



REGIONE EMILIA ROMAGNA
PROVINCIA DI MODENA
COMUNE DI MIRANDOLA

**AREA IMPIANTISTICA DI VIA BELVEDERE
SITA IN COMUNE DI MIRANDOLA**

**(Impianto discarica per rifiuti speciali non pericolosi - impianto
trattamento fanghi di depurazione - attività di messa in riserva rifiuti
non pericolosi RIF.INT. n. 128/00778780361)
GESTITA DA A.C.R. S.P.A. DI REGGIANI ALBERTINO**

**D.Lgs 152/06 Parte IV, Titolo V
Bonifica siti contaminati. art. 244**

Allegato. n.

Oggetto:

**Relazione per
l'individuazione a scala
locale dei Valori di Fondo
delle acque sotterranee**
[Applicazione della Linea Guida
SNPA 8/2018 per le acque
sotterranee]

Scala:

Elaborazione:

01 | Marzo 2022

Revisione:

Committente:



ACR di Reggiani Albertino SPA
Via Statale Nord, 162 - 41037
Mirandola (MO)
Tel. 0535.615.311
Fax. 0535.615.330
www.acrreggiani.it

ACR di Reggiani Albertino S.p.A.
[Signature]

Elaborazione:

Premessa

L'area impiantistica gestita da ACR S.p.a. di Reggiani Albertino a Mirandola, vede la presenza di un impianto di discarica per rifiuti speciali non pericolosi (fanghi di perforazione e terreni provenienti da siti contaminati da idrocarburi o sostanze oleose), un impianto di smaltimento di rifiuti speciali pericolosi e non pericolosi (fanghi di perforazione) e un impianto di messa in riserva di rifiuti speciali non pericolosi (fanghi di perforazione a base acquosa), autorizzati dalla Provincia di Modena con AIA Determinazione n. 94 del 09/10/2014 ss.mm.ii. Come previsto dal Piano di Monitoraggio e Controllo (PMC) dell'AIA presso il sito vengono svolte attività periodiche di monitoraggio che, per le acque sotterranee, prevedono campionamenti su tutti i punti della rete di monitoraggio con frequenza trimestrale/semestrale/annuale da parte del gestore e annuale da parte di Arpa. Arpae nell'ambito della propria attività di monitoraggio e controllo degli impianti sopra citati, ha rilevato per le acque sotterranee superamenti dei valori delle concentrazioni soglia di contaminazione (CSC) di cui alla Tabella 2 dell'Allegato 5 alla Parte IV del Titolo V del D.Lgs 152/06 per i parametri Ferro e Manganese, relativamente agli anni 2020 e 2021.

A seguito dell'accertamento dei livelli di contaminazione superiori ai valori di CSC, come previsto dall'art. 244 comma 1 del D.Lgs 152/06, Arpae Servizio Territoriale di Modena e Servizio Sistemi Ambientali ha inviato agli Enti competenti apposita comunicazione per i relativi provvedimenti di competenza.

Vista la comunicazione trasmessa da Arpae Servizio Territoriale di Modena e dal Servizio Sistemi Ambientali area Centro in data 07/02/2022 prot. n. 19863 a seguito dell'accertamento dei livelli di contaminazione superiori ai valori di CSC, con nota prot. n. 22399 del 11/02/2022 Arpae Servizio Autorizzazioni e Concessioni di Modena ha comunicato l'avvio del procedimento di ricerca del responsabile della potenziale contaminazione per il sito in oggetto ai sensi dell'art. 244 comma 2 del D. Lgs. 152/2006 e contestualmente richiesto ad ACR S.p.a., gestore dell'impianto, di fornire per quanto di competenza, tutti gli elementi ritenuti utili al fine di chiarire l'origine dei superamenti delle CSC notificate da Arpae APA Centro.

La presente relazione è stata predisposta al fine di fornire elementi utili alla definizione dell'origine dei superamenti delle CSC per i parametri Ferro e Manganese riscontrati nelle acque sotterranee.

Con riferimento a tali parametri si porta all'evidenza che concentrazioni superiori ai valori riportati nella Tab. 2 allegato 5 alla parte IV del D.Lgs. 152/2006 rappresentano una situazione diffusa nell'area di pianura del Modenese in relazione alle condizioni ossido-riduttive della falda e risulta consolidato che la presenza degli stessi è correlata alla qualità del fondo naturale.

A tal proposito Arpae ha avviato un progetto per l'individuazione dei valori di fondo naturale (VFN) delle acque sotterranee per l'intero corpo idrico confinato superiore della Pianura Alluvionale Padana, risultati pari a 27.000 µg/l per il Ferro e 1.830 µg/l per il Manganese, nell'ambito del quale il Servizio Territoriale Arpae di Modena – Distretto Area Nord ha definito i VFN di Ferro e Manganese per le acque sotterranee sottese l'area impiantistica ACR di Mirandola afferenti all'acquifero confinato, come da comunicazione del 23/12/2021 (PG 197921).

Più specificatamente Arpae, a partire dai VFN calcolati per l'intero corpo idrico e prendendo in considerazione i valori di fondo naturale calcolati nella stazione di monitoraggio più prossima all'area ACR, a cui è stato attribuito il valore massimo di Ferro pari a 13.190 µg/l e di Manganese pari a 962 µg/l, in via cautelativa ha proposto di prendere in considerazione, per entrambi i metalli, il dato del 95° percentile calcolato per la stessa stazione di monitoraggio pari quindi a 8.731 µg/l per il Ferro e 911 µg/l per il Manganese.

La presente relazione è stata sviluppata secondo quanto previsto dal documento “Contenuti minimi e struttura della relazione per l’individuazione a scala locale dei Valori di Fondo delle acque sotterranee” predisposto da Arpa e in applicazione delle Linee Guida SNPA 8/2018 per le acque sotterranee.

A valle di un inquadramento territoriale, geologico e idrogeologico dell’area di interesse e di una sintesi delle attività svolte presso l’area impiantistica ACR, vengono rappresentati i risultati dei monitoraggi eseguiti negli ultimi dieci anni utilizzati per la definizione del modello concettuale idrogeologico della falda e per la determinazione dei valori di fondo per Ferro e Manganese.

La determinazione dei valori di fondo naturale per Ferro e Manganese è stata eseguita applicando lo schema A delle Linee Guida SNPA 8/2018 utilizzando, per l’analisi di tutti i dati disponibili, la piattaforma di programmazione e calcolo numerico MATLAB.

Inquadramento territoriale

L'area impiantistica ACR sorge nell'immediata periferia nord del Comune di Mirandola (MO), lungo via Belvedere, in prossimità dell'impianto di discarica di AIMAG SpA e la discarica e impianto di trattamento e recupero di terre e rocce entrambi di proprietà di R.I.Eco Srl.

Le suddette aree impiantistiche sono collocate in un contesto prevalentemente agricolo in cui si inseriscono varie case sparse oltre ai seguenti centri abitati:

- Mirandola, distante 2 km circa a sud;
- Quarantoli, a 2 km in direzione nord-est;
- Fossa, alla distanza di 1,2 km in direzione nord-ovest.

Le aste di viabilità principale sono costituite da:

- SS12, ad una distanza di circa 500m dall'area impiantistica in direzione est;
- SP7 ad una distanza di circa 700m dall'area impiantistica in direzione nord;
- SP8 ad una distanza di circa 2km in direzione sud.



Figura 1 - Inquadramento territoriale dell'area impiantistica ACR (in rosso)

1 Caratteristiche geologiche e idrogeologiche dell'area

1.1 Caratteristiche del suolo e sottosuolo

1.1.1 Inquadramento geologico

Il territorio Comunale di Mirandola si sviluppa nell'area di bassa pianura modenese, in un settore deposizionalmente influenzato dalle alluvioni dei fiumi Secchia e Panaro.

L'evoluzione geologica del territorio in studio va necessariamente inquadrata in un contesto regionale; essa ricade nella parte centro-meridionale della Pianura Padana, che costituisce dal punto di vista geologico, un grande bacino subsidente plio-quadernario di tipo sedimentario, che comincia a delinearsi sin dall'inizio del Triassico (225 milioni di anni fa) e viene interessato da subsidenza differenziata sia nel tempo che nello spazio, in diversi periodi (Mesozoico, Cenozoico, ma soprattutto Pliocene e Quaternario), con movimenti verticali controllati dai caratteri strutturali presenti in profondità; più in particolare, l'area ricade nel suo settore appenninico, in diretta influenza del Po e dei suoi affluenti di destra.

Nell'ambito del suddetto bacino, i terreni olocenici, di origine alluvionale, poggiano sul sottostante Pleistocene continentale e/o marino, strutturalmente caratterizzato da elementi ormai sufficientemente definiti in letteratura. L'assetto geologico strutturale profondo della Pianura Padana è noto soprattutto grazie ai dati emersi dalle perforazioni profonde e dalle prospezioni geofisiche effettuate per le ricerche petrolifere esposti nelle pubblicazioni di PIERI & GROPPI (1981) e CASSANO ed altri (1986), nelle quali viene aggiornata la sintesi stratigrafica e strutturale dell'area e puntualizzati l'andamento, l'evoluzione e la cronologia degli eventi tettonici dei diversi comparti del bacino.

Dal punto di vista strutturale la Pianura Padana non costituisce una unità omogenea: fanno infatti parte del suo sottosuolo le pieghe più esterne dell'Appennino settentrionale e delle Alpi meridionali lombarde, l'avampaese comune alle due catene e, nel Veneto, l'avampaese delle Alpi meridionali orientali e della catena dinarica; su questi elementi è impostata l'avanfossa piocenico-quadernaria dell'Appennino.

In Figura 2 è riportato un estratto della "Carta degli elementi tettonici significativi dell'area Padana centro-orientale", che mette in evidenza la presenza di un ampio bacino, fortemente subsidente ed attivo sin dal Plio-Pleistocene, che si estende tra Carpi e Cento di Ferrara, denominato "Bacino di Carpi" o meglio noto come "Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia, collocata tra due grandi archi di pieghe, che costituiscono la porzione più esterna dell'Appennino settentrionale, rappresentati dalle "Zona delle pieghe pedeappenniniche", a sud, più prossime alla catena appenninica, e dalla "Dorsale di Ferrara", a nord; quest'ultima è caratterizzata da un'ampia struttura anticlinale molto evidente ed elevata, che corre da Massa Finalese a Mirandola, con direzione complessiva E/SE-N/NW e che, in corrispondenza di Novi di Modena e Correggio, subisce una decisa inflessione verso sud, con andamento SE-NW.

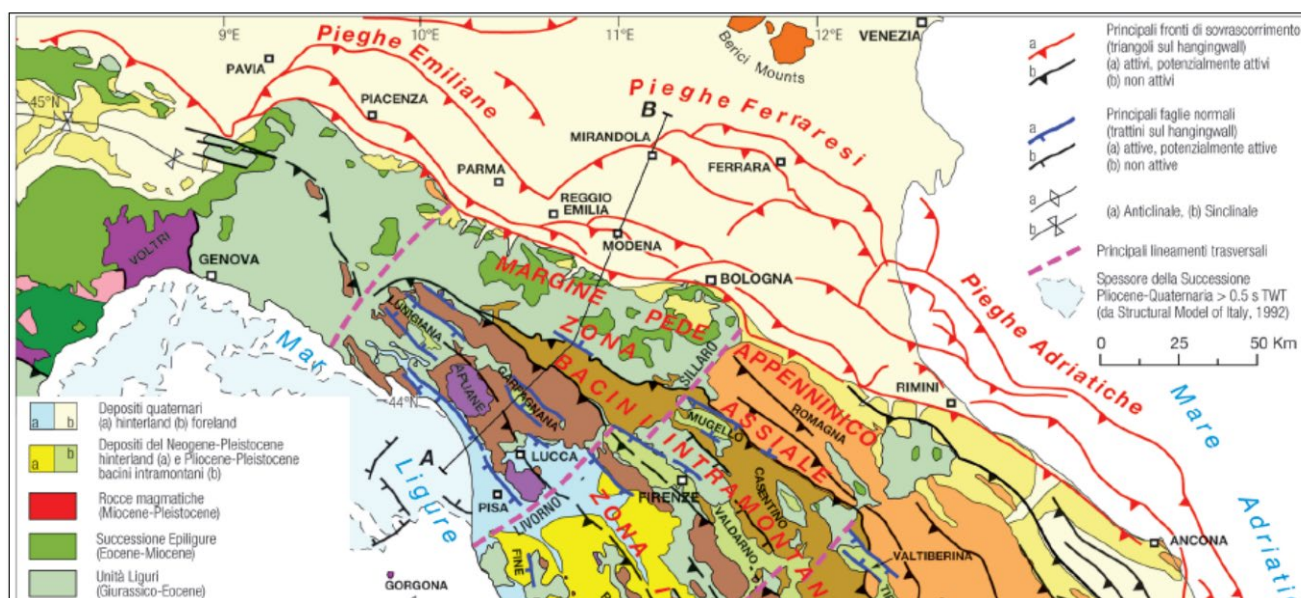


Figura 2 - Carta degli elementi tettonici significativi dell'area Padana (Martelli e al., 2017)

Lungo tali allineamenti, lo spessore dei depositi quaternari subisce una notevole riduzione, sino a poche decine di metri (80/90 m). In termini generali ed in modo schematico possiamo individuare tre zone principali: - "Zona delle pieghe pedeappenniniche", dal margine collinare alla Via Emilia, costituita da una successione di sinclinali ed anticlinali, con asse a vergenza appenninica, spesso fagliate e sovrascorse sul fianco Nord; - "Zona della Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia", dove i depositi quaternari raggiungono il loro massimo spessore per tutta la pianura Padana; - "Zona della Dorsale Ferrarese", alto strutturale costituito da una serie di pieghe associate a faglie dove, in talune culminazioni, lo spessore del Quaternario si riduce a poche decine di metri. Le tre aree di polo si trovano nella "Zona della Dorsale Ferrarese". Questo andamento ad archi di pieghe del fronte sepolto dell'Appennino, di messa in posto sempre più recente man mano si procede verso le aree più esterne, è da correlarsi con il movimento di rotazione della catena in senso antiorario, che genera raccorciamenti crostali di crescente intensità spostandosi dai settori occidentali a quelli orientali. Per un quadro approfondito della tettonica padana e della genesi delle strutture arcuate al fronte delle pieghe, oltre alle pubblicazioni citate in precedenza, si rimanda al lavoro di CASTELLARIN et alii (1985). Da un punto di vista sedimentario, la sedimentazione terziaria e quaternaria in quest'area della pianura è stata essenzialmente detritica, si sono cioè deposte serie clastiche di considerevole spessore e solo nel Messiniano si riscontra un episodio evaporitico; si possono riconoscere essenzialmente due cicli di sedimentazione, distinguendo una zona marginale, in cui ad una deposizione clastica grossolana succedono sedimenti prevalentemente argillosi ed una zona centrale, in cui prosegue una sedimentazione torbidity indisturbata. La deposizione sedimentaria presenta inoltre frequenti variazioni di facies, sia laterali che verticali, come risultato delle particolari condizioni strutturali venutesi a creare in vari settori della pianura in seguito all'evoluzione tettonica. Alla deposizione della facies evaporitica miocenica superiore, corrisponde una fase di marcata regressione e ad essa si accompagna probabilmente una fase tettonica di notevole intensità.

Legenda: 1) depositi alluvionali; 2) sedimenti marini del Pliocene superiore e Quaternario; 3) sedimenti marini del Pliocene inferiore; 4) sedimenti marini del Paleocene-Miocene; 5) formazioni calcaree marine del Mesozoico Fig.12-Sezione geologica schematica, indicativa della situazione strutturale profonda della bassa pianura modenese - Fonte: Pieri - (1980)

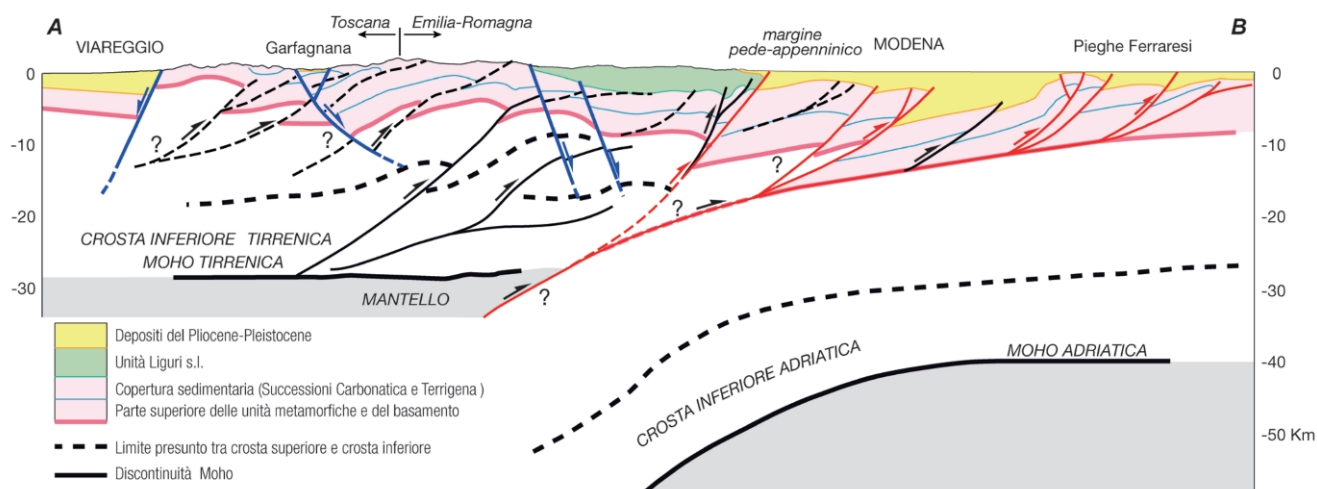


Figura 3 - Carta degli elementi tettonici significativi (Martelli e al., 2017)

Il piegamento pedeappenninico e l'abbassamento del livello del mare, portano all'emersione delle culminazioni delle principali anticlinali, tra le quali la Dorsale Ferrarese, ove s'instaurano rilevanti processi erosivi che provocano la scomparsa di spessori anche notevoli di sedimenti. Nel tardo Messiniano e nel Pliocene inferiore si manifesta un graduale innalzamento del livello delle acque del bacino, che porta al ristabilimento graduale delle condizioni che regnavano in precedenza; come conseguenza si ha la deposizione di successioni trasgressive su aree precedentemente emerse, mentre nelle zone sinclinali continuano a deporsi sedimenti torbiditici. Al termine del Pliocene inferiore un'accentuata attività tettonica porta ad un nuovo piegamento e sollevamento dell'area e quindi all'accentuarsi di alcune strutture preesistenti; nelle aree altimetricamente più elevate, tra cui Camurana ed altri tratti della Dorsale Ferrarese, s'instaurano sensibili fenomeni erosivi. Con il Pliocene medio inizia una nuova ingressione marina di limitata entità, che comporta la deposizione, nelle aree sinclinali, di depositi torbiditici grossolani. Il Quaternario segna un abbassamento regionale all'interno del bacino padano, accentuandosi ulteriormente la subsidenza differenziale delle diverse strutture; la potenza dei sedimenti del Quaternario varia da oltre 1000 m nelle aree meridionali a meno di 200 m o completa assenza, in quelle settentrionali. La diversità di spessore è imputabile alla marcata differenza di subsidenza cui l'area in oggetto è stata sottoposta durante il Quaternario. Il Quaternario si chiude poi con una decisa regressione del dominio marino, con il passaggio da una sedimentazione di tipo marino, che caratterizza il Pliocene e parte del Pleistocene, ad una di tipo continentale, con il colmamento del golfo padano, che si trasforma progressivamente in pianura alluvionale attraverso l'accumulo di sedimenti fluviali e fluvioglaciali, derivanti dal rapido smantellamento e modellamento delle catene montuose circostanti.

Il riempimento della Pianura Padana ad opera dello smantellamento della catena alpina ed appenninica ha portato quindi all'accumulo di depositi dapprima marini e successivamente continentali di piana alluvionale in un bacino sedimentario che ha subito una notevole azione di subsidenza. Come già detto modalità e tempi di deposizione dei materiali sono stati controllati principalmente dalla tettonica e, dal Pliocene medio-superiore ad oggi, dall'evoluzione delle pieghe-faglie descritte in precedenza e schematizzate nelle figure riportate, segnalata anche in epoca storica dal graduale "sfuggire" della rete idrografica superficiale alla "dorsale ferrarese". I movimenti tettonici, soprattutto quelli ad andamento verticale, sono quindi uno dei principali fattori di controllo dello sviluppo paleogeografico dell'area padana, influenzando direttamente morfologia e geometria dei corsi d'acqua, anche se non vanno dimenticati altri fattori determinanti dovuti alle oscillazioni

PIANA ALLUVIONALE ALLUVIAL PLAIN	
5	Sabbie medie e fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, subordinatamente limi argillosi; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine prossimale. <i>Medium and fine sand in beds tens of centimetres thick, changing laterally and/or intercalated to fine and very fine silty sand; smaller amount of clayey silt; locally medium and coarse sand in lenticular, ribbon shaped bodies. Channel and proximal levee deposits.</i> <i>At the top, soils with various degree of evolution.</i>
6	Limi sabbiosi, sabbie fini e finissime, argille limose e subordinatamente sabbie limoso-argillose intercalate in strati di spessore decimetrico. Depositi di argine distale. <i>Sandy silt, fine and very fine sand, silty clay and smaller amounts of silty-clayey sand intercalated in beds tens of centimetres thick. Distal levee deposits.</i> <i>At the top, soils with various degree of evolution.</i>
7	Sabbie medie e fini, limi e argille limose intercalati in strati di spessore decimetrico; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine indifferenziati. <i>Medium and fine sand, silt and silty clay intercalated in beds tens of centimeters thick; locally medium and coarse sand in lenticular and ribbon shaped bodies. Channel and undifferentiated levee deposits.</i> <i>At the top soils with various degree of evolution.</i>
8	Limi argillosi e limi sabbiosi, subordinatamente sabbie fini e finissime, in strati di spessore decimetrico; localmente sabbie in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine indifferenziati. <i>Clayey silt and sandy silt, smaller amounts of fine and very fine sand, in beds tens of centimeters thick; locally sand in lenticular and ribbon-shaped bodies. Channel and undifferentiated levee deposits.</i> <i>At the top soils of various degree of evolution.</i>
9	Argille limose, argille e limi argillosi laminati, localmente concentrazioni di materiali organici parzialmente decomposti. Area interfluviale e depositi di palude. <i>Silty clay, clay and laminated clayey silt, locally concentrations of partially decomposed organic matter. Back-swamp deposits.</i>
10	Sabbie medie e grossolane subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose, limi e limi sabbiosi in strati di spessore decimetrico. Depositi di piana a meandri. <i>Medium and coarse sand, to a lesser extent gravel and sandy gravel, smaller amounts of silt and sandy silt in bed tens of centimeters thick. Meander belt deposits.</i> <i>At the top, soils of various degree of evolution.</i>

Figura 4 - Estratto da Carta Geologica di Pianura dell'Emilia Romagna redatta dalla Regione Emilia Romagna (1999)

1.1.2 Caratterizzazione litologica e stratigrafica del sito

Per la caratterizzazione litologica e stratigrafica e per la definizione delle proprietà geomeccaniche dei terreni presenti nell'area di interesse sono state prese a riferimento prove penetrometriche di bibliografia eseguite nel sito e in aree adiacenti per studi precedenti integrate con ulteriori indagini mirate e significative. Nei pressi dell'area di interesse sono state realizzate indagini in diverse data quali:

22/09/2003 due prove penetrometriche statiche di tipo meccanico spinte a -20.00 m dal p.c.;

10/06/2009 una prova penetrometrica statica con punta elettrica spinta a -12.50 m dal p.c.;

28/12/2010, due prove penetrometriche statiche di tipo meccanico;

29/12/2010 tre prove penetrometriche statiche con punta elettrica e piezocono ENVI MEMOCONE spinte alla profondità di -15.00 m.

Le prove sono state realizzate dal Laboratorio di prove geotecniche in sito GEOPROGETTI S.a.s. di Medolla, concessionato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti a svolgere attività di prova e certificazione per prove geotecniche in sito con Decreto n. 54420 del 27/01/2006, come espressamente richiesto al cap. 6.2.2 del D.M. 14 Gennaio 2008 "Nuove Norme Tecniche Per Le Costruzioni".

La natura litologica dei terreni oggetto delle prove penetrometriche è dedotta dall'analisi dei diagrammi penetrometrici mediante "Guide for estimating soil type from dutch friction-cone ratio" (after Schmertmann,

1969), Raccomandazioni A.G.I. 1977. Le sequenze litologiche derivate sia dalle prove meccaniche che dalle elettriche si presentano moderatamente omogenee nei punti indagati.

La sequenza litologica di dettaglio del sito si sintetizza come segue:

- argille compatte sovraconsolidate per essiccamento fino alla profondità di -1.80 m;
- da -1.80 a -4.20 m, argille poco consistenti con probabili livelli organici;
- da -4.20 a -8.80 m argille limose poco compatte;
- da -8.80 a -11.60 m limi argillosi compatti;
- nella sola CPTU n. 1 alla quota compresa fra -8.60 e -9.80 si trova un livello di sabbie sciolte;
- da -11.60 a -32.00 m sabbie addensate sede del primo abbondante acquifero sfruttabile locale.

Di seguito si riporta una sezione stratigrafica nord-sud dell'area limitrofa prendendo a riferimento le tre prove CPTU eseguite.

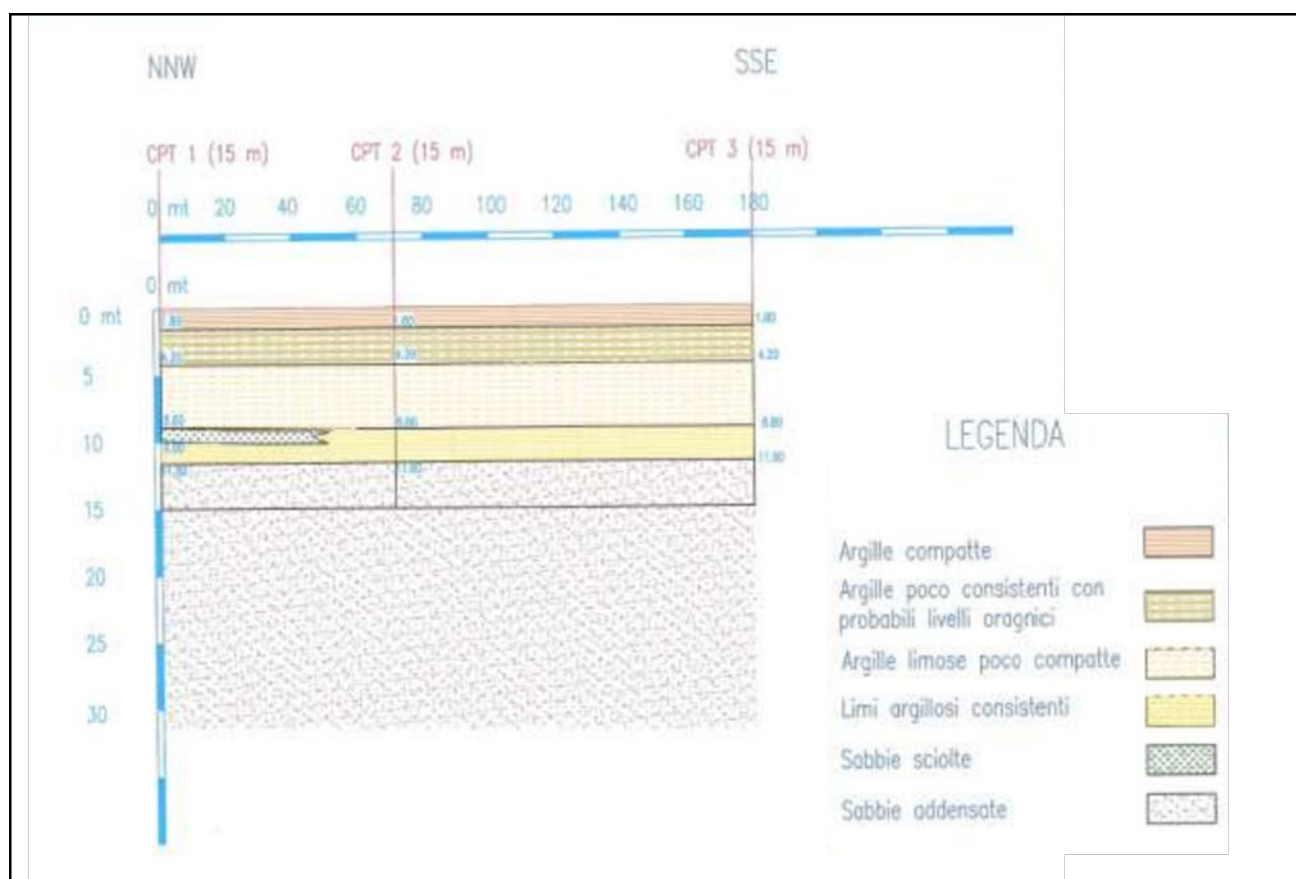


Figura 5 - Stratigrafia del sito

1.2 Evoluzione dell'uso del suolo

L'area impiantistica A.C.R. di Reggiani Albertino SpA, il cui perimetro è indicato in rosso in Figura 6, copre attualmente una superficie di circa 7.300 mq.

Essa è comprensiva di un impianto di Discarica per rifiuti speciali non pericolosi, una piattaforma di trattamento rifiuti pericolosi e non pericolosi (filtropressatura e inertizzazione) e un'attività di messa in riserva di rifiuti non pericolosi.

Ad ovest, confinante con l'impianto, è presente una Discarica di rifiuti urbani con annessa un'Isola ecologica, entrambe di proprietà della società AIMAG SpA; mentre ancora più ad ovest sono presenti gli impianti di proprietà della società R.I.Eco Srl, in particolare un Impianto di stoccaggio e trattamento terre e rocce, un Impianto di frantumazione inerti e una Discarica di rifiuti speciali non pericolosi.



Figura 6 - Inquadramento dell'area impiantistica ACR (in rosso) e degli impianti contigui R.I.Eco e AIMAG

Altri insediamenti produttivi presenti nell'area d'interesse nel raggio di 2 km dall'impianto in oggetto sono riconducibili a:

- Allevamenti suinicoli;
- Allevamenti bovini;
- Aree agricole.

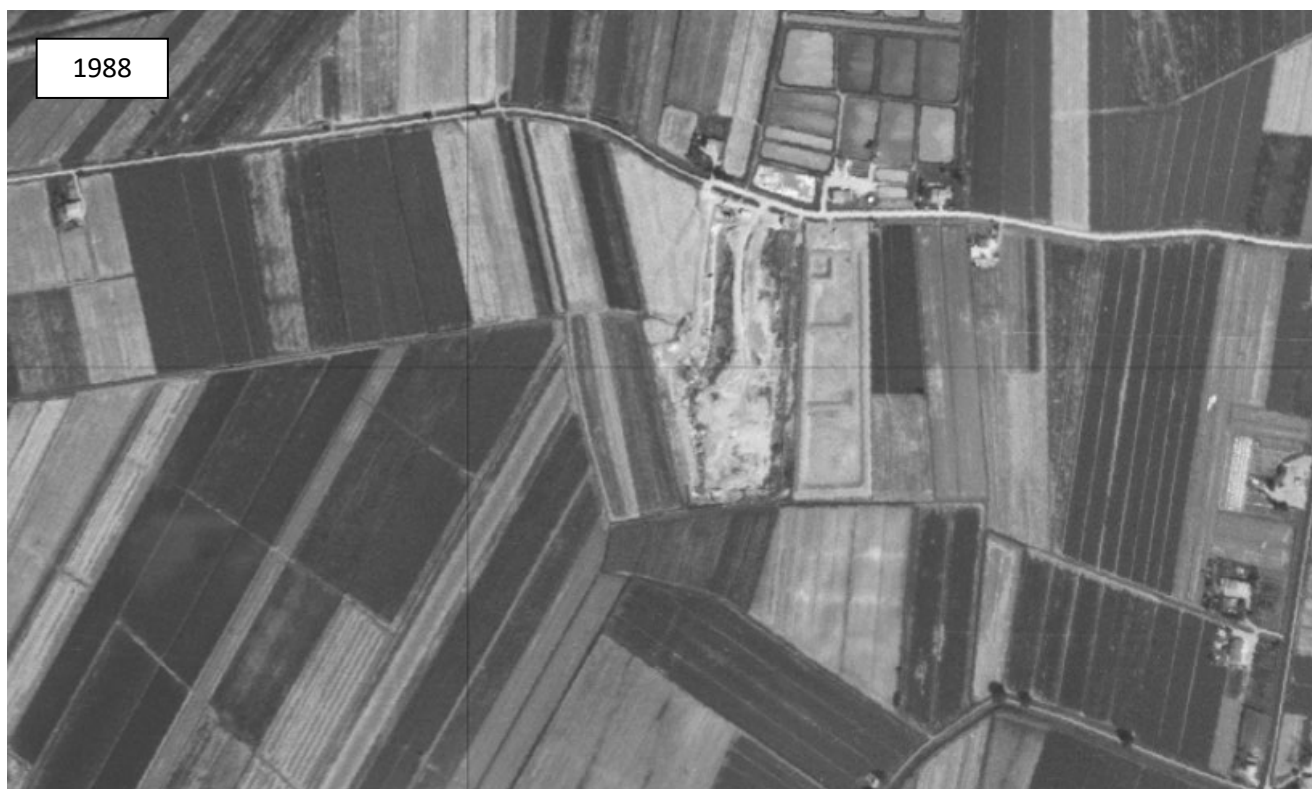
L'area impiantistica di A.C.R. è entrata in funzione negli anni '80 a seguito dell'attivazione della discarica per accogliere i fanghi bentonitici, previo trattamento di disidratazione e/o inertizzazione, provenienti dalle perforazioni per la ricerca di idrocarburi nel sottosuolo. Successivamente, a seguito di autorizzazioni

conseguite rispettivamente nel 2006 e 2007, ha avuto inizio l'attività di messa in riserva R13 ed è entrata in esercizio la piattaforma di trattamento fanghi di perforazione (filtropressatura-inertizzazione).

L'area tecnologica di R.I.Eco S.r.l. è entrata in funzione negli anni '90 a seguito dell'autorizzazione della discarica conseguita nel 1990 a cui ha fatto seguito la realizzazione di un impianto per il recupero del rifiuto speciale non pericoloso costituito da terre e rocce contaminate da idrocarburi con autorizzazione conseguita nel 2006.

A cavallo tra gli anni '80 e '90 è entrato in funzione anche l'impianto di smaltimento AIMAG che attualmente occupa un'area di circa 104.000 mq.

Nelle figure successive si riporta una serie di ortofoto estratte dal Geoportale Nazionale rappresentative dell'evoluzione dell'area di interesse.



1994



2000





Figura 7 – Serie storica ortofoto dell'area d'interesse

Viene descritta di seguito l'evoluzione delle caratteristiche di copertura e uso del territorio sulla base dei dati tratti dal database dell'uso del suolo della Regione Emilia-Romagna.

Il database dell'uso del suolo costituisce la mappatura dei vari utilizzi del territorio, classificati secondo una legenda gerarchica derivata dalle specifiche del progetto europeo Corine Land Cover (CLC), integrata dal Gruppo di Lavoro Uso del Suolo del CPSG-CISIS.

La Regione ha ripetuto la mappatura di tutto il territorio in anni diversi, in modo da poter individuare le dinamiche di trasformazione dell'utilizzo. I database prodotti sono relativi agli anni: 1976, 1994, 2003, 2008, 2011 (solo Provincia di Bologna), 2014 e 2017. Inoltre, è stato prodotto un database di uso del suolo storico relativo al 1853.

Si riportano di seguito le mappe elaborate per gli anni 1976 (periodo storico), 2017 (periodo recente) e 1994 (periodo intermedio, caratterizzato dalla variazione più significativa di utilizzo del suolo per l'area di interesse) con riferimento ad un intorno significativo del sito di interesse.

