

## Il monitoraggio della discarica di Ginestreto: analisi e considerazioni

M.Cacciaguerra<sup>#</sup>  
F.Ciancabilla, A.Pistocchi<sup>?</sup>

### Sommario

*Si presentano i risultati del monitoraggio condotto da ARPA- Emilia Romagna (Sezione Provinciale di Forlì-Cesena) sulla discarica di Ginestreto (FC). I dati raccolti sono stati elaborati per estrarre indicazioni circa i processi idrochimici e le loro dinamiche. Dall'analisi è emersa una comprensione di maggiore dettaglio della circolazione delle acque in sito. Nel presente lavoro si discutono i risultati ottenuti e si forniscono indicazioni per ulteriori ricerche. In conclusione, viene sottolineato il contributo essenziale che un'analisi idrogeologica dovrebbe portare per il monitoraggio della qualità delle acque.*

### Abstract

*The paper illustrates the results of the monitoring performed on the Ginestreto landfill in Sogliano al Rubicone, Emilia Romagna. Data have been analysed using hydrochemical classification and principal component analysis and allow a first insight in the circulation of surface and ground water around the landfill. The results are discussed and future lines of research are drawn, stressing the importance of hydrogeochemical analysis and characterization for optimal exploitation of the landfill monitoring.*

### Premesse

Spesso nella progettazione e nella gestione delle discariche di Rifiuti Solidi Urbani (RSU) si trascura di caratterizzare la circolazione delle acque superficiali e sotterranee nell'intorno dell'impianto. Questo provoca successivamente numerose incertezze nel valutare la causa delle concentrazioni chimiche osservate durante il monitoraggio. Nel presente lavoro si illustra l'applicazione di alcune elementari analisi idrochimiche ai dati di monitoraggio della discarica di Ginestreto, in provincia di Forlì-Cesena. Si mostra come, dalla comprensione dei meccanismi di circolazione delle acque, possano derivare indicazioni utili sulla corretta collocazione dei punti di monitoraggio.

### Inquadramento

La discarica di Ginestreto è un impianto di stoccaggio definitivo di rifiuti solidi urbani ubicato in comune di Sogliano al Rubicone, in provincia di Forlì-Cesena, ed operativo dal 1991; è sita in una vallecchia laterale in sponda sinistra del Rio Morsano, affluente del torrente Uso, ove prevalgono le argille grigie plioceniche, sabbiose, talvolta piuttosto marnose. Sul lato sinistro della vallecchia, in adiacenza del crinale, viene segnalata la presenza di un affioramento di arenarie, appartenenti allo stesso ambito deposizionale delle argille grigie, a diretto contatto con le argille scagliose (complesso caotico eterogeneo, prevalentemente argilloso o limoso, con inglobati frammenti litoidi di varia natura e consistenza). La zona è sostanzialmente

---

<sup>#</sup> ARPA – Agenzia Regionale Prevenzione e Ambiente, Regione Emilia Romagna, Sezione Provinciale di Forlì-Cesena

<sup>?</sup> DICMA- Dipartimento di Ingegneria Chimica, Mineraria e delle tecnologie Ambientali, Università di Bologna

impermeabile, senza falde acquifere significative (eccettuata la parte in cui è presente l'arenaria, classificabile come semipermeabile) e praticamente disabitata, con utilizzo prevalente del suolo a pascoli ed incolti, con porzioni a seminativo, pioppeto e prato; sono inoltre presenti allevamenti di suini, ovini e cavalli allo stato brado. Nella figura 1 viene riportata una planimetria della discarica con indicate le stazioni di prelievo che fanno parte della rete di monitoraggio.

La **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** riporta i dati riassuntivi delle stazioni di campionamento utilizzate.

#### **Descrizione dei dati e analisi idrochimiche**

Per le valutazioni idrochimiche delle stazioni di prelievo vengono considerate i punti di prelievo denominati pozzo a monte, pozzo a valle, Rio Morsano a valle e monitoraggio 1, in quanto presentano un numero sufficientemente significativo di prelievi contemporanei.

Dai dati, si possono estrarre le concentrazioni medie riportate in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

E' immediato osservare che le acque di sottotelo mostrano un contenuto salino superiore rispetto a quelle degli altri punti di prelievo, e sono seguite, da questo punto di vista, da quelle del pozzo di monte. Inoltre si osserva che il pozzo di valle mostra un più accentuato legame di bilancio fra lo ione solfato e gli ioni sodio e potassio, rispetto alle altre acque che hanno invece una componente di cloruri più rilevante.

In generale, si osserva un contenuto salino molto inferiore nelle acque del pozzo di valle rispetto a quelle del pozzo di monte, che sembra indicare percorsi idrogeologici differenti per le due acque. In effetti, si deve notare che il pozzo di valle si trova lungo una linea di discontinuità geo-strutturale, nella quale può verificarsi filtrazione di acque superficiali da formazioni geologiche diverse da quelle che ospitano le acque del pozzo di monte.

Il contenuto salino delle acque di sottotelo può essere spiegato in parte dal fatto che esse scorrono in contatto con le argille plioceniche che presentano un alto contenuto di solfati, e in parte dalla presenza di spandimenti di liquame zootecnico a monte della discarica.

