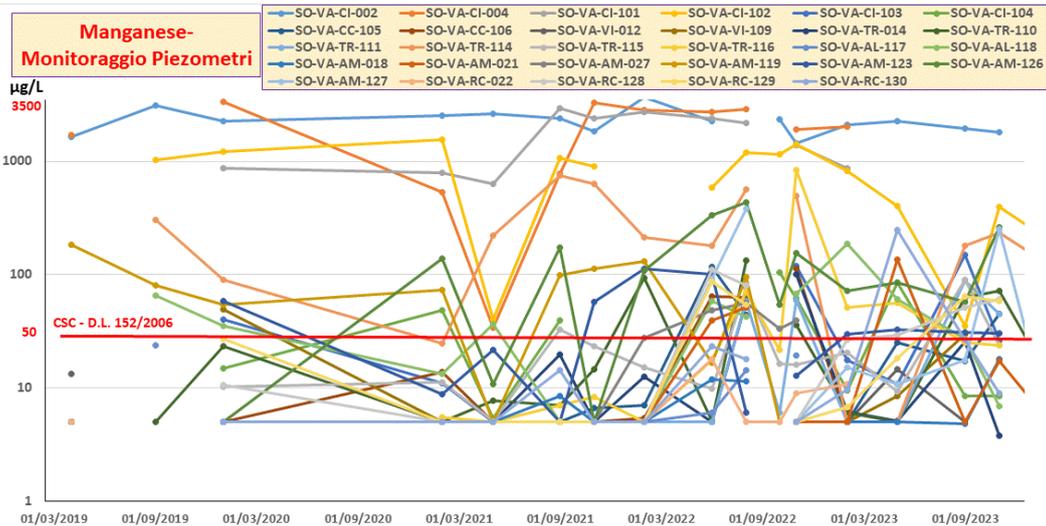
Il prossimo grafico riporta la distribuzione della concentrazione del manganese nei pozzi. In nove pozzi i valori di concentrazione non hanno mai superato nel corso del tempo il valore soglia di 50 µg/L. Il pozzo SO-PO-CI-011 ha manifestato un solo superamento (373 µg/L) della soglia il 9/03/2023 mentre il pozzo che ha manifestato maggiori criticità è stato il SO-PO-CI-001 che fin dall'inizio ha mostrato un andamento dei valori di concentrazione altalenante raggiungendo una concentrazione pari a 457 µg/L nel mese di marzo del 2023.



Il grafico che segue riporta la distribuzione della concentrazione del manganese nei piezometri. A differenza del ferro, qui si nota che molti piezometri presentano valori di concentrazione al di sopra della soglia di 50 µg/L già nella fase ante operam. In tutte le fasi di campionamento sono stati raggiunti valori di concentrazione alquanto anomali fino ad un picco massimo di 3114 µg/L nel pozzo SO-VA-CI-002 in fase di monitoraggio ante operam nel settembre 2019. Dall'osservazione del grafico si nota come questi valori di

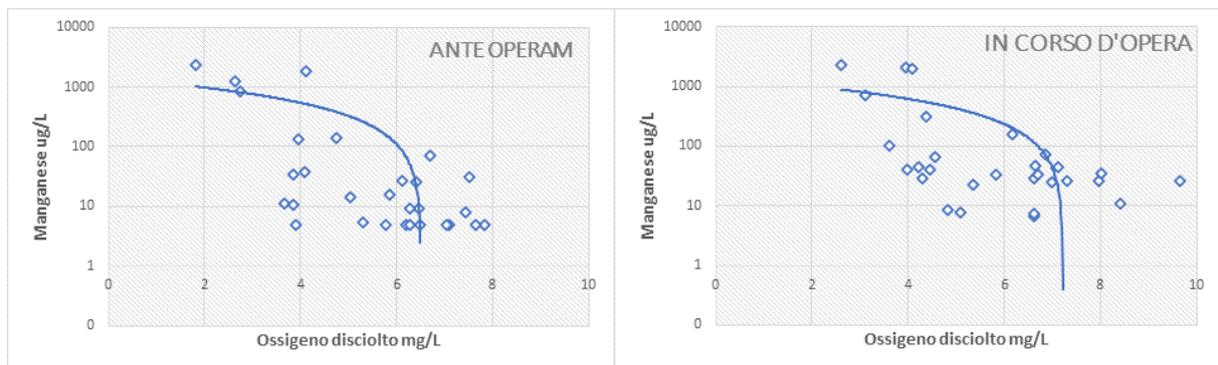
					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 44

concentrazione presentano un andamento molto altalenante tranne che per i piezometri SO-VA-CI-002 e SO-VA-CI-102 dove le concentrazioni sono sempre alte.



Come per il ferro, anche per il manganese la spiegazione potrebbe essere strettamente legata alla diversa disponibilità di ossigeno libero in falda e quindi un continuo alternarsi di condizioni riducenti e ossidanti che portano a continue variazioni nella concentrazione oltre che del ferro anche del manganese.

Nei grafici che seguono sono riportate le concentrazioni medie di ossigeno disciolto nelle due fasi rispetto alle concentrazioni medie di manganese. Appare evidente che all'aumentare della concentrazione di ossigeno diminuisce la concentrazione di manganese. Il fenomeno è osservabile sia nella fase ante operam che in corso d'opera.



Nelle mappe di distribuzione dei dati puntuali e nel grafico 5.6 viene evidenziato che nella fase ante operam già diversi campioni hanno mostrato valori di concentrazione >50 µg/L soprattutto nel Comune di Cassano allo Ionio. Come è chiaramente leggibile sul grafico, è proprio a Cassano allo Ionio dove si riscontrano i valori di anomalia più elevati sia prima che dopo l'inizio dei lavori e soprattutto nei piezometri a monte