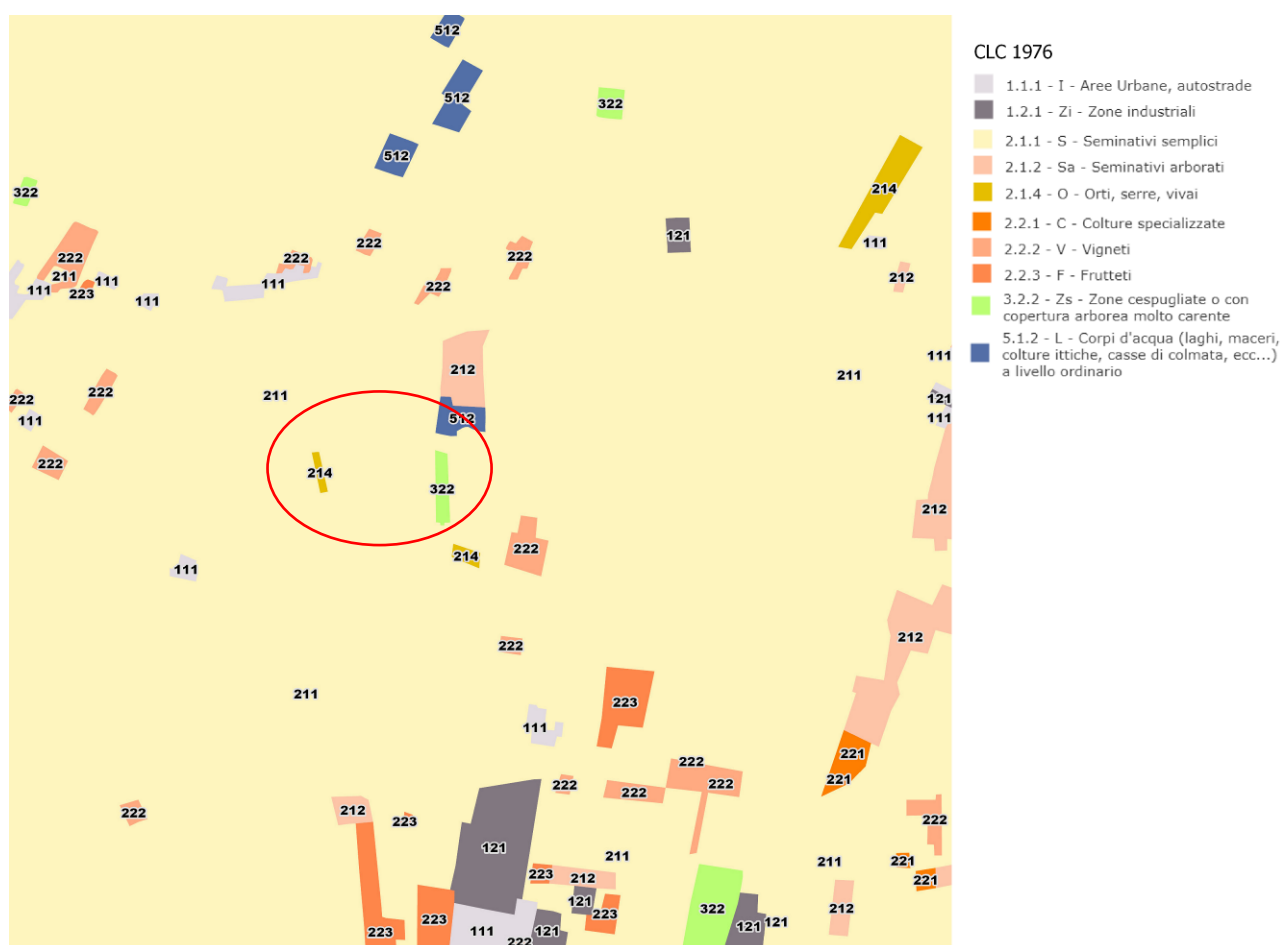


Figura 8 – Corine Land Cover 1976 coperture vettoriali dell'uso del suolo di semi-dettaglio

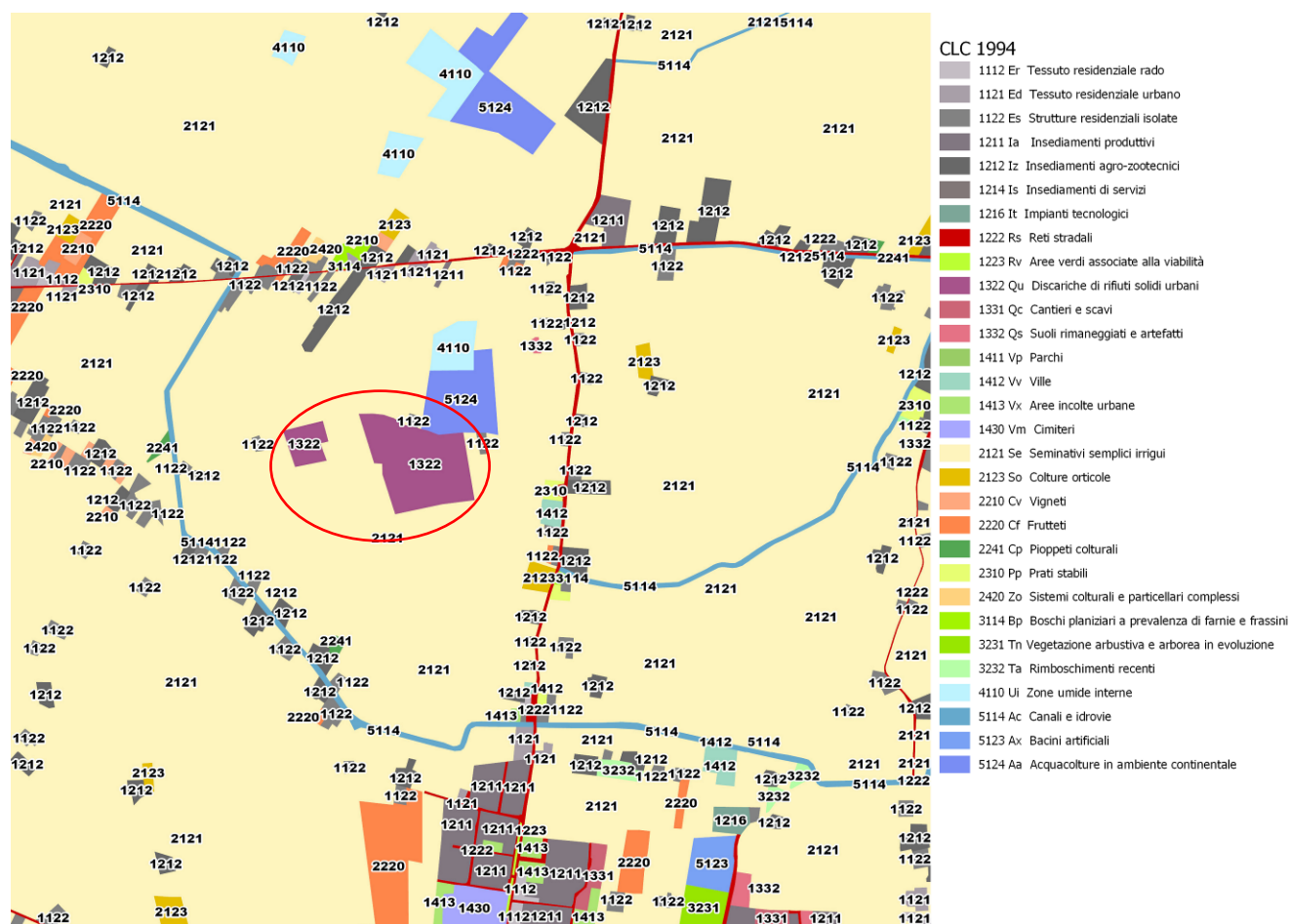


Figura 9 – Corine Land Cover 1994 coperture vettoriali dell'uso del suolo di dettaglio

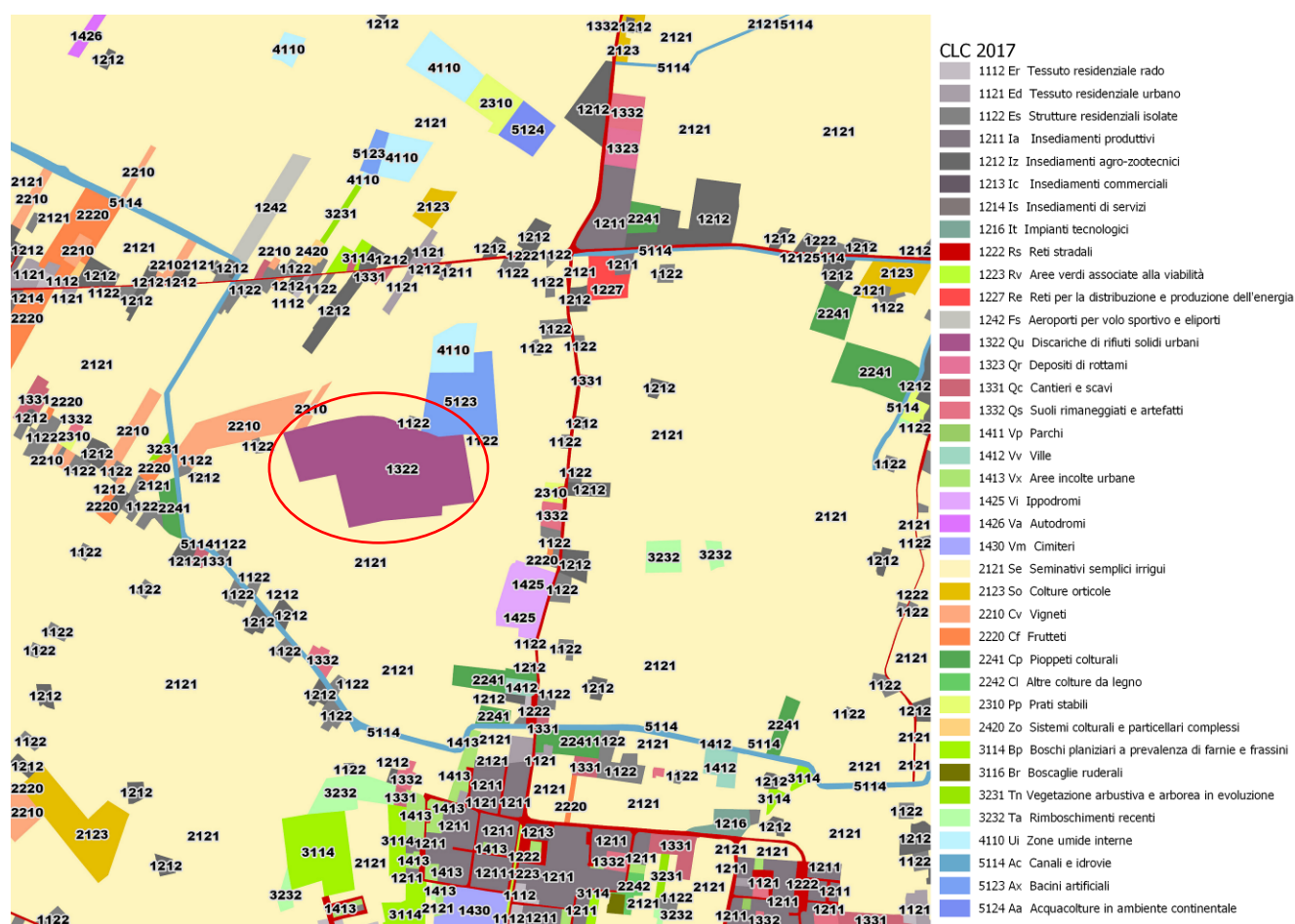


Figura 10 – Corine Land Cover 2017 coperture vettoriali dell'uso del suolo di dettaglio

Come si può vedere dalle figure sopra riportate in tutti i periodi considerati l'utilizzo del suolo è prevalentemente agricolo con una netta dominanza dei seminativi semplici (211/2121). Nella mappatura relativa al 1994 l'area di interesse vede la parziale mutazione di utilizzo come discarica (1322) che si consolida nella mappatura relativa al 2017.

A partire dal 1994 si ha inoltre la comparsa di aree ad uso residenziale, prevalentemente strutture residenziali isolate (1122) e di insediamenti agro-zootecnici (1212) lungo le principali arterie di comunicazione che permangono anche nel 2017 con l'ingresso di vaste aree a vigneti e frutteti (2210 e 2220) ad ovest dell'area di interesse.

1.3 Caratteristiche idrologiche, idrogeologiche e zone di ricarica degli acquiferi

1.3.1 Idrografia del sito

Il sito oggetto di studio fa parte del Macrobacino idrografico Po di Volano e della rete scolante artificiale di bonifica gestita dal Consorzio di Bonifica di Burana Leo Scoltenna e Panaro. Il sito di ampliamento si trova lontano dai fiumi principali, in particolare è ubicato a est dell'alveo attuale del fiume Secchia ad una distanza media di circa 6 Km a Concordia sulla Secchia, a Sud del fiume Po ad una distanza media di circa 15 Km a Ostiglia e a Nord-Nord-Ovest del fiume Panaro ad una distanza media di 16 Km a Camposanto.

Il resto della rete idrica superficiale è costituito da un insieme di cavi, canali e scoli in gestione al Consorzio di Bonifica di Burana, Leo, Scotenna. Il territorio appartenente all'area del bacino Burana-Po di Volano si estende tra le province di Ferrara, Modena, Bologna ed in piccola parte Ravenna occupando una superficie di circa 3.020 km². Il territorio è prevalentemente pianeggiante ed è dotato di una rete idrografica quasi totalmente artificiale. Il sistema idrico risulta così complesso a causa sia delle modestissime pendenze del suolo e della sua soggiacenza rispetto alle quote dei recapiti finali (necessità di ricorrere al sollevamento meccanico) sia della molteplicità di usi cui le acque sono destinate. Il bacino Burana-Po di Volano ha la funzione di collettore finale delle acque di scolo, di vettore di acque interne ed esterne allo stesso bacino per le derivazioni agricole, industriali e per la navigazione e si estende per la maggior parte nella provincia di Ferrara. Avanzando verso il mare, le acque dolci si mescolano con quelle salate creando numerose zone umide di grande interesse ambientale, ecologico, faunistico e produttivo (Valli di Comacchio, Sacca di Goro, quest'ultima soggetta a continue crisi anossiche). A questa situazione di alterazione dell'ecosistema contribuisce sia l'assetto morfologico sia l'apporto diretto delle acque superficiali di scarsa qualità del Po di Volano e del Canal Bianco, recettori di una grande quantità di nutrienti. Nella rete di monitoraggio Regionale, per la parte relativa alla provincia di Modena, vengono campionati 3 canali localizzati fra i comuni di Mirandola e di Finale Emilia appartenenti al bacino Burana-Navigabile. Sono tutti canali irrigui invasati con acque prelevate dal Po in primavera, per poi essere svasati in autunno.

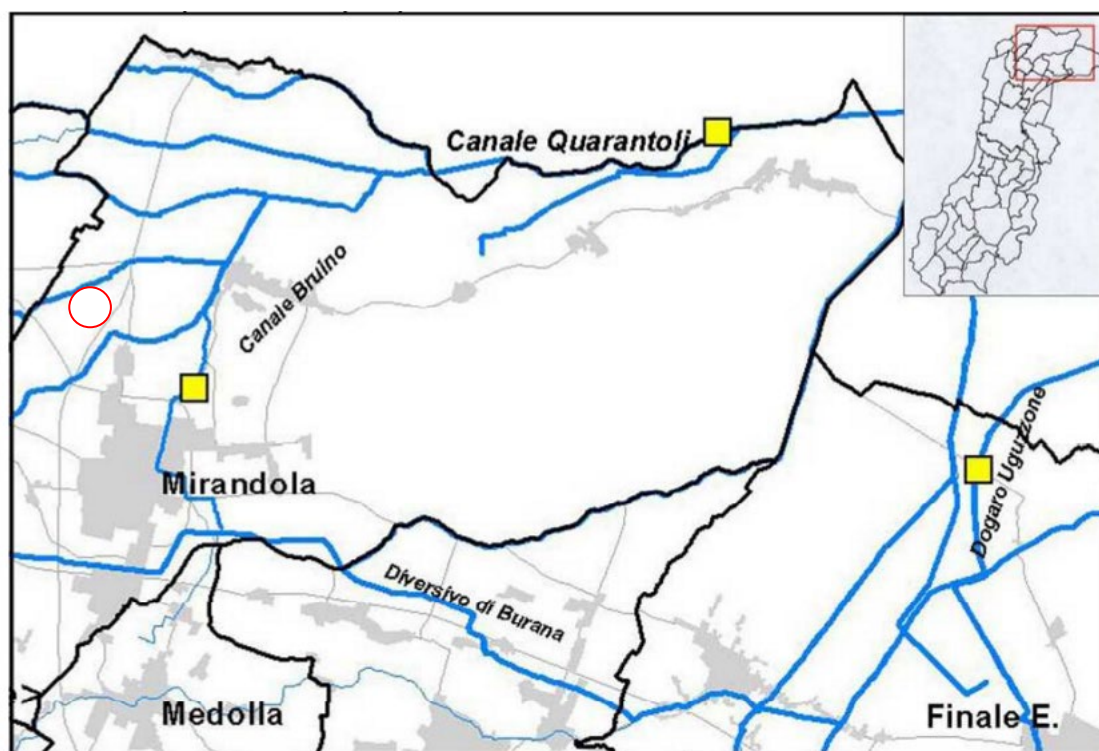


Figura 11 - Bacino Burana-Po di Volano nella Provincia di Modena

Gli aspetti qualitativi chimici-microbiologici di questi canali sono generalmente scadenti, sia per le caratteristiche morfologiche intrinseche, che non favoriscono la riossigenazione e l'autodepurazione, sia per la tipologia delle acque di alimentazione provenienti dal Po. L'area interessata dal Comprensorio di Burana è delimitata a Nord dal fiume Po, ad Ovest dal fiume Secchia, a est dal fiume Panaro. Si estende su un territorio

di 72.500 ha, dei quali 45.700 ha in provincia di Modena, 10.800 ha in provincia di Ferrara e 16.000 ha in provincia di Mantova. Dal punto di vista idraulico il territorio è suddiviso in due comprensori: le Acque Basse con estensione pari a circa 54.600 ha e le Acque Alte con estensione pari a circa 17.880 ha. Il sito in oggetto rientra nel bacino di scolo Acque Basse, nel Bacino A "Bacino di Scolo Canale di Quarantoli" in particolare nel Bacino A4" Dugale Mesino. Il Dugale Mesino borda il lato dell'area di interesse, corre con direzione delle acque verso est e scarica nel Canale Quarantoli. Sul lato nord dell'area in fregio a Via Belvedere corre la canaletta Belvedere prima che diventa seconda più a est e scarica anch'essa nel canale Quarantoli. Si tratta di canali ad uso irriguo.

La rete delle Acque Basse (824 km di canali principali), che assicura lo scolo delle acque superficiali anche di terreni con giacitura inferiore rispetto al livello in cui si trovano i fiumi riceventi, usufruisce dello scolo meccanico.

Il condotto principale è il Canale Collettore di Burana in cui si immettono: il Canale di Fossalta che inizia nel comprensorio del Consorzio di Bonifica di Revere, il Canale Quarantoli la Fossa Reggiana, il Dogaro Uguzzone, il Cavo Cavalletta e il Cavo Bagnoli. Il Canale Collettore di Burana sottopassa la Botte Napoleonica diventando Canale Emissario e quindi Po di Volano.

Con riferimento al territorio comunale, nel "Programma di previsione e prevenzione di protezione civile della provincia di Modena: "rischio idraulico" a cura della Regione Emilia Romagna e Provincia di Modena - Servizio pianificazione ambientale - u.o. protezione civile e difesa del suolo (dicembre 2006), nella zona di studio non sono stati rilevati tratti critici del sistema idraulico.

1.3.2 Descrizione degli acquiferi sotterranei presenti nell'area di interesse

Per quanto riguarda la geologia del sottosuolo la pianura modenese si sviluppa ai piedi della catena appenninica ove affiorano le formazioni argillose del ciclo plio-pleistocenico, che rappresentano la base delle alluvioni pleistoceniche superiori ed oloceniche costituenti la pianura. Il passaggio tra la sedimentazione marina e quella continentale affiora al margine appenninico ed è contraddistinta da depositi di transizione quali sabbie e ghiaie, talora cementate, di ambiente litorale e peliti sabbiose e ghiaie di delta. Poiché il ritiro delle acque dall'antico golfo padano è avvenuto con movimenti alterni a causa sia delle glaciazioni, che si sono succedute nel Quaternario, sia di movimenti tettonici, determinanti sollevamenti della catena e subsidenza nella pianura, questi ultimi (facies continentali) consistono prevalentemente in conoidi pedemontane formate dall'accumulo dei materiali alluvionali depositi dai corsi d'acqua al loro sfociare in pianura. Tali conoidi risultano incastrate le une alle altre di cui le più antiche sono spesso ridotte a lembi erosi e tettonizzati, mentre le più recenti conservano la loro originaria morfologia. Nel sottosuolo della pianura e sul Margine Appenninico Padano sono stati riconosciuti tre Gruppi Acquiferi separati da barriere di permeabilità di estensione regionale, informalmente denominati Gruppo Acquifero A, B e C a partire dal piano campagna. Il Gruppo Acquifero A è attualmente sfruttato in modo intensivo, il Gruppo Acquifero B è sfruttato solo localmente, il Gruppo Acquifero C, isolato rispetto alla superficie per gran parte della sua estensione, è raramente sfruttato. Di seguito si effettua una caratterizzazione sintetica delle tre Unità Idrogeologiche A, B e C sovrapposte. La prima, stratigraficamente superiore, è costituita da ghiaie e conglomerati, sabbie e peliti di terrazzo e conoide alluvionale organizzati in strati lenticolari di spessore estremamente variabile, da alcune decine di centimetri a svariati metri, in genere costituiti da un letto di conglomerati eterometrici ed eterogenei, con matrice sabbiosa, talora disorganizzati, talora embriciati, generalmente poco cementati, e da un tetto sabbioso-limoso. La base degli strati è fortemente erosiva. Sono presenti paleosuoli. La potenza dell'unità in affioramento è variabile da qualche metro fino ad alcune decine di metri. Il contatto con le unità idrogeologiche sottostanti B

e C e le unità affioranti lungo il Margine Appenninico Padano è frequentemente discordante. L'età di questo Gruppo Acquifero A è Pleistocene medio-Olocene. La seconda, Unità Idrogeologica B, è costituita da prevalenti argille limose di pianura alluvionale con talora intercalati livelli discontinui di ghiaie e conglomerati eterometrici ed eterogenei e sabbie; sono anche presenti alcuni paleosuoli. La potenza dell'unità in affioramento è variabile da qualche metro fino ad alcune decine di metri. Il contatto sulle unità affioranti lungo il Margine Appenninico Padano è frequentemente discordante. I depositi appartenenti a questa unità risalgono al Pleistocene medio. L'ultima, l'Unità Idrogeologica C, è formata da depositi di delta-conoide e marino-marginali costituiti da prevalenti sabbie e areniti, generalmente poco cementate o con cementazione disomogenea, ben selezionate con granulometria media e fine, talora grossolana, in genere ben stratificate e con evidente laminazione incrociata. Spesso sono massive e ricche in bioclasti, con frequenti intercalazioni, da sottili a molto spesse, di conglomerati eterogenei ed eterometrici e di peliti. La potenza dell'unità in affioramento raramente è maggiore di cento metri. Il contatto, sulle unità affioranti lungo il Margine Appenninico Padano è generalmente netto, di tipo erosivo ed in discordanza angolare. I depositi appartenenti a questa unità risalgono al Pliocene inferiore – Pleistocene medio.

A fare da Aquitardo Basale alle sovrastanti unità idrogeologiche c'è un insieme di Unità complessivamente impermeabili che, estendendosi nel sottosuolo della pianura ed affiorando sul Margine Appenninico Padano, costituiscono il limite della circolazione idrica sotterranea qui presente.

In generale il Coefficiente di Immagazzinamento Specifico (S_{sm}) assume valori con variabilità sempre più ridotta passando dal Gruppo Acquifero A al Gruppo Acquifero C in cui tende a stabilizzarsi intorno al valore di 10-6 m⁻¹; questo trend è in accordo con l'entità della compattazione che cresce dal Gruppo Acquifero A al Gruppo Acquifero C.

Per quanto riguarda il Coefficiente di Conducibilità Idraulica si evidenziano alti valori, che si spingono sino a 10-3 m/s per i Conoidi Alluvionali e i Riempimenti di Canali del paleoPo dei Gruppi Acquiferi A e B. I valori della Porosità risultano particolarmente alti nei corpi sabbiosi dei paleodelta del Fiume Po che, in tutti e tre i Gruppi Acquiferi, esprimono valori compresi fra 32 e 46%.

Non meno importanti sono le aree di ricarica diretta dei serbatoi acquiferi; i suoli esplicano questa funzione di ricarica, e sono anche le zone più esposte e vulnerabili in agli inquinamenti. Oltre alla permeabilità, che è dipendente dalla porosità, altri fattori concorrono a regolare una maggiore o minore facilità d'infiltrazione nei suoli: il clima, la vegetazione, l'inclinazione del pendio e le pratiche colturali eseguite.

Ciascun gruppo acquifero a sua volta viene suddiviso in diversi complessi acquiferi e acquitardi, secondo un modello di suddivisione gerarchico per ranghi via via più piccoli sulla base della dimensione e dell'estensione areale dei corpi idrogeologici che li compongono.

Sulla base di alcune loro caratteristiche geometriche, gli acquiferi nel sottosuolo si distinguono in:

- acquifero monostrato: si sviluppa nella zona a ridosso dell'Appennino dove troviamo un unico acquifero costituito da ghiaie che dalla superficie continuano nel sottosuolo per decine e decine di metri senza soluzione di continuità; tale zona corrisponde anche alla zona di ricarica degli acquiferi;
- acquifero multistrato: si sviluppa più a nord del precedente dove i corpi di ghiaie e sabbie si separano gli uni dagli altri per la presenza di intercalazioni di terreni più fini (limi e argille) e costituiscono quindi diversi acquiferi verticalmente sovrapposti (è il caso dell'area di interesse).

Dove l'acquifero è monostrato, esso è un acquifero freatico (o libero), cioè la falda può oscillare liberamente all'interno del deposito permeabile in cui è contenuta e la porzione più alta di questo deposito è insatura (asciutta). Diversamente i singoli acquiferi che costituiscono l'acquifero multistrato, come presso le aree in esame, sono acquiferi in pressione (o confinati), in questo caso l'acqua, all'interno dei depositi permeabili, è confinata superiormente dalla presenza di depositi impermeabili o poco permeabili (gli acquitardi); l'acquifero è sempre completamente riempito d'acqua sotto pressione e, se perforato, all'interno del foro l'acqua salirà ad una quota più alta del limite superiore dei depositi che la contengono.

Più in dettaglio l'area in esame ricade a nord della fascia dei bacini idrici sotterranei compresi all'interno delle conoidi alluvionali che si dividono in:

- Conoide del fiume Secchia;
- Conoide del fiume Panaro;
- Conoidi di fiumi minori.

L'acquifero principale, in termini di qualità e quantità di risorsa idrica fruibile, è costituito dalle acque contenute nei livelli ghiaiosi dei corpi alluvionali (conoidi dei Fiumi Secchia e Panaro); di minore importanza sono gli acquiferi costituiti dalle acque presenti nei livelli sabbiosi delle conoidi dei fiumi minori e della piana alluvionale della medio-bassa pianura modenese (dove si trova il sito di interesse).

Nelle zone apicali delle conoidi alluvionali a ridosso del margine appenninico, l'acquifero cosiddetto "principale" presenta falde di tipo freatico monostrato. Queste divengono poi di tipo confinato o artesiani man mano che si procede verso nord: nella fascia della media pianura modenese e ancora di più in quella della bassa pianura modenese, in corrispondenza della zona di interesse, le falde sono molto profonde e sempre in pressione, con valori di soggiacenza prossimi al piano di campagna; in superficie è frequente riscontrare livelli acquiferi sospesi, di natura freatica, completamente separati dall'acquifero principale e dotati di acque scadenti.

Nella Bassa Pianura Modenese quindi, in generale si ha una serie di falde sovrapposte, tutte e quasi ovunque in pressione, la cui alimentazione è peraltro complessa.

L'elemento caratterizzante dell'idrogeologia del settore è rappresentato dalla "Dorsale Ferrarese" che è, come noto, una struttura anticlinale del substrato marino sottostante la copertura alluvionale Olocenica, che in certi punti si innalza a meno di 80 mt. dalla superficie topografica. Essa è intersecata da un complesso reticolato di faglie che hanno interessato, probabilmente, anche la coltre alluvionale, condizionando indubbiamente la struttura degli acquiferi e, in certe zone, il chimismo stesso delle acque (Gasperi e Pellegrini, 1969).

A Sud della "Dorsale Ferrarese" si riscontrano i depositi alluvionali dei fiumi appenninici, prevalentemente a granulometria medio fine e quindi sede di profondi acquiferi, sempre in pressione, con valori di soggiacenza prossimi al piano campagna; in superficie (entro i primi 10 metri) è frequente riscontrare livelli acquiferi sospesi, di tipo freatico, a volte separati dall'acquifero principale e dotati di acque scadenti.

Nel settore Nord dove si trova l'area di interesse, si rinvenivano le alluvioni sabbiose grossolane del F. Po connesse con il suo progressivo spostamento verso il percorso attuale: sono in genere banchi allungati in direzione Est - Ovest, ed il deflusso generale delle acque sotterranee segue all'incirca questa direttrice. Queste bancate sono in genere ricoperte da alluvioni limo-argillose dello spessore variabile.

Nelle zone del Comprensorio, ove si riscontrano le culminazioni della Dorsale Ferrarese, si vengono a creare interferenze tra le acque dolci e quelle salate ad alto contenuto alogenico di facies marina; queste ultime, attraverso orizzonti più permeabili o le fratture stesse della dorsale, risalgono permeando anche gli acquiferi più superficiali. Si sono osservate miscele di queste acque di fondo con quelle della falda superficiale anche durante prolungati emungimenti dai pozzi.

I meccanismi di ricarica dei principali acquiferi del territorio della pianura modenese sono di seguito indicati:

- 1) Infiltrazione di acque meteoriche nelle zone collinari e pedecollinari in corrispondenza degli affioramenti impermeabili;
- 2) Infiltrazioni di acque dai corsi superficiali e dai subalvei;
- 3) Interscambi tra differenti livelli di acquiferi tra loro separati da strati semi-impermeabili (fenomeni di drenanza).

L'apporto alle falde idriche sotterranee da parte delle acque meteoriche va considerato in termini di piogge efficaci; queste corrispondono alla quantità di pioggia realmente in grado di infiltrarsi nel sottosuolo e di raggiungere le falde. Alla quantità totale di pioggia devono essere dunque sottratte sia l'aliquota dell'evapotraspirazione reale sia l'aliquota di quella di ruscellamento, ovvero dell'acqua che scorre in superficie alimentando la rete idrografica superficiale. Ne consegue che, a parità di precipitazioni e di condizioni di esposizione solare, le piogge efficaci risultano minori in corrispondenza di suoli impermeabili a litologia argillosa oppure nelle aree intensamente urbanizzate piuttosto che in aree con litologia superficiale ghiaioso-sabbiosa.

In particolare, per gli acquiferi di interesse gli apporti sono in gran parte dovuti al Fiume Po, con il quale sono in diretta comunicazione; trascurabili sono le infiltrazioni superficiali, che raggiungono un'efficacia del 25% solamente in corrispondenza dei "dossi sabbiosi" (Pellegrini e Zavatti, 1980).

1.3.3 Caratteristiche idrogeologiche locali

Nel sito in oggetto le prime sabbie, sedi dell'acquifero utile locale si riscontrano alla profondità media di 11.60m dal piano campagna, al tetto delle quali, si estendono terreni argillosi e limosi. Negli anni sono state eseguite delle indagini sito specifiche che hanno evidenziato il primo acquifero alla profondità di – 11.60 m dal p.c. Lo strato di sabbie a granulometria media si trovano continue da –11.60 m fino a – 32.00 m di quota.

Questo è il primo acquifero utile per lo sfruttamento da cui attingono la maggior parte dei pozzi presenti nella zona.

Lo strato argillo-limoso sovrastante confina la falda contenuta nelle sottostanti sabbie e ne impedisce la risalita mantenendola in pressione.

Per dare uno sguardo all'assetto piezometrico di area vasta, siamo in una zona con superficie piezometrica assai livellata con quote tra 15 (zona Concordia) e 10 m s.l.m. (zona Mirandola) che si estende verso Finale Emilia con i medesimi livelli e direzione preferenziale di flusso verso est-nord-est con gradienti molto bassi tipici di pianura.

La frangia freatica superficiale si differenzia nettamente dall'acquifero di sfruttamento in quanto trattasi di un livello idrico sospeso con circolazione molto limitata a causa della bassa permeabilità dei depositi argillosi e limosi dove si muove.

L'alimentazione del freatico è legata prevalentemente alle infiltrazioni meteoriche dalla superficie, queste, risultano massime nelle zone agricole e minime nelle aree urbanizzate dove sono presenti coperture impermeabili.

Nella zona di interesse, come in buona parte del territorio comunale dove vi sono campi coltivati, la frangia freatica superficiale è alimentata, durante il periodo irriguo, dall'acqua che scorre nei canali che risulta essere pensile sulla pianura circostante e quindi genera un carico idraulico nel sottosuolo, mentre quando i canali irrigui non svolgono tale funzione il freatico viene drenato dai canali stessi.

In sintesi, le Unità Idrogeologiche dell'area di studio, dedotte dalle indagini geognostiche eseguite in sito si possono quindi sintetizzare in:

- copertura litologica: strato dello spessore medio di 0.50 m costituito da terreno vegetale,
- livello impermeabile: strato argilloso-limoso fino alla profondità media di -11.60 metri,
- acquifero confinato al tetto con abbondante acqua di circolazione: in sabbie a granulometria media, addensate continuo ed omogeneo dalla quota di -11.60 metri fino alla profondità indagata di -32.00 m.

1.3.4 Vulnerabilità degli acquiferi

La vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento viene definita (da Civita 1987) come la suscettività specifica dei sistemi acquiferi, nelle loro diverse parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche e idrodinamiche a ricevere e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido o idroveicolato tale da produrre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea nello spazio e nel tempo.

Gli studi condotti sulle acque sotterranee dalla Provincia di Modena, hanno fornito una buona conoscenza dei tipi di sostanze inquinanti che possono prevalentemente ritrovarsi negli acquiferi modenesi.

La conoscenza del grado di vulnerabilità del territorio fornisce utili indicazioni per la comprensione degli episodi di inquinamento e consente di elaborare strategie di uso dei suoli, nonché di programmazione delle attività antropiche, tese ad eliminare il rischio di inquinamento degli acquiferi.

La vulnerabilità intrinseca di un corpo idrico sotterraneo è funzione di diversi parametri, tra i quali prevalgono la litologia superficiale, la struttura del sistema idrogeologico, la natura del suolo e la geometria della copertura, il processo di ricarica e di deflusso del corpo idrico sotterraneo.

La carta di vulnerabilità dell'acquifero principale, redatta dalla Provincia di Modena nell'ambito del vigente PTCP (marzo 2009), consente di indirizzare e modificare le scelte da affrontare per "la gestione" del territorio, utile soprattutto in ambito urbano dove sono possibili interventi edilizi che interessano il sottosuolo.

Le informazioni riportate sulla carta di cui si allega uno stralcio che interessa l'area in oggetto, sono state ottenute mediante l'incrocio di quattro fattori:

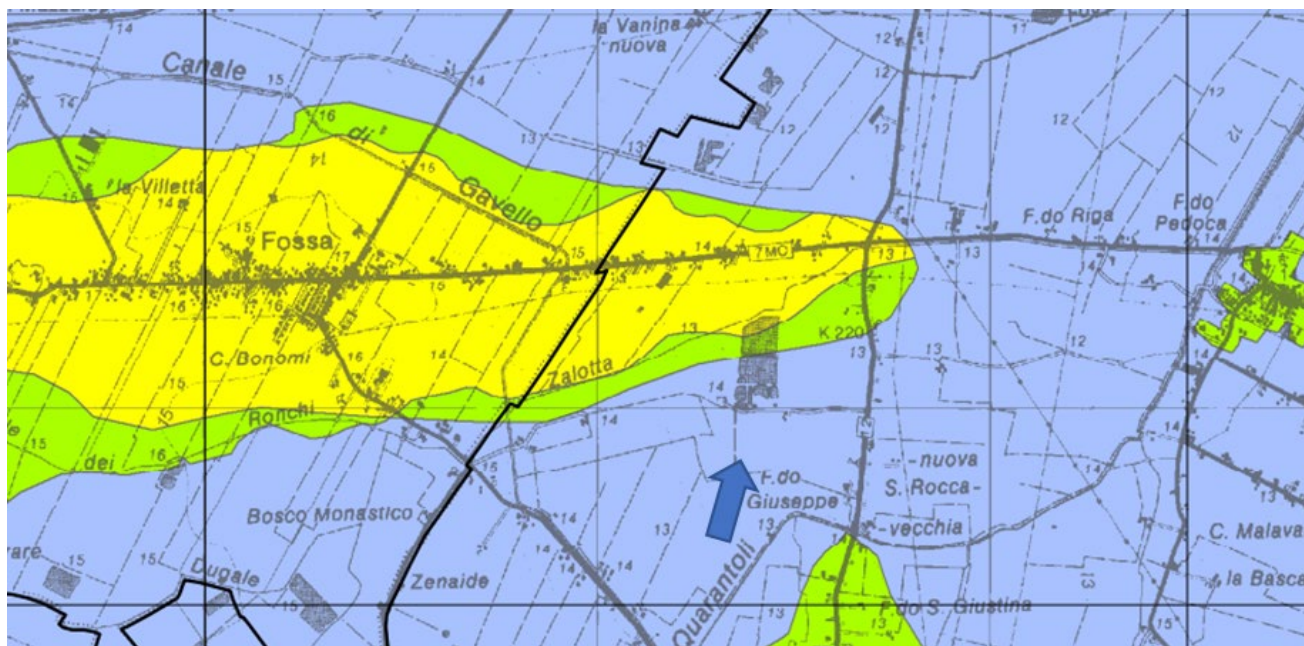
- litologia del terreno e di conseguenza permeabilità del substrato;
- profondità del tetto delle ghiaie;
- tipo di acquifero (libero o confinato);
- capacità di attenuazione del suolo.

