

INDAGINE PER LA DEFINIZIONE DEI VALORI DI
FONDO GEOCHIMICO NATURALE DEGLI
ELEMENTI PREVISTI DAL D.LGS. 152/06 (TAB.
2, ALL. 5 ALLA PARTE IV), RELATIVAMENTE AL
SITO DELLA DISCARICA DI RIFIUTI NON
PERICOLOSI IN LOCALITÀ CERRETO NEL
COMUNE DI ROCCASECCA (FR)



10 maggio 2016

Indagine per la definizione dei valori di fondo geochimico naturale degli elementi previsti dal D.lgs. 152/06 (tab. 2, all. 5 alla parte IV), relativamente al sito della discarica di rifiuti non pericolosi in località Cerreto nel Comune di Roccasecca (FR)

Rapporto finale

Hanno partecipato alle attività di campionamento, analisi ed elaborazione dei dati:

Dott.ssa Elisabetta Preziosi, Dott. Stefano Ghergo, Dott. Daniele Parrone, Dott. David Rossi, P.I. Domenico Mastroianni, Sig.ra Martina Rainaldi

I contributi al presente rapporto sono stati elaborati dai ricercatori e tecnologi dell'Istituto sopra citati e sono stati raccolti ed organizzati da *Elisabetta Preziosi*

Sommario

1. Premessa	2
2. Strategia di indagine	3
3. Area di Studio	4
3.1 Inquadramento geologico	6
3.2 Lineamenti idrogeologici	11
4. Metodologie di campionamento ed analisi	13
4.1 Geologia	13
4.2 Idrogeologia e geochimica	15
5. Risultati	24
5.1 Ricostruzione del modello geologico locale	25
5.2 Risultati relativi all'idrogeologia	28
5.3 Risultati relativi all'idrogeochimica	30
6. Conclusioni	49
7. Bibliografia	51

Annesso I: Raccolta completa dei dati

Annesso II: Procedure operative per il campionamento dei composti inorganici nel sito MAD (Località Cerreto, Roccasecca, FR)

Annesso III: Rete di Monitoraggio

1. Premessa

Ringraziamo la popolazione di Roccasecca e del territorio circostante per la grande disponibilità mostrata nei nostri confronti, che ha permesso un'efficiente raccolta delle informazioni di base. Ringraziamo inoltre il personale del Comune di Roccasecca, in particolare il Sindaco Dott. Giorgio e il Comandante del VVUU Angelo Ricci, per il fondamentale supporto fornito nel corso delle attività di campionamento. Ringraziamo infine il gestore dell'impianto di discarica in località Cerreto per la collaborazione fornita durante le indagini nell'impianto.

L'indagine è finalizzata alla definizione dei valori di fondo geochimico naturale dei parametri inorganici previsti dalla tabella 2 dell'allegato 5 del D.lgs. 152/06, con particolare riferimento a ferro, manganese, solfati ed arsenico, che hanno presentato in passato concentrazioni maggiori delle relative CSC nel sito in esame.

L'IRSA ha stipulato a seguito della Determina B5741 del 06/11/2009 una Convenzione con la Regione Lazio (prot. 12467 del 18/02/2010) finalizzata all'esecuzione di "Indagini preliminari ad ampio spettro nel territorio delle Regione Lazio per la definizione dei valori di fondo geochimico naturale di elementi potenzialmente tossici/nocivi, con particolare riferimento agli elementi considerati nelle leggi che codificano le procedure per la caratterizzazione e la bonifica dei siti contaminati e con priorità temporale nelle aree che saranno indicate dalla Regione Lazio stessa perché al loro interno risiedono siti contaminati per i quali sono previste procedure d'urgenza". Da tale Convenzione è scaturita la realizzazione di due indagini di dettaglio per i siti delle discariche dell'Inviolata (Guidonia, RM) e Malagrotta (Roma) per le quali sono stati proposti Valori di Fondo Naturale (VFN) per alcuni parametri inorganici che eccedevano i valori previsti dalle normative vigenti.

Con Determinazione G09473 del 30/7/2015 la Regione Lazio ha proceduto a ridefinire l'ordine di esecuzione degli studi riconoscendo al sito di Roccasecca la priorità in quanto impianto strategico per la gestione dei rifiuti nel Lazio. Il giorno 3/9/2015 si è svolto un tavolo tecnico nel quale sono state stabilite le attività da svolgere al fine di definire la situazione idrogeologica del sito nonché i valori di fondo da parte dell'IRSA-CNR. In data 5/11/2015 è stata convocata la prima conferenza de servizi per il riesame dell'AIA della Soc. MAD per il sito in questione. Il 18/11/2015 con nota 631664 la Regione Lazio chiede all'IRSA-CNR di dare avvio alle attività per il sito di Roccasecca. Le attività hanno avuto inizio il 12 gennaio 2016, con una riunione organizzativa presso il Comune di Roccasecca e un sopralluogo presso il sito.

Le attività di campo (censimento di punti d'acqua e campionamento delle acque sotterranee) si sono svolte dal 26 gennaio al 8 marzo 2016, mentre il 8 marzo e il 22 marzo sono stati prelevati campioni d'acqua da 4 punti spia all'interno dell'impianto MAD s.r.l.

2. Strategia di indagine

Lo fasi operative dell'indagine condotta sono state così articolate:

1. Indagine conoscitiva sulla base dei dati già disponibili: raccolta ed organizzazione di dati territoriali, cartografici, geologici, idrogeologici, chimici, cartografici, territoriali e dei riferimenti normativi, reperiti nella letteratura scientifica, nella letteratura grigia e presso le autorità locali e le ditte operanti in zona.
2. Definizione del modello concettuale dell'area di indagine: sulla base dei dati pregressi e bibliografici raccolti e finalizzata alla programmazione di dettaglio dell'attività di campagna. L'attività è stata ovviamente incentrata sulla caratterizzazione geologica, idrogeologica e geochemica della zona di studio.
3. Raccolta dati: sulla base del modello concettuale, definito preliminarmente ed aggiornato via via che i dati di campagna venivano raccolti, sono stati raccolti dati relativi alle seguenti tematiche:
 - Assetto geologico: la geologia dell'area è ben nota grazie alla recente pubblicazione del nuovo Foglio geologico 402 (Ceccano) scala 1:50.000. Sono stati effettuati dei sopralluoghi ad hoc per la verifica delle informazioni alla scala del sito in esame.
 - Idrogeologia: censimento di pozzi con misura dei livelli piezometrici per la definizione del campo dei potenziali idraulici delle acque sotterranee nell'area di indagine. Censimento e misura di alcune sorgenti alimentate dalla falda in studio. Misura dei livelli piezometrici nei punti spia dell'impianto.
 - Geochemica delle acque sotterranee: campionamento ed analisi delle acque di falda in pozzi, piezometri e sorgenti con determinazione in campo dei parametri chimico-fisici ed analisi in laboratorio degli elementi maggiori ed in tracce.
4. Organizzazione dei dati in una banca dati.
5. Elaborazione dei dati raccolti per la revisione del modello concettuale dell'area di studio e definizione degli assetti geologici, idrogeologici e geochemici. Definizione di una proposta di valori di fondo geochemico naturale.

3. Area di studio

L'area di studio include la porzione sud-orientale del territorio del Comune di Roccasecca e parte del territorio dei limitrofi Comuni di Colfelice e San Giovanni Incarico. Si tratta di un territorio dalla morfologia pianeggiante, alla sommità di un esteso terrazzo fluviale, delimitato dal Fiume Liri a Sud, dal Fiume Melfa ad Est e dal Rio Sottile- Rio Proibito a Ovest (Fig.1).

La discarica comprensoriale oggetto dell'indagine è sita in località Cerreto, in corrispondenza del margine meridionale del territorio comunale di Roccasecca, alla confluenza del Fiume Melfa con il Fiume Liri, e si estende per circa 45 ha sulla sommità meridionale di un terrazzo alluvionale.



Fig. 1: ubicazione dell'impianto oggetto di questo studio (immagine da Google Earth)

In particolare i riferimenti cartografici sono:

- Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 402 "Ceccano" (Fig. 2)
- CTR del Lazio alla scala 1:10.000, sezione 402080 Roccasecca Stazione e sezione 402070 Ceprano.

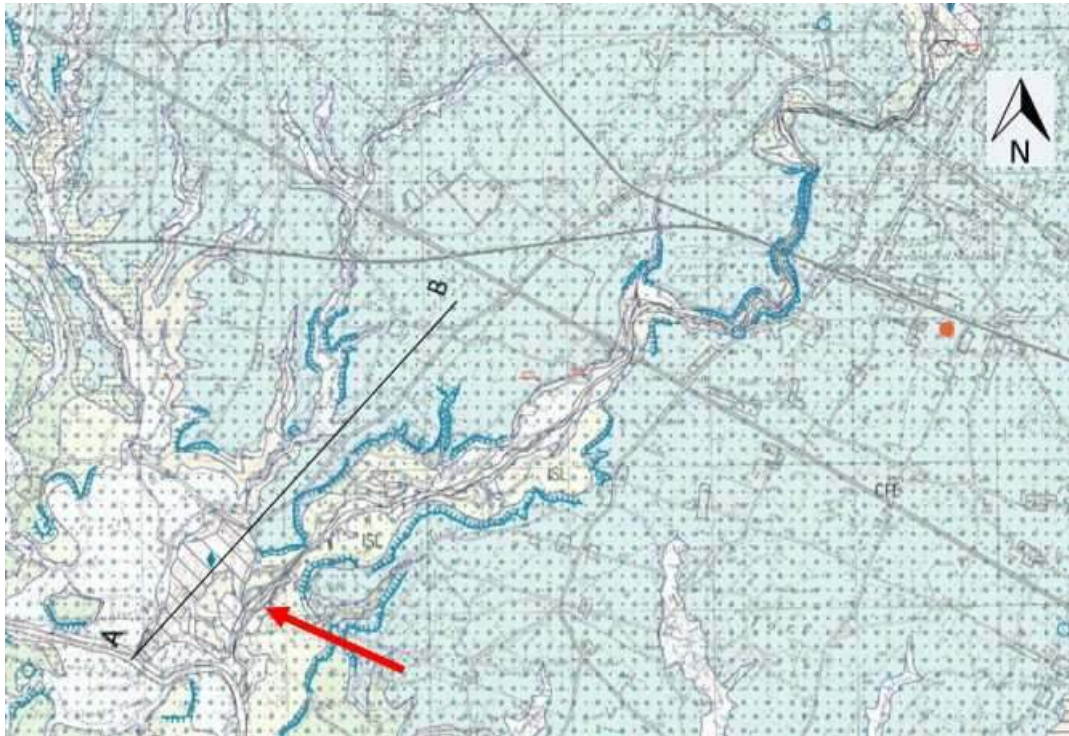


Fig. 2: Stralcio della Carta Geologica d'Italia 1:50.000 (Foglio 402- "Ceccano") relativo all'area di indagine. La freccia indica l'ubicazione dell'impianto, evidenziato dal sovrassegno obliquo. Il segmento AB indica la traccia della sezione idrogeologica di Fig.10

Dati Pluviometrici

Di seguito vengono riportati i dati pluviometrici di Roccasecca riferiti al periodo 2004 – 2013, forniti dall'Ufficio Idrografico e Mareografico della Regione Lazio (Tabella 1).

mm di pioggia ROCCASECCA - Anni 2004-2013 - Bacino: LIRI													
	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giù	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	
Anno 2004													
Tot. mens.	102.4	134.6	93.8	153.2	129	57.8	11.6	20	72.4	111.2	155.6	191.8	
G. piov.	11	9	8	17	16	7	3	1	6	7	12	16	Giorni piovosi: 113
Tot. annuo	1233.4												
Anno 2005													
Tot. mens.	53.8	101	136.8	97	22.2	75.4	20.4	99.8	118	138	190.6	174.2	
G. piov.	5	10	9	14	5	7	3	6	14	10	13	18	Giorni piovosi: 114
Tot. annuo	1227.2												
Anno 2006													
Tot. mens.	101	104.6	69.8	58.8	24	56.6	94.8	29.8	159.4	15.6	68.2	33.6	
G. piov.	6	11	11	12	4	6	9	4	8	1	6	5	Giorni piovosi: 83
Tot. annuo	816.2												
Anno 2007													
Tot. mens.	50	144	74.6	81	91.2	31.6	2.2	1.4	20	38.4	57.4	38	
G. piov.	7	15	7	11	9	4	1	1	4	7	8	7	Giorni piovosi: 81
Tot. annuo	629.8												
Anno 2008													
Tot. mens.	120	41.6	155.8	108.8	71.6	51.2	17.6	6.4	48	76.8	217.6	134.8	
G. piov.	11	5	14	12	6	9	5	1	8	6	11	11	Giorni piovosi: 99
Tot. annuo	1050.2												
Anno 2009													
Tot. mens.	194	61.4	130.4	148	41.2	130	79	75.6	132	100.6	120.2	167	
G. piov.	17	9	13	10	4	8	2	6	12	6	8	16	Giorni piovosi: 111
Tot. annuo	1379.4												
Anno 2010													
Tot. mens.	153.8	157.2	70.2	59	81.6	95	67.6	14.4	65.6	85.4	361.6	119	
G. piov.	15	15	9	11	9	6	10	2	8	9	19	12	Giorni piovosi: 125
Tot. annuo	1330.4												
Anno 2011													
Tot. mens.	57.6	69.4	221.2	44.2	65	47	47.4	0	25	90.6	51.4	99.6	
G. piov.	8	6	13	6	9	10	6		2	4	4	11	Giorni piovosi: 79
Tot. annuo	818.4												
Anno 2012													
Tot. mens.	37.6	135.4	4.8	93.8	84.2	5.2	19.4	11.2	177	196.4	136	115.4	
G. piov.	5	12	2	14	11	1	2	1	9	10	11	13	Giorni piovosi: 91
Tot. annuo	1016.4												
Anno 2013													
Tot. mens.	180.2	140.4	188.6	58.6	113.2	43.8	123	26.9	63.9	86.5	210	64.1	
G. piov.	15	10	15	6	15	5	13	3	7	6	14	3	Giorni piovosi: 112
Tot. annuo	1299.2												

Tabella 1: dati pluviometrici di Roccasecca dal 2004 al 2013 (Fonte: Regione Lazio - Ufficio Idrografico e Mareografico).

Si osserva che i mesi aridi hanno una precipitazione media di circa 72 mm ed i mesi più piovosi, da Ottobre a Febbraio, una precipitazione media di circa 116 mm. La precipitazione complessiva annua presenta valori compresi tra 630 mm (2007) e 1379 mm (2009).

3.1 Inquadramento geologico

Da un punto di vista geologico la zona in esame ricade all'interno del settore sud-orientale della Valle Latina, una depressione di origine tettonica con orientazione NW-SE, compresa tra la dorsale carbonatica lepino-aurunco-aurunca (Monti- Volsci) a SW e la dorsale Simbruino- Ernica a NE (Fig.3). La Valle Latina rappresenta un originario bacino marino interposto tra due settori carbonatici della Piattaforma Laziale-Abruzzese,

disarticolata nel Mesozoico in una serie di alti e bassi strutturali dalla tettonica estensionale (Centamore et alii 2007; Centamore & Rossi, 2008, 2009; Centamore et alii, 2009). Le dorsali carbonatiche, costituite da potenti successioni calcareo-dolomitiche del Trias-Cretaceo superiore, sono state coinvolte nel processo di costruzione dell'orogene Appenninico nel Miocene Sup. attraverso una serie di thrust NE-vergenti, di cui il più importante nella zona in esame è identificabile nel Sovrascorrimento dei Monti Volsci che delimita il bordo sud-orientale della Valle Latina (Rossi et alii, 2001; Centamore et alii, 2007). Al di sopra del substrato calcareo si sono depositate nel Tortoniano potenti successioni torbiditiche sinorogeniche (Formazione di Frosinone), costituite da alternanze di litotipi argilloso-marnosi e arenacei, che testimoniano l'entrata in avanfossa del dominio Simbruino-Ernico più interno. Il ciclo marino si chiude nel Pliocene inf. con la deposizione di sedimenti sabbioso-conglomeratici di ambiente neritico, rinvenibili in affioramento in un'area molto limitata all'estremità sud-orientale della Valle Latina. Tra il Pliocene medio e il Pliocene superiore tutta l'area viene interessata da intensi processi di tettonica estensionale. In questo intervallo di tempo si è impostata la Depressione tettonica della Valle Latina, al cui interno si sono depositati sedimenti lacustri, accumuli di frana e breccie di versante, seguiti nel Pleistocene medio basale dai Depositi del Lago Lirino e dai Depositi del Distretto Vulcanico della media Valle Latina. L'assottigliamento crostale associato alla tettonica estensionale ha favorito la risalita di magmi che hanno dato origine a un vulcanismo locale, noto anche in letteratura come vulcanismo Ernico, localizzabile lungo il margine sudoccidentale della depressione tettonica, in posizione intermedia tra l'area vulcanica dei Colli Albani, a Nord, e quella di Roccamonfina, a Sud. Il vulcanismo di tali centri è di tipo misto, con messa in posto di prodotti sia piroclastici che effusivi, anche se l'attività prevalente è di tipo esplosivo. Tra il Pleistocene medio finale e l'Olocene si sono verificate nell'area numerose variazioni climatiche, che, insieme al protrarsi dei processi di sollevamento regionale e della tettonica estensionale, hanno favorito la formazione di una serie di depositi alluvionali terrazzati disposti a varie altezze sul fondovalle attuale (Centamore et al., 2009).

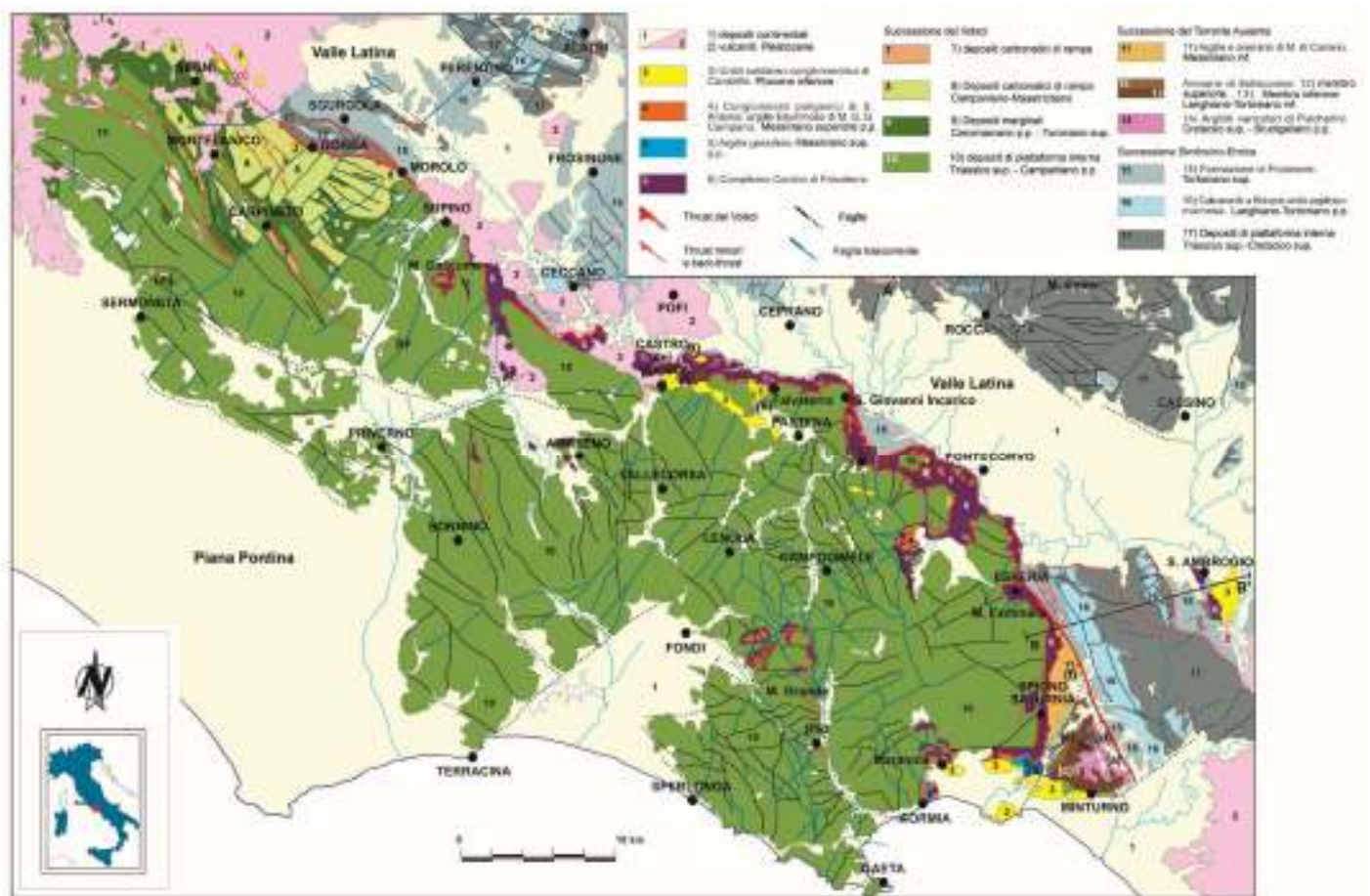


Fig. 3: Schema strutturale della dorsale dei Monti Volsci (modificato da Centamore et alii. 2007). Si individua la Valle Latina e l'abitato di Roccasecca nel quadrante nord-orientale

La Valle Latina e il Lago Lirino

Gli eventi tettonici legati alla genesi e al successivo smantellamento della catena appenninica sono dunque responsabili della genesi della Valle Latina; in particolare sono stati distinti tre sistemi di faglie: 1) ad andamento meridiano (circa N-S); 2) ad andamento appenninico (NW-SE); 3) ad andamento trasversale-antiappenninico (circa NE-SW). Evidenze di questi trend tettonici sono costituite dalla valle meridiana su cui si è impostato il Fiume Melfa. Nel Plio-Pleistocene il settore più sudorientale della depressione della Valle Latina, a seguito della fine del ciclo marino e del sollevamento regionale diventa sede di un ampio bacino lacustre noto in letteratura come "Lago Lirino" (Ferrero 1879). I depositi del Lago Lirino si estendono per circa 35 km di lunghezza e 10 km di larghezza, in direzione NW-SE nel settore compreso tra Ceperano e il fiume Garigliano. Il colmamento è stato favorito dagli apporti sedimentari riferibili ai principali immissari (Fiumi Sacco, Liri e Melfa a NW e Rapido a NNE), e dall'erosione dell'emissario, attuale Garigliano, a causa del continuo sollevamento della regione. Lo spessore dei sedimenti lacustri e fluvio-lacustri è stato valutato nell'ordine dei 100 metri. Nella zona a SE della Valle Latina, in prossimità del Fiume Garigliano, tale successione presenta spessori ridotti ed è ricoperta da depositi tufacei e lave provenienti dal distretto di

Roccamonfina. In questa zona l'affioramento del basamento miocenico e l'esiguo spessore dei depositi lacustri potrebbero indicare il limite sudorientale del Lago Lirino. Il limite nordoccidentale invece si troverebbe in corrispondenza dell'abitato di Ceprano in quanto dati di sottosuolo hanno evidenziato la presenza dei sedimenti lacustri a poca profondità dal p.c., con uno spessore di circa 10-15 metri e con giaciture poco inclinate, tipiche delle zone prossimali alle rive del lago. I limiti a NE e SW sono determinati dalle Montagne di Cassino (NE), di cui la vetta principale è Monte Cairo, e dalle dorsali dei monti Ausoni-Aurunci a SW.

Stratigrafia

L'area in esame è caratterizzata dall'affioramento di depositi continentali Plio-Pleistocenici e Olocenici. Di seguito vengono esposte le caratteristiche principali delle Unità geologiche individuate sulla base dei dati di letteratura, procedendo dai termini più antichi fino ad arrivare a quelli più recenti.

LIMO LACUSTRE INFERIORE (LRN1)

Questa litofacies è caratterizzata da limi calcarei di colore bianco avorio sino al grigio ceruleo e argille con fitte e regolari intercalazioni di tufiti nerastre e cineriti grigie gradate, generalmente di spessore molto esiguo e in rari casi maggiori di 50-60 cm. Questi consistono prevalentemente in depositi piroclastici da caduta e da *surge* di stile idromagmatico, rimaneggiati e di limitata estensione areale.

L'uniformità dei depositi lacustri e la giacitura suborizzontale denotano un ambiente di sedimentazione a bassa energia. Pertanto si può dedurre che il limo lacustre inferiore si sia depositato alla massima distanza dalle rive del bacino. Si rinviene in affioramento in una fascia ristretta, limitata alle incisioni operate nelle alluvioni recenti di fondovalle dal corso del Liri, alle vallecole trasversali meridiane e ai gradini morfologici delle alluvioni antiche terrazzate. Lo spessore totale è di circa 25-30 m (Devoto, 1965)

FACIES LACUSTRE NORMALE (LRN2)

Questi depositi (subsistema PC) poggiano in discordanza sull'unità più antica (LRN1). Sono caratterizzati da numerose eteropie di facies fra sabbie calcaree giallastre a stratificazione incrociata, limi biancastri, a luoghi varvati, depositi di conoide alluvionale del Fiume Melfa, ghiaie, calcari lacustri e alternanze di sabbioni concrezionari calcarei, travertini sabbiosi, depositi torbosi o lignitiferi. Questi ultimi sono particolarmente abbondanti alla base della sequenza, dove costituiscono un livello guida. Nei pressi della stazione di Roccasecca è presente un limitato lembo di travertino. A differenza della precedente unità, si osservano livelli vulcanici intercalati a questi depositi con una geometria più irregolare, lenticolare, che unitamente alla presenza di ondulazioni e strutture sedimentarie di tipo "slumping" denunciano una evidente diminuzione di profondità del bacino lacustre e uno spostarsi progressivo della sedimentazione verso facies più marginali di riva (fluvio-lacustri), in relazione con il rapido progredire del processo di colmamento (Devoto, 1965).

ALLUVIONI ANTICHE TERRAZZATE (CFE, CEP, ISL)

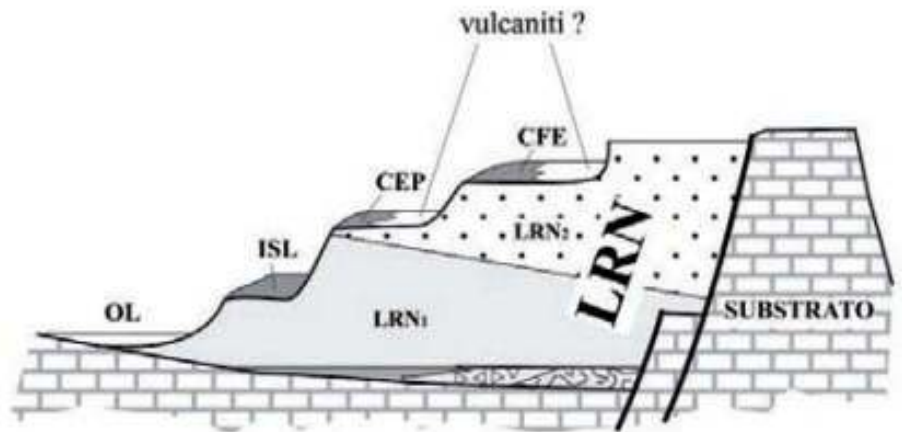
I depositi alluvionali antichi formano una copertura uniforme che si estende per circa 15 km da Ceprano sino a Pontecorvo. Morfologicamente risultano distinti in diversi ordini di terrazzi, la cui genesi può essere collegata con le imponenti fasi di alluvionamento del fiume Liri e subordinatamente del fiume Melfa (Devoto, 1965). Essi poggiano in discordanza sia sui sedimenti lacustri inferiori (LRN1) sia su quelli appartenenti al subsistema di Pontecorvo. La superficie di contatto presenta i caratteri di una vera superficie di erosione con sacche e lenti irregolari di ciottolami che penetrano talora anche in profondità nei depositi limoso-sabbioso lacustri (Devoto, 1965). I depositi mostrano una certa variabilità litologica, difatti sono costituiti da ciottolame elaborato quasi esclusivamente calcareo, ghiaie più o meno grossolane e sabbie talora argillose; questi termini si succedono in alternanze irregolari lentiformi, spesso con stratificazione incrociata ed obliqua (Devoto, 1965). La compresenza di elementi vulcanici rappresentati da ciottoli lavici tefritico-leucitici potrebbe essere una conseguenza di fasi eruttive vulcaniche contemporanee/coeve alla formazione dei depositi alluvionali.

In particolare nella zona in esame sono stati distinti tre ordini di terrazzi, tutti delimitati da superfici erosionali: il più antico (III° ordine; Pleistocene medio, CFE) fa parte del Sistema di Colfelice (Centamore et al., 2009) ed è caratterizzato da depositi ciottoloso-sabbiosi, eterometrici, con clasti in genere ben arrotondati e con matrice sabbioso-siltosa, a luoghi con intercalazioni di livelli o lenti di vulcanoclastiti secondarie. Esso si dispone tra Ceprano e Pontecorvo in un'ampia pianura leggermente digradante verso Sud. Il II° ordine di terrazzi (CEP) appartiene al Sistema di Ceprano (Centamore et al., 2009). Anche in questo caso si tratta di depositi ghiaioso-sabbiosi, con clasti ben arrotondati, incassati nei depositi continentali più antichi, basculati ed erosi. Il I° ordine di terrazzi (ISL) infine è ascrivibile al sistema di Isoletta (Centamore et al., 2009); affiora in limitati lembi incassati nei depositi terrazzati più antichi.

DEPOSITI ATTUALI E RECENTI (OL)

Si tratta di depositi alluvionali recenti, affioranti in corrispondenza del letto d'inondazione del Liri, del Melfa e subordinatamente in corrispondenza dei tributari minori. Il loro spessore è variabile e dell'ordine di qualche metro. Sono inoltre frequenti coltri di depositi eluvio-colluviali di spessore variabile.

L'assetto stratigrafico attuale, descritto sopra, è sintetizzato nella figura 4 dove si mostra l'appoggio dei sedimenti lacustri (LRN1 e LRN2) sul substrato carbonatico e su lembi di flysch (Formazione di Frosinone). Sopra il lacustre poggiano i tre ordini di terrazzi fluviali (ISL I° ordine, CEP II° ordine, CFE III° ordine), e le alluvioni attuali e recenti (OL). Limitati depositi di origine vulcanica, si potrebbero interdigitare con i due terrazzi più antichi.



Pleistocene medio p.p. - Olocene

Fig. 4: Schematizzazione dell'assetto stratigrafico attuale (da Centamore & Dramis, 2010).

3.2 Lineamenti idrogeologici

L'area dell'insediamento della discarica si colloca in una posizione idrografica compresa fra tre corsi d'acqua: il Rio Proibito a Ovest, il fiume Melfa a Est e il fiume Liri a Sud. Rispetto alle aste fluviali l'area è rilevata di circa 20 metri, impostata sulla superficie di un antico terrazzo alluvionale. La quota di scorrimento, in prossimità dell'impianto, è di circa 60 metri s.l.m., con direzione di deflusso verso SSO per il Fiume Melfa, SE per il Fiume Liri e Sud per il Rio Proibito. In particolare la zona in studio, ad andamento leggermente acclive, da NO verso SE, si colloca su di un altopiano sub-pianeggiante con una quota di circa 80 metri s.l.m., morfologicamente isolato rispetto all'idrografia circostante. Per quanto riguarda la circolazione idrica sotterranea in prima istanza si fa riferimento alla Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio in scala 1:100.000, di cui si riporta uno stralcio relativo all'area di interesse in figura 5.