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 45

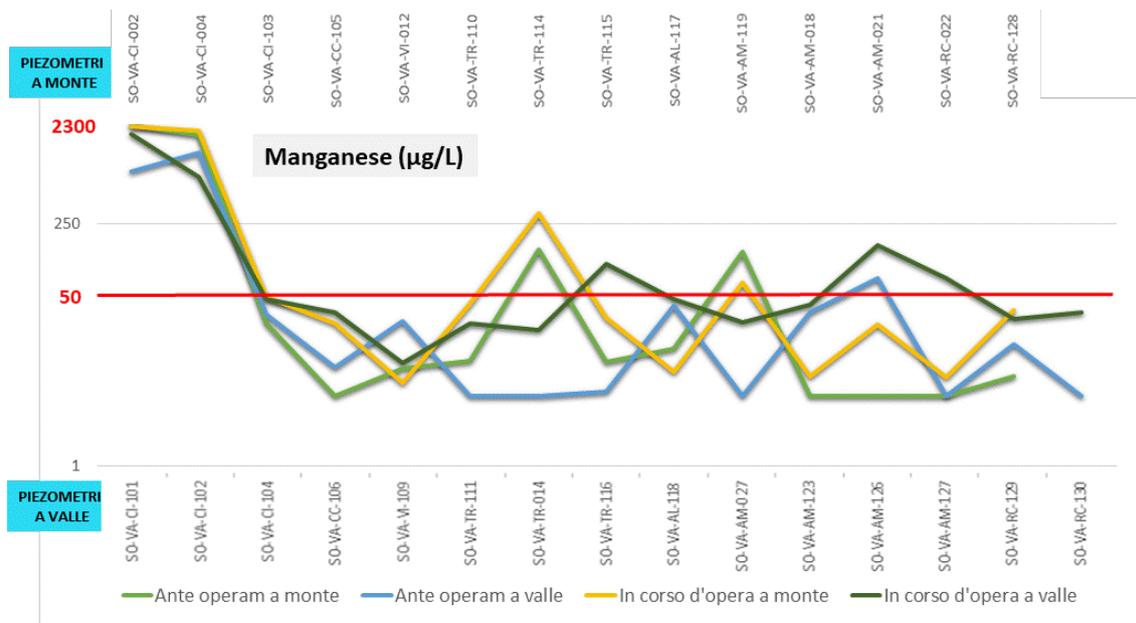
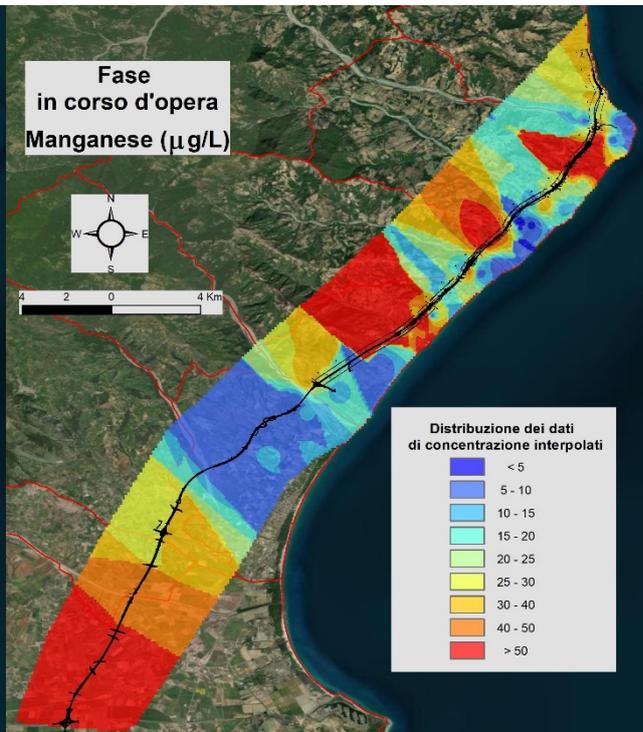
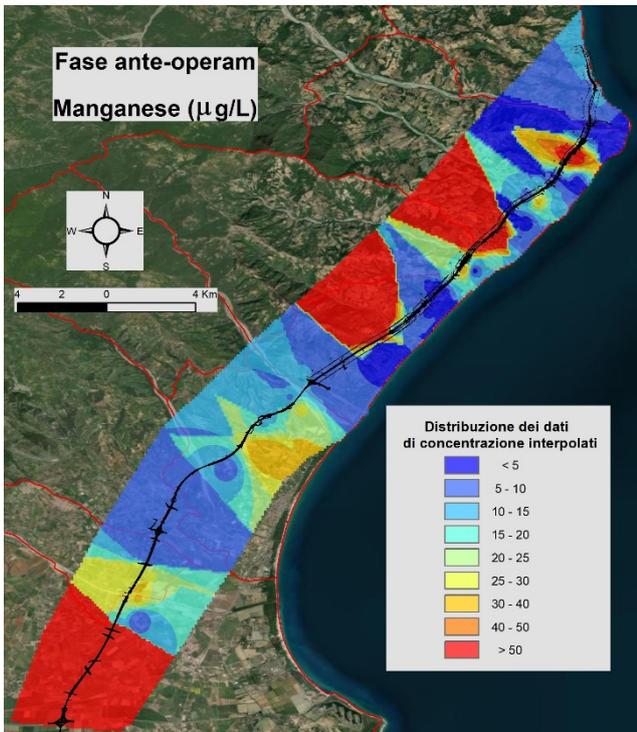
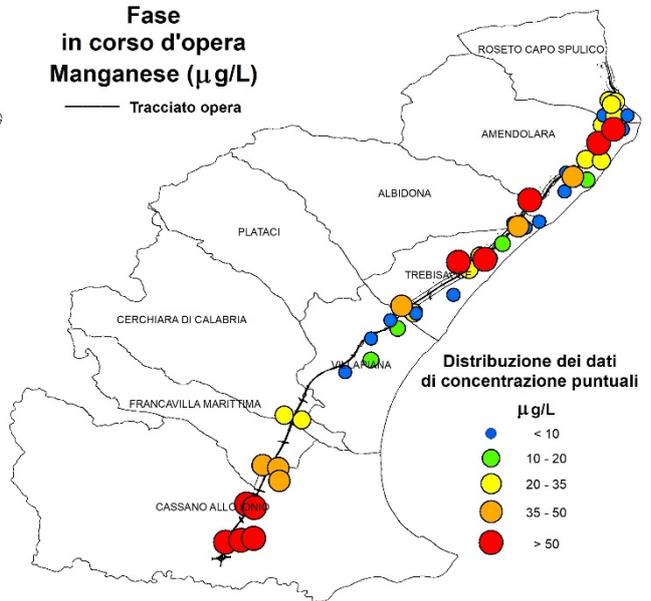
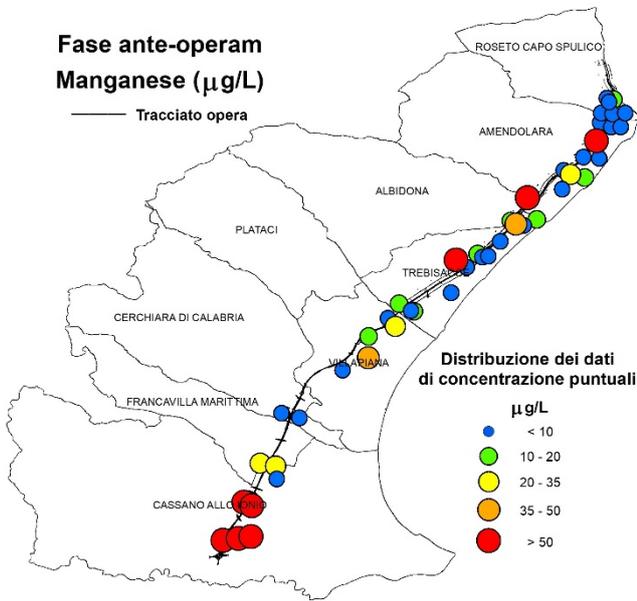


Grafico 5.6. Confronto della distribuzione delle concentrazioni medie tra monte e valle dell'asse viario e tra fase ante operam e in corso d'opera.

Osservando le carte di distribuzione dei dati puntuali e interpolati, viene messo in evidenza come l'estensione dell'area di superamento della soglia di legge si sia forse leggermente ampliata nel tempo soprattutto nell'area compresa tra il Comune di Trebisacce e Roseto Capo Spulico mentre è rimasta sostanzialmente invariata nel comune di Cassano allo Jonio dove i valori di concentrazione anomali sono significativamente più elevati.

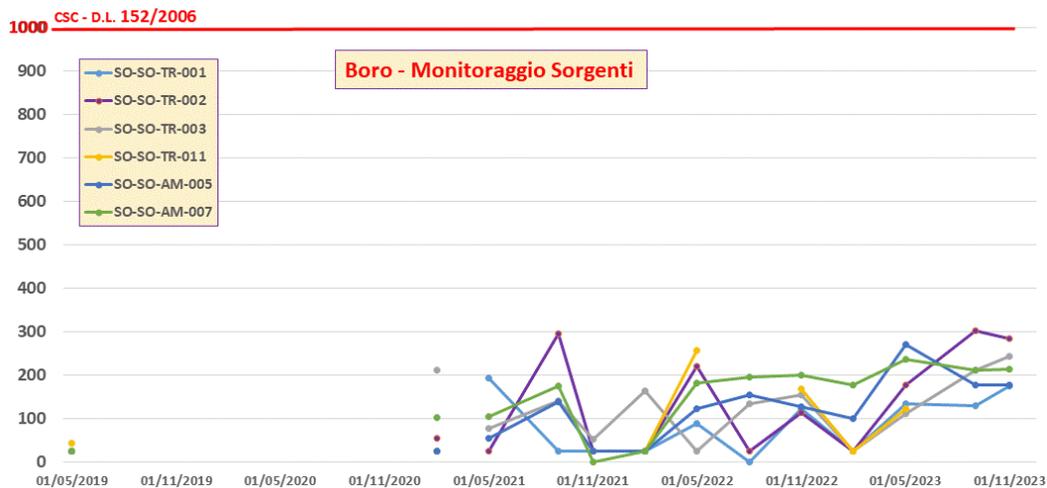


					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 47

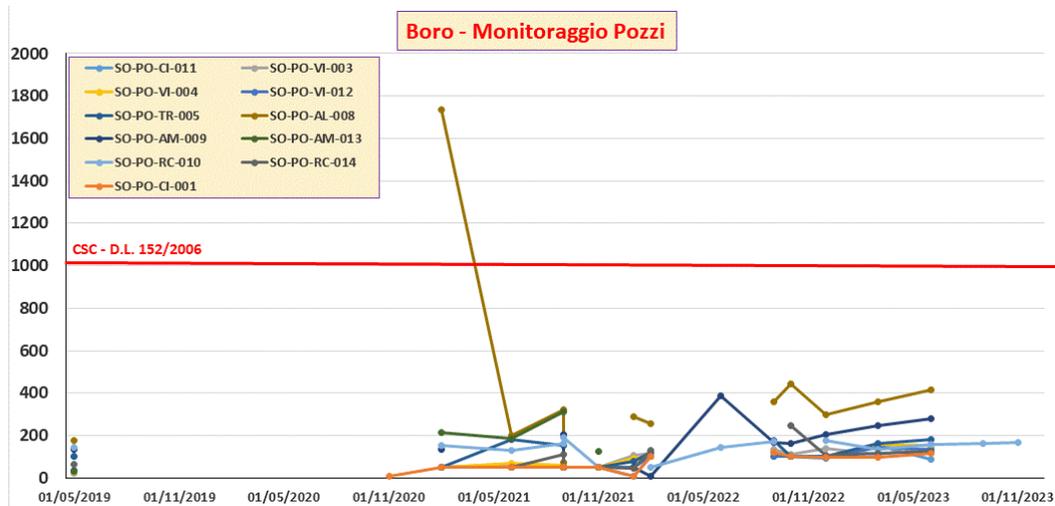
5.7 Boro

La contaminazione da boro, in particolare nelle acque sotterranee, potrebbe essere collegata sia a fonti geogeniche che antropiche. In condizioni naturali, il boro esiste come acido borico $B(OH)_3$ o ione borato $B(OH)_4^-$ nelle acque sotterranee. I suoi principali fattori di controllo per la speciazione nell'acqua includono pH, temperatura e concentrazioni di alcuni cationi specifici. Nel suolo si presenta comunemente sotto forma di borati di calcio e sodio, derivanti dalla lenta dissoluzione di minerali come la tormalina. È stato inoltre notato che il Boro nei suoli potrebbe essere associato alla frazione argillosa. Le fonti antropiche di boro includono effluenti delle industrie manifatturiere del vetro, della ceramica e dei cosmetici insieme a componenti di borato che vengono utilizzati sia come fertilizzanti per soddisfare le carenze di boro nel suolo che nell'industria dei detersivi in cui il perborato di sodio ($NaBO_3$) viene aggiunto ai detersivi.

Il grafico sottostante riporta la distribuzione del boro nelle sorgenti dalla fase ante operam fino all'ultima campionatura. È possibile osservare che i valori di concentrazione nell'acqua sono costantemente al di sotto della soglia di legge (1000 $\mu g/L$) non superando mai il valore di concentrazione di 300 $\mu g/L$.



