

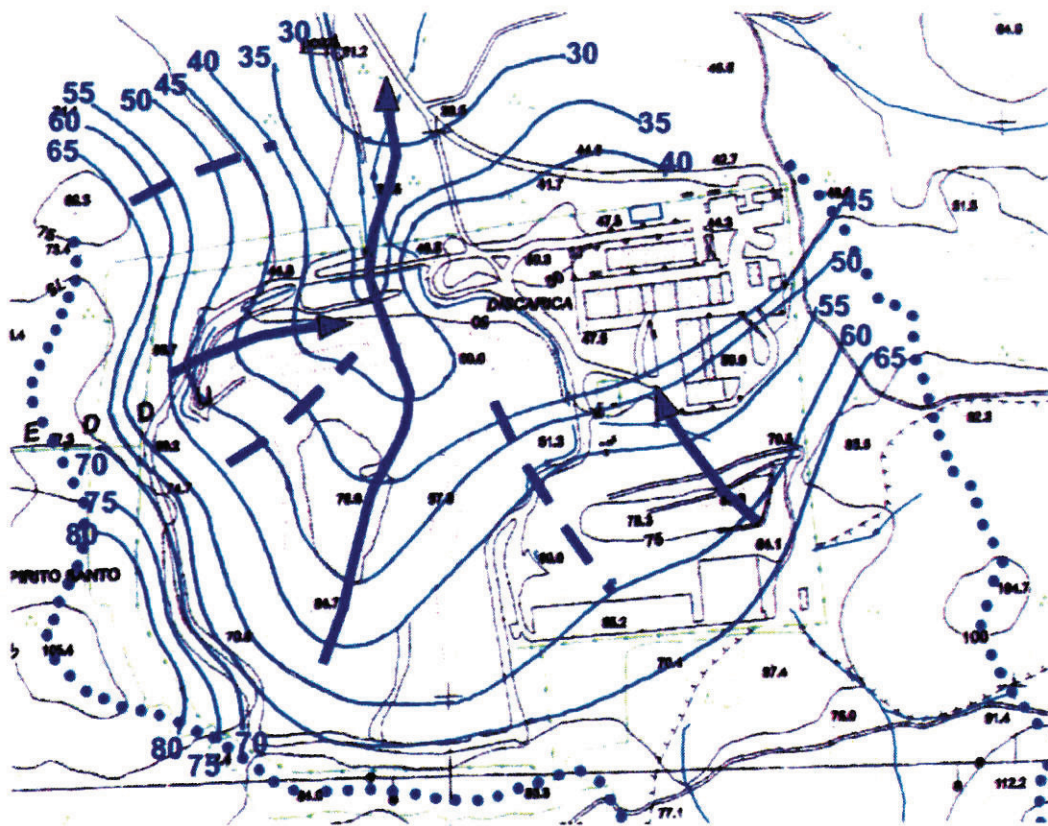


Città di Olbia
Settore Ambiente



GALLURA
Settore Progettazione e
Direzione dei lavori

LA MODELLAZIONE IDROGEOLOGICA DEL SITO DI OLBIA-SPIRITU SANTU DAI PARAMETRI SPERIMENTALI DI STUDI PREGRESSI (2005-2013)



De Paola 2014

	REV.	DATA	DESCRIZIONE
CONSULENTE: Prof. PIETRO ANTONIO DE PAOLA 	00	13.06.2014	Prima emissione
	01	23.06.2014	Seconda emissione
	02	07.07.2014	Terza emissione

INDICE

1. INTRODUZIONE	pag. 1
2. SINTESI DELLA RELAZIONE VIVARELLI	pag. 3
2.1 La "Relazione tecnica descrittiva"	pag. 3
2.1.1. Capitolo 1 – "Premessa"	pag. 3
2.1.2. Capitolo 2 – "Norme di riferimento"	pag. 4
2.1.3. Capitolo 3 – "Inquadramento dell'area in esame"	pag. 5
2.1.4. Capitolo 4 – "Caratteristiche geologiche, idrogeologiche e climatologiche"	pag. 8
2.1.4.1. Inquadramento geologico	pag. 8
2.1.4.2. Inquadramento idrogeologico	pag. 10
2.2.4.3. Climatologia	pag. 13
2.1.5. Capitolo 5 – "Indagini preliminari svolte in situ"	pag. 13
2.1.5.1. Articolazione e tipologia delle indagini	pag. 13
2.1.5.2. Esiti dei sondaggi geognostici	pag. 15
2.1.5.3. Esiti indagini idrogeologiche	pag. 27
2.1.5.4. Esiti analisi dei terreni	pag. 41
2.1.5.5. Esiti analisi delle acque superficiali, di falda, del percolato	pag. 46
2.1.5.5.a) Ubicazione punti di prelievo	pag. 46
2.1.5.5.b) Analisi acque superficiali	pag. 49
2.1.5.5.c) Analisi acque di falda	pag. 53
2.1.5.5.d) Analisi del percolato	pag. 55
2.1.5.6. Analisi dei rifiuti	pag. 71
2.1.5.7. Analisi gas interstiziali	pag. 72
2.1.6. Capitolo 6 – "Formulazione del modello concettuale"	pag. 73
2.1.7. Capitolo 7 – "Sintesi conclusiva"	pag. 73
2.1.8. Allegati alla Relazione	pag. 74
3. SINTESI DELLA RELAZIONE DE PAOLA	pag. 76
3.1. Partizione della Relazione	pag. 76
3.2. Parte prima – Analisi delle risultanze pregresse	pag. 76
3.3. Parte seconda – Risultanze e deduzioni della campagna indagini geofisiche 2013	pag. 85
3.4. Parte terza – Definizione del quadro conoscitivo idrogeologico, bilancio idrogeologico e osservazioni conclusive	pag. 102
4. ULTERIORI CONTRIBUTI PER LA DEFINIZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE DEL SITO (MCS)	pag. 110
4.1. Diffusione degli inquinanti nell'area	pag. 110
4.1.1. Moti dell'acqua nel sottosuolo	pag. 110
4.1.2. Moti dell'atmosfera: i venti	pag. 118
4.1.3. Moti dell'acqua sul suolo	pag. 119
4.2. Immissioni secondarie di inquinanti nell'ambiente	pag. 121
4.2.1. Attività inceneritore (in disuso al 2005)	pag. 121
4.2.2. Movimentazione degli autocompattatori da e per i siti di stoccaggio e di lavaggio e di altre macchine operatrici	pag. 122
4.3. Prove sperimentali relative alla tenuta del fondo della discarica CIPNES	pag. 126
5. DEFINIZIONE DELL MODELLO IDROGEOLOGICO	pag. 129
5.1. Le fonti	pag. 129
5.2. Il modello di flusso e trasporto degli inquinanti nella Relazione Vorlicek-2008	pag. 130
5.3. La trincea drenante e le prove di emungimento nella Relazione Integrativa Calderaro-2012	pag. 130
5.4. La progettazione della barriera idraulica a monte della discarica comunale	pag. 131
5.5. La Relazione Vivarelli-2005 e la Relazione De Paola-2013: convergenze sul modello idrogeologico	pag. 132
6. IL MODELLO IDROGEOLOGICO	pag. 137

1. INTRODUZIONE

In data Aprile 2014, il CIPNES “Gallura”, con sede ad Olbia (OT), attuale gestore del Complesso IPPC, ubicato in località Spiritu Santu del Comune di Olbia e destinato al trattamento ed allo smaltimento dei RSU/RS del sub-ambito D2 della provincia di Olbia Tempio, ha conferito allo scrivente incarico professionale nei termini di seguito trascritti.

“ Si specifica che lo studio oggetto dell’affidamento, considerata la rimarcata affinità dello studio eseguito nel 2013, per conto del CIPNES – Gallura con lo studio idrogeologico messo a punto nel 2005, in ambito di Piano di caratterizzazione della discarica comunale (regolarmente approvato dagli Enti competenti) per conto del Comune di Olbia, dovrà rendere organici i n.2 studi in parola, al fine di costituire, dall’analisi dei risultati ottenuti dagli stessi, il modello idrogeologico del sito di Spiritu Santu (Olbia).

Dai due studi pregressi si evincono, infatti, informazioni concordanti sull’assetto idrogeologico dell’area, nonché circa la mancata evidenza della presenza di una falda idrica profonda “sensu stricto”.

Pertanto, viste le affinità interpretative succitate, appare opportuno procedere ad un riesame, comparazione ed integrazione dello studio del Comune di Olbia (anno 2005) con lo studio del

CIPNES Gallura (anno 2013) nonché ad una più approfondita e critica interpretazione delle prove ed analisi eseguite nell'area; in particolare delle prove di emungimento, delle prove di permeabilità e delle prove idro-chimiche, in quanto da ritenersi prove sperimentali dirimenti dell'assetto idrogeologico “.

Si precisa, infine, che lo studio prodotto dal Comune di Olbia, con titolo “Piano di caratterizzazione della “Vecchia Discarica” località Spiritu Santu – Olbia”, risulta redatto, in data 29/07/2005, dal Gruppo di Progettazione facente capo al dott. ing. Danilo Vivarelli con sede ad Imola (BO), mentre lo studio prodotto dal CIPNES “Gallura”, con titolo “*Indagini geoelettriche 2013 nel quadro degli studi precedenti e reinterpretazione del modello idrogeologico*”, è stato redatto dallo scrivente, con sede a Benevento, in data 11 ottobre 2013.

In prosieguo i due citati elaborati tecnici, per comodità espositiva, verranno rispettivamente indicati come Relazione Vivarelli e Relazione De Paola .

2. – LA RELAZIONE VIVARELLI

La Relazione Vivarelli è costituita dai seguenti elaborati:

1. *Relazione tecnica descrittiva*
2. *Allegati*
3. *Tavole*

Se ne descrivono, di seguito e sinteticamente, i contenuti e gli aspetti salienti e peculiari, successivamente ripresi, discussi e correlati con i principali parametri della Relazione De Paola ai fini della modellazione idrogeologica del sito.

2.1 La “*Relazione tecnica descrittiva*”

E' articolata su sette capitoli, così titolati:

- 1 – Premessa
- 2 – Norme di riferimento
- 3 – Inquadramento dell'area in esame
- 4 – caratteristiche geologiche, idrogeologiche e inquadramento climatologico
- 5 – Indagini preliminari svolte in situ
- 6 – Formulazione del modello concettuale
- 7 – Sintesi conclusiva

2.1.1 Capitolo 1: “Premessa”

In questo capitolo si riferisce che la discarica comunale è stata inquadrata nel “*Piano regionale di gestione dei rifiuti – Piano di bonifica siti*”

inquinati”, redatto dalla Regione Autonoma della Sardegna nel 2003, come “*sito potenzialmente inquinato*” e, quindi, assoggettato alla normativa nazionale all’epoca vigente.

Quest’ultima viene individuata nel D.M. n.471/1999, il quale definisce i tre livelli di progettazione costituenti il “*Progetto di Bonifica*”, cioè il “*Piano di Caratterizzazione*”, il “*Progetto Preliminare*”, il “*Progetto Definitivo*”.

Lo studio in esame si identifica con il “Piano di Caratterizzazione”, prima fase conoscitiva del “Progetto di Bonifica”.

Si chiarisce che il Comune di Olbia, avendo avuto nel 2005 “*segnalazioni sulla presenza di percolato*”, ha conferito incarico all’ing. Vivarelli per la predisposizione di un piano di lavoro relativo alla “*investigazione iniziale per la determinazione dello stato ambientale del sito*”.

Tale investigazione costituisce, in definitiva, la principale fonte conoscitiva del piano di caratterizzazione del sito.

Il capitolo si chiude con un elenco della documentazione raccolta ed elaborata e di quella allegata.

2.1.2 Capitolo 2: “Norme di riferimento”

Si riportano ivi i titoli delle norme ed i relativi articoli di interesse all’epoca vigenti, così riassumibili:

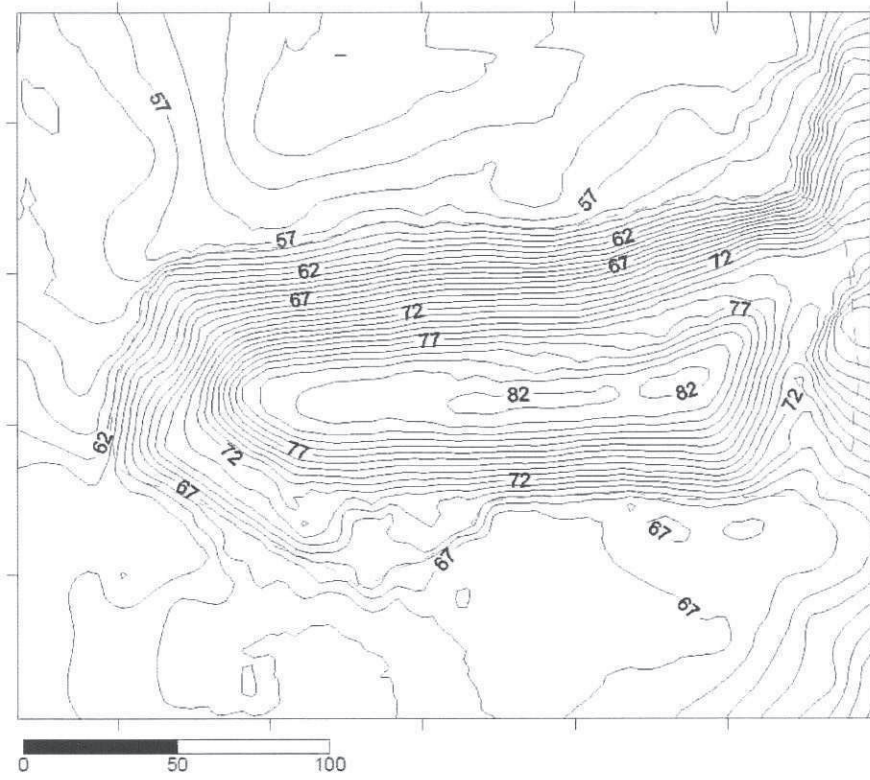
- D. L.vo n. 22/1997, “Attuazione delle Direttive 91/156 sui rifiuti, 91/689 sui rifiuti pericolosi e 94/62 sugli imballaggi”;
- D.M. n. 471/1999, “Regolamento recante criteri, procedure e modalità per la messa in sicurezza, la bonifica e il ripristino ambientale dei siti inquinati, ai sensi del D.Lvo n.22/1997 e smi:
- artt. 2, 3, 4

- Titoli degli Allegati 1, 2, 3, 4, 5.

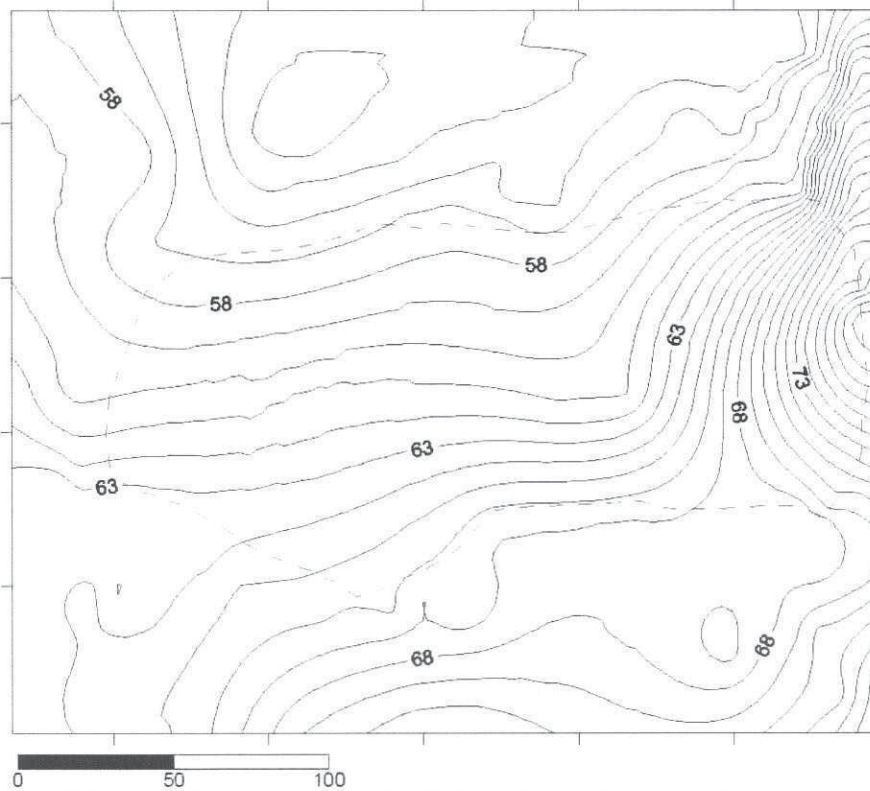
2.1.3 Capitolo 3: “Inquadramento dell’area in esame”

In questo capitolo vengono descritte le caratteristiche geografiche (inquadramento territoriale) del sito di interesse, l’area e la distribuzione degli impianti di trattamento e smaltimento dei rifiuti, le caratteristiche della discarica comunale sotto l’aspetto planimetrico (lato maggiore E-W pari a circa 230.00 m, lato minore N-S pari a circa 100.00 m, superficie occupata dalla discarica pari a 23'063 mq), altimetrico (lato nord a quota media di 57.00 m/lm, lato sud a quota media di 66.00 m/lm, coronamento a quota massima di 82.00 m/lm), volumetrico (volume discarica pari a 222'269.00 mc).

Di interesse lo stralcio topografico dell’attuale superficie della discarica e la ricostruzione topografica del fondo della discarica.



Topografia attuale – vista planimetrica



Ricostruzione topografia del fondo – vista planimetrica

Nel successivo paragrafo, intitolato “Descrizioni visive”, viene evidenziata e documentata fotograficamente **una pozza d’acqua**, ubicata immediatamente a valle della discarica sul lato nord, **nella quale è stata accertata sperimentalmente la presenza di percolato**.



Pozza d'acqua al piede della discarica

Segue un ultimo paragrafo dedicato alla “Ricostruzione storica e analisi degli utilizzi del sito”, nel quale si rileva come in origine il sito fosse destinato ad allevamento di bestiame nell’ambito di un’azienda agricola e che la coltivazione della discarica abbia avuto inizio nel 1981 e fine nel 1991, anno in cui è documentata l’entrata in esercizio della nuova discarica controllata, con l’autorizzazione provvisoria regionale del 31 maggio 1991.

2.1.4 Capitolo 4 “Caratteristiche geologiche, idrogeologiche e inquadramento climatologico

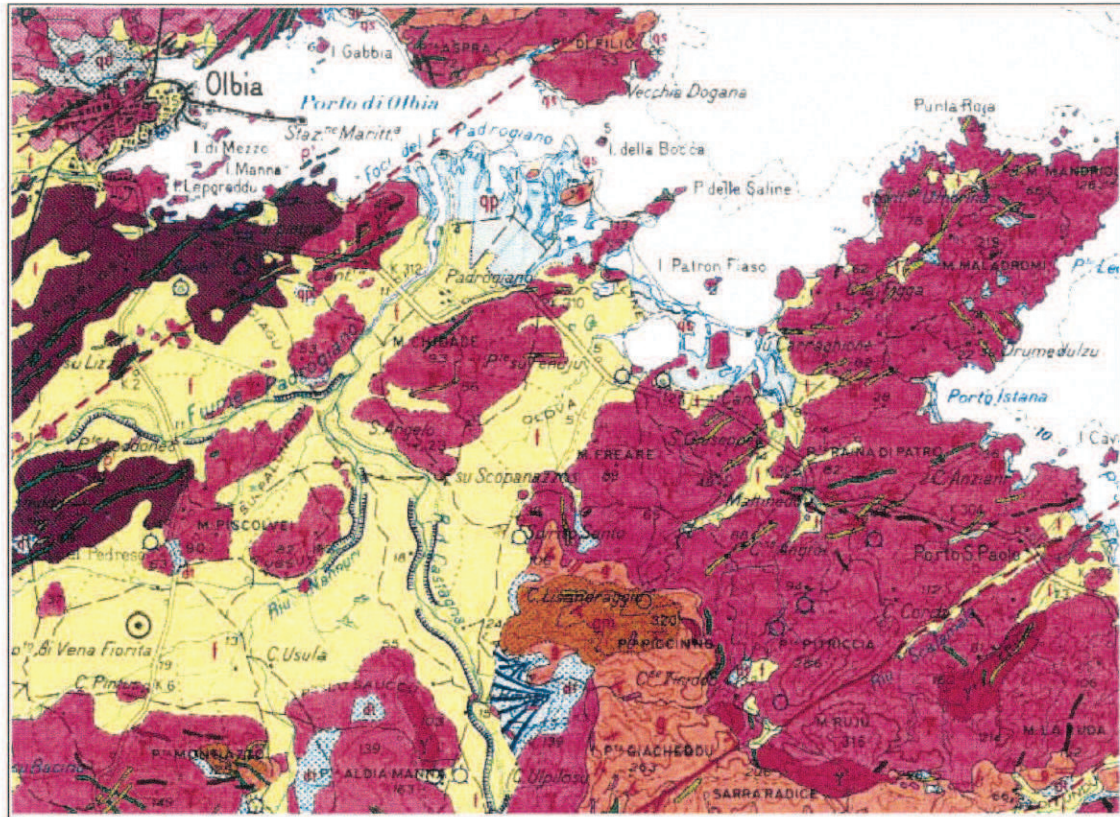
2.1.4.1 Inquadramento geologico

Le caratteristiche geologiche ivi illustrate si rifanno correttamente a quelle contemplate nella letteratura scientifica dell'epoca.

Nel ristretto ambito dell'area degli impianti affiorano esclusivamente monzograniti equigranulari, datati Carbonifero-Permiano, su cui poggiano in discordanza, soprattutto lungo le linee di impluvio, deboli coltri oloceniche di sedimenti sciolti colluviali e alluvionali; altrove ed in linea generale si osserva la presenza in affioramento di una coltre sabbioso-limosa a luoghi argillosa, generata dall'alterazione e dalla degradazione dei graniti.

All'esterno dell'area degli impianti, verso W e N-W si rilevano le alluvioni oloceniche ciottolose e limo-sabbiose di origine torrentizia e fluviale, mentre sul versante posto immediatamente a S dell'area impianti affiorano le migmatiti pre-cambriane e cambriano-siluriane.

Tanto si rileva dall'allegato stralcio cartografico.



Si espongono, infine, i principali caratteri tettonico-strutturali come noti in letteratura, assumendo il basamento sardo come derivato dall'orogenesi ercinica con le sue deformazioni, metamorfismo e magmatismo effusivo ed intrusivo, con una evoluzione protrattasi per tutto il paleozoico.

Tra il Carbonifero superiore ed il Permiano si ha una lunga fase tettonica distensiva, a cui fanno capo, nei livelli strutturali più superficiali, zone di taglio distensivo e faglie dirette.

2.1.4.2 Inquadramento idrogeologico

Viene individuata la presenza di un acquifero costituito da una coltre di sabbione granitico e dalla parte superficiale del sottostante complesso granitico, maggiormente fessurato rispetto al substrato più integro.

A detto complesso viene attribuita una porosità efficace molto bassa, compresa tra lo 0.1 e il 2 %, mentre il soprastante sabbione granitico, più permeabile rispetto ai graniti fessurati, è caratterizzato da una permeabilità $k > 10^{-6}$ m/s.

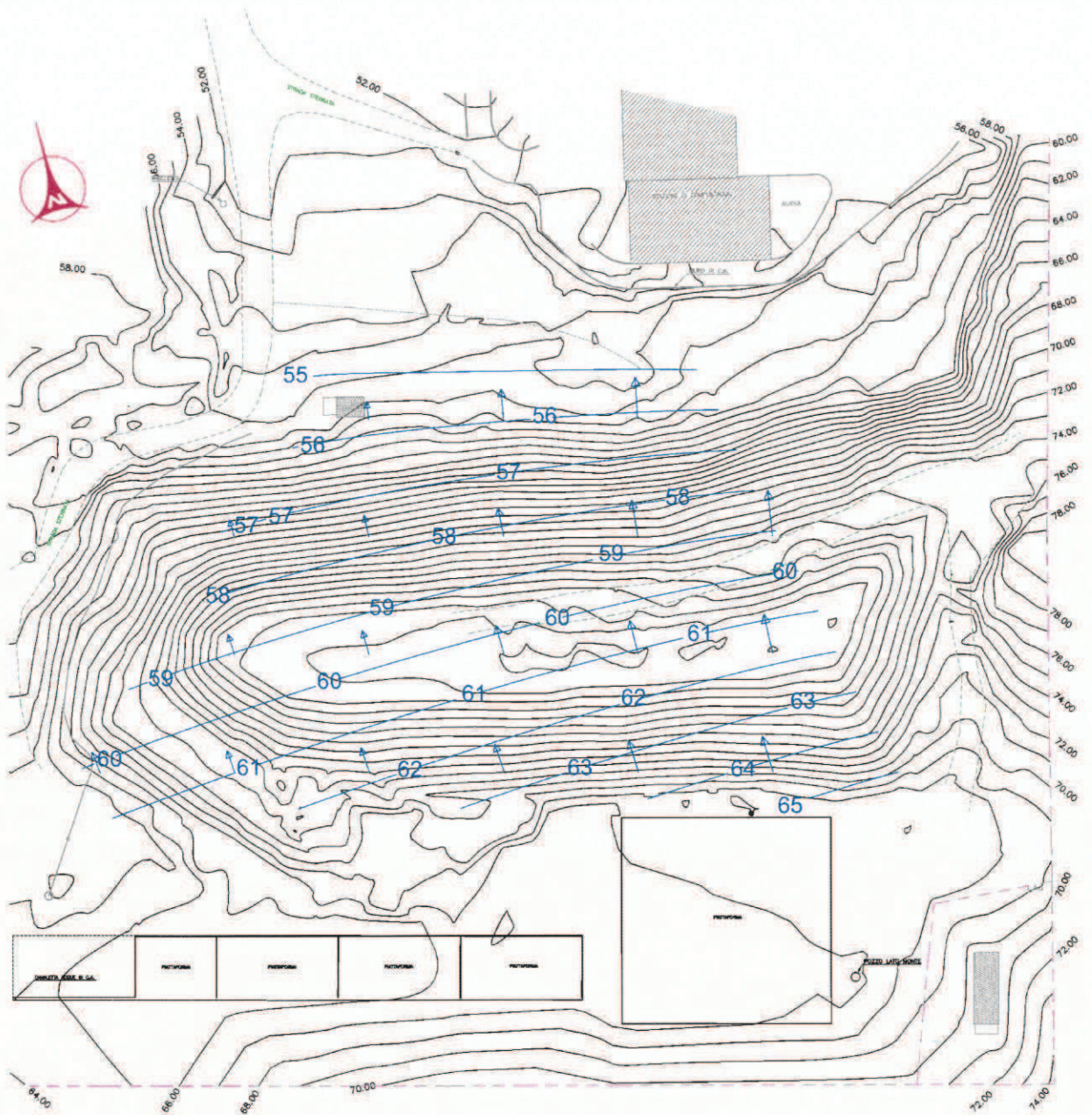
Le fessure, derivanti da fenomeni di decompressione e da sforzi tettonici, risultano più aperte nella parte alta dell'affioramento per minore carico litostatico.

L'affioramento granitico, soprattutto nella zona a monte della discarica, appare sottoposto ad una coltre di alterazione, dovuta a fenomeni termoclastici e caolinizzazione dello stesso ammasso granitico, costituita da un sabbione granitico comprendente anche una frazione argillosa.

Posto che l'acquifero viene identificato nella coltre di sabbione granitico e nella porzione alta e più fratturata del complesso granitico e che, per tale caratteristica, la circolazione idrica è relativamente superficiale, si rileva che *“la piezometrica si adatta alla morfologia esterna”*, dando luogo alla *“emergenza delle acque in modo diffuso (vedi il caso del percolato a valle in discarica e in altre zone nei pressi della discarica)”*.

Si procede, infine, alla ricostruzione della superficie piezometrica mediante restituzione cartografica dell'andamento delle isofreatiche nel territorio posto a N dell'area di interesse, basata sulla misurazione dei livelli piezometrici in nove pozzi, ubicati sino a 4.00 km a N della discarica, dei quali però non sono riportati dati significativi ai fini dell'attendibilità dell'andamento delle isofreatiche, quali stato di attività, condizionamento, profondità.

Compatibile con le caratteristiche geologiche, morfologiche e idrogeologiche del sito appare, invece, l'andamento delle isofreatiche nel più ristretto ambito della discarica comunale, di cui si riporta lo stralcio cartografico.



Legenda

- 56— Isofreatiche con indicazione della quota s.l.m. (in metri)
- ↑ Direzione di deflusso della falda

Carta delle isofreatiche

2.1.4.3 Climatologia

Nell'arco di tempo compreso tra il 1922 ed il 2005, quindi per 83 anni, è stata registrata una precipitazione media annuale di 570 mm.

In detto arco temporale è possibile distinguere due periodi caratterizzati da una diversa precipitazione media annuale.

Il primo periodo, compreso tra il 1922 ed il 1970, risulta essere più umido rispetto a quello successivo, compreso tra il 1970 ed il 2005, in quanto rispettivamente caratterizzati da precipitazioni medie annuali pari a 650 mm ed a 480 mm.

I dati termometrici sono invece disponibili dal 1927 al 2005, per complessivi 78 anni, e danno luogo ad una temperatura media annuale pari a 16.6°C.

Negli ultimi 35 anni (1970-2005) si è avuto un incremento della temperatura media annuale, che ha raggiunto un valore di 17°C.

Si evidenzia la correlazione esistente tra pioggia e temperature e quanto l'incremento della temperatura abbia influito sulla diminuzione delle precipitazioni nel periodo considerato.

2.1.5 Capitolo 5: “Indagini preliminari svolte in situ”

2.1.5.1 Articolazione delle indagini

Si sottolinea l'importanza di detto capitolo ai fini dello studio in corso in quanto espone con estremo dettaglio finalità, tecniche e specifiche di esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo e dei piezometri e loro condizionamento, tecniche e specifiche di campionamento, conservazione ed analisi (affidate a laboratori accreditati) di terreni, delle acque superficiali e di falda, del percolato, dei rifiuti presenti in discarica, dei gas interstiziali, prove di permeabilità mediante

edometro e prove dirette Lugeon, indagini geoelettriche: tutto secondo tecniche standard e nel rispetto delle norme vigenti, in particolare del D.M. 471/1999.

Si tratta, in definitiva, di un complesso di indagini in sito ed in laboratorio qualitativamente buono, non completamente esaustivo solo per taluni dettagli di tipo quantitativo, quali profondità dei sondaggi a carotaggio continuo e dei SEV, numero delle prove di Lugeon o delle permeabilità edometriche.