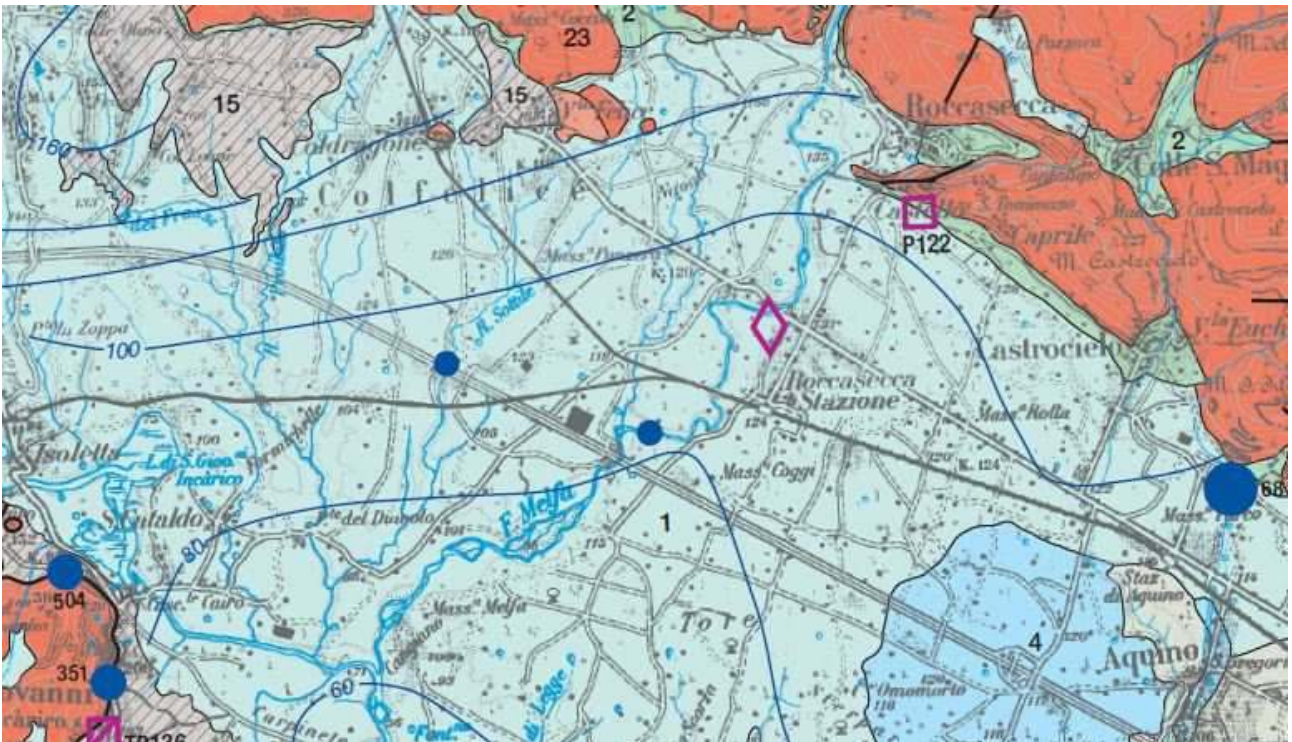


Fig. 5: Stralcio della Carta Idrogeologica del territorio della Regione Lazio in scala 1:100.000 (Capelli et al., 2012).

Come si evince dalla figura 5 è possibile individuare nell'area di studio e nelle zone limitrofe diversi complessi idrogeologici, in particolare:

- *Complesso dei depositi alluvionali recenti (1)*: costituito da alluvioni ghiaiose, sabbiose, argillose attuali e recenti anche terrazze di spessore variabile. In corrispondenza dei corsi d'acqua perenni il complesso presenta gli spessori maggiori (da una decina a un centinaio di metri) e contiene falde multistrato di importanza regionale. I depositi alluvionali dei corsi d'acqua minori, con spessori da pochi metri a poche decine di metri, possono essere sede di falde locali di limitata estensione.
- *Complesso dei depositi fluvio-lacustri e palustri (6)*: Depositi in prevalenza limoso argillosi, di spessore variabile da pochi metri ad alcune decine di metri con locali intercalazioni ghiaiose e/o travertinose, che possono dare origine in alcune zone a limitate falde locali. In generale il complesso può assumere il ruolo di acquiclude.
- *Complesso dei Flysch marnoso-argilloso (15)*: Si tratta di successioni generalmente caotiche di argille e marne con intercalazioni di arenarie e calcari marnosi. Lo spessore è elevato (1000 metri). La circolazione idrica sotterranea data la scarsa permeabilità dei depositi risulta essere poco significativa.

- *Complesso dei Calcari di Piattaforma (23)*: sono costituiti da calcari detritici, micritici e organogeni della successione Laziale-Abruzzese molto potenti (fino a 1500 metri). Sono sede di acquiferi di importanza regionale. L'assetto strutturale caratterizzato da intensa fratturazione condiziona fortemente la circolazione idrica sotterranea fra le principali unità idrogeologiche.

In generale l'area di studio ricade all'interno del corpo idrico sotterraneo dei depositi alluvionali, tenendo comunque conto della presenza di complessi idrogeologici a bassa permeabilità sia in profondità che nelle zone circostanti. Infatti lungo il bordo sud-occidentale e nord-occidentale dell'acquifero sussiste un limite di permeabilità costituito dal contatto, visibile nello stralcio riportato in figura 5, tra i depositi recenti e i Flysch. Nella zona a SE invece il contrasto di permeabilità è dovuto alla presenza dei depositi fluvio-lacustri e palustri. Tali contrasti impediscono dunque gli scambi idrici tra corpi idrici diversi e possono invece dar luogo ad emergenze laddove il limite di permeabilità intercetti la topografia. Nella zona a NNE invece il contatto idraulico con l'acquifero del massiccio carbonatico dei M.ti Simbruini-Ernici-Monte Cairo potrebbe favorire scambi idrici verso la piana, alimentando così in parte l'acquifero alluvionale, condizione questa anche indicata dall'andamento piezometrico riportato in carta, che denota un deflusso sotterraneo in direzione NNE-SSW verso i principali corpi idrici superficiali recettori, costituiti dal Liri e dal Melfa, con quote della piezometria che nella zona di studio digradano da 100 m s.l.m. a 60 m s.l.m.

4. Metodologie di campionamento ed analisi

4.1 Geologia

Analisi litostratigrafica

Le informazioni relative all'assetto geologico e stratigrafico sono state reperite da dati di letteratura e da rapporti tecnici o tecnico-scientifici editi e inediti pregressi che hanno previsto rilevamenti geologici e idrogeologici, condotti da diversi professionisti sull'area di studio. E' stata inoltre reperita la cartografia disponibile di seguito indicata: Carta Tecnica Regionale del Lazio alla scala 1:10.000, sezione 402080, "Roccasecca stazione" relativa al territorio del comune di Roccasecca; Carta geologica d'Italia in scala 1:50.000, foglio 402 "Ceccano"; Cartografia di dettaglio dell'area MAD, realizzata durante i lavori per l'individuazione di aree idonee per l'allestimento di bacini di discarica, fornita dalla ditta proprietaria dell'impianto.

Per la distinzione dei litotipi presenti sono stati utilizzati dei criteri lito-stratigrafici, utilizzando, dove possibile, rilevamenti geologici già esistenti editi e inediti e dati di sondaggi. In particolare, sono stati considerati i seguenti parametri:

- analisi delle facies e caratteristiche dei corpi sedimentari (ad es. granulometria);
- spessore medio e geometria delle formazioni;
- posizione stratigrafica.

Elaborazione del modello digitale del terreno

Allo scopo di fornire utili indicazioni sull'area investigata è stato realizzato in 3D un Modello Digitale di Terreno (DTM). È stato elaborato mediante l'uso di una matrice numerica XYZ in cui alle X ed Y vengono attribuite delle coordinate (Latitudine e Longitudine), generalmente riferite al sistema UTM (Universale Trasversa di Mercatore), mentre alle Z viene attribuito un valore altimetrico riferito al livello del mare. Il DTM è stato costruito tramite una matrice numerica realizzata integrando i dati altimetrici desunti dalle Carte Tecniche Regionali con misure eseguite direttamente sul terreno e forniteci dalla società proprietaria dell'impianto.

Il processo di Gridding si realizza mediante l'assegnazione di un valore di quota altimetrica ad ogni intersezione per realizzare una superficie virtuale.

Dalla matrice numerica è stata realizzata una griglia a maglie rettangolari formate dall'intersezione di righe e colonne che è stato utilizzato per la rappresentazione tridimensionale dell'intero bacino idrografico. Il DTM è stato realizzato con maglie di 5 metri in modo da ottenere una riproduzione il più fedele possibile alla realtà. Le variabili di inclinazione (*slope*), di immersione (*aspect*) e di curvatura dei versanti sono state ricavate utilizzando le funzionalità disponibili in software specifici. La pendenza viene valutata interpolando un piano sui valori di quota relativi ad una finestra mobile di 3x3 celle, centrata di volta in volta sulla cella che viene analizzata. La direzione di pendenza di tale piano identifica l'immersione della medesima cella. La pendenza della cella è calcolata attraverso la *average maximum technique* (Burrough, 1986). La curvatura rappresenta invece la derivata seconda della superficie topografica, ovvero la pendenza della pendenza. Dalla matrice numerica è stata realizzata una griglia a maglie rettangolari. Il processo di costruzione della griglia assegna ad ogni intersezione (nodo) una quota (Z) estrapolando le quote della matrice numerica. La qualità dei dati ottenuti è stata accuratamente testata, correggendo, quando necessario, eventuali imprecisioni riguardanti l'assegnazione della quota ad elementi lineari e puntuali. Una volta completata la fase di correzione delle imprecisioni, si è avviata la fase di elaborazione del modello digitale. Dai controlli eseguiti sulla superficie generata è emerso un errore medio pari a $\pm 0.5m$ che per gli scopi del presente studio è da considerarsi trascurabile.

I principali passaggi stratigrafici sono stati ricostruiti adottando una procedura simile a quella sopra esposta. Quando possibile sono state utilizzate le stratigrafie originali o desunte durante la realizzazione di pozzi così da ottenere informazioni spazialmente valide sia dei litotipi incontrati durante la perforazione sia dei principali passaggi litologici più significativi. Questi dati sono stati poi trattati per realizzare delle superfici tridimensionali, utilizzate per il calcolo dei volumi di roccia interposti tra due superfici indipendenti. Questo

ha consentito di ricostruire con estremo dettaglio l'organizzazione interna delle formazioni vulcaniche e sedimentarie presenti nell'area di studio ed identificare eventuali variazioni verticali e/o laterali in grado di modificare ed alterare l'eventuale circolazione dei fluidi nel sottosuolo.

4.2 Idrogeologia e geochimica

Il campionamento è stato condotto secondo le procedure di campo descritte nel seguito. Ad ogni punto d'acqua censito è stata associata una scheda di campagna, nella quale sono stati annotati i dati relativi alla posizione ed alla proprietà dell'opera, alle caratteristiche costruttive, nonché ai dati chimico-fisici misurati nel corso del campionamento. Nella scheda sono state riportate inoltre le informazioni relative alla profondità misurata del livello statico, alla durata e portata dello spurgo effettuato ed infine al numero e tipologia dei campioni raccolti.

Metodologia di campionamento

La fase di campionamento consiste in una sequenza articolata di operazioni che comportano la pianificazione accurata di una strategia che, una volta fissata, deve essere rigorosamente seguita. Uno dei principali errori in cui si può incorrere è infatti quello di mutare "in corso d'opera" il piano di prelievo, con conseguenze che possono essere profondamente deleterie per la confrontabilità dei risultati.

I campioni d'acqua di pozzo sono stati prelevati prima di un eventuale impianto di clorazione e dopo aver fatto fluire per un tempo adeguato l'acqua presente nelle diverse tubazioni. Durante la fase di spurgo è stato verificato con l'apposita strumentazione l'andamento dei parametri di campo (concentrazione di ossigeno disciolto, temperatura, conducibilità e potenziale redox) in modo da dimensionarne opportunamente la durata. Trattandosi prevalentemente di pozzi di privati, non sempre è stato possibile protrarre lo spurgo oltre i 15-20 minuti. Tuttavia, avendo selezionato pozzi ad uso domestico di uso quotidiano, tale durata è ritenuta largamente sufficiente per ottenere un campione d'acqua rappresentativo della falda. I dettagli dello spurgo di ciascun pozzo (tempo, portata) sono riportati nelle schede di campagna.

Considerando che alcune delle caratteristiche chimico-fisiche dei campioni prelevati sono soggette a variazioni non trascurabili, si è provveduto ad effettuare *in situ* le determinazioni seguenti: pH, Eh, conducibilità elettrica, ossigeno disciolto, temperatura. La strumentazione adoperata per effettuare le misure indicate è costituita da strumenti da campo (sonde HACH) opportunamente tarati.

Al fine di garantire la stabilità e la inalterabilità degli analiti nell'intervallo di tempo che intercorre tra il prelievo e l'analisi i campioni sono stati filtrati immediatamente dopo il prelievo sotto modesta pressione di azoto con filtri in policarbonato da 0,4 μm precedentemente trattati con HNO_3 a $\text{pH} < 2$ per 24 ore e successivamente risciacquati con acqua ad elevato grado di purezza fino a pH neutro.

Per ciascun punto di prelievo sono state raccolte due aliquote, di cui una da 250 mL filtrata per la

determinazione degli anioni, una da 100 ml o 250 mL filtrata ed acidificata con HNO_3 fino a $\text{pH} < 2$ per la determinazione dei cationi maggiori e degli elementi in traccia. Il trasporto è stato effettuato in contenitori refrigerati ed i campioni non congelati sono stati conservati in frigorifero a $T < 4^\circ\text{C}$.

Per la raccolta dei campioni si sono utilizzati contenitori in polietilene in precedenza condizionati con HNO_3 fino a $\text{pH} < 2$ per almeno 24 ore e successivamente risciacquati con acqua ad elevato grado di purezza fino a pH neutro. Il ricorso ai contenitori in polietilene presenta il vantaggio di avere una buona resistenza agli agenti chimici ed alle variazioni termiche e inoltre una buona resistenza all'urto.

Al fine di eseguire un controllo di qualità del campionamento è stata predisposta la raccolta di "bianchi di campo", ottenuti mediante lo stoccaggio di un'aliquota di acqua ultrapura ($18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$) in un recipiente identico a quello dei campioni, da sottoporre successivamente a tutte le fasi analitiche previste per i campioni. Altri sistemi adoperati in quest'indagine per il controllo della qualità del campionamento hanno compreso l'uso di campioni replicati, la predisposizione di dispositivi che assicurino la protezione di ciascun campione per evitare qualunque possibile contaminazione esterna e l'avvinamento regolare dei recipienti.

Metodologie analitiche

Le analisi in laboratorio sono state condotte utilizzando i metodi descritti nel manuale "Metodi Analitici per le Acque" (ISBN 88-448-0083-7) edito dall'APAT con la collaborazione dell'Istituto di Ricerca sulle Acque, nonché dei metodi APHA, AWWA, WEF (1995, Standard methods for the examination of water and wastewater). Si rimanda a tali documenti per una descrizione più dettagliata.

Più precisamente, sono state utilizzate le seguenti metodiche:

Cromatografia ionica: mediante cromatografo Dionex DX-120 per la determinazione di cloruri, fluoruri, bromuri, nitrati, nitriti, solfati e fosfati.

Alcalimetria: Bicarbonati totali tramite titolazione al metilarancio con HCl .

Spettrometria di massa al plasma (ICP-MS) mediante spettrometro di massa con sorgente al plasma induttivo (Agilent technologies 7500c) con cella di collisione nella configurazione strumentale ORS (Octupole Reaction System) per la determinazione di alluminio, vanadio, cromo, manganese, ferro, arsenico, rubidio, stronzio, litio, bario, piombo, boro, nichel, rame, zinco, uranio.

E' stata scelta questa configurazione strumentale perché uno dei problemi maggiori della tecnica ICP-MS è quello delle interferenze spettrali isobariche, cioè di ioni/associazioni molecolari, di elementi presenti nella matrice o nel gas, che hanno la stessa massa molecolare (più precisamente lo stesso rapporto massa/carica) degli elementi da misurare.

L'ottimizzazione dei parametri strumentali è stata realizzata misurando la sensibilità e il livello degli ossidi e delle doppie cariche. La sensibilità in He mode è stata verificata misurando una soluzione certificata di $10 \mu\text{g/L}$ in HNO_3 all'1% degli isotopi 7Li , 89Y , 59Co , 140Ce e 205Tl .

Allo scopo di valutare il risultato analitico dei metalli sono stati attivati, in accordo con le norme internazionali più recenti, dei programmi di controllo formale sulla qualità dei dati prodotti verificando le prestazioni attraverso l'analisi di materiali di riferimento certificati.

Questo controllo sulla qualità del dato consente, di mostrare il livello di accuratezza dei dati raccolti consentendo un intervento mirato finalizzato al contenimento dell'errore ed inoltre fornisce informazioni utili nello studio dell'evoluzione temporale dei fenomeni studiati.

In considerazione di quanto precedentemente detto, l'accuratezza del metodo, cioè l'affidabilità di un risultato sia in termini di precisione che di esattezza, è stata valutata analizzando due materiali certificati: Trace Elements in Water (NIST 1643e) e Trace Elements in Natural Water (NIST 1640A), ed i risultati ottenuti hanno mostrato una buona corrispondenza entro gli errori di misura tra valori certificati e valori determinati per la totalità degli elementi analizzati.

Le analisi di cinque repliche del campione certificato hanno fornito valori del coefficiente di variazione [CV (%) = (Scarto tipo/valore medio)×100] compresi tra 1 e 3 % e valori di recupero tra 95 e 104% a testimonianza della validità della procedura analitica adottata.

Spettroscopia di emissione al plasma (ICP-OES) mediante spettrometro Perkin Elmer P400 per la determinazione di calcio, magnesio, sodio, potassio e silicio.

In tabella 2 sono riportati i limiti di rilevabilità strumentale per i parametri analizzati con le metodiche sopra descritte.

Parametro	Metodica	Limite di rilevabilità
F (mg/L)	IC	0,1
Cl (mg/L)	IC	0,1
Br (mg/L)	IC	0,1
NO₃ (mg/L)	IC	0,1
SO₄ (mg/L)	IC	0,1
NO₂ (mg/L)	Sp. UV/VIS	0,03
PO₄ (mg/L)	Sp. UV/VIS	0,05
Na (mg/L)	ICP-OES	0,1
Mg (mg/L)	ICP-OES	0,1
K (mg/L)	ICP-OES	0,1
Ca (mg/L)	ICP-OES	0,1
Si (mg/L)	ICP-OES	0,1
Li (µg/L)	ICP-MS	0,1
B (µg/L)	ICP-MS	0,5
Al (µg/L)	ICP-MS	0,1
V (µg/L)	ICP-MS	0,1
Cr (µg/L)	ICP-MS	0,1
Mn (µg/L)	ICP-MS	0,1
Fe (µg/L)	ICP-MS	0,4

Ni	(µg/L)	ICP-MS	0,1
Cu	(µg/L)	ICP-MS	0,1
Zn	(µg/L)	ICP-MS	0,1
As	(µg/L)	ICP-MS	0,1
Rb	(µg/L)	ICP-MS	0,2
Sr	(µg/L)	ICP-MS	0,2
Ba	(µg/L)	ICP-MS	0,2
Pb	(µg/L)	ICP-MS	0,1
U	(µg/L)	ICP-MS	0,1

Tabella 2. Limiti di rilevabilità strumentale per i parametri analizzati con le metodiche utilizzate.

Metodi per il calcolo del valore di fondo geochimico naturale

Il Valore di Fondo Naturale (*natural background level* nella definizione anglosassone), VFN, o “concentrazione di fondo” è definibile come “*la concentrazione di una sostanza o il valore di un indicatore in un corpo idrico sotterraneo corrispondente all'assenza di alterazioni antropogeniche, o alla presenza di alterazioni estremamente limitate, rispetto a condizioni inalterate*”, così come indicato all’Art 2 del decreto nazionale di recepimento della Direttiva Acque Sotterranee 2006/118/CE.

I VFN sono il risultato di diversi processi di origine geochimica, chimica e biologica che avvengono nella zona insatura e/o satura; anche la piovosità, eventuali interconnessioni tra acquiferi nonché lievi alterazioni di origine antropogenica possono influenzare tali valori. Ogni acquifero è caratterizzato da un chimismo unico che può anche presentare forti variazioni spaziali. E’ possibile definire quindi dei *range* di valori tipici di ciascun acquifero per ogni analita ricercato, dal quale ricavare un valore rappresentativo del fondo naturale da utilizzare convenzionalmente per le procedure di valutazione dello stato chimico delle acque sotterranee.

La Direttiva Quadro Acque 2000/60/CE (DQA) richiede agli Stati Membri di pianificare la gestione sostenibile delle risorse idriche alla scala di bacino, impedendone il deterioramento, al fine di raggiungere il buono stato ambientale per tutti i corpi idrici entro il 2015. Inoltre la più recente Direttiva Acque Sotterranee (DAS, 2006/118/CE), avente come oggetto la tutela delle acque sotterranee dall’inquinamento stabilisce i criteri per la valutazione dello stato chimico e dei trend. In particolare, la DAS specifica che lo stato chimico delle acque sotterranee venga valutato sulla base di standard definiti alla scala europea per pesticidi e nitrati, mentre per altri contaminanti gli Stati Membri derivano i propri valori soglia (VS) tenendo conto anche dei VFN quando necessario. La DAS non fornisce indicazioni su come derivare tali valori, tuttavia alcuni suggerimenti tecnici sono forniti dalle linee guida della Commissione Europea “*Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment*” (European Commission, 2009) che, ancorché non cogenti, sono stati approvati ufficialmente dai Direttori alle Acque di tutti gli Stati Membri e sono state recepite nel protocollo per la definizione dei valori di fondo per le sostanze inorganiche nelle acque sotterranee elaborato da ISPRA (2009).

I valori di fondo sono considerati nella normativa nazionale in due casi: nel D.Lgs. 152/2006 e successive modifiche ed integrazioni, che, con la Parte IV, Titolo V (BONIFICA DI SITI CONTAMINATI), sostituisce il precedente DM 471/99, e nel D.Lgs. 30/2009 che recepisce la Direttiva Acque Sotterranee sopra menzionata. Nel primo caso, la normativa parla di “valori di fondo esistente”, di origine quindi antropica o naturale, e li mette in relazione alla concentrazione soglia di contaminazione (CSC). Si riporta quanto previsto dall’art. 240 del D.lgs. 152/2006 che definisce la CSC e l’ambito di applicazione dei valori di fondo:

“CSC: i livelli di contaminazione delle matrici ambientali che costituiscono valori al di sopra dei quali è necessaria la caratterizzazione del sito e l’analisi di rischio sito specifica, come individuati nell’Allegato 5 alla parte quarta del presente decreto. Nel caso in cui il sito potenzialmente contaminato sia ubicato in un’area interessata da fenomeni antropici o naturali che abbiano determinato il superamento di una o più concentrazioni soglia di contaminazione, queste ultime si assumono pari al valore di fondo esistente per tutti i parametri superati;”

Inoltre l’art. 2 comma 43 del D. Lgs. 4/2008 che integra e modifica l’allegato 1 al titolo V del D. Lgs. 152/06 (Criteri generali per l’analisi di rischio sanitario ambientale sito-specifica) riporta:

Il punto di conformità per le acque sotterranee rappresenta il punto a valle idrogeologico della sorgente al quale deve essere garantito il ripristino dello stato originale (ecologico, chimico e/o quantitativo) del corpo idrico sotterraneo, onde consentire tutti i suoi usi potenziali, secondo quanto previsto nella parte terza (in particolare articolo 76) e nella parte sesta del presente decreto (in particolare articolo 300). Pertanto in attuazione del principio generale di precauzione, il punto di conformità deve essere di norma fissato non oltre i confini del sito contaminato oggetto di bonifica e la relativa CSR per ciascun contaminante deve essere fissata equivalente alle CSC di cui all’Allegato 5 della parte quarta del presente decreto.

Valori superiori possono essere ammissibili solo in caso di fondo naturale più elevato o di modifiche allo stato originario dovute all’inquinamento diffuso, ove accertati o validati dalla Autorità pubblica competente, o in caso di specifici minori obiettivi di qualità per il corpo idrico sotterraneo o per altri corpi idrici recettori, ove stabiliti e indicati dall’Autorità pubblica competente, comunque compatibilmente con l’assenza di rischio igienico-sanitario per eventuali altri recettori a valle. A monte idrogeologico del punto di conformità così determinato e comunque limitatamente alle aree interne del sito in considerazione, la concentrazione dei contaminanti può risultare maggiore della CSR così determinata, purché compatibile con il rispetto della CSC al punto di conformità nonché compatibile con l’analisi del rischio igienico sanitario per ogni altro possibile recettore nell’area stessa.

La CSR (Concentrazione Soglia di Rischio) per una determinata sostanza, cioè il livello di concentrazione che costituisce il livello di accettabilità per il sito, sulla base di quanto sopra riportato, può perciò assumere un valore superiore alle CSC di cui all’Allegato 5 alla parte quarta al Dlgs 152/2006 al punto di conformità solo quando l’autorità pubblica competente:

- a) abbia stabilito un valore di fondo naturale per le acque sotterranee superiore alla CSC;

oppure

- b) abbia fissato un obiettivo di qualità inferiore per il corpo idrico sotterraneo o per altri corpi idrici recettori.

I valori di fondo esistenti, quindi, laddove superiori alle CSC, possono essere sostitutivi dei valori di riferimento per le acque sotterranee.

Per quanto concerne invece lo stato ambientale delle acque sotterranee, la classificazione dello stato chimico si basa sul non superamento di valori soglia (VS) di cui al D.Lgs 30/2009. Tali valori, fissati a livello nazionale prendendo spunto dai valori di riferimento per le acque destinate al consumo umano, possono essere rivisti dalle Regioni laddove il fondo naturale delle acque sotterranee assuma delle concentrazioni superiori ai VS. In tal caso i VFN vengono assunti quali VS. La determinazione dei VFN assume pertanto una rilevanza prioritaria al fine di non classificare le acque caratterizzate da condizioni geochemiche particolari come in cattivo stato con conseguente attivazione di impossibili misure di ripristino. Già la precedente normativa (D.Lgs. 152/99) prevedeva un'apposita classe di stato, "0" o classe "naturale" per le acque caratterizzate da presenza naturale di sostanze con concentrazioni superiori ai VS fissati per quelle sostanze a livello nazionale. Non esiste, né in Italia né a livello internazionale, un criterio condiviso sulle modalità di determinazione della concentrazione del fondo in un'area (APAT-ISS 2006). In questa ricerca ci si è basati sulla procedura proposta da ISPRA (2009) e sulle linee guida europee (European Commission 2009), interpretandole in modo anche critico laddove lo si ritenesse opportuno. Nel seguito si descrive in sintesi la procedura proposta da ISPRA 2009.

La metodologia comprende una serie di azioni, centrate sulla definizione del modello concettuale del sito in esame; questo, ottenuto combinando le informazioni relative all'assetto geologico/idrogeologico e alla valutazione delle pressioni antropiche, fornisce gli elementi necessari all'identificazione dei punti di indagine (sorgenti e pozzi esistenti, pozzi di monitoraggio, ecc.) idonei per lo studio delle concentrazioni di fondo. E' da sottolineare che la definizione del modello concettuale si basa sia sui dati già disponibili (di letteratura, di precedenti monitoraggi, eccetera) sia su dati raccolti *ex novo* specifici per il problema. In sintesi, si inizia la ricerca definendo un modello concettuale preliminare e si conclude con un modello più dettagliato e specifico per il problema da affrontare. Le informazioni relative ai punti d'acqua vanno organizzati in una banca dati che contenga le informazioni rilevanti, dalla descrizione anagrafica del punto, alla metodologia di campionamento, ai valori dei parametri determinati in campo ed in laboratorio. Per quello che riguarda le attività di campo, si raccomanda di seguire modalità di prelievo dei campioni e metodiche analitiche tali da garantire la rappresentatività e la riproducibilità del dato, ad esempio:

- la determinazione degli analiti va eseguita sul campione filtrato, possibilmente in campo, a $0,45 \mu\text{m}^1$

¹ Attenzione: la differenza fra l'analisi sul filtrato e sul non filtrato può essere rilevante. A tale proposito si rammenta che il D.Lgs 30/2009 specifica che "Per i metalli il valore dello standard di qualità si riferisce alla concentrazione disciolta,

- le fasi di campionamento devono essere accompagnate dalla raccolta di campioni di “bianco di campo” al fine di garantire un controllo di qualità relativo alla fase di campionamento; per ciascun campione deve essere compilata una scheda, in cui siano riportate le seguenti informazioni: coordinate geografiche, profondità e spessore di acquifero campionato, data di campionamento, tecniche di pretrattamento del campione (come ad esempio campione filtrato, aggiunta di reattivi, ecc), conservazione del campione (contenitori utilizzati, temperatura di conservazione, ecc.)
- i metodi di analisi devono ovviamente essere quelli riconosciuti ufficialmente.

Un riferimento ufficiale è il noto Manuale APAT – IRSA-CNR (2003).

Un aspetto che la procedura ISPRA (2009) non cita, dandolo evidentemente per scontato, è l’esclusione dei dati che non rispettano il bilanciamento ionico (EN), segno evidente di determinazione analitica non completamente corretta, con EN calcolata sugli elementi maggiori come segue:

$$EN = \frac{\text{cationi} - \text{anioni}}{\text{cationi} + \text{anioni}} \times 100$$

Un criterio largamente accettato per la valutazione della qualità del dato analitico è che l’elettroneutralità (EN), calcolata a partire dalle concentrazioni in meq/L dei componenti maggiori, sia compresa entro il $\pm 5\%$ (Appelo and Postma, 1993); lo stesso criterio viene ripreso dal progetto BRIDGE (Muller et al., 2006) che considera però accettabile una soglia di EN del 10%, alla quale ci si è riferiti in questo lavoro. Tale criterio tuttavia non assicura la correttezza della determinazione degli elementi in tracce, che viene generalmente verificata mediante confronto con standard certificati.

I dati raccolti, già disponibili o *ex novo*, vanno considerati sulla base del modello concettuale ovvero selezionando quelli che afferiscono al corpo idrico di interesse. In questa fase è anche opportuno selezionare i dati in base alle facies idrochimiche: ad esempio, distinguendo facies a diverso potenziale di ossidoriduzione, rappresentative di circolazioni idriche differenziate. Inoltre ISPRA (2009) suggerisce, al fine di escludere dal data set i punti d’acqua significativamente contaminati da attività antropiche, di valutare l’opportunità di eliminare i dati che presentano tracce evidenti di tale contaminazione (presenza di nitrati, contaminanti di origine sintetica, ...).