In definitiva, si può affermare che esistono tre diverse storie idrochimiche delle acque in questione: le acque sotterranee del pozzo di monte sono fortemente influenzate dai terreni in cui si trovano (da cui l'elevato contenuto salino); le acque di sottotelo subiscono sia l'influenza della matrice geologica (elevato tenore di solfati), sia quello di altre fonti di sali; le acque del pozzo di valle e del rio Morsano, fra loro piuttosto simili ma con diverso bilancio ionico, sono entrambe da considerare acque di ciclo prevalentemente superficiale, anche se probabilmente di origine differente.

Si può supporre che la realizzazione della discarica abbia indotto una comunicazione fra le acque dei pozzi di monte e di valle con quelle dei terreni in fianco sinistro idraulico della vallecchia, che alimentano anche i deflussi interessati dal monitoraggio 1.

Analizzando le correlazioni fra gli ioni positivi e negativi, si osserva invece che c'è una notevole variabilità nel legame sia dei solfati, sia dei cloruri con i vari ioni nei due pozzi e nelle acque del rio Morsano. La **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** riporta i coefficienti di correlazione lineare significativi per evidenziare i legami dei cloruri e dei solfati con altri ioni.

Nel seguito si descrivono i dati di ogni stazione in maggiore dettaglio.

## **1. PERCOLATO**

L'andamento dei dati conferma un trend in assestamento dei valori di BOD, COD e pH: i primi due parametri hanno rispettato, durante le prime fasi della coltivazione, il caratteristico andamento a campana, ed una successiva stabilizzazione su valori decisamente più bassi (figura 2); anche per il pH, perfettamente in linea a quanto riportato in letteratura, si è partiti da valori leggermente acidi che, a partire dal 1994, si sono assestati attorno a valore di 8. Il calcolo del rapporto BOD/COD evidenzia l'assestamento di tale parametro su valori attorno a 0.35, indice di un liquame con percentuale di prodotti biodegradabili in diminuzione.

Si evidenziano notevoli oscillazioni nel tempo per la concentrazione dell'ammoniaca attorno ad una curva di forma log-normale, che ha raggiunto il valore massimo alla fine del 1996, per poi diminuire con i prelievi successivi: anche questo andamento è riconducibile a dati riportati in letteratura (Figura 4). Nelle fasi iniziali di coltivazione si riscontrano alti valori di nitrati con valori di ammoniaca e azoto totale decisamente più bassi, ed una successiva diminuzione dei primi a favore delle altre forme di azoto, il che conferma l'ottimizzazione della degradazione della sostanza organica (Figura 5). I metalli registrano una continua diminuzione dei valori.

L'analisi dei dati evidenzia una correlazione positiva (su 23 prelievi) tra le concentrazioni di metalli disciolti (quali piombo e manganese), ed i contenuti di sostanza organica (BOD<sub>5</sub> e COD); il pH è correlato negativamente con le concentrazioni di sostanza organica e metalli: questo è spiegabile con il fatto che molti metalli in presenza di pH basici tendono a formare precipitati e pertanto la loro concentrazione in soluzione diminuisce; l'ammoniaca è correlata negativamente con la sostanza organica, mentre lo è positivamente con i cloruri.

## **2. ACQUE SOTTERRANEE**

In questo gruppo comprendiamo sia quelle di falda (pozzi posti a monte ed a valle della discarica), sia quelle di raccolta del drenaggio immediatamente sotto la discarica (monitoraggio 1 e canale di fondo).

### 2.1 Pozzo a monte

L'ammoniaca ha un andamento del tutto analogo a quello del pH, con valori inizialmente elevati, successiva stabilizzazione attorno a valori bassi (attorno a 0.1 mg/l), e infine oscillazioni su valori che, anche se in modo contenuto, seguono un trend in progressivo rialzo; diversamente nitrati ed azoto totale presentano inizialmente concentrazioni più elevate e paragonabili, per poi assestarsi su valori più contenuti (Figura 6).

Il contenuto in cloruri tende ad una diminuzione; i solfati sono in concentrazione decisamente superiore ai cloruri, con un andamento altalenante che tende a stabilizzarsi.

Il carico batteriologico delle acque evidenzia valori piuttosto oscillanti nel tempo, con punte che qualche volta coincidono con gli innalzamenti registrati per il COD. Talora è possibile ipotizzare la presenza di apporti di origine fecale (Figura 7).

L'analisi di correlazione, elaborata su 22 campioni, evidenzia un legame dei cloruri con i nitrati e l'azoto totale (0.89 e 0.90), e più debolmente tra COD e coliformi fecali (0.51), mentre tra cloruri e ammoniaca non è evidente alcuna relazione di tipo lineare.

Questo supporta l'ipotesi di un apporto discontinuo di inquinamento organico legato a componenti fecali.

### 2.2 Pozzo a valle

L'acqua del pozzo a valle presenta caratteristiche diverse dalla stazione precedentemente descritta: mentre è possibile individuare un trend decisamente in ascesa per i valori di COD, e meno evidente nel caso del BOD, ma comunque con valori dello stesso ordine di grandezza del pozzo di monte, la salinità di questa acque è nettamente inferiore; la durezza è mediamente più elevata, con un trend in crescita dall'inizio della rilevazione; i quantitativi di solfati e cloruri presentano concentrazioni mediamente dimezzate rispetto al pozzo a monte, con un andamento in leggera crescita dei valori.

L'andamento del pH, dopo la diminuzione da valori di partenza decisamente alcalini a valori sotto la neutralità, ha mostrato la tendenza a crescere con oscillazioni verso pH 8. Contemporaneamente si rileva un'impennata dei valori delle forme azotate.