In sintesi, le indagini svolte sono le seguenti:

- Indagine geoelettrica mediante n.4 SEV;
- Esecuzione di n.9 sondaggi a carotaggio continuo, di cui i primi 4 (S1, S2, S3, S4) spinti sino a 10.00 m dal p.c. nel complesso granitico, i successivi n.3 (S5, S6, S7) spinti sino a 21.00 m, dal p.c. nel corpo della discarica, i restanti n.2 (S8, S9) spinti ad 8.00 m dal p.c. nel complesso granitico.
- Installazione di n.7 piezometri a tubo aperto nei fori di sondaggio come sopra individuati.
- Prelievo di n.9 campioni di terreno così distinti:
 - N.2 campioni indisturbati estratti nei terreni di fondo della discarica dai sondaggi S6 e S7 per determinare il coefficiente di permeabilità edometrica;
 - N.5 campioni rimaneggiati dai sondaggi S3 e S4 per determinare la presenza di eventuali inquinanti nei terreni circostanti la discarica;
 - N.2 campioni rimaneggiati dei terreni sottostanti la discarica, prelevati dai sondaggi S6 e S7, per valutarne l'eventuale contaminazione.
- Prelievo ed analisi di n.4 campioni di acqua della falda freatica dai piezometri P1, P2, P3, P4;

- Prelievo ed analisi di n.6 campioni di acqua superficiale (rete di scolo, ristagni in superficie, ecc.);
- Prelievo di n.3 campioni di percolato dai piezometri P5, P6, P7, installati nel corpo della discarica;
- Prelievo di n.9 campioni di rifiuti dai sondaggi S5, S6, S7 per definirne il grado di mineralizzazione;
- Prelievo di n.6 campioni di aria interstiziale lungo le verticali dei sondaggi S6 e S7 ubicati sul corpo discarica;
- Esecuzioni di n.3 prove Lugeon lungo le verticali dei sondaggi S8 ed S9 (ubicati nei pressi dei sondaggi S1 ed S2) per definire il coefficiente di permeabilità K dell'ammasso granitico fratturato.

2.1.5.2 Esiti dei sondaggi geognostici

L'ubicazione dei n.9 sondaggi geognostici a carotaggio continuo è rilevabile dalla allegata planimetria; di questi, n.3 (S5, S6, S7) sono stati eseguiti sul corpo discarica ed i restanti n.6 (S1, S2, S3, S4, S8, S9) nell'affiorante complesso granitico.

I sondaggi S5, S6, S7 hanno evidenziato la pila di rifiuti, per uno spessore di circa 20.00 metri, coperta da terreni di riporto per spessori compresi tra 0.50 e 0.20 m e sigillata alla base da uno strato di “argilla limoso-sabbiosa” per spessori compresi tra 0.50 e 0.60 m.

I sondaggi in esame risultano attrezzati con piezometri a tubo aperto.

Di seguito si allegano le colonne stratigrafiche.

Committente Comune di Olibia	Profondità raggiunta 21 m	Quota Ass. P.C. 82,21 m.s.l.m.	Certificato n°	Pagina
Operatore dott. Caldearo	Indagine Ambientale	Nota	Inizio/ fine Esecuzione 14-15/06/05	
Responsabile dott. Corona	Sonaggio S6	Tipo Carotaggio Continuo a rotazione	Tipo Sonda	Coordinate X.Y.

Scala (cm)	Litologia	Descrizione	Quota	N° Carotaggio R.Q.P.	S.P.T. (1" Cap)	Prova Test Ag/1cm	Valore Test Ag/1cm	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzaz.	Carotaggio	Falda	Altre prove	Altre prove	Piezometro (P) o Inclino metro (I)
		Terreno di riporto	-0,30												P(-1)
-1		Rifiuto	-1,40												
-2		Rifiuti	-2,30												
-3		Rifiuti	-3,40												
-4		Rifiuti	-4,40												
-5		Rifiuti	-5,40												
-6		Rifiuti	-6,40												
-7		Rifiuti	-7,30												
-8		Rifiuti	-8,50												
-9		Rifiuti	-8,70												
-10		Rifiuti	-10,40												
-11		Rifiuti	-11,60												
-12		Rifiuti	-12,00												
-13		Rifiuti	-12,70												
-14		Rifiuti	-12,90												
-15		Rifiuti	-14,40												
-16		Rifiuti	-14,60												
-17		Rifiuti	-16,00												
-18		Rifiuti	-16,20												
-19		Rifiuti	-17,70												
-20		Rifiuti	-17,90												
-21		Rifiuti	-18,80												
-22		Rifiuti	-19,00												
-23		Rifiuti	-19,60												
-24		Rifiuti	-20,40												
-25		Rifiuti	-20,60												
-26		argilla limoso sabbiosa	-21,00												

Campioni: S-Parati, Setilli, D-Ditterberg, M-Mahler, R-Rimaneggiato, RS-Rimaneggiato da SPT
 Piezometro: A1A-Tubo Aperto, CSC-Casagrande
 Perforazione: CS-Carotere Semplice, CD-Carotere Doppio, EC-Elica Continua
 Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonici
 Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
 Carotaggio: Continuo a rotazione

Firma 1

Firma 2

Committente Comune di Olbia	Profondità raggiunta 21 m	Quota Ass. P.C. 82,11 m.s.l.m.	Certificato n°	Pagina
Operatore dott. Calderaro	Indagine Ambientale	Note:		Inizio/Fine Esecuzione 16-17/06/05
Responsabile dott. Corona	Sondaggio S7	Tipo Carotaggio Continuo a rotazione		Tipo Sonda
				Coordinate X Y

Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	%Carotaggio R.Q.D.	S.P.T. (n° Colpi)	Pecorel Test kg/cmq	Vane Test kg/cmq	Campioni	Metodo Perforazione	Metodi Stabilizz.	Viti Carotaggio	Falda	Altre prove	Altre prove	Piezometro (P) o Inclinometro (I)
		Terreno di riporto	-0,20												
		Rifiuto	-1,00												
-1		Rifiuti	-2,10												
-2		Rifiuti	-3,10												
-3		Rifiuti	-4,20												
-4		Rifiuti	-5,20												
-5		Rifiuti	-6,20												
-6		Rifiuti	-7,20												
-7		Rifiuti	-8,20												
-8		Rifiuti	-9,20												
-9		Rifiuti	-10,20												
-10		Rifiuti	-11,20												
-11		Rifiuti	-12,20												
-12		Rifiuti	-13,20												
-13		Rifiuti	-14,20												
-14		Rifiuti	-15,20												
-15		Rifiuti	-16,20												
-16		Rifiuti	-17,20												
-17		Rifiuti	-18,20												
-18		Rifiuti	-19,20												
-19		Rifiuti	-20,20												
-20		Rifiuti	-21,00												
-21		argilla limoso sabbiosa	-21,00												
-22															

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazzer, R-Rimaneggiato, RS-Rimaneggiato da SPT
 Picconiere: ATA-Tubo Aperto, CSC-Casagrande
 Perforazione: CS-Carotere Semplice, CD-Carotere Doppio, EC-Elica Continua
 Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Betonici
 Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
 Carotaggio: Continuo a rotazione

Firma 1

Firma 2




I sondaggi S1, S2, S3, S4, S8, S9 evidenziano la presenza in affioramento dei graniti alterati e maggiormente fratturati in superficie per uno spessore di circa 2.00 m, con fratturazione significativa fino a profondità media di circa 6.00 m, a cui succedono livelli con fratturazione in genere lieve e *indici di qualità RQD* da discreto a buono ed eccellente.

Si precisa che nei sondaggi S3 ed S4 i graniti affioranti risultano coperti da terreni di riporto per spessori di 6.00 e 3.00 m.

Della roccia granitica è stato valutato l'RQD, indice di qualità della roccia secondo AGI-1977, che esprime il grado di continuità, e quindi di fratturazione, di una roccia.

In generale si rileva che la qualità del granito migliora con la profondità (oltre i 6.00 m) e che l'angolo dei piani di fratturazione rispetto alla verticale si mantiene costante attorno ai 45°.

Dei sondaggi S8 ed S9, spinti ad 8.00 m dal p.c. e dedicati alle prove Lugeon, non sono riportate le stratigrafie, ma dalle allegate fotografie dei carotaggi continui si deduce agevolmente, per l'intera verticale, la presenza dei graniti, la loro buona qualità (eccezion fatta per i primi 2.40 m del sondaggio S8) e la costante angolazione delle superfici di frattura pari a circa 45°.

Comittente Comune di Olibia		Profondità raggiunta 10 m	Quota Ass. P.C. 55,01 m.s.l.m.	Certificato n°	Page										
Operatore dott. Calderaro		Indagine Ambientale	Note:		Inizio/Fine Esecuzione 03/08/06/05										
Responsabile dott. Corona		Sondaggio S2 (P2)	Tipo Carotaggio Continuo a rotazione		Tipo Sonda										
Coordinate X Y															
Scala (m)	Litologia	Descrizione	Quota	%Carotaggio R, Q, D	S.P.T. (n° colpi)	Rocket Test (g/cm³)	Viani Test (g/cm³)	Campan	Metodo Perforazione	Rivestimento Stabilizzaz.	Caric. Coring	Falda	Altre prove	Altre prove	Piezometro (P) o inclinometro (I)
-1		Granito alterato e mediamente fratturato (qualità della roccia scadente)	-2.00	R C								-0.36 1.4			
-2		Granito con lieve fratturazione. Indice di qualità discreto	-4.00	R C											
-3		granito con livelli fratturati. Indice di qualità eccellente	-10.00	R C											
-4															
-5															
-6															
-7															
-8															
-9															
-10															
-11															
<p>Campioni: S-Parati Sottili, O-Osterberg, M-Mazzer, R-Rimaneggiato, R3-Rimaneggiato da SPT Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Cesagrande Perforazione: ES-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Bentonici Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa Carotaggio: Continuo a rotazione</p>															
												Firma 1		Firma 2	

Comittente Comune di Olbia		Profondità raggiunta 10 m	Quota Ass. P.C. 63,60 m.s.l.m.		Certificato n°	Pagina									
Operatore dott. Calderaro		Indagine Ambientale	Note:			Inizio/Fine Esecuzione 08-09/06/05									
Responsabile dott. Corona		Sondaggio S3 (P4)	Tipo Carotaggio Continuo a rotazione		Tipo Sonda	Coordinate X,Y									
Scala (cm)	Litologia	Descrizione	Quota	%Carotaggio R.Q.D.	S.P.T (n° Colpe)	Prodotto Test kg/cmq	Vuoto Test kg/cmq	Campioni	Metodo Perforazione	Metodo Stabilizzazione	Cavi Calsabug	Falda	Altra prova	Altra prova	Piezometro (P) o Inclinometro (I)
		Terreno di riporto costituito da sabbie con ciottoli e trovanti (granito). Presenza di rifiuti (gomma)													
-1								R							
-1.50															
-2								R							
-3												-2,92 1-1			
-3.00															
-4								R							
-4.50															
-5															
-6			-6.00												
-7		granito con livelli fratturati. Indice di qualità buono													
-8															
-9															
-10			-10.00												
-11															
															A -10.00

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato, Rs-Rimaneggiato da SPT
Piezometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Fanghi Bitonici
Prove SPT: PA-Punta Aperta, FC-Punta Chiusa
Carotaggio: Continuo a rotazione

Firma 1 _____ Firma 2 _____

Committente Comune di Orbassano	Profondità raggiunta 10 m	Quota Ass. P.C. 57,10 m.s.l.m.	Certificato n°	Pagina
Operatore dott. Calderaro	Indagine Ambientale	Notes	Inizio/Fine Esecuzione 10/06/05	
Responsabile dott. Corona	Sondaggio 54 (P3)	Tipo Carotaggio Continuo a rotazione	Tipo Sonda	Coordinate X Y

Quota (m)	Litologia	Descrizione	Quota	%Carotaggio R.Q.D.	S.P.T. (n° Colpi)	Resist. Test (kg/cm²)	Sens. Test (kg/cm²)	Campioni	Metodo Penetrazione	Metodo Sollecitati	Olio Carotaggio	Fotografia	Altre prove	Picnometro (P) o Inclinometro (I)
-1		Terreno di riporto costituito da sabbie con ciottoli e trovanti (granito).												
-1.50														
-3.00			-3.00											
-4.00		granito. Indice di qualità eccellente	-4.00											
-6.00		granito. indice di qualità scadente	-6.00											
-10.00		granito. Indice di qualità buono	-10.00											
-10.00														

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazior, R-Rimaneggiato, Ra-Rimaneggiato da SPT
 Picnometro: ATA-Tubo Aperto, CSG-Casagrande
 Penetrazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio, EC-Elica Continua
 Stabilizzazione: RM-Rivestimento Metallico, FB-Falghi Betonite
 Prove SPT: PA-Punta Aperta, PC-Punta Chiusa
 Carotaggio: Continuo a rotazione

Firma 1

Firma 2



Carotaggio del sondaggio S9 (0-5m)



Carotaggio del sondaggio S9 (5-8m)



Carotaggio del sondaggio S8 (0-6m)

Livelli freatici sono stati rinvenuti nei sondaggi S1, S2, S3, S4 alle quote di seguito trascritte:

- S1, falda a -2.78 m
- S2, falda a -0.36 m
- S3, falda a -2.92 m
- S4, falda a -1.18 m.

Si rileva che la soggiacenza della superficie freatica è molto contenuta, risultando compresa tra un minimo di 0.36 m ed un massimo di 2.92 m.

2.1.5.3 Esiti indagini idrogeologiche

Vengono riportati gli esiti delle misurazioni eseguite su tutti i piezometri per il rilevamento della superficie freatica; l'operazione è stata

effettuata con un rilevamento plano-altimetrico dei boccafori dei piezometri e successivamente allo spurgo degli stessi e ad una fase di riposo per il riequilibrio idrodinamico della falda.

Le misurazioni, eseguite in data 21/06/2005, vengono di seguito riportate.

Piezometro	Data misura	Livello statico da b.p.	*Quota pozzo	Livello falda
<i>n°</i>		<i>metri da bocca pozzo</i>	<i>m.s.l.m.</i>	<i>m.s.l.m.</i>
P1	21/06/05	- 2,80	+ 56,75	+ 53,95
P2	21/06/05	- 0,47	+ 55,12	+ 54,65
P3	21/06/05	- 1,23	+ 67,10	+ 65,87
P4	21/06/05	- 2,90	+ 63,58	+ 60,68
Pozzo a monte	21/06/05	- 2,82	+ 66,70	+ 63,88

* Quota riferita al livello del mare

A seguito di tali operazioni viene rilevata la presenza di una circolazione idrica superficiale con *“piezometrica che si adatta alla morfologia esterna”*, risultando la soggiacenza della superficie freatica compresa tra un minimo di 0.47 m ed un massimo di 2.90 m.

Si evidenzia, inoltre, che *“la superficie freatica risulta di tipo divergente con asse prevalente N-S ed immergente verso N, come da allegata tavola delle isofreatiche”*.

Risulta, pertanto, una perfetta convergenza tra le sopra citate caratteristiche litostratigrafiche e litotecniche delle rocce affioranti e relative caratteristiche idrogeologiche, in quanto la falda idrica è ospitata nella parte superficiale dell'ammasso roccioso, che, all'esame, risulta essere quella maggiormente alterata e fratturata, e, laddove presenti, nei deboli depositi di copertura.

Si ricorda, infatti, che l'RQD (indice di qualità della roccia) e la documentazione fotografica delle carote di cui ai sondaggi geognostici sopra citati, hanno consentito di valutare la roccia sotto il profilo litotecnico, classificandola *“scadente/discreta”* fino ad una profondità di 6.00 m dal p.c. e *“buona”* oltre tale profondità.

Le prove Lugeon, eseguite nei sondaggi S8 ed S9, confermano questi dati, potendosi evincere quanto segue.

Nella prima prova effettuata nel sondaggio S9, ad una profondità compresa tra 5.00 e 6.00 m, è stata rilevata una perdita di carico in tempi brevi, a causa dell'elevato stato di fratturazione della roccia in quella zona.

Nella seconda prova, effettuata ad una profondità compresa tra 7.00 e 8.00 m, è stato ottenuto un valore di $K = 7.7 \cdot 10^{-4}$ cm/s, indice di una maggiore integrità della roccia.

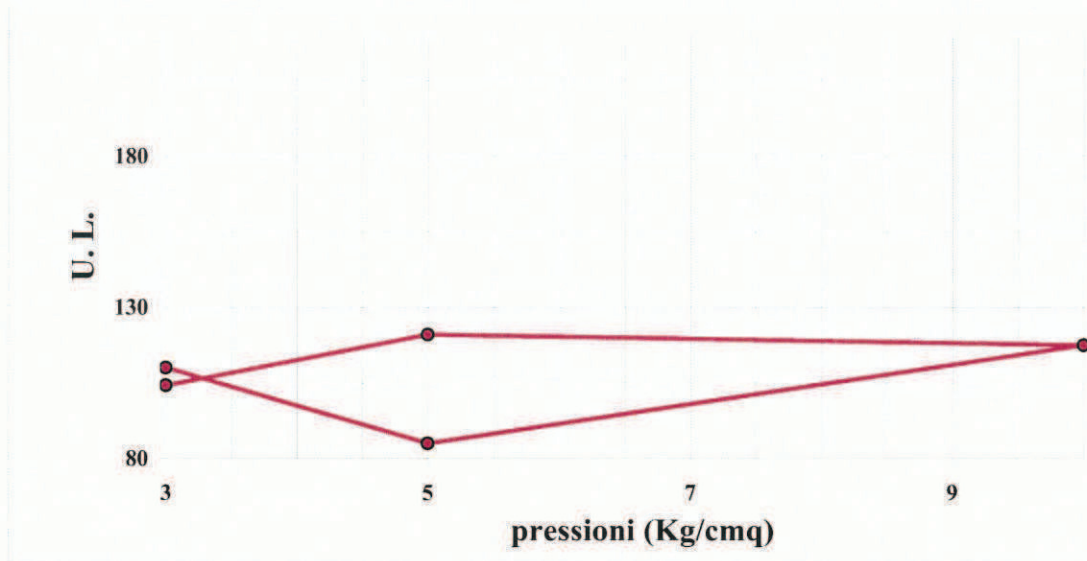
Nel sondaggio S8, l'unica prova effettuata tra 4.00 e 6.00 m di profondità ha dato luogo ad un $K = 1.18 \cdot 10^{-3}$ cm/s, indice di un più elevato grado di fratturazione del granito.

COMMITTENTE COMUNE DI OLBIA
LOCALITA' OLBIA
CANTIERE Discarica Comunale Spirito Santu

Data 07/07/05
Sondaggio n. S8
Prova n. 1
Profondità (m) 4,00 - 6,00

Note: prova eseguita in avanzamento

PROVA DI IMMISSIONE LUGEON								
P	P.U.	S			Δt	Δl	U.L.	K
Pressioni	Portata unitaria	Assorbimenti (litri)			Durata	lunghezza	Unità Lugeon	Coeff. Perm
bar	l/min/m	S1	S2	S3	minuti	metri	l/min/m	cm/s
3,00	33,00	660,0	660,0	660,0	10	2,00	110,00	1,10E-03
5,00	42,50	850,0	850,0	850,0	10	2,00	85,00	8,50E-04
10,00	117,50	2.350,0	2.350,0	2.350,0	10	2,00	117,50	1,18E-03
5,00	60,50	1.210,0	1.210,0	1.210,0	10	2,00	121,00	1,21E-03
3,00	31,00	625,0	625,0	625,0	10	2,00	104,17	1,04E-03

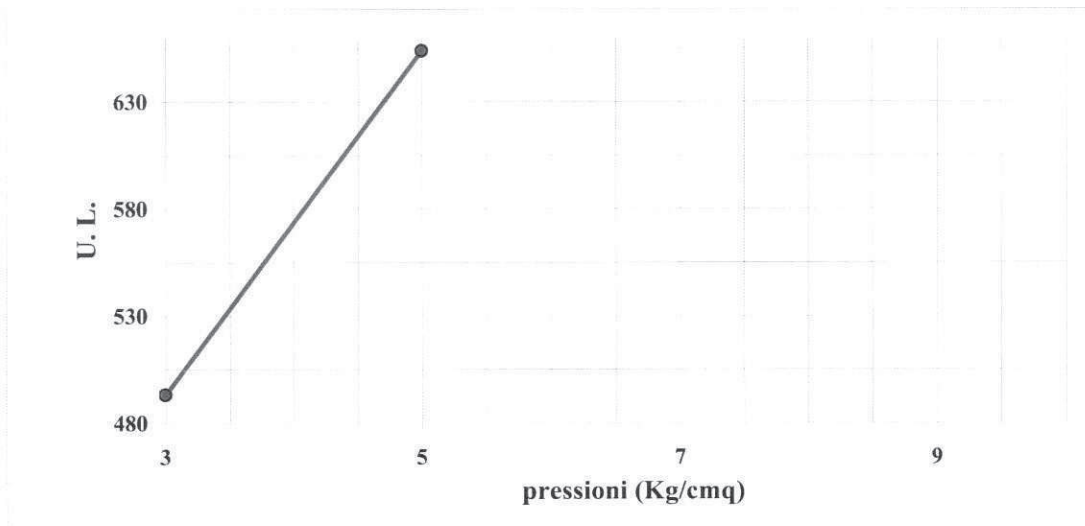


COMMITTENTE COMUNE DI OLBIA
LOCALITA' OLBIA
CANTIERE Discarica Comunale Spirito Santu

Data 07/07/05
Sondaggio n. S9
Prova n. 1
Profondità (m) 5,00 - 6,00

Note: prova eseguita in avanzamento

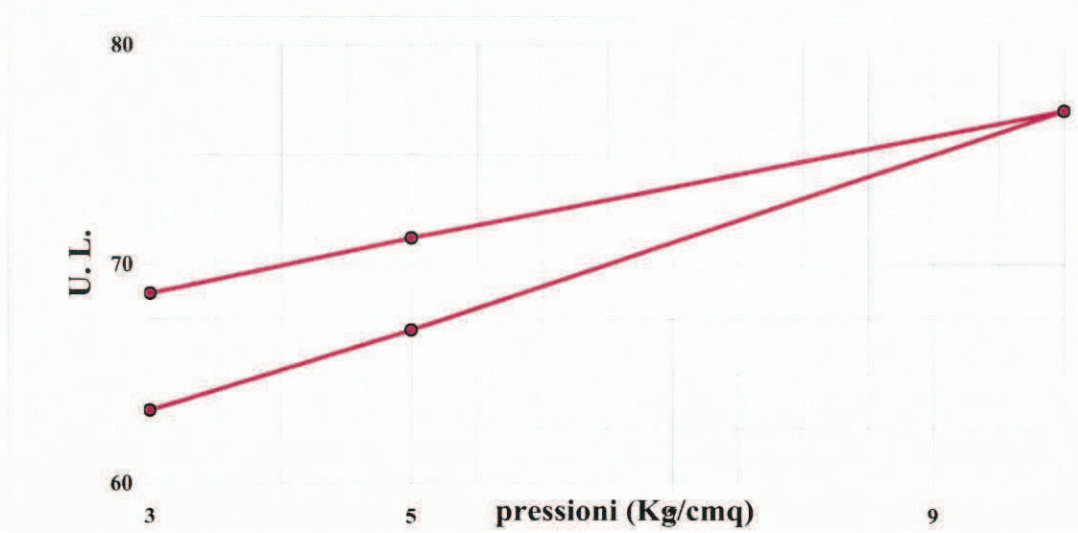
PROVA DI IMMISSIONE LUGEON								
P	P.U.	S			Δt	Δl	U.L.	K
Pressioni	Portata unitaria	Assorbimenti (litri)			Durata	lunghezza	ITA' LUGEON	Coeff. Perm
bar	l/min/m	S1	S2	S3	minuti	metri	min/m (10 bar)	cm/s
3,00	74,00	1.480,0	1.480,0	1.480,0	10	1,00	493,33	4,93E-03
5,00	163,50	3.270,0	3.270,0	3.270,0	10	1,00	654,00	6,54E-03
10,00								0,00E+00
5,00								0,00E+00
3,00								0,00E+00



COMMITTENTE	COMUNE DI OLBIA	Data	07/07/05
LOCALITA'	OLBIA	Sondaggio n.	S9
CANTIERE	Discarica Comunale Spirito Santu	Prova n.	1
		Profondità (m)	7,00-8,00

Note: prova eseguita in avanzamento

PROVA DI IMMISSIONE LUGEON								
P	P.U.	S			Δt	Δl	U.L.	K
Pressioni	Portata unitaria	Assorbimenti (litri)			Durata	lunghezza	UNITA' LUGEON	Coeff. Perm
bar	l/min/m	S1	S2	S3	minuti	metri	lin/m (10 bar)	cm/s
3,00	19,00	190,0	190,0	190,0	10	1,00	63,33	6,33E-04
5,00	33,50	335,0	335,0	335,0	10	1,00	67,00	6,70E-04
10,00	77,00	770,0	770,0	770,0	10	1,00	77,00	7,70E-04
5,00	35,60	356,0	356,0	356,0	10	1,00	71,20	7,12E-04
3,00	20,60	206,0	206,0	206,0	10	1,00	68,67	6,87E-04



Tutte le prove risulterebbero condizionate, secondo l'Autore, "dalla vicinanza di vie preferenziali di sfogo dell'acqua", poiché "nel caso della prova su S8 è stata rilevata la fuoriuscita di acqua dal vicino piezometro P2 e nel caso della prova su S9 è stata rilevata la fuoriuscita di acqua da un ristagno di percolato posto a circa 10.00 m."

Ciò proverebbe che "il movimento delle acque nel granito avviene per lo più lateralmente", anche per effetto delle inclinazioni a 45° delle fratture rilevate nell'ammasso roccioso.

Tanto risulta *“in linea con quanto indicato dagli indici di qualità del granito soprariportati”*.

Sempre allo scopo di definire al meglio il quadro idrogeologico locale, nell'ambito della discarica comunale sono state eseguite n.4 prospezioni geoelettriche con metodologia SEV-Schlumberger, con distanza elettrodica massima di 140.00 m e conseguimento di una profondità di indagine compresa tra 30.00 e 40.00 m.

L'ubicazione degli allineamenti elettrodici sono rilevabili dalla planimetria allegata.

Il SEV-1, quota 76.59 m/lm, superati i primi metri, da 0.00 m a - 7.40 m dal p.c., occupati dai rifiuti e relative coperture a diversa resistività, evidenzia, tra - 7.40 m (quota 69.19 m/lm) e - 10.50 m dal p.c. (quota 66.09 m/lm), *“un elettrostrato sede del rifiuto umido e dell'acquifero con conducibilità elevata (resistività 4.4 Ω m), che poggia sul substrato litoide della formazione granitica”*.

Detto substrato, che sostiene quindi - oltre ai rifiuti - anche una falda idrica, è caratterizzato da una resistività elevata (8'105 Ω m), tipica di roccia granitica compatta e *“priva di particolare percolazione nel sistema di fratture”*.

Il SEV-2, quota 72,97 m/lm, denuncia analoga distribuzione degli elettrostrati: coperture e rifiuti a diversa resistività fino a - 6.10 m dal p.c.; il successivo elettrostrato, per uno spessore di 9.90 m, perciò fino a quota 56.97 m/lm, assume una conducibilità elevata (4.1 Ω m), perciò sede probabile di rifiuti umidi ed altro nonché dell'acquifero.

Al di sotto dei 16.00 m dal p.c. si passa ad una elettrostrato caratterizzato da resistività elevata (91'232 Ω m), tipica di roccia integra e, perciò, sostanzialmente impermeabile.

Il SEV-3, quota 69.00 m/lm, evidenzia analoga distribuzione degli elettrostrati: coperture e rifiuti a diversa resistività fino a circa – 3.00 m dal p.c.; il successivo elettostrato, per uno spessore di circa 20.00 m, perciò da quota 66.00 m/lm fino a quota 46.00 m/lm, assume una conducibilità elevata (4.5 Ω m), possibile sede di acquifero, a cui segue il basamento granitico integro con resistività elevata (circa 5'000 Ω m).

In merito a questo profilo viene osservato come lo spessore (20.00 m) dell'elettostrato conduttivo (resistività 4.5 Ω m) possa risultare inficiato dalle particolari condizioni al contorno, quali il livellamento dell'impluvio naturale sottostante la discarica ottenuto con scavi e riporti, la possibile realizzazione di un fondo irregolare e di concavità sedi di ristagni idrici, la prossimità del centro del SEV all'asse del tubo (sottostante il fondo della discarica) che convoglia le acque dell'impluvio da monte verso valle, la bonifica di alcune aree palustri a monte del corpo della discarica, ecc..

Queste circostanze, concretamente rappresentabili come variazioni laterali di facies, possono aver dato luogo a problemi di interpretazione del modello geologico, senza peraltro escludere la possibile esistenza di un ***“sistema di fratturazione dei graniti in cui si è impostato un acquifero alimentato dal percolato”***.

Il SEV-4, quota 67.47 m/lm, dà luogo ad una distribuzione degli elettrostrati analoga al SEV-3: copertura e rifiuti a diversa resistività fino a circa - 3.00 m dal p.c.; segue un elettostrato con spessore di 19.00 m, all'incirca da quota 64.50 m/lm fino a quota 45.50 m/lm, caratterizzato da conducibilità elevata (4.4 Ω m) interpretabile *“come sede di acquifero molto fratturato”*.

Alle predette quote (64.50 m/lm circa) è impostato un elettostrato con spessore indefinito caratterizzato da una resistività elevata (4'539 Ω m).

Si osserva, infine, che la regolarizzazione del fondo possa essere stata conseguita con l'uso di esplosivi ovvero che il sito possa essere stato oggetto di coltivazione di cava, con conseguente ampliamento delle fratture singenetiche di raffreddamento dei graniti, sede perciò *“di un acquifero alimentato dal percolato, in quanto i valori di resistività sono bassi, sintomatici che le acque sono arricchite da sali o metalli”*.

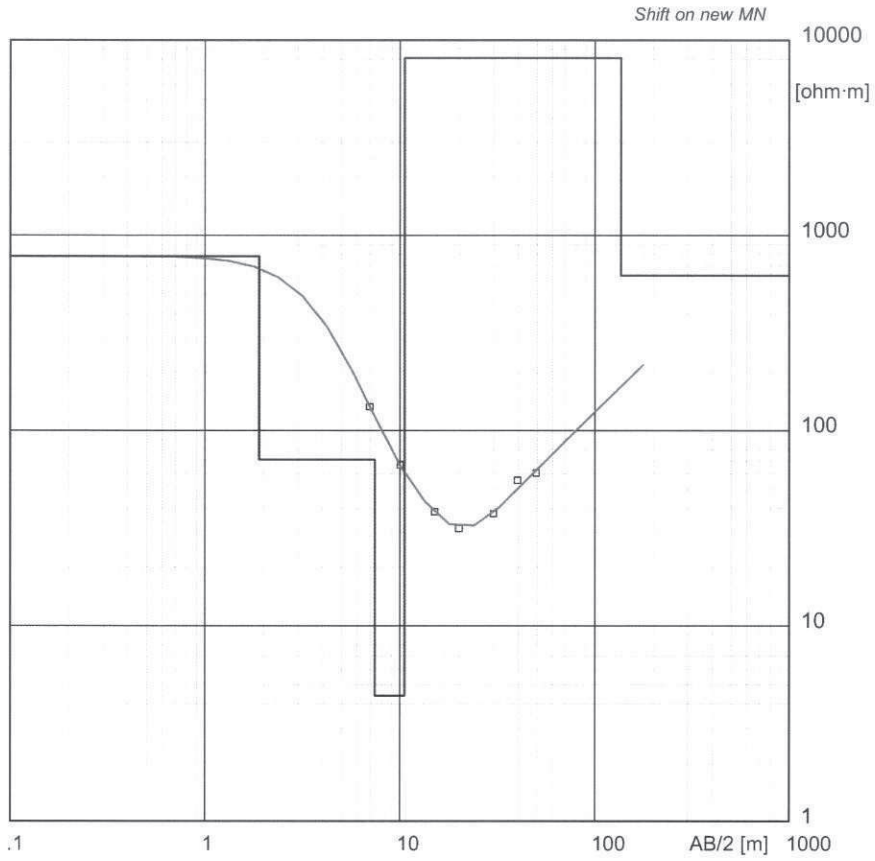
Nella conclusione si evidenzia, però, molto opportunamente, che *“le prove effettuate non permettono, comunque, l'individuazione dell'esatta profondità del substrato roccioso, in quanto la presenza di acqua di falda e/o percolato nei primi metri del granito fratturato rende lo strato conduttivo più potente”*.