In particolare ISPRA (2009) suggerisce di escludere:

cioè alla fase disciolta di un campione di acqua ottenuta per filtrazione con un filtro da $0,45 \mu\text{m}$ ” (Allegato 3 al Decreto Legislativo 30/2009). Inoltre ISPRA 2009 raccomanda che *“qualora le indagini ex novo vadano ad integrare un set di dati sui quali non è stata eseguita la filtrazione del campione, si potrà valutare di eseguire le analisi sia sul filtrato sia sul tal quale al fine di meglio interpretare i dati pregressi e di verificare l’opportunità di impiegarli per la determinazione dei VF”*

- i campioni che mostrano concentrazioni di contaminanti organici maggiori di 3 volte il limite di rilevabilità (assimilabile sperimentalmente al limite di quantificazione); il limite di rilevabilità dovrà comunque essere accettabile rispetto ai metodi analitici attualmente diffusi;
- i campioni prelevati in pozzi/piezometri di cui non è nota la profondità del tratto filtrato (campioni per i quali non è possibile, con i dati a disposizione, verificare l'appartenenza all'acquifero in esame);
- i campioni con concentrazioni di $\text{NO}_3 > 10 \text{ mg/L}$;
- i campioni con concentrazioni di $\text{NaCl} > 1000 \text{ mg/L}$. Tale vincolo deve tuttavia essere valutato caso per caso, in funzione delle interazioni, anche naturali, che il corpo idrico di interesse ha con sistemi "esterni" (es. prossimità alla linea di costa, risalita di fluidi di origine profonda).

Questi criteri di esclusione di una parte dei campioni, validati sia dal punto di vista della bontà dell'analisi chimica sia della pertinenza idrogeologica al corpo idrico in esame, sono fondamentali soprattutto per la metodologia detta "della pre-selezione". In questo studio tali criteri sono stati rispettati solo in parte, per i motivi che verranno esposti più avanti.

Una volta definito l'insieme dei dati, la determinazione del VFN si basa su metodologie statistiche. E' quindi importante valutare come trattare i valori al di sotto del limite di rilevabilità, gli *outliers* e verificare la tipologia di distribuzione dei dati raccolti. Si rimanda per i dettagli al documento citato (ISPRA 2009), che in sintesi suggerisce di attenersi alle seguenti regole:

- verifica dell'adeguatezza del numero di dati utili disponibili (circa 30);
- applicazione di un test statistico per la verifica del tipo di distribuzione;
- calcolo e presentazione dei descrittori statistici;
- costruzione della curva cumulativa di frequenza e individuazione di eventuali punti di discontinuità rappresentativi dei valori di fondo (metodo probabilistico o delle curve di probabilità cumulata);
- nel caso di valutazione basata sui percentili (metodo della preselezione), riferirsi al 95°.

Vengono brevemente descritti i due metodi statistici applicati al caso di studio, quello che si basa sulla preselezione dei dati e quello dell'analisi delle curve di probabilità.

Nel primo caso, una volta selezionato il *data set* relativo al corpo idrico e alla falda di interesse (quindi anche eliminando i dati relativi a facies idrochimiche o a potenziale redox differenti), ed eliminati i dati che mostrano una significativa contaminazione antropica, sui dati restanti si effettua il calcolo di un valore statistico considerato rappresentativo del valore di fondo, solitamente costituito dal 95° percentile. Altri valori statistici caratteristici possono essere utilizzati, a seconda dell'affidabilità del modello concettuale della zona e della presenza di potenziali impatti antropici. Il Progetto BRIDGE propone l'utilizzo del 90° percentile in questi casi e del 97,7° percentile dove l'influenza antropica non è presente ed i campioni analizzati provengano da un acquifero ben definito.

Il vantaggio di questo metodo è che, una volta stabiliti i criteri per selezionare il data set “non influenzato” a partire da un numero di dati adeguato e rappresentativo, il calcolo è semplice, oggettivo e ripetibile. I punti deboli sono: 1) il numero di dati residui dopo avere eliminato quelli che mostrano tracce di contaminazione può essere troppo esiguo per garantire la rappresentatività statistica della popolazione, 2) la scelta del percentile non è giustificata da nessuna assunzione fisicamente basata, ad esempio nel caso del 95° percentile, non è spiegato perché considerare contaminati il 5% dei dati della popolazione già preselezionata. Il metodo probabilistico si basa sull’assunzione che, in un set di dati, fenomeni differenti generino popolazioni statisticamente distinguibili. Riportati su un diagramma con scala delle ascisse in formato probabilistico (figura 6), tali dati dovrebbero generare una spezzata con uno o più punti di discontinuità, che individuano i limiti che delimitano le differenti popolazioni. In tal modo sarebbe possibile separare i dati relativi al fondo naturale da quelli relativi all’eventuale “sovrapposizione” di origine antropica. Questo metodo è sicuramente più influenzato da valutazioni soggettive rispetto al precedente e meno semplice da applicare. Il vantaggio di questo metodo è che considera i processi che generano delle popolazioni omogenee (individuate dalle funzioni di probabilità), cercando di evidenziare una soglia fra le popolazioni. Non approfondisce invece sulla relazione fra le popolazioni e sugli effetti dell’impatto antropico.

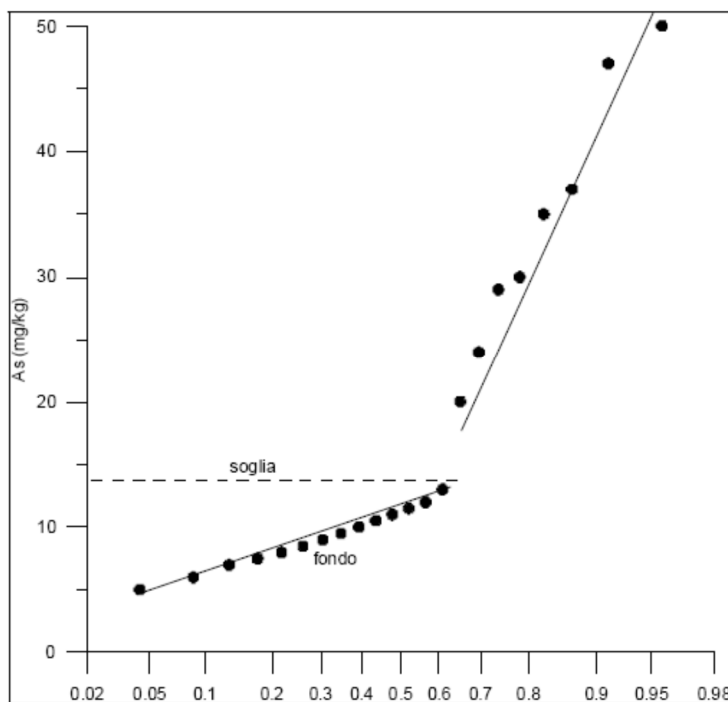


Fig. 6. Diagramma probabilistico utilizzato per la definizione dei valori di fondo naturali. da ISPRA (2009)

5. Risultati

Sono stati censiti 35 punti d'acqua esterni all'impianto (figura 7); in 33 di questi è stato effettuato il campionamento dell'acqua mentre in due (RS26 e RS16bis) è stato misurato il solo livello statico per assenza di pompa in sito. Inoltre sono stati campionati 4 punti spia interni all'impianto. Dei campioni d'acqua analizzati, 10 sono stati attribuiti alla falda profonda, 23 (di cui due sorgenti) alla falda superficiale, i 4 punti spia alla falda profonda.

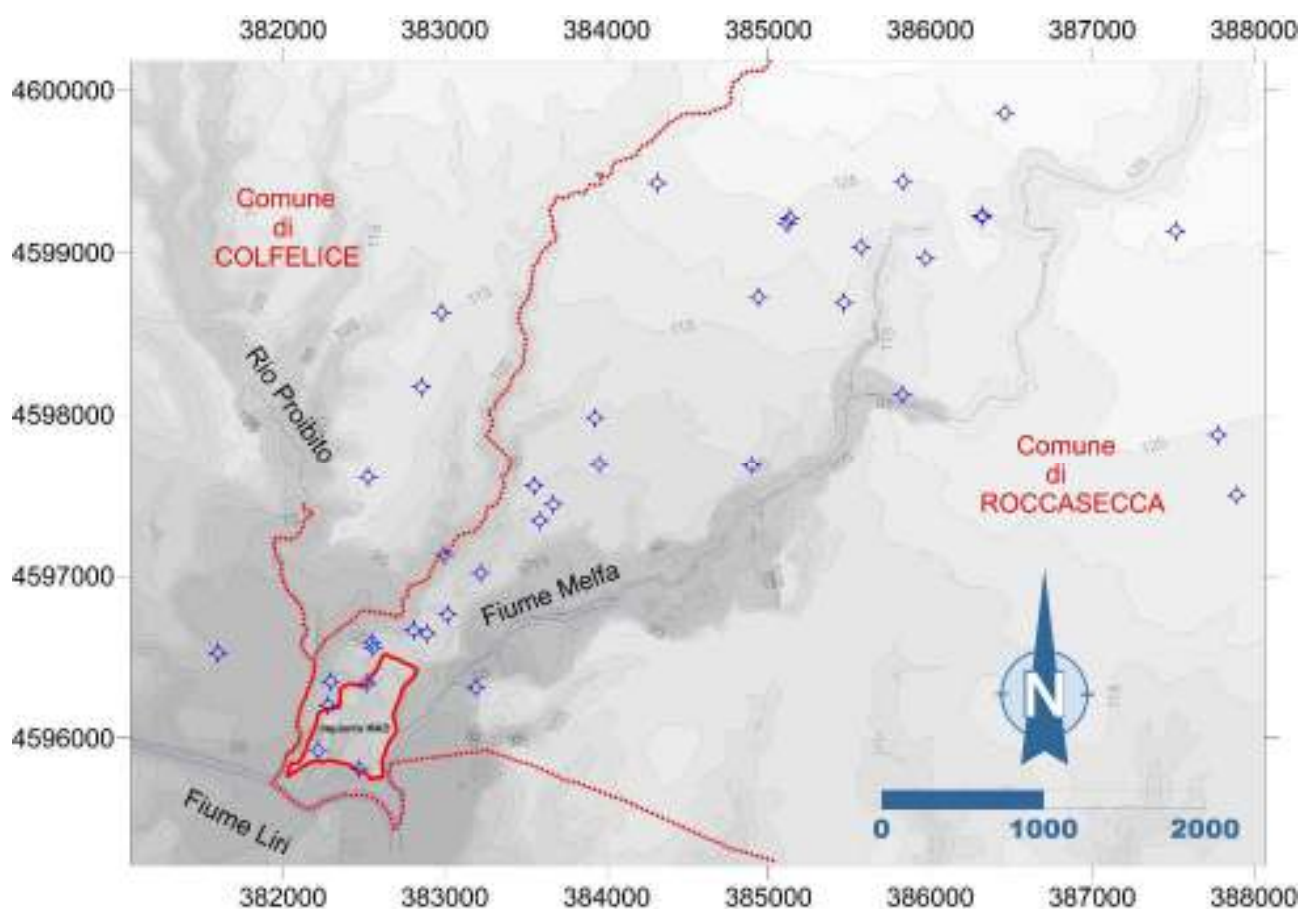


Fig. 7: Carta altimetrica con ubicazione dei punti di campionamento e il perimetro dell'impianto MAD. Sistema di riferimento geografico delle coordinate metriche UTM 33N, ED50

Dei punti campionati 5 ricadono nel territorio del Comune di Colfelice, mentre il RS26 (solo livello statico) è nel Comune di San Giovanni Incarico.

Le informazioni relative ai punti d'acqua censiti sono state inserite in una banca dati. Tale banca dati dei punti d'acqua è stata organizzata in modo da fornire le seguenti informazioni:

- dati relativi al punto d'acqua: coordinate del punto d'acqua (sistema ED50 UTM33), quota, nome della risorsa, località, stato di conservazione, accessibilità;

- tipologia del punto di monitoraggio (pozzo, piezometro, sorgente, fontanile);
- ricostruzione stratigrafica del pozzo; profondità dell'opera, del tratto filtrante, del livello statico, della pompa (quando disponibili le informazioni);
- data di campionamento, dati chimico-fisici determinati in campo: alcalinità, temperatura, conducibilità elettrica, pH, Eh, ossigeno disciolto;
- dati analitici determinati in laboratorio.

5.1 Ricostruzione del modello geologico locale

Dati pregressi

La ricostruzione del modello geologico rispetto al quadro generale sopra descritto, implica variazioni di ambito strettamente locale connesse alle attività antropiche che negli ultimi decenni si sono sviluppate nella zona in esame, prima attraverso l'attività estrattiva (cave di inerti), poi per la realizzazione della discarica.

Dal 2001 al 2014, previa richiesta del committente, sono state effettuate nell'area di interesse numerose indagini esplorative tra sondaggi, prove geotecniche in sito e in laboratorio al fine di attestare l'idoneità del substrato alla messa in opera dei diversi bacini di discarica, realizzati nel corso degli anni. In generale tali dati evidenziano la presenza dei depositi alluvionali antichi di natura sabbioso-ghiaiosa e limoso-sabbiosa-argillosa nella parte più superficiale del terrazzo perlopiù concentrati nel settore più settentrionale e di spessore piuttosto esiguo nelle restanti zone proprio per via delle precedenti attività estrattive. Questi depositi poggiano sui sedimenti lacustri del Bacino Lirino, costituiti da alternanze di limi argillosi e/o sabbiosi con sporadici episodi più grossolani di tipo fluviale, passanti in basso ad argille limose omogenee, la cui base non è mai stata intercettata da alcun sondaggio. Dai lavori pregressi, con particolare riferimento allo studio effettuato dal Dott. Geol. Treviso nel 2015, e quello predisposto per la realizzazione del bacino III di discarica (2005) si evince che le facies fluviali presentano a Nord uno spessore di circa 15-20 metri, decrescente verso Sud, fino a 5-10 metri. Per contro il tetto delle facies lacustri raggiunge quote più elevate nella zona centrale e nelle propaggini più a Sud del terrazzo.

Breve sintesi delle indagini svolte e definizione preliminare del modello

La costruzione del modello geologico locale oltre che dall'analisi di questi dati pregressi, forniti dal committente, si basa sulle indagini in sito predisposte allo scopo di valutare le condizioni idrogeologiche e idrochimiche sito-specifiche per la valutazione dei valori di fondo naturale. A tale proposito è stata svolta una campagna di indagini nei mesi gennaio-marzo 2016 durante la quale sono state misurate, campionate e analizzate le acque di 37 pozzi privati, la maggior parte dei quali distribuiti nell'area a monte dell'impianto. Sono stati inoltre misurati e campionati i pozzi-spia della rete di monitoraggio della discarica. Disponendo dei dati relativi alle indagini pregresse è stato realizzato un modello geologico-idrogeologico di dettaglio nell'area

dell'impianto da cui emerge una certa complessità in termini geologico-stratigrafici e di conseguenza di circolazione delle acque sotterranee.

Dall'analisi delle stratigrafie di sondaggio sono state elaborate sezioni geologiche di dettaglio lungo l'area della discarica, al fine di ricostruire l'assetto stratigrafico dei corpi sedimentari, ascrivibili alle Unità formazionali sopra citate e caratterizzati da un'estrema variabilità composizionale e strutturale/giaciturale sia in verticale che in orizzontale. I sondaggi disponibili evidenziano principalmente fitte alternanze di materiali riferibili a facies fluviali e lacustri, talora eteropici e strutturati in strati e lenti di spessore variabile, da pochi decimetri fino a qualche metro. Allo scopo di ricostruire l'assetto idrogeologico locale sono stati effettuati degli accorpamenti in funzione delle litologie dominanti, dei caratteri genetici e delle caratteristiche di permeabilità. In particolare per questo studio si è deciso di adottare la suddivisione di unità formazionali già utilizzata nel lavoro del 2015 del Dott. Geol. Treviso in quanto si ritiene che l'indagine condotta raggiunga un grado di dettaglio idoneo agli scopi di questo lavoro. Di seguito dunque vengono riportate le unità formazionali e le relative sotto-unità:

- Riporti antropici
- Depositi fluvio-lacustri antichi (ALLUVIONI ANTICHE)
 - Depositi sabbioso-ghiaiosi (SG)
 - Depositi limoso-argilloso sabbiosi (LAS)
- Depositi fluvio-lacustri superiori (LRN2)
 - Depositi sabbioso-ghiaiosi (SG)
 - Depositi limoso-argilloso sabbiosi (LAS)
- Depositi lacustri basali (LRN1)

Riporti

Sono costituiti da terreno di risulta verosimilmente derivante dagli scavi degli invasi esistenti e da materiali discretamente selezionati e costipati, posti in opera per usi specifici.

Depositi fluvio-lacustri antichi

Sono associabili all'intervallo stratigrafico costituito dalle "Alluvioni Antiche Terrazzate" sopra descritte. Le facies fluvio-lacustri tipici di questi depositi sono caratterizzati da variabilità laterale e verticale, che consente di distinguere piuttosto nettamente le due sotto-unità litologiche di seguito descritte.

Depositi sabbioso-ghiaiosi (SG)

Costituiti da alternanze di prevalenti sabbie limose ghiaiose, ghiaie con sabbia e limi sabbioso ghiaiosi con matrice giallastra o marrone, talora biancastra nei livelli di ghiaia; la frazione ghiaiosa, esclusivamente

calcarea, è costituita da clasti elaborati di dimensioni da sottili a medio-grosse (\varnothing max 4 cm), con rari ciottoli. Sono anche presenti intercalazioni di sabbie fini e limi sabbiosi giallastri, in strati da sottili a spessi, con interstrati di limo argilloso e argilla limosa di colore grigio e nerastro, spesso con resti di torba. Nel complesso, le litologie granulari si presentano mediamente addensate e/o lievemente cementate.

Depositi Limoso-Argillosi-Sabbiosi (LAS)

S'interpongono tra i corpi sabbioso-ghiaiosi (SG) descritti e sono rappresentati da alternanze a strati e banchi di limi argilloso-sabbiosi, limi e argille limose. Sono frequenti intercalazioni nerastre più o meno torbose in lamine e strati fino a circa 1 m, talora con resti legnosi riconoscibili. Come si legge nella relazione del Dott. Treviso "nell'area di bordo-scarpata lo scavo ha messo in luce apprezzabile fessurazione verticale, associata a consistenza marnosa del litotipo argilloso."

Depositi fluvio-lacustri superiori (LRN2)

Rispetto alla precedente Unità mostrano caratteri più spiccatamente lacustri, con scarsi apporti grossolani, discretamente confrontabili con i depositi del subsistema di Pontecorvo. Prevalgono le granulometrie fini e la componente argillosa. Il colore varia dal grigio chiaro al nerastro. Anche in questo caso il dettaglio stratigrafico dei sondaggi permette di differenziare due sotto-unità.

Depositi sabbioso-ghiaiosi (SG1)

Sono costituiti prevalentemente da sabbie e sabbie limose a grana fine con frequenti livelletti di limo sabbioso e sporadici interstrati limoso-argillosi fino a qualche centimetro, di complessivo colore grigio e grigio nerastro. Presentano inoltre intercalazioni di sabbie ghiaiose a granulometria da fine a media (\varnothing max frazione ghiaiosa: 1÷2 cm). Il materiale è generalmente molto addensato, a tratti con evidenti indizi di cementazione.

Depositi limosi-argilloso-sabbiosi (LAS1)

Si tratta di alternanze di limi argillosi da debolmente sabbiosi a sabbiosi e argille limose di colore grigio o grigio scuro con intercalazioni di limo e limo sabbioso grigio e nerastro. È evidente in tali depositi una struttura laminata, piano parallela, accentuata da alternanze di tipo varvato.

Depositi lacustri basali (LRN1)

Costituiscono il substrato su cui poggiano i termini fluvio-lacustri già descritti. La litofacies è caratterizzata da una successione monotona di argille limose-limi argillosi di colore grigio da chiaro a bruno con a luoghi dispersi piccoli resti lignitiferi e frammenti conchiliari minuti. La struttura è generalmente laminata, con laminazione piano-parallela orizzontale. Lungo la scarpata Sud del terrazzo sono stati riconosciuti in

affioramento materiali ascrivibili a questa unità, ma con consistenza pseudo-litoide e significativa fessurazione subverticale.

5.2 Risultati relativi all'idrogeologia

La ricostruzione dell'andamento del livello piezometrico è stata possibile mediante la misura del potenziale idraulico delle falde misurato in corrispondenza dei 39 punti d'acqua censiti, quasi tutti ubicati nella zona a monte dell'impianto MAD. I dati raccolti permettono di individuare la presenza di due falde nell'area a monte dell'impianto, in particolare una superficiale posta a pochi metri dal piano campagna, largamente utilizzata per uso domestico e una falda più profonda, rinvenuta in media tra i 20 e i 45 m da p.c. Nelle figure 8 e 9 vengono riportate le mappe piezometriche elaborate attraverso il metodo del *gridding* (vedi paragrafo 4.1) dei potenziali idraulici nei punti d'acqua censiti, in base alla loro posizione nella porzione di territorio analizzato. L'assetto idrogeologico dell'area in studio è schematizzato nel profilo idrogeologico riportato in figura 10. La ricostruzione si basa sui dati delle stratigrafie disponibili nell'area dell'impianto e sulla cartografia geologica ufficiale, dove si evince che LRN si estende verso monte, al di sotto del terrazzo del III ordine come indicato nella sezione idrogeologica.

In particolare la circolazione idrica sotterranea nella falda superficiale (fig. 8) mostra un andamento abbastanza regolare caratterizzato da un deflusso in direzione circa N-S, con quote della piezometria che digradano da circa 110 m s.l.m. a circa 85 m s.l.m. con un gradiente medio pari al 6 per mille. La superficie piezometrica della falda superficiale risulta essere abbastanza persistente, ad indicare dunque la presenza di un acquifero alluvionale piuttosto significativo, collocato all'interno dei depositi terrazzati. La presenza della falda superficiale non è stata registrata in corrispondenza dell'impianto, dove infatti i depositi alluvionali sono stati in gran parte rimossi e rimobilitati da attività antropiche, e risultano ormai presenti soltanto sporadicamente in lembi poco significativi. Il punto più a valle in cui è stato possibile osservare questa falda è il pozzo agricolo presente all'interno dell'impianto nei pressi degli uffici (l.s. 86.9 m s.l.m.).

Per quanto concerne la falda profonda, questa è ospitata nei depositi fluvio-lacustri (fig. 10), generalmente meno permeabili rispetto alle alluvioni. I livelli statici elaborati in figura 9 mostrano un deflusso sotterraneo con direttrice NNE-SSW, verso i corpi idrici superficiali (Fiume Liri, Fiume Melfa, Rio Proibito) a meridione posti a quote di circa 60 m s.l.m. nelle zone di valle. Il massimo piezometrico registrato in corrispondenza del pozzo RS031 potrebbe essere da imputare a una interferenza tra falda superiore e falda profonda, determinata dal condizionamento di alcuni pozzi, che mettono in comunicazione le due falde con sversamento di quella superficiale in quella inferiore. I livelli idrici riscontrati nei pozzi spia nell'impianto sono ascrivibili alla falda profonda.

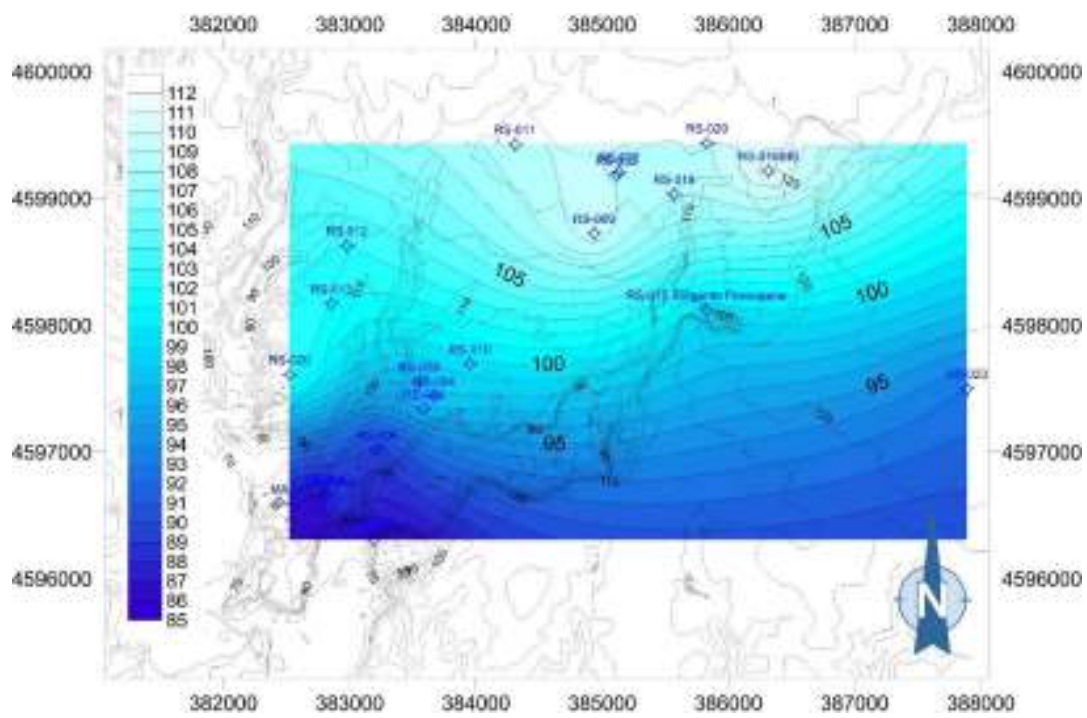


Fig. 8: Campo dei potenziali idraulici della falda superiore

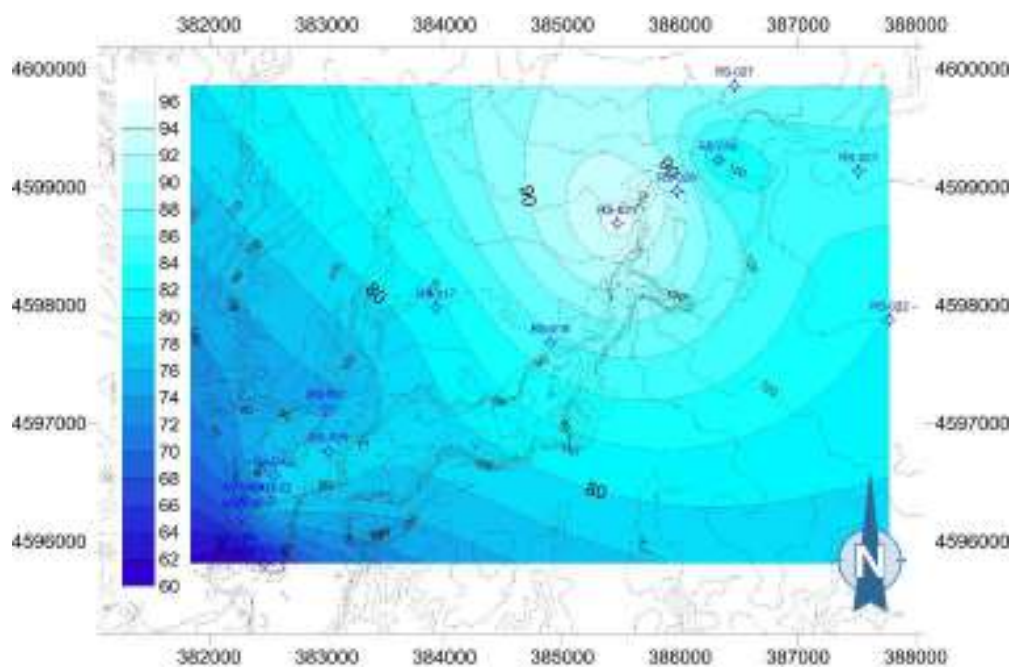


Fig. 9: Campo dei potenziali idraulici della falda inferiore

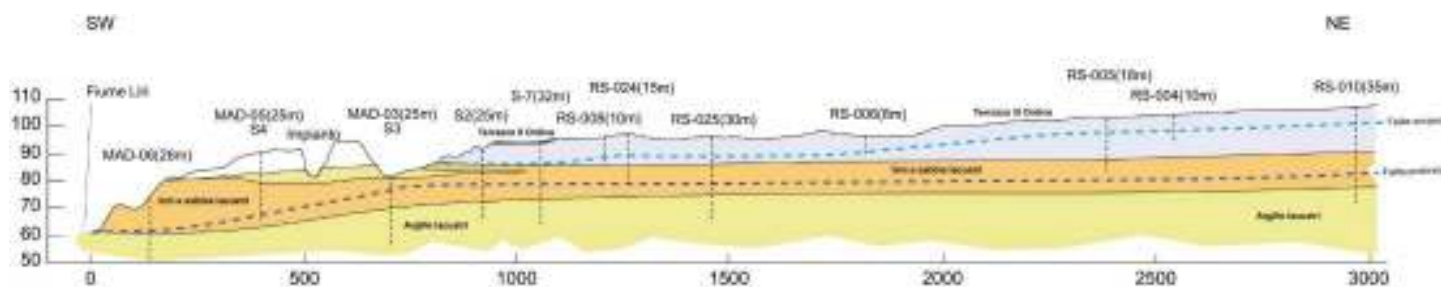


Fig. 10: Sezione idrogeologica schematica (la traccia del profilo è riportata in figura 2)

5.3 Risultati relativi all'idrogeochimica

In totale sono state eseguite 37 analisi complete: 33 su punti esterni e 4 su punti interni all'impianto. In Tabella 3 sono riportate le principali statistiche per i parametri determinati in campo e in laboratorio, mentre tutti i dati analitici sono riportati in annesso. Sono indicate anche le eccedenze rispetto alle CSC (D.lgs. 152/06, Tab. 2, All. 5 alla parte IV) e rispetto ai valori soglia del Dlgs 30/2009 (buono stato chimico delle acque sotterranee).