L'analisi della matrice di correlazione, elaborata su 19 campioni, evidenzia una buona correlazione positiva tra le sostanze organiche, le azotate, i solfati e il fosforo totale, come pure una correlazione positiva tra zinco, rame piombo e cromo, meno spiccata, ma comunque con valori degni di nota ( tra 0.71 e 0.5).

### 2.3 Monitoraggio 1

Si è assistito a picchi dei valori di BOD<sub>5</sub> e soprattutto del COD (Figura 8). Oscillanti con picchi anche di notevole intensità sono i valori delle forme azotate. Si evidenzia un brusco innalzamento del contenuto in solfati dopo due anni di rilevazioni. Il contenuto in cloruri è sempre rimasto costante attorno a concentrazioni attorno a 1000 mg/l.

Le variazioni improvvise e perduranti nel tempo nella concentrazione dei solfati potrebbe indicare una modifica nella circolazione delle acque sottostanti la discarica, dovuta ai lavori di sbancamento effettuati per l'ampliamento della discarica con la realizzazione dei lotti di coltivazione più recenti. Essi potrebbero aver deviato la circolazione di alcune venute d'acqua che successivamente sono state captate dalla rete di monitoraggio. Il fenomeno di 'spiazzamento' di un'acqua ad elevato contenuto di solfati, così generato, avrebbe provocato un aumento delle concentrazioni degli stessi, con appropriato ritardo, anche nei pozzi di monte e di valle. L'andamento delle concentrazioni di solfati nei tre casi mostra una propagazione di tipo diffusivo-avvevivo di un ingresso 'a gradino', come mostrato in Figura 2. Gli indicatori batteriologici presentano oscillazioni connesse a variazioni di sostanza organica e nitrati, suggerendo un'origine di tipo fecale/zootecnico dell'innalzamento dei valori.

L'analisi di correlazione, elaborata utilizzando i dati di 20 campionamenti, evidenzia un legame tra COD e azoto totale, tra nitrati e coliformi fecali e streptococchi fecali, e più deboli relazioni tra coliformi totali e BOD e COD, che possono suggerire un rapporto tra l'inquinamento di tipo organico e quello di origine batteriologica: il contenuto salino di questa acqua è costituito prevalentemente da solfati. Sembra da escludere che l'inquinamento derivi da un apporto da parte della discarica.

### 2.4 Canale di fondo

Il contenuto salino rimane pressoché costante per quanto riguarda i cloruri, mentre per i solfati le escursioni sono molto più evidenti ed a valori elevati.

La durezza di quest'acqua è dell'ordine di grandezza di quella del monitoraggio 1.

Si rileva una presenza mediamente più consistente degli indicatori di tipo batteriologico rispetto alle altre stazioni, forse ancora legata ad apporti di tipo zootecnico.

### 2.5 Monitoraggio 2

Le acque del monitoraggio 2 presentano caratteristiche differenti rispetto alle acque precedentemente descritte: si riscontrano tenori generalmente più bassi di BOD e COD. L'ammoniaca, diversamente da quanto accade per il monitoraggio 1, rimane sempre al concentrazioni basse, senza evidenziare picchi particolari. Il contenuto salino di quest'acqua è molto più vicino a quello del pozzo di monte che non al monitoraggio 1, che presenta concentrazioni decisamente superiori soprattutto di solfati, o al pozzo di valle che presenta concentrazioni all'incirca doppie.

Anche per la durezza è possibile paragonare i valori riscontrati con quelli del pozzo a monte, più che con le altre acque di circolazione sotterranea. In questo caso non è stata elaborata la matrice di correlazione in quanto il numero esiguo di dati non permette deduzioni significative.

## **3. ACQUE DEL RIO MORSANO**

### 3.1 Rio Morsano a monte

I dati relativi ai prelievi delle acque del Rio Morsano a monte della discarica non evidenziano situazioni particolari: i dati sono stazionari su valori bassi, ad eccezione di alcuni episodi; si evidenzia unicamente una leggera tendenza in crescita dei valori di azoto totale e nitrati. La durezza media per quest'acqua è decisamente inferiore a quella delle acque sotterranee. Le concentrazioni di tutti i metalli rilevati risultano al di sotto dei limiti per l'utilizzo di acqua a scopo potabile, eccetto per manganese e ferro. Risulta spesso presente inquinamento di tipo batteriologico, non correlabile ad aumenti di altri parametri caratterizzanti la qualità dell'acqua.

### 3.2 Rio Morsano a valle

Per il rio campionato a valle della discarica si assiste ad una crescita dei valori di solfati. Analogamente a quanto rilevato per il rio a monte, tutte le concentrazioni di metalli, eccetto manganese e ferro, sono inferiori ai limiti delle acque destinate al consumo umano. Dall'analisi dei dati, elaborata su 18 campioni, si evidenzia la presenza di una correlazione abbastanza significativa tra cloruri e coliformi fecali e streptococchi fecali (coeff. di correlazione 0.65 e 0.60); si evidenzia che i cloruri non presentano relazioni evidenti con gli altri parametri di inquinamento. Inoltre è presente una relazione tra il fosforo reattivo e rame, cromo, manganese, nichel e ferro (coefficiente di correlazione da 0.7 a 0.81), come pure è da evidenziare una relazione lineare tra questi ultimi metalli e piombo e zinco.