Appare utile a questo punto **annotare la maggiore ed oggettiva attendibilità delle prove RQD**, eseguite sulle carote granitiche estratte con i sondaggi geognostici, che danno luogo ad un “indice di qualità della roccia” definito “buono” già ad una profondità mediamente individuata attorno ai 6.00 m di profondità dal p.c., che ben difficilmente consente la percolazione e circolazione di acqua e quindi l'insediamento a profondità maggiore di una falda idrica, che rimarrebbe perciò localizzata al di sopra di tale quota.

Tale osservazione sarà nel seguito ulteriormente confermata dall'analisi e correlazione con i risultati delle indagini geoelettriche eseguite nel 2013 ed acquisite nella Relazione De Paola.

Seguono ubicazione SEV e relativi diagrammi di resistività.

Electrical sounding Schlumberger - sev 1.WS3



Model Resistivity	Thickness	Depth
[ohm·m]	[m]	[m]
783	1.9	1.9
71	5.5	7.4
4.4	3.1	10
8105	126	136
622		

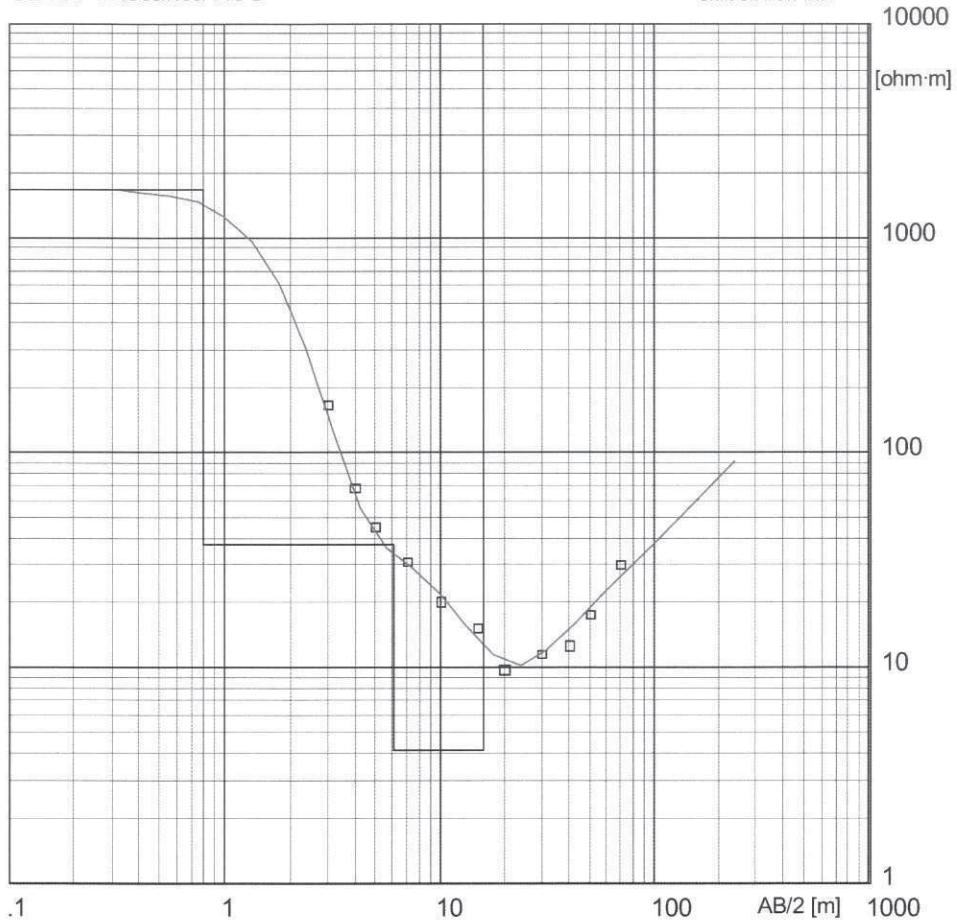
W-GeoSoft / WinSev 6.1

- SEV 1 -

Electrical sounding Schlumberger - sev 2.WS3

OLBIA - Discarica RSU

Shift on new MN



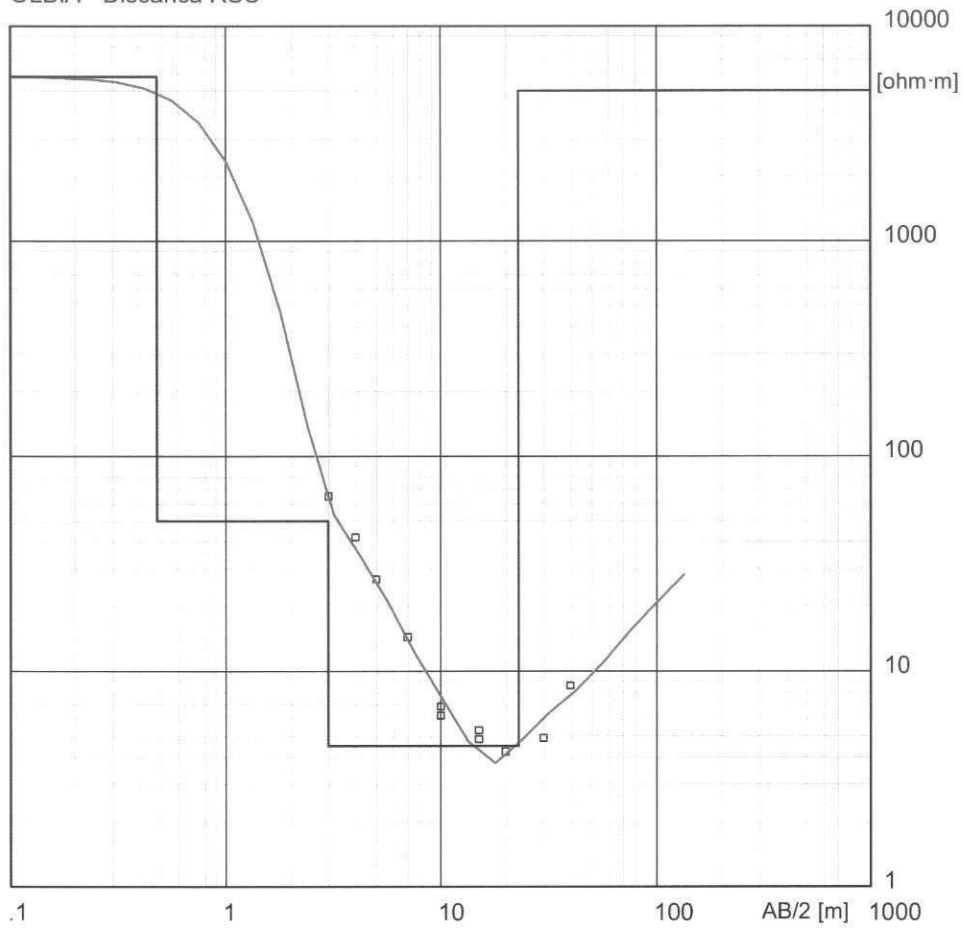
Model Resistivity [ohm·m]	Thickness [m]	Depth [m]
1687	.79	.79
37	5.3	6.1
4.1	9.9	16
91232		

W-GeoSoft / WinSev 6.1

- SEV 2 -

Electrical sounding Schlumberger - sev 3.WS3

OLBIA - Discarica RSU



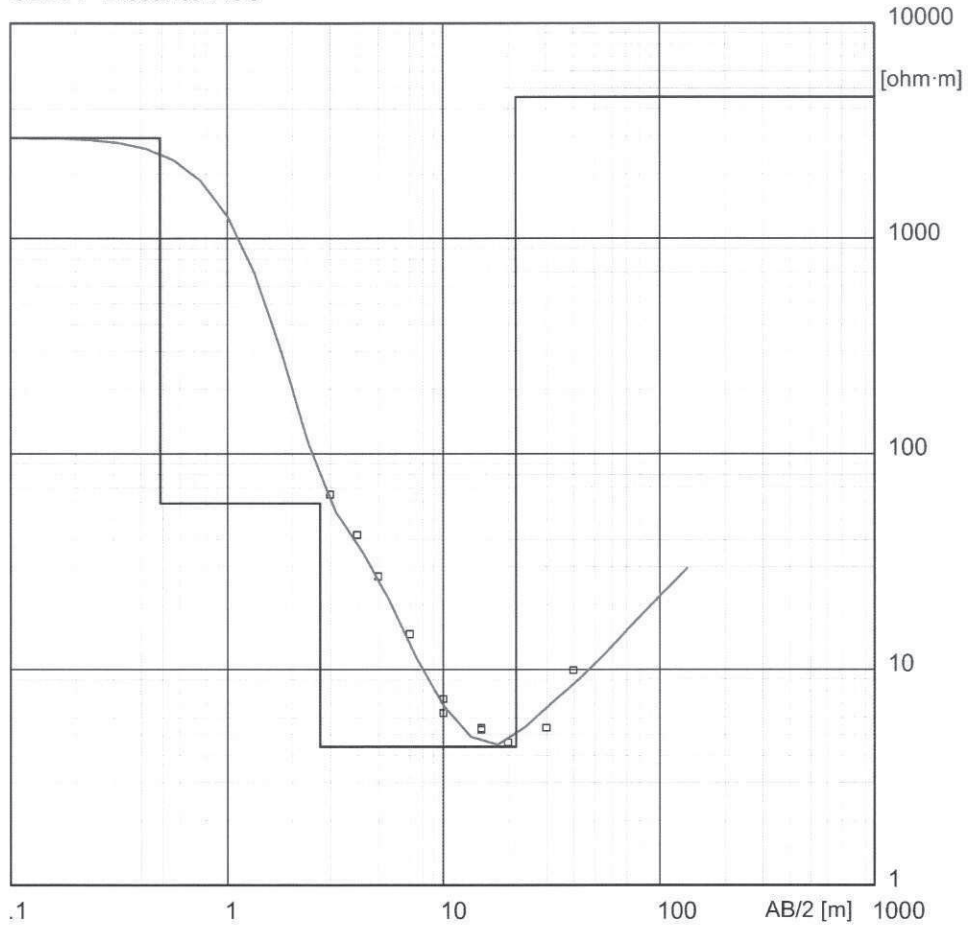
Model Resistivity	Thickness	Depth
[ohm·m]	[m]	[m]
5809	.48	.48
50	2.5	.48
4.5	20	3
5000		23

W-GeoSoft / WinSev 6.1

- SEV 3 -

Electrical sounding Schlumberger - sev 4.WS3

OLBIA - Discarica RSU



Model Resistivity	Thickness	Depth
[ohm·m]	[m]	[m]
2933	.49	.49
59	2.2	.49
4.4	19	2.7
4539		22

W-GeoSoft / WinSev 6.1

- SEV 4 -

2.1.5.4 Esiti analisi dei terreni

Lo stato ambientale dei terreni di fondo della discarica è stato rilevato sui due campioni estratti dai sondaggi S6-fondo ed S7-fondo eseguiti sul corpo della discarica e, per quanto concerne i terreni all'intorno della discarica, lo stato ambientale è stato rilevato dai campioni S3-C1, *C2, *C3 ed S4-C1, *C2.

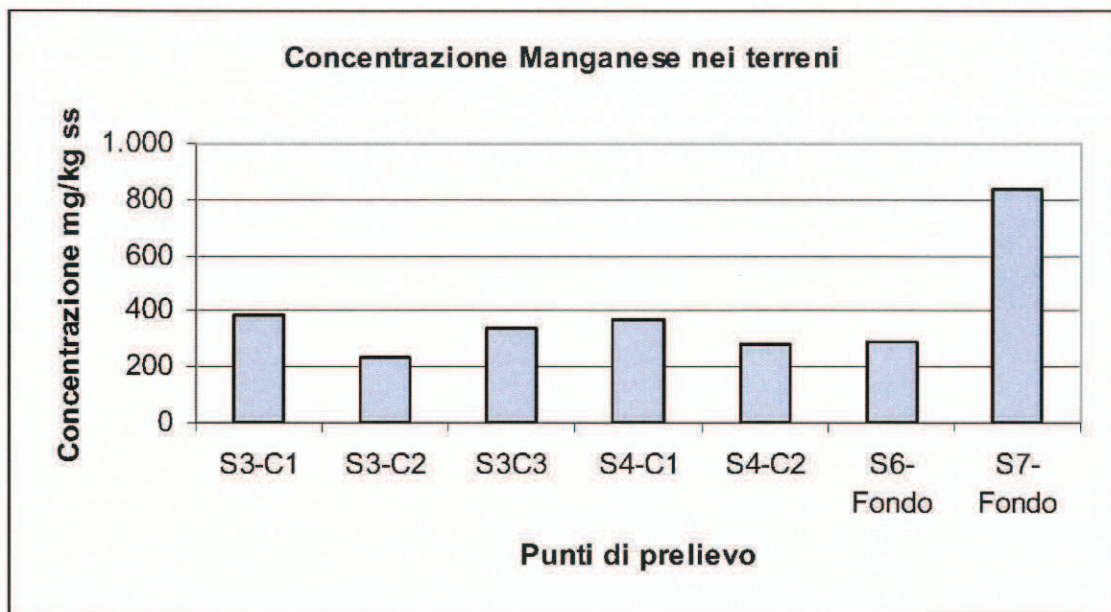
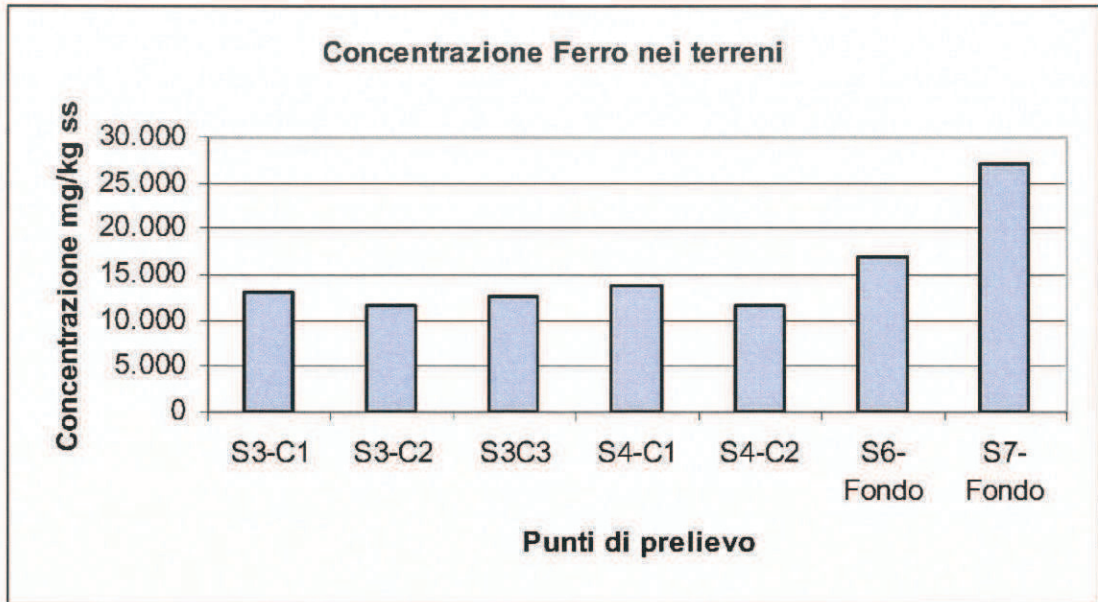
I parametri ricercati sono stati prescelti con riferimento al D.M. 471/1999 e risultano dall'elenco che segue.

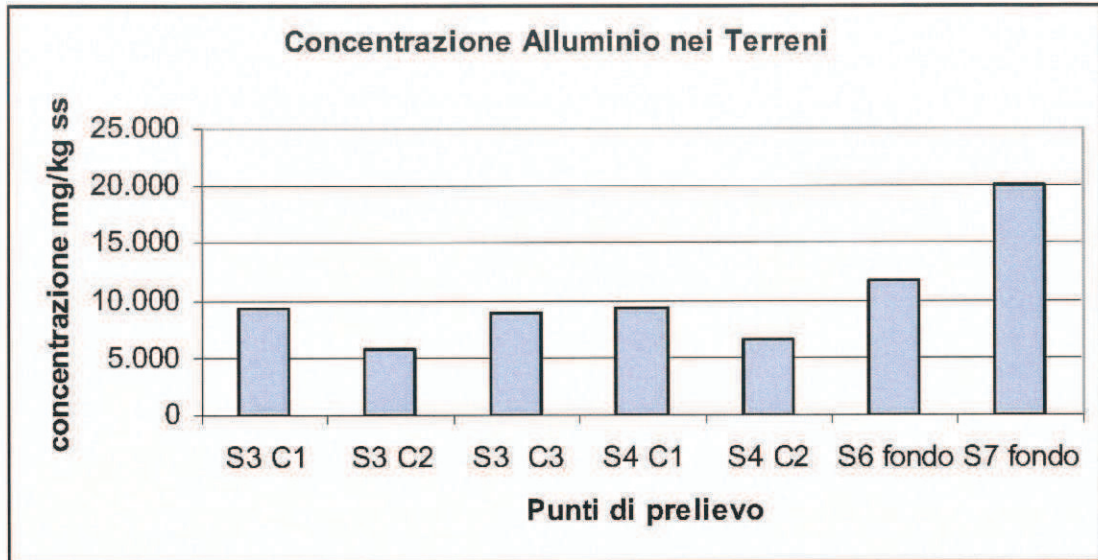
PARAMETRO	METODO DI PROVA
ALLUMINIO/ BORO/ CADMIO/ CROMO TOTALE/ FERRO/ MANGANESE/ NICHEL/ PIOMBO/ RAME/ ZINCO	EPA-6010-C/00
ARSENICO	EPA 7062/94
MERCURIO	EPA-7471-B/98
COMPOSTI ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI, NON CANCEROGENI, ALIFATICI ALOGENATI CANCEROGENI	EPA-8260B/96
CLOROBENZENE/ 1,2-DICLOROBENZENE/ 1,4-DICLOROBENZENE/1,2,4- TRICLOROBENZENE/ ESAACLOROETANO/ PENTAACLOROETANO/ TETRAACLORURO DI CARBONIO/ COMPOSTI ORGANOALOGENATI TOTALI	EPA-8260B/96
1,1,1,2-TETRAACLOROETANO/1,2,3-TRICLOROBENZENE/1,3,5- TRICLOROBENZENE/1,3-DICLOROBENZENE	
1,2,4,5-TETRAACLOROBENZENE	EPA-8270-D/98
PENTAACLOROBENZENE	EPA-8270-D/98
ESAACLOROBENZENE (HCB)	EPA-8270-D/98

I risultati possono essere così sintetizzati:

- in nessuno dei campioni prelevati nei sondaggi S3, S4 (esterni alla discarica) ed S6, S7 (sul corpo discarica) sono stati rilevati superamenti delle concentrazioni limite (All.1. Tab.1, col. B, D.M. 471/1999) relativamente ai seguenti parametri:
 - Metalli

- Composti alifatici clorurati cancerogeni;
 - Composti alifatici clorurati non cancerogeni;
 - Composti alifatici alogenati cancerogeni;
 - Clorobenzeni;
- dal confronto dei limiti di legge per i siti ad uso industriale e commerciale (sopra citato D.M. 471/1999) si rileva quanto segue:
- non sono stati osservati superamenti delle concentrazioni limite (D.M. 471/1999) sia nei terreni all'intorno della discarica , prelevati dai sondaggi S3 ed S4, sia nei terreni di fondo della discarica prelevati dai sondaggi S6 e S7.
 - I parametri Ferro, Manganese, Alluminio presentano concentrazioni elevate in tutti i campioni analizzati, per cui *“si ritiene che tali valori non siano collegabili alla presenza della discarica ma siano caratteristici del fondo naturale del sito”*.





La tabella seguente riassume i risultati di tutte le determinazioni analitiche eseguite sui terreni circostanti la discarica (S3-C1, C2, C3 ed S4-C1, C2) e sui terreni di fondo della stessa (S6-fondo ed S7-fondo).

N°	Parametri	Limiti nazionali Tab 1 Col. B D.M. 471/99 (mg/kg ss)	R. di prova	R. di prova	R. di prova	R. di prova	R. di prova	R. di prova	R. di prova
			05/131444	05/131445	05/131446	05/131447	05/131448	05/131449	05/141710
			Sondaggio	Sondaggio	Sondaggio	Sondaggio	Sondaggio	Sondaggio	Sondaggio
			S3	S3	S3	S4	S4	S6	S7
			Campione	Campione	Campione	Campione	Campione	Campione	Campione
			C1	C2	C3	C1	C2	Fondo	Fondo
			Profondità	Profondità	Profondità	Profondità	Profondità	Profondità	Profondità
			0-1,5 mt	1,5-3,0 mt	3,0-4,5 mt	0-1,5 mt	1,5-3,0 mt	20,6-20,9 mt	20,5 mt
COMPOSTI INORGANICI									
	ALLUMINIO		9.300	5.700	8.900	9.300	6.500	11.800	20000
2	ARSENICO	50	1,20	0,30	2,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
	BORO		0,7	1,3	2,1	2,6	0,7	1,9	4,4
4	CADMIO	15	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
6	CROMO TOTALE	800	3,6	3,6	3,4	4,0	3,8	23	9,2
	FERRO		13.100	11.600	12.600	13.700	11.600	17.000	27000
	MANGANESE		390	230	340	370	280	290	840
8	MERCURIO	5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
9	NICHEL	500	5,6	1,1	0,6	0,7	0,8	11,0	2,3
10	PIOMBO	1000	4,9	9,5	6,0	6,0	6,2	12,3	17
11	RAME	600	12,1	16,4	11,4	12,1	12,3	24	10
16	ZINCO	1500	7,5	7,6	9,1	7,9	9,8	20	68
COMPOSTI ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI									
36	CLOROMETANO	5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
37	DICLOROMETANO	5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
38	CLOROFORMIO	5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
39	CLORURO DI VINILE	0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
40	1,2-DICLOROETANO	5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
41	1,1-DICLOROETILENE	1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
42	1,2-DICLOROPROPANO	5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
43	1,1,2-TRICLOROETANO	15	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
44	TRICLOROETILENE	10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
45	1,2,3-TRICLOROPROPANO	1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
46	1,1,2,2-TETRACLOROETANO	10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
47	TETRACLOROETILENE	20	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	ESACLOROBUTADIENE		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
COMPOSTI ALIFATICI CLORURATI NON CANCEROGENI									
48	1,1-DICLOROETANO	30	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
49	1,2-DICLOROETILENE	15	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
50	1,1,1-TRICLOROETANO	50	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
COMPOSTI ALIFATICI ALOGENATI CANCEROGENI									
51	BROMOFORMIO	10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
52	1,2-DIBROMOETANO	0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
53	DIBROMOCLOROMETANO	10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
54	BROMODICLOROMETANO	10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
CLOROBENZENI									
59	CLOROBENZENE	50	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
60	1,2-DICLOROBENZENE	50	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
61	1,4-DICLOROBENZENE	10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
62	1,2,4-TRICLOROBENZENE	50	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
63	1,2,4,5-TETRACLOROBENZENE	25	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
64	PENTAFLOROBENZENE	50	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
65	ESACLOROBENZENE (HCB)	5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	ESACLOROETANO		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	PENTAFLOROETANO		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	TETRAFLORURO DI CARBONIO		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	COMPOSTI ORGANOALOGENATI TOTALI		< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
	1,1,1,2-TETRAFLOROETANO		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	1,2,3-TRICLOROBENZENE		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	1,3,5-TRICLOROBENZENE		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	1,3-DICLOROBENZENE		< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01

2.1.5.5 Esiti analisi delle acque superficiali, di falda, del percolato

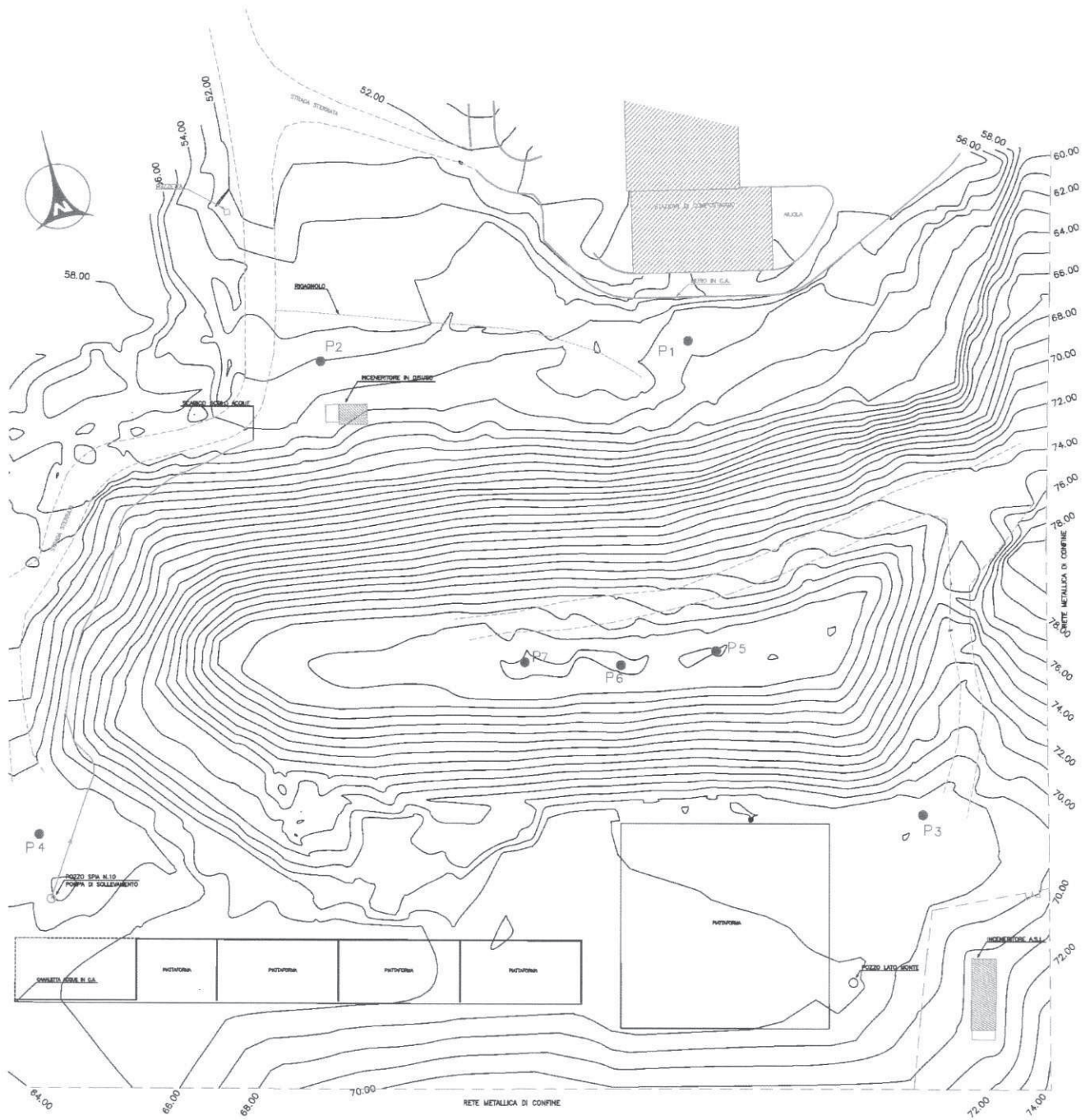
2.1.5.5. a) Ubicazione punti di prelievo

Sono state eseguite determinazioni analitiche su campioni di acqua superficiale, di acqua di falda e di percolato.

Le acque superficiali sono state prelevate nei seguenti siti, secondo allegata planimetria:

- pozzo a monte discarica;
- C3, tubo in uscita circostante discarica;
- C4, sbocco tubo nella canaletta principale;
- C5, canaletta principale a valle dello sbocco;
- C2, uscita tubo passante sotto la discarica;
- C8, ristagno d'acqua (affioramento percolato).

Le acque di falda sono state prelevate dai sondaggi-piezometri P1, P2, P3, P4, ed il percolato è stato prelevato dai sondaggi-piezometri ubicati sul corpo discarica P5, P6, P7, il tutto secondo allegata planimetria.



2.1.5.5. b) Analisi acque superficiali

Risultano analizzati n.6 campioni (C2, C3, C4, C5, C8, pozzo lato monte) allo scopo di verificare l'esistenza di eventuali contaminazioni, come desumibile dal confronto di valori ottenuti dalle analisi con i valori delle concentrazioni limite per le acque sotterranee (All.1. Tab.2, D.M. 471/1999).

I parametri ricercati risultano dalla seguente tabella.