Il grafico che segue riporta la distribuzione della concentrazione di boro nei pozzi. Essi presentano concentrazioni inferiori ai 1000 $\mu g/L$ durante tutte le fasi di monitoraggio tranne una sola volta quando nel pozzo SO-PO-AL-008 è stata misurata, nel febbraio 2021, una concentrazione di 1735 $\mu g/L$ poi rientrata abbondantemente al di sotto del limite di legge.



Il prossimo grafico riporta la distribuzione della concentrazione del boro nei piezometri. In questo caso, si nota subito, con l'unica eccezione del piezometro SO-VA-TR-116, un andamento più o meno simile nel tempo, dalle fasi di campionamento e analisi eseguite ante operam alle ultime analisi effettuate. Le acque della maggior parte dei piezometri presentano tutto sommato valori di concentrazione accettabili e solo sporadicamente superano di poco i 1000 µg/L. Valori di concentrazione ben più elevati sono stati riscontrati sempre, fin dalle prime analisi, nelle acque dei piezometri SO-VA-AM-119, SO-VA-AM-127, SO-VA-TR-110, SO-VA-TR-114, SO-VA-TR-115 e SO-VA-TR-116. Il piezometro SO-VA-AM-119 presenta le maggiori criticità con concentrazioni di boro costantemente molto elevate intorno ai 6000 µg/L. Le acque di questo piezometro sono state classificate attraverso il diagramma di Piper acque solfato clorurato alcaline con una forte presenza di cloruri.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 49

Nelle mappe di distribuzione dei dati puntuali e soprattutto nel grafico 5.7 viene evidenziato una situazione molto simile nella fase ante operam e in quella in corso d'opera. L'area maggiormente critica è tra il Comune di Trebisacce e Amendolara.

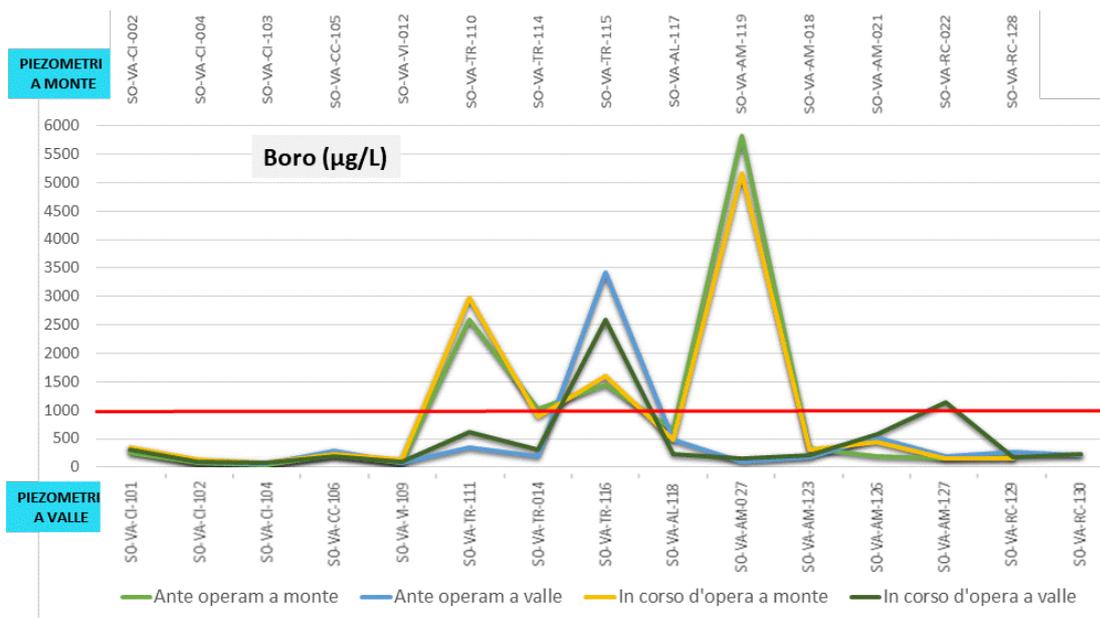
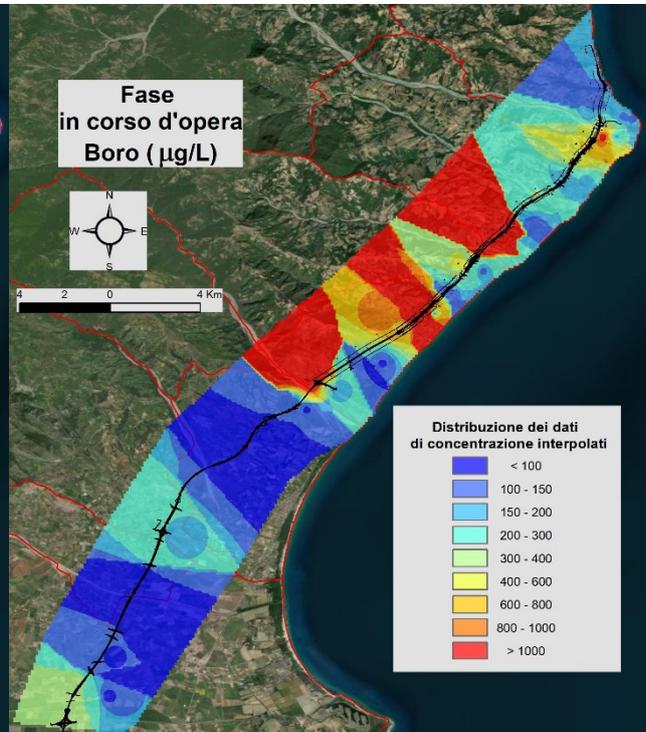
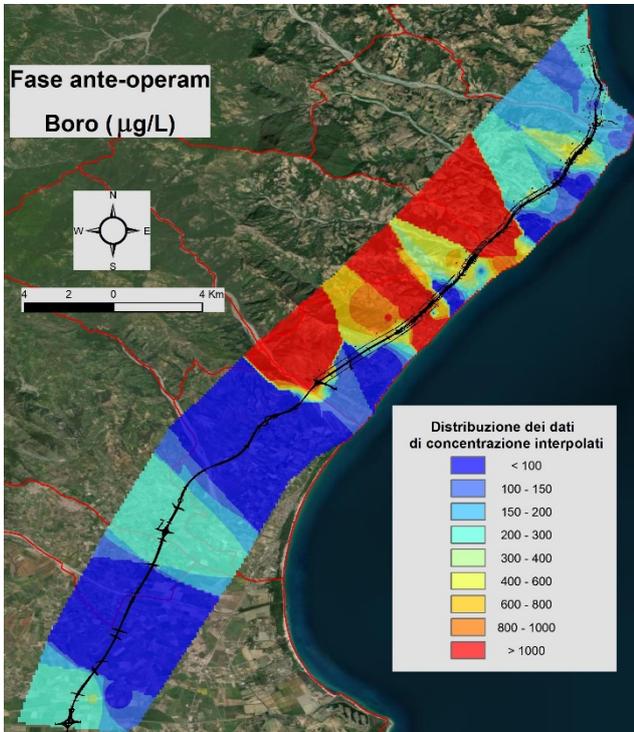
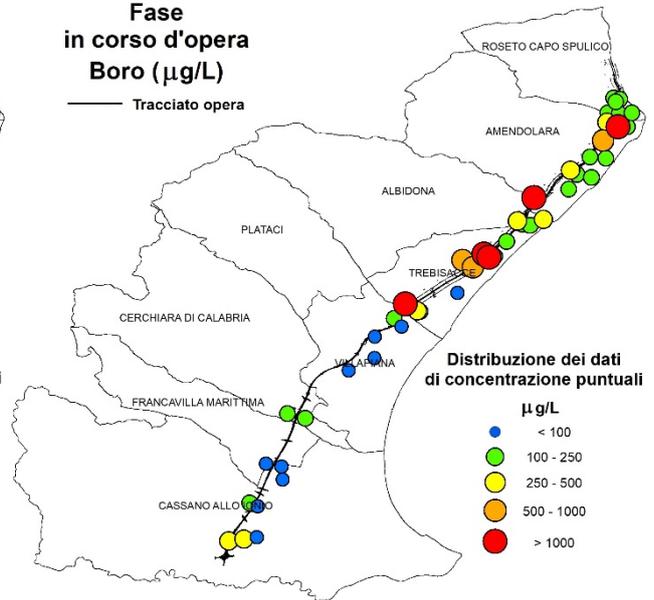
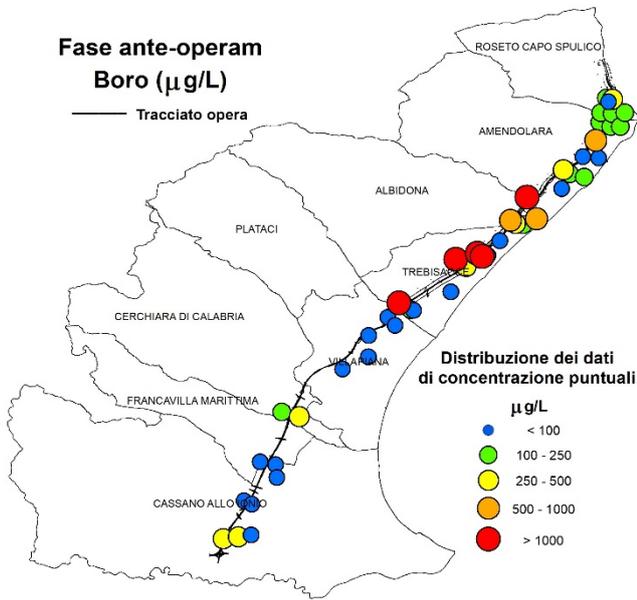


Grafico 5.7. Confronto della distribuzione delle concentrazioni medie tra monte e valle dell'asse viario e tra fase ante operam e in corso d'opera.