### ***Analisi in componenti principali***

E' stata condotta un'analisi in componenti principali sui campioni di acque, considerando le seguenti variabili (quelle maggiormente significative e presenti in tutti i campioni): BOD<sub>5</sub>, COD, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>--</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>--</sup>, Ntot, Ptot, Zn, Cu, Cr, Mn, Ni, Fe.

I risultati dell'analisi sono mostrati nelle figure 3, 4 e 5 e possono essere così commentati:

- La varianza dei dati è spiegata pressoché interamente dagli ultimi componenti principali (in ordine di varianza spiegata crescente), designati come pc11, pc12, pc13 e pc14. In particolare i pc12-pc14 assorbono dal 92 al 93% della varianza e sono quindi i più rappresentativi.
- L'interpretazione delle correlazioni fra variabili e componenti principali è piuttosto difficoltosa, in quanto si osservano andamenti anche molto diversi fra le varie stazioni di prelievo; i componenti principali hanno diverso significato in ciascun caso e quindi non è possibile identificare regolarità significative negli andamenti dei parametri idrochimici; si deve procedere ad una interpretazione *ad hoc* caso per caso.

La **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** schematizza le correlazioni osservate fra variabili e componenti principali.

L'interpretazione dell'analisi è difficoltosa, ma pare possibile riportare le seguenti considerazioni ( sulla scorta dei grafici di correlazione variabili-componenti principali riportate in figura.):

- Nelle acque del rio Morsano, il pc13 consente di separare il comportamento delle forme azotate e degradabili (correlazione negativa) da quello dei metalli (correlazione positiva) , mentre il pc12 permette di distinguere l'ammoniaca dai nitrati. Il pc14 è invece positivamente correlato a tutte le specie (eccetto i cloruri) e sembra segnalare genericamente l'intensità dell'inquinamento.
- Nel pozzo di monte si osserva che il pc12 non riesce a separare alcuna variabile, mentre il pc13 distingue fra BOD e COD (correlazione positiva) e Zn, Cu e Ni (correlazione negativa). Il pc14 mostra una correlazione altissima con i nitrati, i cloruri e il ferro, e molto più debole ( e negativa) con le altre variabili.
- Il pozzo di valle presenta il pc12 con bassa capacità di discriminazione, mentre il pc13 consente di distinguere nitrati ed ammoniaca ( correlazione positiva) da Zn, Cu e Cr. Il pc14 è anche qui negativamente correlato con tutte le variabili, e indica genericamente l'intensità dell'inquinamento.
- Le acque di sottotelo presentano il pc12 che separa Zn e Cu da Mn e Ni, il pc13 che discrimina nitrati, ammoniaca e solfati, e il pc14 che mostra una correlazione forte con le forme degradabili e azotate, nonché con i solfati, e più debole con Zn, Cu, Ni, Cloruri e Mn. Quest'ultimo componente pare un generico indicatore di inquinamento.
- Il percolato presenta il pc14 che separa COD e BOD da un lato, cloruri e forme azotate dall'altro; il pc12 separa cloruri e forme azotate da Zn e Cu, mentre il pc13 non consente di distinguere nulla di significativo.

Alla luce della **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e di quanto sopra si possono trarre le seguenti considerazioni:

- Il rio Morsano mostra il componente principale pc14, il pc13 e il pc12 stazionari in un primo periodo, e in seguito un picco positivo nel pc14 e pc12, negativo nel pc13. Dall'incrocio delle informazioni si può affermare che il picco è riconducibile a una maggiore concentrazione di sostanze degradabili e azoto nelle varie forme, ad indicare un possibile inquinamento di origine organica e di carattere episodico.
- Il pozzo di monte ha andamento stazionario per tutti i componenti principali, se si trascura un debole trend decrescente del pc12 e del pc14; essendo il pc12 insignificante, e il pc 14 correlato ai nitrati, si potrebbe ipotizzare un eventuale lento processo di denitrificazione.

- Nel pozzo di valle, il pc14, correlato negativamente a tutte le forme, indica genericamente un trend di inquinamento. Il fatto però che vi sia bassa correlazione con i cloruri tende a fare escludere effetti di inquinamento legati alla discarica, e a far pensare ad inquinamenti di acque superficiali infiltratesi secondo i circuiti idrogeologici sopra ipotizzati. L'aumento del pc12 può far pensare a un debole trend di inquinamento da nitrati.
- Le acque di sottotelo mostrano nell'andamento temporale dei componenti principali due picchi, positivi per pc13 e pc14 e negativi per pc12, probabilmente legati a qualche evento apportatore di sostanze azotate (in forma prevalentemente ammoniacale, visto che il pc13, negativamente correlato ai nitrati, ha picchi più accentuati) e solfati, forse riconducibile a spandimenti zootecnici.
- Il percolato mostra un pc14 legato alle forme 'rapide' di degradazione dei rifiuti ( BOD 5 e COD) e i pc12 e pc13 che sembrano indicare le forme a più lento esaurimento ( NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e metalli). La cosa è confermata dai trend dei componenti, che mostrano un tipico andamento monoesponenziale decrescente per il pc14, con oscillazioni rispetto al trend riprese fedelmente dal monitoraggio del II lotto, e un decremento più lento dei pc12 e 13. Occorre osservare che i due lotti id percolato considerati, anche per via del ricircolo che viene praticato, mostrano lo stesso andamento.