L'ultimo parametro è di nuova introduzione e consente, pur non apportando sconvolgimenti rilevanti rispetto alle più vecchie carte elaborate, di meglio dettagliare le diverse situazioni, in particolare quelle delle classi estreme (basso ed elevato) operando con maggiori garanzie l'attribuzione delle classi di vulnerabilità.

In generale il Comune di Mirandola, facendo parte della piana alluvionale non rientra nelle zone soggette a tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei definite nel PTCP, zone A e B che si identificano nella fascia di territorio che si estende lungo il margine pedecollinare e ricomprende parte dell'alta pianura. Zona di ricarica e alimentazione dei corpi acquiferi caratterizzate da elevata permeabilità dei terreni.

L'area oggetto di studio viene classificata, come area a vulnerabilità bassa.

Di seguito si riporta uno stralcio della Carta "Rischio inquinamento acque: vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero principale" redatta per il Nuovo PTCP con indicata la zona di studio.



VOCI DI LEGENDA

* GRADO DI VULNERABILITA'						LITOLOGIA SUPERFICIE	PROFONDITA' TETTO GHIAIE E SABBIE	CARATTERISTICHE ACQUIFERO	CAPACITA' ATTENUAZIONE SUOLO
EE	E	A	M	B	BB				
						- Zona di MEDIA PIANURA: Area caratterizzata da assenza di acquiferi significativi, nella quale sono presenti livelli di ghiaia solamente al di sotto dei 100 m di profondita' e di sabbia al di sotto dei 25 m di profondita'			
						(**) Paleoalvei recenti e depositi di rotta, sede di acquiferi sospesi.			
						limo	> 100	libero	AM
						sabbia	> 100	libero	AM
						limo	> 100	libero	B
						sabbia	> 100	libero	B
						argilla	> 10	libero/confinato	AM
						limo	> 10	libero/confinato	A
						argilla e/o limo	< 10	confinato	A
						argilla	> 10	libero/confinato	B
						argilla e/o limo	< 10	libero	AM
						limo	> 10	libero/confinato	MB
						argilla e/o limo	< 10	confinato	MB
						sabbia e/o ghiaia	> 10	confinato	A
						argilla e/o limo	< 10	libero	B
						sabbia e/o ghiaia	> 10	libero	AM
						sabbia e/o ghiaia	> 10	confinato	MB
						sabbia e/o ghiaia	< 10	confinato	AM
						sabbia e/o ghiaia	< 10	libero	AM
						sabbia e/o ghiaia	< 10	libero	B
						sabbia e/o ghiaia	< 10	libero	B
						sabbia e/o ghiaia	> 10	libero	B
						sabbia e/o ghiaia	< 10	libero	B
						Alvei fluviali disperdenti			

* EE = Estremamente Elavato E = Elevato A = Alto M = Medio B = Basso BB = Molto Basso

Per le zone di 'MEDIA-ALTA PIANURA' si prende in considerazione il tetto delle ghiaie.
Per la zona di 'BASSA PIANURA' si prende in considerazione il tetto delle sabbie.

Figura 12 - Stralcio della Tav 3.1.1 Nuovo PTCP "Carta Rischio inquinamento acque: vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero principale"

1.3.5 Qualità delle acque sotterranee

Gli acquiferi della bassa pianura modenese sono costituiti da falde in depositi sabbiosi e ghiaiosi del fiume Po. In questo areale per la presenza della struttura sinclinale sepolta della "Dorsale Ferrarese", il substrato marino pre-pleistocenico è a soli 80 m dal piano campagna e fortemente condizionate le facies delle acque sotterranee per la risalita delle acque salate marine. Si riscontrano pertanto acque salate del fondo accanto a acque dolci di alimentazione dal fiume Po, tali da rendere quanto mai problematica la ricerca e lo sfruttamento della risorsa idrica.

I dati ottenuti da campagne di rilevazione analitiche della Regione Emilia-Romagna integrate a livello provinciale dall'arpa sez. Prov.le di Modena hanno permesso di fare delle considerazioni idrochimiche e piezometriche degli acquiferi della bassa pianura modenese.

I valori di pH sono generalmente superiori a 8 sia per il bacino Secchia che per quello del Panaro.

Le aree influenzate dal fiume Panaro, come la zona di studio, presentano un valore della conducibilità elettrica indice del contenuto salino generalmente superiore a 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, gli alti valori della bassa pianura sono riconducibili ad una diffusione delle salamoie di fondo sino alla superficie.

Nella conoide del fiume Secchia i valori di durezza sono mediamente elevati (40-50°F) attribuibili al contributo di origine naturale da parte delle acque salso-solfate di Poiano.

Per quanto attiene alla conoide del fiume Panaro, si evidenziamo valori più contenuti di durezza (30-40°F), coerenti ai livelli del fiume (15°F).

I solfati e i cloruri presentano un andamento analogo, direttamente correlabile all'idrochimica del corpo fluviale principale.

Nella bassa pianura si rileva la presenza di azoto ammoniacale che assume concentrazioni significative nell'area più a nord, derivato dalle trasformazioni biochimiche delle sostanze organiche diffuse o concentrate sotto forma di torba nel sedimento argilloso.

Ferro e Manganese sono presenti in concentrazioni abbondanti nella bassa pianura in quanto si sviluppano in condizioni di basso potenziale redox e quindi in acquiferi a bassa permeabilità.

La ricerca di Cadmio, Cromo, Cobalto, Nichel Mercurio e Selenio non ne ha evidenziato la presenza a livelli superiori ai limiti di determinazione analitica.

L'individuazione di Arsenico nell'area di bassa pianura è riconducibile ad una origine "primaria-profonda", legata ai depositi ad elevato contenuto argilloso o di concentrazione biologica primaria; è comunque da escludersi la possibilità di avvenuta contaminazione antropica.

La ricerca di circa quaranta principi attivi di pesticidi nelle acque sotterranee non ha mai evidenziato la presenza di fitofarmaci.

Diverse sono le sostanze indesiderate o inquinanti presenti nelle acque sotterranee che possono compromettere gli usi pregiati della risorsa idrica, come ad esempio quello potabile, ma non per questo tutte le sostanze indesiderate sono sempre di origine antropica.

Esistono, infatti, molte sostanze ed elementi chimici che si trovano naturalmente negli acquiferi, la cui origine geologica non può essere considerata causa di impatti antropici sulla risorsa idrica sotterranea. Ad esempio, in acquiferi profondi e confinati di pianura si possono naturalmente riscontrare metalli come ferro, manganese, arsenico, oppure altre sostanze, tra le quali lo ione ammonio, anche in concentrazioni molto elevate, per effetto della degradazione anaerobica della sostanza organica sepolta (torbe). In questi contesti, anche la presenza di cloruri (salinizzazione delle acque) può essere riconducibile alla presenza di acque "fossili" di origine marina. Anche i metalli come il cromo esavalente possono essere di origine naturale in contesti geologici di metamorfismo sia nella zona alpina che appenninica, oppure nelle zone dove sono presenti le ofioliti (pietre verdi).

Pertanto, una corretta definizione dei valori di fondo naturale di queste sostanze è stata fondamentale per una corretta individuazione degli impatti antropici e delle corrette azioni da intraprendere per ripristinare la qualità delle acque sotterranee fino alle situazioni naturalmente presenti negli acquiferi. Al contrario, è indicativa di impatto antropico di tipo chimico sui corpi idrici sotterranei, quindi non riconducibile a contributi di origine naturale, la presenza di fitofarmaci usati in agricoltura, microinquinanti organici e sostanze clorurate utilizzate prevalentemente in attività industriali, nitrati con concentrazioni medio-alte, derivanti dall'uso di fertilizzanti chimici in agricoltura, dall'utilizzo di reflui zootecnici, e apporti civili, mentre i cloruri derivanti in genere da intrusione salina. Il DM 6 luglio 2016 che recepisce in Italia la Direttiva 2014/80/UE della Commissione del 20

giugno 2014 che modifica l'allegato II della direttiva 2006/118/CE del Parlamento europeo e del Consiglio sulla protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento e dal deterioramento" aggiunge ulteriori sostanze nel monitoraggio delle acque sotterranee finalizzate alla definizione dello stato chimico, modifica i valori soglia di alcune sostanze clorurate e loro sommatorie (tricloroetilene e tetracloroetilene), ma in particolare sollecita la definizione dei valori di fondo naturale dei corpi idrici sotterranei.

Nella Tabella 1 sono riportati i valori di fondo naturale definiti per diverse sostanze e per diversi corpi idrici sotterranei, sia quelli individuati attraverso le attività svolte nel 2011-2014 e deliberati dalla Regione Emilia-Romagna con DGR 1781/2015 (Regione Emilia-Romagna, 2015a), che quelli calcolati successivamente sulla base della metodologia a suo tempo individuata in Emilia-Romagna e a seguito dell'applicazione della Linea Guida per la definizione dei valori di fondo nelle acque sotterranee a seguito dell'emanazione del DM 6/7/2016 (SNPA 8/2018) che ha permesso di aggiornare i valori di fondo naturale per le sostanze non ancora indagate e per i corpi idrici che sono risultati caratterizzati da valori di fondo naturale maggiori dei relativi valori soglia. I valori soglia, fissati a livello nazionale su base ecotossicologica, possono essere rivisti a scala di corpo idrico quando il fondo naturale delle acque sotterranee assuma concentrazioni superiori ai valori soglia, tali per cui questi ultimi vengono innalzati pari ai valori di fondo naturale (D. Lgs. 30/09e DM 6/7/2016). La determinazione dei valori di fondo naturale per diverse sostanze assume pertanto grande importanza al fine di non classificare le acque di scarsa qualità per cause naturali come in cattivo stato, oppure di identificare improbabili punti di inversione dei trend con conseguente attivazione di misure di ripristino impossibili da realizzarsi nella pratica.

Tabella 1 - Valori di fondo naturale individuati per diverse sostanze e per diversi corpi idrici sotterranei – Valutazione dello stato delle acque sotterranee 2014-2019 ARPAE e Regione Emilia Romagna

Codice corpo idrico (PdG 2015)	Nome corpo idrico (PdG 2015)	Ione ammonio (µg/l)	As (µg/l)	B (µg/l)	Cloruri (mg/l)	Conducibilità elettrica (µS/cm)	Fluoruri (µg/l)	Solfati (mg/l)	Cr (VI) (µg/l)	Fe (µg/l)	Mn (µg/l)	Ni (µg/l)
0032ER-DQ1-CL	Conoide Trebbia-Luretta - libero								13			
0040ER-DQ1-CL	Conoide Nure - libero								7			
0110ER-DQ1-CL	Conoide Tresinaro - libero							1034				
0170ER-DQ1-CL	Conoide Savena - libero							1248				
0290ER-DQ1-CL	Conoide Conca - libero							424				
0380ER-DQ2-CCS	Conoide Crostolo-Tresinaro - confinato superiore	1480										
0410ER-DQ2-CCS	Conoide Panaro - confinato superiore	1870	139									
0420ER-DQ2-CCS	Conoide Samoggia - confinato superiore	3200										
0442ER-DQ2-CCS	Conoide Reno-Lavino - confinato superiore	1737	59									
0462ER-DQ2-CCS	Conoide Savena - confinato superiore	2554	34					273				
0470ER-DQ2-CCS	Conoide Zena-Idice - confinato superiore	2112										
0482ER-DQ2-CC	Conoide Quaderna - confinato	1028		1318				482				
0492ER-DQ2-CCS	Conoide Sillaro-Sellustra - confinato superiore	2290										
0522ER-DQ2-CC	Conoide Senio - confinato	3345										
0532ER-DQ2-CC	Conoide Lamone - confinato	2400										
0540ER-DQ2-CCS	Conoide Ronco-Montone - confinato superiore	2200										
0550ER-DQ2-CCS	Conoide Savio - confinato superiore	2200	23		545	3706						
0565ER-DQ2-CCS	Conoide Pisciatello-Rubicone-Usò - confinato superiore	1600										
0590ER-DQ2-CCS	Conoide Marecchia - confinato superiore	1100										
0610ER-DQ2-PACS	Pianura Alluvionale Appenninica - confinato superiore	20800	120	1948	709	2619				41800	650	
0620ER-DQ2-TPACS	Transizione Pianura Appenninica-Padana - confinato superiore	22400	65	1700	355					12830	453	
0630ER-DQ2-PPCS	Pianura Alluvionale Padana - confinato superiore	14400	24	1344	2520	7160				27000	1830	26
0640ER-DQ2-PCC	Pianura Alluvionale Costiera - confinato	97900	324	5403	8608	20300	2480					77
2301ER-DQ2-CCI	Conoide Trebbia - confinato inferiore								9			
2370ER-DQ2-CCI	Conoide Enza - confinato inferiore	2400										
2410ER-DQ2-CCI	Conoide Panaro - confinato inferiore	4635										
2420ER-DQ2-CCI	Conoide Samoggia - confinato inferiore	2384	80	1011								
2442ER-DQ2-CCI	Conoide Reno-Lavino - confinato inferiore	2230						339				
2470ER-DQ2-CCI	Conoide Zena-Idice - confinato inferiore		73									
2590ER-DQ2-CCI	Conoide Marecchia - confinato inferiore	2210	49									
2700ER-DQ2-PACI	Pianura Alluvionale - confinato inferiore	30400	70	2170	1754	5220						
5070ER-AV2-VA	Depositi vallate App. Savena-Idice							339				
6020ER-LOC1-CIM	Castel del Rio - Castrocaro Terme - M Falterona - Mercato Saraceno											58
6040ER-LOC1-CIM	Marmoreto - Ligonchio				5024	14800		2260				
6050ER-LOC1-CIM	M Marmagna - M Cusna - M Cimone - Corno alle Scale - Castiglione dei Pepoli							621				
6260ER-LOC1-CIM	M Barigazzo								8			
6300ER-LOC1-CIM	M Orocco								10			
6320ER-LOC1-CIM	M Lama - M Menegosa								19			
6360ER-LOC3-CIM	Monte Penna - Monte Nero - Monte Ragola								12			
6370ER-LOC1-CIM	Ferriere - M Aserei								9			
6380ER-LOC3-CIM	M Armelio								14			
6430ER-LOC1-CIM	Ottone - M delle Tane								13			
9015ER-DQ1-FPF	Freatico di pianura fluviale								8			

In particolare, nel report sulla Qualità delle Acque Sotterranee della Provincia di Modena del 2016 viene riportato che la presenza degli elementi Ferro e Manganese è correlata alle condizioni di basso potenziale redox e quindi acquiferi a bassa permeabilità o alimentati prevalentemente dalla superficie topografica. Conseguentemente si riscontrano livelli significativi nella media e bassa pianura e nell'area delle conoidi dei torrenti minori, spesso associati a presenza di Ammoniaca. Il Ferro viene solubilizzato per alterazione dei minerali ferro-magnesi e ferriferi ad opera di organismi riducenti sul terreno agrario. È la sua forma ridotta (Fe++) ad essere solubile, mentre allo stato ossidato (Fe+++) precipita conferendo alle acque la caratteristica colorazione giallo-rossastra. Da un punto di vista organolettico, il Ferro conferisce un sapore metallico

astrigente. La valutazione congiunta della distribuzione spaziale dei due parametri indica una loro non correlazione, sebbene entrambi si mobilitino in ambienti riducenti (il Manganese sembra più caratteristico delle acque di recente infiltrazione che non di quelle più antiche). A conferma si segnala, nell'area delle conoidi dei torrenti minori, una evidente prevalenza dell'area di influenza del Manganese rispetto ad una pari presenza di Ferro che viceversa costituisce l'elemento maggiormente caratterizzante la piana alluvionale appenninica e deltizia.

Di seguito vengono riportate le elaborazioni cartografiche dei dati effettuate da Arpae in provincia di Modena nel 2016.

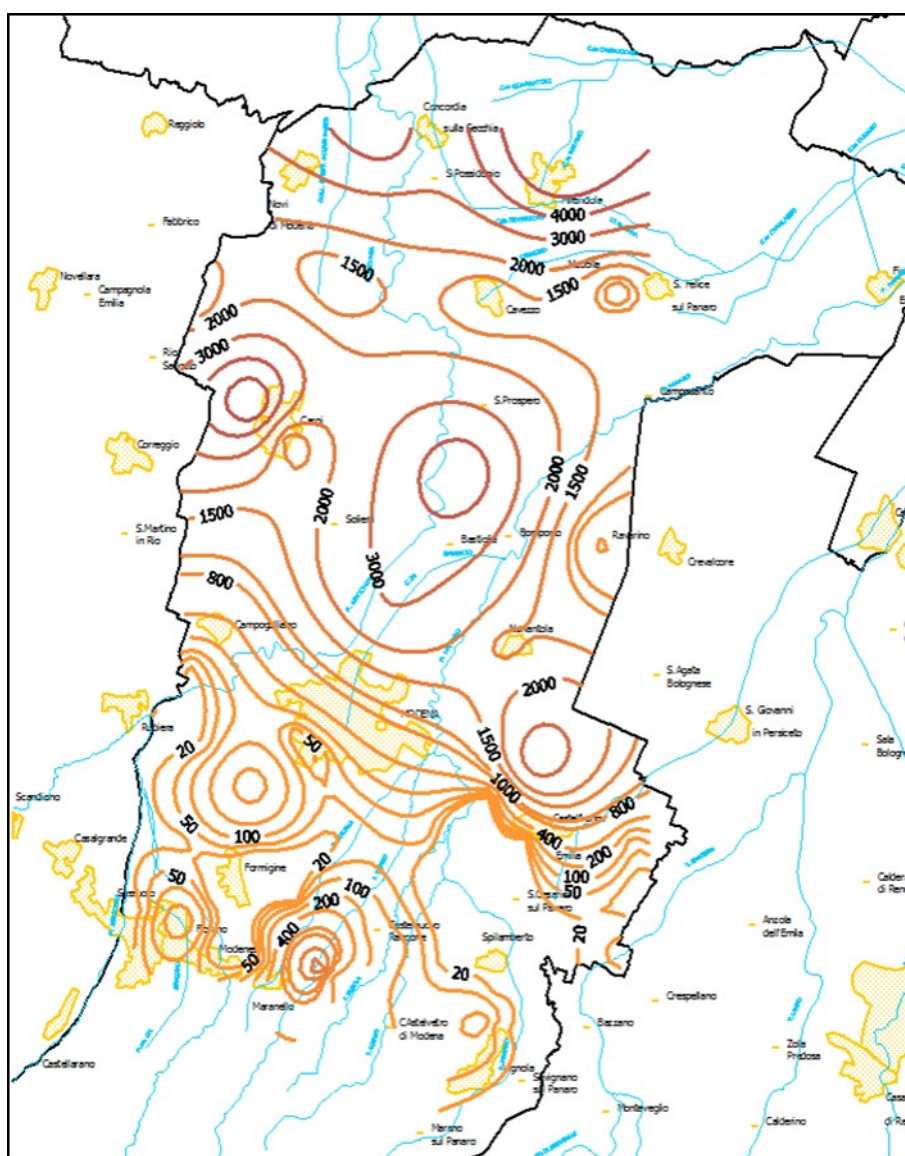


Figura 13 - Ferro (µg/l) - media anno 2016 - Provincia di Modena

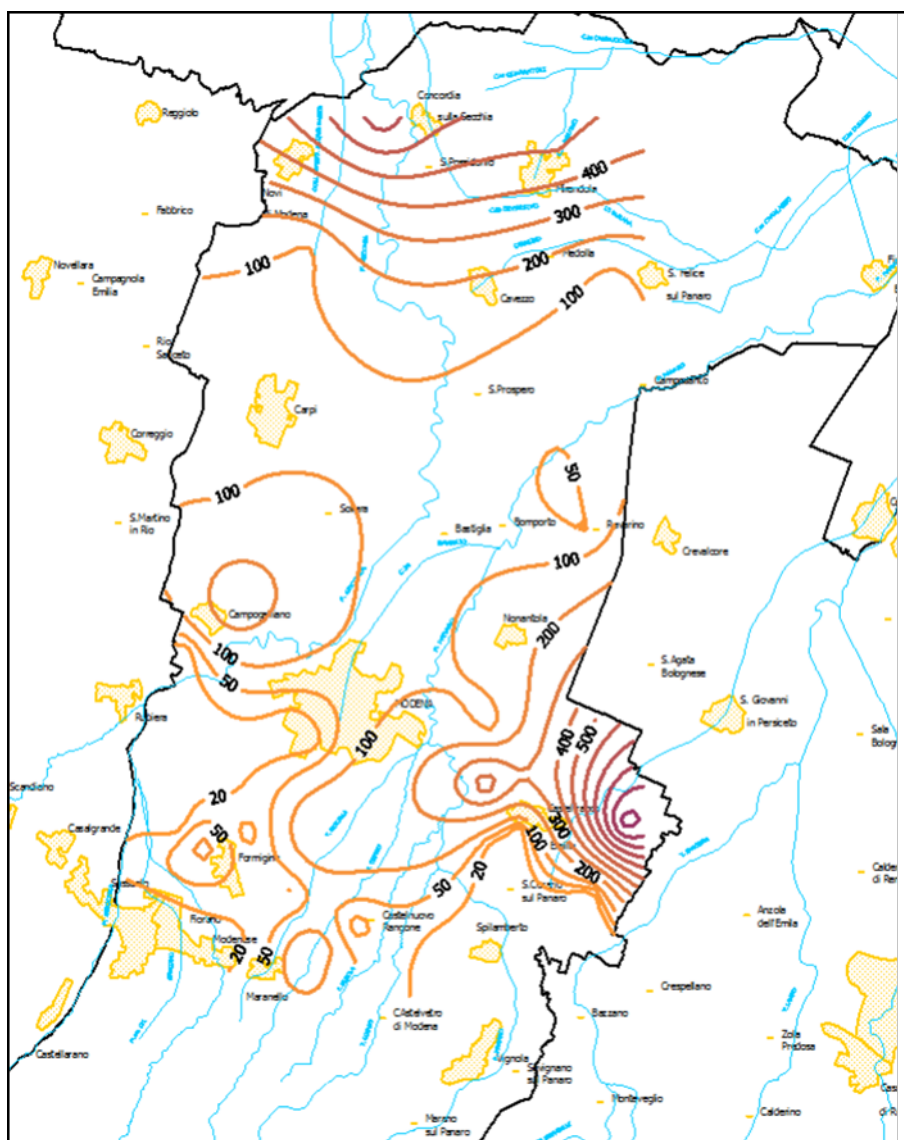


Figura 14 - Manganese ($\mu\text{g/l}$) - media anno 2016 - Provincia di Modena

1.3.6 Precipitazioni annue

Vengono rappresentate di seguito le precipitazioni cumulate annue per il periodo 2012-2020 a partire dai dati registrati dalla centralina ACR posta presso l'impianto. I parametri meteorologici registrati dalla centralina (temperatura, direzione e velocità del vento, precipitazioni, umidità atmosferica ed evaporazione) sono raccolti ed archiviati in formato elettronico su base oraria.

Come si evince dal grafico sotto riportato nel periodo di riferimento le precipitazioni annue sono variate tra i 364,20 mm del 2013 (anno più secco) e i 977,66 mm del 2014 (anno più piovoso).

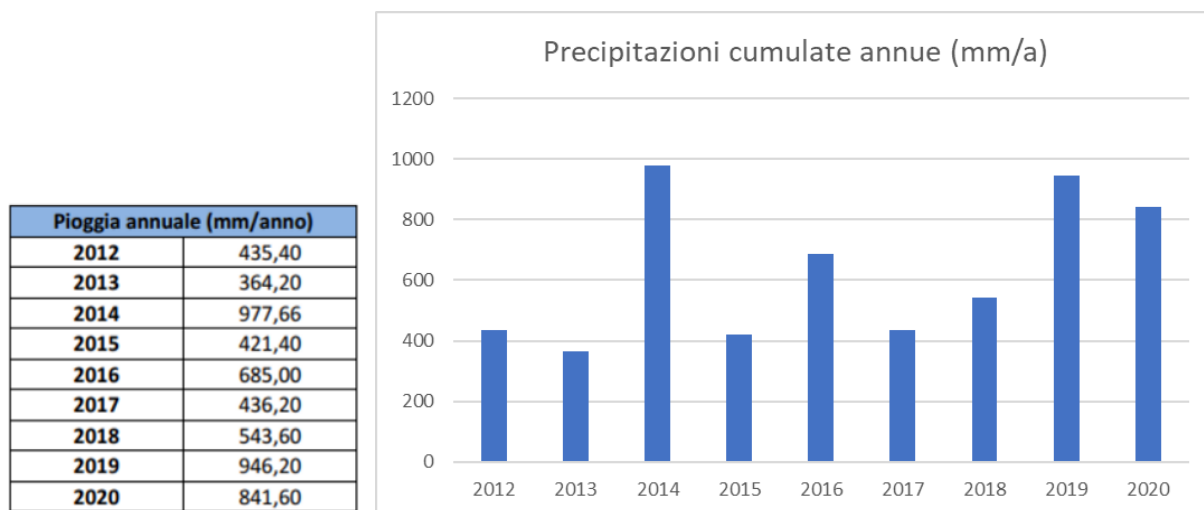


Figura 15 - Pioggia totale annua (2012-2020)

2 Sintesi delle attività produttive

L'area impiantistica di A.C.R. di Reggiani Albertino s.p.a. sita in Via Belvedere a Mirandola (MO) comprende:

- 1) Impianto di Discarica per rifiuti speciali non pericolosi;
- 2) Piattaforma di filtropressatura e inertizzazione;
- 3) Stoccaggio (R13) fanghi 010507.

Di seguito viene descritto il processo produttivo e l'attuale assetto impiantistico.

Impianto di Discarica

Le procedure di ammissione dei rifiuti in discarica e le modalità e i criteri di coltivazione sono predeterminate secondo le procedure e comportamenti standardizzate previste nel disciplinare di gestione. All'arrivo dei mezzi che conferiscono i rifiuti, il Responsabile dell'impianto oppure il tecnico verifica la disponibilità volumetrica all'interno della discarica ed organizza le zone di smaltimento in funzione delle capacità della discarica. Quando ogni singolo settore raggiunge la quota di progetto, il responsabile dispone in merito ai lavori di redistribuzione del capping definitivo. Il personale addetto provvede alla compattazione dei rifiuti mediante passaggi successivi ed utilizzando mezzi adeguati. Sostanzialmente trattasi di rifiuti costituiti da fanghi bentonitici con particolari caratteristiche di impermeabilizzazione, equiparabili agli inerti.

Piattaforma di Filtropressatura e inertizzazione

L'impianto effettua trattamento di rifiuti speciali pericolosi e rifiuti speciali non pericolosi attraverso la filtropressatura e/o inertizzazione dei fanghi, con processo integrato anche dal trattamento delle acque reflue industriali derivanti dalla filtropressatura-inertizzazione dei fanghi. I fanghi bentonitici vengono trattati tramite filtropressatura per poterli destinare al riutilizzo, riducendo così il quantitativo di rifiuto da inviare a smaltimento in discarica, mentre il processo di inertizzazione consente di ridurre il grado di pericolosità del rifiuto; solo la parte non recuperabile viene smaltita in apposita discarica.

L'impianto può essere suddiviso nei seguenti settori:

Settore I. Costituito essenzialmente da due vasche di cemento armato a perfetta tenuta in cui vengono stoccati i fanghi bentonitici a base oleosa in attesa di essere utilizzati nelle operazioni di perforazione. Tutto il settore è coperto da una struttura tubolare in acciaio con copertura in pannelli prefabbricati.

Settore II. In questa sezione sono presenti le vasche utilizzate per lo stoccaggio dei fanghi a base acqua ottenuti dal processo di disidratazione per filtropressatura, in attesa di certificazione analitica di conformità per il loro successivo riutilizzo.

Settore III. Rappresenta la sezione di ricezione dei rifiuti da trattare, riconducibili essenzialmente a fanghi a base acqua ed a base olio, stoccati in vasche in cemento armato prima del successivo trattamento. Le due vasche consentono lo stoccaggio separato di fanghi bentonitici a base acqua o a base oleosa, in modo da ottimizzare la fase di omogeneizzazione e di condizionamento con additivi.

Settore IV. È il settore destinato alle operazioni di filtropressatura e di inertizzazione del fango in ingresso al centro di trattamento. I fanghi sono prelevati dalle vasche con pompa prima di essere disidratati/e o

inertizzati. In particolare, sono presenti 3 filtropresse, destinate alla operazione di filtropressatura del fango; una è destinata alla filtropressatura del fango a base olio, mentre le altre due sono destinate alla filtropressatura di fango a base acqua. In questo settore è inoltre ubicato l'impianto di inertizzazione, essenzialmente costituito da una vasca di accumulo e da attrezzature idonee, compresi due silo di stoccaggio della calce e del cemento, materie prime utilizzate per la inertizzazione della fase solida.

Settore V. In questa sezione vengono stoccate e trattate le acque reflue provenienti dalla operazione di filtrazione (VB), con processo di depurazione basato su un processo di trattamento chimico fisico per osmosi inversa. Il trattamento chimico fisico è operato anche nei confronti delle acque intercettate dalla rete fognaria presente nel piazzale e nella viabilità interna, in quanto utilizzate quale alimentazione del processo di filtrodepurazione.

Stoccaggio – Messa in riserva R13

Le procedure di ammissione dei rifiuti e le modalità di conduzione delle operazioni di messa in riserva sono codificate da specifiche procedure.

È prevista l'operazione di messa in riserva R13 di fanghi di perforazione a base acquosa contenenti barite (CER 010507) presso la discarica limitatamente al lotto denominato 3A. Il lotto A della discarica è stato oggetto di riconversione ad attività di messa in riserva ed è suddiviso in due settori: lotto A1 e lotto A2.

2.1.1 Materie prime utilizzate

CONSUMO MATERIALI INERTIZZANTI

I materiali utilizzati per l'inertizzazione dei rifiuti sono i seguenti:

- Cemento: utilizzato sfuso in polvere permette al detrito palabile di diventare lavorabile e lo inertizza, riducendo la mobilità dei contaminanti;
- Midollo di cocco: utilizzato come addensante per alcune specifiche tipologie di rifiuto;
- Segatura: utilizzato come addensante per alcune specifiche tipologie di rifiuto.

Tabella 2 - Consumo prodotti per inertizzazione rifiuti (2012-2020)

INERTIZZANTI	CEMENTO	MIDOLLO DI COCCO	SEGATURA	CENERI LEGGERE o PESANTI	TOT
	Kg	Kg	Kg	Kg	t
2012	1.945.000	0	0	0	1.945,00
2013	2.908.000	0	0	0	2.908,00
2014	2.307.200	0	0	0	2.307,20
2015	1.609.200	0	0	0	1.609,20
2016	1.138.300	0	0	0	1.138,30
2017	1.760.340	7.500	4.980	0	1.772,82
2018	1.335.080	0	58.940	2.850	1.396,87
2019	2.775.650	0	5.470	178.795	2.959,92
2020	1.413.000	0	150.760	3.500	1.567,26

CONSUMO FLOCCULANTI PER CONDIZIONAMENTO FANGHI

A monte della filtropressa, una stazione di condizionamento prepara il fango da filtropressare in modo che venga adeguatamente condizionato con appositi reagenti chimici:

- Calce Idrata o Superidrata-Idrossido di Calcio (Ca(OH)_2): in dispersione acquosa al 40% ed in combinazione al cloruro ferrico alza il pH fino a 12 permettendo l'allargamento del fiocco ed il miglioramento del drenaggio dell'acqua in filtropressatura;
- Cloruro Ferrico al 40% (FeCl_3): è il flocculante utilizzato per la filtropressatura, crea il fiocco che permette al fango bentonitico di separarsi dall'acqua; nonostante si siano provate diverse soluzioni alternative (poli e altri flocculanti sintetici) il cloruro ferrico è sempre risultato il migliore come rapporto qualità/prezzo. Tra gli inconvenienti dell'utilizzo del cloruro ferrico c'è il grande apporto di cloruri nell'acqua di risulta inviata all'impianto di depurazione, circa lo 0,4% di cloruri per litro di fango trattato.

Il consumo di reagenti è riepilogato nella tabella di seguito.

Tabella 3 - Consumo prodotti per condizionamento fanghi (2012-2020)

FLOCCULANTI	CALCE	CLORURO FERRICO	TOT
	Kg	Kg	t
2012	336.210	545.960	882,17
2013	983.180	921.680	1.904,86
2014	279.280	290.290	569,57
2015	169.760	208.480	378,24
2016	300.940	407.200	708,14
2017	255.000	448.740	703,74
2018	801.220	593.280	1.394,50
2019	221.280	402.410	623,69
2020	129.980	198.925	328,91

MONITORAGGIO E CONTROLLO RISORSE IDRICHE

L'installazione è allacciata all'acquedotto. L'utilizzo dell'acqua dell'acquedotto è minima e limitata esclusivamente all'uso igienico-sanitario. L'approvvigionamento d'acqua è garantito altresì da un pozzo. L'acqua così emunta è ad uso "igienico ed assimilati (lavaggio strade e autolavaggio)", ovvero serve:

- nel processo di filtropressatura dei fanghi (questo processo può infatti richiedere la somministrazione di acqua alla soluzione di agenti chimici impiegata);
- per il lavaggio automezzi;
- per l'abbattimento polveri mediante acqua;
- per il lavaggio delle vasche e degli impianti;
- in maniera marginale per il processo di inertizzazione.

Tabella 4 - Risorse idriche (2012-2020)

RISORSE IDRICHE	Quantità di acqua prelevata da pozzo	Consumo di acqua pozzo per inertizzazione fanghi	Consumo di acqua pozzo per filtropressatura	Consumo acqua pozzo per uso industriale	Acque reflue industriali scaricate in acque superficiali	Prelievo di acqua da acquedotto per uso civile	Acque meteoriche riciclate internamente (calcolate)	Acque depurate riciclate internamente (filt.+lavag.)
	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
2012	1.988	0	603	1.988	1.000	nd	nd	nd
2013	1.892	0	1.051	1.892	1.500	nd	nd	nd
2014	1.955	0	1.500	1.955	5.500	49	nd	2.000
2015	1.094	0	1049	1.094	2.800	32	nd	2.178
2016	380	0	380	380	1.950	290	1.097	4.349
2017	559	0	559	559	4.040	348	700	7.035
2018	415	0	415	415	3.980	72	704	3.384
2019	1.073	0	1.073	1.073	6.850	49	1.701	5.587
2020	495	0	495	495	2.200	27	1.798	4.443

Osservando Tabella 4 notiamo che il prelievo da pozzo nel 2020 si è abbassato ai livelli del triennio 2016-2018, confermando il fatto che il pozzo è diventata una fonte di approvvigionamento marginale rispetto al riuso delle acque derivanti dalle operazioni di filtropressatura e depurate nell'impianto ad osmosi inversa. Sono diminuiti i metri cubi scaricati in acque superficiali, mentre rimane molto basso il consumo da acquedotto e si è abbassato anche il quantitativo di acque depurate riciclate internamente.

IMPIANTO AD OSMOSI INVERSA

Le acque reflue provenienti dall'operazione di filtropressatura vengono stoccate e trattate tramite un processo di depurazione basato su un trattamento di filtrazione su letti a materiale inerte ed attivo (carbone) e trattamento di finitura mediante osmosi. Il processo ad osmosi inversa di trattamento delle acque reflue industriali è completato da un sistema di tre evaporatori sottovuoto, che consentono di ridurre la quantità di concentrato da inviare a depurazione in impianto esterno, aumentando di conseguenza la quantità scaricata nel fosso poderale.

I reagenti chimici utilizzati nelle fasi di depurazione delle acque, nell'impianto ad osmosi inversa e nell'evaporatore sono:

- Acido Cloridrico 30-33 % (HCl): corregge il pH in ingresso all'impianto ad osmosi inversa fino a 5,5 per evitare flocculazioni sulle membrane e quindi intasamenti;
- Antischiuma: antischiuma non siliconico per l'impianto di evaporazione, evita il crearsi di bolle dovute alla presenza di tensioattivi nelle acque di scarto;
- Ipoclorito di Sodio (NaClO): usato in piccole dosi come correttore del pH e in quantità maggiori come disinfettante anti-alga in particolare, ma non solo, nell'acqua della torre di raffreddamento dell'evaporatore (essendo uno sporicida/funghicida/virucida), perché evita il formarsi di mucillagine che abbasserebbe lo scambio di calore e bloccherebbe le pompe;
- Acido Nitrico (HNO₃): utilizzato per la pulizia e l'igienizzazione dell'impianto;

- Acqua Ossigenata (H₂O₂): utilizzata per il trattamento delle acque, è nota per la sua elevata efficienza ossidativa e biocida;
- Cal-A3: è un prodotto disincrostante per lavare le membrane osmotiche intasate da incrostazioni di tipo inorganico;
- E.D.T.A. Sale Tetrasodico: utilizzato in combinazione con la soda caustica per i lavaggi chimici delle membrane, è particolarmente efficace a 40 °C;
- Soda Caustica-Ildrossido di Sodio (NaOH): utilizzata per il lavaggio chimico delle membrane, e nell'evaporatore per neutralizzare il pH acido del concentrato prodotto dall'osmosi ed evitare corrosioni sull'impianto;
- Acido Citrico (C₆H₈O₇): utilizzato come disincrostante nell'evaporatore.