	Min	Max	Media	Mediana	Eccedenze CSC	Eccedenze Dlgs 30/2009
Temp	11	19.9	15.5	15.6	-	-
pH	6.8	8	7.1	7	-	-
Cond	563	1242	787.5	769	-	0
O2	1.5	9.9	6.5	6.9	-	-
Eh	77	320	163.4	145	-	-
F	0.08	1.36	0.2	0.16	0	0
Cl	4.6	89.6	25.2	19.7	-	0
NO3	2.2	110.8	25.7	17.6	-	4
PO4	0.27	0.33	0.3	0.31	-	-
SO4	4.1	124.7	28.1	22.7	0	0
HCO3	322.1	566.1	414.6	419.7	-	-
Na	6.72	93.12	20.3	16.8	-	-
K	0.2	12.3	2.0	1.5	-	-
Mg	3.9	37.1	16.8	16.2	-	-
Ca	93.7	166	116.2	114.6	-	-
Si	4.2	15.2	6.3	5.8	-	-
Li	0.4	5.8	2.0	1.5	-	-
B	1.1	87.6	13.4	7.7	0	0
Al	2.4	199.1	17.5	8.2	0	-
V	0.2	9.1	1.1	0.71	-	0
Cr_tot	0.1	3.5	1.0	0.9	0	0
Mn	0.1	77.4	3.9	0.2	1	-
Fe	7.9	228	41.0	15.1	1	-
Ni	0.1	1.4	0.4	0.2	0	0
Cu	0.1	37.6	3.2	1.9	0	-
Zn	0.9	92.3	13.9	9.4	0	-
As_tot	0.1	4.3	0.8	0.3	0	0
Rb	0.2	17.3	3.0	2.2	-	-
Sr	115.7	755.2	231.1	204.4	-	-
Ba	25.4	145	58.0	46.3	-	-
Pb	0.1	0.2	0.1	0.1	0	0
U	0.4	23.1	3.2	1.3	-	-

Tabella 3: Statistiche relative ai punti campionati esterni all'impianto (N = 33)

	Min	Max	Media	Mediana	Eccedenze CSC	Eccedenze Dlgs 30/2009
Temp	16.60	19.40	18.10	18.20	-	-
pH	6.20	7.00	5.85	7.00	-	-
Cond	796.00	1990.00	1150.00	907.00	-	0
O2	2.50	6.30	4.25	4.10	-	-
Eh	177.00	271.00	237.50	251.00	-	-
F	0.12	0.21	0.15	0.14	0	0
Cl	18.40	23.70	20.70	20.35	-	0
NO3	5.50	53.80	29.95	24.25	-	1
PO4					-	-
SO4	19.90	752.20	221.23	56.40	1	1
HCO3	373.30	566.10	477.03	484.35	-	-
Na	8.80	20.10	12.93	11.40	-	-
K	0.50	6.70	3.60	3.60	-	-
Mg	13.90	71.20	33.88	25.20	-	-
Ca	128.40	382.00	194.68	134.15	-	-
Si	5.70	9.70	6.85	6.00	-	-
Li	0.90	6.00	4.25	5.05	-	-
B	3.80	23.80	16.63	19.45	0	0
Al	1.40	91.40	25.88	5.35	0	-
V	0.20	1.70	0.88	0.80	-	0
Cr_tot	0.20	1.30	0.25	0.50	0	0
Mn	0.20	83.60	41.28	40.65	2	-
Fe	13.20	152.20	66.00	49.30	0	-
Ni	1.70	17.40	6.68	3.80	0	0
Cu	0.20	0.90	0.38	0.20	0	-
Zn	3.60	24.20	13.33	12.75	0	-
As_tot	0.10	1.60	0.63	0.40	0	0
Rb	1.20	13.90	8.25	8.95	-	-
Sr	163.30	537.80	398.88	447.20	-	-
Ba	41.60	121.10	75.58	69.80	-	-
Pb	0.10	0.20	0.15	0.15	0	0
U	1.20	7.60	3.75	3.10	-	-

Tabella 4: Statistiche relative ai punti campionati all'interno dell'impianto (PZ01, PZ07, PZ08, PZ09; N=4)

Caratterizzazione geochimica dell'area di studio

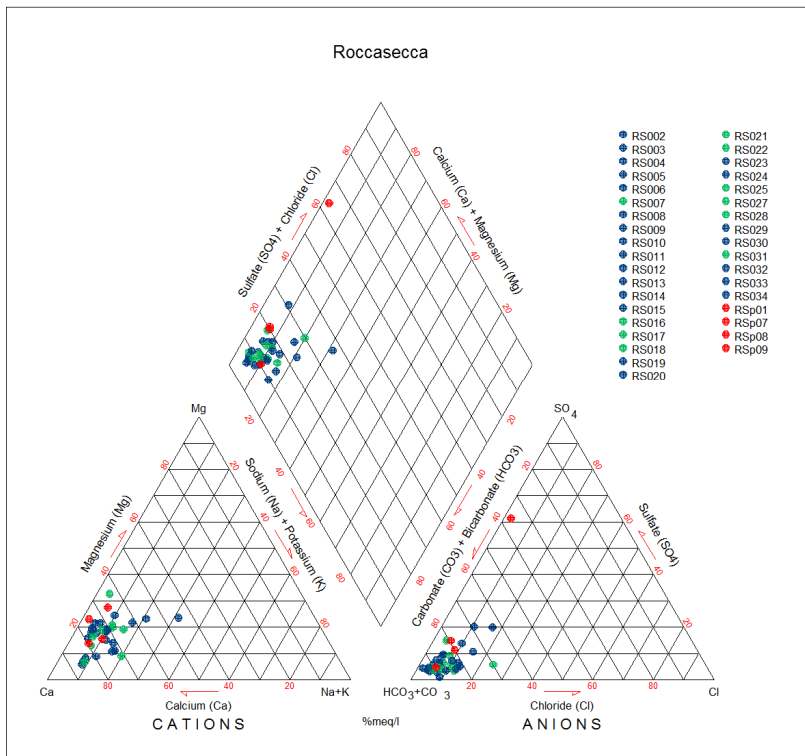


Fig. 11: Diagramma di Piper. In blu i dati relativi alla falda superficiale, in verde alla falda profonda, in rosso ai punti interni all'impianto

Le acque sono classificate come bicarbonato-calciche (fig. 11), l'unico punto che si distacca è il Pozzo Spia 01 (interno all'impianto) che mostra una concentrazione di solfati decisamente elevata, che lo porta nel riquadro delle solfato-alcalino-terrose. Anche la classificazione di Stiff (fig. 12) mostra la stessa similitudine fra i punti, anche con concentrazioni assolute analoghe, mentre il diagramma relativo al Pozzo Spia 01 si distingue per forma e dimensioni.

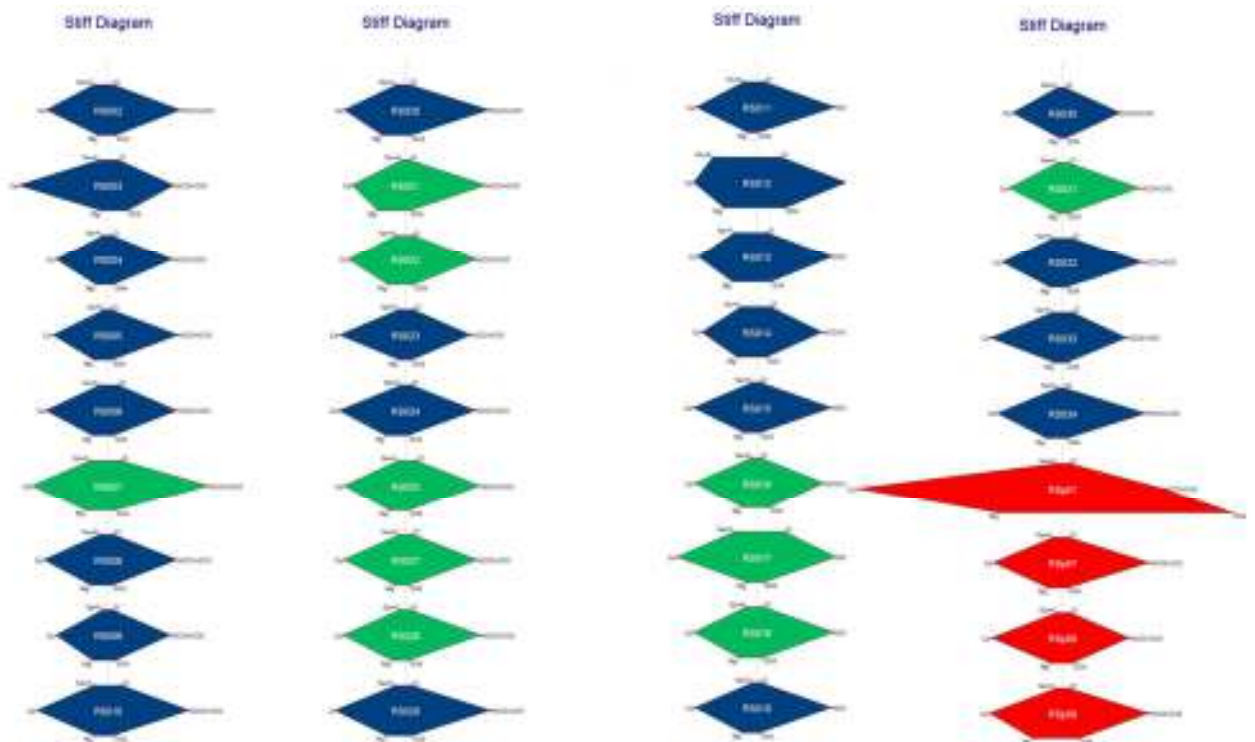


Fig. 12: Diagrammi di Stiff. In blu i dati relativi alla falda superficiale, in verde alla falda profonda, in rosso ai punti interni all'impianto

Nitrati

I nitrati non sono considerati dalla Tabella 2 All.V Parte 4 del Dlgs 152/2006. Tuttavia il Dlgs 30/2009 impone uno standard di qualità pari a 50 mg/L,; analogo limite viene posto dal Dlgs 31/2001 per il consumo umano. Questo valore viene superato in 4 punti esterni all'impianto (RS03, RS06, RS08, RS24), posti nei settori di valle della falda superficiale, in prossimità dell'impianto ma a monte idrogeologico, ed in un punto interno all'impianto (Pozzo Spia 08) attribuito alla falda profonda. Fra gli esterni il punto RS03 è una modesta sorgente, captata con una cisterna, posta al piede di un versante a valle di un allevamento di bufale non più attivo. Questo depone per una origine legata alle emissioni delle attività zootecniche anche se dismesse. In generale le cause più probabili, anche per gli altri punti, sono da ascrivere verosimilmente a zootecnia o ad uso eccessivo di fertilizzanti agricoli.

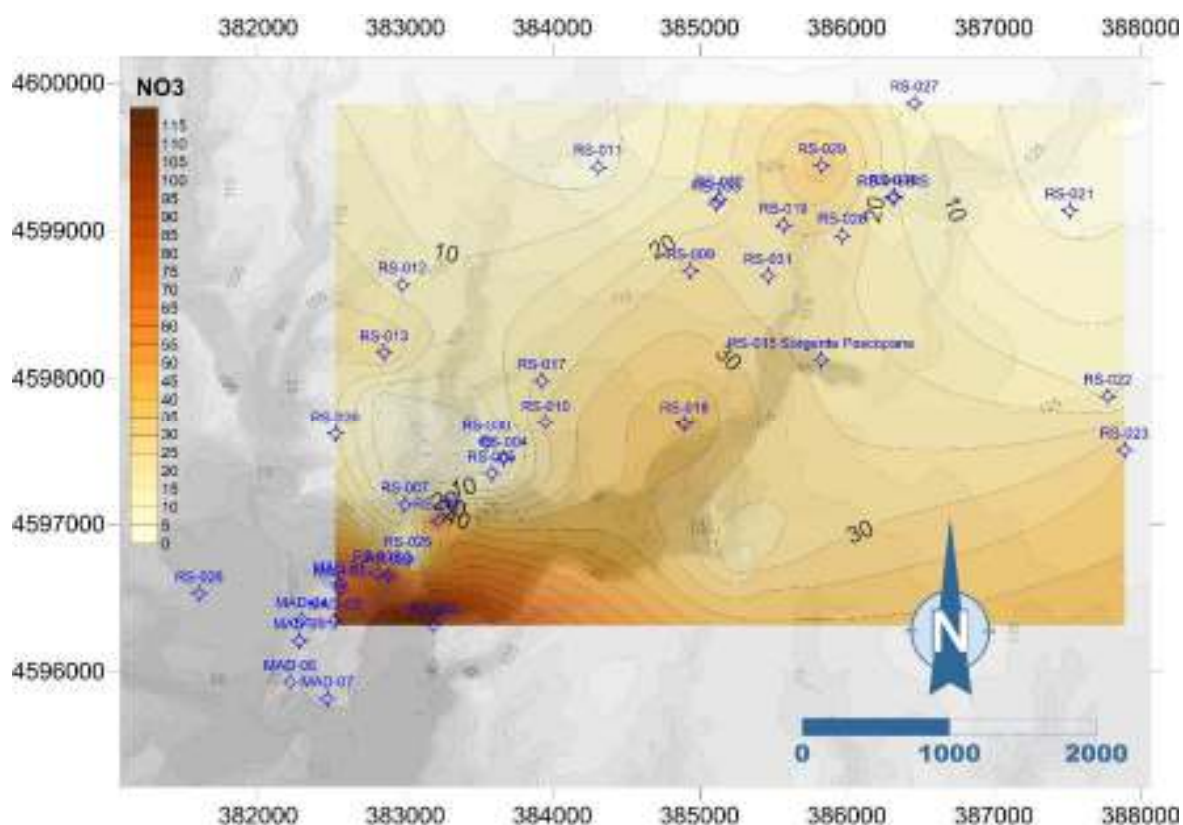


Fig. 13: Interpolazione della concentrazione dei nitrati nei punti analizzati. La concentrazione dei nitrati tende ad aumentare verso valle, con i valori massimi riscontrati nella falda superiore a monte dell’impianto.

Solfati

Nei punti esterni la concentrazione massima rilevata è di 124.7 mg/L, inferiore alla CSC (250 mg/L). Eccede la CSC (250 mg/L) il pozzo spia 01 interno all’impianto col valore di 752 mg/L.

La normativa per le acque destinate al consumo umano (DLgs 31/2001, recepimento della Direttiva Europea 98/83/CE) include i solfati nella lista dei “parametri indicatori” (Tab. C dell’All. I), con la stessa concentrazione soglia (“valore di parametro”) utilizzate per definire la CSC. I parametri indicatori sono quelli il cui superamento non implica una interruzione immediata della fornitura idrica, ma richiede la valutazione da parte dell’azienda unità sanitaria locale circa il possibile rischio per la salute umana e la predisposizione di eventuali provvedimenti intesi a ripristinare la qualità delle acque ove ciò sia necessario per tutelare la salute umana (Art.14 del DLgs 31/2001).

Le conclusioni della Organizzazione Mondiale sulla Salute (WHO) sul tenore ammissibile di solfati nelle acque potabili (WHO, 2004), sottolineano che non si identificano effetti avversi sulla salute umana, a parte un effetto lassativo al di sopra di 1000-1200 mg/L. Il limite di 250 mg/L proposto per le acque potabili (come “parametro indicatore”) è in relazione ad aspetti organolettici e ad eventuali effetti corrosivi sui sistemi di distribuzione (da http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/sulfate.pdf).

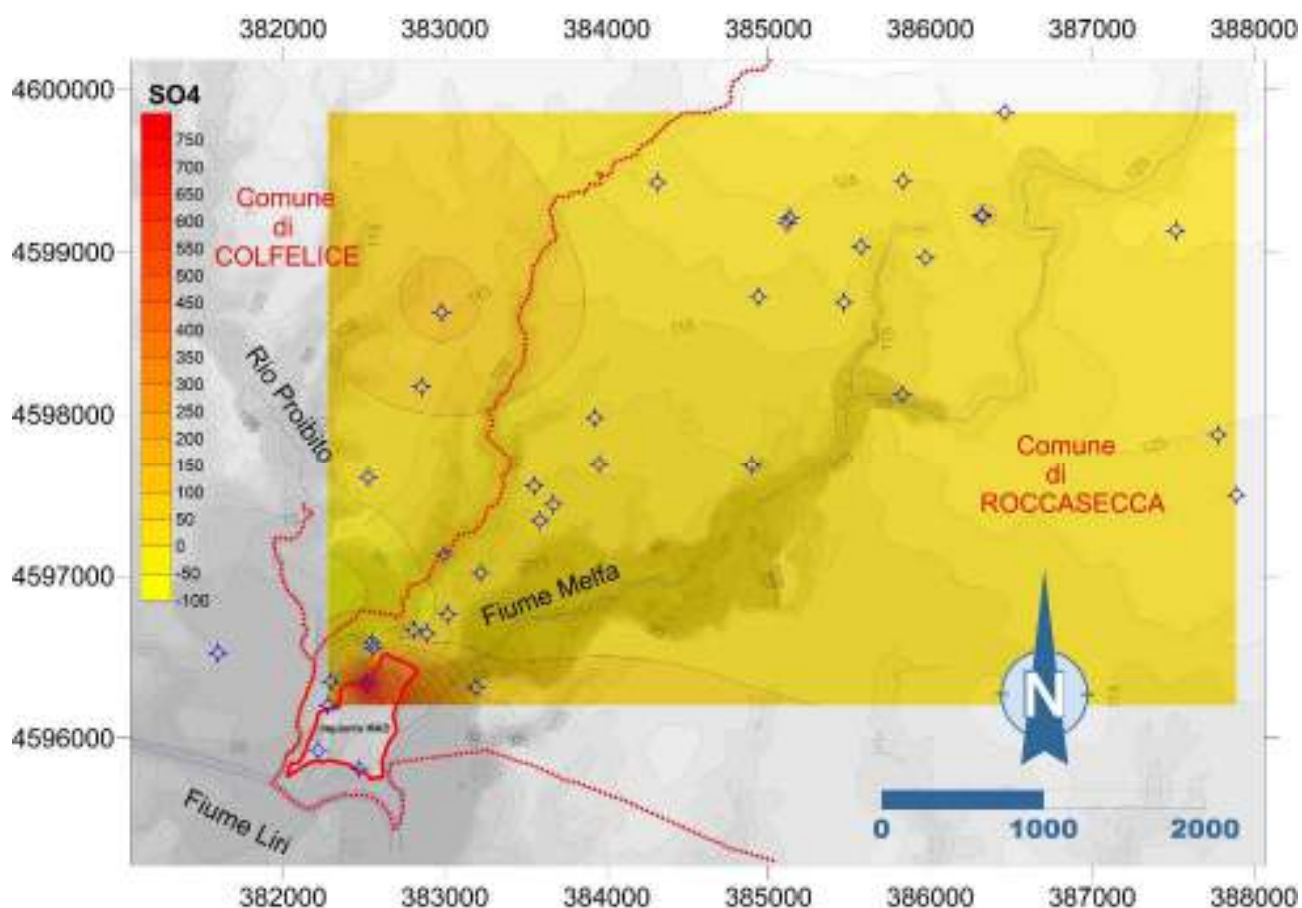


Fig. 14: Interpolazione della concentrazione dei solfati nei punti analizzati. La concentrazione dei solfati mostra un unico picco di concentrazione all'interno dell'impianto.

Metalli

Relativamente alla concentrazione dei metalli analizzati si può segnalare che per la maggior parte di essi i valori sono molto contenuti, ad eccezione di alcuni casi descritti nel seguito.

Arsenico

La Direttiva Europea 98/83/EC, recepita in Italia con il D. Lgs. 31/2001, impone un limite massimo di 10 µg As/L nelle acque distribuite a fini idropotabili, limite che in molti casi continua ad essere superato negli acquiferi laziali. Nella zona in esame tuttavia le concentrazioni di As rilevate sono piuttosto contenute, con un valore massimo di 4.30 µg/L, largamente inferiore alla CSC di 10 µg/L.

Manganese e Ferro

Questi due metalli vengono trattati insieme perché presentano alcune analogie nel comportamento, essendo entrambi molto poco solubili in acqua nello stato ossidato (manganese tetravalente e ferro trivalente) e molto più solubili nello stato ridotto (Mn bivalente e Fe bivalente).

Le CSC fissate dal Dlgs 152/2006 sono di 50 µg/L per il manganese e di 200 µg/L per il ferro.

Analogamente a quanto descritto per i solfati, anche il manganese e il ferro sono inclusi dal DLgs 31/2001 nella lista dei "parametri indicatori" (Tab. C dell'All. I), con le stesse concentrazioni soglia utilizzate per definire le CSC. Si rammenta che i "parametri indicatori" hanno una funzione differente rispetto ai "parametri chimici" della tabella B del suddetto Allegati I, i quali "parametri chimici" NON devono eccedere il "valore di parametro" pena l'interruzione immediata della fornitura idrica. I limiti indicati per i "parametri indicatori" non poggiano quindi tanto su considerazioni di carattere tossicologico quanto piuttosto di carattere organolettico e gestionale, dal momento che concentrazioni superiori ai valori fissati potrebbero determinare problemi nei sistemi di adduzione e distribuzione per la possibile insorgenza di fenomeni di precipitazione di ossidi di ferro e manganese, di incrostazioni e/o di occlusioni. L'OMS non considera necessario derivare per questi metalli un valore di guida (WHO 2011) perché non costituiscono preoccupazione per la salute umana ai livelli che non causano problemi di accettabilità nelle acque potabili. Temporelli e Mantelli (2004) nel commentare i differenti valori previsti per le acque destinate al consumo umano e per le acque minerali sottolineano, in particolare per il manganese, che i più alti valori tollerati per le acque minerali (500 µg/L per Mn e assenza di limite per Fe, Decreto Ministero della Salute 29 dicembre 2003, Attuazione della Direttiva 2003/40/CE) stanno proprio ad indicare che l'insorgenza di fenomeni di tossicità per la salute umana si può riscontrare solo a livelli di concentrazione decisamente più alti rispetto ai limiti di 50 e 200 µg/L fissati dal Dlgs. 152/2006 per le acque sotterranee. Si sottolinea infine che il Dlgs 30/2009, che recepisce la Direttiva Europea sulle Acque Sotterranee 118/2006/EC, non include affatto questi metalli nella lista di sostanze e parametri da monitorare al fine della definizione del buono stato chimico dei corpi idrici sotterranei.

Le concentrazioni rilevate nell'area di studio sono molto contenute, solo in due punti esterni all'impianto eccedono di poco le CSC : il RS16 per il ferro (228 µg/L) e RS31 per il manganese (77.4 µg/L). All'interno dell'impianto sono stati rilevati due superamenti per il manganese nei pozzi spia 01 e 08 (83.6 e 71.9 µg/L rispettivamente).

Questi valori sono riconducibili all'instaurarsi di *facies* ipossiche o anossiche nell'acquifero, tali da favorire la presenza di specie ridotte molto più solubili.

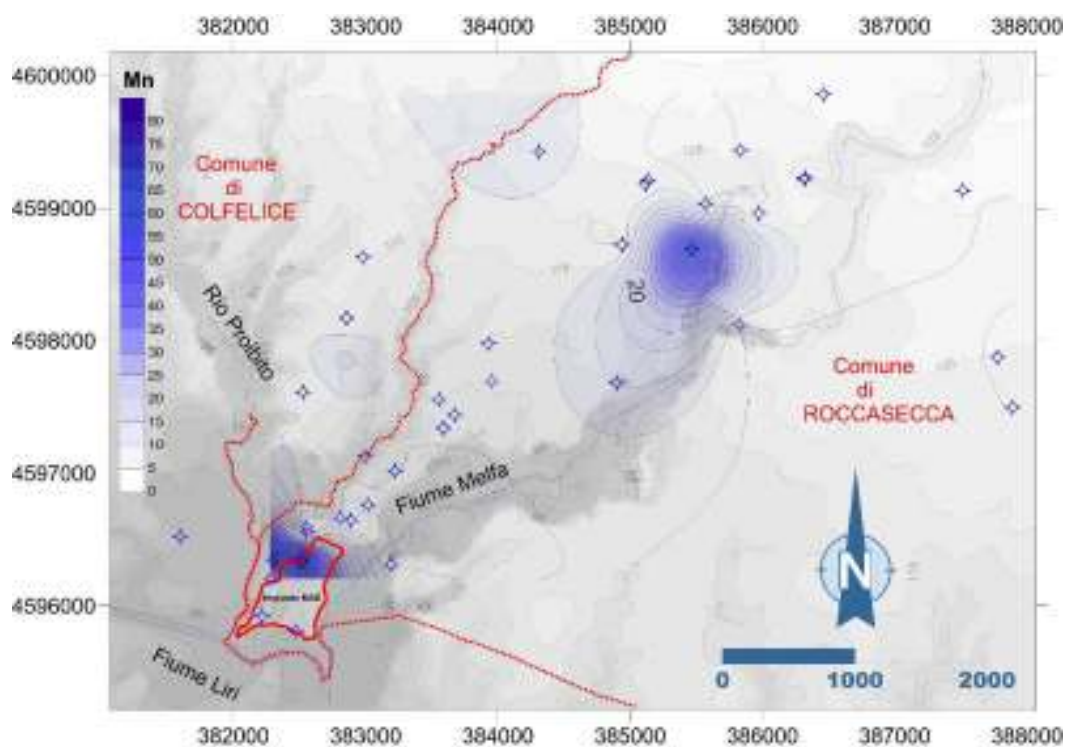


Fig. 15: Interpolazione della concentrazione del manganese nei punti analizzati. Si osserva un valore relativamente elevato nella falda inferiore nel settore nord-orientale dell'area di studio ed un secondo picco di pari entità in corrispondenza dell'impianto

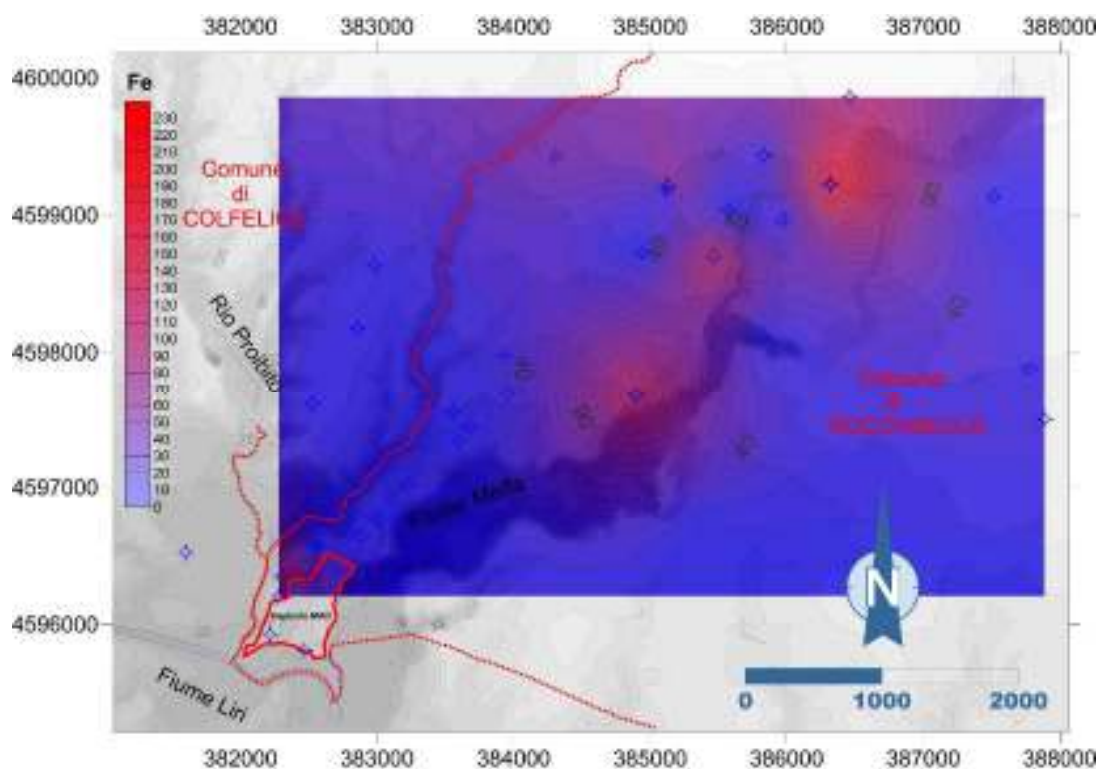


Fig. 16: Interpolazione della concentrazione del ferro nei punti analizzati. Si osservano dei valori relativamente elevati nel settore nord-orientale dell'area di studio ed un picco meno pronunciato all'interno dell'impianto

Fluoruri

I fluoruri sono abbondantemente diffusi in aria, nelle acque e nella litosfera dove rappresentano lo 0,06 – 0,09% della crosta terrestre. Molti dei fluoruri sono chimicamente poco reattivi e quindi difficilmente biologicamente attivi. La disponibilità dello ione fluoruro nei suoli dipende dalla solubilità del composto contenente fluoro, dall'acidità del suolo e dalla sua umidità. Le acque sotterranee arrivano a contenere fino a 25 mg/L di fluoruri, mentre le acque superficiali di solito ne sono meno ricche, anche se le acque di laghi vulcanici del *Rift* africano arrivano a contenerne anche 2000 mg/L. I fluoruri non sono essenziali per la crescita umana e lo sviluppo ma, assunti in quantità pari a 0,05 mg per chilogrammo di peso corporeo o applicati localmente con dentifrici o altri prodotti specifici, favoriscono la prevenzione delle carie. Il contenuto di fluoruri nel corpo non può essere controllato e una eccessiva assunzione di fluoruri può causare fluorosi dentale o addirittura fluorosi scheletrica. Il livello massimo tollerabile di assunzione (UL) fissato da EFSA è superato da adulti che consumino 2,8 L/giorno di acqua con un tenore in fluoruri maggiore di 3,0 mg/L, oppure per ragazzi (6 - 15 anni) che consumino più di 1,5 L/giorno. Per ragazzi di età ancora minore (1 – 6 anni) il livello UL è superato assumendo più di 1 L/giorno di acqua a 0,8 mg/L di fluoruri.

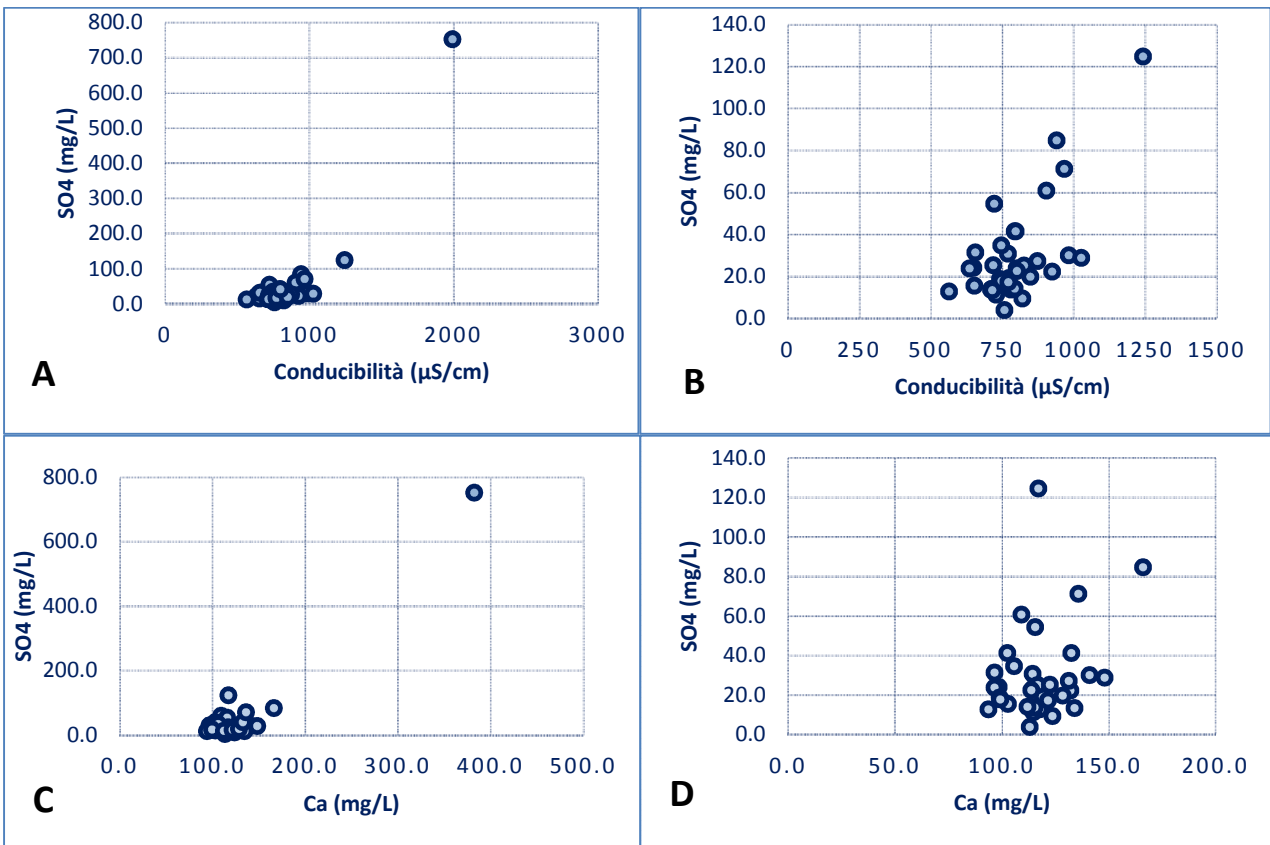
Nella zona di studio i valori osservati per il F sono largamente inferiori alla CSC, ad esclusione del RS20 dove si raggiunge il valore di 1.36 mg/L, comunque inferiore ai limiti di legge. Si osserva una buona correlazione con Si e V, altri elementi caratteristici delle rocce di origine vulcanica, a sottolineare una possibile origine geogenica.