Nel caso del rio Morsano, il pc14 ha varianza spiegata del 34%; il pc13 spiega il 23% e il pc12 il 15% della varianza. Questa struttura viene confermata dalle altre stazioni di prelievo delle acque, mentre i percolati hanno comportamento molto diverso (varianza spiegata del 50% dal pc14, e per i pc12 e 13 attorno al 15%).

Concludendo, l'analisi in componenti principali ha mostrato in alcuni casi la possibilità di individuare indicatori sintetici di inquinamento: nella generalità dei casi il pc14 è collegato ai trend complessivi di deterioramento della risorsa, e può separare in certi casi le forme di inquinamento stesse, mentre più in specifico i pc12 e 13 hanno un legame con forme diverse di inquinamento e possono essere usati come base di partenza per un'interpretazione delle cause. La presenza di dati piuttosto dispersi fra le varie stazioni di prelievo rende comunque poco agevole l'interpretazione.

Meno incerte sono le indicazioni dall'analisi dei percolati: si è osservato che il pc14 è un buon indicatore dei fenomeni più rapidi di esaurimento, mentre il pc13 è legato ai fenomeni più lenti. A titolo di esempio, si riportano in Figura 3 gli andamenti dei componenti principali nel caso del sottotelo (monitoraggio 1) e del percolato, ritenuti i più significativi.

#### CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Si è presentato il lavoro svolto per la caratterizzazione idrogeochimica della discarica di Ginestreto (Comune di Sogliano al Rubicone, FC). Le analisi compiute confermano l'assenza di influenze da parte della discarica sulla qualità delle acque superficiali. L'incrocio delle varie informazioni provenienti dal monitoraggio ha consentito di ipotizzare uno schema di circolazione delle acque nell'intorno della discarica, e il ruolo svolto dalle diverse fonti nella formazione della loro qualità. Le acque superficiali sembrano influenzate in maniera sostanziale dalla carattere torrentizio del rio Morsano e del suo bacino, come pure da episodi localizzati di inquinamento di origine zootecnica.

Per tutte le acque campionate, sulla base del confronto dei dati rilevati su tutte le stazioni, è possibile individuare sostanzialmente tre famiglie alle quali ricondurre le caratteristiche

qualitative delle stesse: la prima comprensiva delle acque del pozzo a valle che sono molto simili a quelle del Rio Morsano, la seconda costituita dalle acque del canale di fondo e quelle del monitoraggio 1, che risulta essere più simile alla terza famiglia, comprensiva delle acque del pozzo a monte (e del monitoraggio 2), che non alla prima.

Il caso di studio richiama l'importanza della caratterizzazione idrochimica dei siti destinati a discariche di rifiuti solidi, in quanto la comprensione dei meccanismi di circolazione delle acque è di fondamentale interesse ai fini della definizione di un piano di monitoraggio significativo degli aspetti rilevanti dei possibili inquinamenti, e della corretta interpretazione della qualità delle acque. Nell'esempio mostrato, sono stati sottolineati i problemi di interpretazione dei dati di monitoraggio, legati alla scarsa conoscenza idrogeologica del contesto della discarica, e all'assenza di un controllo sui bilanci idrologici (monitoraggio di piogge e portate). Si è anche cercato di evidenziare come l'analisi idrogeologica apporti contributi essenziali per le valutazioni, consentendo di definire le possibili origini dei soluti e le cause degli andamenti osservati di qualità. Per quanto ulteriori approfondimenti siano ancora necessari per la completa definizione dei circuiti idrogeologici della discarica di Ginestreto, si ritiene che l'interpretazione fornita dia elementi di un certo interesse per la qualificazione dei fenomeni in corso.

### **Bibliografia**

Bertanza, G., *Formazione e qualità del percolato nel tempo-Landfill leachate production and composition*, RS Rifiuti Solidi, n.1, jan.-feb. 1996

Cacciaguerra, M.G., Pistocchi, A., *Analisi del monitoraggio della Discarica di Ginestreto; Rapporto ARPA Emilia Romagna, Sezione di Forlì-Cesena, marzo 2000*

Castany, G., *Traité Pratique des Eaux Souteraines*, Dunod, Paris, 1967

Ciancabilla, F., ... (acque di Porretta)

Davis, J.C., *Statistics and data analysis in geology*, J.Wiley and sons, New York, 1986.

Domenico, P.A., Schwartz, F.W., *Physical and Chemical Hydrogeology*, Wiley, New York, 1990

Maione, U., Moisello, U., *Elementi di statistica per l'idrologia*, La Goliardica, Pavia, 1995.

Wackernagel, H., *Multivariate Geostatistics*, Springer, Berlin, 1996.



Stazione	Descrizione	Inizio campionamento	
Percolato 1° lotto	Prelievo presso il pozzo di estrazione sulla discarica	22/05/91	
Percolato II° lotto	Prelievo presso il pozzo di estrazione sulla discarica	29/12/94	
PM	Pozzo in asta fluviale a monte discarica	Pozzo cisterna ubicato nella vallecchia a monte di quella della discarica	08/11/90
PV	Pozzo in asta fluviale a valle discarica	Pozzo cisterna ubicato in vicinanza all'impianto di combustione biogas	08/11/90
M1	Monitoraggio 1	Drenaggio sotto I° lotto	06/12/91
CF	Canale di fondo	Raccolta acque provenienti dalle zone non coperte dalla discarica e drenaggio sotto II° e III° lotto	04/12/95
M2	Monitoraggio 2	Drenaggio sotto IV° e V° lotto	13/03/97
RMM	Rio Morsano a monte discarica	Stazione ubicata sul rio in prossimità del pozzo a monte	04/12/95
RMV	Rio Morsano a valle discarica	Stazione ubicata sul rio in prossimità degli uffici, circa 1 km a valle della discarica	27/05/92