Di seguito vengono riportati i consumi dei composti sopra menzionati.

Tabella 5 - Consumo reagenti per depurazione acque (2012-2020)

Reagenti	Acido Cloridrico 30-33%	Antischiuma	Ipoclorito di Sodio	Acido Nitrico	Acqua Ossigenata	CAL- A3	E.D.T.A. sale tetrasodico	Soda Caustica	Acido Citrico	Tot
	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	t
2012	84.060	2.130	1.500	0	120	500	400	5.740	0	94.45
2013	87.660	1.950	4.000	0	30	30	50	120	180	93.99
2014	67.565	1.220	2.600	0	285	285	50	180	0	71.90
2015	53.120	2.200	1.350	0	0	0	50	60	0	56.78
2016	61.360	1.100	2.730	510	0	0	0	0	0	65.70
2017	70.380	1.100	1.380	330	0	0	0	0	0	74.56
2018	38.550	0	9.190	120	0	0	0	0	0	50.46
2019	37.180	0	2.650	0	0	0	0	0	0	39.83
2020	29.970	0	1.300	0	0	0	25	90	0	31.39

2.1.2 Materiali prodotti e trattati

PRODUZIONE PERCOLATO

La discarica è dotata di idonea rete atta a convogliare il percolato nell'apposita vasca. In fase di realizzazione dello strato di fondo, è stato formato un drenaggio di raccolta del percolato secondo quanto previsto dal D. Lgs. 36/2003 procedendo all'impermeabilizzazione del fondo e delle pareti attraverso la stesura di teli in HDPE. I percolati che giungono sul fondo della discarica vengono trasferiti nella vasca di accumulo percolato tramite motopompe e da qui inviati a trattamento presso l'impianto di depurazione a servizio dell'adiacente impianto di filtropressatura.

Nel corso degli anni la produzione del percolato è progressivamente diminuita fino a raggiungere quantitativi esigui a conferma anche delle caratteristiche di elevata impermeabilità dei fanghi (rifiuti) che vi sono stati conferiti nel corso degli anni. Il trend ha subito un incremento nel 2019 e nel 2020 a causa della forte piovosità annua registrata.

Tabella 6 - Produzione annua di percolato (2012-2020)

Percolato prodotto (m3/anno)	
2012	117
2013	86
2014	/
2015	59
2016	80
2017	20
2018	12
2019	120
2020	125

Nel corso del 2020 l'intera quantità del percolato prodotto è stata trattata dalla piattaforma adiacente.

Le analisi del percolato non manifestano particolari criticità. Di seguito viene riportato il grafico relativo ai valori di Ferro e Manganese nel percolato negli anni dal 2014 al 2020. Nel 2020 si confermano i dati degli ultimi anni. I risultati sono sintomo della variabilità intrinseca del percolato: dovuta alle caratteristiche del rifiuto, alla quantità e tipologia delle piogge e degli eventi che le generano, al tempo di contatto acqua-rifiuti-aria, ecc

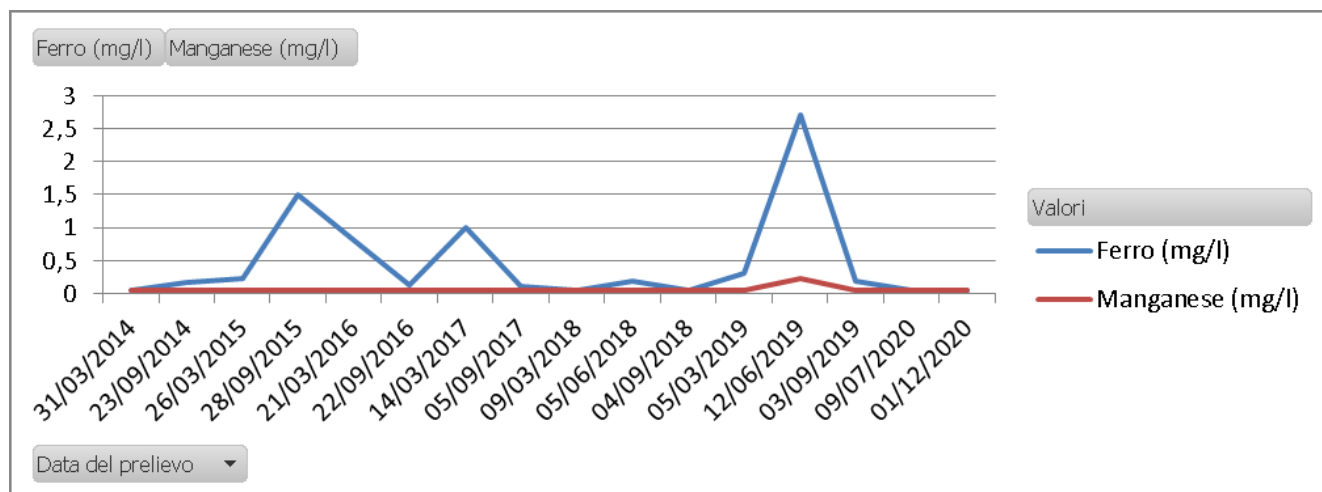


Figura 16 - Valori di Ferro e Manganese nel percolato per campionamento (2014-2020)

2.1.3 Rifiuti in ingresso e trattati

DISCARICA

Di seguito si riporta la tabella con i materiali conferiti in discarica in D01:

Tabella 7 - materiali conferiti in discarica

ANNO	TOTALE (t)
2012	0
2013	0
2014	0
2015	1.502,13
2016	3.228,96
2017	0
2018	0

ANNO	TOTALE (t)
2019	0
2020	0
2021	0

PIATTAFORMA – RIFIUTI IN INGRESSO

Si riportano di seguito le tabelle relative al totale dei rifiuti in ingresso nel periodo 2012-2020.

Tabella 8 - Rifiuti in ingresso (2012-2020)

ANNO	TOTALE (t)
2012	33.167,28
2013	42.622,91
2014	33.190,67
2015	26.507,58
2016	30.177,18
2017	45.106,33
2018	35.176,04
2019	51.536,51
2020	33.813,99

PIATTAFORMA – RIFIUTI TRATTATI

Si riportano di seguito le tabelle relative ai rifiuti trattati durante l'anno 2020.

Tabella 9 - Rifiuti inertizzati/filtropressati (2020)

TRATTAMENTO	RIFIUTI PERICOLOSI	RIFIUTI NON PERICOLOSI	TOTALE (t)
FILTROPRESSATURA	202,96	20.127,65	20.330,61
INERTIZZAZIONE	8.968,80	6.604,36	15.573,16
TOTALE COMPLESSIVO	9.171,76	26.732,01	35.903,77

PIATTAFORMA – RIFIUTI CONFERITI A SMALTIMENTO/RECUPERO

DESCRIZIONE RIFIUTO	TOTALE (t)
RIFIUTI LIQUIDI ACQUOSI (SCARSO CONCENTRATO DELL'OSMOSI)	17.271,3
OLI E CONCENTRATI PRODOTTI DA PROCESSI DI SEPARAZIONE (DA FANGHI BASE OLIO)	0
IMBALLAGGI DI PLASTICA	3,54
IMBALLAGGI DI LEGNO	3,26
IMBALLAGGI IN MATERIALI MISTI	15,48
IMBALLAGGI CONTENENTI RESIDUI DI SOSTANZE PERICOLOSE O CONTAMINATI DA TALI SOSTANZE	2,66

3 Esiti del monitoraggio delle acque sotterranee

La rete di monitoraggio delle acque sotterranee sottese all'area impiantistica ACR è costituita dai seguenti 6 piezometri e 1 pozzo:

- Piezometri di monte: P3 (prof. 27 metri) e Px (14 metri);
- Piezometri di valle: P1, P2 (prof. 27 metri), Py(14 metri) e Pz (15 metri);
- Pozzo: P0 (prof. 28 metri)

Di seguito si riporta la cartografia relativa all'ubicazione dei piezometri costituenti la rete di monitoraggio delle acque sotterranee.



Figura 17 – Rete di monitoraggio delle acque sotterranee ACR

Il monitoraggio delle acque sotterranee si configura come segue.

Tabella 10 – Tipologia e frequenza attività di monitoraggio

Parametro	Punti di Misura	Frequenza gestione Operativa	
		Gestore	Arpae
Misura del livello della falda	Piezometri P1, P2, P3, Px, Py, Pz, Pozzo P0	Trimestrale	Annuale
Verifica analitica (Tabella 1)	Piezometri P1, P2, P3, Px, Py, Pz, Pozzo P0	Trimestrale semestrale annuale (vedi tabella 1)	Annuale

Tabella 11 – Parametri oggetto di monitoraggio e frequenza di misura

Tabella 11 – Parametri oggetto di monitoraggio e frequenza di misura						
Parametro analitico	Unità di misura	Valori limite CSC Tab. 2 All. V, Titolo IV D.Lgs. 152/2006 e Livelli di guardia		Trimestrale	Semestrale	Annuale
Parametri Fondamentali secondo D.Lgs. 36/03						
pH	Unità pH			X		
Temperatura	°C			X		
Potenziale redox	mV			X		
Conducibilità elettrica	µS/cm			X		
COD	mg/l			X		
Ossidabilità Kubel	mg/l			X		
Cloruri	mg/l			X		
Solfati	mg/l	250	200	X		
Azoto ammoniacale	mg/l			X		
Nitrato	mg/l			X		
Ferro	µg/l	200	160	X		
Manganese	µg/l	50	40	X		
Cromo totale	µg/l	50	40	X		
Parametri di Approfondimento secondo D.Lgs. 36/03						
Nitrito	µg/l	500	400		X	
BOD5	mg/l				X	
TOC	mg/l				X	
Ca	mg/l				X	
Na	mg/l				X	
K	mg/l				X	
Fluoruri	µg/l	1500	1200		X	
IPA						
Benzo (a) antracene	µg/l	0.01	0.008		X	
Benzo (a) pirene	µg/l	0.01	0.008		X	
Benzo (b) fluorantene	µg/l	0.1	0.08		X	
Benzo (k) fluorantene	µg/l	0.05	0.04		X	
Benzo (g,h,i) perilene	µg/l	0.01	0.008		X	
Crisene	µg/l	5	4		X	
Dibenzo (a, h) antracene	µg/l	0.01	0.008		X	

Parametro analitico	Unità di misura	Valori limite CSC Tab. 2 All. V, Titolo IV D.Lgs. 152/2006 e Livelli di guardia		Trimestrale	Semestrale	Annuale
Indeno (1,2,3,-c,d) pirene	µg/l	0.1	0.08		X	
Pirene	µg/l	50	40		X	
Arsenico	µg/l	10	8		X	
Rame	µg/l	1000	800		X	
Cadmio	µg/l	5	4		X	
Cromo VI	µg/l	5	4		X	
Mercurio	µg/l	1	0.8		X	
Nichel	µg/l	20	16		X	
Piombo	µg/l	10	8		X	
Magnesio	µg/l				X	
Zinco	µg/l	3000	2400		X	
Cianuri	µg/l	50	40		X	
Composti organo alogenati						
Triclorometano	µg/l	0.15	0.12			X
Cloruro di Vinile	µg/l	0.5	0.4			X
1.1 Dicloroetilene	µg/l	0.05	0.04			X
1.1.2 Tricloroetano	µg/l	0.2	0.16			X
Tricloroetilene	µg/l	1.5	1.2			X
1.1.2.2. Tetracloroetano	µg/l	0.05	0.04			X
Tetracloroetilene	µg/l	1.1	0.88			X
1.1.1. Tricloroetano	µg/l					X
Tetracloruro di Carbonio	µg/l					X
Fenoli	µg/l					X
2 - clorofenolo	µg/l	180	144			X
2,4 diclorofenolo	µg/l	110	88			X
2,4,6 triclorofenolo	µg/l	5	4			X
Pentaclorofenolo	µg/l	0.5	0.4			X
Pesticidi Fosforati e Totali	µg/l					X
Solventi organici aromatici	µg/l					X
Benzene	µg/l	1	0.8			X
Etilbenzene	µg/l	50	40			X
Stirene	µg/l	25	20			X
Toluene	µg/l	15	12			X
Para-xilene	µg/l	10	8			X
Solventi organici azotati	µg/l					X
Anilina	µg/l	10	8			X
Para-Toluidina	µg/l	910	728			X
Difenilammina	µg/l	0.35	0.28			X

3.1 Rappresentazione dei livelli di falda

Si riporta di seguito l'andamento dei valori di soggiacenza della falda nel periodo 2017-2021 derivanti dai rilievi piezometrici effettuati ai piezometri con cadenza trimestrale.

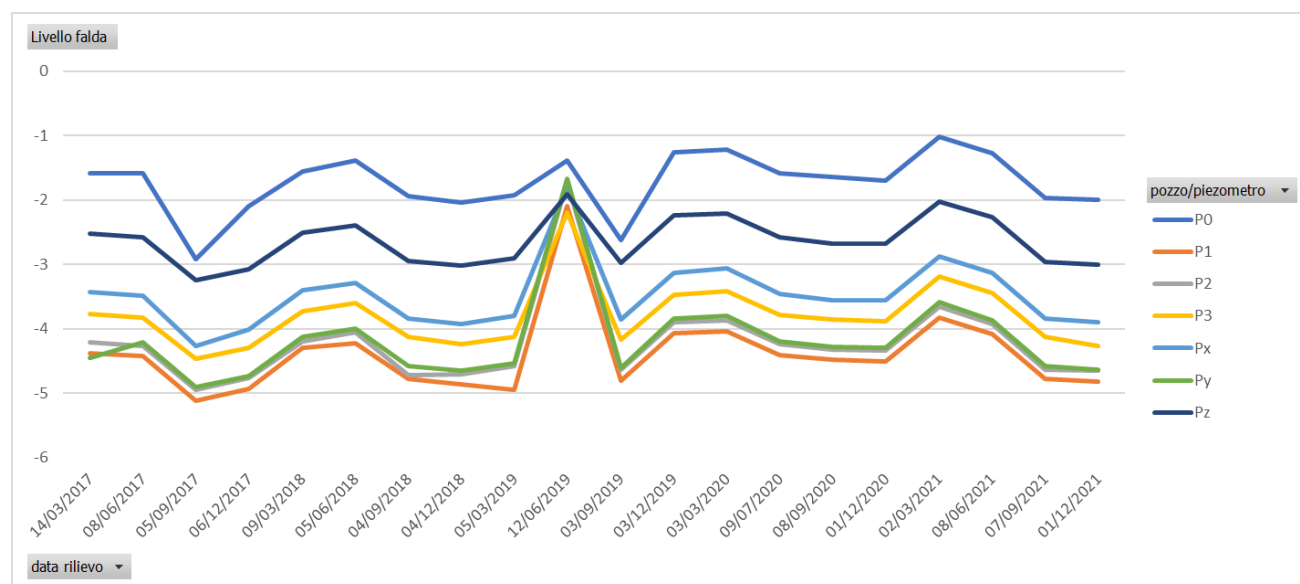


Figura 18 – Andamento soggiacenza piezometri ACR

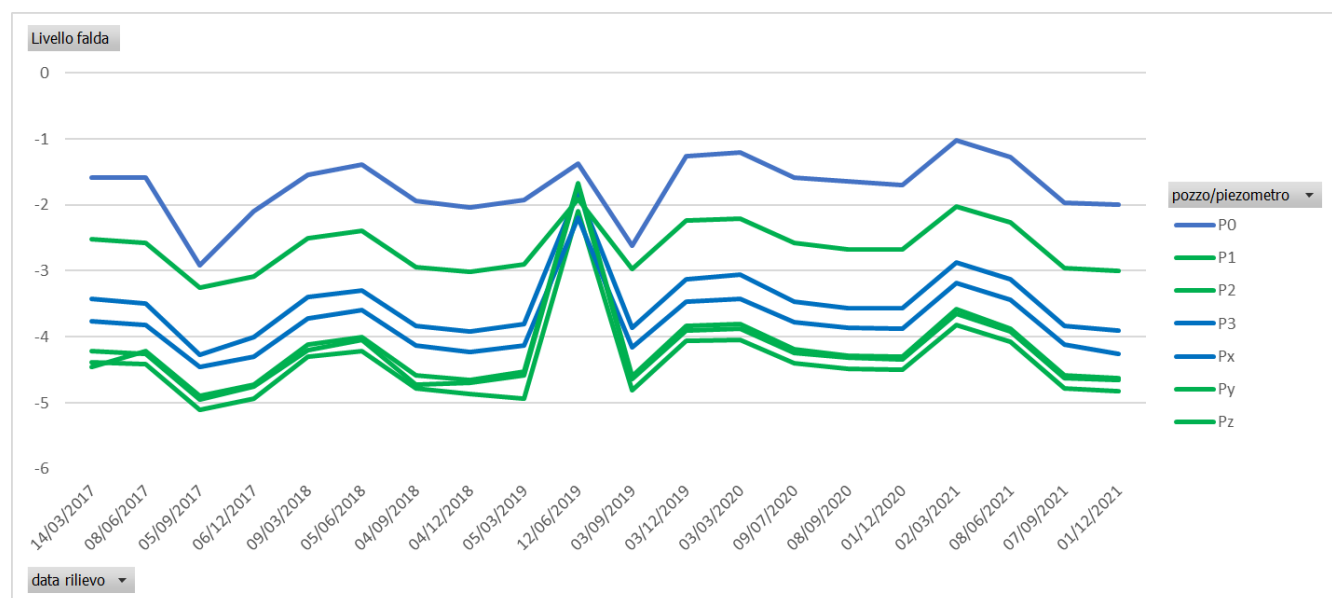


Figura 19 – Andamento soggiacenza piezometri ACR con indicazione ubicazione (blu: monte, verde: valle)

L'andamento piezometrico locale è dedotto dai risultati di diversi rilievi. Dai rilievi eseguiti sui piezometri che delimitano l'area di interesse, si può concludere che la soggiacenza si attesta, in media, attorno ai -3.50 m da pc. La direzione di flusso è confermata verso Nord-Est, come di seguito riportato.

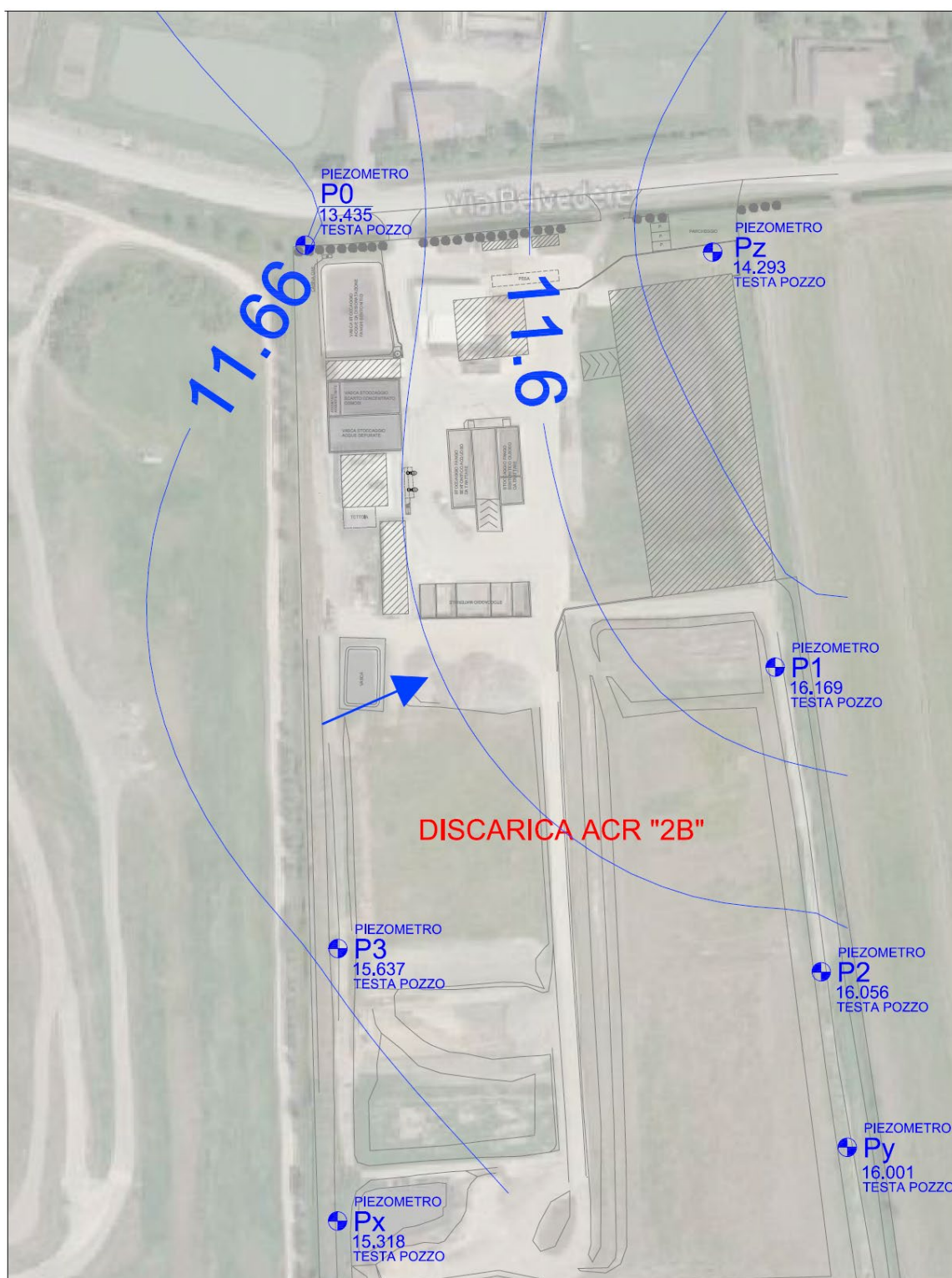


Figura 20 - Carta piezometrica con linee isofreatiche e ubicazione dei piezometri

3.2 Rappresentazione delle sostanze e parametri chimici

I monitoraggi delle acque di falda comprendono tutti i parametri chimici fondamentali e quelli di approfondimento del D.Lgs. 36/2003. In questo paragrafo però si dà evidenza dell'andamento dei risultati

analitici delle sessioni di monitoraggio dal 2011 al 2021 per i soli parametri Ferro e Manganese oggetto della presente relazione. Di seguito vengono riportati i grafici suddivisi per composto chimico.

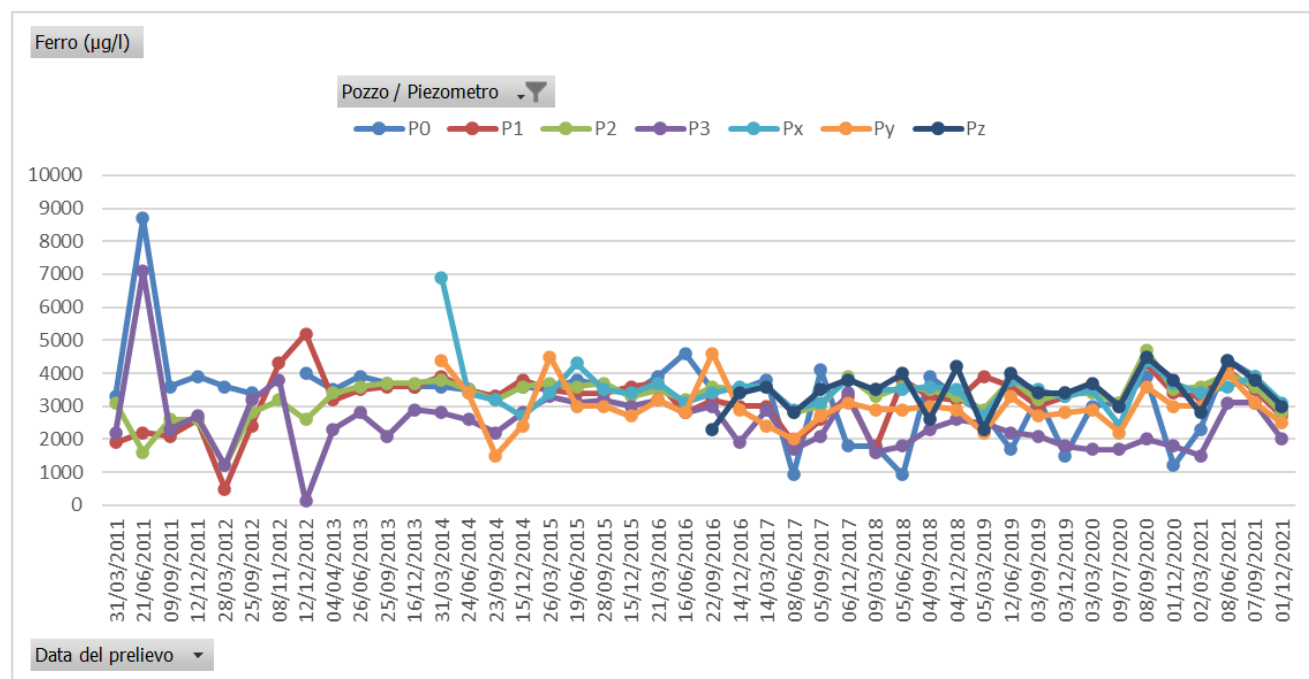


Figura 21 - Andamento del Ferro per pozzo (2011-2021)

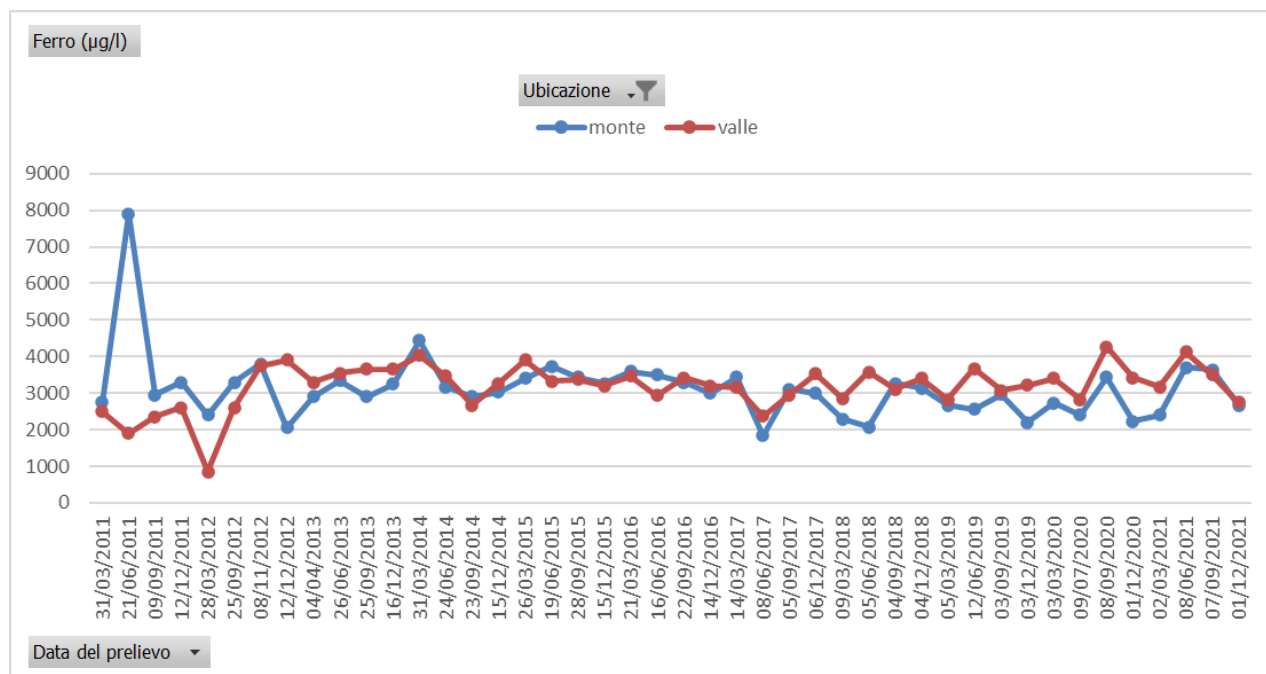


Figura 22 - Andamento medio del Ferro tra monte e valle (2011-2021)

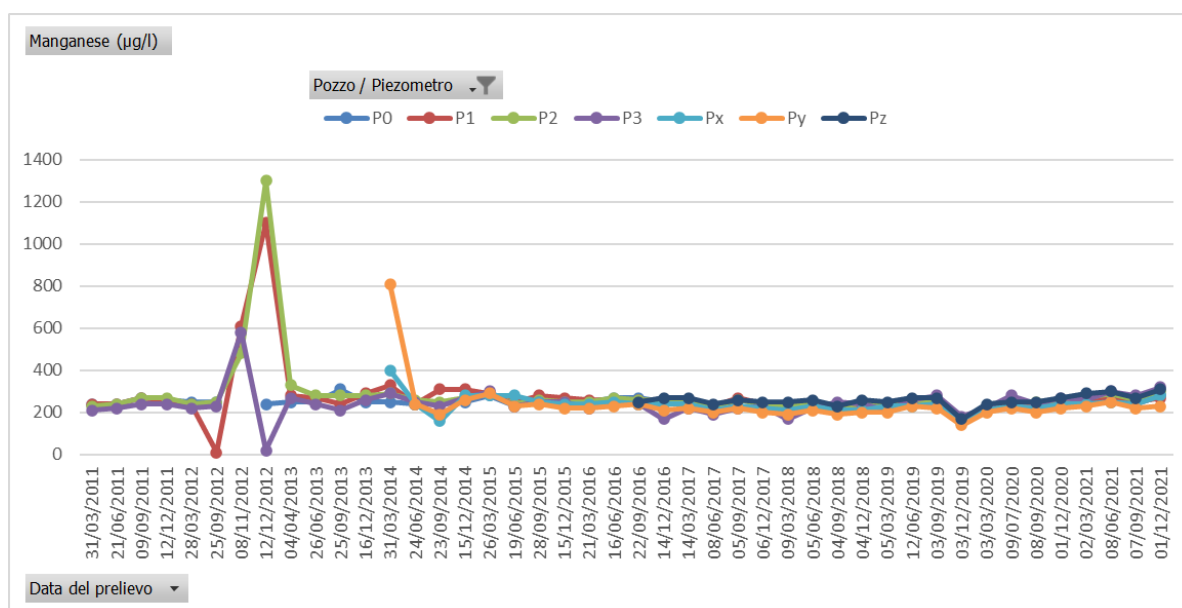


Figura 23 - Andamento del Manganese per pozzo (2011-2021)

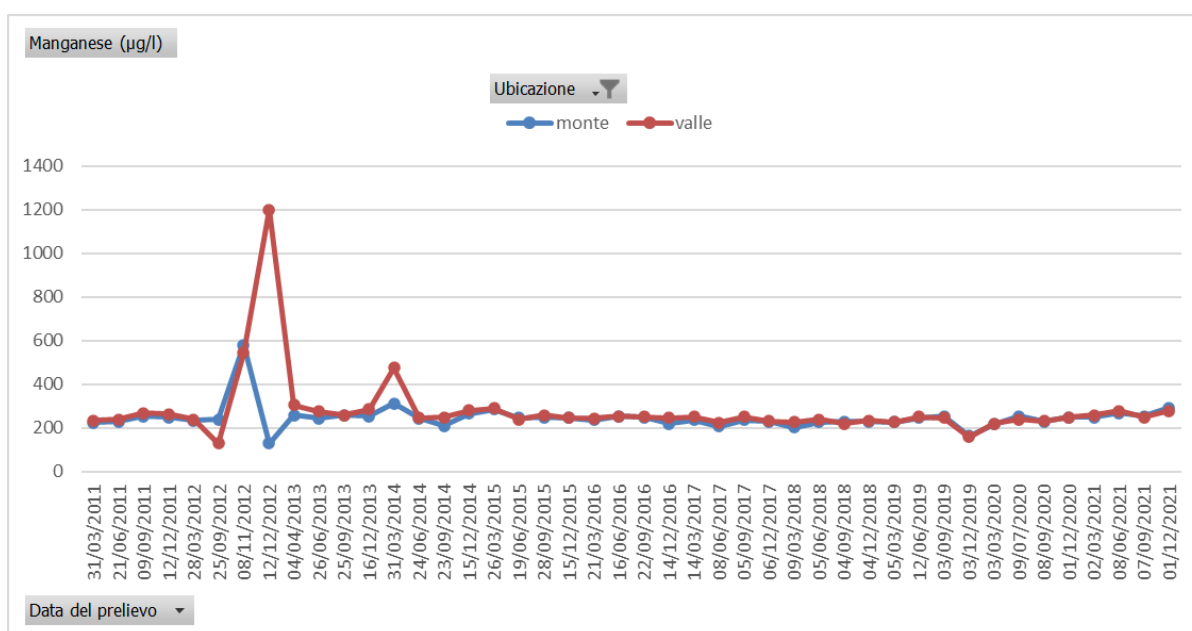


Figura 24 - Andamento medio del Manganese tra monte e valle (2011-2021)

Ai fini di ampliare l'area di indagine si è richiesto, e ottenuto, dalla società R.I.Eco srl di visionare i dati in loro possesso sui monitoraggi delle acque sotterranee eseguiti presso la loro Discarica, che possiede anch'essa una rete di monitoraggio costituita da svariati piezometri sparsi in tutta l'area. Di conseguenza è stato possibile fare un confronto tra i dati di ACR e questi dati che si trovano a monte dell'impianto e che quindi rappresentano de facto una situazione non influenzata in alcun modo dalla scrivente.

Elaborando i valori registrati come per ACR si ottengono i grafici riportati in Figura 25 e Figura 26.

La tendenza di entrambi i metalli è assolutamente paragonabile ai valori riscontranti presso l'impianto ACR, come appare ancora più evidente se si confrontano le medie:

- Ferro: 3.870 µg/l (ACR 3.160 µg/l)
- Manganese: 296 µg/l (ACR 256 µg/l)

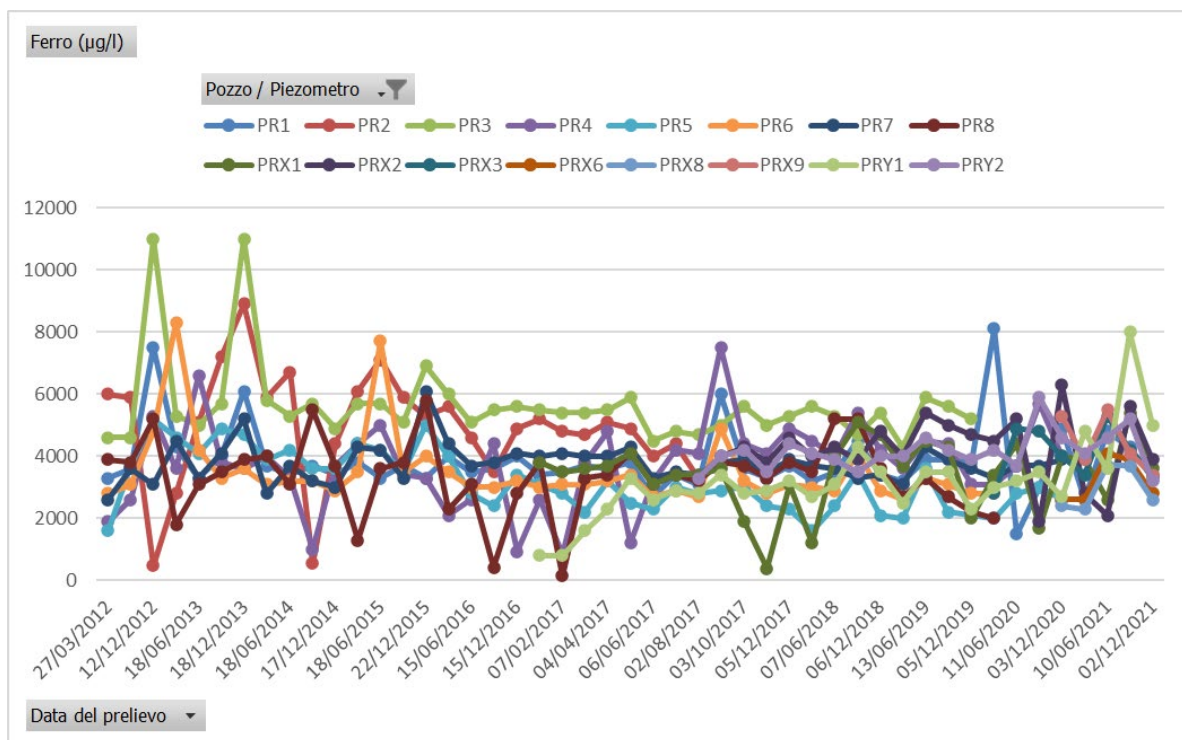


Figura 25 - Andamento del Ferro nella Discarica RIECO per pozzo (2011-2021)

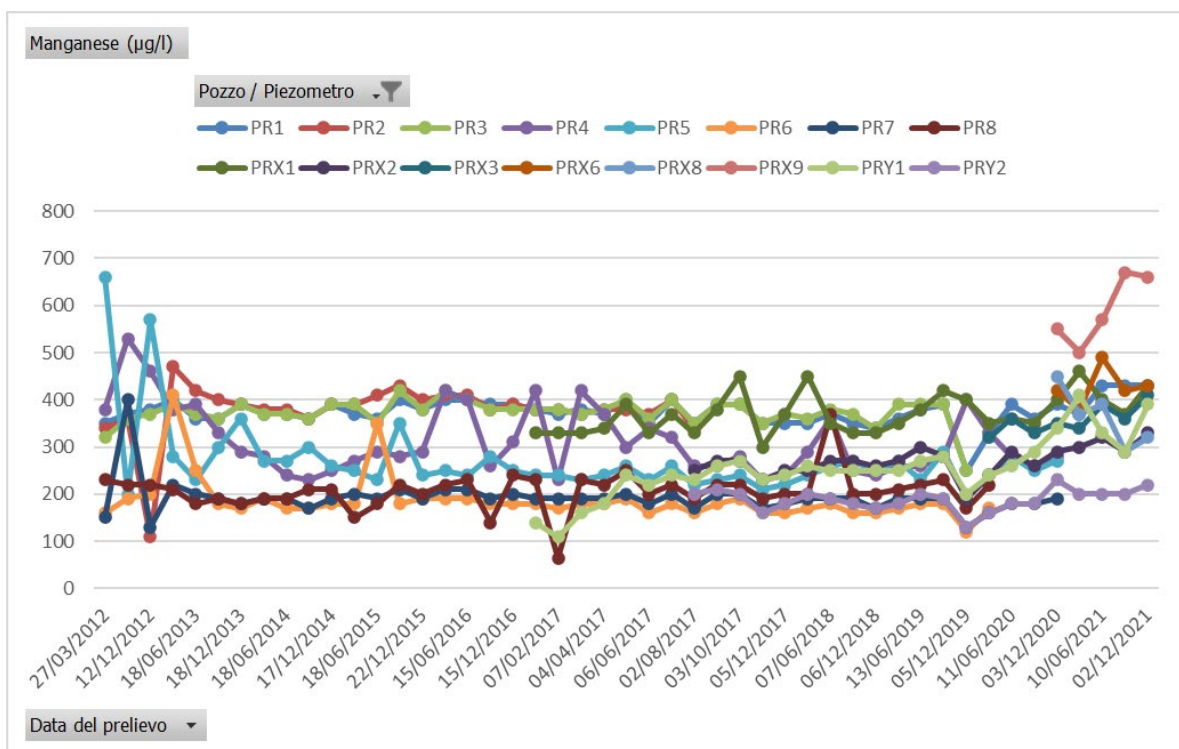


Figura 26 - Andamento del Manganese nella Discarica RIECO per pozzo (2011-2021)

3.3 Rappresentazione delle facies idrochimiche

Dalla lettura delle analisi chimica delle acque, con i dati espressi in meq/l è possibile valutare, anche aiutati da rappresentazioni grafiche, la facies idrochimica e cioè quale coppia catione anione al loro interno sia predominante.