Analisi statistica dei dati idrochimici

Sui dati analitici sono state calcolate le principali statistiche univariate, bivariate e multivariate. Le prime sono sintetizzate in Tabella 3. L'analisi bivariata è sintetizzata in Tabella 5 dove è mostrata la matrice dei coefficienti di correlazione (R) tra i vari elementi e verificata mediante il calcolo dei *p-values*. Sono state considerate le correlazioni (positive o negative) superiori a |0.6| con $p < 0.05$.

	Temp	pH	Cond	O2	Eh	F	Cl	NO3	SO4	HCO3	Na	K	Mg	Ca	Si	Li	B	Al	V	Cr_tot	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As_tot	Rb	Sr	Ba	Pb	U
Temp	1.00	-0.05	0.26	-0.17	0.13	-0.01	-0.05	-0.36	0.32	0.17	0.00	0.12	0.34	0.24	0.12	0.36	-0.02	-0.07	-0.04	-0.28	0.34	0.04	0.41	-0.34	0.00	0.23	0.57	0.27	0.04	-0.08	0.14
pH	-0.05	1.00	-0.58	0.47	-0.22	0.15	-0.15	-0.02	-0.50	-0.57	0.01	-0.09	-0.43	-0.60	0.09	-0.08	-0.05	0.01	0.08	0.11	-0.31	-0.27	-0.52	0.05	-0.24	0.11	0.06	-0.14	0.06	0.18	-0.01
Cond	0.26	-0.58	1.00	-0.48	-0.02	0.03	0.38	0.01	0.90	0.69	0.36	-0.02	0.84	0.90	0.18	0.47	-0.06	-0.14	-0.07	-0.18	0.49	0.04	0.81	-0.12	-0.05	-0.22	0.34	0.49	0.07	0.18	0.33
O2	-0.17	0.47	-0.48	1.00	0.09	-0.16	-0.34	0.26	-0.31	-0.57	-0.35	-0.23	-0.46	-0.28	-0.41	-0.50	0.04	0.25	-0.21	0.45	-0.23	0.01	-0.29	0.14	0.25	-0.21	-0.23	-0.44	-0.43	-0.15	-0.39
Eh	0.13	-0.22	-0.02	0.09	1.00	-0.22	-0.14	-0.01	-0.02	0.13	-0.27	0.31	0.03	0.07	-0.24	-0.13	-0.12	-0.04	-0.16	0.16	0.00	-0.13	0.14	0.10	0.41	-0.12	0.02	-0.13	0.10	0.07	-0.34
F	-0.01	0.15	0.03	-0.16	-0.22	1.00	0.03	-0.11	-0.02	0.15	0.22	-0.07	0.18	-0.08	0.83	0.33	-0.12	-0.10	0.90	-0.12	-0.10	-0.17	-0.10	-0.03	0.02	0.10	0.44	0.71	0.10	0.04	0.25
Cl	-0.05	-0.15	0.38	-0.34	-0.14	0.03	1.00	0.01	0.05	0.26	0.81	-0.02	0.10	0.11	0.25	0.13	-0.07	-0.15	-0.08	-0.06	-0.09	-0.06	-0.01	-0.18	-0.30	0.07	0.17	0.18	0.45	0.31	
NO3	-0.36	-0.02	0.01	0.26	-0.01	0.11	0.01	1.00	-0.07	-0.25	-0.13	0.22	-0.11	0.06	-0.12	-0.26	-0.08	0.03	-0.08	0.21	-0.01	-0.06	-0.09	0.14	0.02	-0.10	-0.10	-0.17	-0.14	0.19	-0.20
SO4	0.32	-0.50	0.90	-0.31	-0.02	-0.02	0.05	-0.07	1.00	0.46	0.05	-0.10	0.81	0.94	0.04	0.47	-0.08	-0.05	-0.09	-0.14	0.59	0.11	0.93	-0.09	0.03	-0.12	0.34	0.43	-0.08	-0.02	0.23
HCO3	0.17	-0.57	0.69	-0.57	0.13	0.15	0.26	-0.25	0.46	1.00	0.34	0.05	0.66	0.51	0.26	0.33	0.08	-0.20	0.10	-0.24	0.22	-0.01	0.45	-0.20	-0.04	-0.14	0.17	0.41	0.28	0.16	0.27
Na	0.00	0.01	0.36	-0.35	-0.27	0.22	0.81	-0.13	0.05	0.34	1.00	-0.13	0.20	0.00	0.44	0.22	-0.08	-0.17	0.06	0.01	-0.16	-0.18	-0.12	-0.07	-0.20	-0.27	0.07	0.33	0.21	0.38	0.62
K	0.12	-0.09	-0.02	-0.23	0.31	-0.07	-0.02	0.22	-0.10	0.05	-0.13	1.00	0.01	-0.06	0.10	0.16	0.14	0.20	0.04	-0.15	0.17	0.33	0.01	0.05	-0.03	0.55	0.33	0.07	0.53	0.16	-0.08
Mg	0.34	-0.43	0.84	-0.46	0.03	0.18	0.10	-0.11	0.81	0.66	0.20	0.01	1.00	0.72	0.23	0.62	0.02	-0.12	0.11	-0.21	0.34	-0.07	0.72	-0.11	-0.05	-0.11	0.47	0.57	0.08	0.13	0.36
Ca	0.24	-0.60	0.90	-0.28	0.07	-0.08	0.11	0.06	0.94	0.51	0.00	-0.06	0.72	1.00	-0.03	0.33	-0.08	-0.07	-0.13	-0.17	0.56	0.10	0.92	-0.09	0.09	-0.19	0.26	0.34	-0.05	0.01	0.09
Si	0.12	0.09	0.18	-0.41	-0.24	0.83	0.25	-0.12	0.04	0.26	0.44	0.10	0.23	-0.03	1.00	0.56	-0.18	-0.17	0.76	-0.15	0.01	-0.11	-0.05	-0.18	-0.10	0.14	0.60	0.79	0.35	0.11	0.57
Li	0.36	-0.08	0.47	-0.50	-0.13	0.33	0.13	-0.26	0.47	0.33	0.22	0.16	0.62	0.33	0.56	1.00	0.07	-0.01	0.24	-0.31	0.50	0.11	0.46	-0.27	-0.11	0.11	0.73	0.76	0.43	0.11	0.54
B	-0.02	-0.05	-0.06	-0.04	-0.12	-0.12	-0.07	-0.08	-0.08	0.08	-0.08	0.14	0.02	-0.08	-0.18	0.07	1.00	0.74	-0.07	-0.12	0.06	0.51	-0.06	-0.14	-0.15	-0.01	-0.06	0.03	0.12	0.18	-0.08
Al	-0.07	0.01	-0.14	0.25	-0.04	-0.10	-0.15	0.03	-0.05	-0.20	-0.17	0.20	-0.12	-0.07	-0.17	-0.01	0.74	1.00	-0.01	0.13	0.16	0.74	0.01	-0.08	0.03	0.06	-0.03	0.06	0.02	-0.01	-0.12
V	-0.04	0.08	-0.07	-0.21	-0.16	0.90	-0.15	-0.08	-0.09	0.10	0.06	0.04	0.11	-0.13	0.76	0.24	-0.07	-0.01	1.00	-0.07	-0.12	-0.08	-0.11	-0.01	0.07	0.18	0.33	0.64	0.09	-0.04	0.26
Cr_tot	-0.28	0.11	-0.18	0.45	0.16	-0.12	-0.08	0.21	-0.14	0.24	0.01	-0.15	-0.21	-0.17	-0.15	-0.31	-0.12	0.13	-0.07	1.00	-0.19	0.07	-0.18	0.08	0.06	-0.35	-0.36	-0.22	-0.49	-0.07	-0.07
Mn	0.34	-0.31	0.49	-0.23	0.00	-0.10	-0.06	-0.01	0.59	0.22	-0.16	0.17	0.34	0.56	0.01	0.50	0.06	0.16	-0.12	-0.19	1.00	0.52	0.73	-0.14	0.08	0.17	0.36	0.40	0.23	0.07	0.11
Fe	0.04	-0.27	0.04	0.01	-0.13	-0.17	-0.09	-0.06	0.11	-0.01	-0.18	0.33	-0.07	0.10	-0.11	0.11	0.51	0.74	-0.08	0.07	0.52	1.00	0.23	-0.16	0.08	0.25	0.03	0.13	0.13	-0.11	0.00
Ni	0.41	-0.52	0.81	-0.29	0.14	-0.10	-0.06	-0.09	0.93	0.45	-0.12	0.01	0.72	0.92	-0.05	0.46	-0.06	0.01	-0.11	-0.18	0.73	0.23	1.00	-0.10	0.15	-0.07	0.34	0.41	0.02	0.01	0.12
Cu	-0.34	0.05	-0.12	0.14	0.10	-0.03	-0.01	0.14	-0.09	-0.20	-0.07	0.05	-0.11	-0.09	-0.18	-0.27	-0.14	-0.08	-0.01	0.08	-0.14	-0.16	-0.10	1.00	0.12	-0.03	-0.13	-0.23	-0.15	0.24	-0.14
Zn	0.00	-0.24	-0.05	0.25	0.41	0.02	-0.18	0.02	0.03	-0.04	-0.20	-0.03	-0.05	0.09	-0.10	-0.11	-0.15	0.03	0.07	0.06	0.08	0.08	0.15	0.12	1.00	-0.10	-0.07	0.05	-0.19	-0.14	-0.13
As_tot	0.23	0.11	-0.22	-0.21	-0.12	0.10	-0.30	-0.10	-0.12	-0.14	-0.27	0.55	-0.11	-0.19	0.14	0.11	-0.01	0.06	0.18	-0.35	0.17	0.25	-0.07	-0.03	-0.10	1.00	0.30	-0.02	0.37	-0.15	-0.07
Rb	0.57	0.06	0.34	-0.23	0.02	0.44	0.07	-0.10	0.34	0.17	0.07	0.33	0.47	0.26	0.60	0.73	-0.06	-0.03	0.33	-0.36	0.36	0.03	0.34	-0.13	-0.07	0.30	1.00	0.68	0.40	0.08	0.32
Sr	0.27	-0.14	0.49	-0.44	-0.13	0.71	0.17	-0.17	0.43	0.41	0.33	0.07	0.57	0.34	0.79	0.76	0.03	0.06	0.64	-0.22	0.40	0.13	0.41	-0.23	0.05	-0.02	0.68	1.00	0.28	0.19	0.51
Ba	0.04	0.06	0.07	-0.43	0.10	0.10	0.18	-0.14	-0.08	0.28	0.21	0.53	0.08	-0.05	0.35	0.43	0.12	0.02	0.09	-0.49	0.23	0.13	0.02	-0.15	-0.19	0.37	0.40	0.28	1.00	0.27	0.35
Pb	-0.08	0.18	-0.18	-0.15	-0.07	0.04	0.45	0.19	-0.02	0.16	0.38	0.16	0.13	0.01	0.11	0.11	0.08	-0.01	-0.04	-0.07	0.07	-0.11	0.01	0.24	-0.14	-0.15	0.08	0.19	0.27	1.00	0.02
U	0.14	-0.01	0.33	-0.39	-0.34	0.25	0.31	-0.20	0.23	0.27	0.62	-0.08	0.36	0.09	0.57	0.54	-0.08	-0.12	0.26	-0.07	0.11	0.00	0.12	-0.14	-0.13	-0.07	0.32	0.51	0.35	0.02	1.00

Tabella 5: matrice dei coefficienti di correlazione (R) tra i vari elementi.



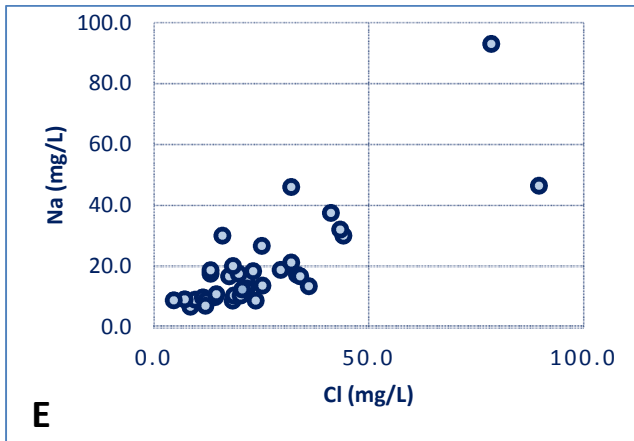


Fig. 17: diagrammi a dispersione (A: solfati verso conducibilità, B: dettaglio; C: solfati verso calcio, D: dettaglio; E: sodio verso cloruri;)

Na e Cl sono ben correlati. RS17 (punto a destra) si allontana un po' per un eccesso di Cl rispetto al Na. I solfati sono ben correlati con la conducibilità. Si osserva come il punto spia 01 (punto in alto) si distacchi dalla tendenza del gruppo per un eccesso di solfati, peraltro ben bilanciato dall'aumento del calcio (figura 17).

L'analisi multivariata (PCA, analisi cluster) effettuata sui dati logaritmici (figure 18-19) mostra l'attesa buona correlazione fra gli elementi maggiori (bicarbonati, solfati, calcio, magnesio, cloro e sodio), confermata dalle correlazioni bivariate. Inoltre si osserva una certa similitudine fra quegli elementi minori legati alla, seppur blanda, influenza dei processi vulcanici nella Valle Latina (fluoro, silicio vanadio, arsenico, rubidio, litio e potassio).

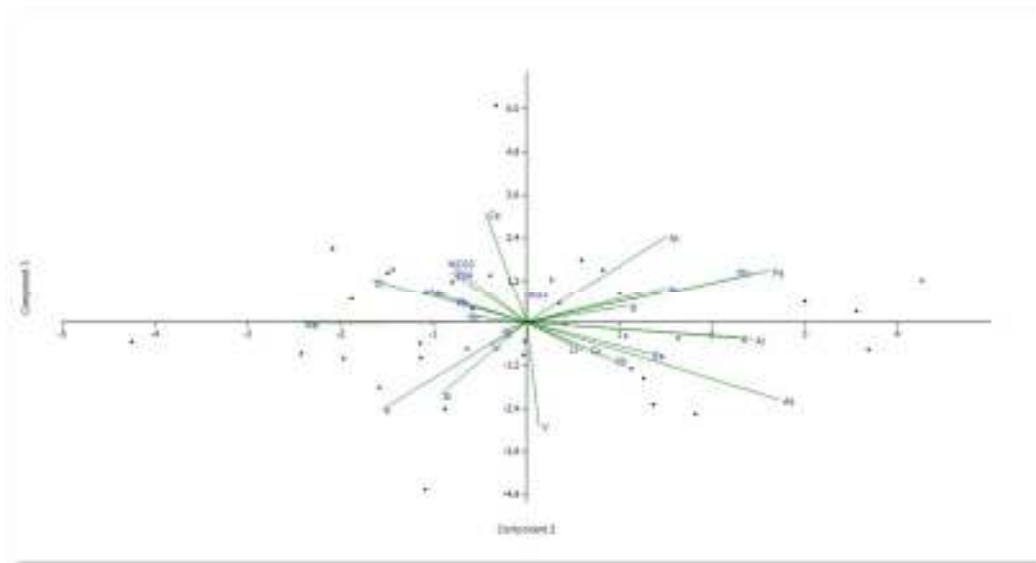


Fig. 18: Elaborazione statistica dei dati tramite analisi multivariata

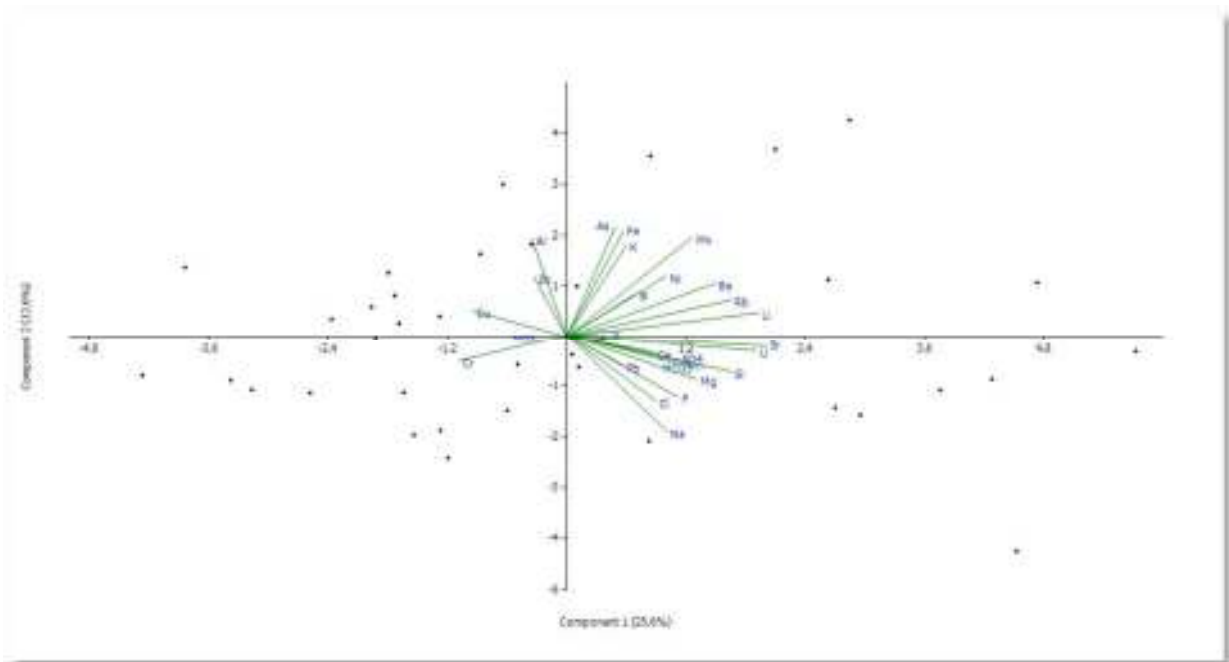


Fig. 19: Elaborazione statistica dei dati tramite analisi multivariata

Test di normalità

Utilizzando il test di Shapiro Wilk (livello di confidenza 0.05 e 0.01), è stato verificato che le distribuzioni dei dati totali non sono mai di tipo normale (gaussiano) tranne che per i bicarbonati, né lognormali ad eccezione di Cl, NO₃, K, Mg, Li, B, Zn, Rb, Sr, Ba. Il ferro e il manganese hanno distribuzioni asimmetriche, con asimmetria positiva in relazione ai valori alti, come è tipico di questi metalli.

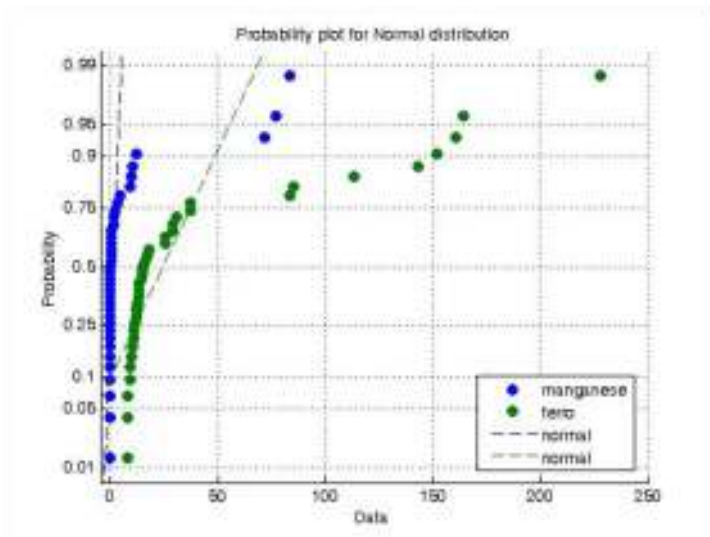


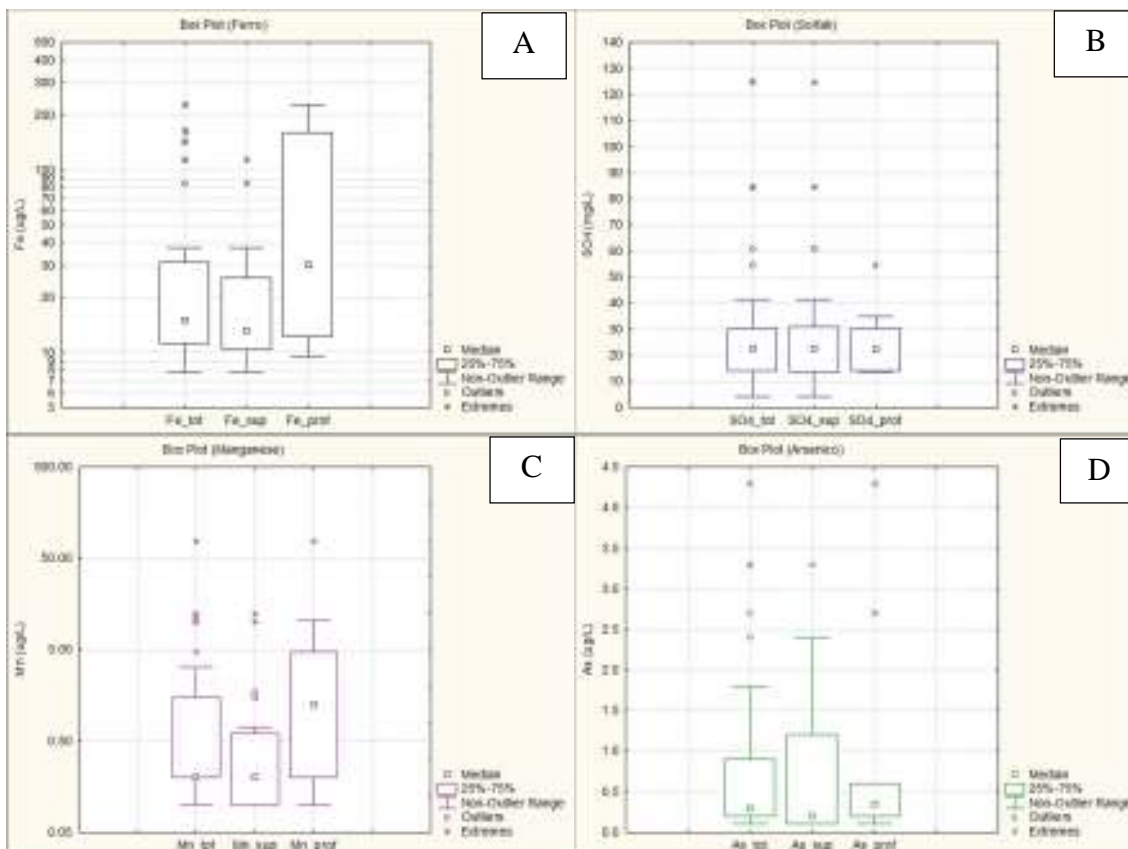
Fig.20: Diagramma di probabilità per ferro e manganese (N=37). Le distribuzioni dei due elementi sono confrontate con le rispettive distribuzioni teoriche normali (linea in tratteggio). Il diagramma mette in evidenza l'asimmetria positiva dei due dataset.

Analisi dei box plot

In figura 21 sono riportati i diagrammi *box & whisker* relativi ad alcuni parametri significativi, sia per il totale del dataset (escluso il sito) che suddivisi in falda superficiale e falda profonda. I diagrammi (box plot) sono stati realizzati riportando su scala logaritmica i valori del 25° e 75° percentile per la costruzione del *box* e utilizzando la differenza fra tali valori, moltiplicata per un coefficiente (1,5) per il tracciamento dei *whisker*. Nei diagrammi sono riportati anche i valori analitici che eccedono le soglie così evidenziate, distinti in *outlier* e *extreme* a seconda che si ecceda o meno il valore di 3 volte la differenza fra il 75° e il 25° percentile.

L'esame dei parametri statistici e dei diagrammi mostra che alcuni parametri, ferro e manganese soprattutto, hanno una distribuzione molto variabile con molti valori classificabili come *outlier*.

Il confronto dei dati suddivisi per falda superficiale e profonda evidenzia alcune differenze che, seppur poco marcate, permettono di differenziare i due corpi idrici: la falda superficiale mostra valori mediamente più elevati per i nitrati, come ci si aspetta data la maggiore propensione alla contaminazione da attività agricole e zootecniche, mentre quella inferiore, più protetta, ha valori medi e massimi più contenuti. Viceversa, nella falda inferiore, meno ossigenata anche se non decisamente anossica (vedi box plot relativo al DO), si trovano valori mediamente più elevati di ferro e manganese, come ci si aspetta in un ambiente ipossico. Si rammenta che le condizioni di campionamento della falda inferiore sono tali da inficiare l'attendibilità dei risultati, poiché in alcuni pozzi trivellati la falda inferiore si miscela con la falda superiore quando questa non è stata isolata opportunamente.



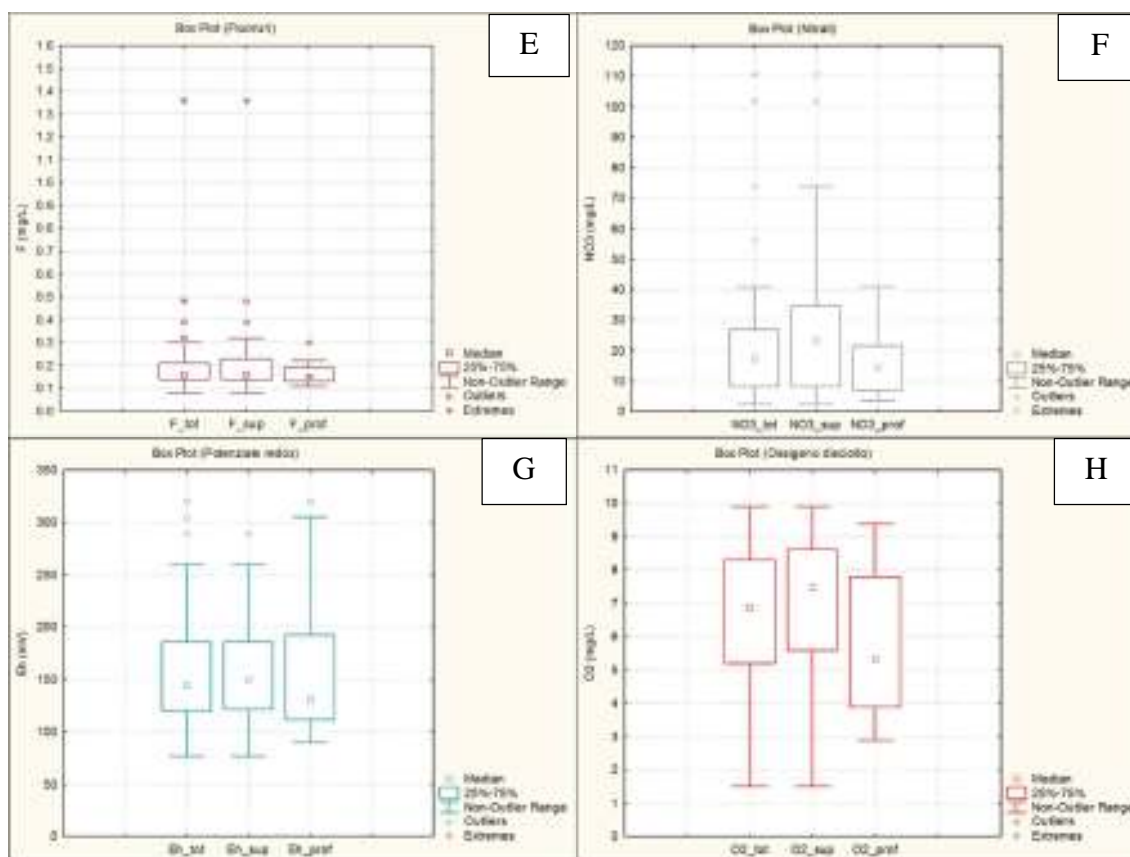


Fig. 21: BOX PLOT relativi ad alcuni parametri significativi (A: Ferro; B: Solfati; C: Manganese; D: Arsenico; E: Fluoruri; F: Nitrati; G: potenziale redox; H: ossigeno disciolto)

Proposta di valori di fondo geochimico naturale

Come già specificato, sono stati complessivamente prelevati 37 campioni relativi ad altrettanti punti d'acqua. Tutte le 37 analisi hanno superato il test relativo al bilancio ionico ($EN < 10\%$).

Per il calcolo dei VFN secondo il metodo della preselezione si è proceduto all'applicazione dei criteri di esclusione previsti dalla metodologia descritta nei capitoli precedenti.

Per quanto riguarda la concentrazione limite di nitrati, come esposto in precedenza, ISPRA (2009) e European Commission (2009) suggeriscono di escludere i campioni con concentrazione di $NO_3 > 10$ mg/L, con l'obiettivo di riferirsi a "*pristine water bodies*" nel definire valori di fondo. Queste indicazioni si scontrano con la realtà che spesso presenta livelli di antropizzazione generalizzata; si rende quindi necessario includere campioni con livelli anche superiori ai 10 mg/L perché altrimenti il *data set* sarebbe molto limitato. In conformità a quanto già elaborato nel corso dei precedenti studi di Guidonia e Malagrotta, realizzati nell'ambito di questa convenzione, si è deciso quindi di includere tutti i valori con $NO_3 < 50$ mg/L, anche sulla base della soglia per le acque in buono stato chimico. Questa soglia ha comportato l'eliminazione di 4 campioni (RS03, RS06, RS08, RS24) nella falda superficiale.