**Tabella 1- quadro dei monitoraggi effettuati**

Prelievo	Cl -	SO4 --	HCO3 -	K+, Na+	Mg ++	Ca ++
Pozzo di valle	94.5	586.1	-	262.5	90.9	106.8
Pozzo di monte	481.5	2134.3	-	1475.5	84.2	51.22
Rio Morsano	70.53	227.12	-	85.7	49.1	70.5
Sottotelo	984.5	3591.7	-	1615.8	599.8	199.2

**Tabella 2- medie delle concentrazioni dei minerali idrochimicamente rilevanti (mg/l)**

Prelievo	Cloruri				Solfati			
	Na	K	Mg	Ca	Na	K	Mg	Ca
Pozzo di valle	0.7642	-	0.323	0.4189	-	-	0.2431	-
Pozzo di monte	0.1408	0.7222	-	0.1884	0.6899	-	0.3004	0.3576
io Morsano	-	0.285	-	-	0.7881	-	0.42	-

**Tabella 3- coefficienti di correlazione lineare fra gli ioni (sono omessi i coefficienti il cui valore è trascurabile)**

	Pc12		Pc13		Pc14	
	+	-	+	-	+	-
Rio Morsano	Ntot, NO3, Solfati	COD, BOD, NH4	Metalli	COD, BOD, NH4, NO3, Ntot, Solfati	metalli	-
Pozzo di monte	Zn, Mn	Ptot	COD, BOD, Mn	Zn, Cu, Ni	Cr, Cloruri, Ntot, NO3, Fe	BOD, NH4, Ni, Zn, Cu, solfati
Pozzo di valle	BOD, NO3, Cr, solfati	Mn, Fe	NO3, Ntot, NH4	Zn, Cu, Cr	-	BOD, COD, NH4, Ntot
Sottotelo	Mn, Ni	Zn, Cloruri, Cu	Cloruri, Mn, solfati	Zn, Cu, Ni	COD, BOD, NH4, Ntot	-
Percolato	Cloruri, Ntot, NH4	Zn, Cu	Zn, Cu, Cr, NH4, Ntot	-	BOD, COD, solfati, Fe, Mn	NH4, Ntot

**Tabella 4- variabili correlate ai componenti principali**

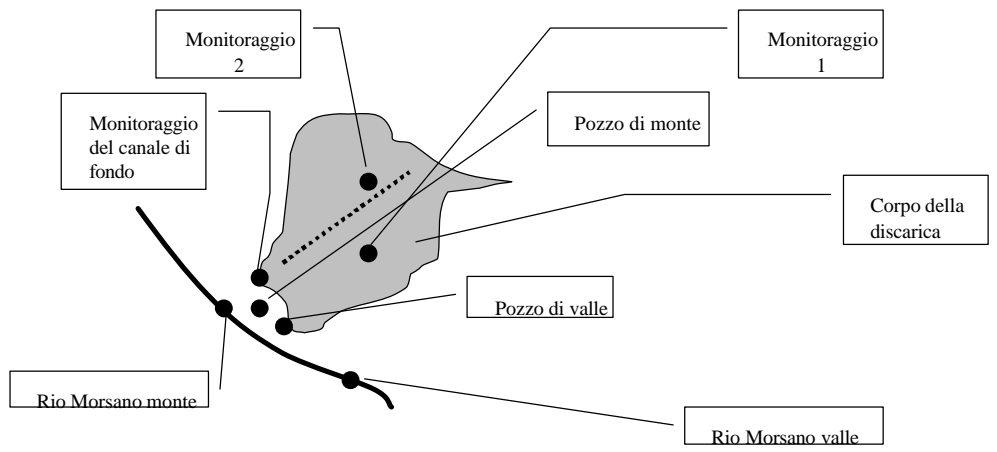


Figura 1 – planimetria della discarica (schema)