PARAMETRO	METODO DI PROVA
CONDUCIBILITA' ELETTRICA 20 °C	APAT IRSA 29/03 2030
MATERIALI IN SOSPENSIONE	APAT 29/03 2090 B
pH	APAT IRSA 29/03 2060
AZOTO AMMONIACALE	APAT IRSA 29/03 4030
AZOTO TOTALE (KJELDAHL)	APAT IRSA 29/03 5030
ALCALINITA' TOTALE	APAT IRSA 29/03 2010
AZOTO ORGANICO	APAT IRSA 29/03 5030
BOD 5	APAT IRSA 29/03 5120
CIANURI LIBERI	EPA 9014/96
COD	APAT IRSA 29/03 5130
DUREZZA TOTALE	APAT IRSA 29/03 2040
CLORURI/ FLORURI/ NITRATI	EPA 300.1/97
NITRITI	APAT IRSA 29/03 4050
SOLFURI	APAT IRSA 29/03 4160
FOSFORO TOTALE	APAT IRSA 29/03 4110
OLI E GRASSI ANIMALI E VEGETALI	APAT 29/2003 5160 A
SOLIDI DISCIOLTI	APHA 2540C/98
ALLUMINIO/ BARIO/ BORO/ CALCIO/ FERRO/ MAGNESIO/ SODIO/ POTASSIO	EPA-6010-C/00
ARGENTO/ ARSENICO/ CADMIO/ CROMO/ MANGANESE/ MERCURIO/ NICHEL/ PIOMBO/ RAME/ SELENIO/ ZINCO	EPA 200.8/94
COMPOSTI AROMATICI/ BENZENE/ ETILBENZENE/ STIRENE/ TOLUENE/ XILENI/ p-XILENE/ COMPOSTI ORGANOALOGENATI/ COMPOSTI ALIFATICI CANCEROGENI/ CLOROMETANO/ CLOROFORMIO/ CLORURO DI VINILE/ 1,2-DICLOROETANO/ 1,1- DICLOROETILENE/ 1,2-DICLOROPROPANO/ 1,1,2- TRICLOROETANO/ TRICLOROETILENE/ 1,2,3- TRICLOROPROPANO/ 1,1,2,2-TETRACLOROETANO/ TETRACLOROETILENE/ ESACLOROBUTADIENE/ COMPOSTI ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI TOTALI/ COMPOSTI ALIFATICI CLORURATI NON CANCEROGENI/ 1,1- DICLOROETANO/ 1,2-DICLOROETILENE/ COMPOSTI ALIFATICI ALOGENATI CANCEROGENI/ BROMOFORMIO/ 1,2- DIBROMOETANO/ DIBROMOCLOROMETANO/ BROMODICLOROMETANO/ CLOROBENZENI/ CLOROBENZENE/ 1,2-DICLOROBENZENE/ 1,4-DICLOROBENZENE/ 1,2,4- TRICLOROBENZENE/ DICLOROMETANO/ ESACLOROETANO/ PENTACLOROETANO/ TETRACLORURO DI CARBONIO/ COMPOSTI ORGANOALOGENATI TOTALI/ 1,1,1,2- TETRACLOROETANO/ 1,1,1-TRICLOROETANO/ 1,2,3- TRICLOROBENZENE/ 1,3,5-TRICLOROBENZENE/ 1,3- DICLOROBENZENE	EPA-8260B/96
FENOLI TOTALI	APAT IRSA 29/03 5070
IDROCARBURI TOTALI (come n-esano)	EPA 8015 D/03
1,2,4,5-TETRACLOROBENZENE/ PENTACLOROBENZENE/ ESACLOROBENZENE (HCB)	EPA-8270-D/98
COLIFORMI TOTALI	APAT 7010 C 29/03
COLIFORMI FECALI	APAT 7020 B 29/03
STREPTOCOCCI FECALI	APAT 7040 C 29/03

Segue una sintesi dei risultati:

- Non sono stati riscontrati superamenti delle concentrazioni limite per i sotto indicati parametri:
 - Composti aromatici
 - Composti alifatici clorurati cancerogeni e non cancerogeni;
 - Composti alifatici alogenati cancerogeni;
 - Clorobenzeni.

- Superano le concentrazioni limite in tutti i campioni, *pozzo a monte compreso*, i seguenti parametri:
 - Ferro;
 - Manganese.

- Superano le concentrazioni limite in tutti i campioni, *pozzo a monte escluso*, i seguenti parametri:
 - Alluminio;
 - Nichel.

- Superano le concentrazioni limite nella maggior parte dei campioni, *pozzo a monte escluso*, i seguenti parametri:
 - Boro (C2, C3, C4, C8)
 - Nitriti (C3, C4, C5);
 - Arsenico (C2, C3, C4, C5);
 - Piombo (C2, C3, C4, C8).

- Presenti in tutti i campioni, *pozzo a monte incluso*, con valori diversificati:
 - Azoto ammoniacale, azoto totale, azoto organico;
 - Nitriti, nitrati.

- Presenti in tutti i campioni, *escluso il pozzo a monte*:
 - Coliformi totali e fecali;
 - Streptococchi fecali.

In conclusione, si osserva che:

- il ferro ed il manganese presentano concentrazioni elevate in tutti i campioni, compreso il pozzo lato monte, il cui campione, perciò, può essere considerato come "*bianco di riferimento*", in quanto rappresentativo delle acque superficiali provenienti dal versante a sud, esterno alla discarica; si osserva che anche nei campioni dei terreni il ferro ed il manganese presentano concentrazioni elevate, per cui si ritiene che tali valori "*non siano collegabili alla presenza della discarica ma siano caratteristici del fondo naturale del sito*".
- i campioni prelevati nei punti più distanti dalla discarica (C4 e C5) presentano valori più bassi dei contaminanti caratteristici riscontrati nei campioni prelevati nei punti più vicini alla discarica (C2, C3, C8);
- le caratteristiche chimiche dei campioni delle acque superficiali (C2, C3, C4, C5, C8) sono correlabili, come si vedrà nel successivo paragrafo, con quelle delle acque di falda del piezometro P2 e con quelle del percolato dei piezometri P5, P6, P7; la correlazione tra le caratteristiche chimiche del percolato (P5, P6, P7) e le caratteristiche chimiche delle acque superficiali (C2, C3, C4, C5, C8) e di falda (P2), tutte ubicate a valle della discarica, testimoniano che ***la fonte delle contaminazioni è, per l'appunto, il percolato presente in discarica.***

2.1.5.5. c) Analisi acque di falda

Sono stati analizzati n.4 campioni d'acqua prelevati dai piezometri P1, P2, P3, P4, di cui i primi due (P1 e P2) posizionati a valle della discarica e gli ultimi due (P3 e P4) ubicati a monte della discarica, per verificare eventuali contaminazioni dovute alla presenza della contigua discarica.

I valori dei parametri ricercati sono stati confrontati con i valori delle concentrazioni limite per le acque sotterranee, all'All.1, Tab.2 del D.M. 471/1999.

In sintesi i risultati ottenuti sono i seguenti:

- Non sono stati riscontrati superamenti delle concentrazioni limite per i sotto indicati parametri:
 - composti alifatici clorurati non cancerogeni;
 - composti alifatici alogenati cancerogeni;
 - clorobenzeni.

- Superano le concentrazioni limite i seguenti parametri:
 - Composti organici aromatici:
Benzene (P2)
 - Composti alifatici clorurati cancerogeni:
Cloroformio (P1)

- Superano le concentrazioni limite in tutti i campioni i seguenti parametri:
 - Ferro
 - Manganese
 - Alluminio
 - Piombo

- Superano le concentrazioni limite in pochi casi i seguenti parametri:
 - Nitriti (P4)
 - Arsenico (P2)
 - Mercurio (P1)
 - Nichel (P2 e P4)
- Presenti in tutti i campioni con valori diversificati:
 - Azoto ammoniacale, azoto totale, azoto organico
 - Nitriti e nitrati (max P2)
 - Cloruri (max P2)
- Presenti in tutti i campioni i coliformi totali
- Assenti in tutti i campioni i coliformi fecali
- Presenti gli streptococchi fecali solo in P2 e P4.

Concludendo sul punto si osserva che:

- ferro e manganese anche in questo caso risultano essere ubiquitari, per cui restano maggiormente avvalorate le osservazioni esposte in precedenza, circa **la possibilità che essi rientrino tra i valori caratteristici del fondo naturale del sito**;
- esiste una evidente correlazione (**con riferimento alle linee di flusso della falda con direttrici SE-NW**) tra le acque di falda del piezometro P2, ubicato a valle della discarica sul lato NW, le acque superficiali (C2, C3, C4, C5, C8), tutte ubicate a valle della discarica sul lato NW, ed il percolato proveniente da monte (P5, P6, P7, sul corpo della discarica);
- l'acqua di falda del piezometro P1, *ubicato a valle della discarica, lato NE*, è sostanzialmente confrontabile con l'acqua

di falda superficiale dei piezometri P3 e P4, ubicati a monte della discarica (anche in questo caso **è utile richiamare le direttrici delle linee di flusso della falda con orientamento SE-NW, che escluderebbero, nel loro percorso verso valle e dopo aver sottopassato la discarica, proprio il piezometro P1**);

- in ogni caso le tracce di contaminazione da percolato presenti in questi piezometri risultano sempre notevolmente inferiori ai valori riscontrati nelle acque del margine a NW, soprattutto con riferimento ai parametri coliformi totali e piombo.

2.1.5.5. d) Analisi percolato

Sono stati analizzati n.3 campioni di percolato, rispettivamente prelevati dai piezometri P5, P6, P7, ubicati sul corpo della discarica.

I parametri ricercati risultano dalla seguente tabella.

PARAMETRO	METODO DI PROVA
CONDUCIBILITA' ELETTRICA 20 °C	APAT IRSA 29/03 2030
pH	APAT IRSA 29/03 2060
AZOTO AMMONIACALE	APAT IRSA 29/03 4030
AZOTO TOTALE (KJELDAHL)	APAT IRSA 29/03 5030
BOD 5	APAT IRSA 29/03 5120
COD	APAT IRSA 29/03 5130
CLORURI	EPA 300.1/97
SOLFURI	APAT IRSA 29/03 4160
FOSFORO TOTALE	APAT IRSA 29/03 4110
ALLUMINIO/ BORO/ FERRO/ ARSENICO	EPA-6010-C/00
MERCURIO	APAT-IRSA 3200°2 29/03
CADMIO/ CROMO/ MANGANESE	EPA-6010-C/00
NICHEL/ PIOMBO/ RAME/ ZINCO	EPA 200.8/94
COMPOSTI AROMATICI/ BENZENE/ ETILBENZENE/ STIRENE/ TOLUENE/ XILENI/ COMPOSTI ORGANOALOGENATI/ COMPOSTI ALIFATICI CANCEROGENI/ CLOROMETANO/ CLOROFORMIO/ CLORURO DI VINILE/ 1,2-DICLOROETANO/ 1,1- DICLOROETILENE/ 1,2-DICLOROPROPANO/ 1,1,2- TRICLOROETANO/ TRICLOROETILENE/ 1,2,3- TRICLOROPROPANO/ 1,1,2,2-TETRACLOROETANO/ TETRACLOROETILENE/ ESACLOROBUTADIENE/ COMPOSTI ALIFATICI CLORURATI NON CANCEROGENI/ 1,1- DICLOROETANO/ 1,2-DICLOROETILENE/ COMPOSTI ALIFATICI ALOGENATI CANCEROGENI/ BROMOFORMIO/ 1,2- DIBROMOETANO/ DIBROMOCLOROMETANO/ BROMODICLOROMETANO/ CLOROBENZENI/ CLOROBENZENE/ 1,2-DICLOROBENZENE/ 1,4-DICLOROBENZENE/ 1,2,4- TRICLOROBENZENE/ DICLOROMETANO/ ESACLOROETANO/ PENTACLOROETANO/ TETRACLORURO DI CARBONIO/ COMPOSTI ORGANOALOGENATI TOTALI/ 1,1,1,2- TETRACLOROETANO/ 1,1,1-TRICLOROETANO/ 1,2,3- TRICLOROBENZENE/ 1,3,5-TRICLOROBENZENE/ 1,3- DICLOROBENZENE/ ESACLOROBENZENE (HCB)	EPA-8260B/96
FENOLI TOTALI	APAT IRSA 29/03 5070
IDROCARBURI TOTALI (come n-esano)	EPA 8015 D/03
1,2,4,5-TETRACLOROBENZENE/ PENTACLOROBENZENE/ ESACLOROBENZENE (HCB)	EPA-8270-D/98
COLIFORMI TOTALI	APAT 7010 C 29/03
ESCHERICHIA COLI	APAT 70300 C 29/03
STREPTOCOCCI FECALI	APAT 7040 C 29/03

Si è ritenuto utile operare un confronto tra i valori dei parametri riscontrati nel percolato e quelli delle acque di falda, al fine di verificare eventuali correlazioni tra acque e percolato.

La tabella seguente riepiloga tutti i risultati ottenuti dalle analisi delle acque di falda, delle acque superficiali e del percolato e ne consente la verifica delle reciproche correlazioni nonché il confronto con i valori delle concentrazioni limite per le acque sotterranee (All.1, Tab.2 del D.M. 471/1999), evidenziandone con colore verde i casi di superamento.

In sintesi i risultati ottenuti sono i seguenti:

- non sono stati riscontrati superamenti dalle concentrazioni limite per i sotto indicati parametri:
 - composti alifatici clorurati non cancerogeni;
 - composti alifatici alogenati cancerogeni;
 - clorobenzeni;

- superano le concentrazioni limite i seguenti parametri:
 - composti organici aromatici: benzene (P5, P6, P7), toluene (P5);
 - composti alifatici clorurati cancerogeni: cloruro di vinile (P6);

- superano i valori limite in tutti i campioni i seguenti parametri:
 - boro
 - alluminio
 - arsenico
 - cromo (escluso P7)
 - ferro
 - manganese
 - nichel (escluso P4)
 - piombo;

- presenti in tutti i campioni con valori diversificati:
 - azoto ammoniacale
 - azoto totale
 - cloruri
 - fosforo totale;

- presenti in tutti i campioni con valori diversificati:

- coliformi totali
 - coliformi fecali
 - streptococchi fecali;
- Altri parametri di interesse sono:
 - ph, tra 7.8 e 8.0
 - COD, tra 2000 e 6200 µg/l
 - BOD5, tra 800 e 2500 µg/l.

Concludendo, si osserva che:

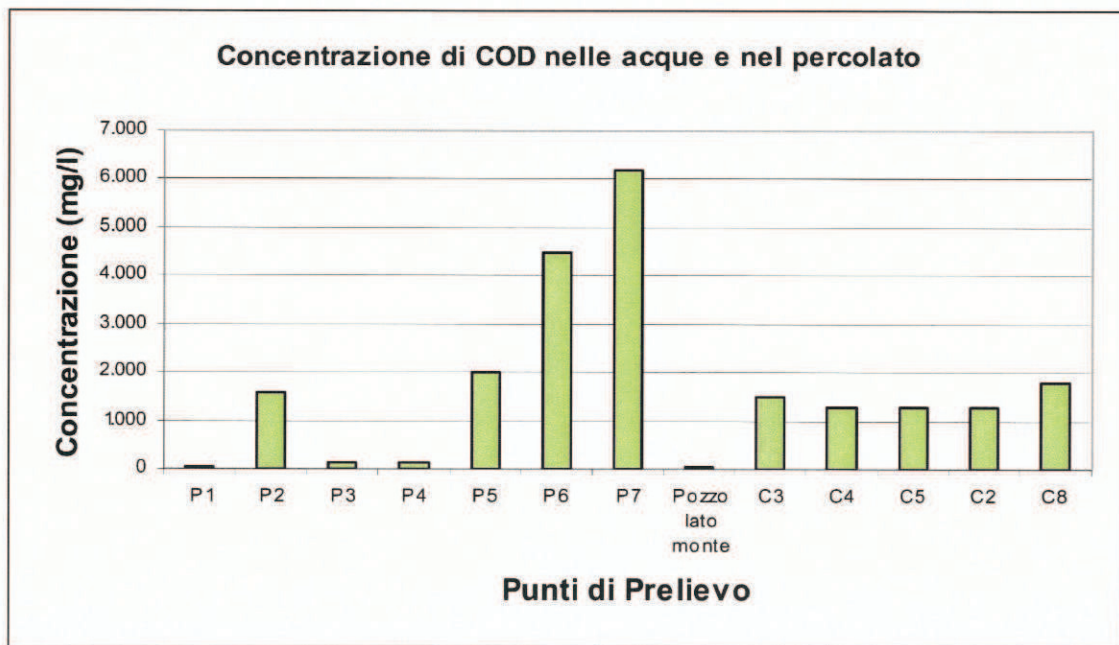
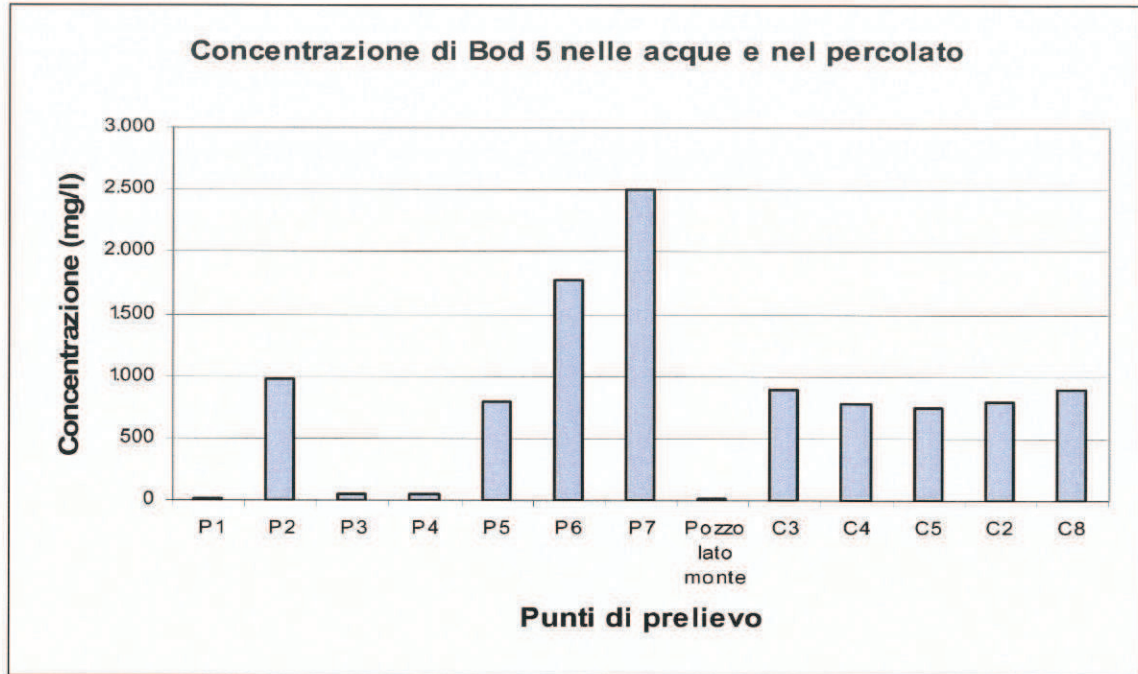
- **esiste una evidente contaminazione da percolato**, di cui ai campioni prelevati dai piezometri P5, P6, P7 ubicati a monte sul corpo discarica ed **i campioni delle acque superficiali C2, C3, C4, C5, C8 e di falda del piezometro P2, tutti ubicati a valle ed a NW della discarica;**
- l'acqua di falda di cui al piezometro P1, ubicato a valle ed a NE della discarica, è sostanzialmente correlabile con l'acqua di falda prelevata dai piezometri P3 e P4 ubicati a monte della discarica; ciò, tra l'altro, **conferma l'orientamento SE-NW dei flussi di falda, come rappresentati nella carta delle isopieze;**
- i principali parametri inquinanti presenti nel percolato, come prelevato dai piezometri P5, P6, P7 interni alla discarica sono: BOD5, COD, azoto ammoniacale, coliformi totali e streptococchi fecali, nichel, piombo arsenico, boro, cromo, alluminio, cloruri, contaminanti organici, BTEX, tra cui benzene e toluene (P5), idrocarburi totali e in un solo caso (P6) il cloruro di vinile;
- le concentrazioni dei principali parametri tipici del percolato, soprattutto per COD, BOD5, azoto ammoniacale, coliformi

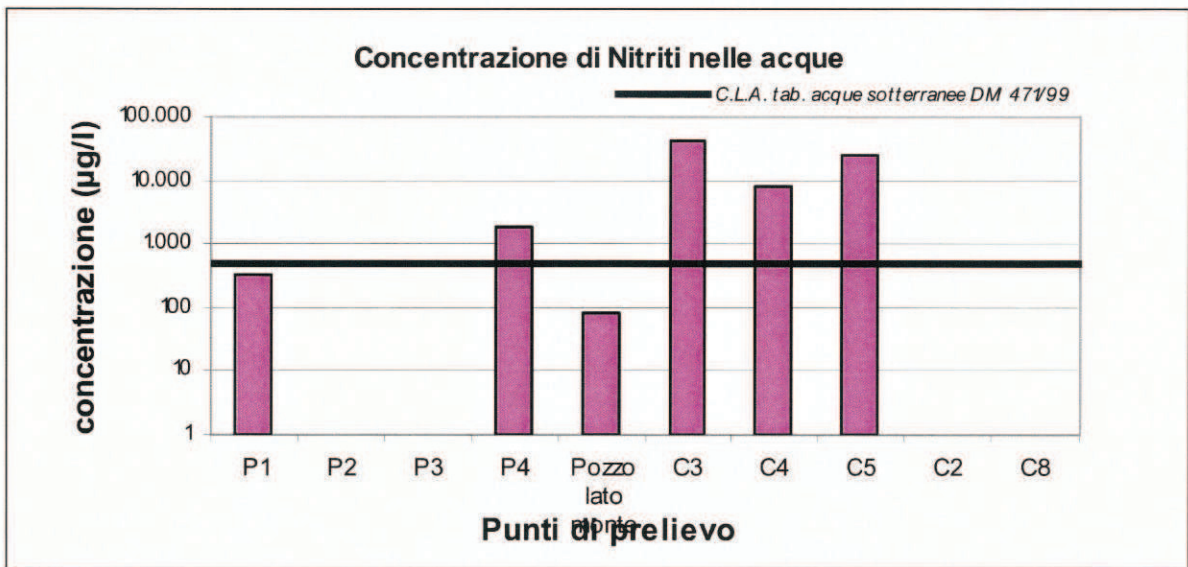
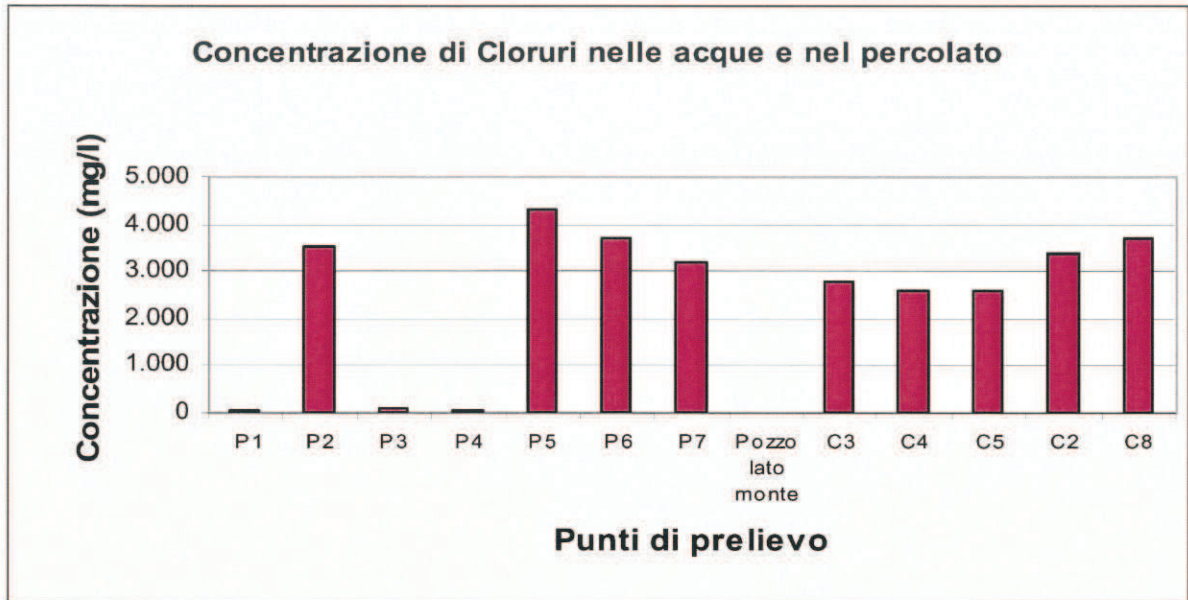
totali, sono più elevate nei campioni prelevati nel corpo discarica (P5, P6, P7) rispetto ai campioni delle acque contaminate prelevate all'esterno della discarica;

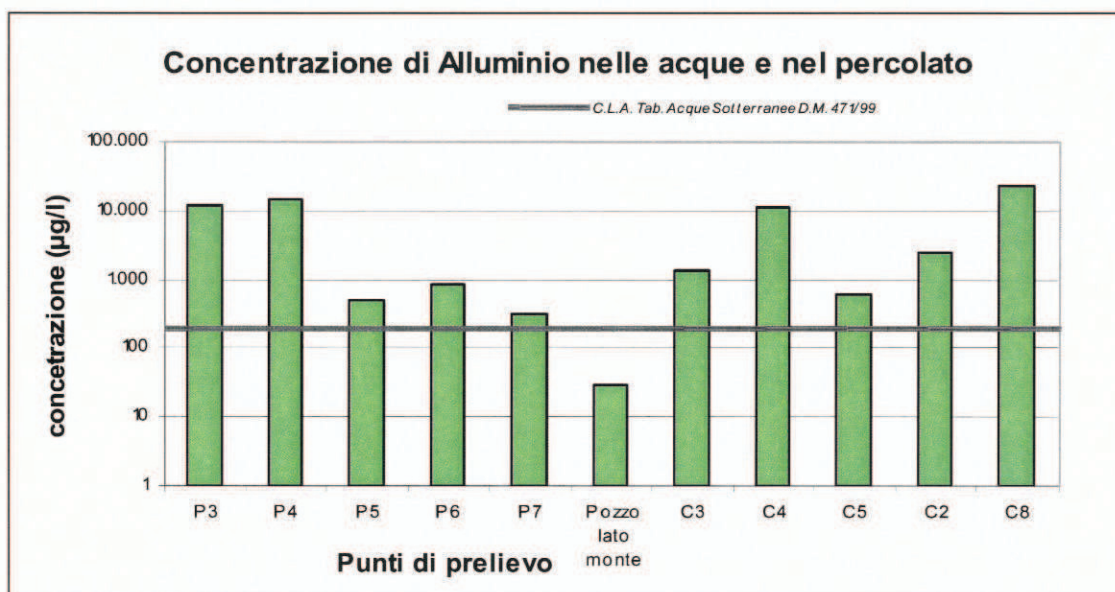
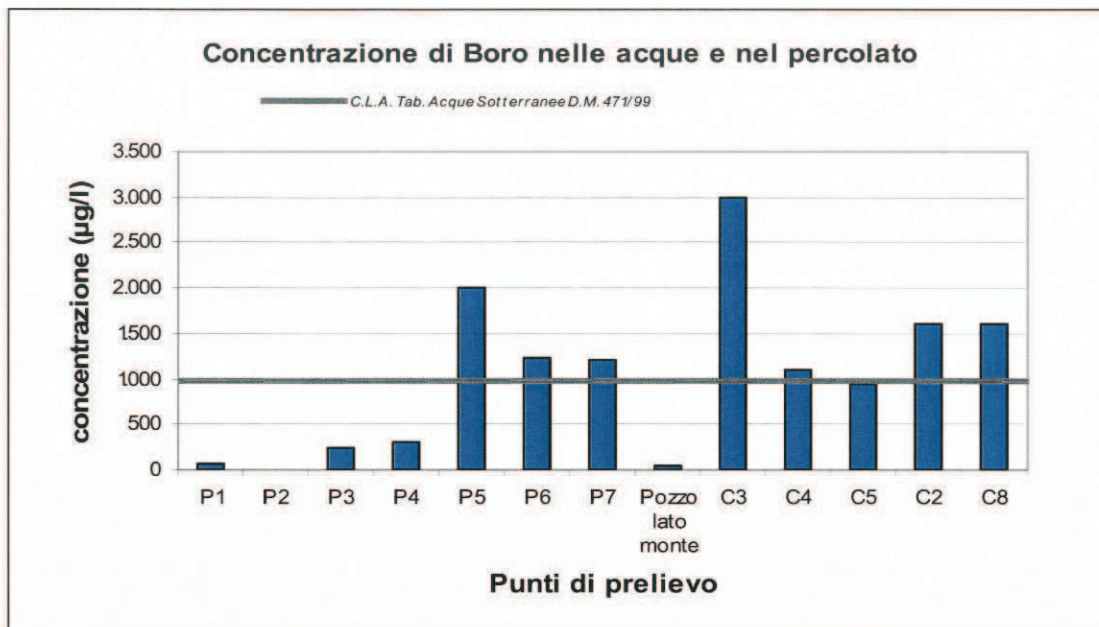
- il rapporto BOD5/COD, indice della frazione della sostanza organica biodegradabile su quella totale, si attesta attorno al valore di 0.4, tipico di una ancora significativa presenza di materiale organico biodegradabile, nonostante i 24 (max) - 14 (min) anni di attività della discarica; tale indice, infatti, dopo 20 anni di vita raggiunge un valore tipico pari a circa $0.07 \div 0.08$; ***il processo di mineralizzazione appare perciò lento, come attesta anche la ridotta quantità di biogas presente all'interno della discarica.***

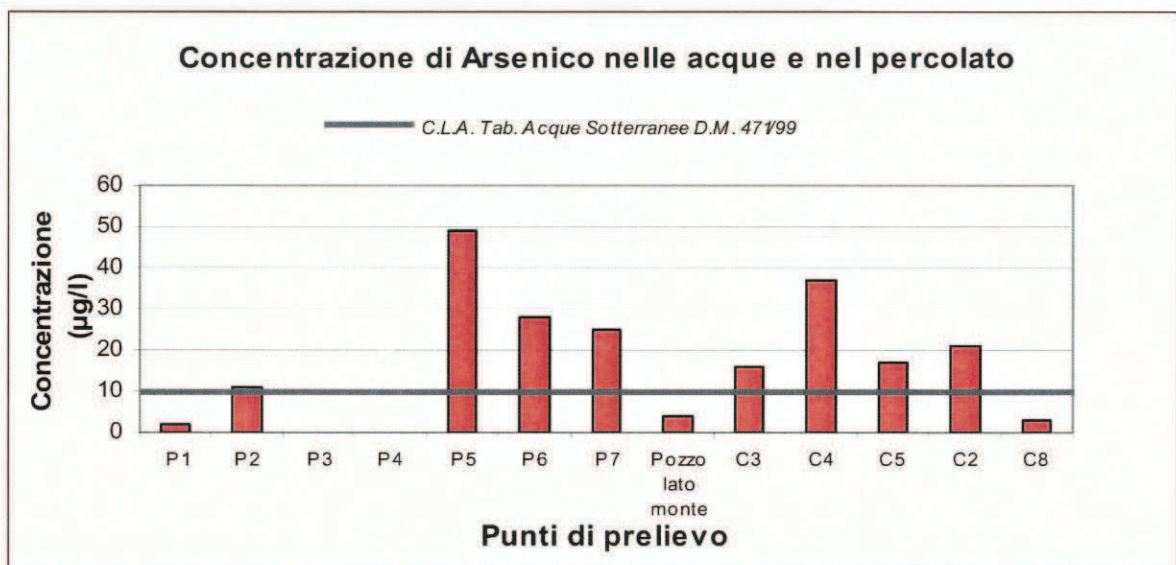
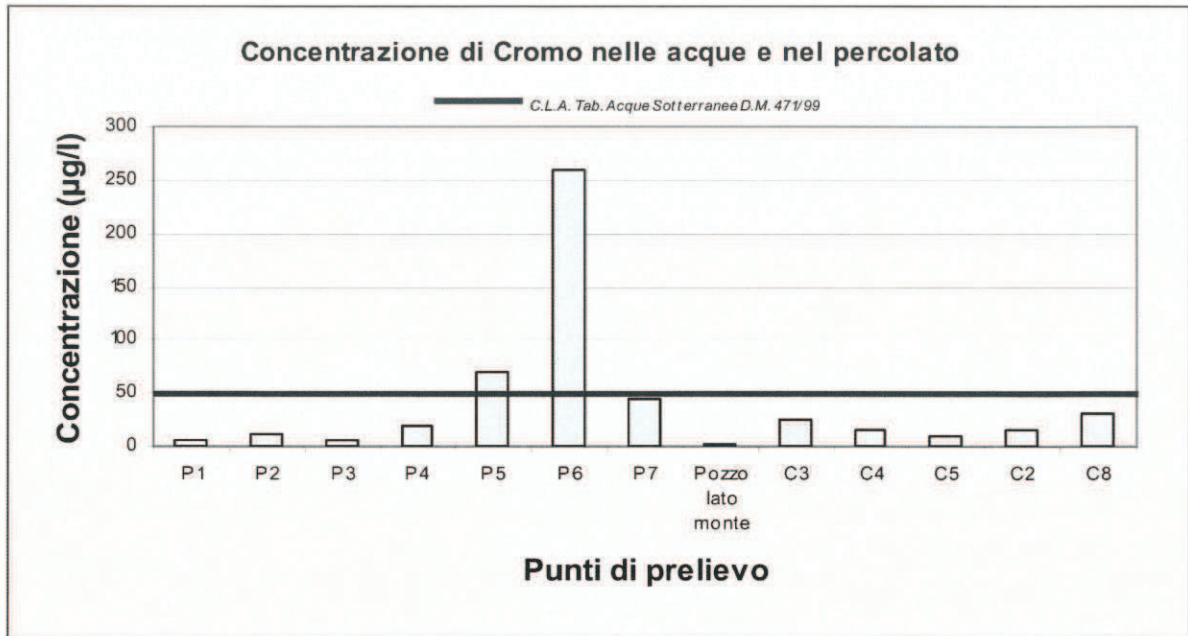
I seguenti diagrammi rappresentano in modo ancora più evidente la distribuzione spaziale dei contaminanti regolata dalla direzione di flusso della falda con orientamento SE-NW.