Nelle mappe di distribuzione dei dati interpolati, viene data una distribuzione probabilistica della concentrazione del boro nelle falde acquifere che sostanzialmente non cambia nel tempo come è possibile osservare dal confronto delle due mappe. Tutto ciò insieme al fatto che la maggior parte delle anomalie si trovano a monte, fa escludere un coinvolgimento dei lavori di costruzione dell'asse viario sulle concentrazioni di boro nelle falde acquifere.



						
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)			Data 12/06/2024	Pag. 51

6. Analisi statistica multivariata dei dati

L'analisi fattoriale è stata utilizzata per indagare le complesse relazioni esistenti tra le variabili, che normalmente non sono chiare mediante una semplice analisi di correlazione (Fig. 6.1). Per il calcolo statistico, agli elementi con concentrazioni al di sotto del limite di rilevabilità strumentale (DL) è stato assegnato un valore corrispondente al 50% del loro limite di rilevabilità.

L'analisi fattoriale è servita fundamentalmente a identificare i diversi gruppi di elementi chimici che presentano approssimativamente lo stesso comportamento geochemico nel mezzo indagato. I diversi fattori ottenuti sono stati studiati e interpretati in funzione della loro ipotetica origine (naturale, antropica o mista).

	pH	Conducibilità specifica	O ₂	Residuo fisso a 180°C	HCO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Al	Fe	Mn	B	Na
pH	1														
Conducibilità specifica	,192	1													
Ossigeno disciolto	,000	-,183	1												
Residuo fisso a 180°C	-,184	,996	-,175	1											
Bicarbonati	-,094	,237	-,525	,257	1										
Fluoruri	,194	,680	-,265	,680	,489	1									
Cloruri	-,171	,985	-,133	,992	,211	,656	1								
Nitriti	-,317	,059	-,625	,045	,426	,659	,001	1							
Azoto Nitrico	,007	,038	,453	,026	-,103	-,075	,053	-,069	1						
Solfati	-,219	,968	-,146	,962	,163	,614	,928	,031	-,016	1					
Alluminio	,103	,203	-,195	,230	,745	,643	,224	,616	-,109	,109	1				
Ferro	-,316	-,008	-,427	,015	,532	,297	,027	,314	-,162	-,105	,680	1			
Manganese	-,327	,112	-,615	,109	,235	-,058	,087	,014	-,178	,089	-,101	-,023	1		
Boro	-,084	,854	-,249	,867	,565	,844	,849	,348	-,083	,794	,647	,322	-,019	1	
Sodio	-,158	,982	-,141	,987	,219	,702	,98	,065	,003	,943	,268	,045	,016	,887	1

Tabella 6.1 Matrice di correlazione dei dati.

L'analisi fattoriale in R mode è stata eseguita per determinare le possibili relazioni esistenti tra la distribuzione dei singoli analiti e le caratteristiche idrogeochemiche delle acque sotterranee, i fenomeni di arricchimento/impoverimento legati alle variazioni chimico-fisiche, alle condizioni ambientali o alle fonti antropiche. L'analisi fattoriale in R mode è stata eseguita su una matrice contenente 15 variabili. Per facilitare l'interpretazione dei risultati è stata utilizzata la rotazione Varimax, poiché è una rotazione ortogonale che minimizza il numero di variabili che hanno un carico elevato su ciascun fattore, semplificando così l'interpretazione. La tabella 6.2 elenca le soluzioni a quattro fattori accettate insieme ai carichi fattoriali ruotati. Questa soluzione rappresenta l'82,64% della varianza totale. La tabella 6.2 mostra anche i loadings associati alle variabili e le percentuali di varianza rappresentate per le quattro associazioni fattoriali individuate.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 52

Gli elementi con loadings superiori a 0,5 sono considerati come membri rappresentativi di ciascuna associazione risultante dal modello fattoriale scelto. L'associazione degli elementi F1 (Conducibilità, Residuo fisso, Sodio, Cloruri, Solfati, Boro, Fluoruri) rappresenta il 38,6% della variabilità dei dati mentre l'associazione F2 (Alluminio, Ferro, Bicarbonati, Nitriti) rappresenta il 19,1% di variabilità dei dati; le associazioni fattoriali F3 (Manganese e con comportamento opposto Ossigeno disciolto e Azoto nitrico) e F4 (Nitriti) rappresentano rispettivamente il 15,8% e il 9,1% della variabilità dei dati. In ciascuna associazione gli elementi sono elencati con loadings decrescenti.

F1		F2		F3		F4			
Conducibilità specifica	.991	Alluminio	.921	Manganese	.899	Nitriti	.876		
Residuo fisso a 180°C	.990	Ferro	.810	Bicarbonati	.405	Alluminio	.402		
Sodio	.988	Bicarbonati	.805	Nitriti	.271	Fluoruri	.339		
Cloruri	.981	Nitriti	.565	Conducibilità specifica	-.077	Ferro	.177		
Solfati	.969	Fluoruri	.418	Residuo fisso a 180°C	-.070	Boro	.059		
Boro	.852	Boro	.318	Fluoruri	-.069	pH	.011		
Fluoruri	.698	Sodio	.081	Solfati	-.065	Sodio	-.025		
Alluminio	.196	Residuo fisso a 180°C	.055	Boro	-.057	Manganese	-.035		
Bicarbonati	.175	Cloruri	.042	Cloruri	-.028	Solfati	-.063		
Nitriti	.066	Conducibilità specifica	.033	pH	-.019	Conducibilità specifica	-.063		
Azoto Nitrico	.043	pH	-.031	Ferro	-.010	Residuo fisso a 180°C	-.070		
Manganese	.030	Azoto Nitrico	-.053	Sodio	-.010	Cloruri	-.076		
Ferro	-.061	Solfati	-.060	Alluminio	.000	Bicarbonati	-.128		
Ossigeno disciolto	-.114	Manganese	-.126	Azoto Nitrico	-.521	Azoto nitrico	-.136		
pH	-.151	Ossigeno disciolto	-.301	Ossigeno disciolto	-.871	Ossigeno disciolto	-.204		
Componente	Autovalori iniziali			Pesi dei fattori non ruotati			Pesi dei fattori ruotati		
	Totale	% di varianza	% cumulata	Totale	% di varianza	% cumulata	Totale	% di varianza	% cumulata
1	6.80	42.48	42.48	6.80	42.48	42.48	6.18	38.63	38.63
2	3.16	19.75	62.24	3.16	19.75	62.24	3.06	19.11	57.73
3	2.10	13.13	75.36	2.10	13.13	75.36	2.53	15.81	73.54
4	1.16	7.28	82.64	1.16	7.28	82.64	1.46	9.10	82.64

Metodo di estrazione: Analisi componenti principali.

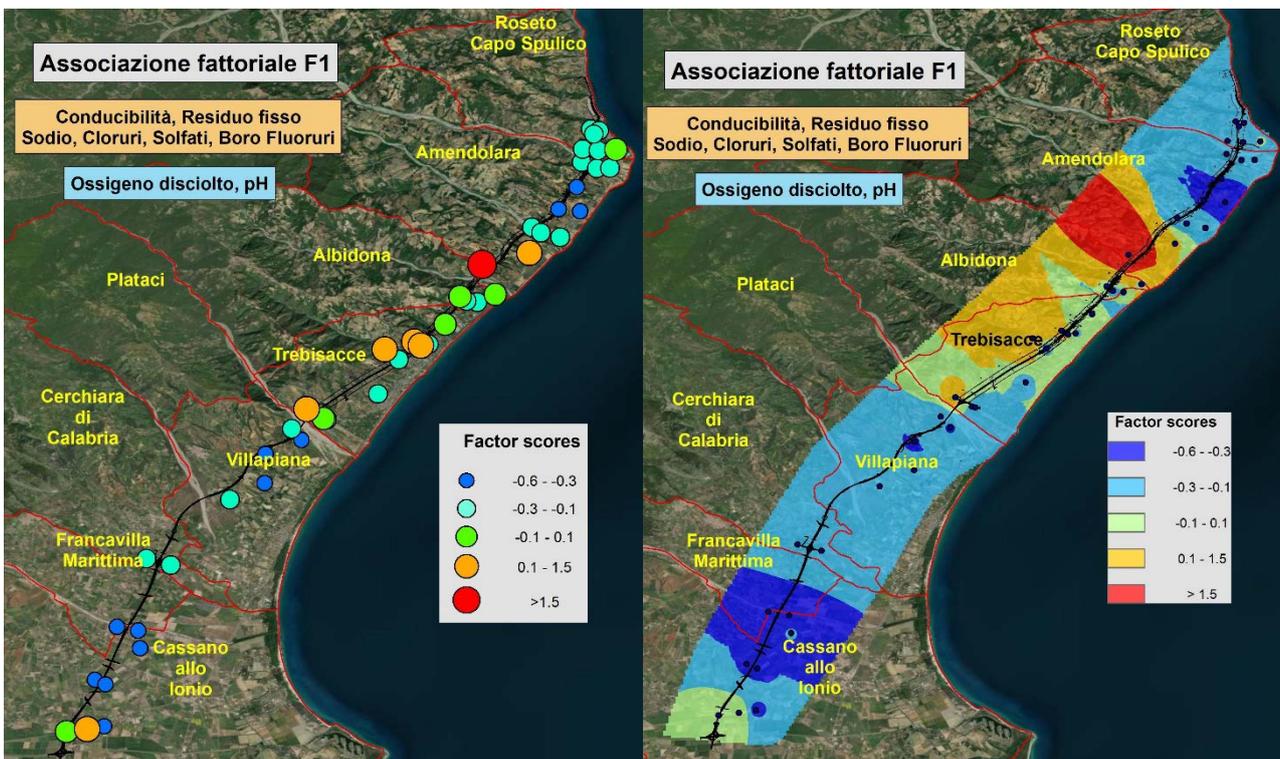
Metodo rotazione: Varimax con normalizzazione di Kaiser.