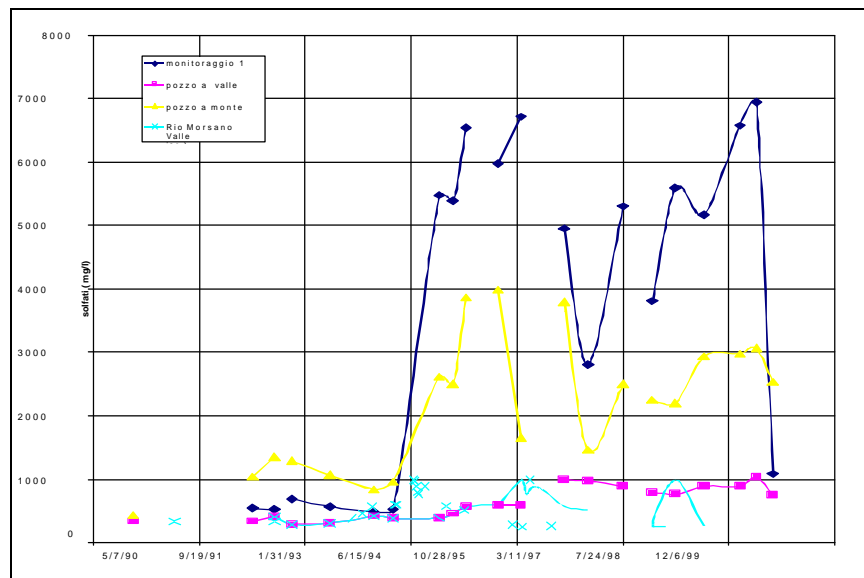
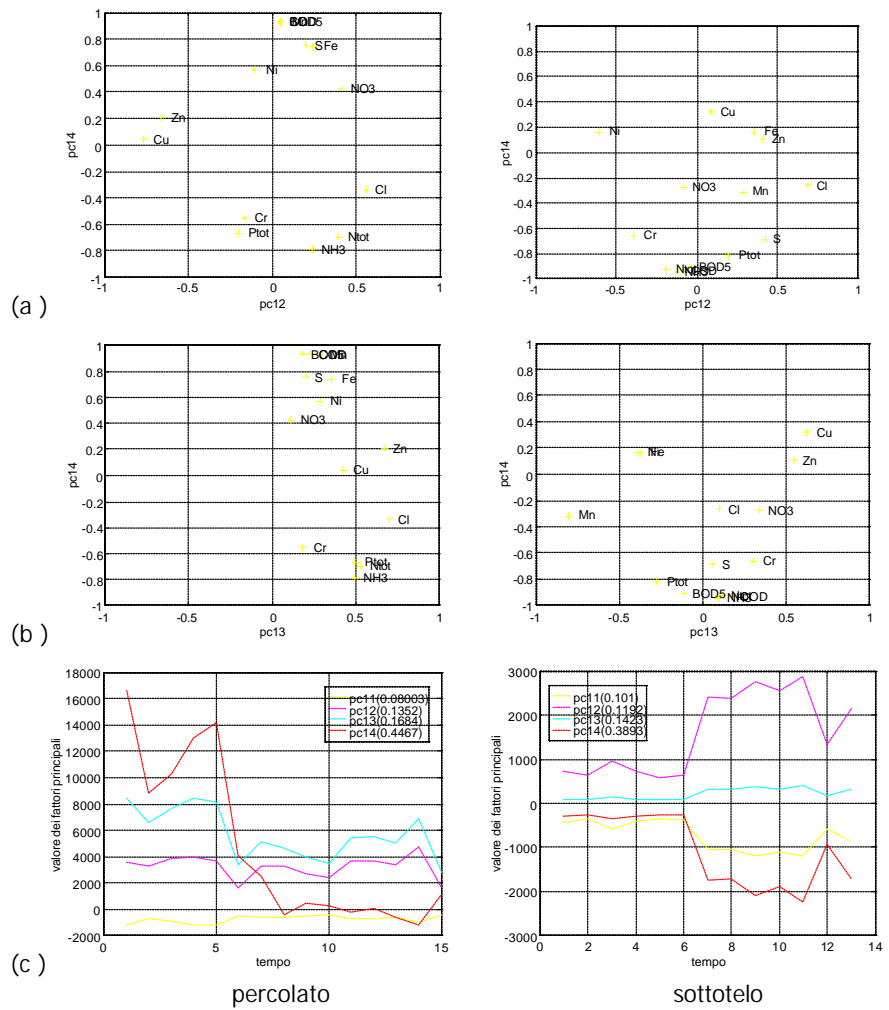


Figura 2- andamento dei solfati, che mostra una dinamica di tipo diffusivo-avvevivo.



**Figura 3 – andamento delle correlazioni fra variabili e componenti principali (a,b) e trend dei componenti principali (c) : caso del percolato e del sottotelo.**