E' necessario inoltre, distinguere le acque da valutare in aerobiche (o ossidanti) ed anaerobiche (o riducenti), come suggerito anche da ISPRA (2009) e da European Commission (2009), in modo da caratterizzare acquiferi in condizioni omogenee. Condizioni anaerobiche possono derivare dalla biodegradazione di sostanze organiche, che agiscono da "donatore di elettroni", siano esse di origine antropica (sostanze inquinanti) ovvero naturalmente presenti nell'acquifero, quali torbe o altre sostanze di origine sin-sedimentaria (DOC di origine litologica). Anche i solfuri, ossidandosi a solfati, possono agire da donatore di elettroni. L'ossigeno, che agisce da "accettore di elettroni", può essere quindi ridotto dall'attività biologica durante il trasferimento di elettroni dalla sostanza organica, quindi vengono utilizzati i nitrati, il Mn(IV), il Fe(III), fino alla riduzione dei solfati e alla metanogenesi, con energia liberata decrescente (Tesoriero and Puckett, 2011).

Come esposto nei paragrafi precedenti, il modello concettuale del sito in esame individua due corpi idrici distinti: una falda superiore posta a poca profondità dal piano campagna, largamente utilizzata dalle abitazioni della zona per l'uso domestico, raggiunta con pozzi di largo diametro (1 metro) di tipo "alla romana", scavati a mano; una falda inferiore, molto meno utilizzata, la cui superficie piezometrica si trova generalmente fra 20 e 40 m di profondità, raggiunta da perforazioni trivellate che localmente mettono in comunicazione la falda inferiore con quella superiore.

L'analisi dei dati finalizzata ad una proposta di valore di fondo geochimico naturale è stata fatta separatamente per i due corpi idrici, e per l'insieme delle due falde. In tabella 6 viene riportato il massimo di ciascun dataset (Max) e il 95° percentile (calcolato con la formula =PERCENTILE di Excel). Si rammenta che la totalità dei dati analitici e di campo è riportata in annesso.

I dati relativi al sito sono stati ovviamente esclusi da questi datasets, ma in tabella 6 viene riportato il massimo riscontrato nei quattro punti spia esaminati, per confronto. Le eccedenze si riferiscono alle CSC. In figura 22 è riportata l'ubicazione dei punti spia nell'impianto.

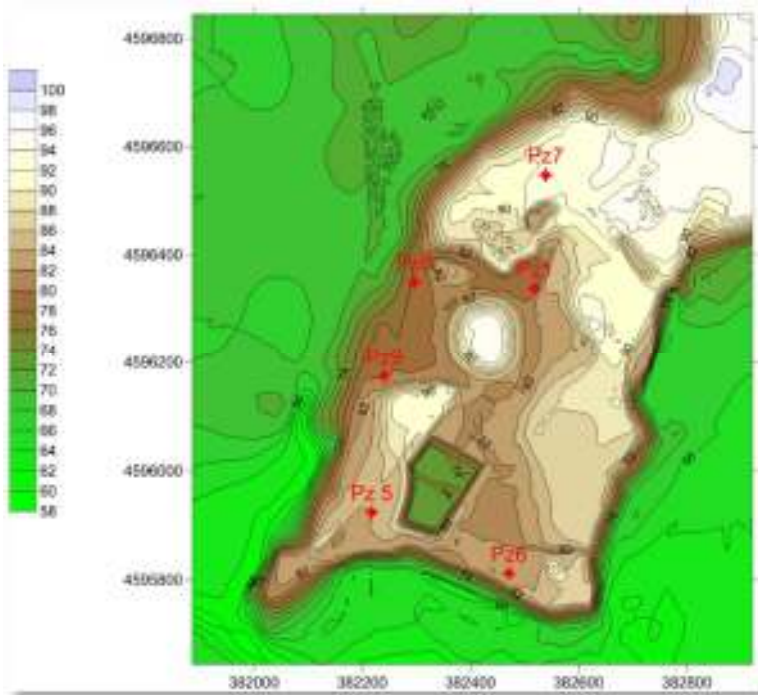


Fig. 22: Planimetria dell'impianto e ubicazione dei punti spia attualmente utilizzati.

Il metodo della PRESELEZIONE prevede, come esposto in precedenza, l'esclusione di quei punti d'acqua chiaramente influenzati da contaminazioni esterne, per cui per quanto riguarda la falda superficiale sono stati esclusi i 4 punti con $\text{NO}_3 > 50 \text{ mg/L}$. Inoltre sono stati esclusi due punti caratterizzati da scarsa ossigenazione e quindi con condizioni redox differenti. Il dataset selezionato risulta quindi di 17 punti. Per la falda inferiore non sono state riscontrate evidenti contaminazioni antropiche in base ai nitrati (NO_3 sempre $< 50 \text{ mg/L}$) e non è stata effettuata alcuna selezione sulla base del potenziale redox poiché il corpo idrico mostra delle caratteristiche naturalmente ipossiche, anche se non generalizzate. Su questo secondo corpo idrico sono stati reperiti 10 punti d'acqua, quindi con una numerosità molto contenuta. Peraltro nella zona studiata è stato svolto un lavoro di dettaglio nella ricerca dei possibili punti d'acqua ascrivibili alla falda inferiore che ha portato al reperimento dei suddetti 10 pozzi.

- Falda superficiale: 23 punti iniziali
 - 4 esclusi per $\text{NO}_3 > 50 \text{ mg/L}$ (RS03, RS06, RS08, RS24)
 - 2 esclusi per $\text{DO} < 3 \text{ mg/L}$ (RS11, RS12)
 - Punti residui: 17
- Falda profonda: 10 punti
 - NO_3 sempre $< 50 \text{ mg/L}$
 - Condizioni ipossiche proprie, nessuna esclusione per condizioni redox

Infine nell'ultima colonna della tabella 6 sono mostrati, per confronto, i valori massimi selezionati dai dati relativi alle analisi effettuate da ARPA, cercando di selezionare fra i vari rapporti di prova e report esaminati i risultati analitici meglio confrontabili con le analisi svolte da IRSA. Non sono state quindi considerate le analisi relative al mineralizzato EPA3015a trattato con acido nitrico, poiché chiaramente relative ad una fase diversa dal disciolto in falda, mentre sono state esaminati i soli risultati relativi a campioni filtrati (con filtro a pieghe senza specifica di porosità, oppure con filtro a 0.45 um senza specifica del tipo di filtro) oppure senza altre specifiche ma distinguibili dal "mineralizzato" e che dovrebbero quindi riferirsi comunque alla fase disciolta.

Le osservazioni che si possono fare sono le seguenti:

- 1) La falda superficiale mostra valori sempre di molto inferiori alle CSC per tutti i parametri considerati. Le uniche eccedenze osservate sono relative ai nitrati rispetto ai limiti del buon stato chimico delle acque sotterranee (Dlgs 30/2009). I 95° percentili di questo dataset sono quindi ovviamente tutti inferiori alle CSC.
- 2) La falda inferiore mostra, come già esposto in precedenza, dei valori mediamente più alti per il ferro e il manganese, a causa delle condizioni ipossiche sopra descritte, con due eccedenze (una per il ferro e una per il manganese) in due punti differenti. I relativi 95° percentili, calcolati su 10 valori, risultano quindi più alti, e di poco inferiori alle CSC (47.3 per il manganese, CSC = 50; 199.4 per il ferro, CSC = 200). Analoghe considerazioni per B, Al e Zn, ma con valori che non eccedono mai le CSC né nei 10 punti individuati all'esterno né per i punti spia interni all'impianto.
- 3) Avendo dovuto separare i dati raccolti in due differenti corpi idrici, la numerosità campionaria risultante è molto contenuta, sia per la falda superiore ma in modo molto marcato per quella inferiore, dove ci si riduce a soli 10 punti disponibili per le statistiche. Questo rende piuttosto deboli le considerazioni su base statistica. In particolare si ritiene che 10 soli punti di campionamento siano insufficienti per una valutazione statisticamente significativa soprattutto per quei parametri che hanno una deviazione standard molto alta (Tabella 7, Al, Mn e Fe).

	CSC	Superficiale PRE-SEL (N=17)		Profonda (N=10)		Superficiale+Profonda (Totale (N=33) senza SITO (N=4))		SITO (N=4)		DATI ARPA SU FILTRATO (FILTRO A PIEGHE o 0.45) O NON SPECIFICATO (2013-2015)			
		Max	95° perc	Max	95° perc	Max	95° perc	Max	95° perc	MAX	Eccedenze	MIN	MAX
F mg/L	1.5	1.36	0.66	0.30	0.26	1.36	0.43	1.36	0.43	0.21	0	sempre < CSC	
SO4 mg/L	250.0	60.90	45.38	54.60	45.69	60.90	50.67	124.70	70.46	752.20	1	< 0.5	655
B ug/L	1000.0	34.10	16.66	87.60	66.23	87.60	38.30	87.60	36.50	23.80	0	sempre < CSC	
Al ug/L	200.0	42.60	28.84	199.10	130.88	199.10	46.03	199.10	44.56	91.40	0	sempre < CSC	
Cr tot ug/L	50.0	3.50	3.26	1.70	1.52	3.50	2.75	3.50	2.30	1.30	0	sempre < CSC	
Mn ug/L	50.0	12.50	3.86	77.40	47.29	77.40	11.90	77.40	11.30	83.60	2	< 5	590
Fe ug/L	200.0	113.30	52.50	228.00	199.38	228.00	163.38	228.00	162.36	152.20	0	< 20	1700
Ni ug/L	20.0	1.40	1.08	1.40	1.27	1.40	1.31	1.40	1.22	17.40	0	< 1	12
Cu ug/L	1000.0	14.70	7.10	4.10	3.20	14.70	4.93	37.60	9.00	0.90	0	sempre < CSC	
Zn ug/L	3000.0	36.80	31.04	92.30	60.21	92.30	34.64	92.30	32.48	24.20	0	sempre < CSC	
As ug/L	10.0	3.30	2.58	4.30	3.58	4.30	3.12	4.30	2.94	1.60	0	< 1	84

Tabella 6: Valori massimi e 95° percentile dei parametri chimici di interesse dei datasets elaborati e confronto con i dati analitici rilevati dai gestori e da ARPA.

		Superficiale PRE-SEL (N=17)					Profonda (N=10)					Totale (N=33)				
		Min	Max	Media	Mediana	Dev st	Min	Max	Media	Mediana	Dev st	Min	Max	Media	Mediana	Dev st
F	mg/L	0.08	1.36	0.26	0.16	0.30	0.11	0.30	0.17	0.15	0.06	0.08	1.36	0.22	0.16	0.22
NO3	mg/L	2.90	39.20	19.39	17.60	11.23	3.30	40.80	16.05	14.85	11.23	2.20	110.80	25.67	17.60	26.11
SO4	mg/L	11.40	60.90	24.06	22.70	12.52	13.90	54.60	25.25	22.10	12.77	4.10	124.70	28.12	22.70	23.65
B	μg/L	1.10	34.10	7.73	4.90	7.60	5.70	87.60	25.36	19.80	24.18	1.10	87.60	13.35	7.70	16.35
Al	μg/L	3.40	42.60	12.88	8.60	10.17	2.40	199.10	31.71	11.35	60.28	2.40	199.10	17.51	8.20	34.20
V	μg/L	0.40	9.10	1.39	0.80	2.03	0.20	1.40	0.56	0.35	0.42	0.20	9.10	1.07	0.71	1.52
Cr tot	μg/L	0.20	3.50	1.15	1.10	0.97	0.10	1.70	0.63	0.35	0.57	0.10	3.50	0.99	0.90	0.81
Mn	μg/L	0.10	12.50	1.05	0.20	2.98	0.10	77.40	9.91	1.25	23.94	0.10	77.40	3.92	0.20	13.57
Fe	μg/L	7.90	113.30	22.91	14.60	25.05	9.60	228.00	81.91	30.15	82.60	7.90	228.00	40.99	15.10	55.89
Ni	μg/L	0.10	1.40	0.32	0.20	0.36	0.10	1.40	0.62	0.60	0.45	0.10	1.40	0.40	0.20	0.39
Cu	μg/L	0.10	14.70	2.94	2.50	3.39	0.10	4.10	1.20	0.80	1.24	0.10	37.60	3.16	1.90	6.73
Zn	μg/L	0.90	36.80	13.75	10.20	11.36	3.20	92.30	17.24	8.90	26.94	0.90	92.30	13.88	9.40	17.00
As	μg/L	0.10	3.30	0.83	0.40	0.94	0.10	4.30	0.96	0.35	1.40	0.10	4.30	0.79	0.30	1.03

Tabella 7: Parametri statistici calcolati sui differenti datasets relativi alle due falde.

Nelle figure 23 e 24 sono mostrati i dati relativi al manganese e al ferro plottati su diagrammi probabilistici (QQ plot). Nei diagrammi relativi al manganese si può osservare come i dati relativi all'impianto (rosso) si dispongano con i valori più alti in prossimità dell'unico valore eccedente la CSC rilevato durante il monitoraggio della falda esternamente all'impianto. I due valori eccedenti la CSC determinati da IRSA all'interno dell'impianto sono assolutamente confrontabili con il valore massimo determinato nello stesso corpo idrico esternamente all'impianto (dati indicati con l'ovale). In viola sono riportati i dati relativi ad una parte dei monitoraggi ARPA 2013-2014, selezionati come esposto sopra, mentre le croci blu indicano i dati del monitoraggio MAD (2005-2015) nel Pz1. Appare evidente come queste due serie di dati si discostino notevolmente dalla serie di valori determinati da IRSA. Considerazioni analoghe si possono fare per i diagrammi relativi al ferro dove l'unico superamento delle CSC è relativo ad un pozzo esterno all'impianto già descritto in precedenza.

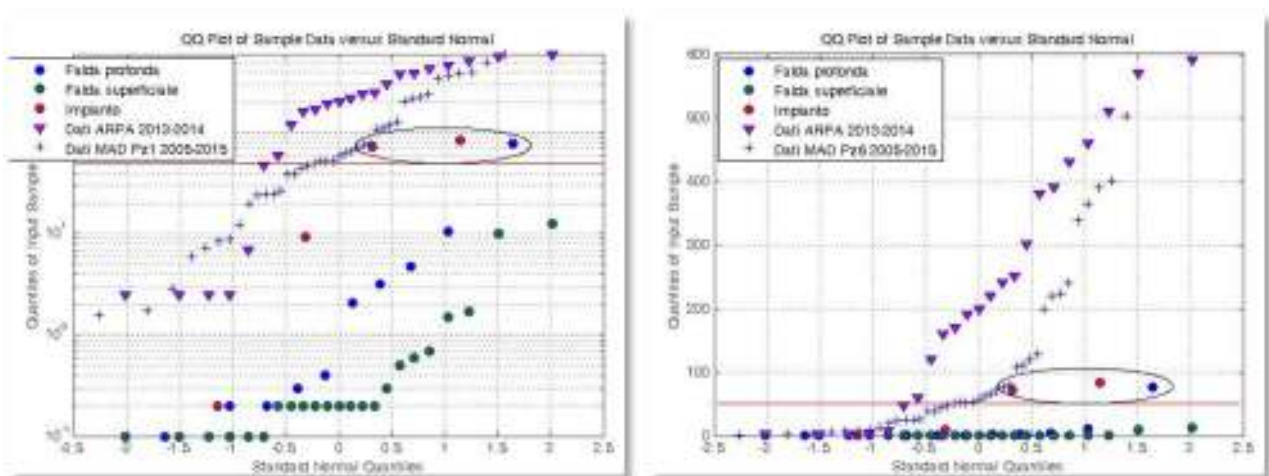


Fig. 23: Diagramma QQ per il manganese. La linea rossa indica la CSC (50 ug/L). Sinistra dati in scala logaritmica; destra scala lineare.

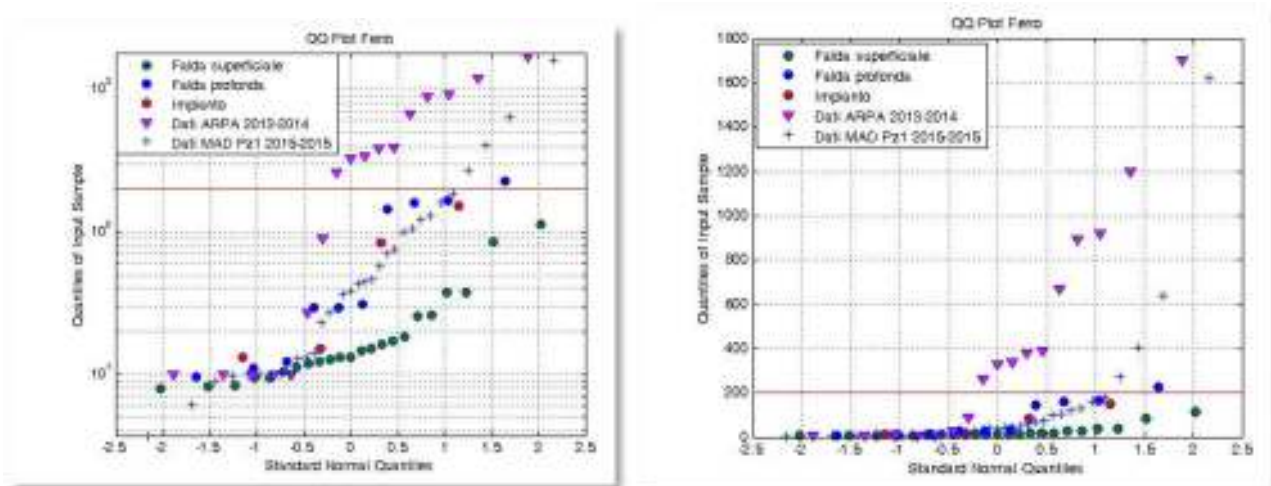


Fig. 24: Diagramma QQ per il ferro. La linea rossa indica la CSC (200 ug/L). Sinistra dati in scala logaritmica; destra scala lineare.

6. Conclusioni

- L'incarico affidato all'IRSA era finalizzato alla definizione dei valori di fondo geochimico naturale dei parametri inorganici previsti dalla tabella 2 dell'allegato 5 del D.lgs 152/06, con particolare riferimento a ferro, manganese, solfati ed arsenico, che hanno presentato in passato concentrazioni maggiori delle relative CSC nel sito in esame. Le indagini hanno avuto inizio il 12 gennaio 2016.
- Questa indagine non prevedeva una valutazione dello stato chimico delle acque del sito. Tuttavia, per ampliare il quadro conoscitivo e per avere un dato di confronto, sono stati campionati anche alcuni piezometri all'interno del sito. Questi dati, essendo influenzati dalla prossimità dell'impianto, non possono essere utilizzati per la definizione dei valori di fondo naturali.
- L'incarico affidato all'IRSA includeva anche la redazione di un protocollo di campionamento che specificasse, sulla base di manuali, protocolli e linee guida nazionali ed internazionali, le procedure da seguire nella fase di campionamento delle acque sotterranee nel sito in esame. E' stato infine chiesto di esprimere un parere sulla rete di monitoraggio.
- Il modello concettuale dell'area mostra la presenza di due falde sovrapposte, con piezometrie sensibilmente differenti, poste localmente in comunicazione attraverso perforazioni che intercettano entrambe le falde, con probabile sversamento della superiore nella inferiore. La falda superiore è contenuta nei depositi fluviali del III ordine, quella inferiore circola nei sottostanti sedimenti lacustri (LRN).
- L'impianto è impostato nei sedimenti lacustri limoso-argillosi e nelle argille plastiche sottostanti (lacustre basale). E' ubicato nella parte terminale del corpo idrico inferiore in terreni a scarsa permeabilità. I punti spia intercettano la falda inferiore; alcuni si spingono in profondità nelle argille plastiche sottostanti. Nel sito la falda superiore non è presente perché si esaurisce poco a monte.
- Nell'impianto sono stati campionati 4 dei punti spia attualmente utilizzati (pz1, pz7, pz8 e pz9), con modalità tali da assicurare la rappresentatività del risultato analitico. I dati ottenuti sono stati confrontati con quelli determinati esternamente da IRSA e con quelli determinati nell'impianto da altri soggetti.
- L'arsenico mostra concentrazioni largamente al di sotto delle CSC in tutti i punti campionati, sia interni che esterni al sito.
- I dati raccolti da IRSA esternamente al sito mostrano una situazione di complessivo buono stato chimico ad eccezione della presenza di nitrati con concentrazioni che superano il valore soglia (Dlgs 30/2009) di 50 mg/L in 4 dei 33 punti campionati.
- I dati relativi alle determinazioni svolte da altri soggetti (ARPA, gestore) nella rete di monitoraggio dell'impianto, resi disponibili nel corso dello studio, per molti parametri (ferro, manganese e solfati

in particolare) mostrano dei valori massimi di uno/due ordini di grandezza superiori ai dati rilevati da IRSA. Inoltre si osserva una variabilità della concentrazione nel tempo elevata, difficilmente giustificabile con un processo naturale o anche antropico legato a fenomeni di trasporto di un soluto in un mezzo poroso.

- Nella definizione di una proposta per i valori di fondo dell'area in esame ci si è basati sul cosiddetto metodo del "95° percentile" che utilizza un set di dati selezionati scartando quelli chiaramente influenzati da attività antropiche. Questo metodo tenta di definire un limite superiore per la popolazione dei dati legati ai soli processi naturali con metodi statistici. Occorre ribadire che le sostanze che possono essere anche di origine naturale, come quelle oggetto di questo studio, risentono di una naturale variabilità spazio-temporale, con quella spaziale molto più marcata di quella temporale, e può risultare estremamente difficile definire una soglia netta fra la popolazione dei dati naturali e quella eventualmente influenzata dall'impatto di attività antropiche. Inoltre, poiché la popolazione che costituisce il campione sperimentale (cioè i dati del monitoraggio) è un sub-set della popolazione "vera" (la distribuzione della concentrazione nella falda), la probabilità di avvicinarsi al limite superiore "vero" della popolazione naturale (VFN) è funzione della numerosità campionaria.
- I dati relativi alla **falda superiore** indicano che le CSC attualmente vigenti possono rappresentare delle soglie di attenzione adeguate alla maggioranza delle condizioni riscontrabili in tale corpo idrico.
- I dati raccolti per la **falda inferiore** sono numericamente insufficienti per una caratterizzazione statisticamente significativa e non forniscono elementi adeguatamente robusti per proporre una modifica delle CSC. Tuttavia il *range* di valori osservati esternamente (10 punti) è confrontabile con quello in cui si collocano i valori determinati da IRSA nel sito (4 punti) per la maggior parte dei parametri, ad eccezione di solfati e nichel nel Pz01 che si discostano in modo significativo dal *range* dei dati esterni. Il nichel resta comunque al di sotto delle CSC. Si ritiene che le concentrazioni di ferro e manganese rilevate da IRSA nell'impianto siano compatibili con le condizioni naturali ipossiche del corpo idrico inferiore. Per quello che riguarda i solfati le informazioni disponibili non permettono di supportare alcuna ipotesi circa la sua provenienza.
- I dati relativi al monitoraggio nel sito in esame operato dagli altri soggetti, mostrano una variabilità temporale elevata di alcuni parametri, anche in uno stesso punto, in particolare ferro e manganese, difficilmente giustificabile con processi naturali, o con processi antropici di trasporto in falda di soluti. Le informazioni reperibili dai rapporti di prova resi disponibili per questo studio mostrano che, a causa di procedure di campo diversificate e non sempre in linea con le più accreditate metodologie utilizzate in ambito internazionale per il campionamento di acque sotterranee, i risultati non sono sempre confrontabili, anche per uno stesso soggetto. I valori registrati indicano un *range* di concentrazioni molto più elevato dei valori riscontrati da IRSA all'esterno del sito nel corso di questo studio ed assimilati al fondo geochimico naturale. Questa discrepanza tra i valori misurati nell'area esterna e i

valori elevati osservati internamente dagli altri soggetti, potrebbe essere messa in relazione a fenomeni locali di contaminazione da sostanze organiche di origine antropica, la cui degradazione da parte dell'attività biologica produrrebbe la diminuzione di ossigeno disciolto e il conseguente rilascio accelerato dei metalli in questione in ambiente ipossico o anossico. Tuttavia, in base a quanto riportato dai risultati analitici degli stessi soggetti che effettuano il controllo e il monitoraggio, non è stata sinora rilevata la presenza di tali sostanze organiche, quanto meno per quelle previste dalla Tabella 2, All. 5 alla parte IV del Dlgs 152/2006. Questi valori elevati di ferro e manganese potrebbero altresì essere dovuti ad altri fattori legati alla modalità di campionamento: modalità di spurgo del punto spia non adeguate, modalità di estrazione del campione che disturba la colonna d'acqua, modalità di trattamento e conservazione del campione non consone.

- Si sottolinea che le sostanze oggetto di questo studio (solfati, ferro, manganese e arsenico) possono essere di origine naturale nelle acque sotterranee e, ad eccezione dell'arsenico che nell'area ha comunque concentrazioni largamente inferiori alle CSC, non sono incluse fra i parametri chimici della normativa sulle acque potabili, ma sono considerate fra i parametri indicatori. L'OMS non considera necessario derivare per queste sostanze un valore di guida perché non costituiscono preoccupazione per la salute umana ai livelli che non causano problemi di accettabilità nelle acque potabili.
- Il ferro e il manganese, nelle ambientazioni studiate, nella maggioranza dei casi sono di origine endogena. Qualora si riscontrino in concentrazioni elevate, queste possono essere indicatori di processi di contaminazione in atto che accelerano la dissoluzione di minerali che li contengono nell'acquifero, il loro monitoraggio può fornire indicazioni importanti ma non costituiscono essi stessi l'inquinante.
- Al fine di dirimere le problematiche irrisolte del sito sarebbe opportuno che le procedure di monitoraggio di tutti i soggetti facessero riferimento a metodologie standard e condivise di campionamento, trattamento dei campioni e analisi, su una rete di monitoraggio efficace e rappresentativa.

7. Bibliografia

APAT - IRSA-CNR (2003) – Metodi Analitici per le Acque (ISBN 88-448-0083-7);

APAT, IRSA-CNR (2003) - Metodi per la determinazione di microrganismi indicatori d'inquinamento e di patogeni. In: Metodi analitici per le acque di mare. Vol. 3, Sezione 7000, APAT, Manuali e linee guida 29/2003, Roma, ISBN 88-448-0083-7, pagine 1153.

APHA, AWWA, WEF (1995) - Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th Edition. Washington. DC. Method 3125, 3-44, 3-52

BRIDGE Background cRiteria for the Identification of Groundwater thrEsholds (2006) – Final proposal for a methodology to set up groundwater threshold value in Europe

EUROPEAN COMMISSION (2009) - Guidance on Groundwater Status and Trend Assessment, No 18. Technical Report - 2009. ISBN 978-92-79-11374-1 European Communities, Luxembourg

ISPRA (2009) – Protocollo per la Definizione dei Valori di Fondo per le Sostanze Inorganiche nelle Acque sotterranee

Rossi D., Bigi S., Del Castello M. & Di Manna P. (2001) – The structure of the Aurunci mountains, (Southern Lazio): a balanced cross-section and its restoration. Boll. Soc. Geol. It.. Vol. Spec., 1, 2002, 151-159.

Capelli et al., 2012 Carta Idrogeologica del territorio della Regione Lazio in scala 1:100000

Centamore E. et al. (2009) - Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000, Foglio 402 "Ceccano"

CTR del Lazio alla scala 1:10.000, sezione 402080 Roccasecca Stazione e sezione 402070 Ceprano

Centamore E., Di Manna P. & Rossi D. (2007) – Kinematic evolution of the Volsci Range: a new overview. Italian Journal Geoscience, 126, (II), 159-172, 1 Tav.

Centamore E. & Rossi D. (2008) – The interplay between mantle convective motions and the structural evolution of the Central-Northern Apennines. Rendiconti online della Società Geologica Italiana, 3-1, 208-209.

Centamore E. & Rossi D. (2009) – Neogene-Quaternary tectonics and sedimentation in the Central Apennines. Italian Journal Geoscience 128 (I), 73-88.

Centamore E., Rossi D. & Tavarnelli E. (2009) – Geometry and kinematics of triassic-to-recent structures in the northern-central apennines: a review and an original working hypothesis. Italian Journal Geoscience, 128 (II), 419-432.

Centamore E., Di Manna P. & Rossi D. (2010) – Stratigrafia del substrato. In: Centamore E. & Dramis F. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio 402 Ceccano. Servizio Geologico d'Italia. 61-65.

Centamore E., Dramis F., Di Manna P., Rossi D., & Palombo M. R. (2010) – Depositi continentali plio-quadernari. In: Centamore E. & Dramis F. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio 402 Ceccano. Servizio Geologico d'Italia. 76-81.

Centamore E. & Dramis F. (2010) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio 402 Ceccano. Servizio Geologico d'Italia.

DEVOTO G. (1965) - Lacustrine Pleistocene in the Lower Liry Valley (Southern Latium). Geol. Rom.,4: 291-368.

Ferrero L. O. (1879) – Le terre della provincia del Lavoro – Profili sopra la costituzione del suolo della provincia, con attinenze della Geologia con lo studio del suolo agrario. – “Per l'esposizione Regionale di Caserta” , 76 pp, Caserta.

Rossi D. (2010) – Assetto strutturale. In: Centamore E. & Dramis F. Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio 402 Ceccano. Servizio Geologico d'Italia. 90-130.