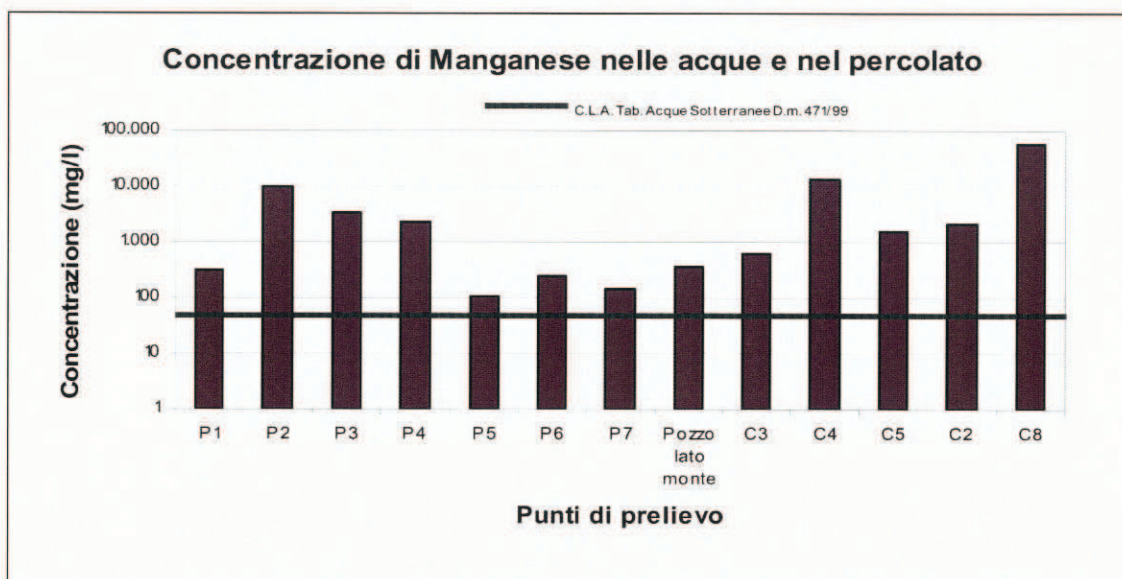
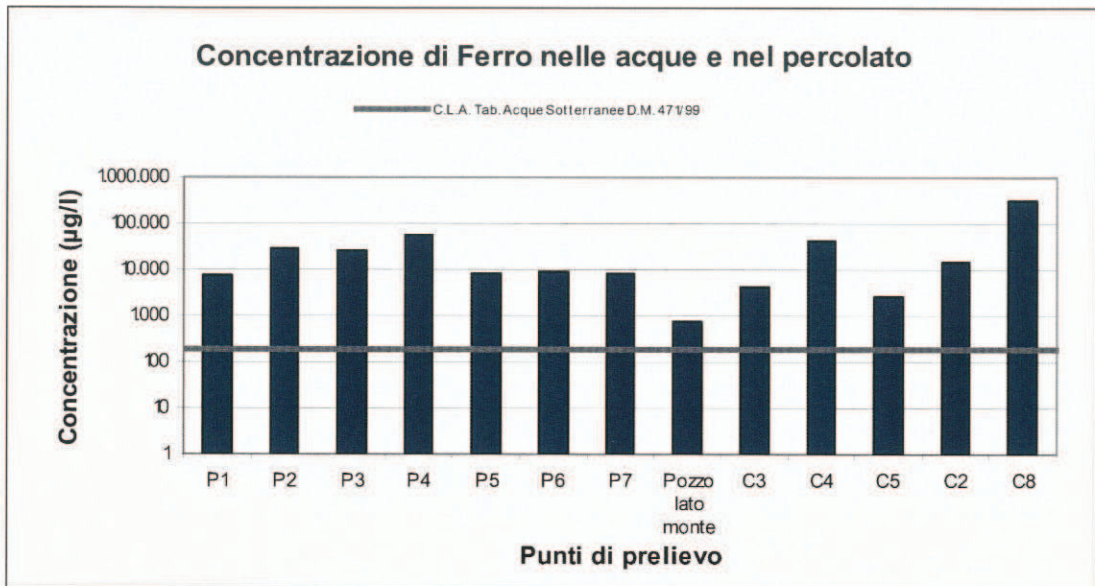
Ciò premesso, si osserva che ***i contaminanti presenti nel percolato con concentrazioni elevate (P5, P6, P7), si ritrovano con concentrazioni via via decrescenti*** prima nelle acque superficiali a valle della discarica, di cui ai campioni C2, C3, C4, C5, C8, poi nelle acque di falda, di cui ai piezometri P1, P2, P3, P4; tra questi, ***le concentrazioni maggiori si riscontrano nel piezometro P2 (a valle e a NW della discarica) e minori nel piezometro P1 (a valle e a NE della discarica); le acque del pozzo a monte della discarica risultano essere quelle con il minor tasso assoluto di inquinamento.***

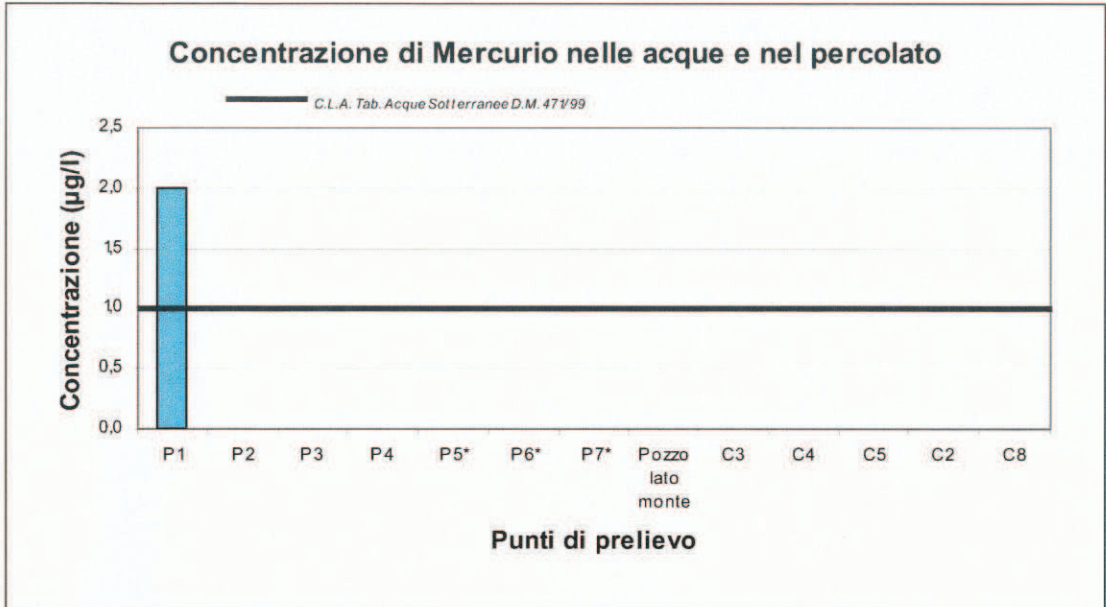




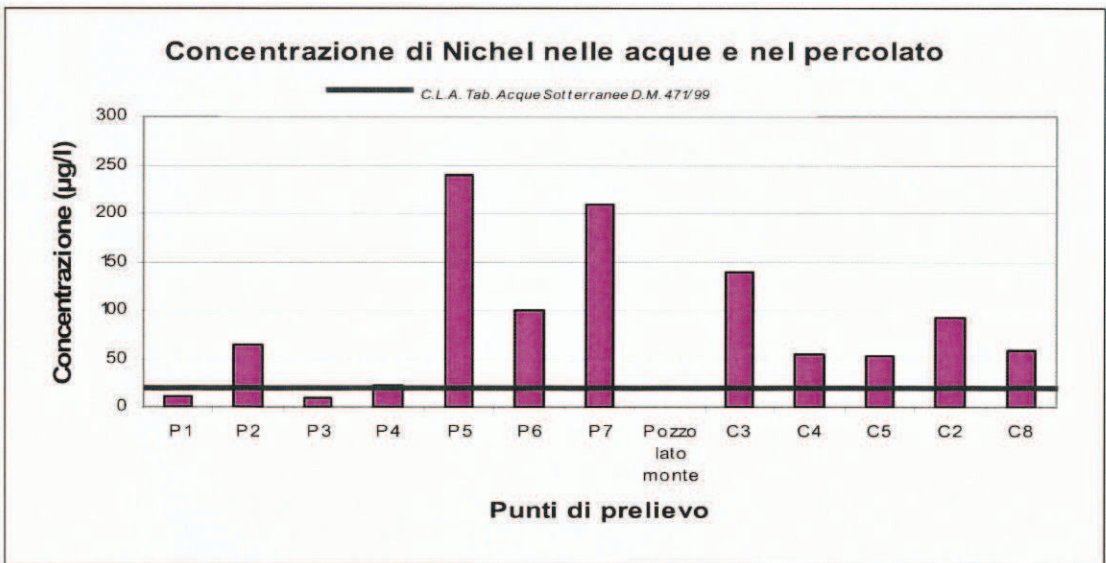


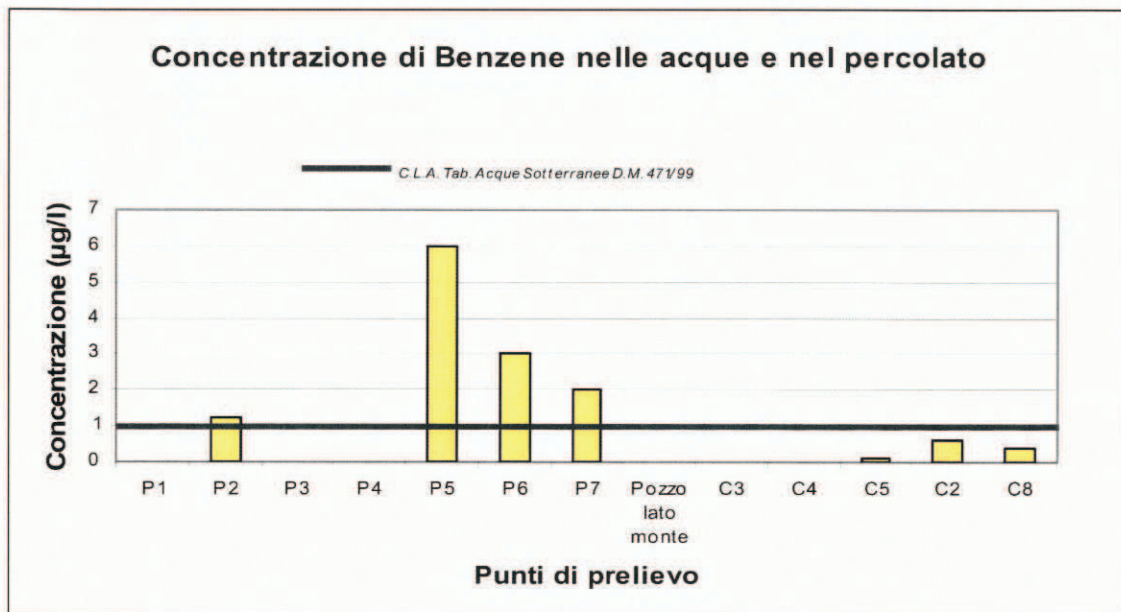
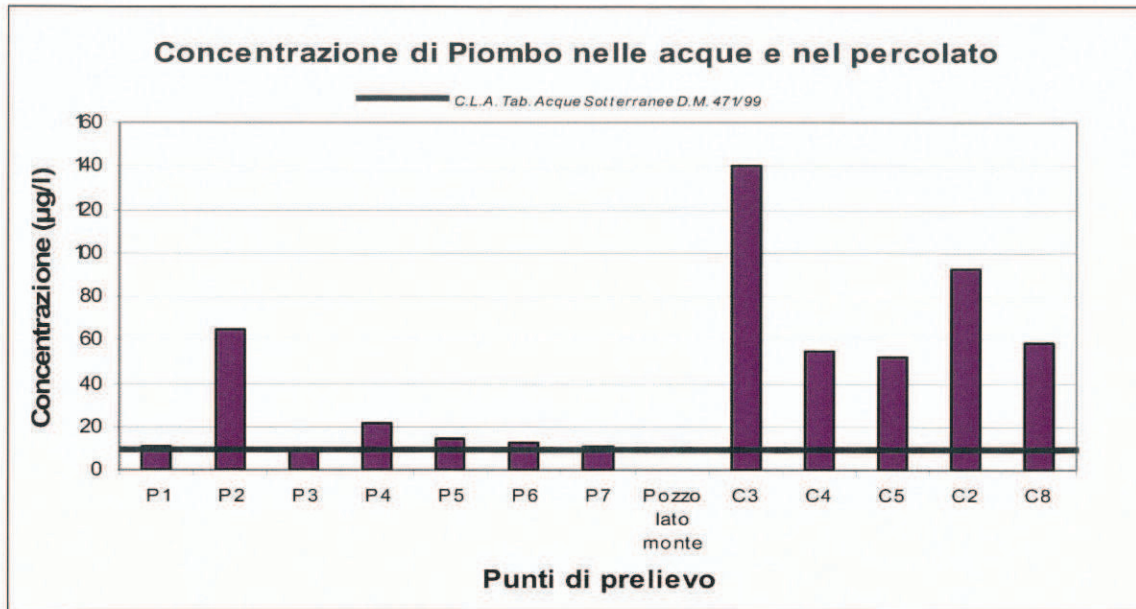


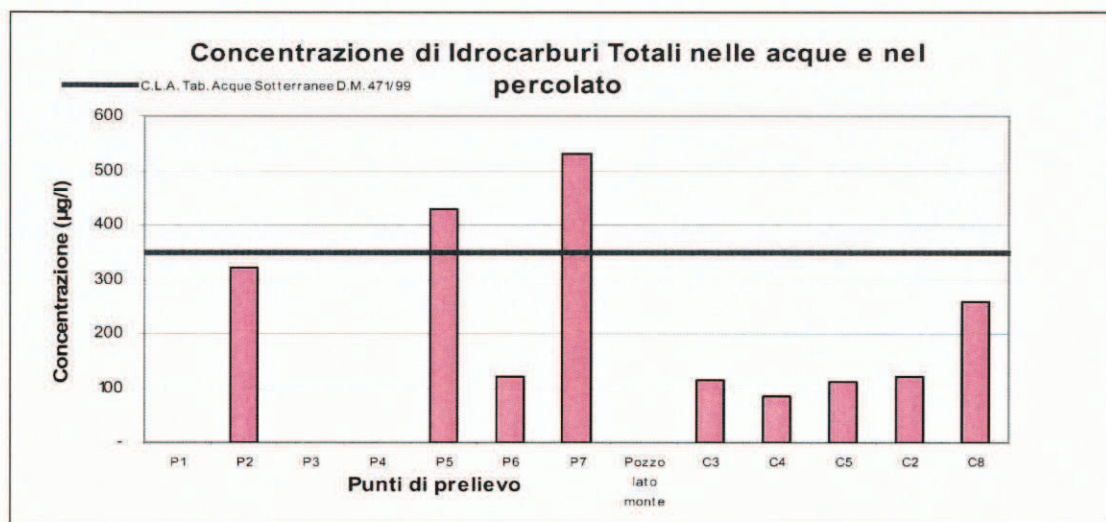
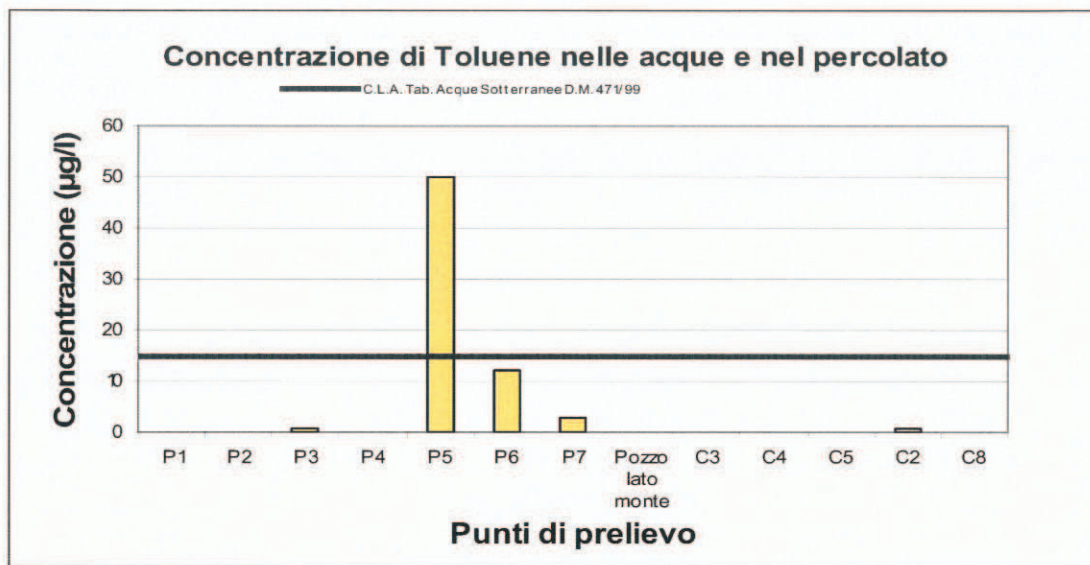


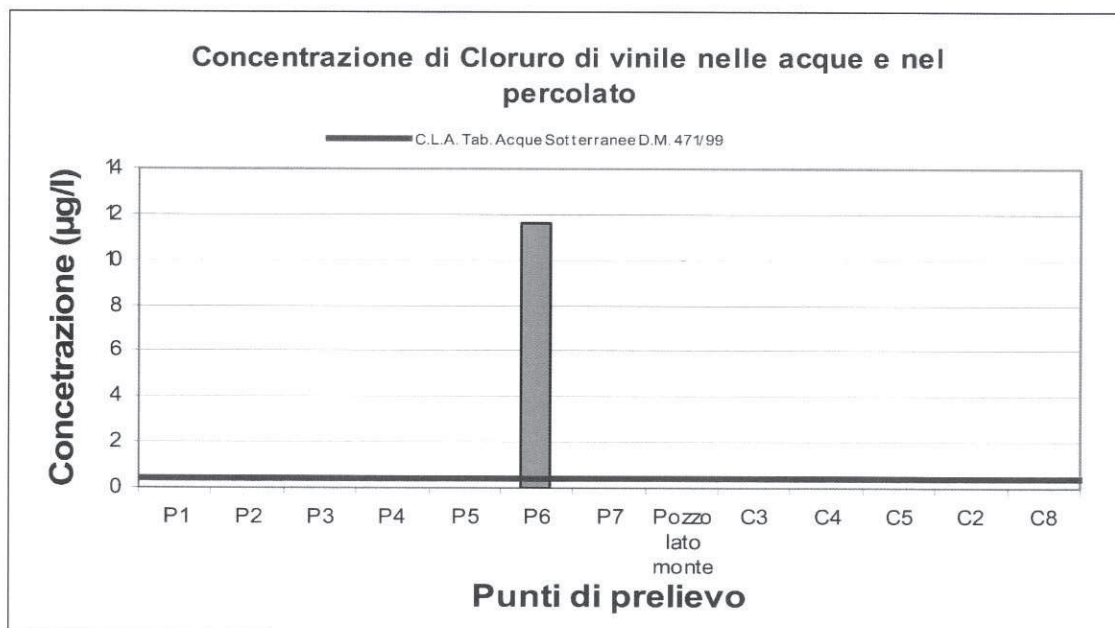
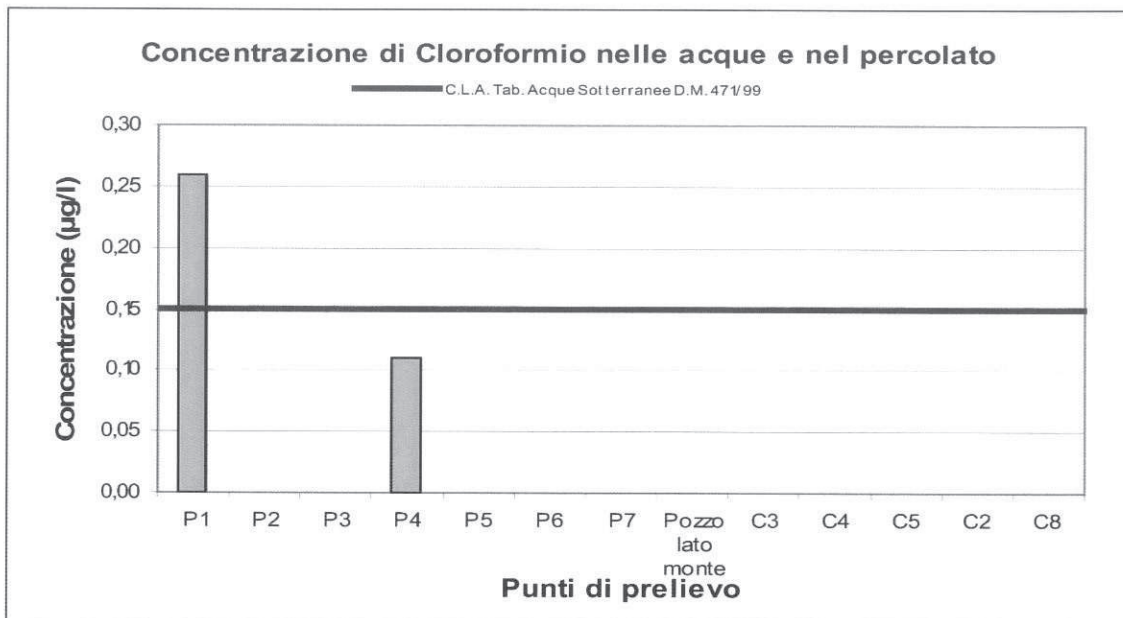


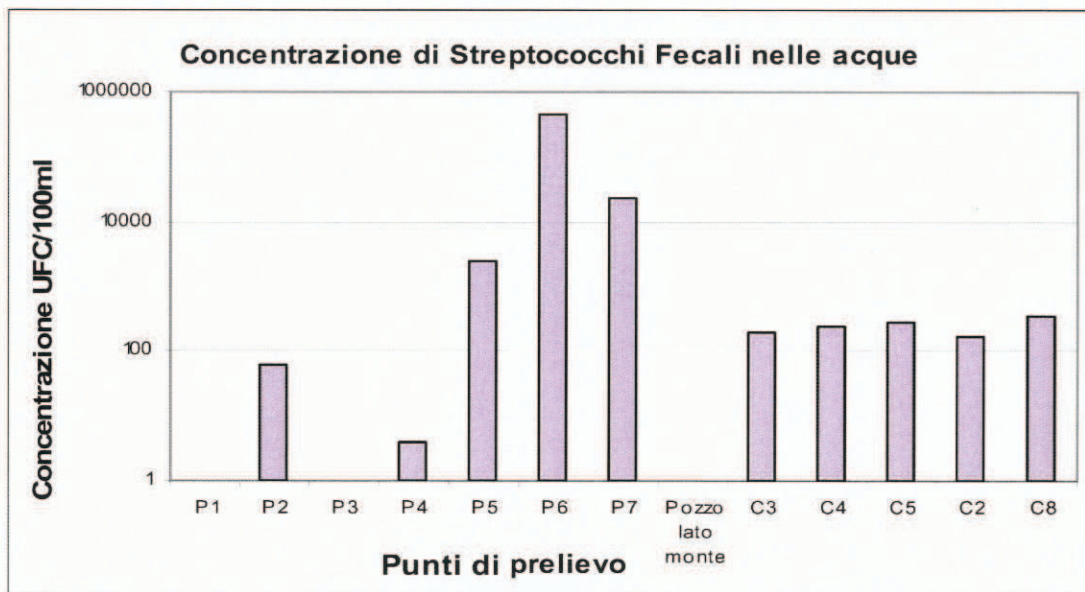
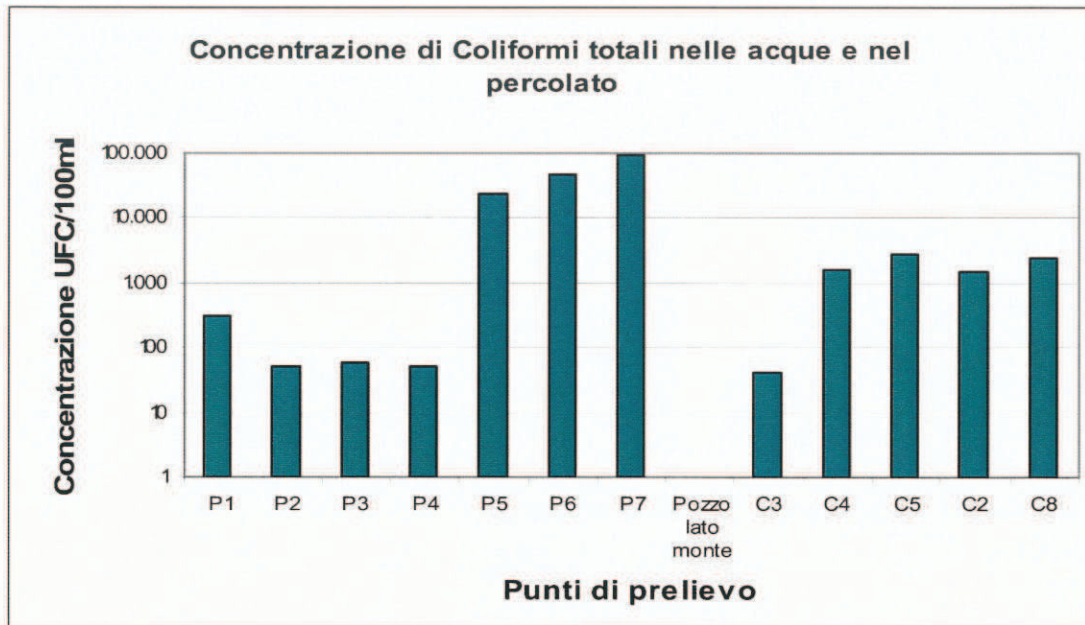
* nelle analisi sul percolato si è giunti al limite di rilevabilità strumentale di 2 µg/l











N.B. Tutti i valori inferiori alla sensibilità strumentale non sono visualizzati nei grafici.

Rispetto alle cause che danno luogo all'inquinamento delle aree a valle della discarica, viene evidenziato che, ***oltre alle fuoriuscite superficiali di percolato provenienti dal corpo della discarica, il principale contributo è fornito dal tubo in cemento sottopassante la discarica*** (degradato dall'aggressività del percolato e deteriorato dal peso dei 20.00 m di rifiuti sovrastanti), al cui interno avviene la miscelazione delle acque non contaminate provenienti da monte con il percolato prodotto all'interno della discarica.

Le acque superficiali non contaminate provenienti da monte sono quelle raccolte dai due impluvi naturali ubicati a S e ad E della discarica

La miscela acqua-percolato, scaricata a valle della discarica dalla tubazione in sottopasso, si raccoglie in pozzanghere e in fossi di scolo, dai quali sono stati prelevati i campioni oggetto delle determinazioni analitiche come sopra riportate e commentate.

La diffusione degli inquinanti è anche dovuta alla infiltrazione del percolato nelle sottostanti acque di falda e al moto di queste nei primi metri di granito fratturato con direzione SE-NW, cioè da monte verso valle.

2.1.5.6 Analisi dei rifiuti

Test di putrescibilità e valutazione dell'umidità relativa sono stati condotti su n.9 campioni estratti dei sondaggi P5, P6, P7 eseguiti sul corpo discarica.

Il grado di putrescibilità riscontrato risulta abbastanza elevato, in genere pari all'80%, mentre l'umidità relativa si posiziona mediamente attorno al 50%.

I rifiuti risultano depositati in discarica dal 1981 al 1991; al 2005, perciò, avevano un'età compresa tra 24 e 14 anni.

Questi parametri, **attestanti la lenta mineralizzazione del rifiuto**, possono essere giustificati: dalla scarsa piovosità dell'area, soprattutto nel periodo estivo quando, invece, è alta la produzione di rifiuto connessa con la vocazione turistica del territorio; dalla scarsa infiltrazione delle acque di pioggia nel corpo discarica, favorita dal rapido sgrondo a valle data la notevole pendenza delle superfici di copertura; dalla coltivazione della discarica a strati di spessore abbastanza contenuto – in media 1.70 m – e isolati da coperture di terreno spesse in media 10.00 ÷ 20.00 cm.

A rafforzare la tesi della lenta mineralizzazione dei rifiuti nel corpo discarica concorre anche il valore, ottenuto per il percolato, del rapporto BOD5/COD, *indice della frazione di sostanza organica biodegradabile su quella totale*, che risulta essere pari a 0.4: valore indicante *“una forte presenza di materiale organico biodegradabile, caratteristico dei primi anni di vita della discarica, in quanto dopo 20 anni di vita tale rapporto diminuisce fino a raggiungere il valore tipico di 0.07 – 0.08”*.

2.1.5.7. Analisi di gas interstiziale

Nei fori di sondaggio S6 e S7, eseguiti sul corpo discarica, sono stati prelevati complessivamente n.6 campioni (n.3 campioni per ciascun sondaggio) di gas interstiziale, a profondità all'incirca pari a 10.00. 15.00 e 18.00 m dal piano di campagna.