La facies chimica di appartenenza viene determinata dall'anione predominante che funge da sostantivo, cui si aggiunge un aggettivo che indica il tipo di catione dominante.

Tra le rappresentazioni quantitative, il diagramma più largamente utilizzato, è quello di Schoeller. Si è quindi proceduto, con l'elaborazione dei dati a disposizione, alla predisposizione del diagramma attraverso una correlazione tra le concentrazioni dei costituenti fondamentali (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, F) nei diversi punti di misura.

In particolare, si sono utilizzate le serie di dati sia provenienti dal sito ACR sia i dati, come descritto nel paragrafo precedente, richiesti alla società RIECO.

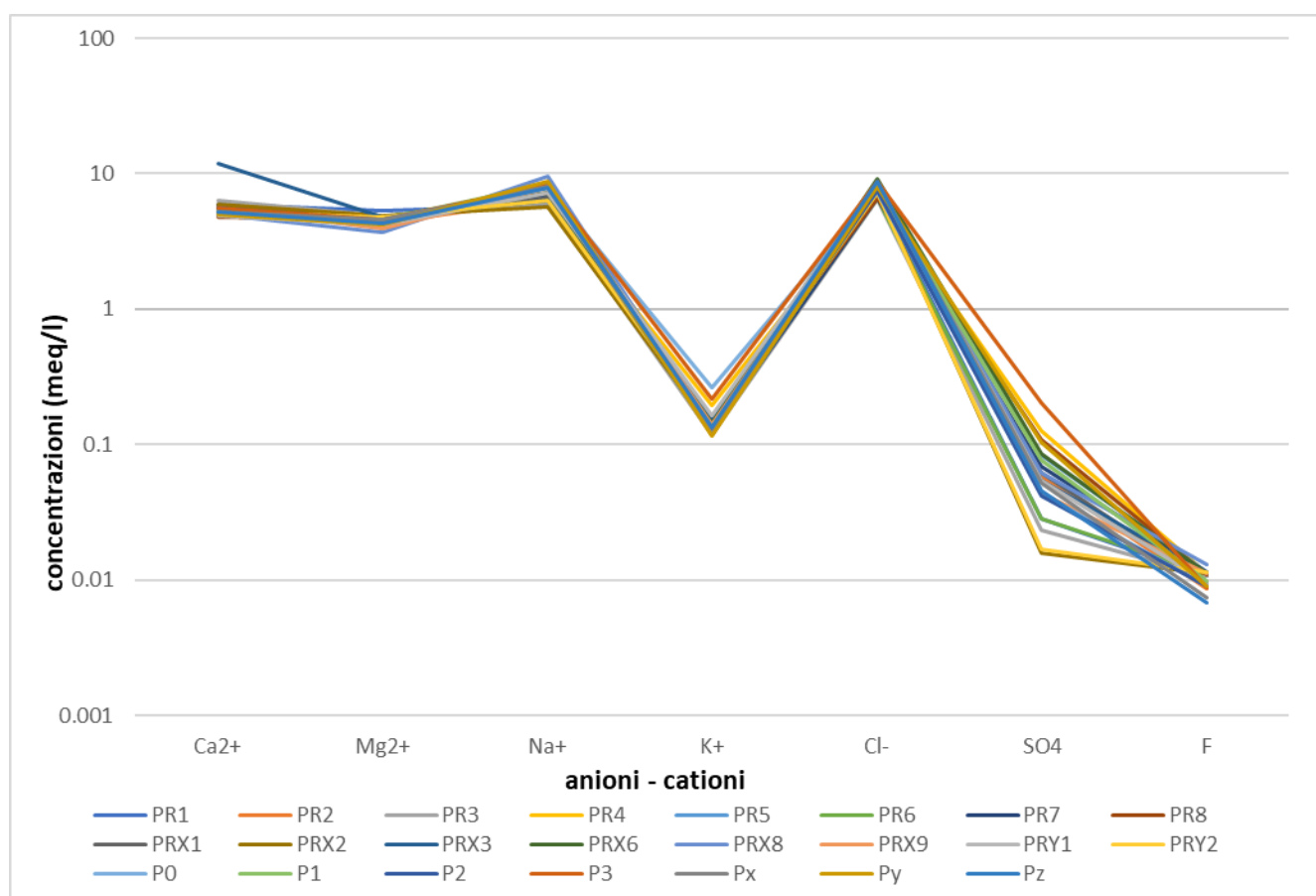


Figura 27 – Diagramma di Schoeller

L'andamento delle curve mostra che le acque analizzate appartengono ad un medesimo acquifero.

4 Sintesi del modello concettuale idrogeologico

Il modello concettuale idrogeologico del sito può essere così riassunto:

- 1) L'acquifero principale, utilizzato per lo sfruttamento idrico, è ospitato nelle sabbie che si riscontrano alla profondità media di 11.60m dal piano campagna, al tetto delle quali, si estendono terreni argillosi e limosi. Lo strato di sabbie a granulometria media si trovano continue da -11.60 m fino a -32.00 m di quota.
- 2) Lo strato argillo-limoso sovrastante confina la falda contenuta nelle sottostanti sabbie ne impedisce la risalita mantenendola in pressione.
- 3) La frangia freatica superficiale si differenzia nettamente dall'acquifero di sfruttamento in quanto trattasi di un livello idrico sospeso con circolazione molto limitata a causa della bassa permeabilità dei depositi argillosi e limosi dove ha sede.
- 4) L'alimentazione del freatico è legata prevalentemente alle infiltrazioni meteoriche dalla superficie; queste, risultano massime nelle zone agricole e minime nelle aree urbanizzate dove sono presenti coperture impermeabili. Nella zona di interesse, dove vi sono campi coltivati, la frangia freatica superficiale è alimentata, durante il periodo irriguo, dall'acqua che scorre nei canali che risulta essere pensile sulla pianura circostante e quindi genera un carico idraulico nel sottosuolo, mentre quando i canali irrigui non svolgono tale funzione il freatico viene drenato dai canali stessi.
- 5) L'analisi della facies idrochimica concorda nell'affermare che le acque prelevate dai piezometri a monte e a valle dell'area di interesse hanno le medesime caratteristiche idro-chimiche e quindi appartengono al medesimo acquifero.

Sulla base di quanto sopra riportato si può quindi affermare che l'acquifero, essendo in pressione, è alimentato da afflussi distali provenienti dalle zone apicali dei conoidi alluvionali del margine appenninico. L'omogeneità delle acque intercettate è anche supportata dalle sue caratteristiche idrochimiche.

5 Determinazione dei valori di fondo

La determinazione dei valori di fondo per i parametri Ferro e Manganese è stata eseguita applicando lo schema A delle LG (SNPA, 2018), riportato in Figura 28, che prevede le seguenti fasi:

- Programmazione, acquisizione ed analisi preliminare dei dati;
- Analisi dei dati;
- Determinazione dei valori di fondo.

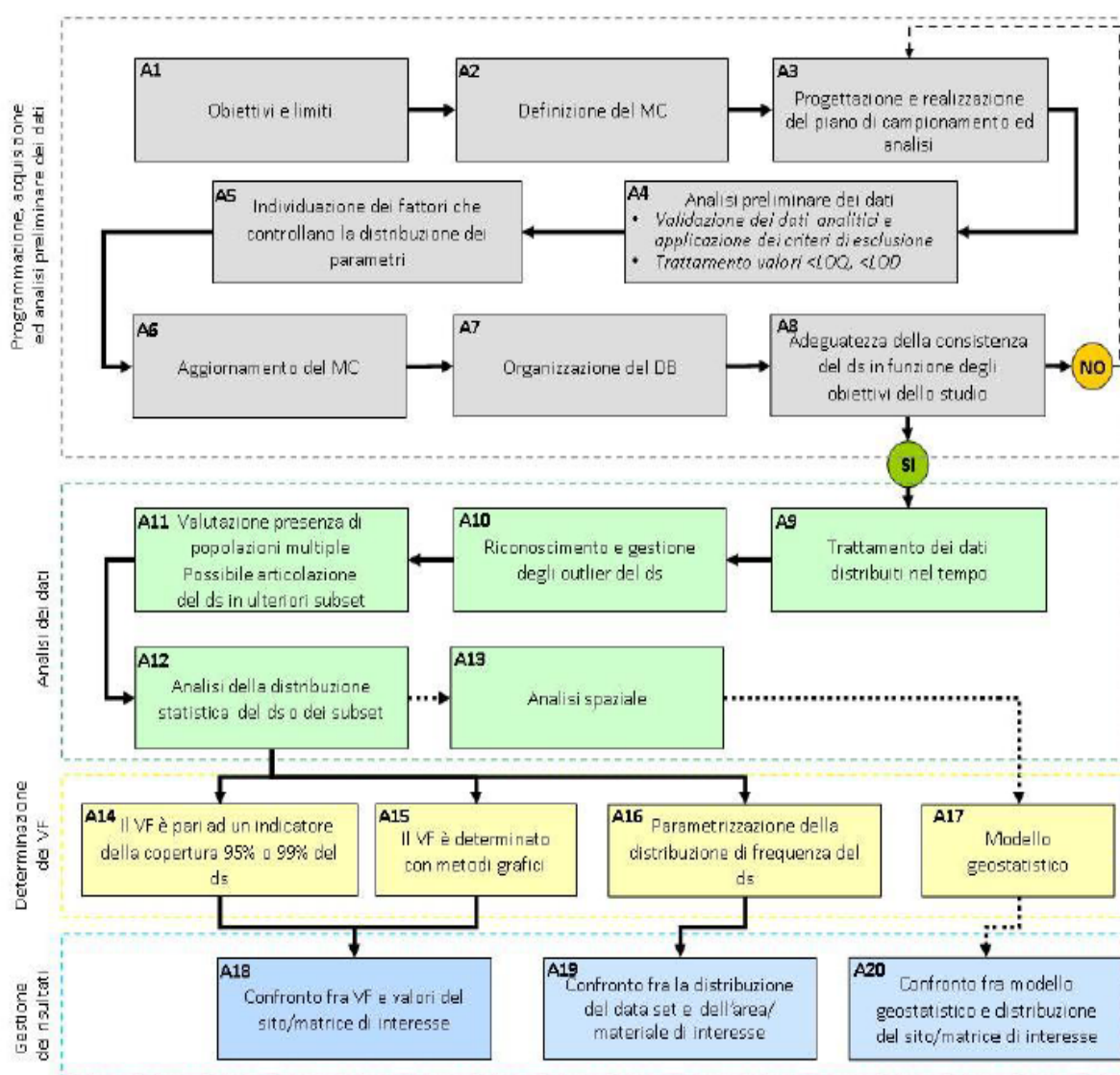


Figura 28 - Procedura da applicare per la determinazione dei VF nei contesti dei siti contaminati, dell'inquinamento diffuso e TRS – Schema A (SNPA, 2018)

Si riporta di seguito una sintesi dei criteri utilizzati per la definizione del dataset e per le analisi eseguite sui dati mentre l'intera procedura eseguita in ambiente MATLAB è riportata in Allegato A alla presente relazione.

5.1 Programmazione, acquisizione ed analisi preliminare dei dati

Ai fini della determinazione dei valori di fondo per Ferro e Manganese sono stati acquisiti tutti i dati di monitoraggio delle acque sotterranee disponibili per i piezometri afferenti all'area impiantistica ACR e i dati di monitoraggio delle acque messi a disposizione dalla ditta R.I.Eco, gestore dell'area impiantistica situata ad ovest del sito di interesse.

Si è proceduto quindi alla validazione di tali dati che ha previsto anche l'individuazione e gestione delle osservazioni con valori inferiori al limite di rilevabilità. L'analisi delle concentrazioni misurate per i parametri Fe e Mn ha mostrato che non sono presenti valori < LOD/LOQ, con l'eccezione della concentrazione di Mn nel piezometro ACR P1 (a valle della discarica ACR) analizzato il 25/9/2012. In questo caso isolato si è assunto un valore di 10 µg/l, pari alla metà del limite di rilevabilità di 20 µg/l (approccio medium bound). Si ritiene che questo singolo valore sia da considerare irrilevante ai fini dell'analisi statistica dell'intero dataset.

Successivamente si è proceduto all'organizzazione del database. I risultati delle campagne di monitoraggio dal 2011 al 2021 dell'area ACR e i dati ricevuti dalla società RIECO sono stati riuniti in un unico foglio Excel (Acque Sotterranee ACR&RIECO merge.xlsx). Le colonne della tabella Excel riportano tutte le variabili (variabili statistiche) di interesse per questa analisi (colonne Ferro e Manganese), alcune variabili accessorie (colonne pH e Conducibilità), i campi utili ad identificare i singoli piezometri (colonna Piezometro), i subset definiti in base al modello concettuale (colonna Subset: RIECO_monte, RIECO_valle, ACR_monte, ACR_valle) e la data del campionamento (colonne Data, Giorno, Mese, Anno). Le colonne di interesse sono state quindi importate dinamicamente ai fini dell'analisi statistica.

Tabella 12 - Estrazione delle prime 10 righe del database importato per le analisi statistiche

Discarica	Piezometro	Subset	Data	Giorno	Mese	Anno	pH	Conducibilità	Ferro	Manganese
_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____	_____
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	27-Mar-2012	27	3	2012	7.3	1800	3300	350
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	25-Sep-2012	25	9	2012	7.4	1800	3600	370
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	12-Dec-2012	12	12	2012	7.8	1800	7500	380
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	27-Mar-2013	27	3	2013	7.6	1800	4300	400
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	18-Jun-2013	18	6	2013	7.6	1700	3300	360
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	24-Sep-2013	24	9	2013	7.5	1900	4000	360
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	18-Dec-2013	18	12	2013	7.5	1800	6100	390
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	25-Mar-2014	25	3	2014	7.4	1700	3700	370
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	18-Jun-2014	18	6	2014	7.5	1900	3400	370
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	24-Sep-2014	24	9	2014	7.4	2000	3700	360

Si è infine proceduto con la valutazione dell'adeguatezza della consistenza del dataset in funzione degli obiettivi dello studio. Il Dataset utilizzato per l'analisi statistica è costituito da 704 osservazioni relative a

concentrazioni di Ferro e altrettante osservazioni di concentrazioni di Manganese, ottenute in circa 10 anni di monitoraggi su 23 piezometri distribuiti a monte e valle del sito di interesse. Salvo 4 eccezioni, tutti i piezometri mostrano serie temporali con un numero di osservazioni compreso tra 21 e 47. Le eccezioni riguardano i piezometri più recenti della discarica RIECO che mostrano serie temporali limitate. I dati analitici totali, per subset e per ogni piezometro sono elencati nelle tabelle seguenti e sono considerati sufficienti per gli obiettivi dello studio.

Tabella 13 - Elenco subset con indicazione del numero di piezometri e osservazioni

Subset	N. piezometri	N. osservazioni
_____	_____	_____
"A_RIECO_monte"	7	184
"B_RIECO_valle"	9	259
"C_ACR_monte"	3	119
"D_ACR_valle"	4	142
"totale"	23	704

Tabella 14 - Elenco piezometri con indicazione del subset e del numero di osservazioni

Piezometro	Subset	N. osservazioni
_____	_____	_____
"P0"	"C_ACR_monte"	43
"P1"	"D_ACR_valle"	44
"P2"	"D_ACR_valle"	44
"P3"	"C_ACR_monte"	44
"PR1"	"A_RIECO_monte"	47
"PR2"	"B_RIECO_valle"	27
"PR3"	"A_RIECO_monte"	39
"PR4"	"B_RIECO_valle"	43
"PR5"	"B_RIECO_valle"	43

"PR6"	"A_RIECO_monte"	40
"PR7"	"B_RIECO_valle"	43
"PR8"	"A_RIECO_monte"	40
"PRX1"	"B_RIECO_valle"	28
"PRX2"	"B_RIECO_valle"	21
"PRX3"	"A_RIECO_monte"	8
"PRX6"	"A_RIECO_monte"	5
"PRX8"	"A_RIECO_monte"	5
"PRX9"	"B_RIECO_valle"	5
"PRY1"	"B_RIECO_valle"	28
"PRY2"	"B_RIECO_valle"	21
"Px"	"C_ACR_monte"	32
"Py"	"D_ACR_valle"	32
"Pz"	"D_ACR_valle"	22

5.2 Analisi dei dati

5.2.1 Analisi temporale

Al fine di verificare la stazionarietà nel tempo delle concentrazioni osservate si è effettuata una analisi delle serie temporali per ogni piezometro elaborate, come suggerito dalle Linee Guida SNPA 08/2018, come concentrazioni in funzione del tempo (Figura 29). A scopo di confronto tra i diversi piezometri, in questi diagrammi vengono rappresentate anche le concentrazioni massima e media globali (calcolate su tutto il dataset, linee spesse tratteggiate).

Dato che la semplice analisi visiva dei plot mostra scarse o nulle evidenze di una dipendenza delle concentrazioni dal tempo, prima di effettuare analisi statistiche più avanzate sono stati calcolati il coefficiente di correlazione (parametrico) di Pearson r_P e il coefficiente di correlazione non-parametrico di Spearman r_S , e sono state verificate le ipotesi nulle dei coefficienti di correlazione $r_P = 0$ e $r_S = 0$.

L'analisi del coefficiente di correlazione di Pearson r_P ha restituito nella maggioranza dei casi coefficienti significativamente nulli (evidenza di nessuna correlazione lineare delle variabili concentrazione di Fe o Mn con la variabile tempo). I casi in cui esiste una correlazione significativa restituiscono comunque coefficienti di correlazione molto piccoli o prossimi a zero.

Anche l'analisi del coefficiente di correlazione non-parametrico di Spearman r_S ha restituito nella maggioranza dei casi coefficienti significativamente nulli (evidenza di nessuna correlazione delle variabili concentrazione di

Fe o Mn con la variabile tempo). Questa verifica è di particolare interesse in quanto esclude anche la possibilità di correlazione non-lineare. I casi in cui esiste una correlazione significativa restituiscono comunque coefficienti di correlazione molto piccoli o prossimi a zero.

Per tutte le serie temporali sono state comunque calcolate e plottate le rette di correlazione lineare (linee spesse continue) che, in modo coerente con i risultati relativi ai coefficienti di correlazione, hanno pendenze molto ridotte o nulle e valori di $R^2 \ll 0.95$, normalmente considerato come valore critico per accettare una retta di regressione. Tra l'altro notiamo come questi casi corrispondano spesso ai piezometri con serie temporali più limitate e osservazioni meno numerose.

Riteniamo che si possa concludere quindi, senza necessità di ulteriori analisi statistiche, che non vi sono evidenze di variazioni delle concentrazioni nel tempo, e che le concentrazioni osservate sono da considerarsi pertanto stazionarie.

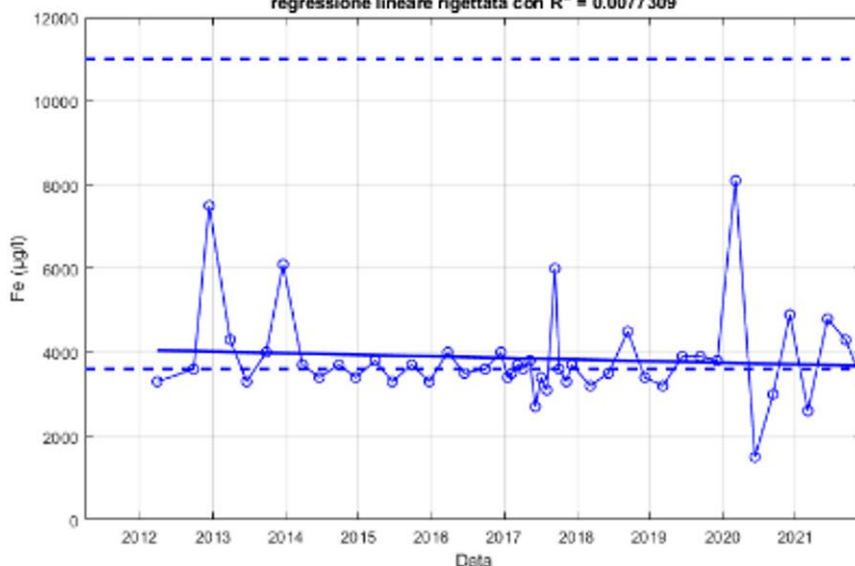
A titolo esemplificativo si riportano nella seguente figura le serie temporali delle concentrazioni di Ferro e Manganese per il piezometro PR1. Le serie temporali di tutti i piezometri oggetto di analisi sono riportate in Allegato A.

A_RIECO_monte - PR1 - n. dati = 47

correlazione nulla ($r_p = 0$) con p-value = 0.55674

correlazione non-parametrica nulla ($r_s = 0$) con p-value = 0.60259

regressione lineare rigettata con $R^2 = 0.0077309$



correlazione nulla ($r_p = 0$) con p-value = 0.67141

correlazione non-parametrica nulla ($r_s = 0$) con p-value = 0.90414

regressione lineare rigettata con $R^2 = 0.0040356$

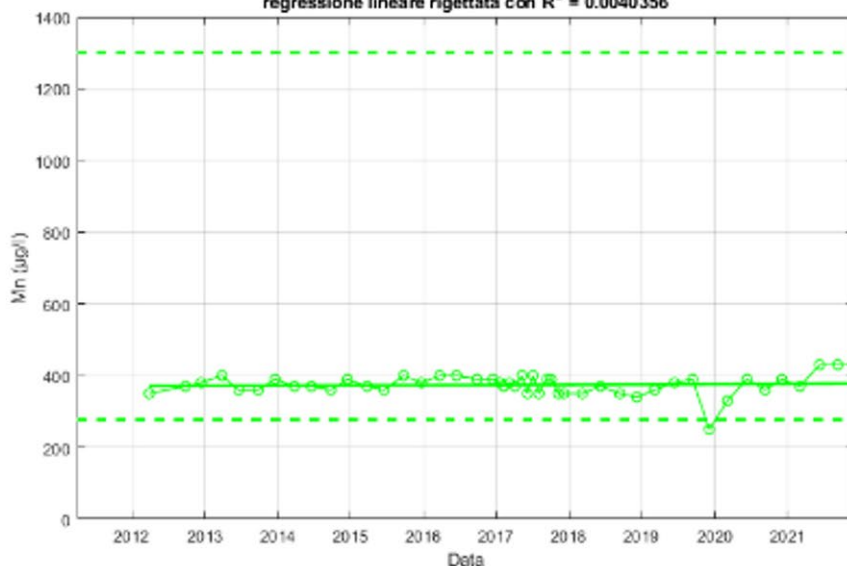


Figura 29 - Serie temporali delle concentrazioni di Fe e Mn per singolo piezometro (PR1)

5.2.2 Riconoscimento e gestione degli *outlier*

Un altro elemento necessario per l'elaborazione statistica è il riconoscimento di eventuali di *outliers* che dovranno essere esclusi dalle successive fasi di analisi. A questo proposito si ricorda che non esiste in statistica una definizione quantitativamente univoca e rigorosa per gli *outliers*, che qualitativamente corrispondono a valori anomali, chiaramente distanti dalle altre osservazioni che compongono il campione esaminato. Gli

outliers vengono normalmente esclusi dall'analisi statistica in quanto si ritiene che siano il prodotto di misure o analisi soggette ad errori sperimentali anomali, e come tali non rappresentative delle reali proprietà della popolazione. L'analisi che segue è finalizzata a definire un criterio univoco, applicabile al caso di studio, per riconoscere e poi escludere dall'analisi statistica gli *outliers*. A questo scopo vengono plottate le serie temporali, i *box plot*, i *Normal QQ plot* e gli istogrammi di frequenza delle concentrazioni osservate per i singoli piezometri (Figura 30).

I plot delle serie temporali rappresentano semplicemente le concentrazioni osservate nelle analisi effettuate nel tempo per ogni singolo piezometro. Allo scopo di confronto tra i diversi piezometri, in questi plot vengono rappresentate anche le concentrazioni massima e media globali (calcolate su tutto il dataset, linee spesse tratteggiate).

Nei *box and whisker plot* la base inferiore e superiore del rettangolo (*box*) rappresentano rispettivamente il 25-esimo e il 75-esimo percentile (I e III quartile). La linea all'interno del rettangolo rappresenta la mediana (= 50-esimo percentile). Il valore di *step* corrisponde ad un multiplo del *range* interquartile (differenza fra il I e III quartile) ed è generalmente usato per definire un limite superiore ed un limite inferiore per i valori delle osservazioni considerate non anomale. Le linee dette *whisker* (baffi), che si estendono sopra e sotto il *box*, delimitano il campo compreso tra il primo valore inferiore al limite superiore e il primo valore superiore al limite inferiore (*upper e lower fence*). Gli eventuali valori esterni a questo campo sono plottati con crocette rosse e potenzialmente interpretati come *outlier*. Uno dei vantaggi di questo metodo di detezione degli *outliers* è che non si assume che le osservazioni abbiano una distribuzione normale (Gaussiana). Per facilitare il confronto tra diversi plot, questi limiti e la mediana sono stati riportati anche sui *plot* delle serie temporali (*box* ombreggiato e linee spesse).

Per indagare più a fondo la possibile presenza di *outlier* sono stati utilizzati anche dei *Normal QQ plot* che mettono a confronto i quantili ottenuti dal campione rappresentato dalle osservazioni effettuate su ogni piezometro con quelli di una distribuzione normale (Gaussiana). Se il campione segue una distribuzione normale i punti rappresentati nel *Normal QQ plot* si dispongono lungo una retta con pendenza positiva, mentre gli scostamenti rispetto a questa retta possono essere interpretati come *outliers*.

Infine, sono stati plottati gli istogrammi di frequenza e si è proceduto a fittare le osservazioni con una *probability density function (PDF)* normale (curva rossa). Nei relativi plot viene riportato il *p-value* di questa distribuzione secondo il test di Lilliefors ed è indicato se questa è stata accettata o rigettata al 95% di probabilità.

Per indagare sulla possibile presenza di *outlier* le Linee Guida SNPA/2018 suggeriscono anche l'uso dei seguenti test statistici:

- Test di Rosner, adatto a evidenziare da 2 a 5 *outliers* in campioni con numero di osservazioni >25 e distribuzione normale (per il campione privo di outlier);
- Test di Dixon, adatto a evidenziare un solo *outlier* in campioni con numero di osservazioni ≤25 e distribuzione normale (per il campione privo di outlier);
- Discordance test, adatto a evidenziare *outliers* multipli in campioni con numero di osservazioni ≤50 e distribuzione normale (per il campione privo di outlier);

- Test di Walsh, adatto a evidenziare *outliers* multipli in campioni con numero di osservazioni >60 e qualunque distribuzione (test non parametrico);
- Test di Huber, adatto a evidenziare *outliers* multipli in campioni con numerosità variabile e qualunque distribuzione.

Nel caso in esame il test di Walsh non è mai applicabile a causa del limitato numero di osservazioni, ed i test che assumono una distribuzione normale (Rosner, Dixon e discordance) non possono essere applicati a molti dei piezometri, che mostrano distribuzioni non-normali, come evidenziato dai plot con istogramma e PDF normale. Risulta applicabile quindi il solo test di Huber, i cui valori-soglia superiore e inferiore sono rappresentati nei plot delle serie temporali con linee rosse continue.

Nel caso analizzato, al termine dell'analisi effettuata su tutti i campioni statistici (= piezometri) si è deciso di adottare un criterio uniforme secondo il quale vengono considerate come *outliers* ed escluse dalle analisi successive le osservazioni (crocette rosse nei box plot) che cadono al di fuori del *range* (*upper e lower fence*) ottenuto utilizzando nel *box plot* un valore di *step* pari a 3 volte il *range* interquartile. Questo criterio coincide in molti casi con il risultato del test di Huber, anche se risulta essere più restrittivo nel caso di alcuni piezometri che mostrano distribuzioni piuttosto asimmetriche o multimodali. Nel corso dell'analisi erano stati tentativamente considerati anche valori di *step* più ridotti, pari a 1.5 volte il *range* interquartile, ma questo avrebbe portato a classificare come *outliers* un gran numero di osservazioni, in contrasto con il test di Huber e snaturando il concetto stesso di *outlier* che, per definizione, deve rappresentare un'eccezione all'interno di un dataset statistico.

A titolo esemplificativo si riporta di eseguito l'analisi degli *outlier* per il piezometro PR1, mentre per le analisi condotte su tutti i piezometri considerati si rimanda all'Allegato A.

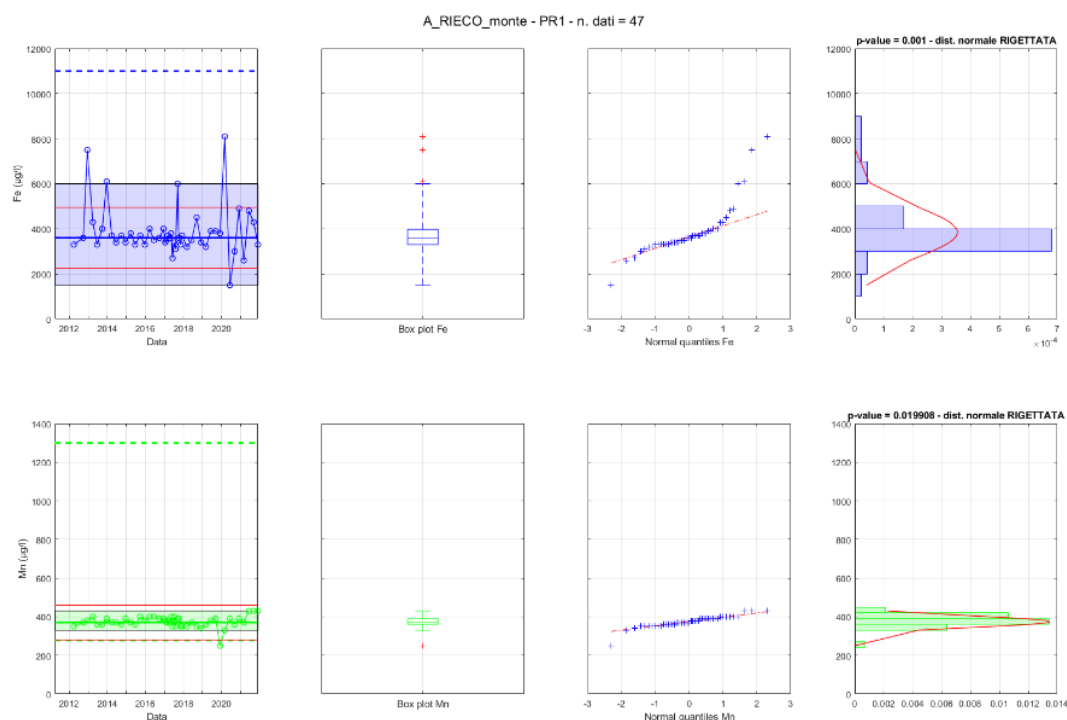


Figura 30 - Analisi degli outlier nelle osservazioni per singolo piezometro (PR1)

Al termine di questa analisi sono state estratte le serie temporali con *outlier* esclusi. Le osservazioni sono associate ad una *label* che identifica univocamente il piezometro e il *subset*. Le serie temporali private dagli *outlier* che saranno utilizzate nelle fasi successive dell'analisi statistica sono quindi plottate di seguito come linee continue mentre gli *outlier* sono evidenziati come punti isolati in rosso.

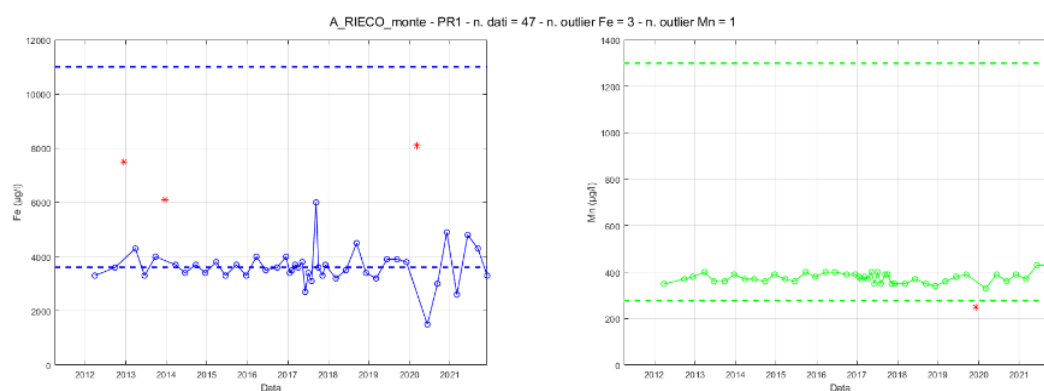


Figura 31 - Serie temporali delle concentrazioni di Fe e Mn con outlier evidenziati ed esclusi (piezometro PR1)

5.2.3 Valutazione presenza di popolazioni multiple e articolazione del *dataset* in *subsets*

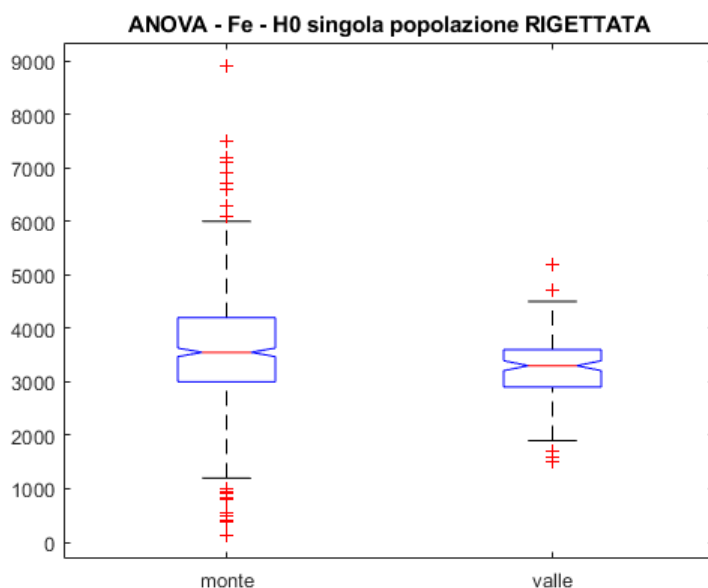
L'omogeneità dei subset definiti come "monte" e "valle" sulla base del modello concettuale è stata valutata tramite ANOVA (analisi della varianza) e tramite il test di Kruskal-Wallis. ANOVA è un tipo di analisi che

permette di confrontare i descrittori di diversi campioni e valutare l'ipotesi nulla che essi siano composti da osservazioni effettuate su una sola popolazione omogenea contro l'ipotesi alternativa che le osservazioni abbiano campionato popolazioni multiple con descrittori significativamente diversi (media, deviazione standard, tipo di distribuzione, ecc.). Il test di Kruskal-Wallis ha obiettivi analoghi ma, essendo un test non-parametrico in cui non si fanno assunzioni sul tipo di distribuzione della popolazione, può risultare più robusto nel caso in cui si sospetti la presenza, come nel caso in esame, di distribuzioni non-normali.