Tesoriero A. J. and Puckett L.J. - O2 reduction and denitrification rates in shallow aquifers. WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 47, W12522, doi:10.1029/2011WR010471, 2011

UFFICIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO, CENTRO FUNZIONALE REGIONALE. Dati pluviometrici, termometrici e idrometrici giornalieri: <http://www.idrografico.roma.it/annali/>

WHO (2011) Guidelines for drinking-water quality - 4th ed. World Health Organization 2011, ISBN 978 92 4 154815 1, Geneva. http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44584/1/9789241548151_eng.pdf (ultimo accesso 06 05 2016)

ANNESSO 1: RACCOLTA COMPLETA DEI DATI

Dati generali e parametri chimico fisici rilevati in campagna

Falda Superficiale									
CodIrsa	Prov	Comune	Data Misura	Quota piezometrica (m)	Temp (°C)	pH	Cond. (µS/cm)	O2 (mg/l)	Eh (mV)
RS001	FR	Roccasecca	26/01/16	104,58	16,5	8,0	648	9,9	114
RS002	FR	Roccasecca	26/01/16	102,33		7,3	769	9,3	141
RS003	FR	Roccasecca	26/01/16	85,48	11,0	7,1	940	6,9	122
RS004	FR	Roccasecca	26/01/16	97,94	14,2	7,4	635	3,3	185
RS005	FR	Roccasecca	27/01/16	96,58	16,6	7,3	652	6,1	182
RS006	FR	Roccasecca	27/01/16	89,37	11,8	7,2	800	8,2	190
RS008	FR	Roccasecca	27/01/16	86,49	16,3	7,3	773	7,9	175
RS009	FR	Roccasecca	27/01/16	109,75	14,6	7,5	655	9,2	170
RS010	FR	Roccasecca	02/02/16	99,71	15,9	7,1	924	4,8	140
RS011	FR	Roccasecca	02/02/16	108,54	15,1	7,0	757	2,3	77
RS012	FR	Colfelice	02/02/16	102,94	15,8	7,0	1242	1,5	120
RS013	FR	Colfelice	02/02/16	101,94	16,1	7,3	904	6,4	115
RS014	FR	Colfelice	02/02/16	94,29	19,9	7,7	793	8,6	117
RS015	FR	Roccasecca	09/02/16	99,38	15,6	7,2	725	9,3	136
RS019	FR	Roccasecca	09/02/16	108,12	15,7	7,0	728	7,7	150
RS020	FR	Colfelice	16/02/16	102,93	15,1	7,0	801	3,8	143
RS023	FR	Roccasecca	16/02/16	92,93	14,9	7,2	718	9,7	160
RS024	FR	Roccasecca	23/02/16	89,4	15,2	6,8	820	7,8	145
RS029	FR	Roccasecca	02/03/16	108,71	16,3	6,8	872	6,0	290
RS030	FR	Roccasecca	08/03/16	97,08	17,2	7,0	563	5,6	212
RS032	FR	Roccasecca	02/03/16	108,7	15,3	6,9	793	6,7	260
RS033	FR	Roccasecca	08/03/16	108,88	15,3	7,0	715	8,3	186
RS034	FR	Roccasecca	08/03/16	75,52	17,7	7,2	770	7,5	202
Falda Profonda									
CodIrsa	Prov.	Comune	Data Misura	Quota piezometrica (m)	Temp (°C)	pH	Cond. (µS/cm)	O2 (mg/l)	Eh (mV)
RS007	FR	Roccasecca	27/01/16	75,22	11,9	7,0	982	5,2	193
RS016	FR	Roccasecca	09/02/16	81,55	14,7	7,1	721	9,4	105
RS017	FR	Roccasecca	09/02/16	81,41	16,9	6,8	1026	3,1	129
RS018	FR	Roccasecca	09/02/16	85,37	16,7	7,0	825	5,2	135
RS021	FR	Roccasecca	16/02/16	85,33	15,2	7,0	742	2,9	120
RS022	FR	Roccasecca	16/02/16	81,9	15,6	7,0	746	3,9	112
RS025	FR	Roccasecca	23/02/16	79,08	15,6	7,0	780	6,9	320
RS027	FR	Roccasecca	02/03/16	89,63	14,1	6,8	712	7,8	150
RS028	FR	Roccasecca	02/03/16	91,33	15,7	6,9	710	8,9	305
RS031	FR	Roccasecca	02/03/16	94,97	16,4	7,0	747	5,4	90
Punti Spia impianto									
CodIrsa	Prov	Comune	Data Misura	Quota piezometrica (m)	Temp (°C)	pH	Cond. (µS/cm)	O2 (mg/l)	Eh (mV)
RSp01	FR	Roccasecca	22/03/16	78,07	19,4	6,2	1990	2,5	177
RSp07	FR	Roccasecca	22/03/16	78,41	18,6	7,0	848	5,3	259
RSp08	FR	Roccasecca	08/03/16	69,76	16,6	7,2	796	6,3	271
RSp09	FR	Roccasecca	22/03/16	70,74	17,8	7,0	966	2,9	243

Dati relativi alle analisi chimiche: anioni e cationi maggiori

Cod. Campione	F	Cl	NO3	PO4	SO4	HCO3	Na	K	Mg	Ca
	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
RS001-1	0,32	13,2	16,8	n.d.	24,2	358,7	17,6	0,3	12,4	98,5
RS002-1	0,23	15,9	31,5	n.d.	30,9	405,0	30,1	0,2	10,6	114,4
RS003-1	0,21	33,3	110,8	n.d.	84,8	368,4	17,3	1,8	8,2	166,0
RS004-1	0,18	10,9	5,9	0,27	23,9	361,1	8,5	3,8	13,9	96,6
RS005-1	0,15	8,5	4,4	0,31	15,7	392,8	6,7	1,2	16,1	102,8
RS006-1	0,16	34,0	56,4	n.d.	23,9	385,5	16,8	2,8	17,6	115,0
RS008-1	0,15	17,5	73,8	n.d.	19,4	388,0	16,8	2,8	19,6	119,2
RS009-1	0,16	14,2	27,0	n.d.	31,5	351,4	10,0	0,6	17,6	96,6
RS010-1	0,11	44,1	27,0	n.d.	22,4	456,3	30,1	1,5	15,7	132,0
RS011-1	0,14	25,1	2,2	n.d.	4,1	439,2	26,8	2,1	10,1	113,0
RS012-1	0,39	78,5	11,9	n.d.	124,7	502,6	93,1	1,2	37,1	117,0
RS013-1	0,28	31,9	26,6	n.d.	60,9	427,0	46,1	1,1	27,4	109,1
RS014-1	0,48	43,3	2,9	n.d.	41,5	366,0	32,2	1,6	22,1	102,6
RS015-1	0,21	9,6	23,4	n.d.	12,9	419,7	9,1	0,3	14,4	117,7
RS019-1	0,16	12,1	25,4	n.d.	11,4	419,7	8,8	0,9	16,3	114,6
RS020-1	1,36	13,2	16,3	n.d.	22,7	468,5	18,8	1,6	25,8	113,8
RS023-1	0,19	25,2	34,7	n.d.	25,4	366,0	13,7	0,8	7,4	122,5
RS024-1	0,10	18,3	101,9	n.d.	9,6	392,8	8,8	0,9	22,0	123,6
RS029-1	0,12	19,7	39,2	n.d.	27,4	475,8	17,6	7,2	21,3	131,2
RS030-1	0,15	7,1	5,3	n.d.	12,9	322,1	9,2	2,3	3,9	93,7
RS032-1	0,11	29,5	17,5	n.d.	14,3	449,0	18,9	2,8	14,0	112,0
RS033-1	0,08	31,9	17,6	n.d.	13,6	356,2	21,3	1,7	9,1	134,0
RS034-1	0,14	4,6	8,2	n.d.	17,4	466,0	8,9	1,6	18,5	121,5
RS007-1	0,30	41,2	4,7	n.d.	30,2	566,1	37,6	1,5	25,0	141,0
RS016-1	0,15	11,4	15,3	n.d.	54,6	375,8	9,8	1,1	16,2	115,6
RS017-1	0,17	89,6	21,7	n.d.	28,9	446,5	46,5	1,5	11,4	148,0
RS018-1	0,22	21,5	40,8	0,33	25,3	431,9	15,2	12,3	20,5	116,7
RS021-1	0,19	12,0	3,3	n.d.	18,9	451,4	7,1	0,6	31,0	99,0
RS022-1	0,15	23,1	14,4	n.d.	34,8	400,2	18,4	1,8	19,6	105,7
RS025-1	0,11	36,0	6,7	n.d.	13,9	419,7	13,5	3,1	17,9	113,3
RS027-1	0,14	21,6	9,9	n.d.	14,1	402,6	12,8	0,3	11,4	114,4
RS028-1	0,13	14,5	23,0	n.d.	13,9	422,1	10,9	1,3	15,1	115,2
RS031-1	0,13	18,6	20,7	n.d.	17,9	427,0	10,5	2,3	4,8	99,3
RSp01-1	0,14	20,5	8,6	n.d.	752,2	566,1	12,4	0,5	71,2	382,0
RSp07-1	0,12	18,4	5,5	n.d.	19,9	485,6	20,1	0,6	16,3	128,4
RSp08-1	0,13	23,7	53,8	n.d.	41,5	373,3	8,8	6,6	13,9	132,5
RSp09-1	0,21	20,2	39,9	n.d.	71,3	483,1	10,4	6,7	34,1	135,8

Dati relativi alle analisi chimiche: cationi/metalli

Cod. Campione	Si	Li	B	Al	V	Cr_tot	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	As_tot	Rb	Sr	Ba	Pb	U
	μ g/L	μ g/L	μ g/L	μ g/L	μ g/L	μ g/L	μ g/L	μ g/L	μ g/L	μ g/L	μ g/L	μ g/L	μ g/L	μ g/L	μ g/L	μ g/L	μ g/L
RS001-1	6,3	0,9	10,0	8,3	1,5	1,2	0,2	9,4	0,2	0,6	10,4	0,1	1,3	280	35,5	0,2	0,6
RS002-1	5,8	1,1	9,1	8,6	1,1	1,2	0,2	8,3	0,1	2,5	2,1	0,1	2,2	237	44,7	0,1	1,9
RS003-1	7,3	1,1	4,1	6,5	0,3	1,5	0,2	12,2	0,1	0,3	1,7	0,2	1,2	192	44,5	0,1	0,5
RS004-1	5,9	2,6	6,2	10,5	1,7	0,2	0,7	12,6	0,2	2,9	5,7	2,4	2,3	145	98,5	0,1	1,5
RS005-1	4,7	1,5	4,9	8,1	0,6	0,5	0,6	7,9	0,2	1,9	2,8	3,3	4,1	115,7	73,3	0,1	0,4
RS006-1	4,2	0,6	6,1	7,7	0,8	1,5	0,2	10,4	0,2	37,6	17,3	0,1	1,2	117,8	30,2	0,2	0,4
RS008-1	4,5	0,9	22,1	8,3	0,9	1,1	1,5	9,4	0,2	2,1	5,1	1,2	2,7	132	59,1	0,2	0,7
RS009-1	6,1	2,9	4,1	9,1	0,9	3,5	0,2	8,2	0,2	0,7	5,2	0,2	1,9	170	29,1	0,1	3,2
RS010-1	5,7	1,1	12,3	4,5	0,5	0,2	0,5	25,6	0,6	4,1	17,1	0,2	2,7	182	64,5	0,1	1,6
RS011-1	8,6	3,6	15,1	5,1	1,9	0,2	10,1	85,1	0,7	0,2	3,1	0,7	1,2	278	119	0,1	17,6
RS012-1	10,2	4,8	4,6	6,1	1,4	1,5	0,2	15,1	0,2	0,2	3,1	0,1	3,1	499	62,3	0,2	16,6
RS013-1	9,2	3,3	9,4	6,7	1,9	1,2	0,1	17,2	0,3	2,6	10,2	0,5	7,3	363	85,2	0,1	23,1
RS014-1	9,6	5,8	10,1	4,6	0,5	0,2	12,5	16,2	0,1	0,1	1,7	0,9	17,3	406	87,5	0,1	7,4
RS015-1	5,1	1,1	3,8	25,1	0,7	1,1	0,1	18,3	0,1	0,1	0,9	0,4	0,9	143	28,3	0,1	0,9
RS019-1	4,7	1,0	10,1	3,4	0,7	1,7	0,1	13,1	1,0	2,3	5,7	0,2	0,2	121,3	25,4	0,1	0,7
RS020-1	15,2	3,9	4,2	8,2	9,1	0,6	0,1	14,6	0,2	3,1	29,1	1,4	10,4	755,2	60,2	0,1	6
RS023-1	6,4	2,6	1,9	15,3	0,8	0,8	0,1	25,9	0,1	1,9	29,6	0,8	2	163,7	34,1	0,1	0,7
RS024-1	4,3	0,4	3,7	8,0	0,7	0,9	0,2	11,9	0,1	1,9	21,7	0,1	0,4	126,7	34,3	0,1	0,4
RS029-1	5,3	1,8	34,1	20,3	0,6	1,7	0,3	37,2	0,2	2,8	18,7	0,2	3,8	204,4	73,2	0,1	2
RS030-1	5,9	0,8	2,6	7,3	0,4	0,8	0,1	11,2	0,1	14,7	22,3	1,8	2,3	130	43,9	0,1	0,6
RS032-1	5,9	0,9	3,4	42,6	0,7	3,2	1,7	113,3	0,2	0,2	10,1	0,1	0,8	198,9	33,3	0,1	0,7
RS033-1	4,9	1,3	1,1	25,4	1,0	1,3	0,2	37,3	0,3	5,2	36,8	0,1	3	175,6	44,9	0,1	0,9
RS034-1	5,3	1,3	4,1	10,9	1,0	0,2	0,2	13,2	1,4	4,3	25,3	1,4	4,1	186,7	54,7	0,1	0,8
RS007-1	6,8	2,4	25,6	7,8	0,2	0,2	2,1	11,1	0,7	4,1	9,4	0,1	1,1	259	145	0,2	2,4
RS016-1	4,3	1,6	87,6	199,1	1,1	1,2	4,7	228,0	0,3	1,1	11,2	0,6	1,6	256	37	0,1	1,4
RS017-1	6,4	0,9	19,4	3,6	0,2	0,3	0,3	29,1	0,5	0,1	3,3	0,2	2,1	208	51,7	0,2	0,9
RS018-1	7,1	2,3	17,6	47,5	1,4	0,4	10,5	161,0	1,1	2,1	8,4	4,3	6,7	220,2	105,4	0,1	1,7
RS021-1	5,1	4,8	40,1	3,0	0,8	0,2	0,1	12,3	0,2	0,7	4	0,4	1,4	268,9	37,7	0,1	1,3
RS022-1	5,2	2,3	22,9	14,9	0,7	0,2	0,2	29,1	0,1	0,2	3,2	0,6	2,3	259,7	46,3	0,1	2,1
RS025-1	4,8	1,6	6,8	2,4	0,2	0,1	0,2	9,6	0,1	0,6	5,8	0,2	3,2	171,1	85,1	0,1	0,9
RS027-1	5,2	1,2	5,7	16,8	0,3	1,7	3,2	143,3	0,8	2,0	21	0,3	0,6	213,3	39,1	0,1	1,4
RS028-1	4,7	1,2	7,7	7,1	0,3	1,3	0,4	31,2	1,4	0,9	92,3	0,2	0,7	205,6	34,7	0,1	1,3
RS031-1	6,3	2,7	20,2	14,9	0,4	0,7	77,4	164,4	1,0	0,2	13,8	2,7	3,4	240	67,9	0,1	2,8
RSp01-1	5,7	6,0	3,8	1,4	0,2	0,2	83,6	83,4	17,4	0,2	21,8	0,2	10,1	537,8	41,6	0,1	7,6
RSp07-1	5,9	0,9	21,9	3,4	0,8	1,3	0,2	13,2	2,3	0,2	3,7	0,1	1,2	163,3	45,9	0,1	1,2
RSp08-1	6,1	5,0	23,8	91,4	0,8	0,8	71,9	152,2	5,3	0,9	24,2	0,6	7,8	471,1	121,1	0,2	2,6
RSp09-1	9,7	5,1	17,0	7,3	1,7	0,2	9,4	15,2	1,7	0,2	3,6	1,6	13,9	423,3	93,7	0,2	3,6

Indagine per la definizione dei valori di fondo geochimico naturale degli elementi previsti dal D.lgs. 152/06 (tab. 2, all. 5 alla parte IV), relativamente al sito della discarica di rifiuti non pericolosi in località Cerreto nel Comune di Roccasecca (FR)

PROCEDURE OPERATIVE PER IL CAMPIONAMENTO DEI COMPOSTI INORGANICI NEL SITO MAD (LOCALITÀ CERRETO, ROCCASECCA, FR)

**E.Preziosi, E.Frollini, S.Ghergo, D.Parrone,
D.Mastroianni**

INDICE

1. Introduzione	II
2. Definizione del modello concettuale	III
3. Disegno della rete di monitoraggio	IV
4. Metodologia di campionamento	IV
4.1) Individuazione del punto di campionamento	V
4.2) Censimento e ispezione del punto di campionamento e raccolta delle informazioni a corredo	V
4.3) Misura del livello piezometrico del piezometro/pozzo e portata della sorgente	VI
4.4) Spurgo del piezometro/pozzo	VII
4.5) Misura dei parametri chimico/fisici	VIII
4.6) Raccolta del campione, filtrazione e trattamento	IX
Contenitori	XI
Filtrazione	XII
Trattamento	XIV
4.7) Trasporto e conservazione del campione	XIV
5. Bianchi e qualità	XIV
ALLEGATO A- ESEMPIO SCHEDA DI CAMPAGNA UTILIZZATA DA IRSA - CNR	XVI
BIBLIOGRAFIA	XVII

1. Introduzione

Il campionamento ha come obiettivo quello di acquisire una aliquota “indisturbata”, ovvero rappresentativa, di acqua proveniente dal corpo idrico sotterraneo di cui si vuole conoscere lo stato chimico e fisico in un dato momento. E' quindi essenziale che le procedure di prelievo, conservazione, trasporto, preparazione e analisi del campione siano idonee a mantenere intatta la sua rappresentatività. Come evidenziato da APAT-IRSA.CNR (2003), l'incertezza associata al campionamento può contribuire anche per il 30-50% all'incertezza associata al risultato analitico finale. Un aspetto non trascurabile è che tale incertezza non è quantificabile, mentre l'incertezza relativa all'analisi chimica, che generalmente non supera il 5%, è quantificabile attraverso il confronto rispetto a standard certificati e il calcolo del bilancio ionico. In particolare, come sottolineato da ARPA Umbria (Peruzzi, 2007) le potenziali sorgenti di errori legate al campionamento sono: 1) scelta del punto di monitoraggio; 2) misurazioni sul campo; 3) raccolta del campione e stabilizzazione; 4) trasporto e conservazione del campione; 5) bianchi di campo.

L'unico modo per ridurre quindi l'incertezza relativa al campionamento è quello di eseguire le procedure in modo scrupoloso, seguendo protocolli riconosciuti internazionalmente e che siano condivisi dai vari soggetti che effettuano attività di monitoraggio e controllo, al fine di ottenere risultati confrontabili.

Se il campionamento ha per obiettivo quello di fornire una istantanea dello stato chimico delle acque di un determinato punto o corpo idrico, l'attività di monitoraggio delle acque sotterranee mira a tracciare l'evoluzione di un processo nello spazio e nel tempo. Per fare ciò è necessario che venga definita una rete di monitoraggio che sia effettivamente rappresentativa del corpo idrico sotterraneo in studio e la cui progettazione deve considerare gli obiettivi del monitoraggio stesso e il modello concettuale del sito che viene aggiornato ed eventualmente modificato via via che si raccolgono nuovi dati.

Aspetti comuni ad ogni programma di monitoraggio, indipendentemente dagli obiettivi specifici, includono (EPA, 1996):

- 1) sviluppo di un modello concettuale che integri elementi di geologia regionale nel contesto geologico locale. Questa attività include anche una caratterizzazione iniziale del sito, sulla base dei dati di sondaggi e pozzi disponibili, per identificare le unità idrostratigrafiche locali e i possibili percorsi delle acque sotterranee.
- 2) Raccolta di dati di alta qualità, ben documentata, utilizzando tecniche accurate e riproducibili.

- 3) Affinamento del modello concettuale sulla base dei dati supplementari raccolti nel corso dell'indagine.

2. Definizione del modello concettuale

La ricostruzione del modello concettuale preliminare, che è alla base di tutte le attività necessarie alla definizione del piano di campionamento, viene ricostruito sulla base della raccolta e organizzazione dei dati disponibili in merito a:

- 1) identificazione, delimitazione, inquadramento geografico e tipologia dell'area in esame;
- 2) ricostruzione dell'assetto geologico e idrogeologico regionale e locale sulla base della bibliografia e/o di indagini realizzate all'interno e/o all'esterno del sito;
- 3) studio delle pressioni esistenti: uso del suolo, attività antropiche, eventuali contaminazioni segnalate;
- 4) individuazione delle caratteristiche dei materiali geologici che controllano il comportamento geochimico e il trasporto delle sostanze in esame (estensione laterale e verticale, direzione orizzontale e verticale del flusso, conducibilità idraulica e contrasti di conducibilità tra i differenti materiali geologici) (Cal- EPA, 2008).

Il modello concettuale preliminare si rende necessario per definire la strategia di campionamento, la quale è funzione di:

- 1) obiettivi del campionamento;
- 2) inquadramento geologico e idrogeologico;
- 3) numero di pozzi/piezometri e sorgenti da campionare (anche in funzione del budget disponibile);
- 4) accessibilità dei punti di campionamento;
- 5) caratteristiche dei pozzi/piezometri (diametro, profondità, intervallo tratto filtrato, livello di falda atteso, acquifero intercettato);
- 6) caratteristiche delle sorgenti (portata, note geologiche);
- 7) parametri analitici richiesti e concentrazioni attese;
- 8) disponibilità di dati storici relativi ai punti di campionamento.

Sulla base del modello concettuale, se necessario, viene individuato l'ordine di campionamento dei vari punti d'acqua (ad esempio dal meno contaminato al più contaminato)).

Successivamente sulla base dei risultati derivanti dal campionamento e dalle analisi effettuate si procederà con l'aggiornamento del modello concettuale che permetterà di comprendere con maggior dettaglio i processi che avvengono nel sito in esame e quindi di affinare il piano per i campionamenti successivi.

3. Disegno della rete di monitoraggio

Al fine di monitorare lo stato qualitativo delle acque sotterranee è necessario disegnare una rete di monitoraggio che sia effettivamente rappresentativa del corpo idrico sotterraneo in studio e del processo che si intende seguire, che sia costituita da punti di monitoraggio che mantengano una vita medio-lunga, così da avere delle serie temporali significative per poter identificare eventuali tendenze considerevoli e durature (ISPRA, 2014). Il disegno della rete di monitoraggio, costituita da piezometri, pozzi, sorgenti e fontanili, deve essere definito prima che abbia inizio la fase di campionamento e le informazioni dei vari punti d'acqua (identificativo, nome, coordinate, caratteristiche costruttive, portate...) possono essere opportunamente organizzate in un database georeferenziato.

4. Metodologia di campionamento

Il protocollo di campionamento delle acque sotterranee adottato da IRSA-CNR segue le procedure descritte dai metodi APAT-IRSA.CNR (2003), dove applicabili, basandosi inoltre su procedure consolidate quali quelle descritte da EPA (Cal-EPA, 2008; EPA, 2000; EPA/540/S-95/504 April 1996; Barcelona et al., 1985).

La fase di campionamento consiste in una sequenza molto articolata di operazioni (Fig.1) che include la pianificazione accurata di una strategia che, una volta fissata, deve essere rigorosamente seguita al fine di ottenere un campione rappresentativo delle acque sotterranee presenti nell'acquifero, che rimanga tale fino alla determinazione analitica.

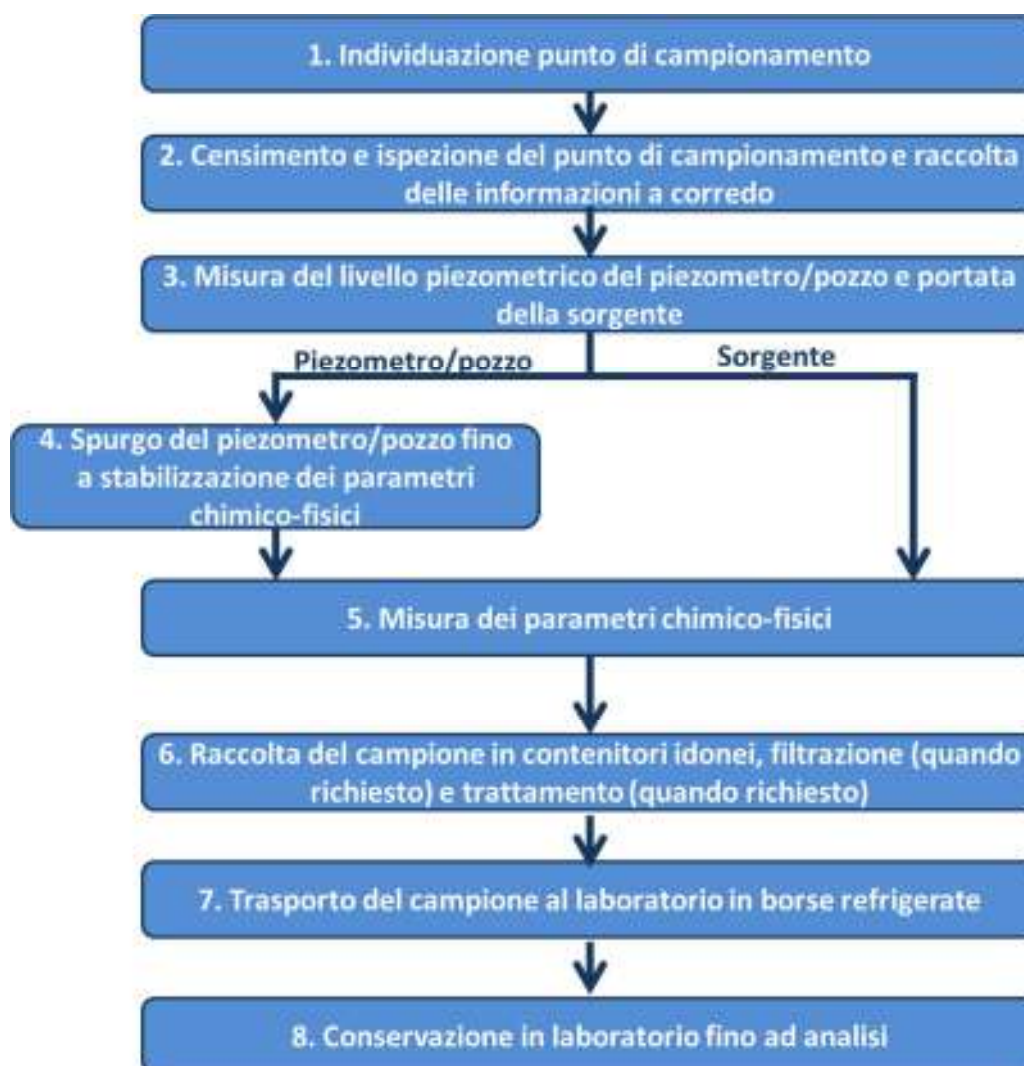


Fig. 1 – Sequenza fasi di campionamento

4.1) Individuazione del punto di campionamento

Il punto di campionamento viene individuato sulla base della rete di monitoraggio e in funzione delle finalità del campionamento. In questa fase dovrà essere individuata, nel caso di piezometri e pozzi, anche le profondità alle quali dovranno essere prelevati i campioni.

4.2) Censimento e ispezione del punto di campionamento e raccolta delle informazioni a corredo

Ad ogni punto d'acqua in cui si effettua il campionamento viene associata una scheda di campagna (Allegato A), nella quale sono annotati i dati relativi a:

- 1) nome di chi effettua il campionamento;
- 2) data del campionamento;

- 3) identificativo del punto di campionamento (generalmente composto da una combinazione di lettere e numeri che dovrebbero essere attribuiti secondo un metodo standard, es. acronimo dell'area di studio seguite dal numero del punto campionato);
- 4) eventuale nome del punto di campionamento;
- 5) posizione (provincia, comune, località, riferimento cartografico, coordinate, quota);
- 6) proprietà dell'opera (gestore/proprietario e relativi contatti);
- 7) accessibilità e stato di conservazione;
- 8) caratteristiche costruttive (per pozzi/piezometri/captazioni) quali, profondità, diametro, materiale del rivestimento, altezza del bocca pozzo rispetto al piano campagna (positiva o negativa a seconda se è sopraelevato o meno rispetto al piano campagna), profondità dei filtri;
- 9) note geologiche (per le sorgenti);
- 10) livello piezometrico statico/dinamico (per pozzi/piezometri) e portate (per sorgenti/fontanili);
- 11) dati chimico-fisici misurati nel corso del campionamento;
- 12) durata e portata dello spurgo effettuato;
- 13) numero e tipologia delle aliquote di campione raccolte (parte relativa a ciascun campionamento).

4.3) Misura del livello piezometrico del piezometro/pozzo e portata della sorgente

La misura del livello piezometrico in un piezometro/pozzo viene effettuata tramite freatimetro (misura istantanea) o tramite diver (misura in continuo) (Fig. 2) e va fatta prima di qualsiasi altra operazione prevista nella procedura di campionamento, per misurare il livello inalterato. In questa fase è fondamentale annotare sulla scheda di campagna se si tratta del livello statico o dinamico e qual è il punto di riferimento della misura (bocca pozzo o quota del piano campagna).

Nel caso di sorgenti si procede con la misura della portata.



Fig. 2 – A) Installazione del diver per la misura in continuo del livello piezometrico. B) e C) Misura del livello piezometrico tramite freatimetro

4.4) Spurgo del piezometro/pozzo

I campioni d'acqua da pozzo/piezometro devono essere prelevati dopo lo spurgo del pozzo, ovvero dopo aver fatto fluire per un tempo adeguato l'acqua presente nelle diverse tubazioni e prima di un eventuale impianto di clorazione o serbatoio di accumulo. Questo è particolarmente importante in pozzi che non vengono utilizzati quotidianamente, quali ad esempio i piezometri dedicati al monitoraggio o i pozzi per uso irriguo. Viceversa, nel caso di pozzi in uso costante (ad esempio quelli utilizzati per uso potabile o domestico), l'uso quotidiano solitamente garantisce la buona rappresentatività delle condizioni chimico-fisiche in falda anche con uno spurgo breve. Come descritto in EPA (1996) e APAT (2006) la necessità di effettuare lo spurgo è dovuta:

- 1) alla presenza dell'interfaccia aria/acqua che porta ad un gradiente di concentrazione dell'ossigeno con la profondità;
- 2) alla perdita dei composti volatili che si può avere nella colonna d'acqua;
- 3) alla lisciviazione/assorbimento che interessano il casing e/o il dreno;
- 4) all'interazione chimica con la bentonite e il riempimento;
- 5) all'infiltrazione dalla superficie.

Mentre i pozzi ad uso produttivo sono generalmente installati in formazioni trasmissive, i piezometri di monitoraggio di siti (es. discariche) possono essere ubicati in formazioni a bassa permeabilità (ad es. argille o silt). Ambientazioni idrogeologiche a bassa permeabilità possono richiedere spurghi a portate estremamente basse (< 0.1 L/min, EPA 1996) per evitare di movimentare materiale argilloso e rendere l'acqua torbida. L'utilizzo di tecniche di spurgo e campionamento a basso flusso hanno infatti il vantaggio di minimizzare il mescolamento tra l'acqua stagnante sovrastante presente dove si ha il casing e l'acqua presente nel tratto filtrato (EPA, 1996) e di ridurre il disturbo (aerazione) del campione (Barcelona et al., 2005). È inoltre importante evitare di mettere a secco i filtri (EPA 1996), per questo è a volte necessario attendere il recupero dei livelli durante lo spurgo senza estrarre la pompa. In alcuni casi però, come quando si hanno tassi di ricarica molto modesti, lo spurgo può non essere praticabile anche a basse portate. Nel caso di siti contaminati inoltre, lo spurgo a basso flusso evita anche la produzione di ampi volumi di acqua contaminata che deve poi essere opportunamente trasportata e trattata (Barcelona et al., 2005).

Nel caso di spurgo a basso flusso, lo svuotamento di 3 o più volumi del pozzo, come veniva indicato da molti manuali, non è ritenuto una garanzia di avere un campione rappresentativo della falda (EPA,

1996), mentre va certamente verificata la stabilizzazione dei parametri chimico-fisici con apposita strumentazione da campo (sonda multiparametrica in cella di flusso). Alcuni autori suggeriscono che tale stabilizzazione venga registrata in almeno 2 volumi consecuzionali del pozzo (Peruzzi, 2007; Barcelona et al., 1995) o per almeno tre letture consecutive a diversi minuti di distanza (EPA, 1996). Alcuni criteri di stabilizzazione sono mostrati in tabella 1.

Parametro	Criterio di stabilizzazione	Riferimento bibliografico
Temperatura	$\pm 3\%$ della lettura (minimo di $\pm 0.2^\circ\text{C}$)	Cal-EPA, 2008
pH	$\pm 0,1$	EPA, 1996; Cal-EPA, 2008
Conducibilità elettrica	$\pm 3\%$	EPA, 1996; Cal-EPA, 2008
Potenziale redox	± 10 mV	EPA, 1996; Cal-EPA, 2008
Ossigeno disciolto	$\pm 10\%$; ± 0.3 mg/l *	EPA, 1996; Cal-EPA, 2008

Tabella 1 – Criteri di stabilizzazione dei parametri chimico-fisici delle acque sotterranee durante lo spurgo. (con * è indicato il criterio suggerito da Cal-EPA, 2008)

In generale, l'ordine di stabilizzazione è pH, conducibilità elettrica e temperatura seguiti da ossigeno disciolto e potenziale di ossido-riduzione.