I parametri ricercati sono il diossido di carbonio, l'ossigeno ed il metano.

L'anidride carbonica è stata rilevata in ridotte percentuali in volume: in due casi è inferiore all'1%; in due casi è compresa tra l'1.2% ed il 2.2%; in due casi è compresa tra il 12.5% ed il 15.65%.

L'ossigeno è stato rilevato in quantità discrete, mediamente comprese tra il 13% ed il 20%.

Il metano appare in percentuali ridotte: in quattro casi è presente con percentuali comprese all'incirca tra il 2.0% e l'8.7%, mentre in altri due casi la percentuale è compresa tra il 17.6% ed il 24%.

Si osserva, in conclusione, che la produzione di gas all'interno della discarica appare piuttosto ridotta.

2.1.6 Capitolo 6 “Formulazione del modello concettuale”

Il Capitolo in esame, previa esposizione della “*Storia del sito*” e dei “*Recenti fenomeni di inquinamento riscontrati*”, organizza i dati e le osservazioni esposti nei precedenti capitoli finalizzandoli alla “*formulazione del modello concettuale*”, richiesto per la redazione, ai sensi del D.M. 471/1999, del Piano di caratterizzazione, primo dei tre passi progettuali (i successivi due passi sono rappresentati dal Progetto preliminare e dal Progetto esecutivo) in cui è articolato il Progetto di bonifica dei siti inquinati.

In questo capitolo 6, perciò, non si rinvengono nuovi elementi o indicazioni utili rispetto a quanto già esposto nelle sintesi dei precedenti capitoli formulate dallo scrivente.

2.1.7 Capitolo 7 “Sintesi conclusiva”

Questo Capitolo raccoglie e descrive sinteticamente i principali argomenti già esposti nei capitoli precedenti, quali le caratteristiche della discarica, l'inquadramento idrogeologico dell'area e del sistema idrografico locale, i fenomeni di inquinamento riscontrati; indica, poi, i principi cui devono essere ispirati gli interventi di messa in sicurezza, che

sinteticamente vengono individuati nella regimazione delle acque meteoriche a monte della discarica, nella realizzazione del *top capping*, nell'isolamento dell'imboccatura del tubo che sottopassa il corpo discarica, nell'intercettazione delle perdite di percolato e delle acque contaminate mediante "*interventi barriera (fisica o idraulica) in particolare nel settore nord-ovest della discarica*".

Chiudono la trattazione poche righe destinate alla individuazione di indagini integrative a fini progettuali: 1 – 2 sondaggi con valutazione RQD e prova Lugeon a valle della discarica, lungo la direttrice dei piezometri P3 – P4 (E – W); un sondaggio in cima alla discarica, a circa 20.00 m dal piezometro P7, profondo circa 30.00 m, per verificare la presenza o meno di percolato nei graniti sottostanti la discarica e valutazione dell'indice RQD.

2.1.8 Allegati alla Relazione

Tra gli allegati principali si segnalano:

- la documentazione fotografica del carotaggio continuo ed immagini della discarica ed opere connesse;
- le colonne stratigrafiche dei n.7 sondaggi a carotaggio continuo;
- la relazione ed i grafici delle prospezioni geoelettriche;
- i grafici e le tabelle delle prove Lugeon;
- i rapporti analisi terreni;
- i rapporti analisi acqua e percolato;
- i rapporti analisi gas interstiziali;
- i rapporti analisi rifiuti.

Tra le tavole principali si segnalano:

- planimetria del sito, sc. 1/2000 e dell'area, sc. 1/5000;
- sezione topografica discarica, sc. 1/2000;

- andamento stratigrafico, sc. 1/1000;
- ubicazione pozzi e isofreatiche area vasta, sc. 1/20'000;
- ubicazione sondaggi, piezometri, punti di prelievo superficiali e allineamento geoelettriche, sc. 1/1000;
- carta isofreatiche area discarica, sc. 2/1000.

3. – SINTESI DELLA RELAZIONE DE PAOLA

3.1 Partizione della Relazione

La Relazione De Paola, con titolo "*Indagini geoelettriche 2013 nel quadro degli studi precedenti e reinterpretazione del modello idrogeologico*", redatta nell'ottobre del 2013, è articolata in tre parti.

La prima parte prende in considerazione i risultati delle indagini e studi eseguiti tra il 2010 ed il 2012 e ne formula una sintesi critica finalizzata alla definizione del modello idrogeologico.

La seconda parte analizza ed interpreta i risultati delle indagini geoelettriche (tomografie e SEV) eseguite in tutta l'area asservita ai diversi impianti ed anche all'esterno, *ottenendo un quadro significativo dell'assetto idrogeologico del sito.*

La terza parte mette a confronto i risultati delle ricerche pregresse ed i contributi del nuovo studio, *tracciando le linee di un modello idrogeologico più prossimo all'assetto geologico e strutturale locale e redigendo un bilancio idrogeologico per indicizzare la potenzialità idrica della falda di superficie.*

3.2 Parte prima – Analisi delle risultanze pregresse

Vengono esaminate le criticità e conseguente inattendibilità delle stratigrafie della campagna di sondaggi dell'agosto 2010, in quanto i sondaggi risultano eseguiti a distruzione di nucleo, escludendo la possibilità di ottenere valutazioni oggettive (come per esempio l'RQD) sul grado, orientamento e tipologia della fratturazione del granito e sulle principali caratteristiche idrogeologiche.

Analoghe criticità sono evidenziate nell'esecuzione dei sondaggi destinati ai piezometri sia superficiali che profondi; per questi ultimi si segnala anche la ridotta profondità della cementazione del tratto cieco (come da quadro seguente), che non dà certezza circa il completo isolamento della falda superficiale.

PIEZOMETRO	PROFONDITA' DELLA SUPERFICIE DI FALDA E DEL TETTO DEL "GRANITO POCO FRATTURATO GRIGIO" (m dal p.c.)	PROFONDITA' DELLA CEMENTAZIONE (m dal p.c.)
R1	81.00	0.00 – 21.00
R2	73.00	0.00 – 15.00
R3	69.00	0.00 – 21.00
R4	70.00	0.00 – 19.00
R5	76.00	0.00 – 23.00
R6	64.54	0.00 – 4.00

Sottoposti a critiche anche i sondaggi-piezometri ubicati sul corpo discarica (S5, S6, S7) poiché dalle allegate stratigrafie appare evidente che le perforazioni hanno superato la barriera impermeabile di fondo, dando luogo ad una connessione idraulica tra il corpo rifiuti ed il sottostante basamento granitico.

Si chiarisce in questa sede che i citati sondaggi-piezometri sono stati tratti dalla Relazione Vorlicek del 2008, nella quale non viene indicata la fonte di estrazione, cioè proprio la relazione Vivarelli del 2005 (oggetto della presente lettura ed analisi), la quale riferisce dell'avvenuta sigillatura basale a perforazione compiuta.

Non apportano chiarimenti di sorta, circa i rapporti tra piezometri superficiali e profondi, neanche le prove di portata eseguite sugli stessi, in quanto mancanti delle curve di risalita, insufficienti nei tempi di prova e carenti di indicazioni sulle portate e sul mantenimento della loro costanza nel tempo, data la presenza di rapidi e consistenti abbassamenti del livello idrico (in 40' ÷ 50' si registrano depressioni di 70.00 ÷ 80.00 m e più).

L'esame delle analisi effettuate sulle acque dei piezometri superficiali e profondi consente di formulare in sintesi le seguenti indicazioni.

*L'assoluta casualità nel tempo e nello spazio delle variazioni dei parametri fisico-chimici appare tipica di contaminazioni di origine antropica legata alla gestione e smaltimento dei rifiuti; **l'assenza di una sostanziale differenziazione tra la contaminazione delle acque dei piezometri superficiali e dei piezometri profondi può essere indice dell'esistenza di una connessione idraulica tra gli stessi, per problematiche connesse ad un non perfetto isolamento in corso d'opera.***

L'esito delle osservazioni relative alle misure piezometriche deriva dal seguente quadro, aggiornato con i dati acquisiti nel corso della stesura della presente Relazione datata giugno 2014; esito ulteriormente evidenziato dai relativi istogrammi di seguito riportati.

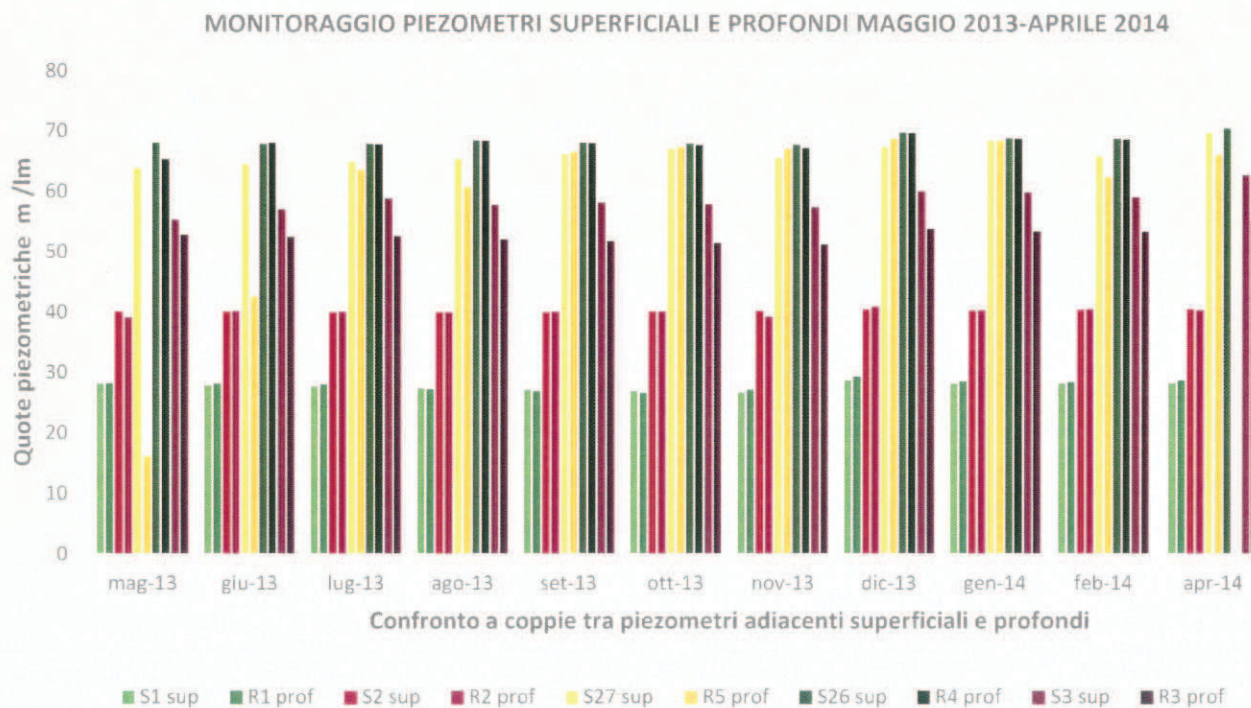
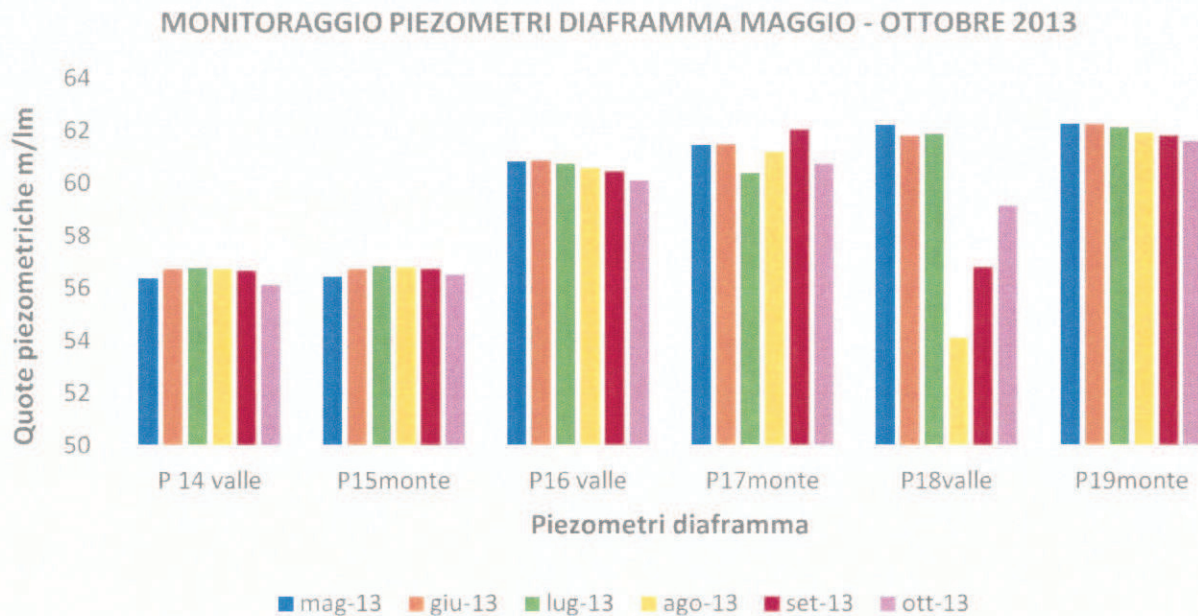


Rete monitoraggio piezometrico

PIEZOMETRI	POSIZIONE	PROFONDITA' (m)	SOGGIACENZA FALDA (m)					
			13.2.2012	01/2013	02/2013	03/2013	04/2013	05/2013
S1 – R1	N	5 – 90	1.08 – 0.8	1.6 – 2.5	1.3 – 1.8	0.9 – 1.4	1.0 – 1.4	1.45 – 1.40
S2 – R2	NE	7 – 80	-	1.3 – 1.3	1.2 – 0.4	0.45 – 0.7	0.75 – 0.7	0.64 – 1.85
S27 – R5	SE	10 – 100	5.05-8.75	3.8 – 2.9	3.1 – 2.7	3.25 – 2.6	5.95 - ?	6.62 – 54.3
S26 – R4	SW	7 – 100	3.94-2.57	5.0 – 5.8	5.2 – 5.4	5.0 – 4.6	5.0 – 4.7	5.30 – 8.08
S21	W	10	6.10	7.6	8.2	6.15	6.20	6.70
S4	W	10	5.78	8.5	7.9	6.2	6.6	7.13
S3 – R3	NW	10 – 80	3.13 – 9.8	4.9 – 10.6	4.2 – 11.1	3.6 – 9.7	7.95-10.4	8.10 – 11.12
DIAFRAMMA								
S18 – S19	Valle-Monte	14 – 14	-	-	-	-	-	3.03 – 2.44
S16 – S17	Valle-Monte	14 – 14	-	-	-	-	-	3.83 – 2.89
S14 – S15	Valle-Monte	14 – 14	-	-	-	-	-	5.25 – 4.82

PIEZOMETRI	POSIZIONE	PROFON DITA' (m)	SOGGIACENZA FALDA (m)					
			06/2013	07/2013	08/2013	09/2013	10/2013	11/2013
S1 – R1	N	5 – 90	1.68 – 1.42	1.90-1.58	2.20-2.35	2.42-2.72	2.71-2.95	2.88-2.45
S2 – R2	NE	7 – 80	0.67-0.82	0.78-0.94	0.82-1.00	0.78-0.95	0.65-0.85	0.60-1.75
S27 – R5	SE	10 – 100	5.93-27.92	5.47-6.88	5.14-9.80	4.21-3.93	3.42-3.17	4.95-3.38
S26 – R4	SW	7 – 100	5.47-5.29	5.50-5.53	4.91-5.00	5.29-5.42	5.50-5.72	5.70-6.20
S21	W	10	6.96	7.43	8.40	8.61	-	9.10
S4	W	10	7.29	7.49	7.88	8.04	8.17	8.30
S3 – R3	NW	10 – 80	6.34-11.50	4.56-11.41	5.66-11.97	5.25-12.23	5.50-12.54	6.00-12.80
DIAFRAMMA								
S18 – S19	Valle-Monte	14 – 14	3.43-2.44	3.38-2.57	11.13-2.77	8.45-2.90	6.10-3.10	
S16 – S17	Valle-Monte	14 – 14	3.79-2.86	3.92-3.95	4.09-3.14	4.20-2.30	4.55-3.61	
S14 – S15	Valle-Monte	14 – 14	4.90-4.54	4.85-4.41	4.89-4.44	4.96-4.52	5.50-4.75	

PIEZOMETRI	POSIZIONE	PROFON DITA' (m)	SOGGIACENZA FALDA (m)				
			12/2013	01/2014	02/2014	03/2014	04/2013
S1 – R1	N	5 – 90	0.85-0.30	1.45-1.07	1.45-1.20		1.35-0.88
S2 – R2	NE	7 – 80	0.30-0.10	0.55-0.67	0.40-0.50		0.30-0.65
S27 – R5	SE	10 – 100	3.10-1.80	2.10-2.10	4.70-8.05		0.80-4.46
S26 – R4	SW	7 – 100	3.64-3.70	4.60-4.65	4.70-4.80		3.05
S21	W	10	6.30	6.45	6.30		-
S4	W	10	5.20	7.00	7.10		6.50
S3 – R3	NW	10 – 80	3.45-10.20	3.53-10.65	4.40-10.70		0.70-9.00
DIAFRAMMA							
S18 – S19	Valle-Monte	14 – 14					
S16 – S17	Valle-Monte	14 – 14					
S14 – S15	Valle-Monte	14 – 14					



Dall'esame dei dati di cui alle tabelle sopra riportate e dei relativi istogrammi emerge innanzitutto la sostanziale omogeneità tra le quote

piezometriche degli adiacenti piezometri superficiali e profondi, salvo che per la coppia di piezometri S3 ed R3, ed occasionali e temporanee variazioni piezometriche per la coppia di piezometri S27 e R5 che *sembrano essere legate a fattori casuali invece che, per esempio, ad attese e più marcate fluttuazioni stagionali.*

Tra i fattori casuali possono essere annoverati i dati relativi al regime degli emungimenti dei pozzi esistenti nell'area, sia di quelli relativi alla MISE e alla MISIP, sia di quelli posti a servizio dei vari impianti realizzati nel sito.

A questi fattori va ulteriormente aggiunta anche la significativa *movimentazione di materiale roccioso* effettuata a più riprese nel tempo per la realizzazione dei vari impianti e per l'ampliamento delle aree pertinentziali; operazione *effettuata, tra l'altro, con l'uso di esplosivi*, che certamente hanno allentato in maniera differenziata (a seconda della resistenza propria dei volumi rocciosi investiti dall'onda d'urto e della loro distanza dai siti delle volate) i vari orizzonti del substrato.

Nonostante questa *imponderabile serie di fattori che possono avere influenzato e tuttora influenzano in misura diversa e con pulsioni temporali casuali l'idrodinamica sotterranea, sembra comunque potersi rilevare una **sostanziale omogeneità nella piezometria generale del sito che si adatta, in maniera prevalente, alla superficie topografica, senza significative distinzioni tra piezometri profondi e superficiali*** (tranne che nel caso della coppia di piezometri S3-R3 del settore NW, di cui si dirà tra breve).

Concludendo sul punto, si evidenzia che:

- l'unica differenziazione tra piezometri profondi e superficiali viene rilevata a valle dell'area che accoglie gli impianti nei piezometri S3

- R3, nel settore di NW (soggiacenza media falda superficiale 4.00 ÷ 5.00 m, soggiacenza media falda profonda 10.00 ÷ 11.00 m);
- gli assi di drenaggio preferenziali della falda superficiale assumono provenienze da SW (soggiacenze medie attorno ai 3.00 ÷ 5.00 m), da SE (soggiacenze medie di 4.00 ÷ 5.00 m) e da NE (soggiacenza media da 0.50 ÷ 1.00 m), per proseguire rispettivamente verso NW, verso N e verso W, dove la soggiacenza della falda superficiale si attesta attorno ai 6.00 m; ciò significa che la falda superficiale muove seguendo in linea generale l'orografia della zona (confermando, quindi, le pregresse osservazioni), in ciò localmente ostacolata dai volumi interrati delle discariche e dalle altre opere idrauliche e strutturali realizzate, che costringono i flussi idrici a seguire traiettorie diverse da quelle proprie naturali, ferme restando le aree di origine, ubicate nei quadranti meridionali, e quelle del recapito finale, ubicate nei quadranti nord-occidentali.

Concludendo su questa prima parte si osserva come gli studi e le indagini eseguiti a più riprese negli anni precedenti non abbiano dato luogo ad una univoca definizione dell'assetto idrogeologico del sito a causa soprattutto della lacunosità e carenze esecutive di talune indagini, che, ove compiutamente condotte (orientamento, distribuzione e qualità delle fratture del granito, parametri idrogeologici della falda, ecc.), avrebbero potuto fornire risposte esaurienti ed univoche sull'argomento.

Nonostante le perplessità sollevate, **si è sempre però ritenuto, da più parti, di dover considerare, ai fini della sua tutela, l'unica falda sperimentalmente accertata, quella freatica di superficie, perciò molto vulnerabile**, insediata nella coltre arenizzata dei graniti affioranti ovvero nella coltre sedimentaria eluvio-colluviale ed alluvionale presente

nelle porzioni basali dei versanti o negli impluvi nonché nella sottostante banda alterata e fratturata dei graniti.

Tanto è dimostrato *dal modello idrogeologico esposto nella relazione Vorlicek - 2008 ed adottato ai fini della redazione del modello di flusso, trasporto e diffusione degli inquinanti, assumendo uno spessore complessivo dell'acquifero pari a circa 6.00 m a partire dal p.c., comprendente un acquifero freatico superficiale, dato dal sabbione granitico spesso qualche metro, con permeabilità $k = 1^{-04}$ m/sec e porosità pari a 0.20, ed un sottostante acquifero roccioso, per pochi metri permeabile per fratturazione con permeabilità $k = 1^{-06}$ m/sec e porosità pari a 0.10;* *dal modello idrogeologico esposto nella relazione idrogeologica integrativa Calderaro del novembre 2012 a proposito della progettazione di una trincea drenante, la cui profondità non va oltre 3.00 m dal p.c., da posizionare a valle della discarica, al fine di mettere "in sicurezza la falda stessa a valle della discarica consortile"; dal modello adottato nella progettazione ed esecuzione della barriera in jet-grouting, profonda circa 10.00 m ed ammorsata nei graniti impermeabili di base, ubicata a monte della discarica comunale per evitare l'infiltrazione delle acque di falda nel corpo rifiuti.*

3.3 Parte seconda – Risultanze e deduzioni della campagna indagini geofisiche 2013

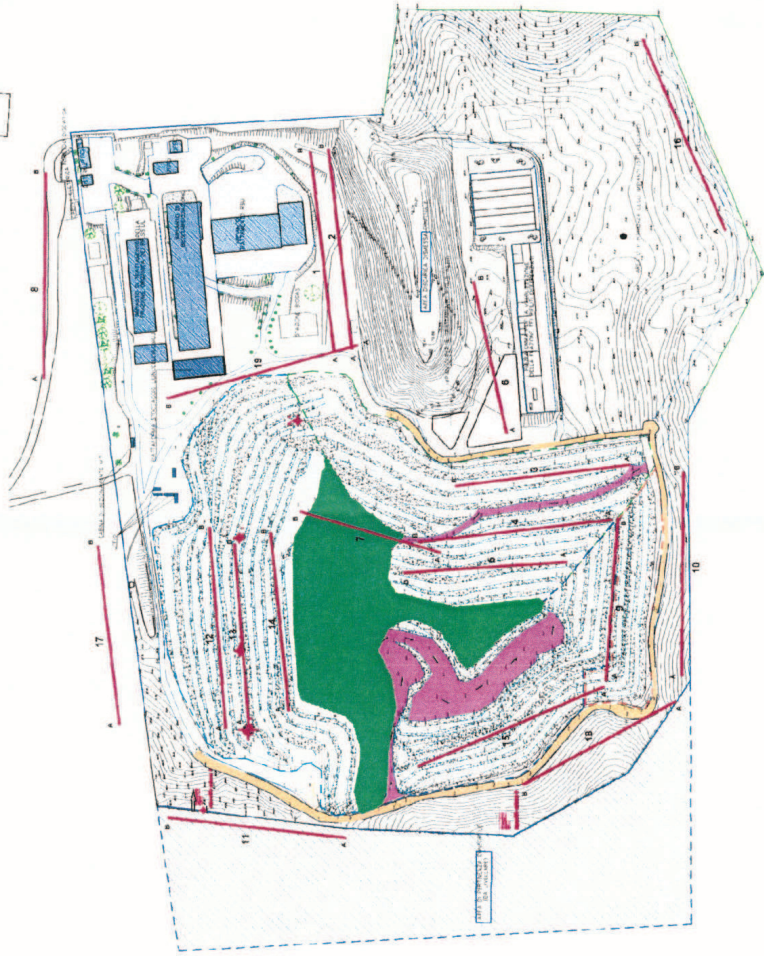
Il Capitolo è interamente dedicato all'illustrazione delle deduzioni delle indagini geoelettriche eseguite tra giugno e luglio del 2013, comprendenti n.19 tomografie elettriche e n.10 sondaggi elettrici verticali (SEV).

Le prime ricadono tutte all'interno o immediatamente all'intorno dell'area comprensiva degli impianti; i SEV, invece, sono distribuiti sul terreno secondo una diversa configurazione, in quanto alcuni, per un

totale di n.4 SEV, sono ubicati lungo il perimetro dell'area di interesse ed in prossimità di alcune tomografie, mentre i restanti n.10 SEV sono dislocati in aree esterne, allo scopo di saggiare un territorio più ampio a fini idrogeologici.

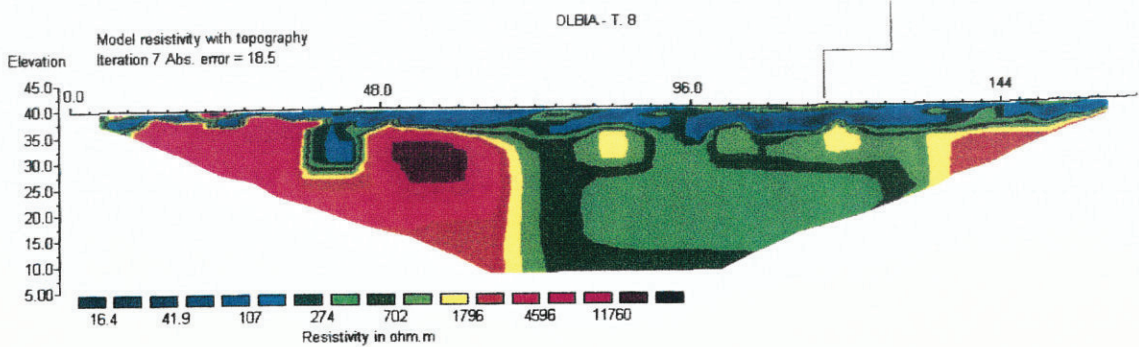
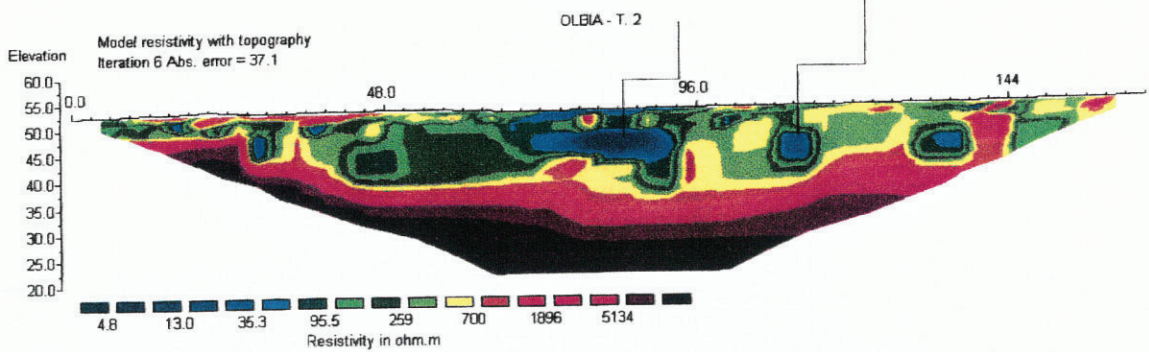
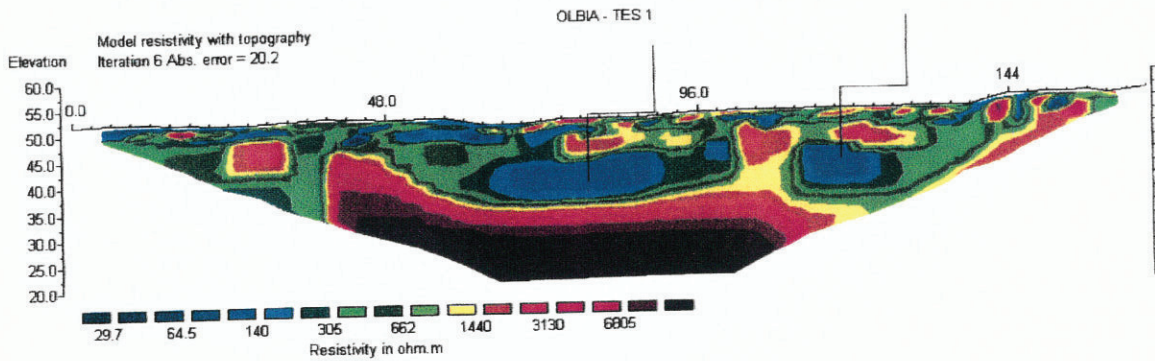
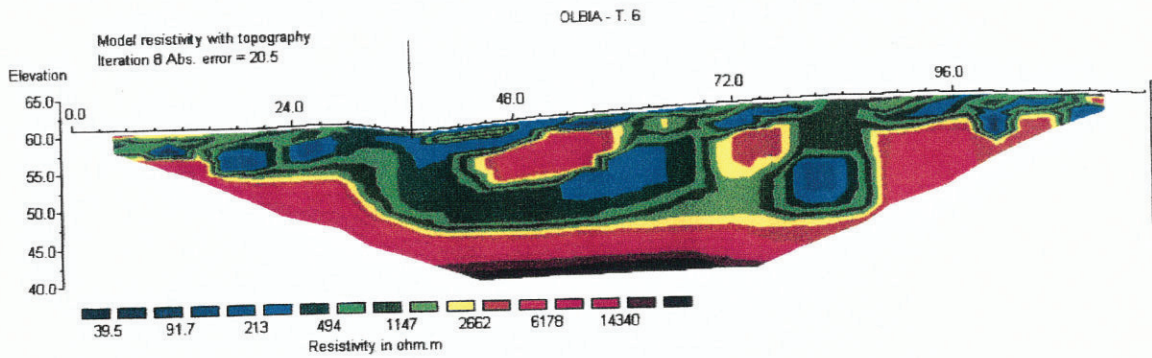
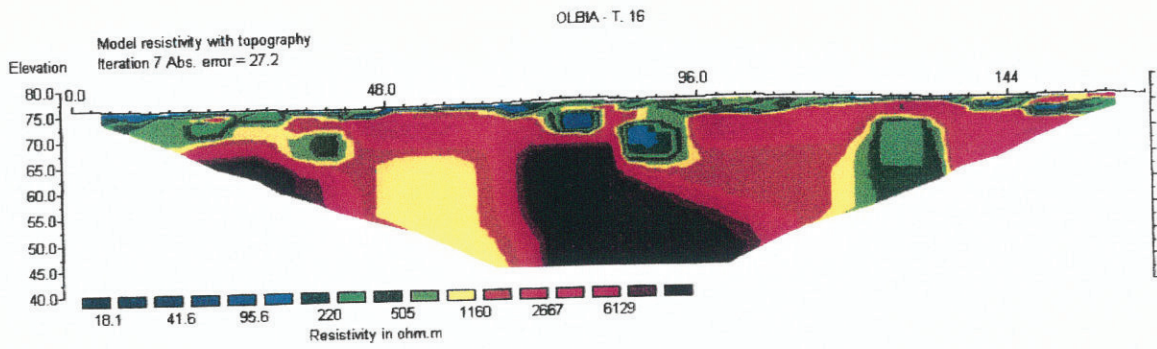
Le cartografie con l'ubicazione dei SEV e delle tomografie sono di seguito allegate.