L'analisi è stata effettuata su dataset da cui sono stati rimossi gli outlier in base ai criteri definiti nei precedenti step di analisi e mostra come il subset "monte" sia significativamente diverso dal subset "valle" (con l'eccezione delle concentrazioni di Mn valutate con il test di Kruskal-Wallis). Si può concludere quindi che le popolazioni di "monte" e "valle" siano da ritenersi significativamente diverse, e notare come i descrittori statistici delle concentrazioni di Fe e Mn nel *subset* di "valle" siano sistematicamente più bassi rispetto a quelli del *subset* di "monte".

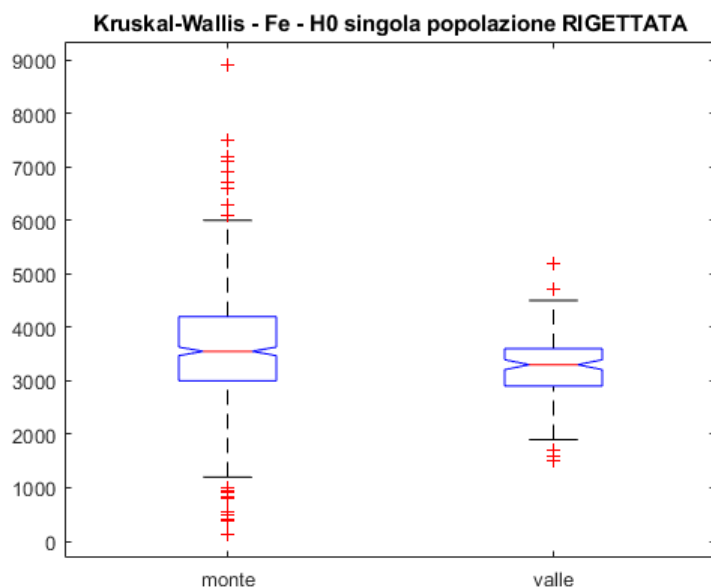
ANOVA Table

Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Groups	1.53911e+07	1	1.53911e+07	13.24	0.0003
Error	7.98701e+08	687	1.16259e+06		
Total	8.14092e+08	688			



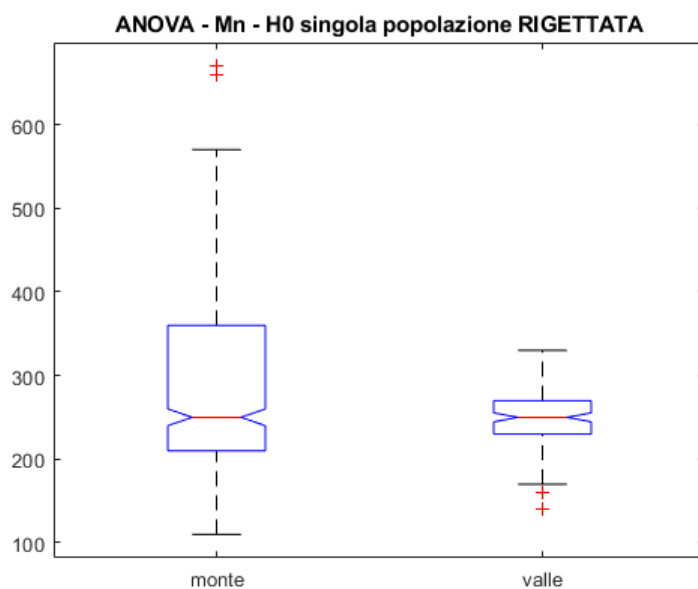
Kruskal-Wallis ANOVA Table

Source	SS	df	MS	Chi-sq	Prob>Chi-sq
Groups	665784.2	1	665784.2	16.83	4.08981e-05
Error	26552280.8	687	38649.6		
Total	27218065	688			



ANOVA Table

Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Groups	99754.7	1	99754.7	16.01	6.97473e-05
Error	4235607.8	680	6228.8		
Total	4335362.5	681			



Kruskal-Wallis ANOVA Table

Source	SS	df	MS	Chi-sq	Prob>Chi-sq
Groups	144207.3	1	144207.3	3.73	0.0536
Error	26211029.7	680	38545.6		
Total	26355237	681			

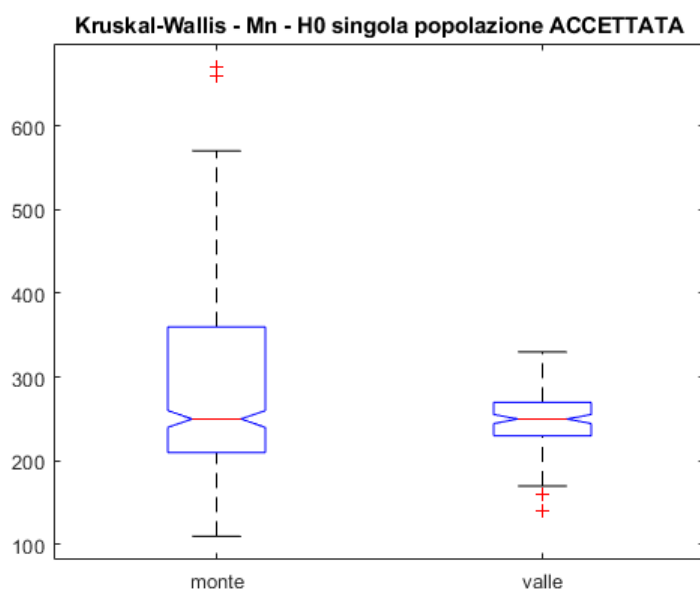


Figura 32 - Valutazione popolazioni multiple con ANOVA e test di Kruskal-Wallis

5.2.4 Analisi della distribuzione statistica del *dataset* o dei *subsets*

Sulla base del modello concettuale e dei risultati ottenuti dalle elaborazioni precedenti dell'analisi statistica, l'analisi delle distribuzioni di probabilità, finalizzata alla definizione dei valori di fondo naturale di Fe e Mn, è stata effettuata utilizzando il subset di "monte".

Per entrambe le variabili statistiche sono state nuovamente plottate le distribuzioni temporali, per confronto con quelle mostrate in precedenza, e sono stati elaborati un istogramma e una curva cumulativa, utili a descrivere le distribuzioni campionarie (Figura 33). Si è quindi proceduto a confrontare queste distribuzioni campionarie con distribuzioni parametriche di *best-fit* di tipo normale, log-normale, Burr e Weibull (Tabella 15). La probabilità che le distribuzioni parametriche esaminate rispecchino realmente la distribuzione campionaria (ipotesi nulla di nessuna differenza tra distribuzione campionaria e parametrica sotto esame) è stata valutata utilizzando il *p-value* ottenuto dal test di Kolmogorov-Smirnov (Tabella 15), i *QQ plot* (*quantile-quantile plot*) ed i *PP plot* (*probability plot*).

Il confronto con distribuzioni normali mostra come questo tipo di distribuzione non sia adatto a fittare le osservazioni. Infatti il *p-value* ottenuto con il test di Kolmogorov-Smirnov è sempre molto più piccolo del valore critico del 5% e l'ipotesi nulla di nessuna differenza tra la distribuzione normale e la distribuzione campionaria è sempre rigettata. L'analisi dei *QQ* e *PP plot* mostra come questa incompatibilità dipenda dal fatto che le distribuzioni campionarie abbiano la coda destra più pesante e la coda sinistra più leggera (cioè con maggiore e minore densità di frequenza delle osservazioni, rispettivamente), rispetto alle distribuzioni normali, sia nel caso delle concentrazioni di Fe che in quello delle concentrazioni di Mn. Per questo motivo sono state testate anche le distribuzioni log-normali, di Weibull e di Burr, note per avere code destre più pesanti rispetto a quella di una distribuzione normale.

I test sulle distribuzioni log-normali restituiscono *p-values* ancora più piccoli di quelli ottenuti per le distribuzioni normali, mentre i *p-values* relativi alle distribuzioni di Burr e Weibull sono leggermente più grandi

di quelli ottenuti per le distribuzioni normali, anche se sempre inferiori al limite critico del 5%. L'esame visivo dei plot delle distribuzioni cumulative (Figura 33 - Analisi delle distribuzioni statistiche per il subset "monte".) mostra però che le distribuzioni di Weibull sono più vicine alla curva campionaria nel settore destro, tra i percentili 90% e 100%. Questa osservazione è confermata, sia per le concentrazioni di ferro che per quelle di manganese, analizzando i valori numerici dei percentili (

Tabella 16). Sugeriamo quindi che le distribuzioni di Weibull possano essere le più adeguate a rappresentare il comportamento delle popolazioni nel settore destro delle curve cumulative, che è particolarmente importante per la definizione dei valori di fondo naturale.

Tabella 15 - Parametri delle distribuzioni parametriche fittate

	Ferro	Manganese
	—————	—————
Normale μ	3617.8	278.5
Normale σ	1164.2	86.767
Normale p-value	0.00056044	2.1371e-10
LogNormale μ	8.1275	5.5826
LogNormale σ	0.40945	0.30553
LogNormale p-value	2.107e-11	1.5663e-05
Burr α	5646.9	255.31
Burr c	3.8588	5.7723
Burr k	4.4441	0.88666
Burr p-value	0.002108	1.5894e-06
Weibull A	4014.7	309.81
Weibull B	3.2924	3.363
Weibull p-value	0.0004634	1.3595e-08

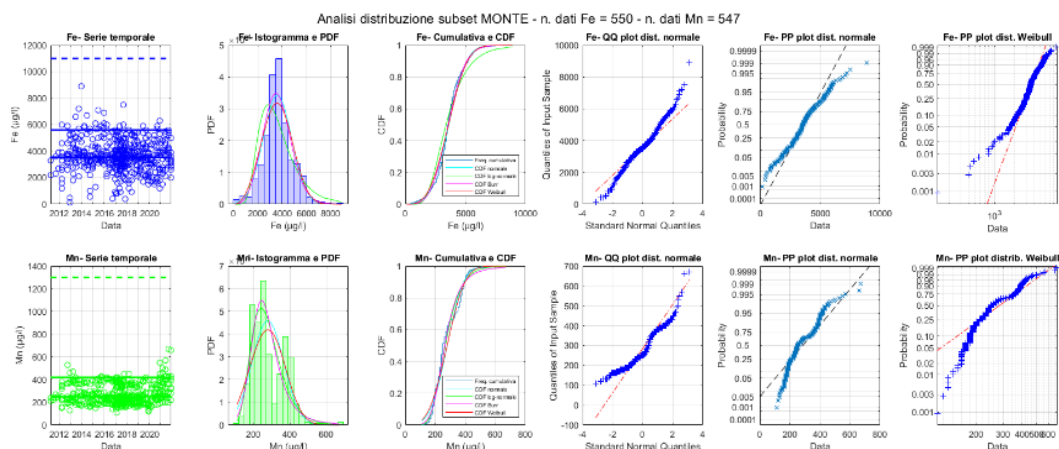


Figura 33 - Analisi delle distribuzioni statistiche per il subset "monte".

Tabella 16 - Percentili delle distribuzioni campionarie e parametriche in µg/l.

Percentile	Fe camp.	Fe Normale	Fe LogNormale	Fe Burr	Fe Weibull	Mn camp.	Mn Normale	Mn LogNormale	Mn Burr	Mn Weibull
1%	800	909	1306	1165	993	139.7	77	131	118	79
5%	1700	1703	1727	1780	1629	170	136	161	157	128
25%	3000	2833	2569	2801	2750	210	220	216	216	214
50%	3550	3618	3386	3561	3592	250	279	266	263	278
75%	4200	4403	4463	4352	4433	360	337	327	321	341
95%	5600	5533	6641	5591	5602	420	421	439	456	429
99%	6700	6326	8778	6594	6384	500.9	480	541	627	488

5.2.5 Analisi spaziale

Alla luce del modello concettuale e dei risultati dei precedenti step di analisi, non si è ritenuto utile procedere con l'analisi spaziale.

5.3 Determinazione dei valori di fondo

5.3.1 Calcolo del valore di fondo come 95° percentile

In base alle indicazioni delle Linee Guida SNPA 08/2018 (paragrafo B10), il valore di fondo naturale può essere definito:

- in modo non parametrico come 95° percentile della distribuzione campionaria;
- in modo parametrico, assunta una distribuzione normale, come *Upper Confidence Limit (UCL)* della media al 95% di probabilità, cioè come valore superiore entro il quale è contenuta la media con il 95% di probabilità;

- in modo parametrico (assunta una distribuzione parametrica) come *Upper Prediction Limit (UPL)* 95%, cioè come valore superiore dell'intervallo di previsione del 95° percentile (che tende da destra al percentile stesso al crescere della dimensione del campione);
- in modo parametrico (assunta una distribuzione parametrica) come *Upper Tolerance Limit (UTL)* 95%-95%, cioè come valore superiore entro il quale è contenuto il 95° percentile con il 95% di probabilità;

In genere questi valori si dispongono nell'ordine crescente:

$$UCL < 95^{\circ} \text{ percentile} < UPL95\% < UTL95\% - 95\%.$$

Nel caso in esame il calcolo di *UCL* non risulta affidabile in quanto la distribuzione non è di tipo normale. D'altra parte, riteniamo cautelativo non utilizzare i valori *UTL*, che condurrebbero alla stima più elevata per i valori di fondo naturale. I valori *UPL95%* della distribuzione di Weibull sono, data l'elevata numerosità delle osservazioni (Fe: 550; Mn: 547), di fatto indistinguibili dal 95° percentile calcolato sulla distribuzione stessa e sono di poco superiori al 95° percentile della distribuzione campionaria, come si può verificare nella Tabella 5. Riteniamo quindi cautelativo esprimere i valori di fondo naturale come 95° percentile della distribuzione campionaria o, in alternativa, come *UPL95%* della distribuzione di Weibull (95° percentile calcolato sulla distribuzione stessa). Questi valori sono plottati in Figura 6 ed elencati nella Tabella 6.

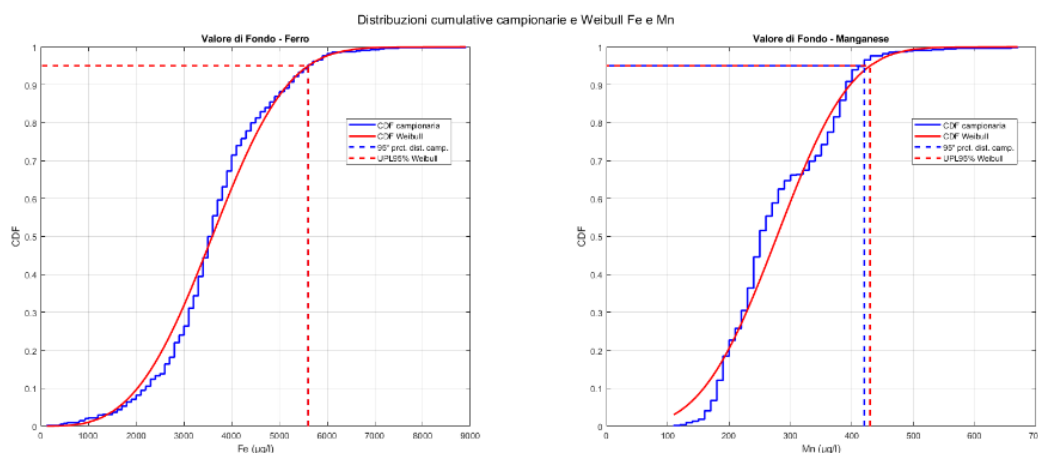


Figura 34 - Distribuzioni statistiche e valori di fondo naturali per le concentrazioni di Fe e Mn

Tabella 17 - Percentili 95% delle distribuzioni campionarie e di Weibull in µg/l

	Ferro	Manganese
	_____	_____
Dist. campionaria 95° percentile	5600	420
Dist. Weibull UPL95%	5602	429

5.3.2 Modello geostatistico

Alla luce del modello concettuale e dei risultati dei precedenti step di analisi, non si è ritenuto utile procedere con l'analisi spaziale.

6 Conclusioni

La presente relazione è stata predisposta al fine di fornire elementi utili alla definizione dell'origine dei superamenti delle CSC per i parametri Ferro e Manganese riscontrati nelle acque sotterranee in prossimità dell'area impiantistica ACR.

Concentrazioni di Ferro e Manganese superiori alle CSC nelle acque sotterranee rappresentano una situazione diffusa nell'area di pianura del Modenese in relazione alle condizioni ossido-riduttive della falda e risulta consolidato che la presenza degli stessi è correlata alla qualità del fondo naturale.

In considerazione di quanto sopra esposto si è proceduto, come suggerito da Arpae, all'applicazione delle linee guida SNPA/2018 per la definizione dei valori di fondo come da schema A previsto per la determinazione dei VF nei contesti dei siti contaminati, dell'inquinamento diffuso e terre e rocce da scavo.

A seguito dell'applicazione della procedura prevista sono stati definiti i valori di fondo per Ferro e Manganese che vengono presentati come elemento di valutazione da parte di Arpae. Si nota che tali valori di fondo sono confrontabili con i valori proposti da Arpae con la comunicazione del 23/12/2021 (PG 197921).

In conclusione, si può affermare che i valori di Ferro e Manganese superiori alle CSC riscontrati nelle campagne di monitoraggio del 2020 e 2021 possano essere riconducibili a valori di fondo di tali parametri.

ALLEGATO

A

Analisi valori di fondo di Fe e Mn – Mirandola

1 Programmazione, acquisizione ed analisi preliminare dei dati

1.1 Trattamento dei valori <LOQ, <LOD

L'analisi delle concentrazioni misurate per i parametri Fe e Mn riportate nel DB ha mostrato che non sono presenti valori < LOD/LOQ, con l'eccezione della concentrazione di Mn nel piezometro ACR P1 (a valle della discarica ACR) analizzato il 25/9/2012. In questo caso isolato si è assunto un valore di 10 µg/l, pari alla metà del limite di rilevabilità di 20 µg/l (approccio *medium bound*). Riteniamo che questo singolo valore sia da considerare irrilevante ai fini dell'analisi statistica dell'intero *dataset*.

1.2 Organizzazione del DB

I risultati delle campagne di monitoraggio dal 2011 al 2021 della discarica ACR e i dati ricevuti dalla società RIECO sono stati riuniti in un unico foglio Excel (Acque Sotterranee ACR&RIECO merge.xlsx). Le colonne della tabella Excel riportano tutte le variabili (variabili statistiche) di interesse per questa analisi (colonne Ferro e Manganese), alcune variabili accessorie (colonne pH e Conducibilità), i campi utili ad identificare i singoli piezometri (colonna Piezometro), i subset definiti in base al modello concettuale (colonna Subset: RIECO_monte, RIECO_valle, ACR_monte, ACR_valle), e la data del campionamento (colonne Data, Giornata, Mese, Anno). Le colonne di interesse sono state quindi importate dinamicamente in questo documento ai fini dell'analisi statistica.

Tabella 1 - Estrazione delle prime 10 righe del database importato per le analisi statistiche.

Discarica	Piezometro	Subset	Data	Giorno	Mese	Anno	pH	Conducibilità	Ferro	Manganese
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	27-Mar-2012	27	3	2012	7.3	1800	3300	350
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	25-Sep-2012	25	9	2012	7.4	1800	3600	370
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	12-Dec-2012	12	12	2012	7.8	1800	7500	380
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	27-Mar-2013	27	3	2013	7.6	1800	4300	400
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	18-Jun-2013	18	6	2013	7.6	1700	3300	360
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	24-Sep-2013	24	9	2013	7.5	1900	4000	360
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	18-Dec-2013	18	12	2013	7.5	1800	6100	390
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	25-Mar-2014	25	3	2014	7.4	1700	3700	370
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	18-Jun-2014	18	6	2014	7.5	1900	3400	370
"RIECO"	"PR1"	"A_RIECO_monte"	24-Sep-2014	24	9	2014	7.4	2000	3700	360

1.3 Adeguatezza della consistenza del dataset in funzione degli obiettivi dello studio

Il Dataset utilizzato per l'analisi statistica è costituito da 704 osservazioni relative a concentrazioni di Ferro e altrettante osservazioni di concentrazioni di Manganese, ottenute in circa 10 anni di monitoraggio su 23 piezometri distribuiti a monte e valle del sito di interesse. Salvo 4 eccezioni, tutti i piezometri mostrano serie temporali con un numero di osservazioni compreso tra 21 e 47. Le eccezioni riguardano i piezometri più recenti della discarica RIECO che mostrano serie temporali limitate. I dati analitici totali, per subset e per ogni piezometro sono elencati nelle tabelle seguenti e sono considerati sufficienti per gli obiettivi dello studio.

Tabella 2 - Elenco subset con indicazione del numero di piezometri e osservazioni.

Subset	N. piezometri	N. osservazioni
"A_RIECO_monte"	7	184

"B_RIECO_valle"	9	259
"C_ACR_monte"	3	119
"D_ACR_valle"	4	142
"totale"	23	704

Tabella 3 - Elenco piezometri con indicazione del subset e del numero di osservazioni.

Piezometro	Subset	N. osservazioni
"P0"	"C_ACR_monte"	43
"P1"	"D_ACR_valle"	44
"P2"	"D_ACR_valle"	44
"P3"	"C_ACR_monte"	44
"PR1"	"A_RIECO_monte"	47
"PR2"	"B_RIECO_valle"	27
"PR3"	"A_RIECO_monte"	39
"PR4"	"B_RIECO_valle"	43
"PR5"	"B_RIECO_valle"	43
"PR6"	"A_RIECO_monte"	40
"PR7"	"B_RIECO_valle"	43
"PR8"	"A_RIECO_monte"	40
"PRX1"	"B_RIECO_valle"	28
"PRX2"	"B_RIECO_valle"	21
"PRX3"	"A_RIECO_monte"	8
"PRX6"	"A_RIECO_monte"	5
"PRX8"	"A_RIECO_monte"	5
"PRX9"	"B_RIECO_valle"	5
"PRY1"	"B_RIECO_valle"	28
"PRY2"	"B_RIECO_valle"	21
"Px"	"C_ACR_monte"	32
"Py"	"D_ACR_valle"	32
"Pz"	"D_ACR_valle"	22

2 Analisi dei dati

2.1 Analisi temporale

Al fine di verificare la stazionarietà nel tempo delle concentrazioni osservate si è effettuata una analisi delle serie temporali per ogni piezometro che sono state elaborate, come suggerito dalle Linee Guida SNPA 08/2018, come concentrazioni in funzione del tempo (Figura 1). A scopo di confronto tra i diversi piezometri, in questi diagrammi vengono rappresentate anche le concentrazioni massima e media globali (calcolate su tutto il dataset, linee spesse tratteggiate).

Dato che la semplice analisi visiva dei plot mostra scarse o nulle evidenze di una dipendenza delle concentrazioni dal tempo, prima di effettuare analisi statistiche più avanzate sono stati calcolati il coefficiente di correlazione (parametrico) di Pearson r_P e il coefficiente di correlazione non-parametrico di Spearman r_S , e sono state verificate le ipotesi nulle dei coefficienti di correlazione $r_P = 0$ e $r_S = 0$.

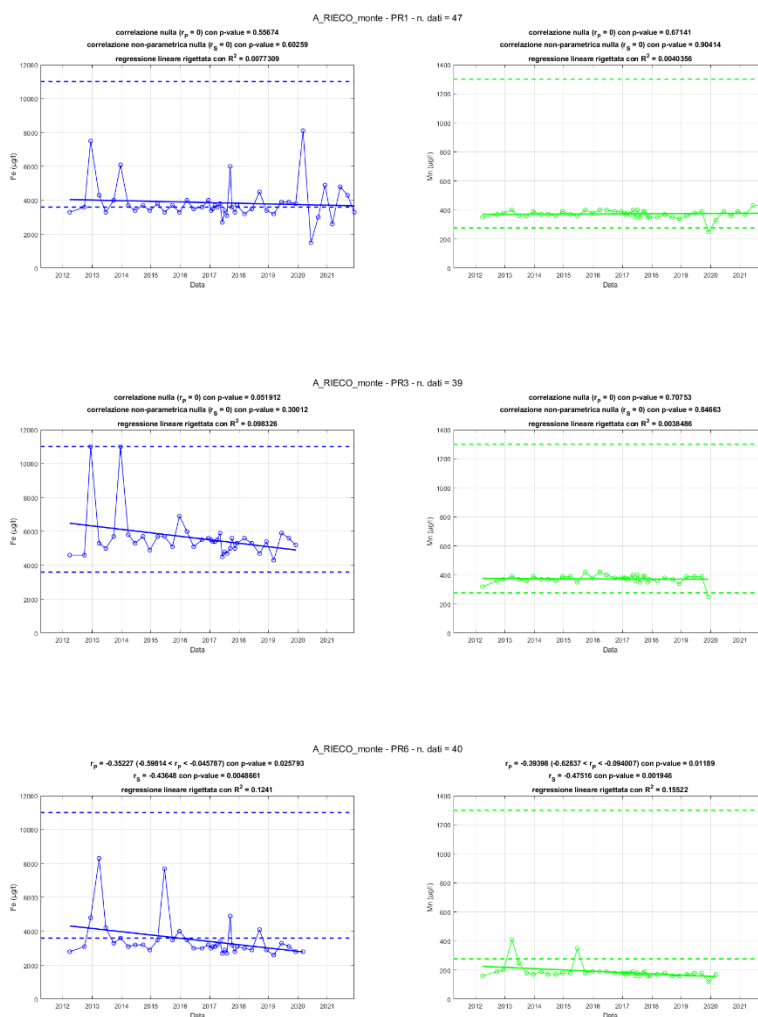
L'analisi del coefficiente di correlazione di Pearson r_P ha restituito nella maggioranza dei casi coefficienti significativamente nulli (evidenza di nessuna correlazione lineare delle variabili concentrazione di Fe o Mn con la variabile tempo). I casi in cui esiste una correlazione significativa restituiscono comunque coefficienti di correlazione molto piccoli o prossimi a zero.

Anche l'analisi del coefficiente di correlazione non-parametrico di Spearman r_s ha restituito nella maggioranza dei casi coefficienti significativamente nulli (evidenza di nessuna correlazione delle variabili concentrazione di Fe o Mn con la variabile tempo). Questa verifica è di particolare interesse in quanto esclude anche la possibilità di correlazione non-lineare. I casi in cui esiste una correlazione significativa restituiscono comunque coefficienti di correlazione molto piccoli o prossimi a zero.

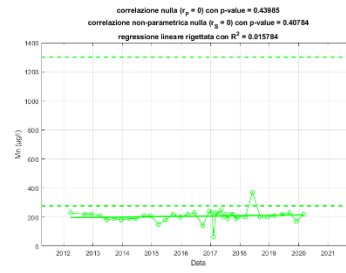
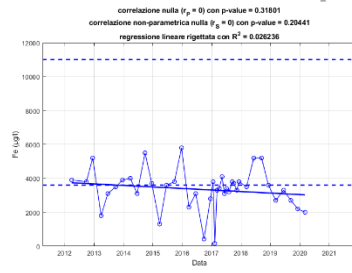
Per tutte le serie temporali sono state comunque calcolate e plottate le rette di correlazione lineare (linee spesse continue) che, in modo coerente con i risultati relativi ai coefficienti di correlazione, hanno pendenze molto ridotte o nulle e valori di $R^2 \ll 0.95$, normalmente considerato come valore critico per accettare una retta di regressione. Tra l'altro notiamo come questi casi corrispondano spesso ai piezometri con serie temporali più limitate e osservazioni meno numerose.

Riteniamo che si possa concludere quindi, senza necessità di ulteriori analisi statistiche, che non vi sono evidenze di variazioni delle concentrazioni nel tempo, e che le concentrazioni osservate sono da considerarsi pertanto stazionarie.

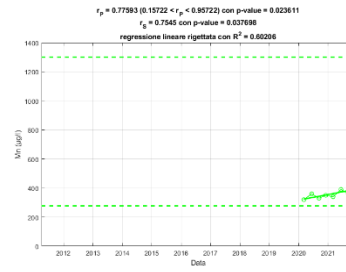
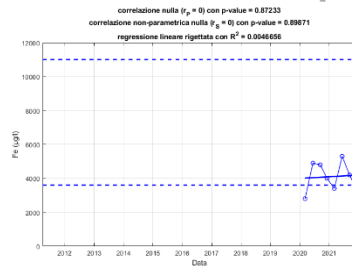
Figura 1 - Serie temporali delle concentrazioni di Fe e Mn per singolo piezometro.



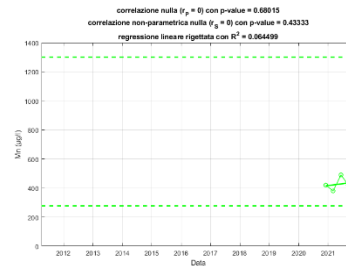
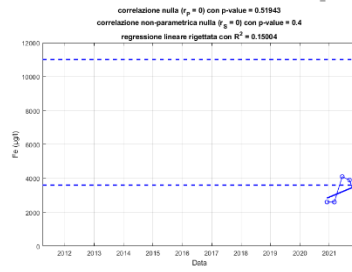
A_RIECO_monte - PR8 - n. dati = 40



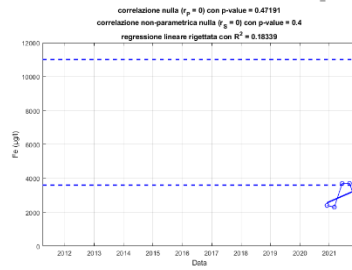
A_RIECO_monte - PRX3 - n. dati = 8



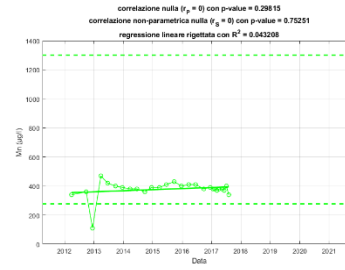
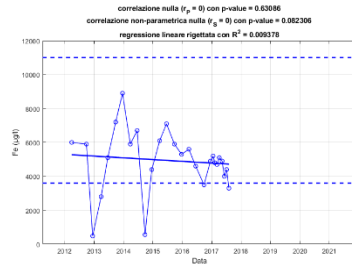
A_RIECO_monte - PRX6 - n. dati = 5



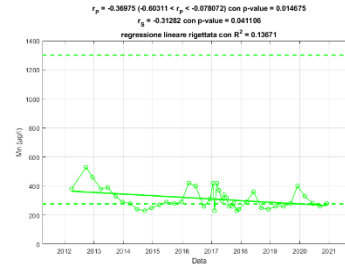
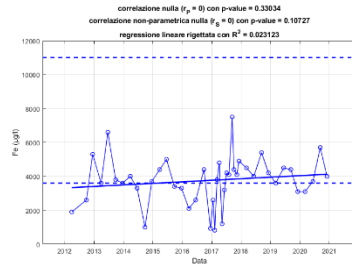
A_RIECO_monte - PRX8 - n. dati = 5



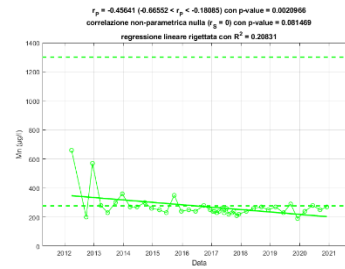
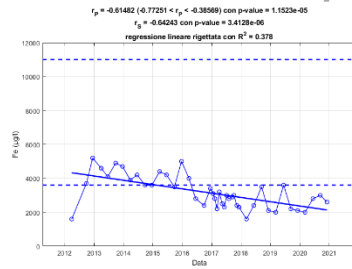
B_RIECO_valle - PR2 - n. dati = 27



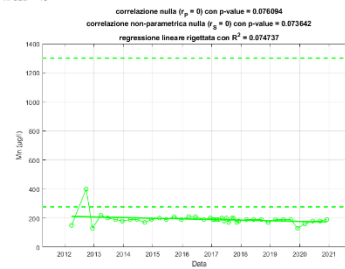
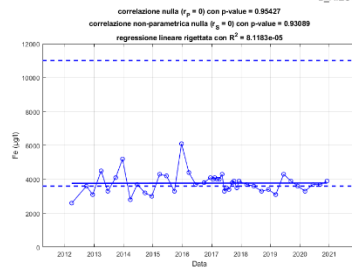
B_RIECO_valle - PR4 - n. dati = 43



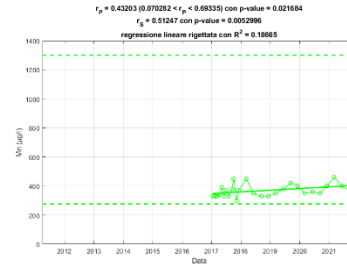
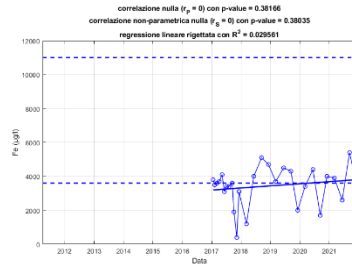
B_RIECO_valle - PR5 - n. dati = 43



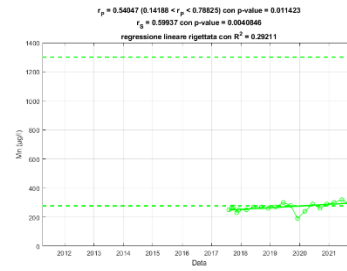
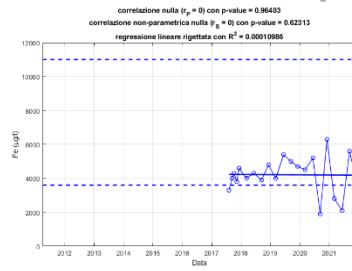
B_RIECO_valle - PR7 - n. dati = 43



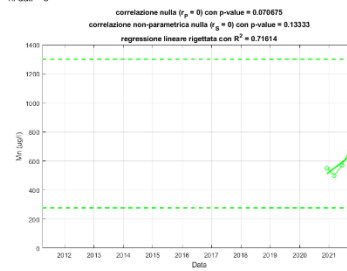
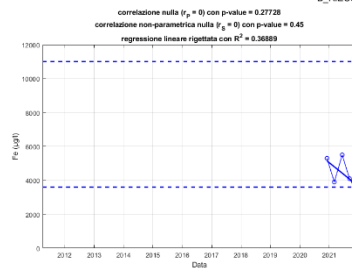
B_RIECO_valle - PRX1 - n. dati = 29



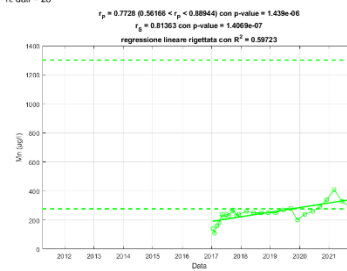
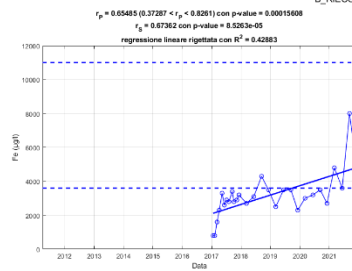
B_RIECO_valle - PRX2 - n. dati = 21



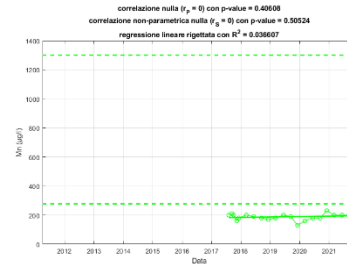
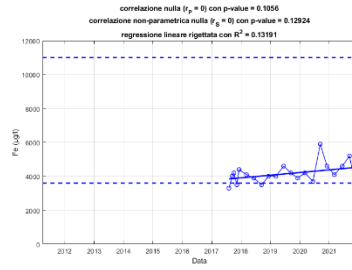
B_RIECO_valle - PRX9 - n. dati = 5



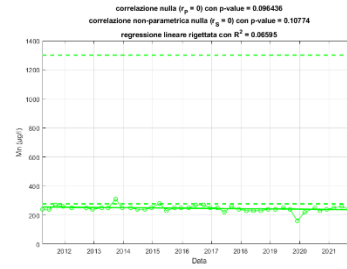
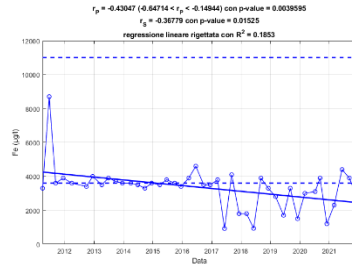
B_RIECO_valle - PRY1 - n. dati = 26