La rotazione ha raggiunto i criteri di convergenza in 5 iterazioni.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 53

Le mappe delle distribuzioni puntuali e interpolate dei factor scores delle quattro associazioni fattoriali sono molto utili per visualizzare le correlazioni spaziali esistenti tra caratteristiche delle acque, processi fisico-chimici in atto e/o eventuali fenomeni di inquinamento dell'ambiente superficiale in ciascun sito campionato.

L'associazione fattoriale F1 che accomuna i parametri conducibilità elettrica, residuo fisso, sodio, cloruri, solfati, boro e fluoruri può essere interpretata come l'effetto di salinizzazione del corpo idrico. Il problema della salinizzazione è un fenomeno ben noto nello strato superficiale dei suoli presenti nell'area indagata. Il fenomeno è da attribuire ad una serie di cause naturali (subsidenza relativa) ed antropiche (eccessivo emungimento dei pozzi presenti nell'area legati ad un sistema agricolo intensivo) che favoriscono l'ingressione di acque marine con conseguente compromissione delle potenzialità produttive dei suoli. Il degrado dei suoli per incremento della salinità interessa sia la Piana di Sibari che le aree collinari.



					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 54

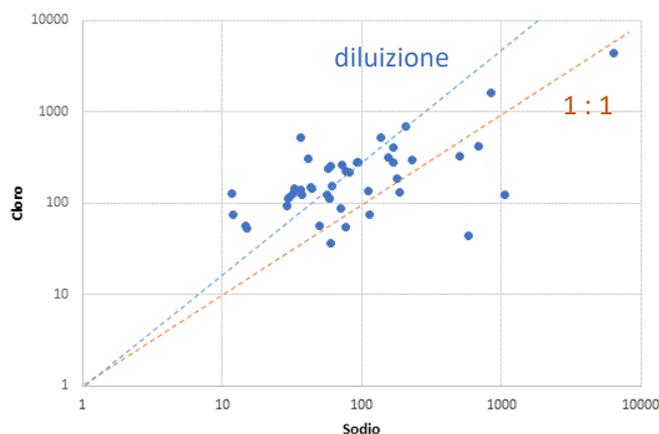


Figura 8.1 Correlazione tra i contenuti di sodio e cloruro. Sono indicati gli andamenti associati a processi di diluizione e dissoluzione di salgemma (Na:Cl=1:1).

L'analisi del chimismo degli ioni maggiori indica che il fenomeno di salinizzazione dei corpi idrici condiziona una serie di processi, tra cui gli scambi con le matrici solide, determinando effetti diretti sulla concentrazione di alcune specie in soluzione. Dal diagramma di correlazione tra lo ione sodio e cloruro (Fig. 8.1) si nota come i campioni di acque sotterranee di quest'area abbiano una distribuzione lineare intermedia tra l'andamento associato ad un processo di diluizione di acqua di mare e il ruolo della dissoluzione di salgemma, rappresentato dalla correlazione a rapporto molare costante Na/Cl=1. Ciò conferma che i sali di deposizione marina potrebbero avere un ruolo nel processo di salinizzazione.

Le continue oscillazioni poi delle concentrazioni dei vari analiti, tra valori anomali e valori più bassi, sono, con molta probabilità, connesse alle variazioni dei livelli piezometrici. Infatti, riportando i dati di concentrazione del sodio in funzione delle letture freatiche nel piezometro SO-VA-AM-119, osserviamo una stretta correlazione tra le due variabili (Fig. 8.2).

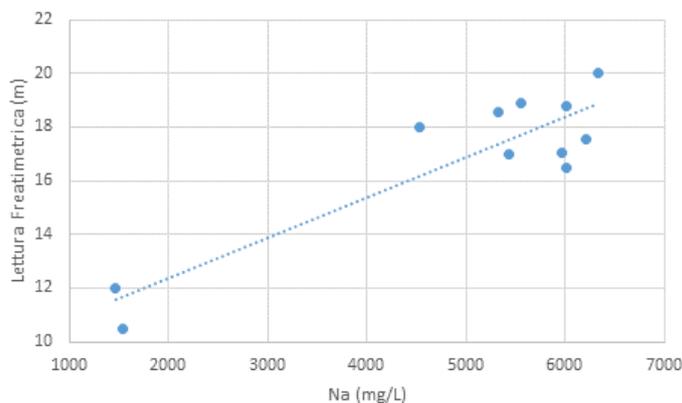


Figura 8.2 Variazioni delle concentrazioni di sodio in funzione del livello dell'acqua nella falda.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 55

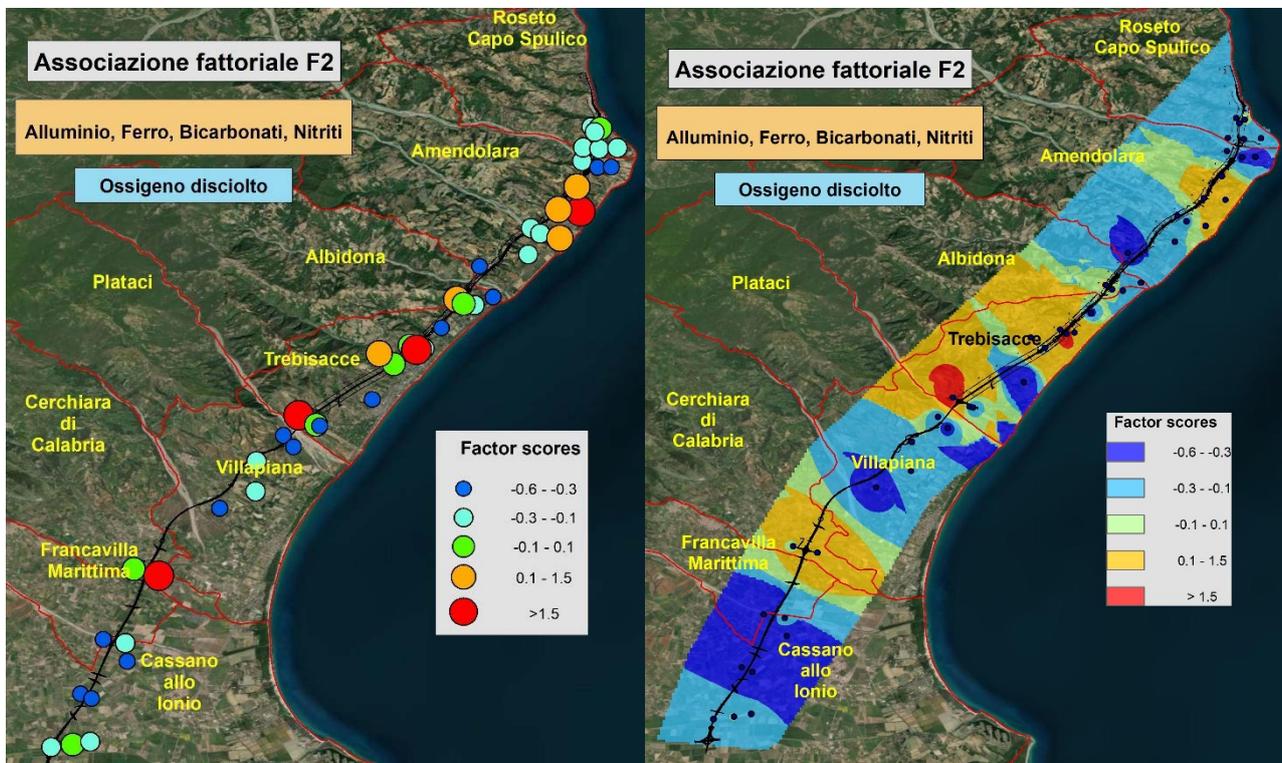
L'insieme dei dati indica quindi che il fenomeno della salinizzazione ha un ruolo dominante nelle acque sotterranee; sia attraverso i processi di mescolamento, che tramite deposizione e lisciviazione di sali di origine marina, così come una qualche incidenza ha l'evaporazione delle acque prima della loro infiltrazione nel suolo. Tutto ciò ha notevoli implicazioni sulla concentrazione anche di altri analiti. Questi processi potrebbero quindi giustificare le concentrazioni di una serie di specie chimiche eccedenti i valori soglia del D.Lgs. 152/2006 (fluoruri, boro e solfati), senza la necessità di invocare sorgenti antropiche di inquinamento.