UBICAZIONE TOMOGRAFIE ELETTRICHE



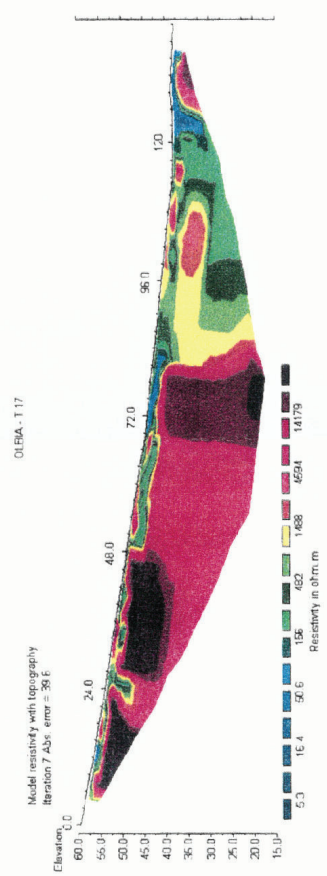
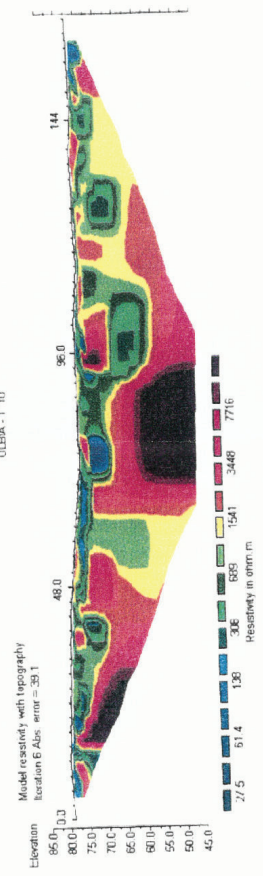
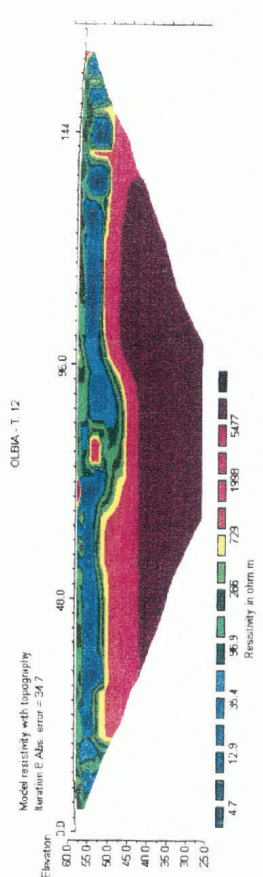
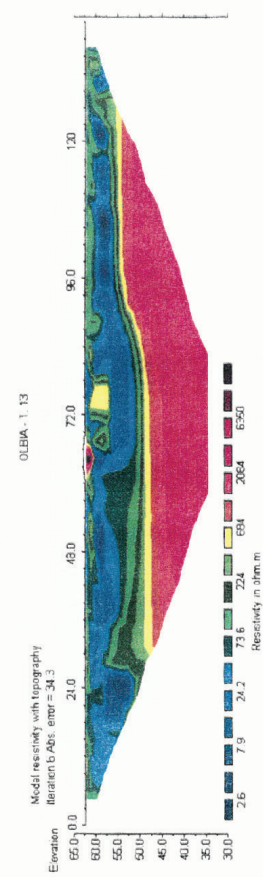
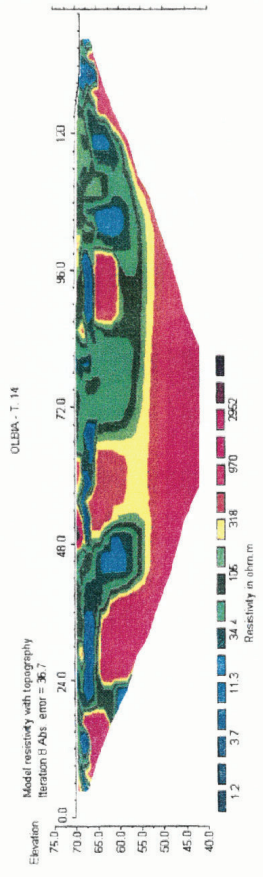
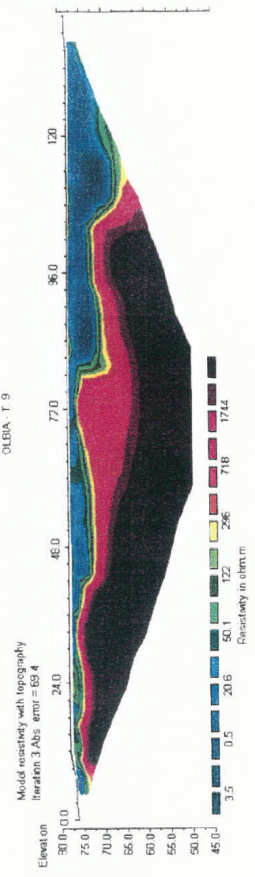
UBICAZIONE TOMOGRAFIE ELETTRICHE GRUPPO 1 (LATO EST)





UBICAZIONE TOMOGRAFIE ELETTRICHE GRUPPO 2 (LATO OVEST)



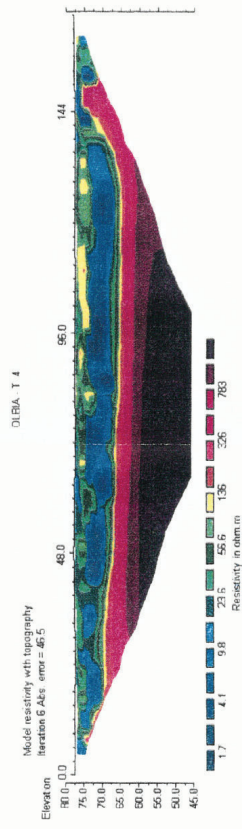
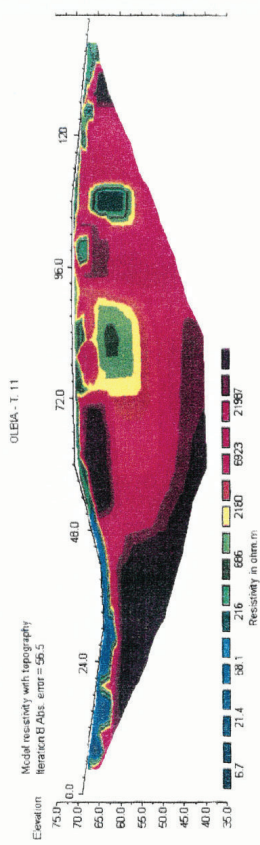
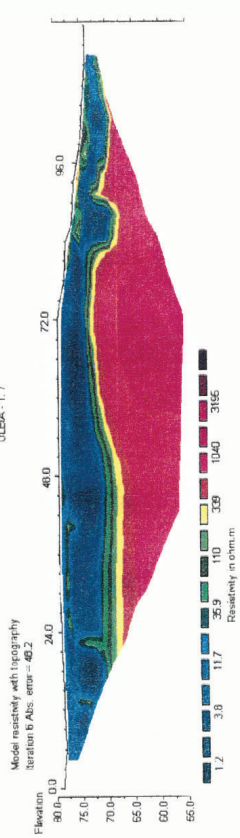
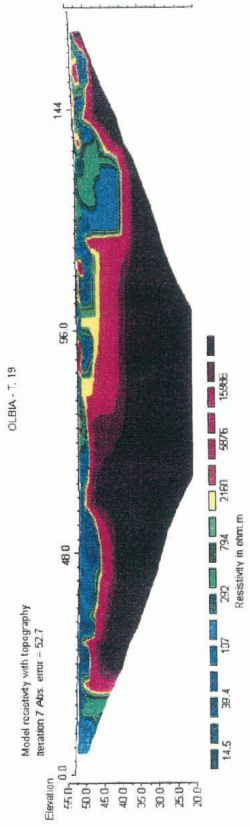


UBICAZIONE TOMOGRAFIE ELETTRICHE GRUPPO 3 (LATO SUD, DA EST AD OVEST)



UBICAZIONE TOMOGRAFIE ELETTRICHE GRUPPO 4 (LATO NORD, DA EST AD OVEST)





In sintesi, ***si osserva che le tomografie elettriche denunciano la presenza in superficie di terreni con resistività da media a bassa, per spessori di pochi metri, in genere compresi tra 4.00 e 6.00 m, associabili alla residua coltre eluvio-colluviale o al sabbione granitico ed alla sottostante banda granitica alterata e fratturata, costituenti aree od assi preferenziali di drenaggio; ivi è insediata la falda freatica superficiale, che, peraltro, denuncia marcati caratteri di discontinuità spaziale.***

In questo strato sono anche presenti zone a bassa e a luoghi bassissima resistività connesse con i corpi delle discariche, fino a profondità massime di una ventina di metri dal p.c.

Il sottostante complesso granitico assume caratteri di resistività variabile da alta ad altissima, in relazione al diverso grado di fratturazione della roccia, connesso a stress tettonici, a processi di decompressione litostatica anche per effetto degli esplosivi impiegati a vario titolo nel corso dei lavori.

Dall'esame delle sezioni elettro-tomografiche non emergono, per detto complesso granitico, segnali di discontinuità tettoniche, tali da consentire circolazione idrica, fino alla profondità massima esplorata (33.00 – 35.00 m dal p.c.).

Si può, pertanto, asserire che ***la circolazione idrica nell'area è esclusivamente costituita dalla falda freatica di superficie, con spessore dell'ordine di pochi metri, in genere compreso tra 4.00 e 6.00 m a partire dal p.c., certamente inferiore ai 10.00 m, e che detta falda è sostenuta alla base dalle masse granitiche sostanzialmente impermeabili, in quanto prive di fratture o discontinuità tettoniche significative sotto l'aspetto idrogeologico.***

A detto complesso granitico, che assume il ***ruolo di vero e proprio acquiclude*** in quanto costituisce limite di permeabilità basale, ***può essere assegnato uno spessore minimo dell'ordine di alcune decine di metri, certamente compreso tra i 50.00 ed i 60.00 m dal p.c., secondo le indicazioni deducibili dalle tomografie e dai SEV.***

Nell'area degli impianti, la superficie della falda, che prima degli insediamenti si adattava e seguiva la morfologia originaria del bacino idrografico, oggi è costretta ad aderire alla nuova morfologia conseguente alla presenza delle discariche e degli altri manufatti, ricomponendosi, in un assetto molto prossimo a quello naturale, nell'impluvio a valle dell'area impianti.

Nelle aree esterne ed anche per quelle prossime agli impianti, l'esplorazione elettrotomografica ha fatto registrare, in accordo con quanto sopra detto, una maggiore continuità dello strato superficiale a bassa e bassissima resistività, sempre per spessori di pochi metri e sempre costituito dalla coltre sciolta detritico-regolitica e dalla banda granitica alterata e fratturata, ospitante la falda freatica, con più limitate variazioni laterali di aree a media resistività.

Anche per dette aree esterne il sottostante complesso granitico dà luogo a resistività da alta ad altissima, escludenti ogni forma di discontinuità tale da consentire la percolazione delle acque della falda di superficie verso il basso, almeno fino a circa 34.00 ÷ 35.00 m dal p.c., per quanto accertato dalle tomografie, ed oltre i 50.00 m dal p.c. per quanto dedotto dai SEV.

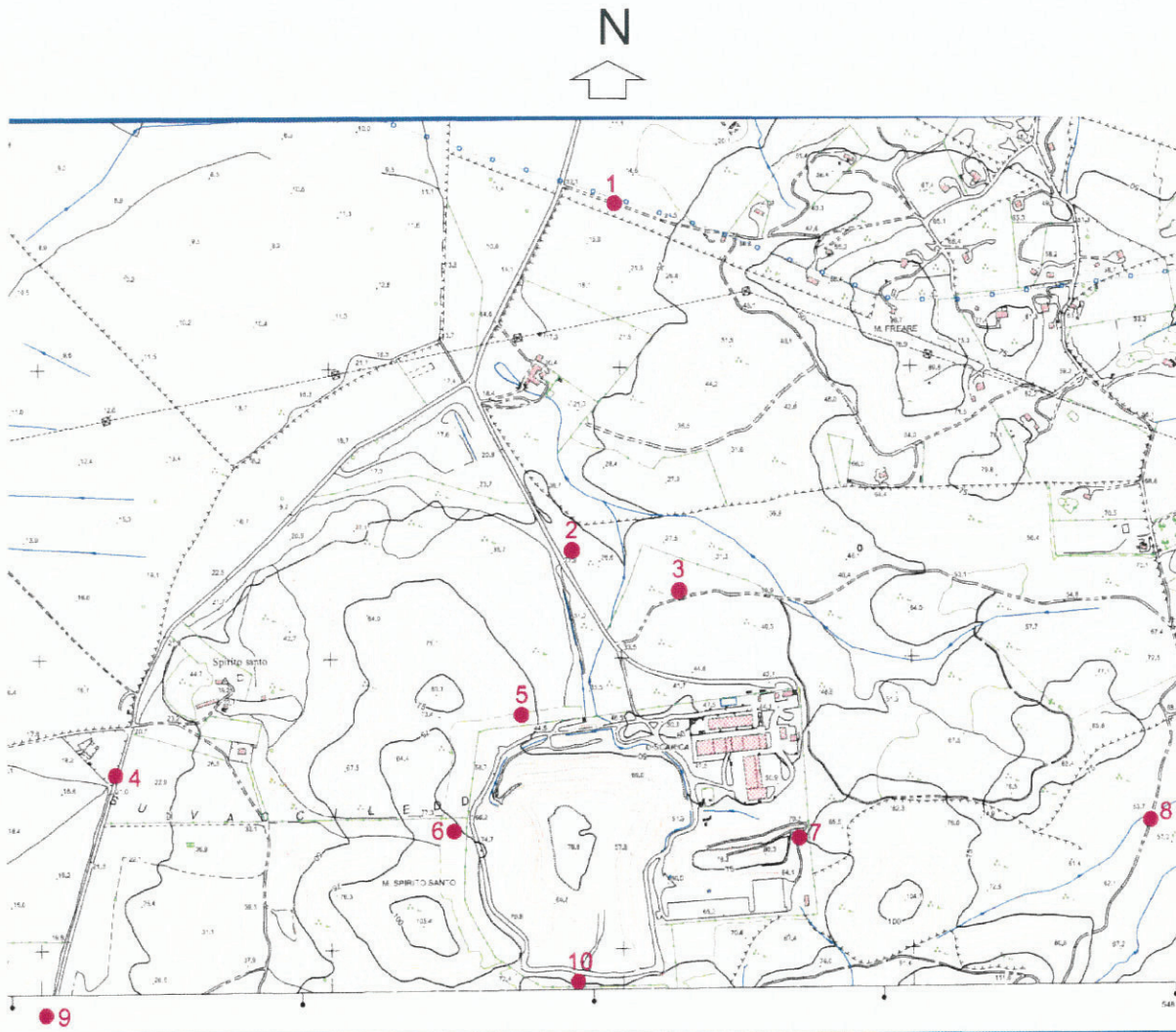
E' lecito presumere, infine, anche in assenza di investigazione, che nelle aree costituenti il pendio posto a S e ricadenti nel bacino idrografico dell'area impianti, non interessate da lavori di alcun genere, la circolazione idrica sotterranea conservi intatte le sue caratteristiche originarie, costituite dalla presenza di una falda libera, spesso pochi metri, insediata

nella coltre granitica arenizzata e nella porzione alta, fratturata ed alterata, del sottostante complesso granitico, con superficie piezometrica che si adatta alla morfologia del pendio.

In definitiva, l'assetto idrogeologico del substrato granitico fino a circa 35.00 m dal p.c., è caratterizzato da alta ed altissima resistività senza alcuna soluzione di continuità, comunque tale da costituire un invalicabile limite impermeabile basale.

Il dato fornito dalle tomografie è ulteriormente confermato anche dall'esito dei n.10 SEV eseguiti nell'area ed ubicati come da allegata planimetria.

UBICAZIONE SONDAGGI ELETTRICI VERTICALI



I SEV hanno raggiunto profondità ancora più significative, comprese tra 70.00 m e 135.00 m dal p.c.

Le indicazioni ottenute *possono ritenersi di grande significato*, in quanto risultano non solo tra loro omogenee ma correlabili anche con il quadro tracciato dalle elettrotomografie.

Semplificandone al massimo l'interpretazione, si osserva che le curve di resistività presentano in genere un tratto iniziale sub-orizzontale

caratterizzato da resistività medio-bassa, a cui segue un tratto con pendenza molto sostenuta tipica di resistività molto alta.

Il primo tratto della curva di resistività, con spessori compresi in genere tra 1.00 m e 4.00 m – 6.00 m e valori di resistività contenuti, compresi tra 120 e 750 ohm.m, è proprio della coltre superficiale costituita da sedimenti detritico-eluvio-colluviali e dai sabbioni granitici nonché dalla banda granitica alterata e fratturata ed è correlabile con gli analoghi strati rilevati con le tomografie elettriche; in detto strato è localizzata la debole e discontinua falda idrica superficiale.

Il secondo tratto della curva di resistività, fino a profondità accertate di 70.00 – 135.00 m dal p.c., presenta, in generale, valori di resistività elevati, anche oltre 2000 ohm.m, tipici del substrato granitico meglio caratterizzato sotto il profilo meccanico e privo di circolazione idrica sotterranea.

Nei SEV n.5 e n.8 si rilevano ***leggeri*** flessi delle curve, alle rispettive profondità di circa 55.00 m e 88.00 m dal p.c., che potrebbero essere interpretati come flussi idrici all'interno di locali discontinuità della roccia; ancora meno evidenti e meno interpretabili gli appena accennati flessi nei SEV 1 e 3, ai quali appare molto difficile attribuire un positivo significato idrogeologico.

I SEV confermano, quindi, quanto già accertato con le elettrotomografie circa la presenza di una falda freatica superficiale, debole e discontinua, insediata nei primi 4.00 ÷ 6.00 m dal p.c., a luoghi poco più, sostenuta alla base da un orizzonte granitico esplicante il ruolo di acquicludo, in quanto sostanzialmente impermeabile, e con uno spessore accertato di alcuni decimetri, fino ad una profondità di almeno 55.00 m dal p.c..

Quest'ultimo dato è desumibile dalla **costanza dei risultati ottenuti, oltre che dai n.10 SEV, anche dalle n.19 elettrotomografie complessivamente condotte nell'area, circa l'assenza di fratture o disgiunzioni tettoniche idonee a consentire la percolazione delle acque della falda di superficie verso gli orizzonti granitici più profondi**; ulteriormente precisando che agli stendimenti elettrodici sono state assegnate **direzioni diversificate**, da quelle all'incirca tra loro parallele a quelle ortogonali ivi comprese quelle con angolazioni intermedie, **atte in ogni caso ad intercettare tutte le famiglie di fratture e le linee tettoniche caratterizzanti il locale ammasso granitico.**

Si osserva, infine, che le n.9 elettrotomografie eseguite sul corpo della discarica consortile registrano la presenza, alla base della discarica, di un fondo continuo ed omogeneo, dovuto al **comportamento dielettrico del telo impermeabile che, perciò, dimostra di conservare intatta la propria integrità.**

3.4 Parte terza – Definizione del quadro conoscitivo idrogeologico, bilancio idrogeologico, osservazioni conclusive

Nella terza parte della Relazione si riepilogano i dati acquisiti, pregressi ed attuali, e sulla base prevalente dell'ultima campagna di indagini geoelettriche si ribadiscono le linee del modello idrogeologico dianzi espresso, cioè acquifero superficiale con falda libera spesso pochi metri, acquicludo basale granitico fino ad oltre 50.00 m dal p.c., ipotetica presenza a maggior profondità di modesta e circoscritta circolazione idrica in fratture, spazialmente discontinua e con capacità di stoccaggio, intesa come capacità dell'acquifero di immagazzinare e rilasciare l'acqua, estremamente contenuta: la deduzione di tipo qualitativo è tratta dalla

tipologia, quasi puntuale e solo debolmente resiliente, dei flessi riscontrati limitatamente ad un paio di curve di resistività.

Assume, perciò, rilevanza, ai fini del controllo della diffusione degli inquinanti e della tutela della risorsa idrica nelle aree circostanti gli impianti, soprattutto a valle degli stessi, ***la valutazione della potenzialità, sotto il profilo quantitativo, della falda freatica di superficie.***

Si è proceduto, perciò, a formulare un calcolo speditivo del ***bilancio idrogeologico***, relativo a quella parte del bacino idrografico comprendente interamente l'area degli impianti in oggetto, secondo l'allegata cartografia delimitante il bacino idrografico d'interesse.

BACINO IDROGRAFICO

Scala 1/7500



Dagli studi precedenti si estraggono i parametri necessari per l'impostazione del calcolo:

- Superficie totale del bacino idrografico alla sezione di chiusura immediatamente a valle dell'area impianti: $A_T = \sim 475.000 \text{ m}^2$;
- Superficie compresa nell'area impianti: $A_1 = \sim 300.000 \text{ m}^2$ (63 % di A_T)
- Superficie a monte degli impianti: $A_2 = \sim 175.000 \text{ m}^2$ (37 % di A_T)
- Pendenza media del bacino a monte dell'area impianti: $S_2 = 29.8 \%$;
- Pendenza media del bacino nell'area impianti: $S_1 = 7.45 \%$;
- Precipitazione media annuale (anni dal 1922 al 2005): $P_m = 570 \text{ mm}$
- Temperatura media annuale (anni dal 1927 al 2010): $T_m = 16.6^\circ \text{ C}$.

Il bilancio idrogeologico è dato da:

$$P = \text{ETR} + R + I$$

ove

P = precipitazioni media meteorica (mm/anno)

ETR = evapotraspirazione reale (mm)

R = ruscellamento (mm)

I = infiltrazione efficace (mm)

CALCOLO DELL'EVAPOTRASPIRAZIONE REALE

Risultando il bacino idrografico non molto esteso può essere adottata con profitto la formula di Turc che, oltretutto, si adatta a diverse condizioni climatiche:

$$\text{ETR} = P / \sqrt{0.9 + (P^2/L^2)}$$

ove

P = altezza pioggia (mm/anno)

$L = 300 + 25 T_m + 0.05 T_m^3$ = potere evaporante dell'atmosfera

T_m = temperatura media annua dell'aria (°C).

CALCOLO DI L

$$L = 300 + 25 \times 16.6^\circ + 0.05 \times 16.6^3 = 300 + 415 + 228.71 = 943.71$$

CALCOLO DI ETR

$$ETR = 570 / \sqrt{0.9 + (570^2/943.71^2)} = 570 / \sqrt{0.9 + 0.365} = 570 / 1.125 = \sim 507 \text{ mm}$$

pari a circa l'89 % di $P = 570 \text{ mm}$

Si calcola ETR anche con l'equazione di Coutagne, secondo cui:

$$ETR = P - \lambda P^2$$

ove

$$\lambda = 1 / (0.8 + 0.14T)$$

quindi

$$\lambda = 0.32$$

per cui

$$ETR = 466 \text{ mm/a}$$

Il risultato si può ritenere valido essendo P compreso tra $1/8\lambda$ e $1/\lambda$, condizione posta dall'Autore.

Ai fini del calcolo del bilancio idrogeologico si riepilogano di seguito i valori di ETR ottenuti:

- ETR = 466 mm/a, secondo Coutagne

- ETR = 507 mm/a, secondo Turc.

CALCOLO DEL DEFLUSSO IDRICO GLOBALE D

$$D = P - ETR$$

$$D = 570 - 466 = 104 \text{ mm/a (secondo Coutagne)}$$

$$D = 570 - 507 = 63 \text{ mm/a (secondo Turc).}$$

CALCOLO DELL'INFILTRAZIONE EFFICACE

Essendo il deflusso idrico globale D la somma dei deflussi superficiali e sotterranei, cioè del ruscellamento e della infiltrazione, cioè:

$$D = R + I$$

si ha:

$$I = D - R$$

e facendo riferimento al coefficiente di infiltrazione potenziale (c.i.p.), si ha:

$$I = D \times \text{c.i.p.}$$

Si pone, per la coltre arenizzata del granito laddove presente e per le coperture artificiali altrove, il c.i.p. = 0.25D, che si ritiene possa meglio rispecchiare le complesse caratteristiche proprie del bacino idrografico, di seguito sinteticamente individuate:

- pendenza accentuata e presenza della copertura vegetale del versante a monte dell'area degli impianti, che copre il 37 % dell'area del bacino;
- minore pendenza, presenza di camminamenti, di spiazzi pavimentati e di edifici, regimazione e smaltimento delle acque a mezzo canalizzazioni e captazioni di vario tipo (acque di prima pioggia, percolato, ecc.), nell'area che accoglie gli impianti, che copre il 63 % dell'area del bacino.

Si ha, in definitiva, per l'infiltrazione efficace:

$$I = 104 \times 0.25 = 26 \text{ mm/a (secondo Coutagne)}$$

$$I = 63 \times 0.25 = 15.75 \text{ mm/a (secondo Turc)}$$

Non essendovi alimentazioni o afflussi di altro genere, l'infiltrazione efficace I si identifica con la potenzialità idrica U della falda freatica superficiale presente nel dominio idrogeologico in esame.

Tale potenzialità U è, pertanto, pari a:

$$U \text{ (m}^3\text{/a)} = I \text{ (m/a)} \times A \text{ (m}^2\text{)} = 0.026 \times 475.000 = 12.350 \text{ m}^3\text{/a} = 0.00039 \text{ m}^3\text{/s} = 0.39 \text{ l/s}$$

(secondo Coutagne)

$$U \text{ (m}^3\text{/a)} = I \text{ (m/a)} \times A \text{ (m}^2\text{)} = 0.01575 \times 475.000 = 7481 \text{ m}^3\text{/a} = 0.24 \text{ l/s}$$

(secondo Turc)

da cui si ottiene l'alimentazione unitaria specifica I_s , espressa in $\text{l/s}\cdot\text{km}^2$:

$$I_s = 0.39/0.475 = 0.82 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2 \text{ (secondo Coutagne)}$$

$$I_s = 0.24/0.475 = 0.51 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2 \text{ (secondo Turc)}$$

Concludendo sul punto, si osserva che, comunque calcolata, l'alimentazione unitaria specifica I_s , riflettendo le caratteristiche meteorologiche e le condizioni litologiche e morfologiche del sito, nonché le profonde modificazioni dei parametri idrogeologici apportate dalle pervasive attività antropiche gravanti sul 63 % della superficie totale del minuscolo bacino idrografico, è tipica di una potenzialità idrica complessiva molto ridotta; la risorsa idrica che ne deriva e che si concretizza nella falda libera oggetto di studio si qualifica come molto

povera, sia sotto il profilo qualitativo, in quanto superficiale, idrogeologicamente priva di copertura protettiva e quindi estremamente vulnerabile, sia sotto il profilo quantitativo, considerati i ridotti apporti delle ricariche e dell'unica fonte di alimentazione, quella meteorica.

Tanto è ulteriormente comprovato dall'andamento delle prove di pompaggio, eseguite in tempi precedenti su alcuni pozzi e piezometri, attestati nella falda libera superficiale, che hanno dato luogo all'azzeramento dei livelli idrici in tempi brevissimi, dell'ordine di pochi minuti primi, nonostante le modeste portate impegnate.

4. – ULTERIORI CONTRIBUTI PER LA DEFINIZIONE DEL MODELLO CONCETTUALE DEL SITO (MCS)

Si espongono in questo capitolo alcuni importanti aspetti, tratti da più fonti, utili per la definizione del Modello Concettuale del Sito (MCS), che, ai sensi dell'Allegato 2 al Titolo V della Parte IV del D. L.vo 152/2006, rappresenta il documento preliminare per la redazione del Piano di Caratterizzazione Ambientale.

4.1 Diffusione degli inquinanti nell'area

I mezzi di diffusione degli inquinanti presenti nell'area sono rappresentati:

- dai moti dell'acqua **nel sottosuolo**, sia sub-orizzontali che sub-verticali;
- dai moti dell'atmosfera: i venti;
- dai moti dell'acqua **sul suolo**.

4.1.1 Moti dell'acqua nel sottosuolo

Nel sito in esame l'acqua si muove secondo due possibili direzioni, quella sub-orizzontale e quella sub-verticale.