I dettagli dello spurgo di ciascun pozzo (tempo e portata) vanno riportati nella scheda di campagna al fine di poterli poi usare come indicazione per i campionamenti successivi.

Durante lo spurgo potrebbe essere opportuno misurare la torbidità dell'acqua estratta mediante apposita strumentazione o valutarla visivamente. Infatti, nel caso di eccessiva torbidità la successiva filtrazione non garantisce il prelievo di un campione rappresentativo dell'acqua di falda.

4.5) Misura dei parametri chimico/fisici

Considerando che alcune delle caratteristiche chimico-fisiche dei campioni prelevati sono soggette a variazioni non trascurabili nel tempo, la determinazione di pH, Eh, conducibilità elettrica, ossigeno disciolto e temperatura vanno fatte in situ tramite strumenti da campo (sonde multiparametriche in cella di flusso) (Fig. 3).

Tali strumenti vanno calibrati su standard di riferimento, seguendo le indicazioni della casa, ed in funzione delle caratteristiche delle matrici da esaminare. La calibrazione della sonda per la misura dell'ossigeno disciolto va fatta preferibilmente in campo o comunque considerando la pressione barometrica del sito di monitoraggio.



Figura 3 – Celle di flusso per la misura dei parametri chimico-fisici in situ

4.6) Raccolta del campione, filtrazione e trattamento

Il campionamento può avere inizio una volta che si è raggiunta la stabilizzazione dei parametri chimico-fisici.

Per tutti i tipi di analiti è suggerito l'uso di una pompa low-flow (0.1-0.5 L/min) per il prelievo, in particolare nelle formazioni a bassa permeabilità. La scelta della pompa low-flow (di cui esistono vari tipi, come descritto nella tabella 2) si basa sul fatto che l'acqua si muove orizzontalmente attraverso l'intervallo fenestrato e quindi, estraendo a basse portate, non si avrà il mescolamento tra l'acqua proveniente dalla falda e l'acqua stagnante che si trova al di sopra dell'intervallo filtrato (EPA, 2000). In funzione poi del tipo di analita, si procederà con il prelievo di differenti quantitativi di campione che verranno sottoposti a differenti trattamenti. Come già detto per lo spurgo, nel caso di terreni a bassa permeabilità (silt e argille) è necessario procedere con portate molto basse (<0,1 l/min) e non sempre è possibile eseguire uno spurgo efficace. In questi casi può essere inevitabile eseguire dei campionamenti statici (tramite bailers) che prevedono nessuno o un limitato spurgo del piezometro/pozzo. L'uso di bailers, la cui immersione disturba la stratificazione della colonna d'acqua, non garantisce però il prelievo di campioni indisturbati in caso di spurgo inefficace. I limiti del monitoraggio in queste ambientazioni includono: possibili falsi negativi per metalli nel filtrato e falsi positivi per i metalli nel non filtrato (EPA, 1996).

Tipo pompa	Descrizione
Pompe a 12V	Sono pompe immergibili a 12 V (alimentabili con la batteria del veicolo), leggere, compatte e facilmente trasportabili. Grazie alla presenza di un controllore low-flow permettono di fare campionamenti a basse portate, fino a d un minimo di 40 ml/min.
Pompe a Vescica	Consentono il prelievo di campioni particolarmente rappresentativi, in quanto costituiscono un sistema chiuso che evita ogni tipo di agitazione e di contatto con l'aria. Per questi motivi rappresentano un valido metodo per il prelievo di campioni contenenti composti organici disciolti (VOC) e campionamenti low flow. Il sistema è composto da tre componenti principali: la pompa vera e propria, il controller (e relativa alimentazione) per la regolazione del flusso ed un compressore ad aria. Il compressore spinge l'aria tra la parete della pompa e la vescica; questa inizialmente riempitasi di acqua, viene quindi compressa dall'aria spingendo il liquido verso l'alto, con un flusso ad impulsi, che può essere regolato tramite il controller.
Pompe peristaltiche	Sono caratterizzate dal fatto che il fluido campionato non entra mai in contatto con alcun meccanismo o materiale diverso da quello con cui viene prelevato. Il limite fisico di queste pompe è costituito da una prevalenza nominale di circa 10 m, ma può essere facilmente superato portando l'acqua a livello per mezzo di una pompa a valvola di diametro adeguato, e consentendo poi alla pompa peristaltica di pescare all'interno del tubo della pompa a valvola.

Tabella 2 – Descrizione di alcuni modelli di pompe low-flow

In caso di più livelli produttivi potrebbe essere opportuno eseguire il campionamento dopo aver isolato, tramite packer, il tratto che si intende campionare.

In alcuni casi, come per esempio nei pozzi già attrezzati con pompa che non può essere rimossa, non è possibile effettuare il prelievo con pompa a basso flusso ed è quindi necessario procedere al campionamento con la pompa già presente nel pozzo che dovrà essere mandata alla portata più bassa ottenibile, per garantire il minor disturbo possibile del campione.

Per garantire la minore alterazione fisica e chimica del campione si raccomanda l'uso di dispositivi costituiti da materiale inerte come acciaio inossidabile e/o Teflon e PVC e/o polietilene per le componenti flessibili (tubi). L'ideale sarebbe usare, per ogni punto di campionamento, un dispositivo dedicato che è installato permanentemente nel piezometro/pozzo. Questo, permetterebbe di ridurre i tempi impiegati nelle fasi di set-up, campionamento e decontaminazione.

Per quanto riguarda le sorgenti e i fontanili invece, il campionamento viene effettuato direttamente al punto di emergenza.

Durante la fase di raccolta del campione è possibile procedere con la determinazione dell'alcalinità tramite microburetta portatile (Fig. 4). Nel caso in cui tale determinazione non venga fatta in campo è necessario comunque effettuarla in laboratorio entro 24/48 ore dal prelievo. La determinazione dell'alcalinità entro le 24/48 ore garantisce che non ci sia variazione rispetto ai valori che si otterrebbero nel caso in cui la determinazione venisse effettuata in campo (Fig. 5).



Fig. 4 – Microburetta portatile per la determinazione in campo dell'alcalinità

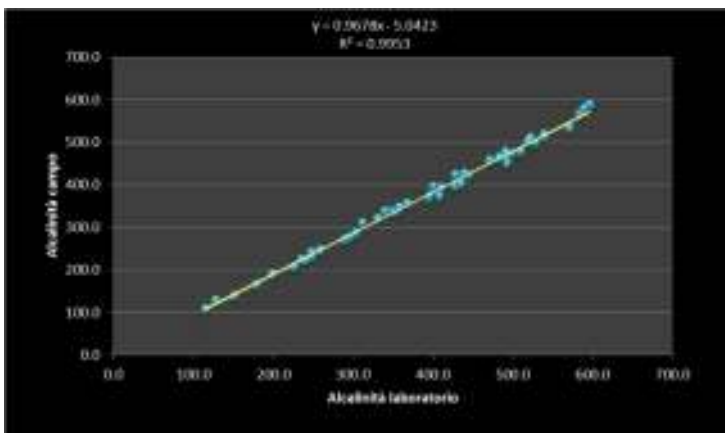


Fig. 5 – Confronto tra i valori di alcalinità determinati in campo con microburetta portatile e le determinazioni di alcalinità effettuate in laboratorio entro 24/48 ore

Contenitori

I contenitori utilizzati per il prelievo e la conservazione del campione devono essere robusti e inerti al fine di non cedere e/o adsorbire sostanze che possano alterare la composizione del campione; essere resistenti ai vari costituenti presenti nel campione; garantire la perfetta tenuta dei gas disciolti e dei composti volatili se sono oggetti di determinazione (ISS, 2007).

Per la raccolta dei campioni destinati all'analisi degli inorganici (anioni, cationi, metalli, elementi in traccia) si utilizzano contenitori in polietilene ad alta densità (HDPE) precedentemente condizionati con HNO_3 fino a $\text{pH} < 2$ per almeno 24 ore e successivamente risciacquati con acqua ad elevato grado di purezza fino a pH neutro. Il ricorso ai contenitori in HDPE presenta il vantaggio di avere una buona resistenza agli agenti chimici ed alle variazioni termiche e inoltre una buona resistenza all'urto. Nella fase di riempimento del contenitore, soprattutto per i campioni che dovranno essere analizzati per la quantificazione degli anioni, è bene assicurarsi che non venga lasciato spazio di testa in quanto questo può comportare un'alterazione dei risultati analitici.

Una volta prelevato il campione, sul contenitore devono essere riportati, con un'etichetta e/o con

pennarello indelebile, l'identificativo del punto di campionamento, la data di campionamento, la sigla del campione, il tipo di trattamento effettuato e la destinazione analitica.

Filtrazione

La necessità di effettuare la filtrazione del campione in campo dipende dalle esigenze analitiche e dalla presenza di solidi sospesi che potrebbero adsorbire il materiale disciolto (USGS, 2011) o, dopo l'acidificazione, potrebbero andare in soluzione alterando la composizione naturale del disciolto (Tab. 3).

La scelta dei filtri, di cui ne esiste un'ampia gamma che include filtri in policarbonato, in nitrato di cellulosa, in acetato di cellulosa, in fibra di vetro, va fatta in funzione degli analiti da ricercare.

Per la determinazione dei costituenti inorganici (in particolare metalli) nelle acque sotterranee, i manuali APAT-IRSA.CNR 2003 e ISPRA 2009 (come specificato anche dal Dlgs 30/2009) prevedono che i campioni vengano filtrati in campo, immediatamente dopo il prelievo, preferibilmente sotto modesta pressione di azoto che limita l'alterazione del campione per ossidazione, con filtri da 0,45 µm. In alternativa si usano siringhe di volume adeguato collegate ad un portafiltro o sistemi a vuoto (Fig. 6). Soprattutto nel caso di campioni scarsamente ossigenati, si consiglia di eseguire sia la filtrazione che il campionamento in linea, per evitare che il campione venga a contatto con l'ossigeno e ne vengano alterate le condizioni redox.

BOX 1 – Filtrazione campioni di acqua

Obiettivi:

Assicurare che i campioni prelevati non siano influenzati negativamente dai solidi sospesi.

Punti chiave:

- La filtrazione deve essere effettuata se l'obiettivo è quello di determinare le concentrazioni degli analiti veramente disciolti in acqua.
- La filtrazione non deve essere usata per compensare una inadeguata tecnica di campionamento (es. eccessiva torbidità).
- Se la filtrazione è necessaria, va effettuata in campo, immediatamente dopo aver prelevato il campione e prima di aggiungere sostanze conservanti (es. acido). Si consiglia di effettuare la filtrazione in linea.

Parametro	Tipo di contenitore	Trattamento	Modalità di conservazione
Alcalinità	HDPE	Filtrato	T<4°C, max 24 ore
Anioni	HDPE	Filtrato	T<4°C, max 24/48 ore
Cationi	HDPE	Filtrato e acidificato HNO ₃ fino a pH<2	T<4°C
Elementi in traccia	HDPE	Filtrato e acidificato HNO ₃ fino a pH<2	T<4°C
Ione ammonio	HDPE	Filtrato	T<4°C

Tabella 3 – Tipologia di contenitori, trattamento e conservazione campioni acque sotterranee

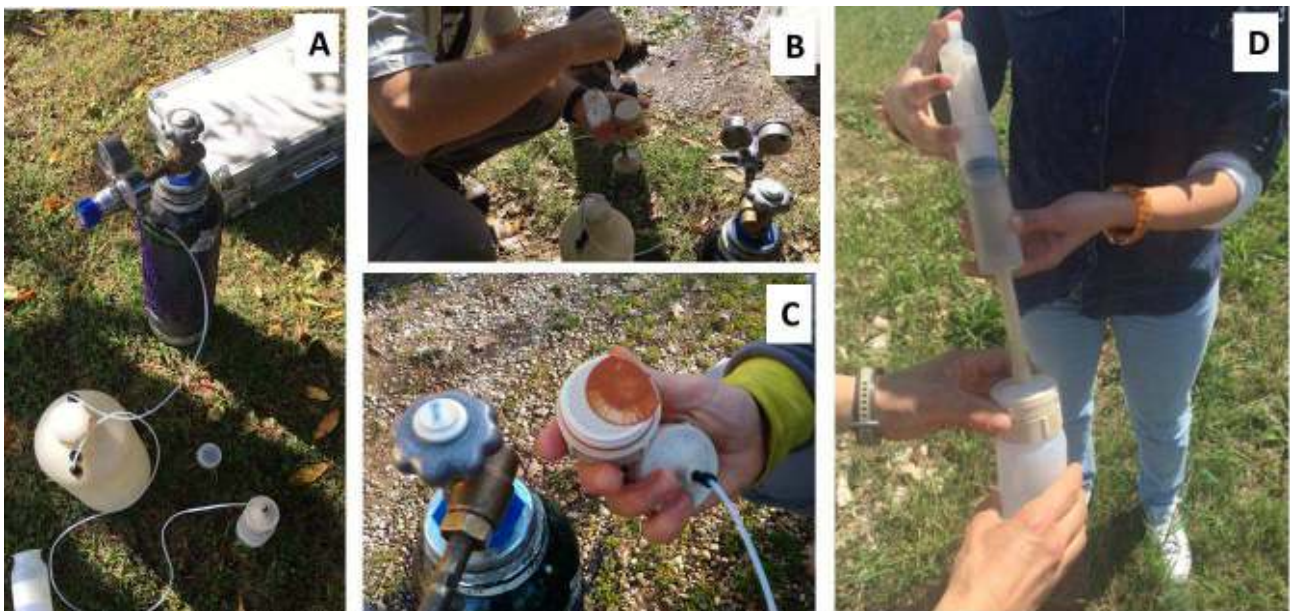


Fig. 6 – Filtrazione del campione in campo sotto modesta pressione di azoto (A, B, C) e con siringa collegata ad un portafiltro (D)

La porosità nominale dei filtri a 0,45 μm (consigliata da USGS, 2015 e Barcelona et al., 1985) è dovuta al fatto che, per convenzione, il materiale solido che è trattenuto dai filtri è definito materiale in sospensione, mentre quello che passa attraverso la membrana filtrante è definito materiale disciolto (APAT-IRSA.CNR 2003). A seconda del produttore, in commercio, sono reperibili filtri con valore nominale 0,45 o 0,4 μm (una sola cifra significativa) che possono essere assimilabili.

L'uso dei filtri a 0,45 μm è oramai largamente diffuso a livello internazionale e viene considerato lo standard per i monitoraggi della acque sotterranee. Tuttavia, occorre sottolineare che diversi Autori (ad es Kennedy & Zellweger, 1974, EPA, 2000) evidenziano come l'utilizzo di filtri da 0,45 μm non impedisca del tutto il passaggio di particolato di dimensioni minori di 0,45 μm e arricchito di alcuni elementi quali, Al, Fe, Ti e Mn e quindi, specie per questi metalli, la filtrazione potrebbe non

assicurare che il campione sia rappresentativo esclusivamente dell'elemento disciolto in falda. Tale aspetto viene invece notevolmente ridotto nel caso vengano utilizzati filtri da 0,1 μm , o 0,05 μm , senza aumentare eccessivamente i tempi di filtrazione.

I filtri comunemente usati per le analisi dei composti inorganici sono in policarbonato, per i quali viene seguita la stessa procedura utilizzata per i contenitori in HDPE: trattamento con HNO_3 fino a $\text{pH}<2$ per 24 ore e successivo risciacquo con acqua ad elevato grado di purezza fino a pH neutro. Una volta trattati e pronti all'uso, i filtri possono essere conservati in un contenitore in HDPE in acqua deionizzata.

Trattamento

Il trattamento per i campioni destinati alle analisi degli anioni prevede solo la filtrazione, mentre per quelli destinati alla determinazione dei cationi, dei metalli e degli elementi in traccia, oltre alla filtrazione è richiesta anche l'acidificazione con HNO_3 fino a $\text{pH}<2$.

4.7) Trasporto e conservazione del campione

Il trasporto viene effettuato in contenitori refrigerati ed i campioni vengono poi conservati in frigorifero a $T < 4^\circ\text{C}$ (Fig. 7). È di fondamentale importanza che la fase di trasporto sia adeguatamente progettata, e che quindi il laboratorio sia avvertito dell'arrivo dei campioni, al fine di evitare che i campioni restino stoccati per periodi di tempo molto lunghi prima di essere analizzati.



Fig. 7 – Conservazione dei campioni i frigorifero a $T<4^\circ\text{C}$

5. Bianchi e qualità

Al fine di effettuare un controllo di qualità del campionamento o per identificare possibili contaminazioni ambientali, vengono effettuati periodicamente dei "bianchi di campo". Questi sono ottenuti mediante la raccolta e stoccaggio di aliquote di acqua ultrapura ($18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$) negli stessi

contenitori utilizzati per i campioni, con filtrazione (l'aliquota da analizzare in IC) e acidificazione (l'aliquota da analizzare in ICP-MS per i metalli) in campo, e sono successivamente sottoposti a tutte le fasi analitiche previste per i campioni. Altri campioni di controllo sono i cosiddetti "bianchi dell'attrezzatura" che si ottengono facendo scorrere acqua potabile o deionizzata attraverso l'attrezzatura usata per il prelievo e la conservazione dei campioni, al fine di valutare l'efficacia delle procedure di decontaminazione dell'attrezzatura usata per il campionamento e l'eventuale rilascio di contaminanti da parte dell'attrezzatura monouso (APAT, 2006). Altri sistemi adoperati per il controllo della qualità del campionamento e delle analisi consistono nell'uso di campioni replicati (senza preavviso al laboratorio), nella predisposizione di dispositivi che assicurino la protezione di ciascun campione per evitare la contaminazione esterna e nell'avvinamento regolare dei recipienti al momento del prelievo.

ALLEGATO A- ESEMPIO SCHEDA DI CAMPAGNA UTILIZZATA DA IRSA - CNR

Compilatore <input style="width: 90%;" type="text"/>	Data censimento <input style="width: 90%;" type="text"/>	Nome risorsa <input style="width: 90%;" type="text"/>	Cod. IRSA (sito) <input style="width: 90%;" type="text"/>
Provincia <input style="width: 90%;" type="text"/>	Comune <input style="width: 90%;" type="text"/>	Località/Indirizzo risorsa <input style="width: 90%;" type="text"/>	
Rif. cartografico <input style="width: 90%;" type="text"/>	Longitudine GPS <input style="width: 90%;" type="text"/>	Latitudine GPS <input style="width: 90%;" type="text"/>	Precisione GPS (m) 33T <input style="width: 90%;" type="text"/>
Quota GPS (m slm) <input style="width: 90%;" type="text"/>	Quota altimetro (m slm) <input style="width: 90%;" type="text"/>	Quota cartografia (m slm) <input style="width: 90%;" type="text"/>	<input style="width: 90%;" type="text"/>

Gestore/Proprietario <input style="width: 95%;" type="text"/>	Indirizzo <input style="width: 95%;" type="text"/>
Telefono <input style="width: 95%;" type="text"/>	Fax <input style="width: 95%;" type="text"/>
e-mail <input style="width: 95%;" type="text"/>	
Anno di realizzazione <input style="width: 95%;" type="text"/>	Stato di conservazione <input style="width: 95%;" type="text"/>
Accessibilità <input style="width: 95%;" type="text"/>	

Informazioni pozzo reperite in situ (riferite)

Uso <input style="width: 90%;" type="text"/>	Profondità (m) <input style="width: 90%;" type="text"/>	Diametro (mm) <input style="width: 90%;" type="text"/>	Rivestimento <input style="width: 90%;" type="text"/>
Profond. pompa (m da pc) <input style="width: 90%;" type="text"/>	Filtri da a (m) <input style="width: 90%;" type="text"/>	Portata esercizio <input style="width: 90%;" type="text"/>	Prof. Livello stat. (m da pc) <input style="width: 90%;" type="text"/>

Informazioni pozzo – misure odierne

Prof. livello Stat. (m da BP) <input style="width: 90%;" type="text"/>	prof. livello Din. (m da BP) <input style="width: 90%;" type="text"/>	Altezza BP da PC (m) <input style="width: 90%;" type="text"/>	Spurgo: Q (l/s) – dur. (min) <input style="width: 90%;" type="text"/>
---	--	--	--

Informazioni sorgente reperite in situ (riferite/misurate)

Presenza sfioro <input style="width: 90%;" type="text"/>	Q sfioro misurata (L/sec) <input style="width: 90%;" type="text"/>	Q totale (L/s) <input style="width: 90%;" type="text"/>	note geologiche <input style="width: 90%;" type="text"/>
---	---	--	---

Codice campione <input style="width: 90%;" type="text"/>	Temperatura acqua (°C) <input style="width: 90%;" type="text"/>
Modello pH metro <input style="width: 90%;" type="text"/>	pH <input style="width: 90%;" type="text"/>
Modello Conducimetro <input style="width: 90%;" type="text"/>	Conducibilità (µS/cm) <input style="width: 90%;" type="text"/>
Modello Ossimetro <input style="width: 90%;" type="text"/>	O ₂ (mg/L) (%) <input style="width: 90%;" type="text"/>
Modello Eh meter <input style="width: 90%;" type="text"/>	Eh (mV) <input style="width: 90%;" type="text"/>
Alcalinità (decimi di ml HCl 0,01N) media <input style="width: 90%;" type="text"/>	

Campione	Capacità (mL)	Trattamento		
		Avv	Filtr	Acid
Anioni	250			
Metalli	250			
Riserva congelat.	100			
Sterili	100			
Citometria	1500/2000			
Carbonio	100			
Inquinanti organ.	5000			
Ossigeno Winkler	250 vetro			

Note

<input style="width: 95%; height: 95%;" type="text"/>

BIBLIOGRAFIA

- APAT-IRSA.CNR (2003) - Metodi analitici per le acque. Manuali e Linee Guida 29/2003, ISBN 88-448-0083-7
- APAT (2006) - Manuale per le indagini ambientali nei siti contaminati, Manuali e Linee guida 43/2006, www.apat.gov.it
- Barcelona M.J., Gibb J.P., Helfrich J.A., and Garske E.E., (1985) - Practical Guide for Ground-Water Sampling. Contract Report No. 374, Illinois State Water Survey, Champaign, IL.
- Barcelona, M.J., M.D. Varljen, R.W. Puls, and D. Kaminski, (2005). Ground Water Purging and Sampling Methods: History vs. Hysteria, Ground Water Monitoring and Remediation, 25(1), Winter 2005, pp. 52-62.
- Cal-EPA (2008) – Representative Sampling of Groundwater for Hazardous Substances. Guidance Manual for Groundwater Investigations. California EPA Department of Toxic Substances Control. July 1995, Revised February 2008.
- EPA (1996) – Low-flow (minimal drawdown) ground-water sampling procedures. EPA/540/S-95/504, April 1996
- EPA (2000) – Groundwater Sampling Guidelines. EPA Publication 669, April 2000.
- ISPRA (2009) - Protocollo per la Definizione dei Valori di Fondo per le Sostanze Inorganiche nelle Acque Sotterranee.
- ISPRA (2014) – Progettazione di reti e programmi di monitoraggio delle acque ai sensi del D. Lgs. 152/2006 e relativi decreti attuativi. ISPRA, Manuali e Linee Guida 116/2014. ISBN 978-88-448-0677-4
- ISS (2007) – Metodi analitici di riferimento per le acque destinate al consumo umano ai sensi del DL.vo 31/2001. Metodi chimici. Rapporti ISTISAN 07/31.
- Kennedy V. C. & Zellweger G.W. (1974) – Filter pore-size effects on the analysis of Al, Fe, Mn and Ti in Water. Water Resources Research, Vol. 10., no. 4, pp. 785-790.
- Peruzzi L. (2007) - Monitoraggio delle acque sotterranee: criteri per l'elaborazione di protocolli di campionamento e per la valutazione della qualità dei dati, Arpa Umbria, Dicembre 2007.
- USGS (2011) – Quality assurance and quality control of geochemical data: a primer for the research scientist. Open-File Report 2011-1187
- USGS (2015) – National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data. <http://water.usgs.gov/owq/FieldManual/>

ANNESSE 2: RETE DI MONITORAGGIO

La rete di monitoraggio deve essere progettata in modo da essere rappresentativa del fenomeno che si intende tracciare; i punti di monitoraggio devono raggiungere il corpo idrico che si intende monitorare e devono avere caratteristiche costruttive tali da permettere una adeguata estrazione del campione d'acqua. Attualmente sono attivi 6 punti spia (vedi Figura 1). Di questi, da quanto ci è stato riferito e dai rapporti di prova disponibili, il Pz5 e il Pz6 presentano caratteristiche tali da non permettere l'estrazione di un campione d'acqua rappresentativo poiché allo spurgo si prosciugano velocemente e non verrebbero ricaricati in tempi adeguati per le operazioni di monitoraggio.

Si osserva inoltre che sul lato orientale la rete non presenta alcun punto idoneo ad intercettare eventuale passaggio di sostanze provenienti dall'impianto, benché la piezometria (figura 2) sembri escludere che il deflusso possa procedere dai bacini esistenti in quella direzione. Certamente un punto spia posizionato lungo tale lato fornirebbe anche dati utili per il controllo piezometrico. Si suggerisce di implementare la rete con almeno un punto spia posizionato più ad oriente rispetto al pz1 come mostrato in figura 1 dal cerchio in blu (A).

Un ulteriore punto potrebbe essere ubicati in corrispondenza del cerchio indicato con la lettera B. Tale punto potrebbe sostituire il Pz2b/4.

La falda sembra defluire dai bacini in direzione del pz5 la cui posizione è quindi idonea. Poiché tuttavia le modalità costruttive e/o la riduzione di spessore della falda rendono difficile l'estrazione di campioni rappresentativi, si suggerisce di posizionare un ulteriore punto spia leggermente a valle come mostrato in figura 1 (lettera D)

Per il pz6 analogamente si suggerisce di tentare una nuova perforazione mantenendosi più a occidente (figura 1, lettera C)

In tutti i casi le modalità di costruzione e di condizionamento del foro devono essere adeguate alla realizzazione di punti spia in terreni a bassa permeabilità e con la ricostruzione della stratigrafia mediante perforazione a carotaggio continuo. Si raccomanda l'uso di materiali idonei, in particolare per quello che riguarda i filtri.

I punti spia 5 e 6 possono essere mantenuti attivi per il monitoraggio piezometrico; inoltre possono essere attrezzati per il monitoraggio passivo.

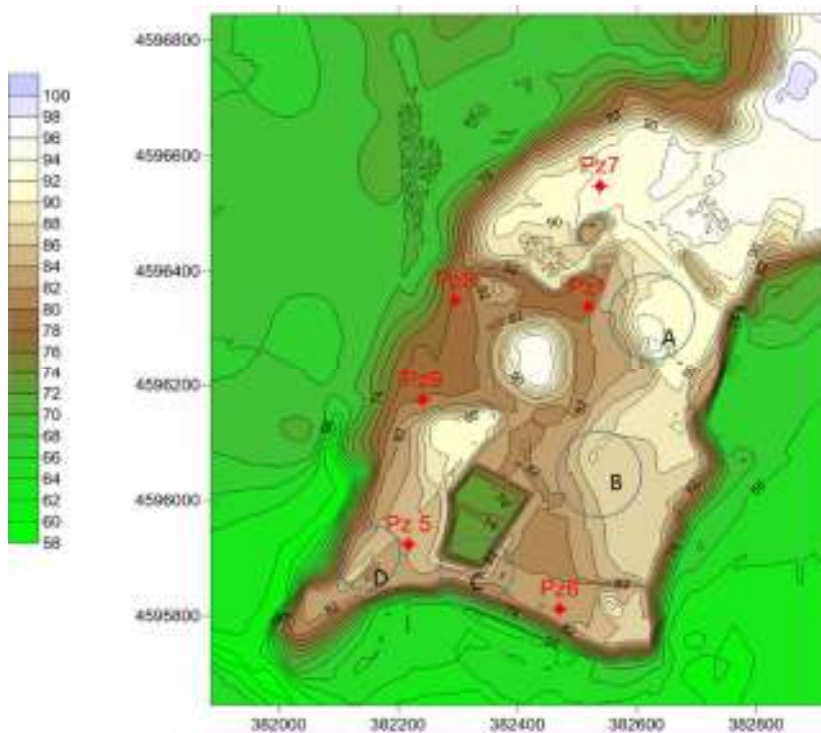


Figura 1 – punti spia attualmente attivi, e ubicazione indicativa (ovali blu) dei settori in cui realizzare dei nuovi punti di monitoraggio. La scala cromatica indica la altimetria in m s.l.m.

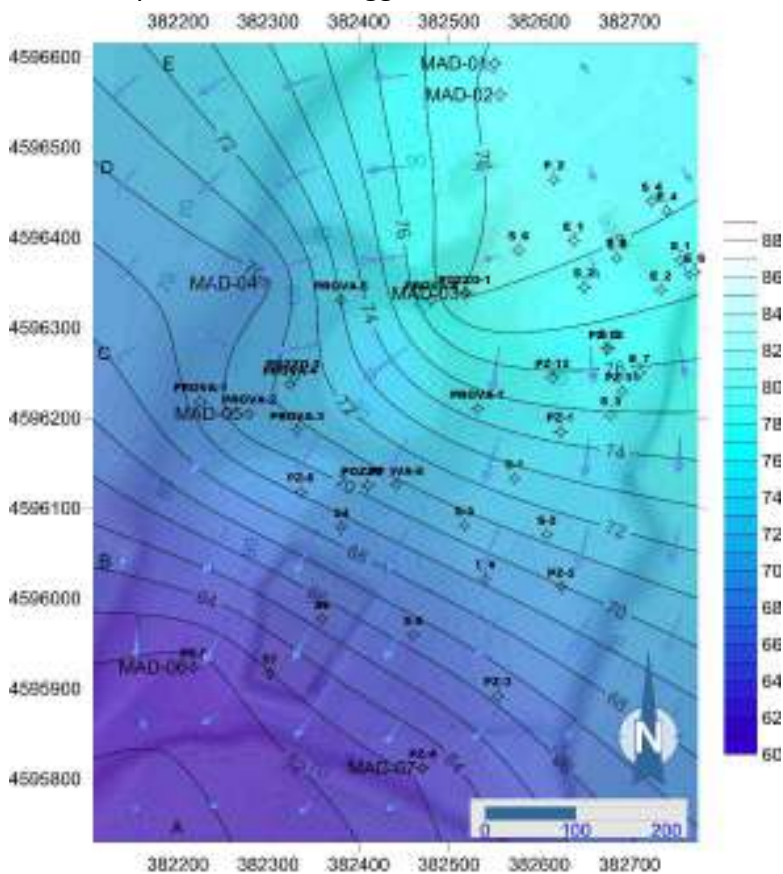


Figura 2 – Andamento della piezometria da interpolazione dei dati rilevati nel corso dell'indagine. La scala cromatica indica la quota in m s.l.m.