Relativamente ai fluoruri le concentrazioni misurate durante le varie fasi di monitoraggio vanno da un minimo al di sotto del limite di rilevabilità strumentale ad un valore massimo di 10,7 ug/L misurato nel piezometro SO-VA-AM-119 ad Amendolara. È una concentrazione elevata anche se non eccessiva se consideriamo che il limite di legge per le acque minerali imbottigliate è di 5 ug/L. Le concentrazioni variano nelle acque in maniera continua soprattutto nei Comuni di Amendolara e Trebisacce, ma anche nel Comune di Cassano allo Jonio. Il verificarsi dell'alternanza di valori anomali e valori normali è legato ai processi di dissoluzione/precipitazione, scambio ionico, adsorbimento/desorbimento, evaporazione e miscelazione che avviene soprattutto nelle falde del tratto collinare. L'analisi multivariata dei dati ha messo in evidenza anche una relazione tra acque sotterranee ad alto contenuto di F e pH alcalino e nitriti tra Trebisacce e Villapiana e a Cassano allo Jonio. Non è da escludere l'influenza in quest'ultimo caso dell'utilizzo dei fertilizzanti.

Per quanto riguarda i solfati, soprattutto nell'area tra Trebisacce e Amendolara sono stati misurati valori di concentrazione eccessivamente elevati. Tuttavia, non ci sono indizi che le operazioni di realizzazione dell'opera abbiano influenzato in qualche modo le loro concentrazioni nelle acque sotterranee. La presenza di acque e terreni aggressivi (per la presenza di solfati in concentrazioni anomale) era già stata segnalata in fase progettuale in uno studio finalizzato a valutare le classi di esposizione e di durabilità per il calcestruzzo. Tali anomalie erano distribuite lungo tutto il tracciato, sia nel settore di pianura che nel tratto collinare.

L'associazione fattoriale F2 alluminio, ferro, bicarbonati, nitriti, e con comportamento antitetico l'ossigeno disciolto è esplicativa delle condizioni ossido-riduttive dei corpi idrici.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 56



Le caratteristiche ossido-riduttive dei corpi idrici rivestono un ruolo importante nel ciclo di elementi chimici caratterizzati da più stati di ossidazione. Nel caso delle acque analizzate si è visto che la componente di origine marina ha un ruolo dominante nel determinare le caratteristiche del soluto per una serie di elementi. In particolare, queste acque hanno un elevato contenuto in solfato che può ridursi in presenza di materia organica con produzione di idrogeno solforato e produzione di ione bicarbonato. Lo scrivente non sa se durante le fasi di campionamento è stata riscontrata la presenza di idrogeno solforato, ma, durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici per la progettazione dell'opera, in fase di perforazione, si sono avute evidenze di presenza di gas nel sottosuolo sia nella Piana di Sibari che nel tratto collinare. In particolare, durante l'esecuzione di diversi sondaggi è stato incontrato gas (idrogeno solforato H_2S e metano CH_4), in concentrazioni elevate oltre le soglie di allarme.

Ciò suggerisce che alcune porzioni dell'acquifero hanno condizioni anossiche o prossime all'anossia, con attività microbica legata a batteri solfato-riduttori. Il ruolo importante della materia organica è indicato anche dalle concentrazioni misurate in alcuni piezometri di ione bicarbonato, intorno ai 1000 mg/l. Valori così elevati di concentrazione sono giustificabili solo attraverso processi di degrado (ossidazione) e respirazione della materia organica con produzione di CO_2 gassoso, trasferimento alla fase acquosa, produzione di acido carbonico e dissociazione a formare ione bicarbonato. L'aumento di CO_2 in fase acquosa ha come conseguenza un aumento della acidità delle acque. I valori di pH sono poi prontamente tamponati e riportati verso condizioni di neutralità da parte dei carbonati presenti rappresentando un ulteriore processo di dissoluzione per le litologie calcaree e rilascio di altre specie, in particolare ferro, alle acque.

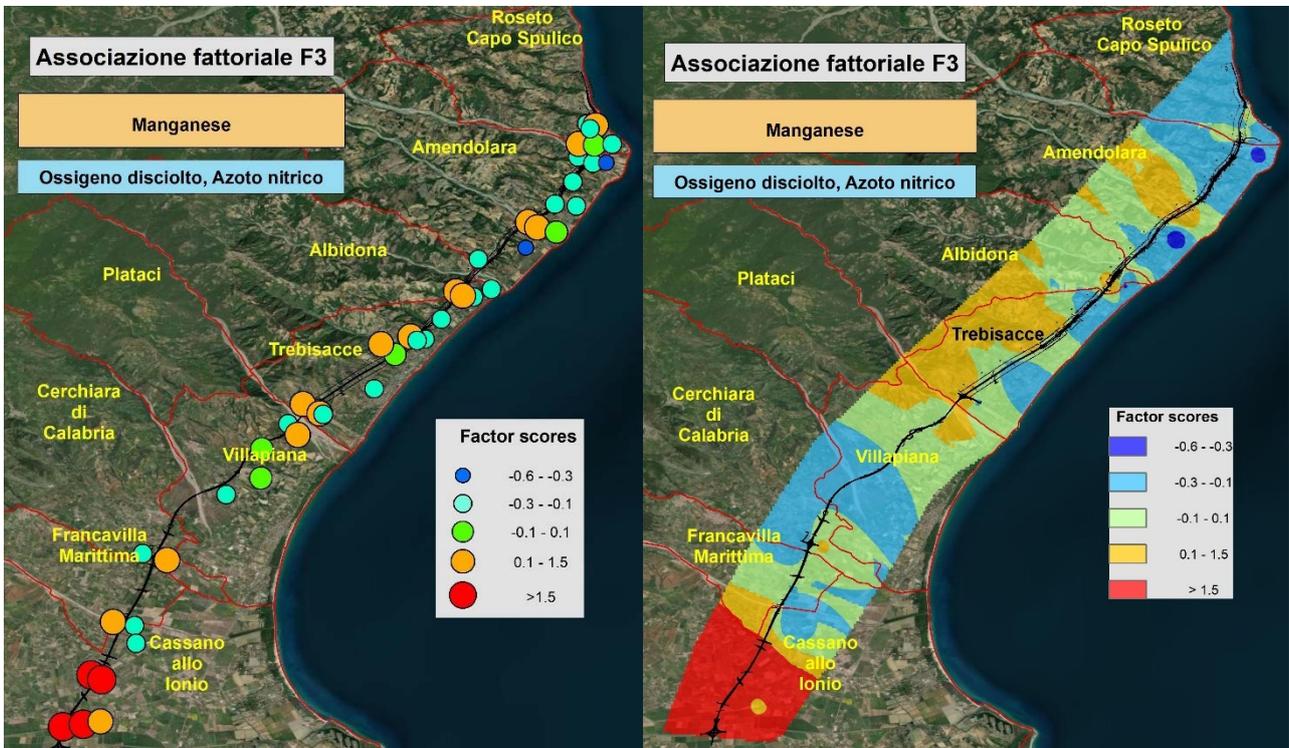
					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 57

Le variazioni nel contenuto di sodio associato ai fenomeni di salinizzazione hanno implicazioni anche sul ciclo dell'alluminio e sul suo rilascio dai siti di scambio alla fase acquosa. Ma anche il ciclo del ferro determina la distribuzione tra acque e matrice solida di una serie di elementi in tracce, tra cui anche l'alluminio rappresentato da idrossidi di Al ed in parte adsorbito su idrossidi di ferro. Le variazioni di salinità hanno effetti importanti sul ciclo del ferro. Infatti, è probabile che il ferro, in queste acque, si trovi prevalentemente sotto forma di colloidali. I processi di flocculazione-ridissoluzione (controllati dalla salinità, dalla variazione delle condizioni ossido-riduttive e dal ruolo della materia organica), così come il ruolo della riduzione del solfato e la formazione di solfuri generano un complesso ciclo del ferro nel corpo idrico. Queste considerazioni potrebbero essere rafforzate dai risultati di un esame speditivo eseguito dal punto di vista microbiologico per verificare la presenza nelle falde, in associazione ai flocculi, di batteri che fanno precipitare il ferro e di batteri solfato-riduttori.

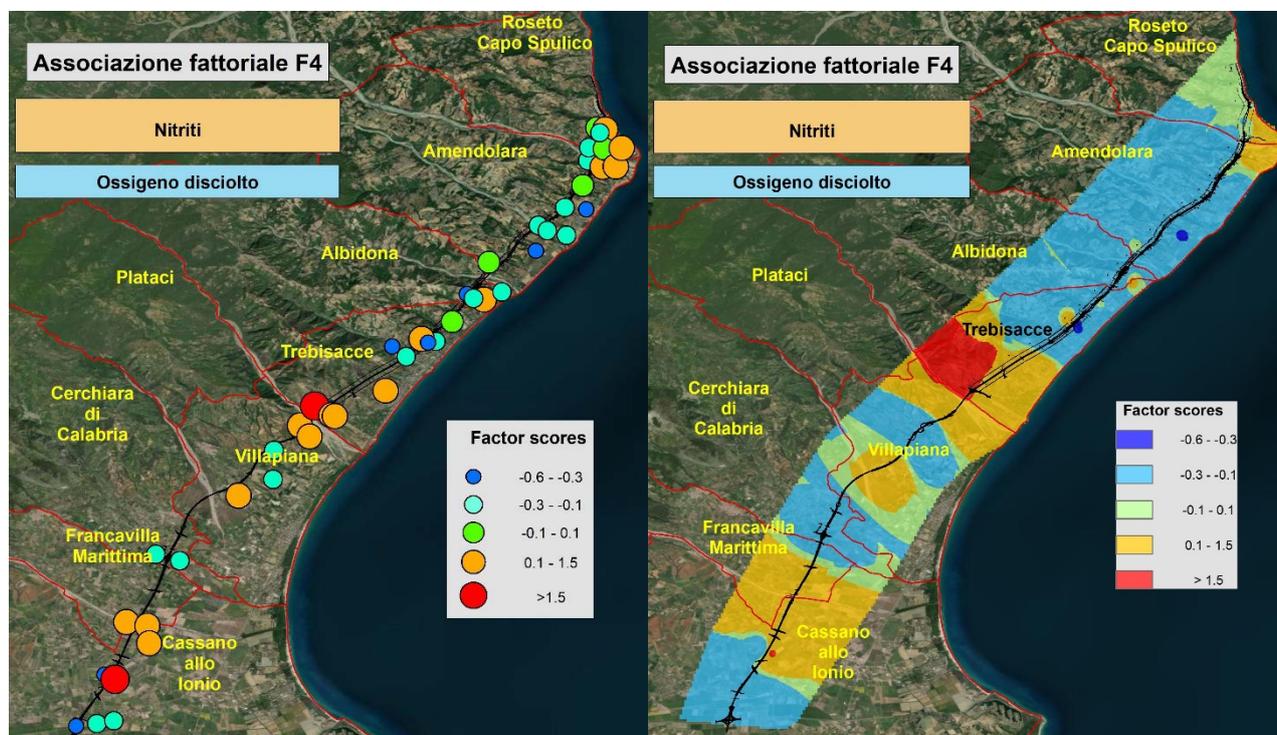
La distribuzione dei factor scores dell'associazione fattoriale F3 (manganese e con comportamento contrario l'ossigeno disciolto) presenta valori elevati nei Comuni di Cassano allo Jonio, Villapiana, Amendolara e Trebisacce. L'analisi multivariata dei dati suggerisce che, nelle acque di falda in queste aree, il manganese sia presente prevalentemente come specie disciolta Mn^{2+} o $MnHCO_3^+$. L'analisi fattoriale suggerisce che la sua concentrazione nelle acque varia in maniera inversamente proporzionale alla concentrazione di ossigeno disciolto in esse.