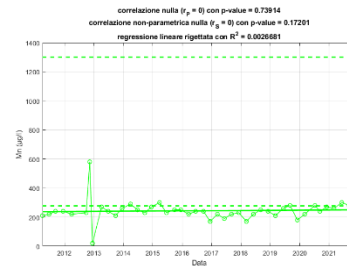
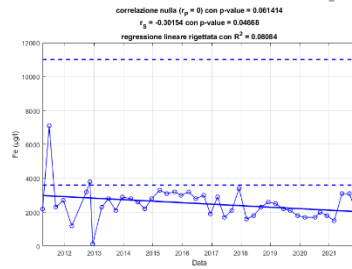
B_RIECO_valle - PRY2 - n. dati = 21



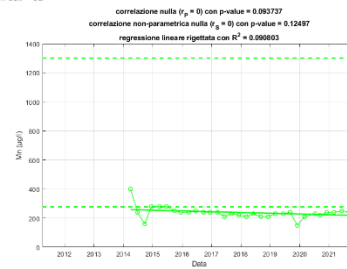
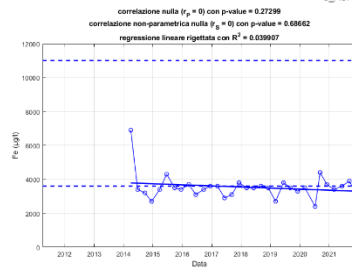
C_ACR_monite - P0 - n. dati = 43

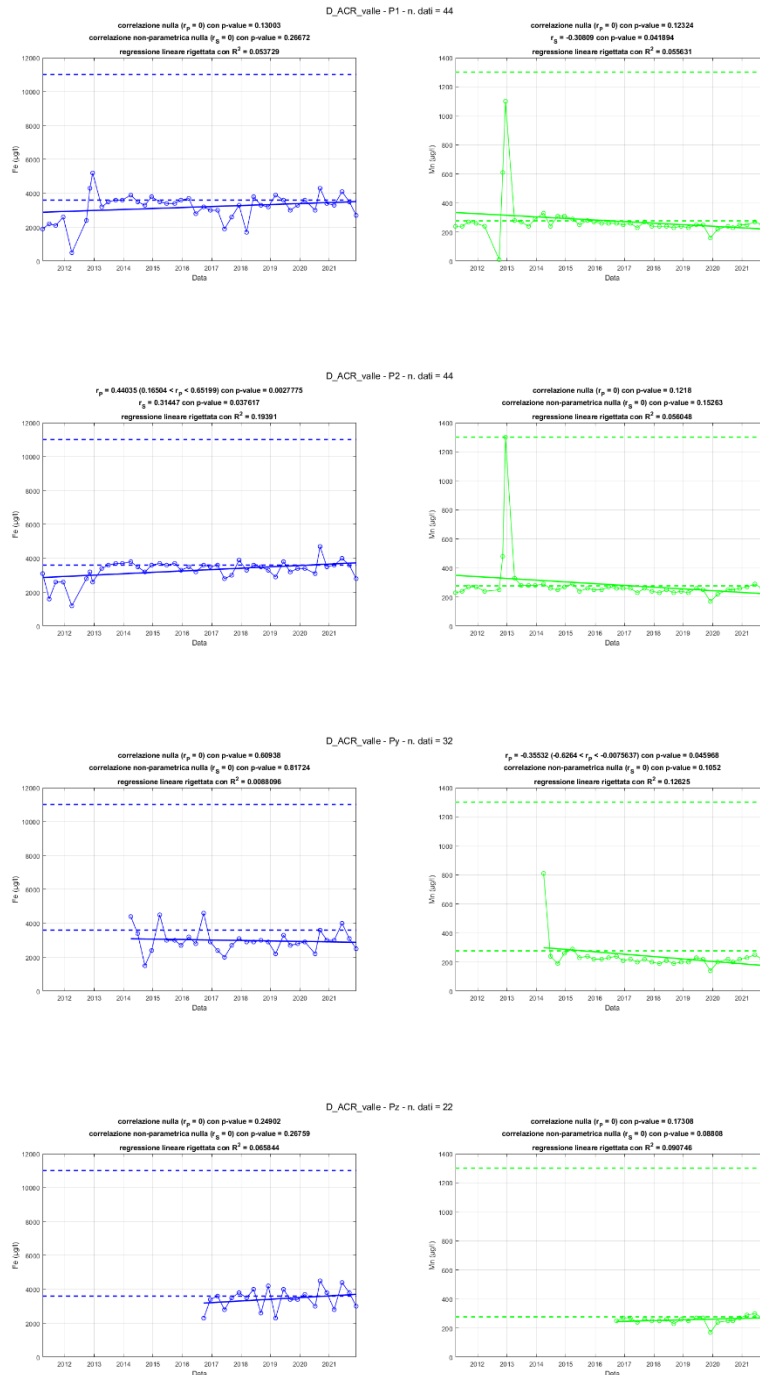


C_ACR_monite - P3 - n. dati = 44



C_ACR_monite - Px - n. dati = 32





2.2 Riconoscimento e gestione degli *outlier*

Un altro elemento necessario per l'elaborazione statistica è il riconoscimento di eventuali di *outliers* che dovranno essere esclusi dalle successive fasi di analisi. A questo proposito si ricorda che non esiste in statistica una definizione quantitativamente univoca e rigorosa per gli *outliers*, che qualitativamente corrispondono a valori anomali, chiaramente distanti dalle altre osservazioni che compongono il campione esaminato. Gli *outliers* vengono normalmente esclusi dall'analisi statistica in quanto si ritiene che siano il prodotto di misure o analisi soggette ad errori sperimentali anomali, e come tali non rappresentative delle reali proprietà della popolazione. L'analisi che segue è finalizzata

a definire un criterio univoco, applicabile al caso di studio, per riconoscere e poi escludere dall'analisi statistica gli *outliers*. A questo scopo vengono plottate le serie temporali, i *box plot*, i *Normal QQ plot* e gli istogrammi di frequenza delle concentrazioni osservate per i singoli piezometri (Figura 2).

I plot delle serie temporali rappresentano semplicemente le concentrazioni osservate nelle analisi effettuate nel tempo per ogni singolo piezometro. Allo scopo di confronto tra i diversi piezometri, in questi plot vengono rappresentate anche le concentrazioni massima e media globali (calcolate su tutto il dataset, linee spesse tratteggiate).

Nei *box and whisker plot* la base inferiore e superiore del rettangolo (*box*) rappresentano rispettivamente il 25-esimo e il 75-esimo percentile (I e III quartile). La linea all'interno del rettangolo rappresenta la mediana (= 50-esimo percentile). Il valore di *step* corrisponde ad un multiplo del *range* interquartile (differenza fra il I e III quartile) ed è generalmente usato per definire un limite superiore ed un limite inferiore per i valori delle osservazioni considerate non anomale. Le linee dette *whisker* (baffi), che si estendono sopra e sotto il *box*, delimitano il campo compreso tra il primo valore inferiore al limite superiore e il primo valore superiore al limite inferiore (*upper e lower fence*). Gli eventuali valori esterni a questo campo sono plottati con crocette rosse e potenzialmente interpretati come *outlier*. Uno dei vantaggi di questo metodo di deteazione degli *outliers* è che non si assume che le osservazioni abbiano una distribuzione normale (Gaussiana). Per facilitare il confronto tra diversi plot, questi limiti e la mediana sono stati riportati anche sui *plot* delle serie temporali (*box* ombreggiato e linee spesse).

Per indagare più a fondo la possibile presenza di *outlier* sono stati utilizzati anche dei *Normal QQ plot* che mettono a confronto i quantili ottenuti dal campione rappresentato dalle osservazioni effettuate su ogni piezometro con quelli di una distribuzione normale (Gaussiana). Se il campione segue una distribuzione normale i punti rappresentati nel *Normal QQ plot* si dispongono lungo una retta con pendenza positiva, mentre gli scostamenti rispetto a questa retta possono essere interpretati come *outliers*.

Infine, sono stati plottati gli istogrammi di frequenza e si è proceduto a fittare le osservazioni con una *probability density function (PDF)* normale (curva rossa). Nei relativi plot viene riportato il *p-value* di questa distribuzione secondo il test di Lilliefors ed è indicato se questa è stata accettata o rigettata al 95% di probabilità.

Per indagare sulla possibile presenza di outlier le Linee Guida suggeriscono anche l'uso dei seguenti test statistici:

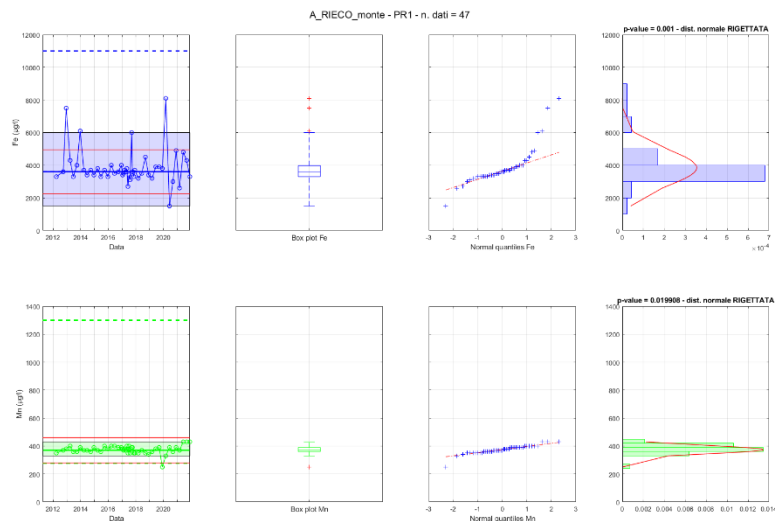
- Test di Rosner, adatto a evidenziare da 2 a 5 *outliers* in campioni con numero di osservazioni >25 e distribuzione normale (per il campione privo di outlier);
- Test di Dixon, adatto a evidenziare un solo *outlier* in campioni con numero di osservazioni ≤25 e distribuzione normale (per il campione privo di outlier);
- Discordance test, adatto a evidenziare *outliers* multipli in campioni con numero di osservazioni ≤50 e distribuzione normale (per il campione privo di outlier);
- Test di Walsh, adatto a evidenziare *outliers* multipli in campioni con numero di osservazioni >60 e qualunque distribuzione (test non parametrico);
- Test di Huber, adatto a evidenziare *outliers* multipli in campioni con numerosità variabile e qualunque distribuzione.

Nel caso in esame il test di Walsh non è mai applicabile a causa del limitato numero di osservazioni, ed i test che assumono una distribuzione normale (Rosner, Dixon e discordance) non possono essere

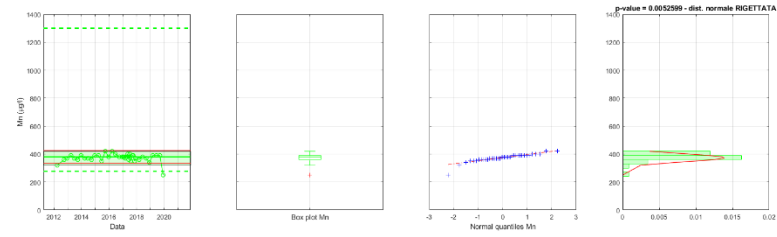
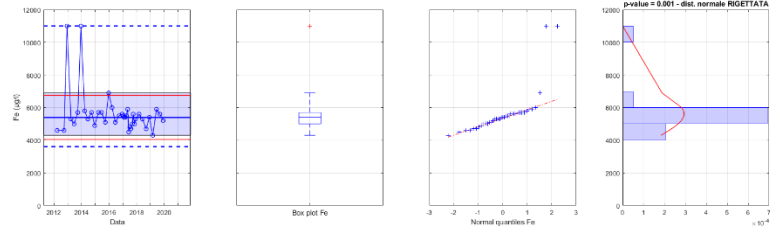
applicati a molti dei piezometri, che mostrano distribuzioni non-normali, come evidenziato dai plot con istogramma e PDF normale. Risulta applicabile quindi il solo test di Huber, i cui valori-soglia superiore e inferiore sono rappresentati nei plot delle serie temporali con linee rosse continue.

Nel caso analizzato, al termine dell'analisi effettuata su tutti i campioni statistici (= piezometri) si è deciso di adottare un criterio uniforme secondo il quale vengono considerate come *outliers* ed escluse dalle analisi successive le osservazioni (crocette rosse nei box plot) che cadono al di fuori del *range* (*upper e lower fence*) ottenuto utilizzando nel *box plot* un valore di *step* pari a 3 volte il *range* interquartile. Questo criterio coincide in molti casi con il risultato del test di Huber, anche se risulta essere più restrittivo nel caso di alcuni piezometri che mostrano distribuzioni piuttosto asimmetriche o multimodali. Nel corso dell'analisi erano stati tentativamente considerati anche valori di *step* più ridotti, pari a 1.5 volte il *range* interquartile, ma questo avrebbe portato a classificare come *outliers* un gran numero di osservazioni, in contrasto con il test di Huber e snaturando il concetto stesso di *outlier*, che per definizione deve rappresentare un'eccezione all'interno di un dataset statistico.

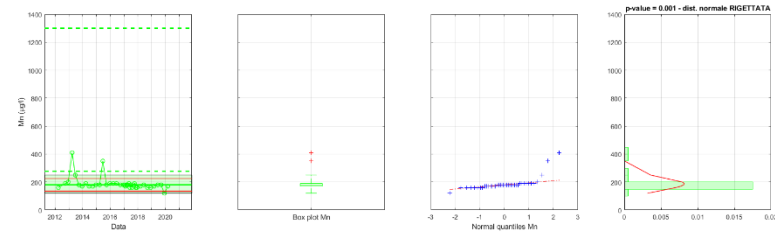
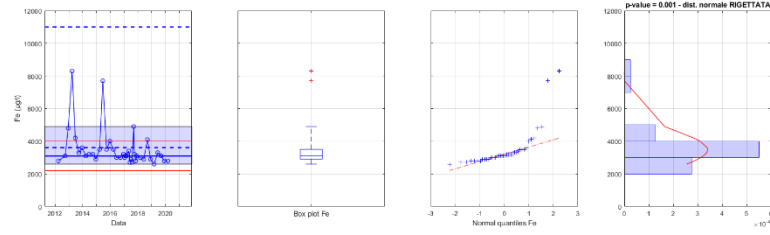
Figura 2 - Analisi degli outlier nelle osservazioni per singolo piezometro.

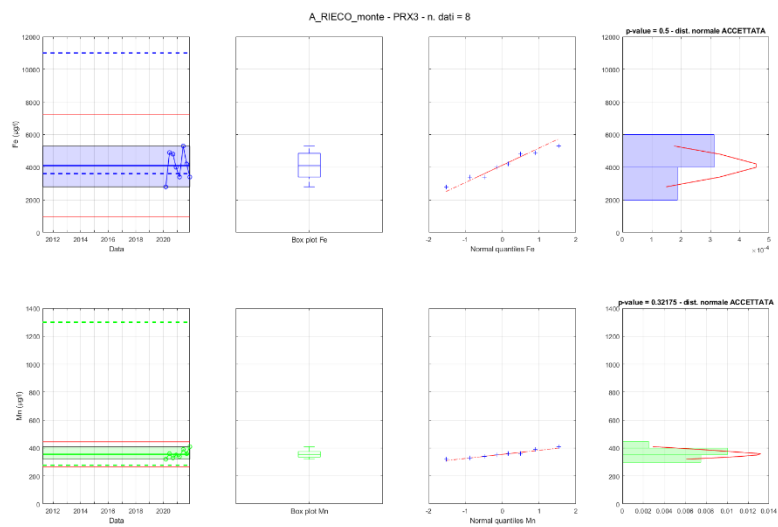
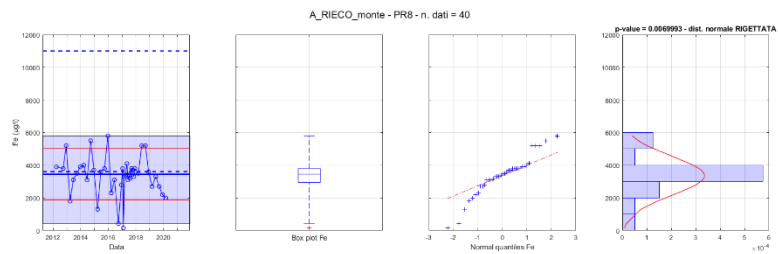


A_RIECO_monte - PR3 - n. dati = 39

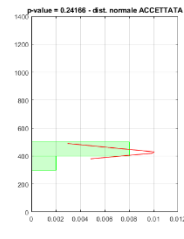
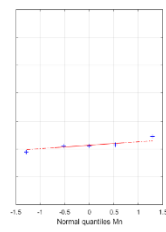
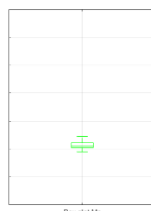
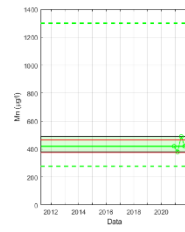
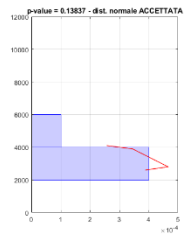
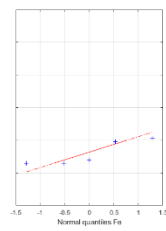
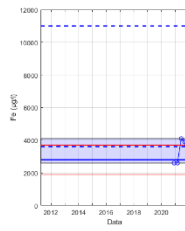


A_RIECO_monte - PR6 - n. dati = 40

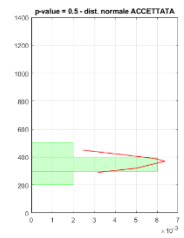
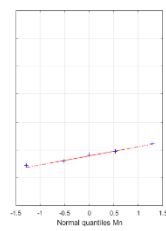
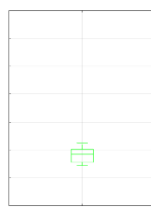
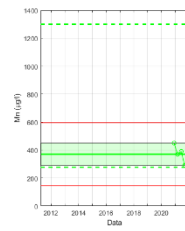
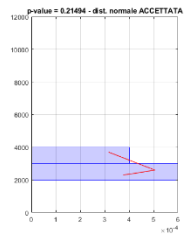
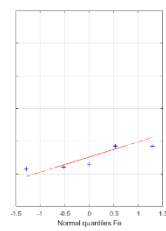
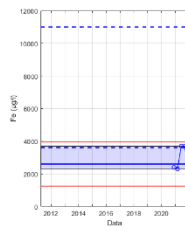


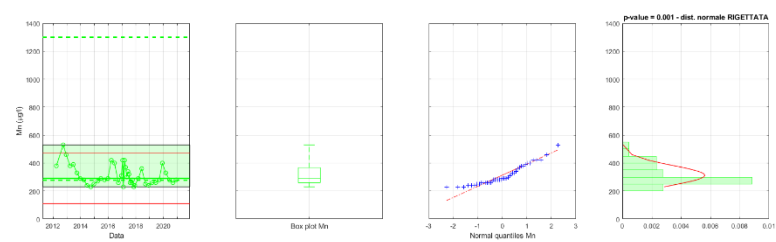
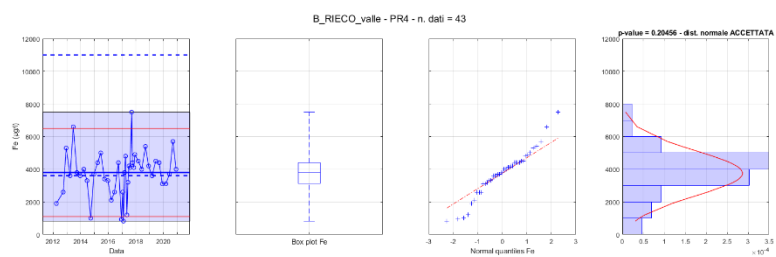
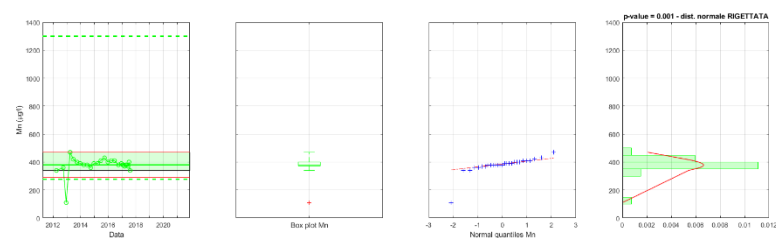
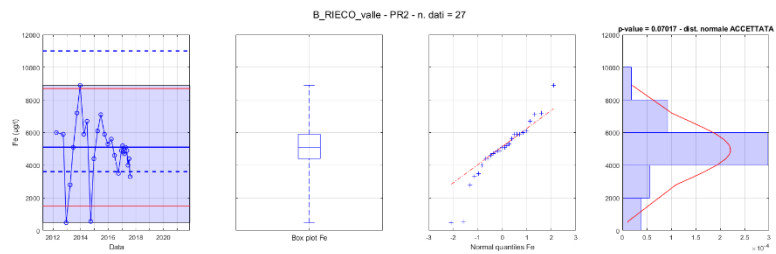


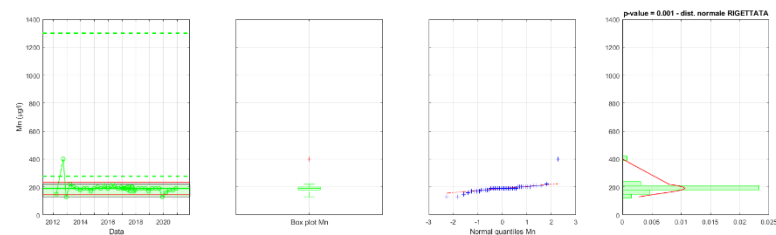
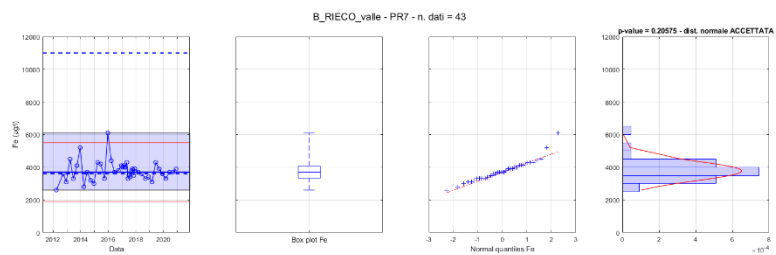
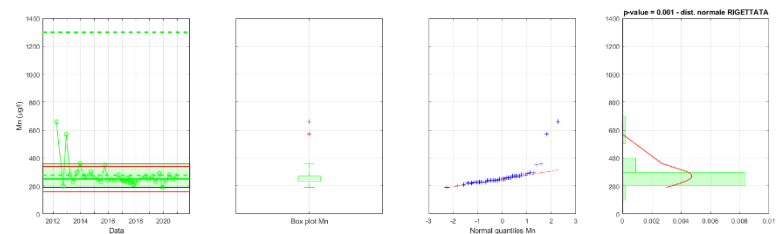
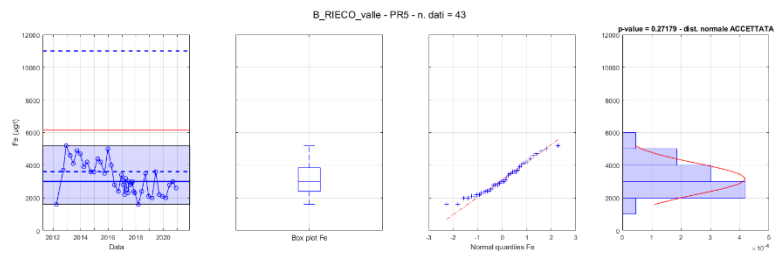
A_RIECO_monte - PRX8 - n. dati = 5

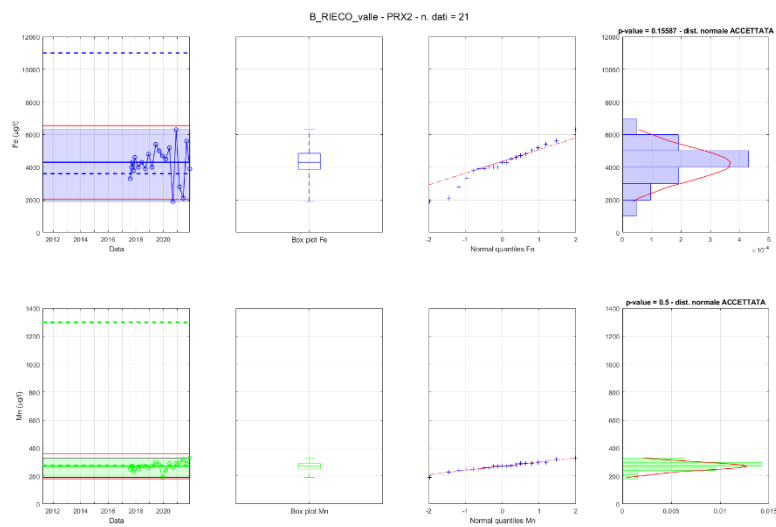
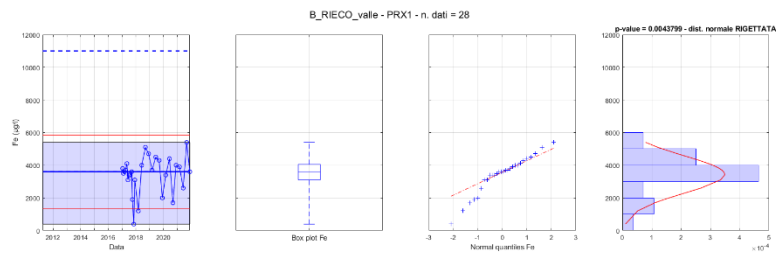


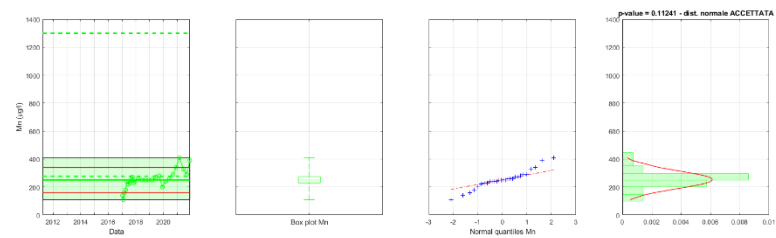
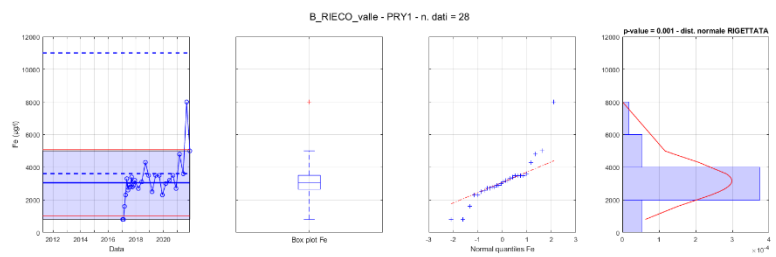
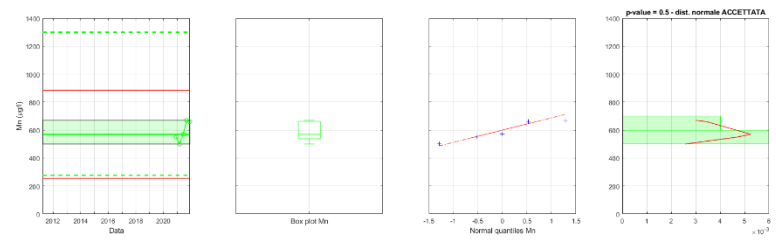
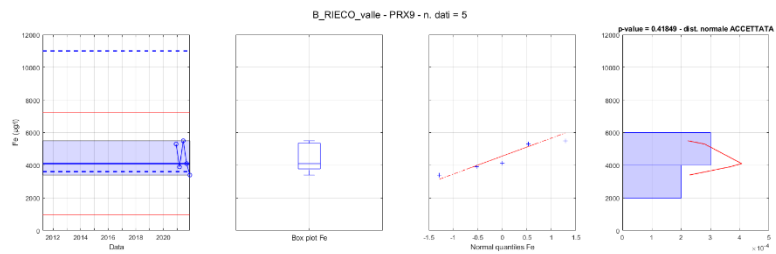
A_RIECO_monte - PRX8 - n. dati = 5

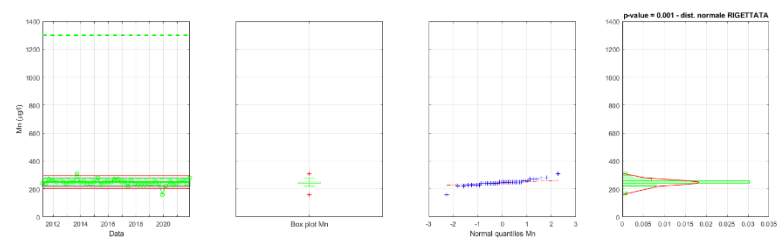
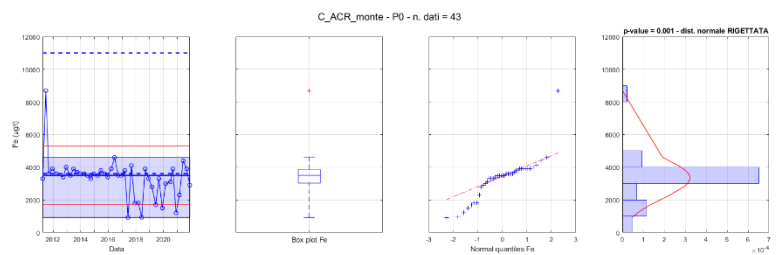
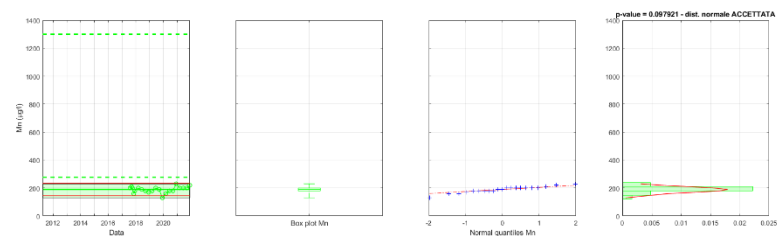
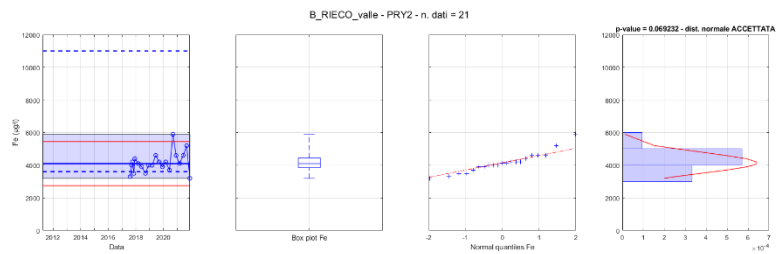


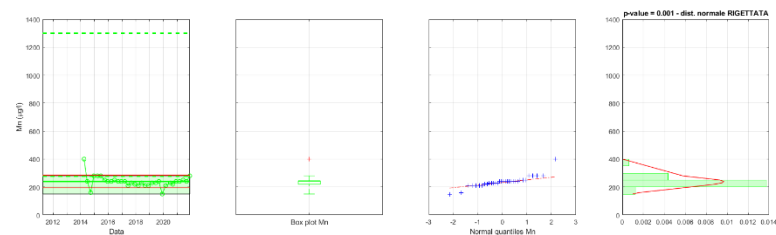
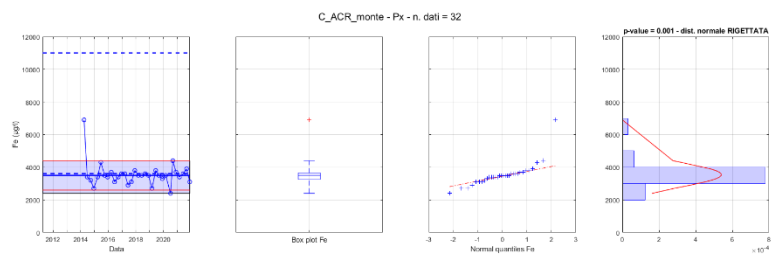
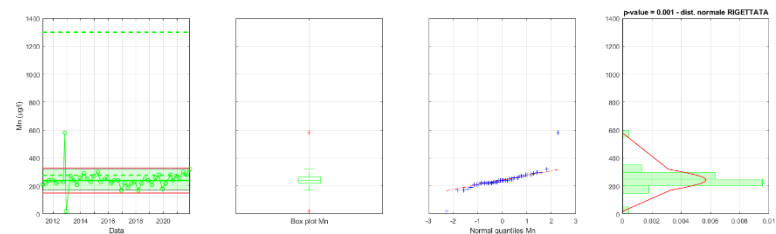
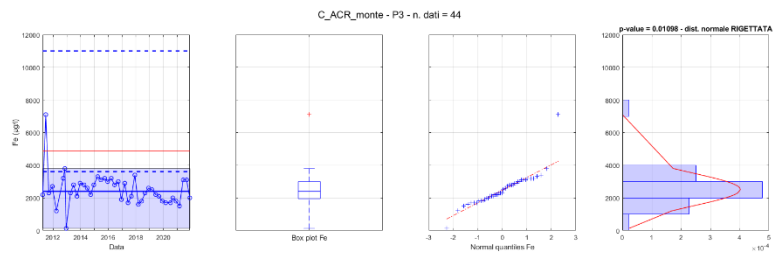


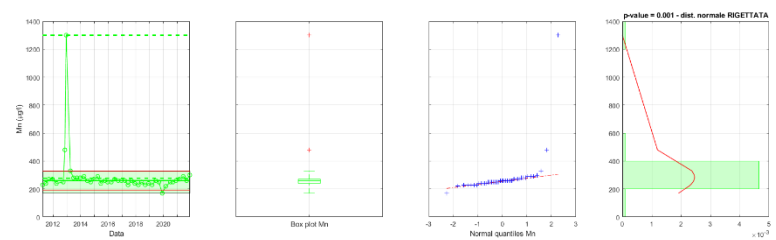
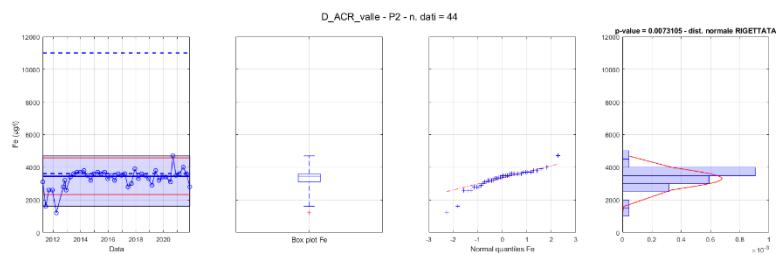
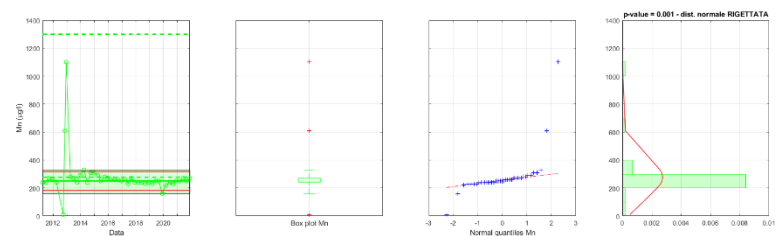
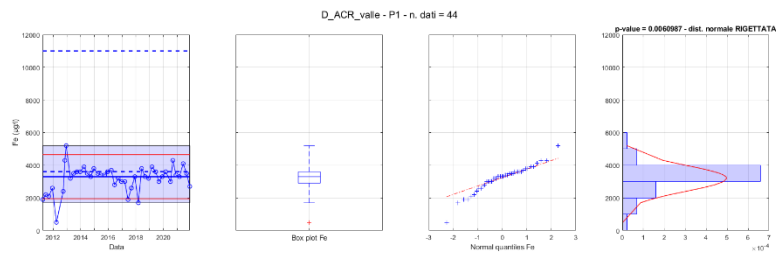