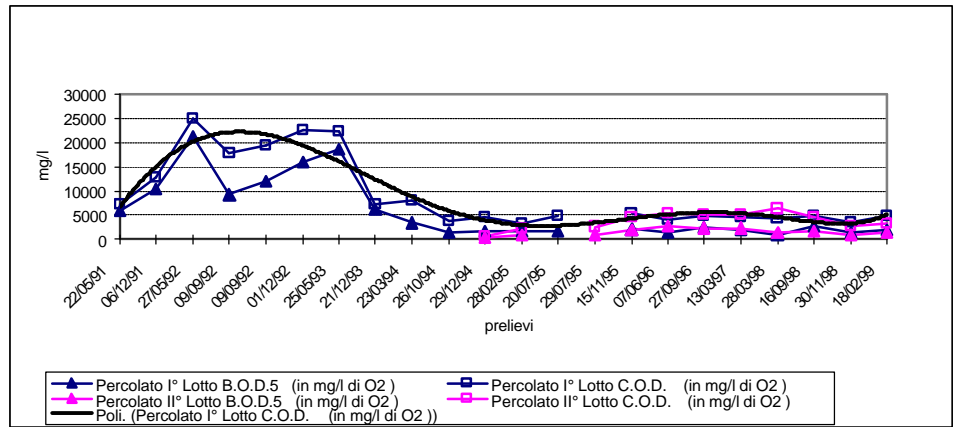


Figura 4 – andamento del BOD e del COD nel percolato

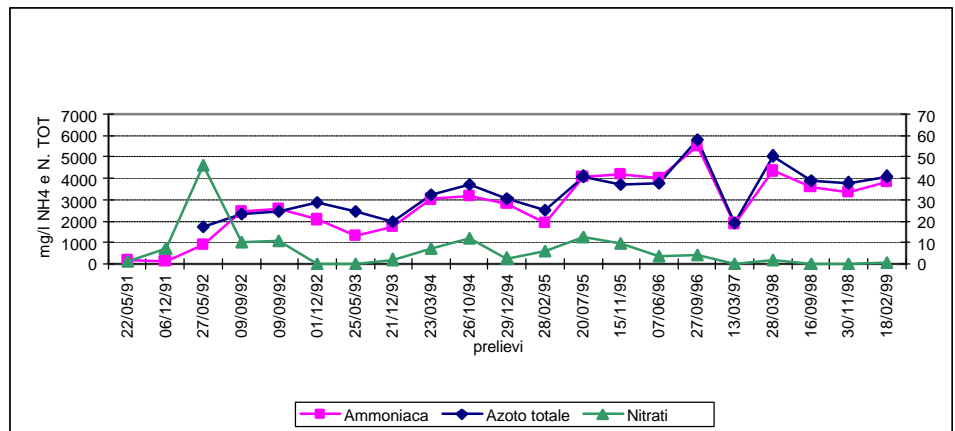


Figura 5 – andamento delle sostanze azotate nel percolato

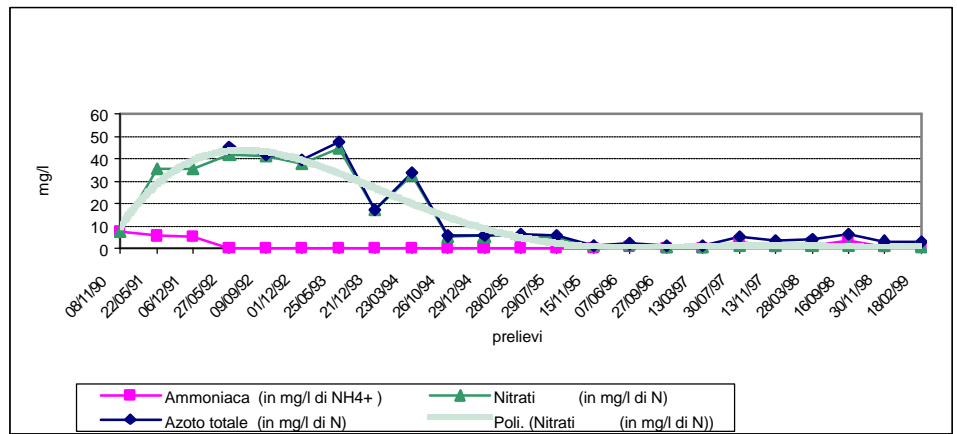


Figura 6- sostanze azotate nel pozzo di monte

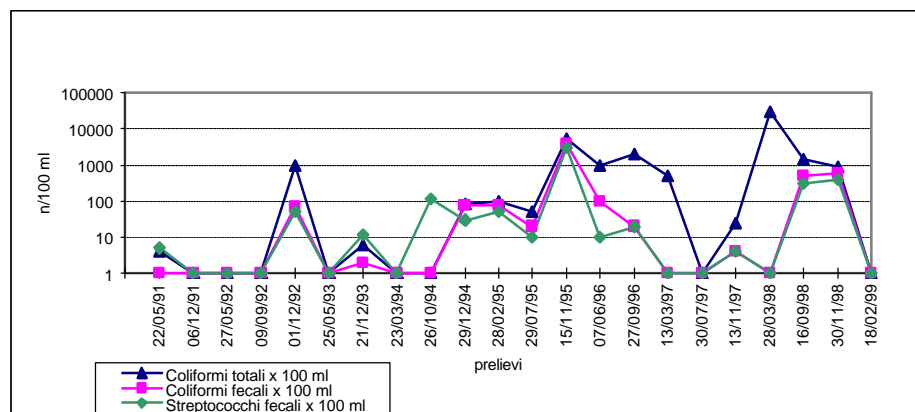


Figura 7 – Parametri batteriologici de l pozzo a monte.

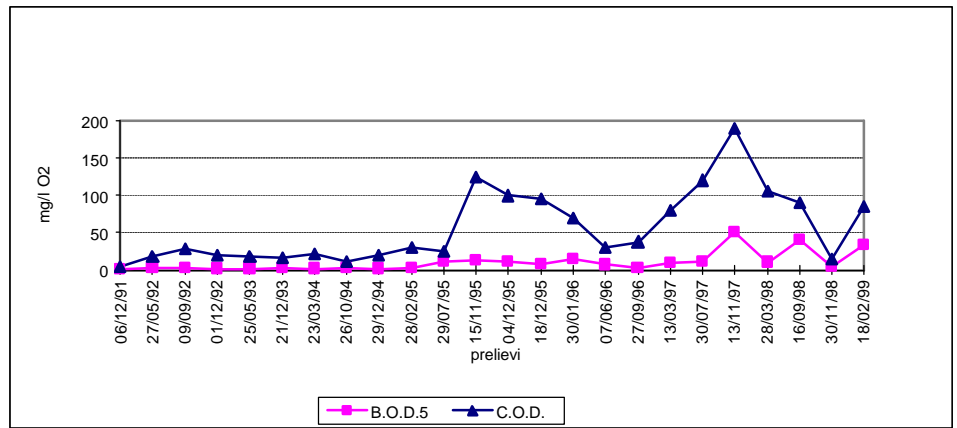


Figura 8- BOD e COD nelle acque del monitoraggio 1.