Le concentrazioni di manganese (Mn) e ferro (Fe), sono direttamente correlate alle reazioni redox. Entrambi sono più o meno insolubili nel loro stato ossidato e quindi sono presenti nelle acque sotterranee solo in condizioni riducenti. Negli ambienti anossici Mn e Fe si possono trovare in concentrazioni elevate, perché vengono rilasciati dai rispettivi ossidi, comunemente presenti nella matrice acquifero. Nell'area oggetto di studio sembra che le concentrazioni di Mn e Fe siano influenzate in alcuni casi da condizioni fisico-chimiche diverse. Questa discrepanza può esistere perché in condizioni di pH delle acque sotterranee vicine alla neutralità, le concentrazioni di Mn^{2+} possono essere influenzate da altri fattori come la complessazione con ioni bicarbonato quando presenti ad alta concentrazione.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 58



L'associazione fattoriale F4 (nitriti in contrapposizione con ossigeno disciolto) rappresenta solo il 9,1% della variabilità totale dei dati. Vale a dire che nell'ambito dei fenomeni presenti non è certo quello con un peso maggiore. I factor scores più elevati si osservano nelle aree di Trebisacce, Roseto Capo Spulico, Villapiana, Francavilla e Cassano allo Ionio.



Questa associazione fattoriale è sicuramente legata alle pressioni antropiche presenti nell'area oggetto di studio. Va detto che durante le fasi di monitoraggio dei corpi idrici svolte in questi anni, mentre i nitriti hanno superato diverse volte il valore di concentrazione limite imposto dal D.L. 152/2006 (0,5 mg/L), non sono mai state rilevate concentrazioni di nitrati superiori al valore di concentrazione limite (50 mg/L). La presenza di nitriti e non di nitrati in concentrazioni anomale induce a pensare che la denitrificazione sia il processo preponderante in atto nelle falde acquifere di queste aree. Come messo in evidenza dall'analisi dei dati del monitoraggio la presenza dei nitriti è inversamente correlata alla concentrazione di ossigeno disciolto (Tab. 6.1 indice di correlazione = -0,625). Il processo di denitrificazione può avvenire soltanto in condizioni anossiche. I batteri, nei loro processi metabolici, utilizzano i nitrati, in condizioni anaerobiche, come accettori di elettroni; affinché ciò accada è necessario che ci sia una fonte prontamente disponibile di C oppure una specie ridotta (Fe^{2+} , Mn^{2+} , S^{2-}) che possa servire come donatore di elettroni. In base ai dati analizzati, sembra che queste condizioni si verifichino nei corpi idrici studiati.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 60

7. Conclusioni

L'insieme dei dati relativi ai campionamenti delle acque sotterranee durante le varie fasi di monitoraggio condotte dal mese di luglio 2019 al mese di dicembre 2023 è stato attentamente analizzato e posto in relazione con i valori soglia del D.Lgs. 152/2006. I dati di concentrazione dei vari parametri analizzati sono stati elaborati attraverso metodi statistici innovativi e cartografati al fine di visualizzare meglio la loro distribuzione e di rendere più agevole il confronto tra lo stato ante operam e quello in corso d'opera. Lo studio si è soffermato essenzialmente sull'analisi di quei parametri che più volte hanno manifestato valori di concentrazione superiori ai valori soglia del D.Lgs. 152/2006.

Premesso che le caratteristiche geologiche dell'area oggetto di studio sono estremamente complesse e le tipologie di falda freatica lungo l'asse dell'opera sono diverse, in mancanza di studi scientifici sulla geochimica delle acque sotterranee in quest'area, abbiamo utilizzato i dati disponibili relativi alle analisi chimiche delle acque campionate nella fase ante operam al fine di individuarne le varie facies geochimiche presenti. Ovviamente tali dati non avevano come finalità la caratterizzazione geochimica delle falde acquifere e mancano quindi di alcuni parametri, ma hanno comunque consentito di delineare un quadro sufficientemente chiaro delle condizioni presenti nelle acque di falda. Le facies geochimiche presenti sono molto varie: si va da acque solfato clorurate alcaline con una spiccata componente in cloruri (soprattutto nei Comuni di Amendolara e Trebisacce) ad acque bicarbonate terrose ad acque con facies miste.

Le maggiori criticità si manifestano perlopiù nel tratto collinare che va da Trebisacce a Roseto Capo Spulico, ma non mancano manifestazioni anomale anche a sud nella Piana di Sibari soprattutto nel Comune di Cassano allo Jonio. L'analisi multivariata dei dati è stata molto utile al fine di comprendere i principali fenomeni naturali ed eventualmente non naturali che governano il chimismo delle acque.

Nel dettaglio, questo studio ha confermato la presenza di analiti nelle acque sotterranee della area indagata che superano i corrispondenti valori di soglia del D.Lgs. 152/2006. Queste anomalie sono costituite essenzialmente da composti inorganici quali fluoruri, solfati, nitriti, alluminio, boro, ferro e manganese.

I risultati raggiunti possono essere sintetizzati nei seguenti punti:

- 1) Per completezza dell'informazione, vanno segnalati valori anomali di alcuni parametri verificatisi un'unica volta o sporadicamente. È il caso dell'antimonio (Sb) che in fase ante operam e precisamente nel maggio del 2019 ha fatto rilevare un valore di concentrazione di 9,5 ug/L nelle acque della sorgente SO-SO-TR-003. In seguito, le concentrazioni sono sempre risultate inferiori al limite di rilevabilità strumentale (1 ug/L). Vista l'eccezionalità di questo evento, non è possibile analizzarlo né è il caso di farlo ammenoché in futuro non dovesse verificarsi nuovamente.
- 2) Tra i composti organici normati dal D.Lgs. 152/2006, le uniche anomalie riscontrate sono relative ai trialometani nel pozzo SO-PO-RC-010 a partire dall'8 giugno 2021. In particolar modo tribromometano e dibromoclorometano sono risultati presenti anche nelle ultime campionature dell'acqua del suddetto pozzo. Va comunque detto che, se sommiamo tra di loro i valori di concentrazione più elevati riscontrati nel pozzo SO-PO-RC-010, siamo ben al di sotto dei 30 µg/l quindi della soglia di potabilità

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 61

dell'acqua. Concentrazione anomala di triclorometano è stata anche riscontrata nei piezometri SO-VA-AM-123 e SO-VA-RC-129 nelle ultime analisi eseguite; anche in questo caso i valori di concentrazione sono comunque bassi (< 1,6 ug/L), ovviamente si continuerà a monitorare tali siti con attenzione. Tale dato non desta comunque preoccupazione e non è in alcun modo imputabile ai lavori in corso; ricordiamo, infatti, che i trialometani si formano nell'acqua destinata al consumo umano soprattutto come risultato della reazione del cloro con la materia organica presente naturalmente nelle acque. Essi sono quindi spesso presenti in queste concentrazioni anche nelle acque di rubinetto a causa del processo di clorazione che subiscono. Nel caso specifico, il punto di campionamento SO-PO-RC-010 altro non è che un rubinetto di acqua potabile erogata dalla società SORICAL che, con nota del 17/02/2022 inviata allo scrivente e per conoscenza ad altri enti e istituzioni locali, ha dichiarato di essere ben a conoscenza di tale problematica e che essa è legata "al dosaggio dell'agente disinfettante che giocoforza, oltre alla richiesta azione microbica, dà luogo alla formazione di tali composti".