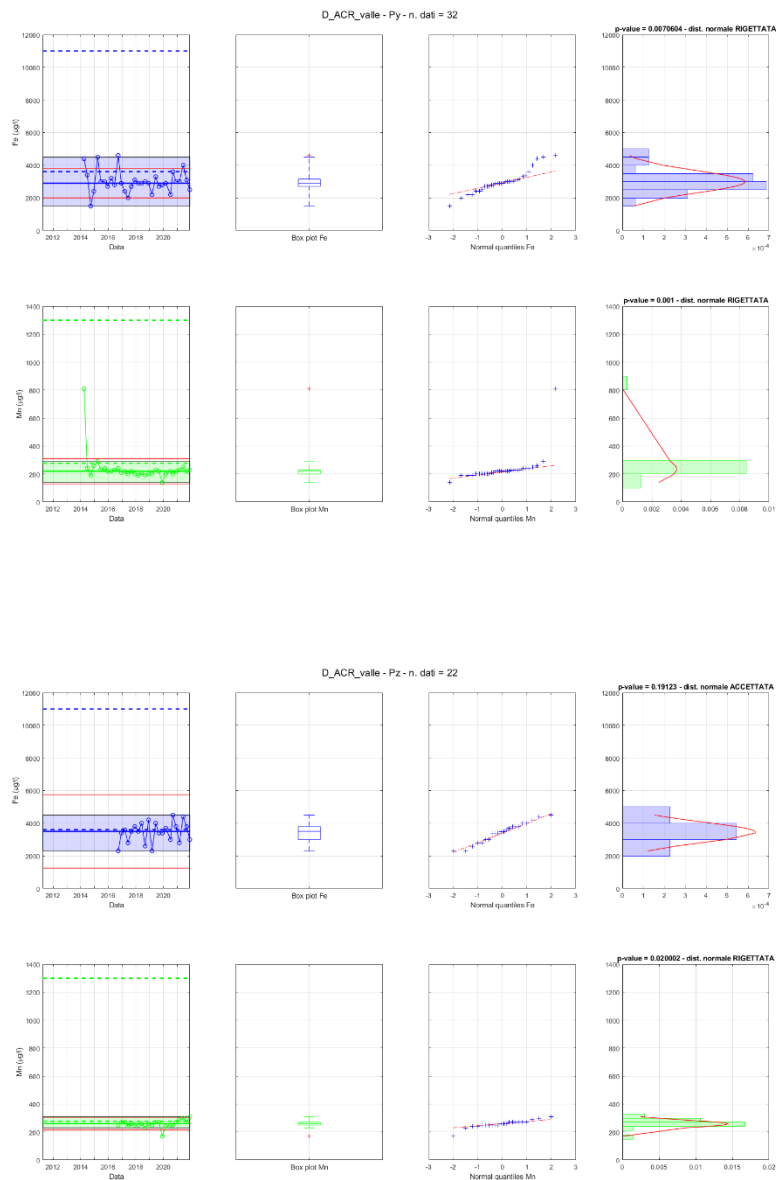






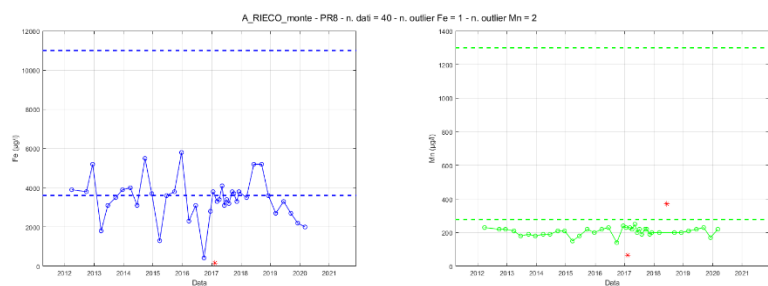
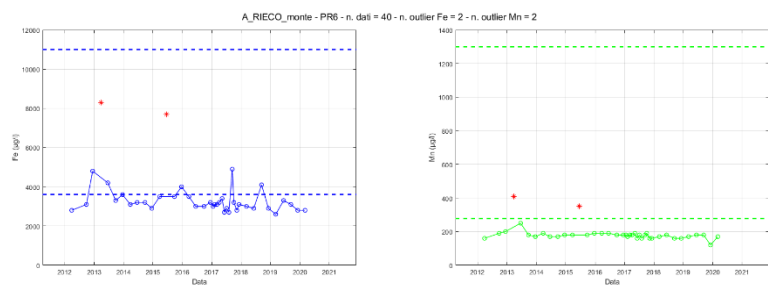
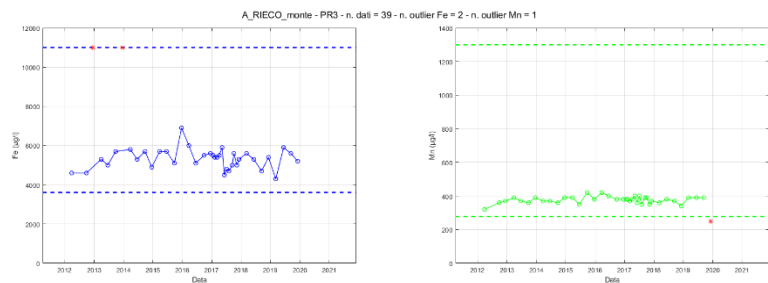
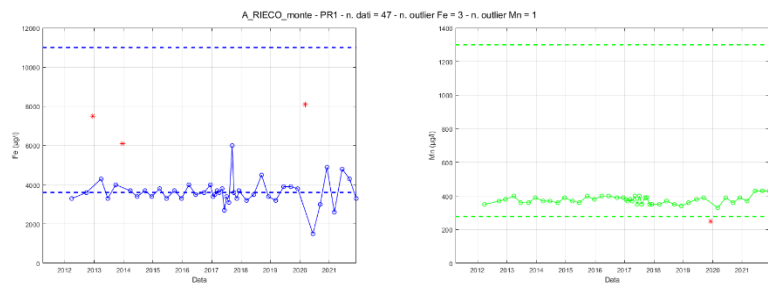


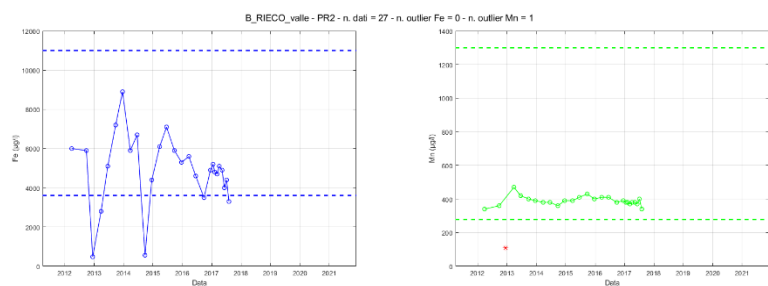
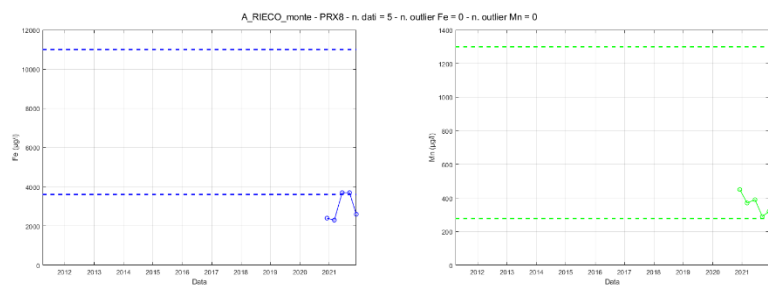
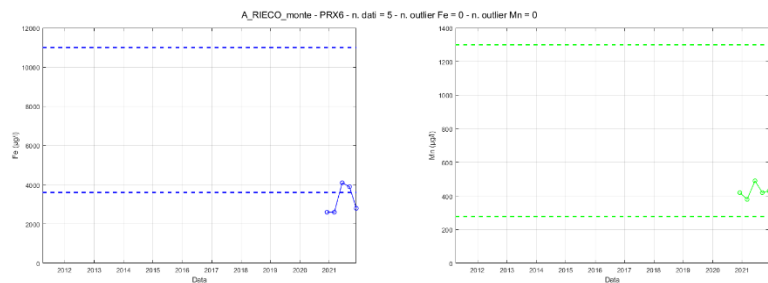
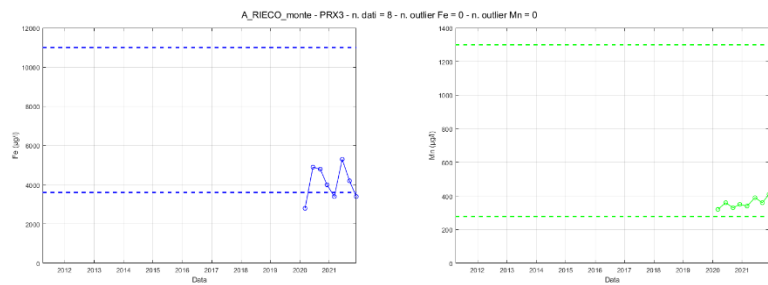


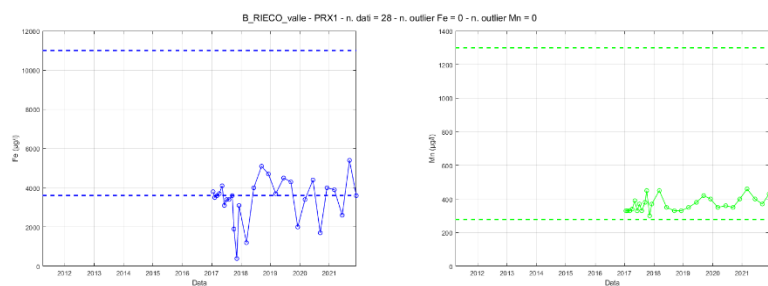
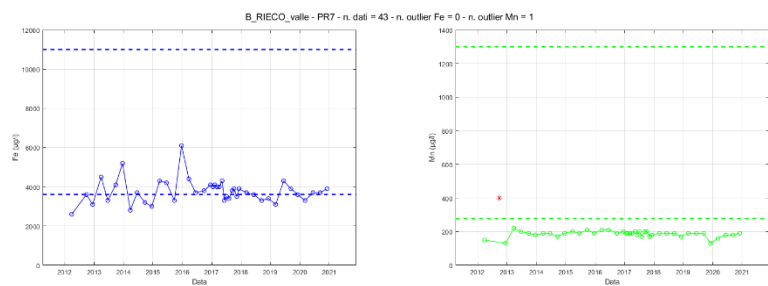
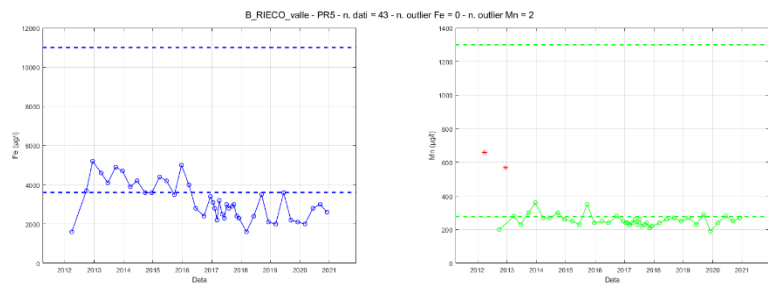
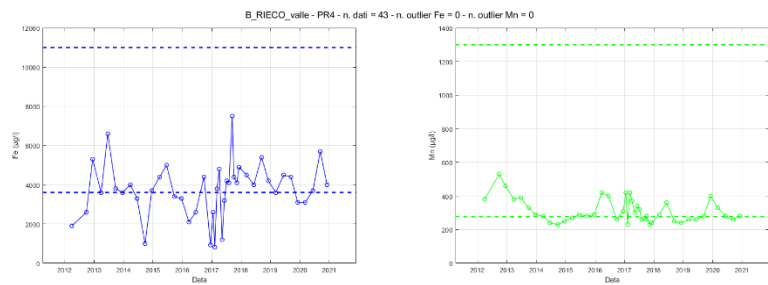


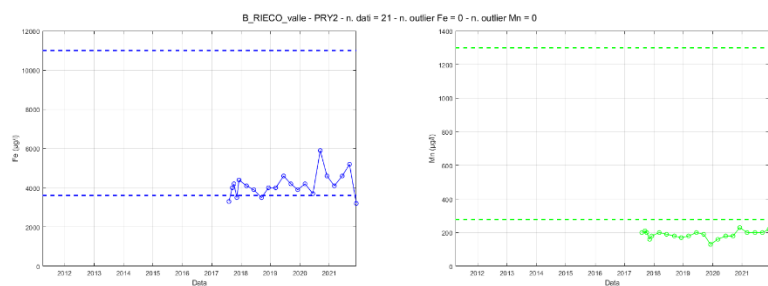
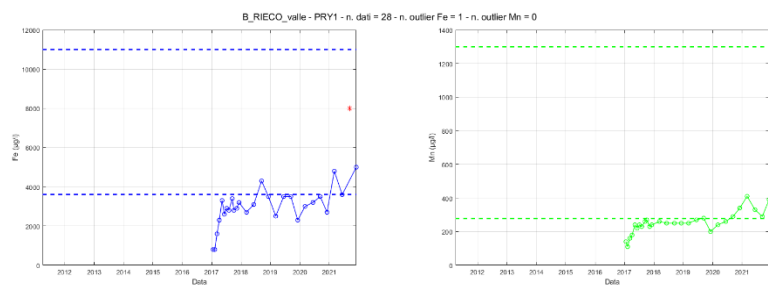
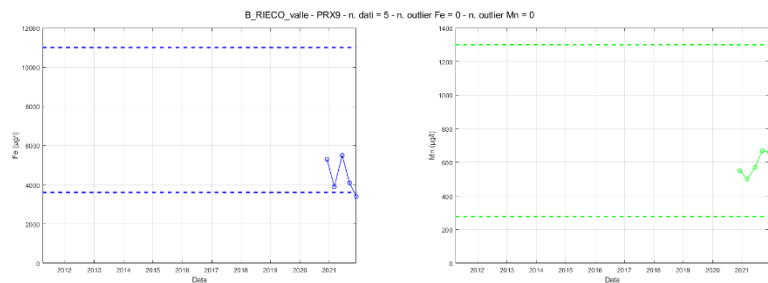
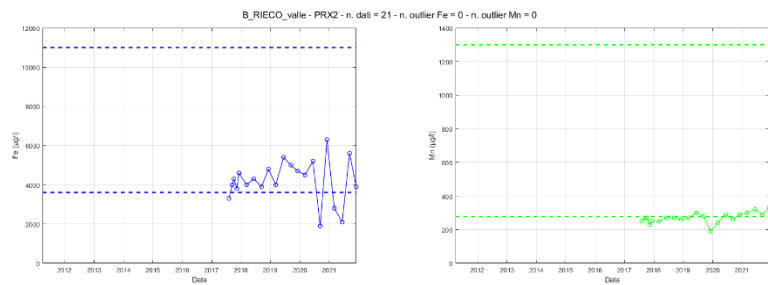
Al termine di questa analisi sono state estratte le serie temporali con *outlier* esclusi. Le osservazioni sono associate ad una *label* che identifica univocamente il piezometro e il *subset*. Le serie temporali private dagli *outlier* che saranno utilizzate nelle fasi successive dell'analisi statistica sono quindi plottate di seguito come linee continue mentre gli *outlier* sono evidenziati come punti isolati in rosso.

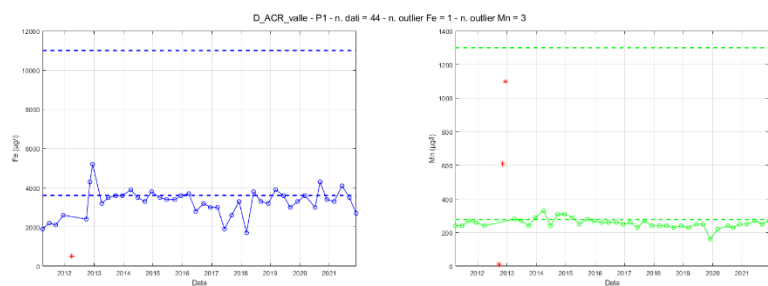
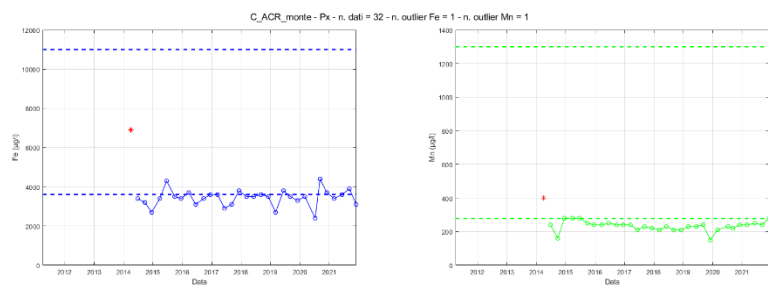
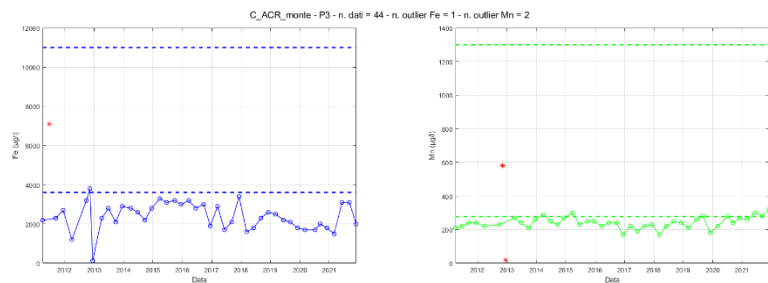
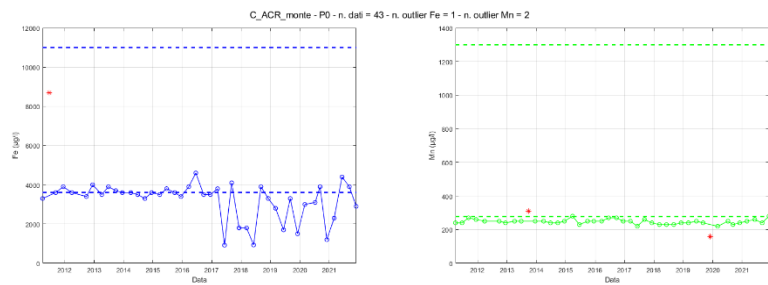
Figura 3 - Serie temporali delle concentrazioni di Fe e Mn con outlier evidenziati ed esclusi.

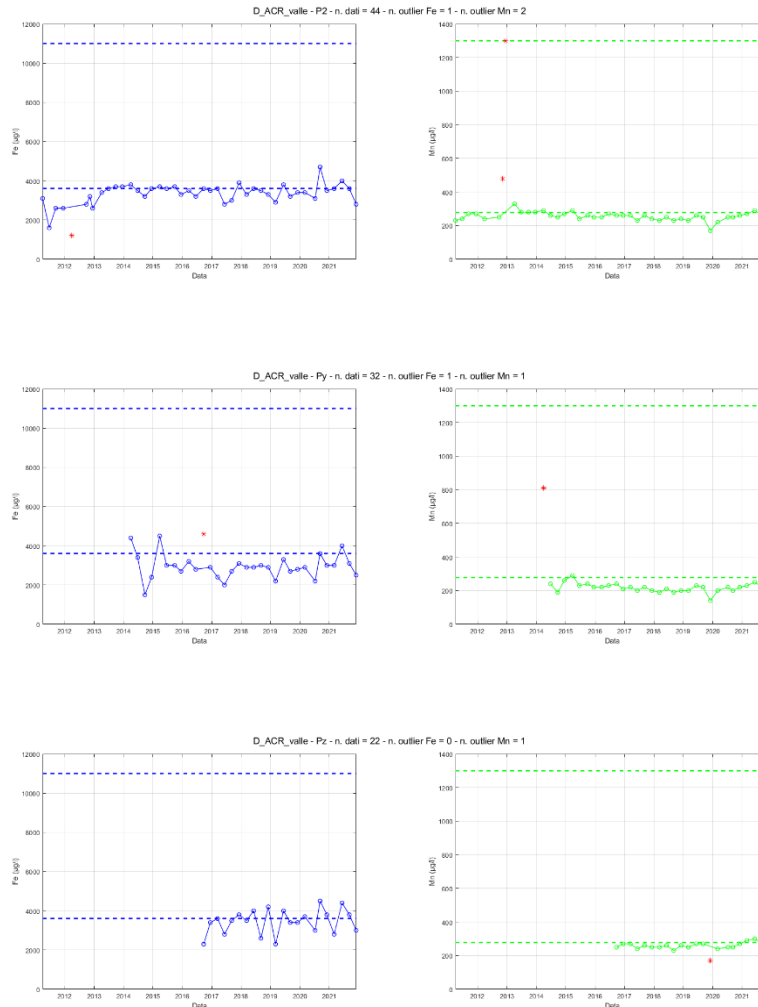










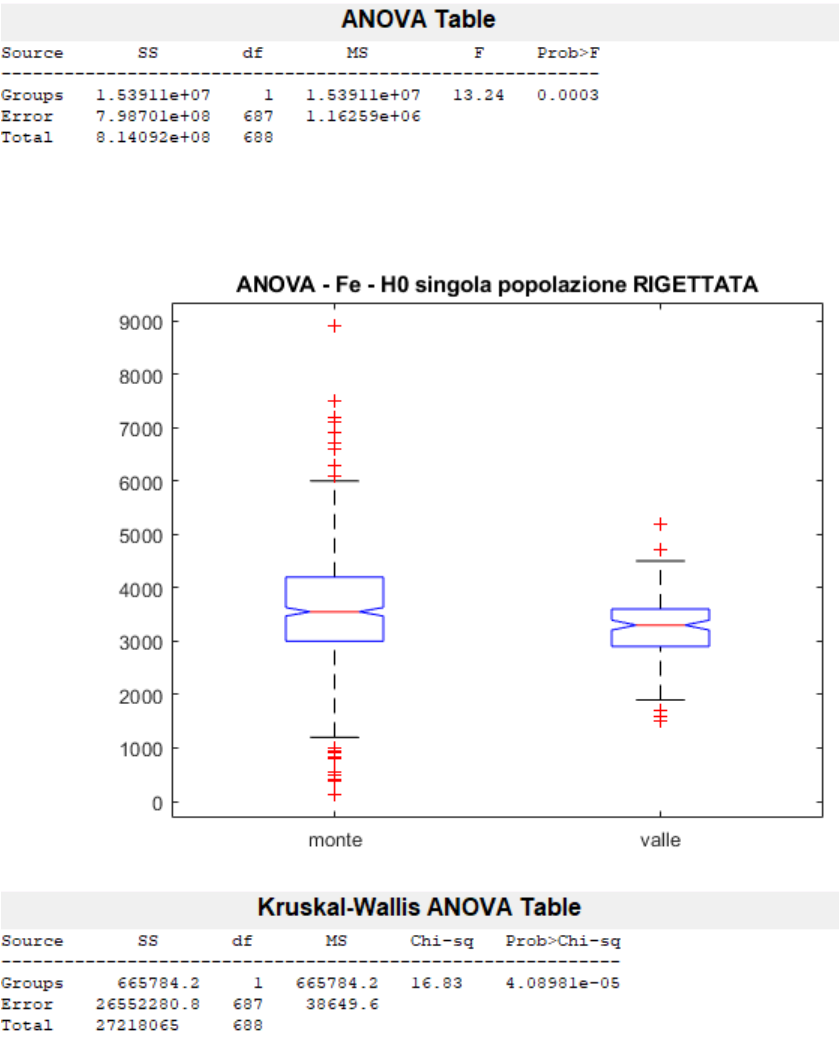


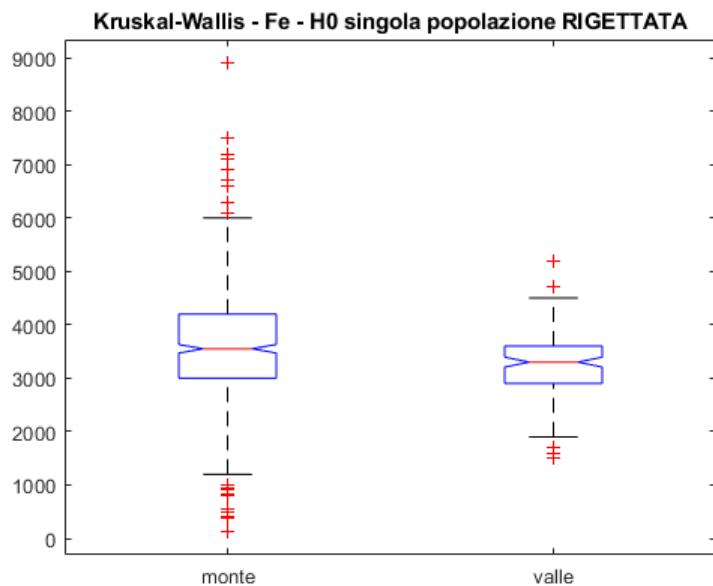
2.3 Valutazione presenza di popolazioni multiple e articolazione del dataset in subsets

L'omogeneità dei subset definiti come "monte" e "valle" sulla base del modello concettuale è stata valutata tramite ANOVA (analisi della varianza) e tramite il test di Kruskal-Wallis. ANOVA è un tipo di analisi che permette di confrontare i descrittori di diversi campioni e valutare l'ipotesi nulla che essi siano composti da osservazioni effettuate su una sola popolazione omogenea contro l'ipotesi alternativa che le osservazioni abbiano campionato popolazioni multiple con descrittori significativamente diversi (media, deviazione standard, tipo di distribuzione, ecc.). Il test di Kruskal-Wallis ha obiettivi analoghi ma, essendo un test non-parametrico in cui non si fanno assunzioni sul tipo di distribuzione della popolazione, può risultare più robusto nel caso in cui si sospetti la presenza, come nel caso in esame, di distribuzioni non-normali.

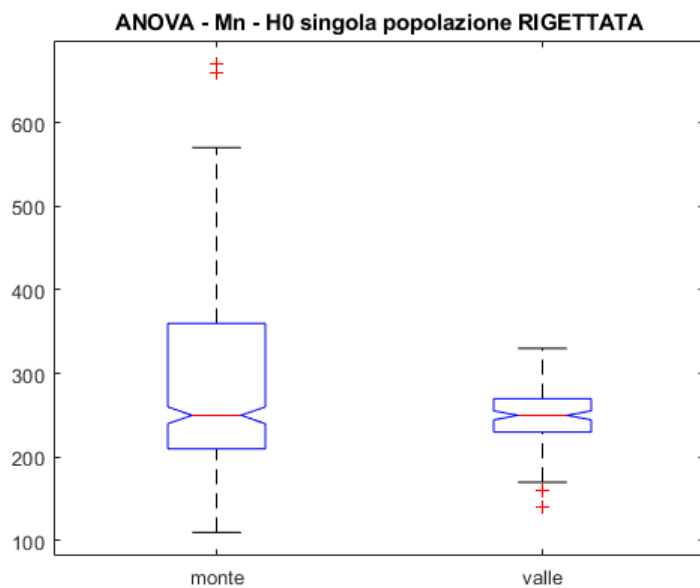
L'analisi è stata effettuata su dataset da cui sono stati rimossi gli outlier in base ai criteri definiti nei precedenti step di analisi e mostra come il subset "monte" sia significativamente diverso dal subset "valle" (con l'eccezione delle concentrazioni di Mn valutate con il test di Kruskal-Wallis). Concludiamo che le popolazioni di "monte" e "valle" siano da ritenersi significativamente diverse, e notiamo come i descrittori statistici delle concentrazioni di Fe e Mn nel *subset* di "valle" siano sistematicamente più bassi rispetto a quelli del *subset* di "monte".

Figura 4 - Valutazione popolazioni multiple con ANOVA e test di Kruskal-Wallis.

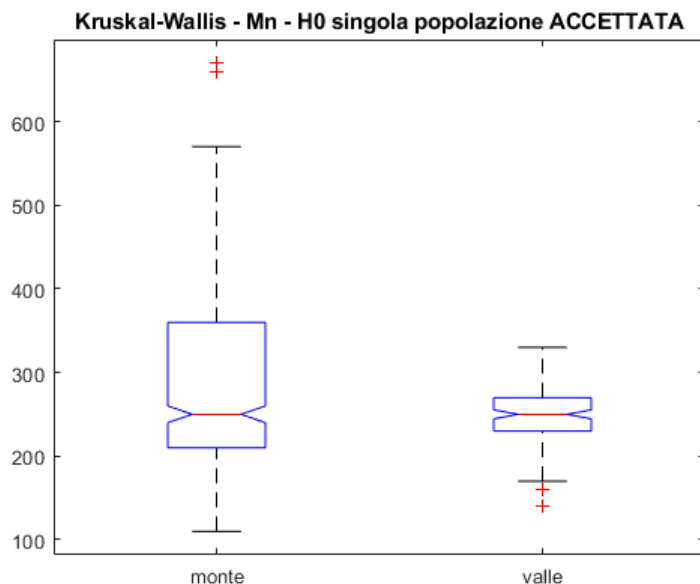




ANOVA Table					
Source	SS	df	MS	F	Prob>F
Groups	99754.7	1	99754.7	16.01	6.97473e-05
Error	4235607.8	680	6228.8		
Total	4335362.5	681			



Kruskal-Wallis ANOVA Table					
Source	SS	df	MS	Chi-sq	Prob>Chi-sq
Groups	144207.3	1	144207.3	3.73	0.0536
Error	26211029.7	680	38545.6		
Total	26355237	681			



2.4 Analisi della distribuzione statistica del *dataset* o dei *subsets*

Sulla base del modello concettuale e dei risultati ottenuti dalle elaborazioni precedenti dell'analisi statistica, l'analisi delle distribuzioni di probabilità, finalizzata alla definizione dei valori di fondo naturale di Fe e Mn, è stata effettuata utilizzando il subset di "monte".

Per entrambe le variabili statistiche sono state nuovamente plottate le distribuzioni temporali, per confronto con quelle mostrate in precedenza, e sono stati elaborati un istogramma e una curva cumulativa, utili a descrivere le distribuzioni campionarie (Figura 5). Si è quindi proceduto a confrontare queste distribuzioni campionarie con distribuzioni parametriche di *best-fit* di tipo normale, log-normale, Burr e Weibull (Tabella 4). La probabilità che le distribuzioni parametriche esaminate rispecchino realmente la distribuzione campionaria (ipotesi nulla di nessuna differenza tra distribuzione campionaria e parametrica sotto esame) è stata valutata utilizzando il *p-value* ottenuto dal test di Kolmogorov-Smirnov (Tabella 4), i *QQ plot* (*quantile-quantile plot*) ed i *PP plot* (*probability plot*).

Il confronto con distribuzioni normali mostra come questo tipo di distribuzione non sia adatto a fittare le osservazioni. Infatti il *p-value* ottenuto con il test di Kolmogorov-Smirnov è sempre molto più piccolo del valore critico del 5% e l'ipotesi nulla di nessuna differenza tra la distribuzione normale e la distribuzione campionaria è sempre rigettata. L'analisi dei *QQ* e *PP plot* mostra come questa incompatibilità dipenda dal fatto che le distribuzioni campionarie abbiano la coda destra più pesante e la coda sinistra più leggera (cioè con maggiore e minore densità di frequenza delle osservazioni, rispettivamente), rispetto alle distribuzioni normali, sia nel caso delle concentrazioni di Fe che in quello delle concentrazioni di Mn. Per questo motivo sono state testate anche le distribuzioni log-normali, di Weibull e di Burr, note per avere code destre più pesanti rispetto a quella di una distribuzione normale.

I test sulle distribuzioni log-normali restituiscono *p-values* ancora più piccoli di quelli ottenuti per le distribuzioni normali, mentre i *p-values* relativi alle distribuzioni di Burr e Weibull sono leggermente più grandi di quelli ottenuti per le distribuzioni normali, anche se sempre inferiori al limite critico del 5%.

L'esame visivo dei plot delle distribuzioni cumulative (Figura 5) mostra però che le distribuzioni di Weibull sono più vicine alla curva campionaria nel settore destro, tra i percentili 90% e 100%. Questa osservazione è confermata, sia per le concentrazioni di ferro che per quelle di manganese, analizzando i valori numerici dei percentili (Tabella 5). Sugeriamo quindi che le distribuzioni di Weibull possano essere le più adeguate per rappresentare il comportamento delle popolazioni nel settore destro delle curve cumulative, che è particolarmente importante per la definizione dei valori di fondo naturale.

Tabella 4 - Parametri delle distribuzioni parametriche fittate.

	Ferro	Manganese
Normale μ	3617.8	278.5
Normale σ	1164.2	86.767
Normale p-value	0.00056044	2.1371e-10
LogNormale μ	8.1275	5.5826
LogNormale σ	0.40945	0.30553
LogNormale p-value	2.107e-11	1.5663e-05
Burr α	5646.9	255.31
Burr c	3.8588	5.7723
Burr k	4.4441	0.88666
Burr p-value	0.002108	1.5894e-06
Weibull A	4014.7	309.81
Weibull B	3.2924	3.363
Weibull p-value	0.0004634	1.3595e-08

Figura 5 - Analisi delle distribuzioni statistiche per il subset "monte".

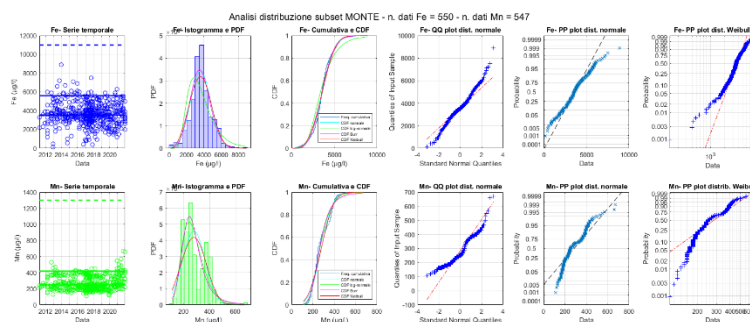


Tabella 5 - Percentili delle distribuzioni campionarie e parametriche in $\mu\text{g/l}$.

Percentile	Fe camp.	Fe Normale	Fe LogNormale	Fe Burr	Fe Weibull	Mn camp.	Mn Normale	Mn LogNormale	Mn Burr	Mn Weibull
1%	800	909	1306	1165	993	139.7	77	131	118	79
5%	1700	1703	1727	1780	1629	170	136	161	157	128
25%	3000	2833	2569	2801	2750	210	220	216	216	214
50%	3550	3618	3386	3561	3592	250	279	266	263	278
75%	4200	4403	4463	4352	4433	360	337	327	321	341
95%	5600	5533	6641	5591	5602	420	421	439	456	429
99%	6700	6326	8778	6594	6384	500.9	480	541	627	488

2.5 Analisi spaziale

Alla luce del modello concettuale e dei risultati dei precedenti step di analisi, non si è ritenuto utile procedere con l'analisi spaziale.

3 Determinazione dei valori di fondo

3.1 Calcolo del valore di fondo come 95° percentile

In base alle indicazioni delle Linee Guida SNPA 08/2018 (paragrafo B10), il valore di fondo naturale può essere definito:

- in modo non parametrico come 95° percentile della distribuzione campionaria;
- in modo parametrico, assunta una distribuzione normale, come *Upper Confidence Limit (UCL)* della media al 95% di probabilità, cioè come valore superiore entro il quale è contenuta la media con il 95% di probabilità;
- in modo parametrico (assunta una distribuzione parametrica) come *Upper Prediction Limit (UPL)* 95%, cioè come valore superiore dell'intervallo di previsione del 95° percentile (che tende da destra al percentile stesso al crescere della dimensione del campione);
- in modo parametrico (assunta una distribuzione parametrica) come *Upper Tolerance Limit (UTL)* 95%-95%, cioè come valore superiore entro il quale è contenuto il 95° percentile con il 95% di probabilità;

In genere questi valori si dispongono nell'ordine crescente $UCL < 95^\circ \text{ percentile} < UPL_{95\%} < UTL_{95\%} - 95\%$. Nel caso in esame il calcolo di *UCL* non risulta affidabile in quanto la distribuzione non è di tipo normale. D'altra parte, riteniamo cautelativo non utilizzare i valori *UTL*, che condurrebbero alla stima più elevata per i valori di fondo naturale. I valori *UPL*_{95%} della distribuzione di Weibull sono, data l'elevata numerosità delle osservazioni (Fe: 550; Mn: 547), di fatto indistinguibili dal 95° percentile calcolato sulla distribuzione stessa e sono di poco superiori al 95° percentile della distribuzione campionaria, come si può verificare nella Tabella 5. Riteniamo quindi cautelativo esprimere i valori di fondo naturale come 95° percentile della distribuzione campionaria o, in alternativa, come *UPL*_{95%} della distribuzione di Weibull (95° percentile calcolato sulla distribuzione stessa). Questi valori sono plottati in Figura 6 ed elencati nella Tabella 6.

Figura 6 - Distribuzioni statistiche e valori di fondo naturali per le concentrazioni di Fe e Mn.

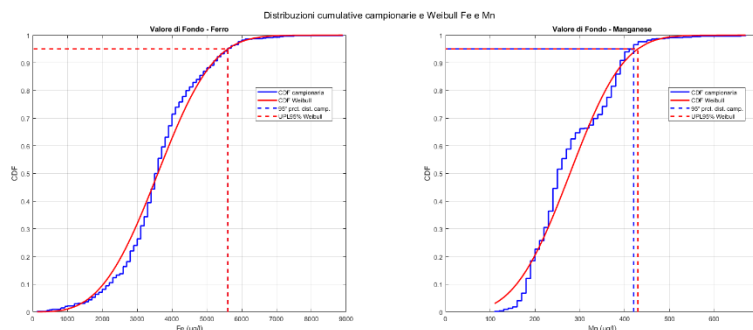


Tabella 5 - Percentili 95% delle distribuzioni campionarie e di Weibull in µg/l.

	Ferro	Manganese
Dist. campionaria 95° percentile	5600	420

3.2 Modello geostatistico

Alla luce del modello concettuale e dei risultati dei precedenti step di analisi, non si è ritenuto utile procedere con l'analisi spaziale.