- 3) Sono sette i parametri che hanno invece mostrato, durante le varie fasi del monitoraggio, valori di concentrazione spesso o molto spesso superiori ai limiti imposti dal D.Lgs. 152/2006. Tali analiti sono: **Fluoruri, Nitriti, Solfati, Alluminio, Ferro, Manganese e Boro**. Come già detto nei paragrafi precedenti, tali sostanze sono presenti naturalmente nelle acque e possono esserlo, sempre in maniera del tutto naturale, anche in concentrazioni ben al di sopra dei limiti imposti dalla legge.
- 4) Come specificato dettagliatamente nel capitolo 6, il fenomeno della salinizzazione gioca un ruolo dominante in queste acque sotterranee; sia attraverso i processi di mescolamento, che tramite deposizione e lisciviazione di sali di origine marina, così come una qualche incidenza ha l'evaporazione delle acque prima della loro infiltrazione nel suolo. Questi processi giustificano le concentrazioni di una serie di specie chimiche eccedenti i valori soglia del D.Lgs. 152/2006 (**fluoruri, boro e solfati**), senza la necessità di invocare sorgenti antropiche di inquinamento. Il verificarsi dell'alternanza di valori anomali e valori normali è legato ai processi di dissoluzione/precipitazione, scambio ionico, adsorbimento/desorbimento, evaporazione e miscelazione che avviene soprattutto nelle falde del tratto collinare. L'analisi multivariata dei dati ha messo in evidenza anche una relazione tra acque sotterranee ad alto contenuto di **F e pH alcalino e nitriti** tra Trebisacce e Villapiana e a Cassano allo Jonio. Non è da escludere l'influenza in quest'ultimo caso dell'utilizzo dei fertilizzanti. Per quanto riguarda i **solfati**, soprattutto nell'area tra Trebisacce e Amendolara sono stati misurati valori di concentrazione eccessivamente elevati. Tuttavia, non ci sono indizi che le operazioni di realizzazione dell'opera abbiano influenzato in qualche modo le loro concentrazioni nelle acque sotterranee. La presenza di acque e terreni aggressivi (per la presenza di solfati in concentrazioni anomale) era già stata abbondantemente segnalata in fase progettuale in uno studio finalizzato a valutare le classi di esposizione e di durabilità per il calcestruzzo. In tale studio, le anomalie erano distribuite lungo tutto il tracciato, sia nel settore di pianura che nel tratto collinare.
- 5) Le naturali caratteristiche ossido-riduttive dei corpi idrici rivestono un ruolo importante nel ciclo di elementi chimici caratterizzati da più stati di ossidazione e quindi nella comprensione dei valori talvolta

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 62

anomali di **ferro e alluminio**. Come illustrato nel paragrafo 6, alcune porzioni dell'acquifero hanno talvolta condizioni anossiche o prossime all'anossia, con attività microbica legata a batteri solfato-riduttori. Il ruolo importante della materia organica è indicato anche dalle concentrazioni misurate in alcuni piezometri di ione bicarbonato, intorno ai 1000 mg/l. Le variazioni nel contenuto di sodio, inoltre, associato ai fenomeni di salinizzazione hanno implicazioni sia sul ciclo del ferro che dell'alluminio e sul rilascio di questi dai siti di scambio alla fase acquosa. Il ciclo del ferro determina inoltre la distribuzione tra acque e matrice solida di una serie di altri elementi in tracce, tra cui anche l'alluminio rappresentato da idrossidi di Al ed Al in parte adsorbito da idrossidi di ferro. È altamente probabile che il ferro, in queste acque, si trovi prevalentemente sotto forma di colloidi. I processi di flocculazione-ridissoluzione (controllati dalla salinità, dalla variazione delle condizioni ossido-riduttive e dal ruolo della materia organica), così come il ruolo della riduzione del solfato e la formazione di solfuri generano un complesso ciclo del ferro nel corpo idrico che ne giustifica le altalenanti concentrazioni nelle falde.

- 6) L'analisi multivariata dei dati (paragrafo 6) suggerisce che, nelle acque di falda in queste aree, il **manganese** sia presente prevalentemente come specie disciolta Mn^{2+} o $MnHCO_3^+$. Mostra, inoltre, che la sua concentrazione nelle acque varia in maniera inversamente proporzionale alla concentrazione di ossigeno disciolto in esse. Le concentrazioni di manganese (Mn) quindi sono direttamente correlate alle reazioni redox. Esso risulta più o meno insolubile nel suo stato ossidato e quindi è presente in concentrazioni talvolta anomale nelle acque sotterranee quando si verificano condizioni riducenti.
- 7) Le anomalie di nitriti sono una diretta conseguenza delle pressioni antropiche (attività agricole) presenti nell'area oggetto di studio. Durante le fasi di monitoraggio dei corpi idrici svolte in questi anni, mentre i nitriti hanno superato diverse volte il valore di concentrazione limite imposto dal D.L. 152/2006 (0,5 mg/L), non sono mai state rilevate concentrazioni di nitrati superiori al valore di concentrazione limite (50 mg/L). La presenza di nitriti e non di nitrati in concentrazioni anomale induce a pensare che la denitrificazione sia il processo preponderante in atto nelle falde acquifere di queste aree. Come messo in evidenza dall'analisi dei dati del monitoraggio la presenza dei nitriti è inversamente correlata alla concentrazione di ossigeno disciolto (Tab. 6.1 indice di correlazione = - 0,625). Il processo di denitrificazione può avvenire soltanto in condizioni anossiche e, sulla base dei dati analizzati, sembra che queste condizioni si verificano nei corpi idrici studiati.

In conclusione, la presenza anomala di questi analiti è giustificata dai fattori naturali presenti e che caratterizzano l'area, in particolare i processi di salinizzazione attivi e le litologie che ospitano i corpi idrici. **Tali anomalie sono da considerarsi quindi come geogeniche e sito-specifiche.** La variabilità in termini di concentrazione osservata per questi analiti è connessa con i fenomeni naturali che sono attivi nel sottosuolo in funzione dell'andamento della salinizzazione, delle variazioni delle caratteristiche ossidoriduttive del sistema e del ruolo della materia organica. Le condizioni al contorno che determinano queste dinamiche sono essenzialmente rappresentate dall'entità delle precipitazioni meteoriche e dalla loro infiltrazione nel suolo, dal mescolamento delle stesse con le acque saline presenti in profondità e da processi di evaporazione attivi.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 63

D'altro canto, il fatto che le anomalie siano indipendenti dai lavori di costruzione è ulteriormente testimoniato dal fatto che i valori di concentrazione anomali sono presenti perlopiù nei siti monitorati a monte dell'asse stradale e spesso erano già presenti nella fase ante operam.

Concludendo, possiamo affermare che, nel complesso, le variazioni composizionali nel tempo delle acque sotterranee studiate non sono affatto legate ai lavori in corso per la costruzione del terzo Megalotto della nuova SS 106 "Jonica", ma appaiono legate perlopiù a fenomeni naturali e le loro caratteristiche non si discostano in maniera significativa da quelle di ecosistemi indisturbati presenti in altre aree costiere simili della nostra Penisola.

					
2023.RA.001.00.SO.A	COMPONENTE: ACQUE SOTTERRANEE	DG41 – LAVORI DI COSTRUZIONE DEL 3° MEGALOTTO DELLA S.S. 106 JONICA, DALL'INNESTO CON LA S.S. 534 (km 365+150) A ROSETO CAPO SPULICO (km 400+000)		Data 12/06/2024	Pag. 64

8. Bibliografia

APAT, IRSA – CNR, 2003. Metodi Analitici per le Acque. Pubblicato da APAT in Manuali e Linee Guida 29/2003. ISBN 88-448-0083-7. https://www.irsas.cnr.it/wp/?page_id=5435

Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale, 2010. Piano gestione acque. <https://www.distrettoappenninomeridionale.it/index.php/pdg-acque-articolo>

DECRETO LEGISLATIVO 152/1999. <https://www.parlamento.it/parlam/leggi/deleghe/99152dl.htm>

DECRETO LEGISLATIVO 152/2006. Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152, "Norme in materia ambientale". Gazzetta Ufficiale n. 88 del 14-4-2006, Suppl Ord n. 96. <http://www.camera.it/parlam/leggi/deleghe/06152dl.htm>

DECRETO LEGISLATIVO 2 febbraio 2001, n. 31. Attuazione della direttiva 98/83/CE relativa alla qualità delle acque destinate al consumo umano. (GU Serie Generale n.52 del 03-03-2001 - Suppl. Ordinario n. 41). <https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/2001/03/03/001G0074/sg>

EPA/540/5-95/504. Low-Flow (Minimal Drawdown) Ground-Water Sampling Procedures. <https://www.epa.gov/remedytech/low-flow-minimal-drawdown-ground-water-sampling-procedures>

Jurado A. et al., 2017. Dynamics and emissions of N₂O in groundwater: A review. Science of the Total Environment 584–585 (2017) 207–218. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.127>

Lima A. et al., 2003. Multifractal IDW interpolation and fractal filtering method in environmental studies: an application on regional stream sediments of Campania Region (Italy). Applied Geochemistry 18, 1853-1865. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(03\)00083-0](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(03)00083-0)

Relazione geologica - S.S.106 Jonica: lavori di costruzione del 3° Megalotto dall'innesto con la S.S.534 (km 365+150) a Roseto Capo Spulico (km 400+000). <https://va.mite.gov.it/IT/Oggetti/Documentazione/64/1910?RaggruppamentoID=2%2C2&pagina=201>

UNI EN ISO 5667-3, 2004. Qualità dell'Acqua –Campionamento – Parte 3: Guida per la conservazione e il maneggiamento di campioni d'acqua. <https://store.uni.com/uni-en-iso-5667-3-2024>

WHO, 2017. World Health Organization. Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating First Addendum; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2017; ISBN 978-92-4-154995-0.