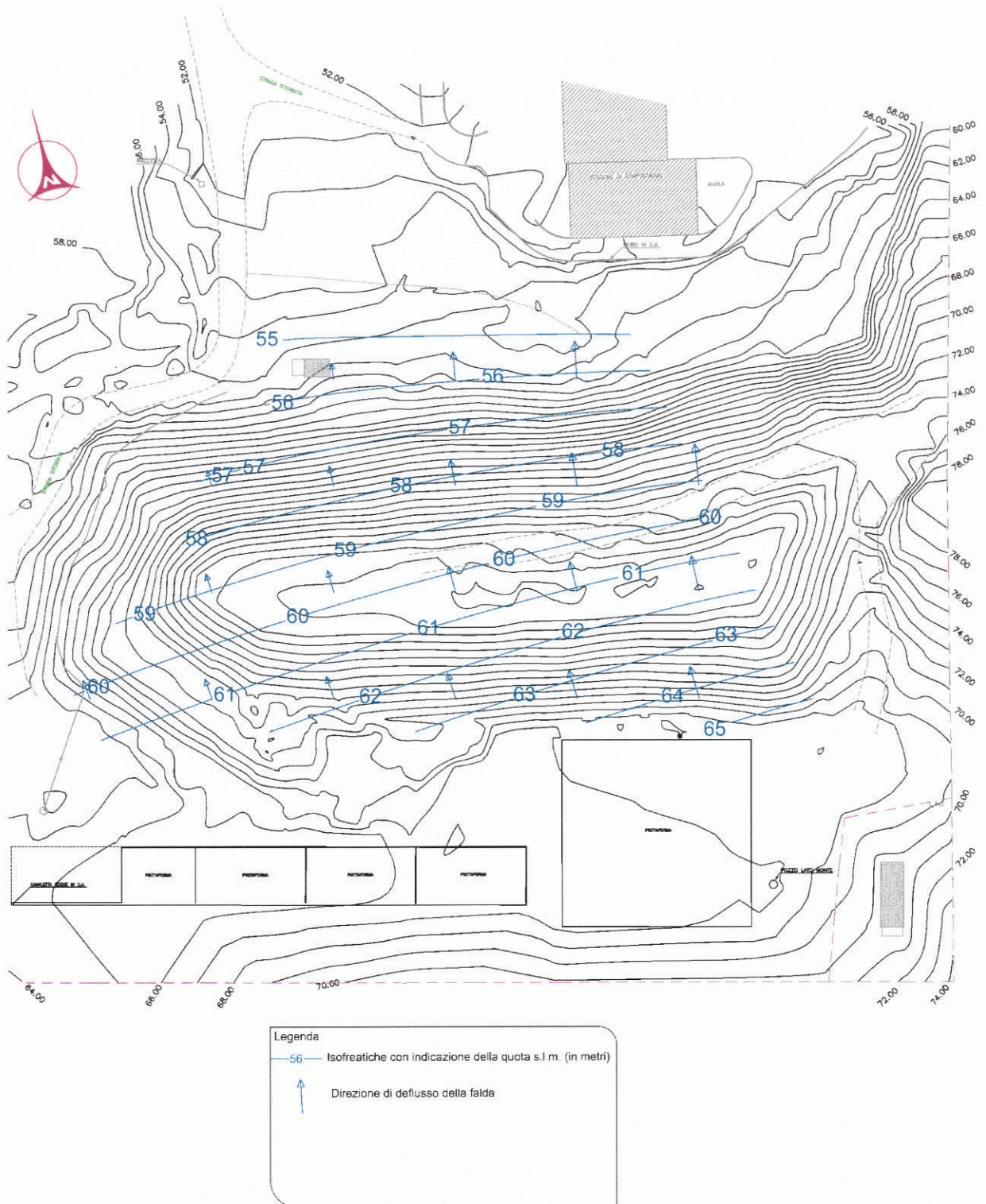
Il **moto sub-orizzontale** è stato descritto in precedenza e si riferisce al moto, nella zona di saturazione, della falda freatica superficiale; le linee di flusso di questa falda procedono da monte verso valle, secondo direttrici da SE verso NW e da SW verso N, in pratica adattandosi alla morfologia del sito.

Nella Relazione Vivarelli, limitatamente all'area della discarica comunale, il moto, dato dalle direzioni di flusso della falda, risulta rappresentato nelle carte delle isopieze; per quanto concerne l'intero bacino idrografico, detto moto viene rappresentato nella carta delle isopieze redatta dallo scrivente.

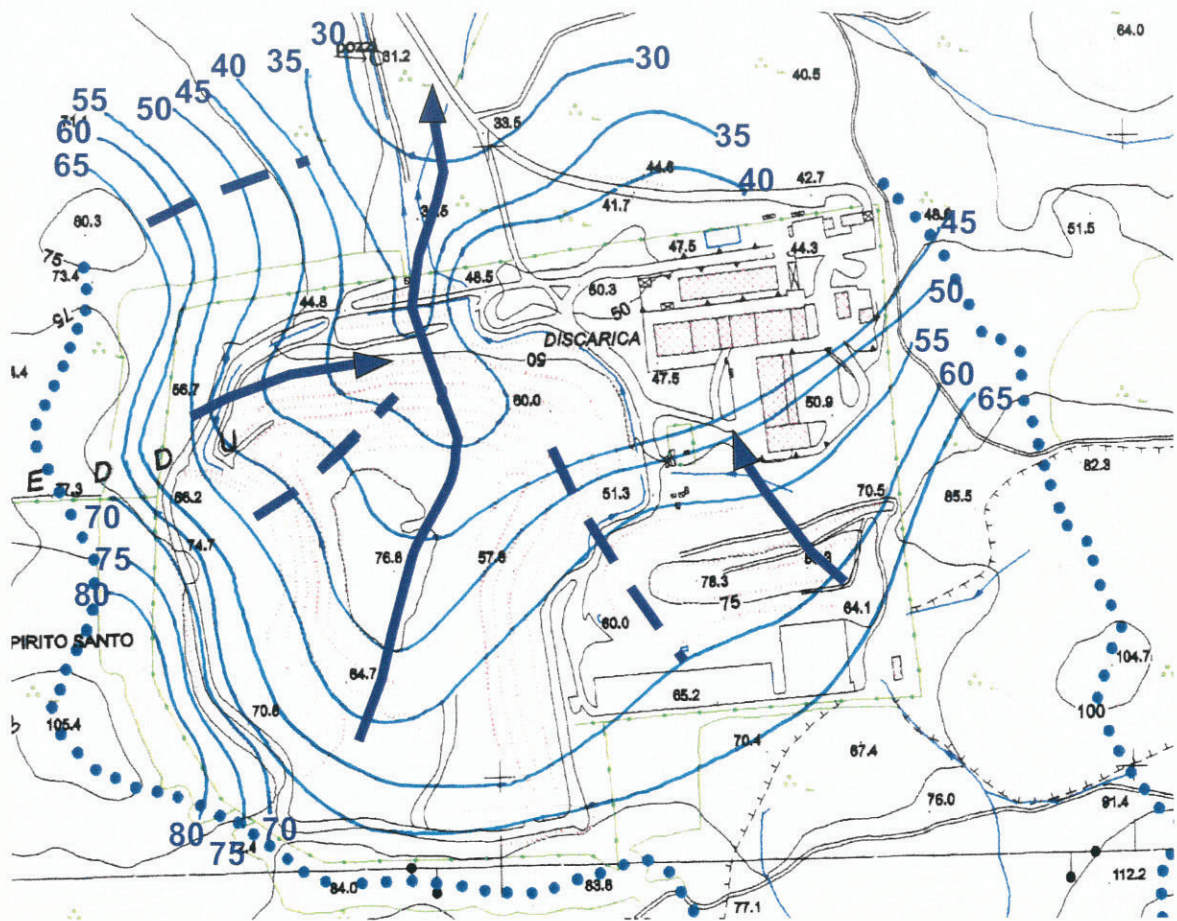
Si evidenzia, infine, che la potenzialità idrica U di detta falda superficiale, quale risulta dal *bilancio idrogeologico* riportato in precedenza, appare abbastanza modesta, essendo compresa in un *range* di circa 7500 – 12'350 m³/a, pari a circa 0.24 – 0.40 l/s.

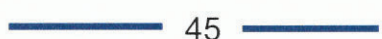



Questo parametro consente di classificare la risorsa idrica in esame come molto povera, oltretutto molto vulnerabile sotto il profilo della esposizione all'inquinamento, in sintesi di scarsissimo valore economico.

Le due carte vengono di seguito proposte.



Carta delle isofreatiche (Vivarelli 2005)



-  45 — isofreatica e quota
-  — asse di drenaggio
-  — spartiacque sotterraneo
-  — limite bacino idrografico e bacino idrogeologico

Carta delle isofreatiche (De Paola 2014)

Il ***moto sub-verticale***, con verso discendente, è dato dalla percolazione delle acque di pioggia dalla superficie del terreno alla superficie freatica, attraverso la banda di sottosuolo insatura.

Il movimento sub-verticale delle acque nel sito in esame si esaurisce nel momento in cui esse raggiungono la falda freatica di superficie, essendo quest'ultima sostenuta alla base da un ammasso granitico impermeabile; detto ammasso roccioso è privo di fratture o discontinuità tettoniche tali da consentire l'ulteriore discesa delle acque della falda superficiale verso gli orizzonti più profondi.

Si sottolinea qui il rischio che le acque di detta falda superficiale, al momento inquinate da reflui di discarica, possano essere trasferite in profondità dai cosiddetti piezometri profondi, realizzati anni addietro con l'intento di monitorare una sola ipotizzata falda profonda, sul cui isolamento idraulico sorge qualche dubbio, visto l'esito delle prove di emungimento di cui in prosieguo e lo stato di inquinamento dell'acqua campionata in detti piezometri profondi.

Detta falda profonda, peraltro, laddove esistente, risulterebbe comunque naturalmente isolata da quella di superficie, data l'interposta presenza dell'ammasso granitico, che, sotto il profilo della conducibilità idraulica, risulta comportarsi da acquicludo se non proprio da acquifugo, come risulta dalle prove sperimentali condotte in sito.

La pericolosità di detti piezometri connessa alla possibilità di trasferire in profondità le acque inquinate della falda superficiale è dimostrata dall'analisi, di seguito esposta, di alcune prove di portata eseguite sugli stessi nell'agosto 2012.

I piezometri profondi sottoposti alla prova di portata sono i seguenti:

- R1, profondità 90.00 m, diametro pari a 200.00 mm;

- R3, profondità 80.00 m, diametro pari a 200.00 mm;
- R5, profondità 100.00 m, diametro pari a 200.00 mm.

Le prove risultano eseguite a portata costante, con $Q = 1.00$ l/s.

POZZO R1

Il volume del pozzo R1, alla profondità di 83.17 m, risulta pari a

$$V = 0.100^2 \cdot \pi \cdot 83.17 \text{ m} = 2,613 \text{ m}^3 = 2613 \text{ litri}$$

La prova di pompaggio a portata costante con $Q = 1.00$ l/s ha dato luogo, in circa 50', ad un abbassamento del livello idrico pari a 83.17 m; il volume di acqua estratto risulta pari a $V = 50' \times 60 \text{ l/m}' = 3000$ litri.

Si rileva immediatamente **come gli ordini di grandezza del volume del pozzo ed il volume dell'acqua estratta con la prova di emungimento siano assolutamente comparabili.**

Con la prova, in definitiva, **è stata estratta solo l'acqua contenuta nel cavo del pozzo** (è stata cioè, sollecitata la sola capacità del pozzo) senza alcun contributo da parte della falda.

Le procedure per questo tipo di prova a portata costante dettano regole tecniche per superare proprio il cosiddetto **effetto di capacità del pozzo**, il cui tempo critico t_c è dato da:

$$t_c \text{ (in secondi)} = 25 \frac{r^2}{T}$$

con

r = raggio del pozzo in m

T = trasmissività in m^2/s

Per avere almeno l'ordine di grandezza del *tempo critico*, per il caso in esame, si pone $T = 1.0 \text{ m}^2/\text{g}$ (valore che secondo Krasny si pone al limite tra le classi V, bassa, e VI, molto bassa, della classifica degli acquiferi in base alla trasmissività), così ottenendo:

$$t_c = 25 \cdot 0.1^2/1 = 0.25\text{g} = 6 \text{ ore}$$

Più aderente al caso in esame appare la relazione di Berkaloff, secondo cui il volume di acqua da estrarre per superare l'effetto capacitivo del pozzo è dato da

$$V = 10 \cdot r^2 \cdot h$$

ove h è l'abbassamento indotto nel pozzo di pompaggio a portata costante.

Risulta, pertanto, $V = 10 \cdot 0.1^2 \cdot 80 = 8.00 \text{ m}^3 = 8000$ litri da estrarre contro i 3000 litri effettivamente estratti.

Secondo Castany, invece, per superare ***l'effetto capacità del pozzo***, espresso, come si è visto, in secondi, è necessario che il tempo della prova di emungimento a portata costante, t_e , sia uguale o superiore a 20 volte il tempo capacità del pozzo, t_c , cioè:

$$t_e \geq 20 t_c$$

Nel nostro caso, ponendo $t_c = 50'$ (valore concettualmente ammissibile), si avrebbe addirittura $t_c \geq 20 \cdot 50' = 1000' =$ circa 16 ore, valore, ovviamente, puramente orientativo, ma che appare comunque eccessivo nel caso in oggetto.

In definitiva, l'abbassamento repentino del livello di falda (83.00 m in 50 minuti primi) e il volume di acqua estratto, dello stesso ordine

di grandezza dell'effetto capacità del pozzo, evidenziano due aspetti importanti:

- 1) la povertà quantitativa della falda profonda se non la sua inesistenza;**
- 2) il rischio reale che le acque inquinate della falda superficiale vengano immesse in profondità proprio dai piezometri cosiddetti profondi, risultando le acque di detti piezometri già inquinate.**

POZZO R3

Il risultato della prova è identico a quello del precedente pozzo e identiche le considerazioni conseguenti.

Volume pozzo = $0.100^2 \cdot \pi \cdot 72.60 \text{ m} = 2281 \text{ litri}$

Volume acqua estratta in 40' con abbassamento a 72.60 m = $40 \times 60 = 2400 \text{ litri}$.

POZZO R5

Anche in questo caso risultato e considerazioni risultano identici a quelli precedenti.

Volume pozzo = $0.100^2 \cdot \pi \cdot 94.56 \text{ m} = 2971 \text{ litri}$

Volume acqua estratta in 60' con abbassamento a 94.56 m = 3600 litri.

Da qui l'opportunità di procedere, a titolo esclusivamente precauzionale, alla definitiva sigillatura dei piezometri profondi, proprio per evitare inutili e pericolosi travasi delle acque di superficie

in profondità; pericolosità davvero consistente visto l'attuale stato di inquinamento anche delle acque presenti nei piezometri profondi.

4.1.2 I moti dell'atmosfera: i venti

I venti hanno notevole influenza sulla diffusione di alcune categorie di inquinanti per via aerea, quali polveri, particolati, fumi, aerosol, quest'ultimo anche marino data la vicinanza del mare, esalazioni gassose provenienti dal corpo delle discariche, emissioni generate dai mezzi di trasporto e di cantiere e polveri provenienti dalla movimentazione di terra e di altri materiali, ecc.

Si evidenzia, sul punto, che l'area di interesse è investita da venti di diversa provenienza ed intensità per quasi l'intero arco annuale.

Dall'analisi della rosa dei venti si rileva, in particolare, che la zona di Olbia (rilevamenti alla stazione ENEL-SNAM di Olbia-Costa Smeralda, periodo 1970-1991) è caratterizzata principalmente da venti medio-moderati provenienti da SW, a cui seguono, con significativa presenza, anche venti in prevalenza moderati provenienti da NE; ***i venti forti, con velocità superiori ai 13 nodi, sono presenti con una percentuale elevata, che si aggira intorno al 20%.***

Appare, perciò, del tutto evidente che, nel sito in esame, data la vicinanza del mare per gli aerosol marini, la presenza delle discariche, la necessaria movimentazione dei rifiuti, di automezzi e macchine operatrici e, in passato, l'esistenza di un inceneritore oggi dismesso, ***l'influenza dei venti nel trasporto e diffusione di taluni inquinanti appare un fattore davvero importante e non trascurabile.***

4.1.3 I moti dell'acqua sul suolo

Risulta da più documenti agli atti che lungo scoline o canali a cielo aperto transitano reflui provenienti dalla discarica comunale.

Dalla Relazione Vivarelli (2005), in particolare, si evince che detti reflui sono costituiti o da percolato ovvero da acque superficiali di origine meteorica miste a percolato, come da foto allegate.

Ancora oggi i reflui di cui sopra sono presenti in scoline o canali a cielo aperto.



Figura 5.3: tubo in uscita (campione C2)



Figura 5.4: affioramento percolato (campione C8)



Foto 22 - Pozza d'acqua al piede della discarica



Foto 23 - Rigagnolo lato nord

E' del tutto evidente che gli inquinanti presenti nel percolato tendono a diffondersi sul suolo, oltre che nel sottosuolo come in precedenza illustrato, a causa del ruscellamento delle acque di pioggia.

Ma altre superfici che alimentano l'inquinamento di dette acque sono identificabili nella rete viabile interna, sulla quale possono essere depositati inquinanti di varia natura dagli automezzi e dalle macchine operatrici in transito.

Si tenga presente che **la quantità di acque meteoriche ruscellante liberamente sulla superficie dell'area destinata agli impianti rappresenta un'aliquota importante del deflusso idrico globale**, secondo quanto calcolato nel *bilancio idrogeologico* sopra riportato, **essendo compresa tra circa 22'000 e 37'000 m³/anno**.

4.2 Immissioni secondarie di inquinanti nell'ambiente

4.2.1 Attività inceneritore (in disuso al 2005)

La relazione Vivarelli riferisce dell'esistenza di un inceneritore nell'ambito dell'area di interesse in disuso già al 2005.

Se ne fornisce una fotografia, di seguito riportata, dalla quale è rilevabile anche un rigagnolo che scorre nei pressi del manufatto.



Foto inceneritore in disuso e rigagnolo lato nord

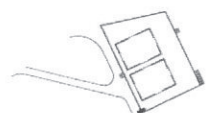
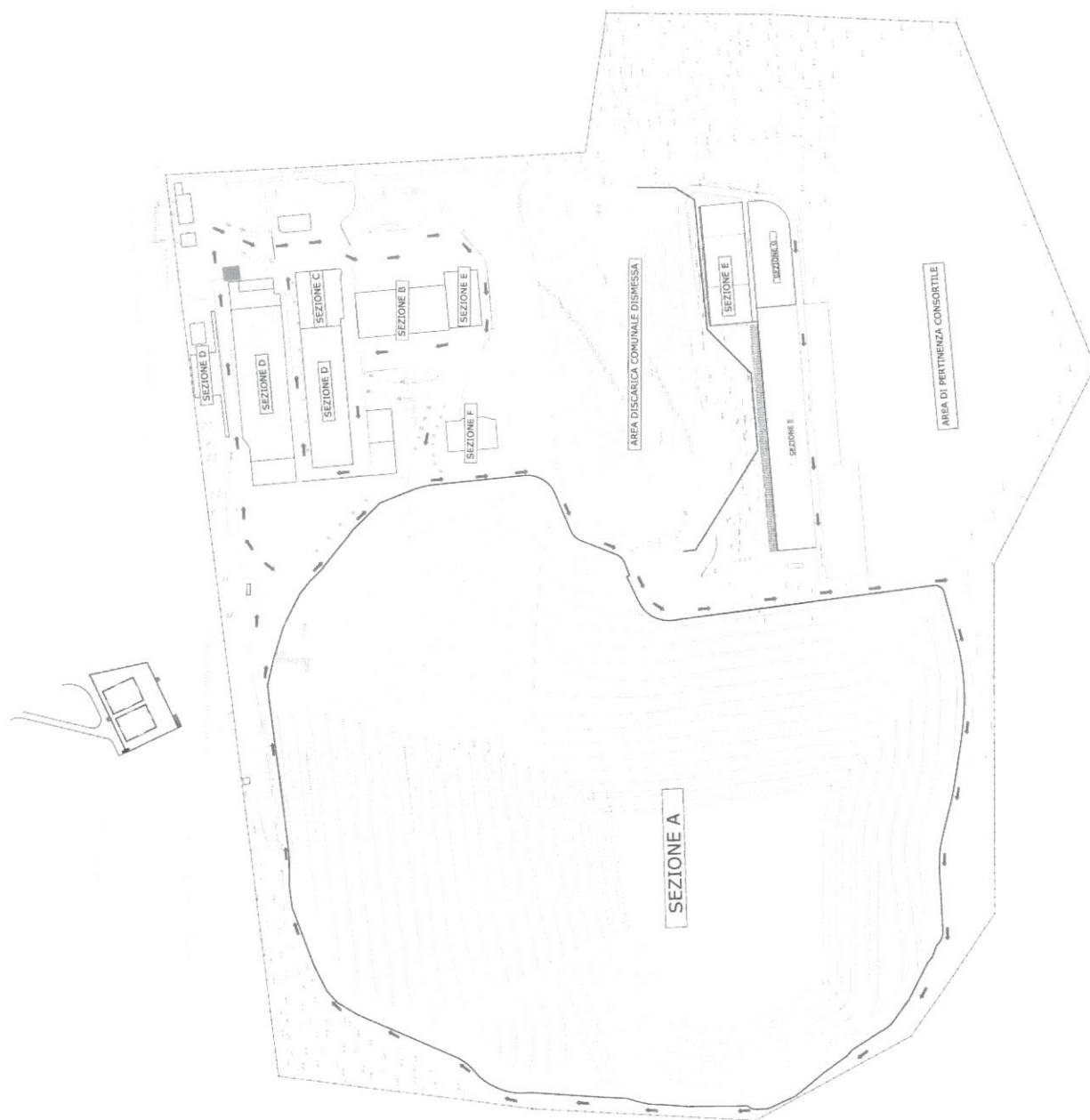
Trattandosi di un modesto e, all'apparenza, rudimentale manufatto, se ne segnala la presenza, con l'intento di appurarne funzione, quantità e qualità merceologica del materiale incenerito, periodo di funzionamento, emissioni in atmosfera, **residui della combustione e loro smaltimento**.

4.2.2 Movimentazione degli autocompattatori da e per i siti di stoccaggio e di lavaggio e delle altre macchine operatrici

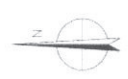
Fonti saltuarie di inquinamento possono individuarsi anche nella movimentazione, all'interno dell'area, dei compattatori, sia per **perdite accidentali di liquidi provenienti dai rifiuti trasportati dagli autocompattatori lungo la rete viabile da e per i siti di stoccaggio, sia per residui di rifiuti aderenti agli pneumatici prima del processo di lavaggio**.

Si evidenzia che il percorso compiuto dai compattatori e da altri mezzi di lavorazione dei rifiuti all'interno dell'area è notevole, come si

rileva dalla seguente planimetria, relativa agli assi principali di traffico veicolare all'interno dell'area impianti.



- LEGENDA:
- ↑ PRINCIPALI LINEE DI TRAFFICO VEICOLARE
 - UBICAZIONE IMPIANTO LAVAGGIO MEZZI



Planimetria assi principali di traffico veicolare

Altra potenziale fonte di **inquinamento atmosferico** deriva dall'attività delle macchine operatrici dedicate alla movimentazione, compattazione e copertura dei rifiuti nella discarica nonché alla movimentazione e trasporto dei terreni di copertura, ecc.

Ci si riferisce a macchine escavatrici, autocarri, apripista e pale, le cui emissioni in atmosfera, come rilevabili da dati di letteratura, sono le seguenti:

	INQUINANTI in Kg/h			
	CO	HC	NOX	PTS
Scavatrici	2.10	0.91	10.08	0.77
Autocarri	3.15	1.37	15.12	1.16
Trattori	1.50	0.65	7.20	0.55
Apripista	0.60	0.26	2.88	0.22

La valutazione delle emissioni per motori diesel può essere effettuata anche in funzione della potenza del motore (EMEP – CORINAIR, 1999), come da seguente tabella:

	INTERVALLO DI POTENZA					
	0-20	20-37	37-75	75-130	130-300	300-560
CO	8.38	6.43	5.06	3.76	3.00	3.00
HC	3.82	2.91	2.28	1.67	1.30	1.30
NOX	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40
PTS	2.22	1.81	1.51	1.23	1.10	1.10

4.3 Prove sperimentali relative alla tenuta idraulica del fondo della discarica CIPNES

La tenuta del sistema impermeabile della discarica CIPNES risulta ad oggi verificata da due diversificate tipologie di monitoraggio.

La discarica CIPNES è stata sottoposta a verifiche di tenuta idraulica nel corso della campagna di misure geoelettriche esperite nel giugno-luglio 2013 ed oggetto della relazione De Paola del successivo novembre 2013.

In quell'occasione, sul corpo della discarica sono state eseguite n.9 elettrotomografie, orientate in modo da esplorare ogni lato del corpo discarica, che hanno evidenziato, alla base dei rifiuti abbancati, la presenza di un elettrostrato continuo ed omogeneo caratterizzato da alta resistività, evidentemente connessa al comportamento dielettrico del sistema impermeabile di fondo che si oppone al passaggio degli impulsi elettrici e che ***dimostra, in definitiva, la perfetta integrità e, quindi, la tenuta idraulica della barriera impermeabile.***

La discarica è anche ***munita di un proprio sistema di monitoraggio continuo sottotelo***, messo in opera nel corso dei lavori di costruzione, in particolare nella fase di realizzazione della impermeabilizzazione di fondo.

Si tratta di tubi di monitoraggio posizionati al di sotto del telo impermeabile, confluenti in pozzetti di raccolta, in ogni tempo ispezionabili dall'esterno per la rilevazione di eventuali perdite di percolato (vedi allegata planimetria).

Ad oggi, giugno 2014, i riscontri operati dai tecnici del CIPNES hanno dato conferma dell'assenza di percolato al di sotto del telo impermeabile, accertandone, perciò, la ***perfetta tenuta sotto il profilo idraulico.***

5.- DEFINIZIONE DEL MODELLO IDROGEOLOGICO

5.1 Le fonti

La definizione del modello idrogeologico qui proposta deriva dalla somma di concordanti rilevamenti, osservazioni ed indagini provenienti da fonti diverse.

In primo luogo esse scaturiscono dalla relazione Vivarelli (2005) e dalla Relazione De Paola (2013), a cui si aggiungono ulteriori tasselli traibili da indagini e studi diversi, che, in forma per lo più indiretta, supportano il percorso cognitivo che conduce oggi lo scrivente a formulare il più accreditabile modello idrogeologico del sito.

Tali ulteriori tasselli sono stati individuati in alcuni passi delle Relazioni Vorlicek (2008), Calderaro (2012) e nei principi ispiratori della progettazione della barriera in jet-grouting realizzata a monte della discarica comunale.

Nei tre casi citati emerge, con tutta chiarezza, che il modello concettuale assunto per la tutela ambientale fonda esclusivamente su un modello di base idrogeologico, costituito da un solo acquifero, quello superficiale, sostenuto alla base da un ammasso granitico sostanzialmente impermeabile.

Da qui sorge l'esigenza di tutelare quella che è già ritenuta l'unica risorsa idrica capace di veicolare gli inquinanti presenti nell'area: la falda freatica superficiale, peraltro di scarsa entità (come dimostrato con il bilancio idrogeologico nella relazione De Paola) e vulnerabile (come dimostra il suo diffuso stato di inquinamento).

5.2 Relazione Vorlicek (2008)

Nella Relazione Vorlicek (2008) si implementa un modello matematico, **sull'assunzione della sola falda di superficie**, destinato a definire flusso, trasporto e diffusione degli inquinanti, con il fine ultimo di individuare il percorso di taluni inquinanti ed i tempi di propagazione, a partire dal momento in cui le particelle inquinanti sfuggono al confinamento in discarica.

Nessun accenno, quindi, ad una falda profonda e a sue eventuali misure protettive; forse perché ritenuta inesistente ovvero perché ritenuta protetta a tetto da un acquicludo e quindi, per sua natura, non vulnerabile rispetto all'accertato e diffuso inquinamento della falda idrica di superficie?

L'interrogativo non trova risposta nella citata Relazione.

5.3 Relazione idrogeologica integrativa Calderaro (2012)

Analoga osservazione va fatta per quanto concerne la *“progettazione di un'opera idraulica a valle della discarica, con la funzione di captare le acque di falda nel caso di una comprovata contaminazione delle stesse”*, aspetto trattato nella relazione idrogeologica integrativa Calderaro (novembre 2012).

Anche nella citata Relazione si rileva la massima attenzione per la tutela dall'inquinamento della sola falda freatica di superficie, **sulla base del modello geologico monofalda superficiale**, senza alcun riferimento ad altre acque sotterranee che, ove esistenti, avrebbero dovuto richiedere anche gli interventi protettivi; in ogni caso, gli interrogativi posti come nel precedente caso rimangono privi di risposte.

L'opera di cui si parla nel citato paragrafo è costituita da una trincea drenante ubicata a valle della discarica CIPNES, trasversalmente alla

direzione di massima pendenza, avente una lunghezza di 40.00 m ed un'altezza di appena 3.00 m, evidentemente assegnando tale spessore anche alla falda libera di superficie.

Nella stessa Relazione vengono altresì riportati gli esiti delle prove di portata sui piezometri profondi, già analizzati nel precedente paragrafo 4.1.1 (Moti dell'acqua nel sottosuolo), ove si è dimostrato che i quantitativi emunti nel corso delle prove sono esclusivamente quelli propri della capacità di ciascuno dei tre piezometri, ponendo seri interrogativi sull'origine dell'acqua ivi presente (se da circolazione profonda o da travasi della falda superficiale), ***consideratone anche lo stato di inquinamento, in particolare da piombo, nichel, zinco, fluoruri, come per le acque superficiali.***

5.4 La progettazione della barriera idraulica a monte della discarica comunale

L'ultima ed identica osservazione viene sollevata in questa sede dalla progettata ed eseguita barriera idraulica in jet-grouting a monte della discarica comunale, con l'obiettivo di impedire alle acque della falda superficiale provenienti da monte di infiltrarsi nel corpo e al di sotto della discarica comunale.

La profondità di quest'opera, per quanto reperito nei vari documenti, è di circa 10.00 m dal p.c., sufficienti per superare l'acquifero di superficie ed ***attestarsi significativamente nel complesso granitico di base, ritenuto perciò impermeabile.***

Anche in questo caso ***emerge chiara l'impostazione concettuale della progettazione***, che, ai fini della tutela ambientale, ***considera la sola risorsa idrica superficiale***, ritenendo, perciò, inesistente la risorsa idrica profonda ovvero inaccessibile alle infiltrazioni inquinanti di superficie

perché naturalmente protetta dalla sottostante banda granitica impermeabile.

5.5 Relazione Vivarelli-2005 e De Paola-2013: le convergenze a fini idrogeologici

Le convergenze che emergono sotto l'aspetto idrogeologico tra le due Relazioni ***fondano essenzialmente su dati sperimentali.***

La Relazione Vivarelli espone i risultati delle indagini geognostiche, consistenti principalmente in sondaggi a carotaggio continuo, ben documentati fotograficamente e con classificazione dei campioni granitici estratti secondo l'indice RQD.

I quattro sondaggi hanno attinto profondità fino a 10.00 m dal p.c., interessando interamente quella banda granitica fratturata fino a 4.00 – 6.00 m dal p.c., che ospita la falda freatica superficiale.

La soggiacenza della falda riscontrata nei sondaggi in oggetto è compresa tra un minimo di – 0.36 m dal p.c. (S2) ed un massimo di – 2.92 m dal p.c. (S3), con valori di soggiacenza intermedi pari a – 1.18 m dal p.c. (S4) e – 2.78 m dal p.c. (S1).

Questi dati trovano ulteriore conferma nei quattro sondaggi elettrici verticali (SEV) eseguiti nella stessa area.

Nonostante esplorino profondità limitate a 30.00 ÷ 40.00 m dal p.c. e siano stati eseguiti sul corpo discarica, i quattro SEV sono più che sufficienti a delineare il quadro idrogeologico locale.

In linea generale, oltre alle coperture, viene individuato un elettrostrato superficiale a bassa resistività, costituito dall'ammasso granitico fratturato e sede di falda idrica per uno spessore di pochi metri (3.00 ÷ 4.00 m), a cui segue un elettrostrato caratterizzato, fino alla

massima profondità esplorata, da resistività elevata, costituito dal granito “compatto e privo di percolazione”.

Sulla base di queste indicazioni e tenuto conto che l'accertato stato di inquinamento dell'area è attribuibile alle perdite di percolato provenienti dal corpo della discarica comunale, la relazione conclude delineando gli interventi per la messa in sicurezza del sito.

Questi ultimi riguardano solo le coltri granitiche arenizzate ed il granito fratturato superficiale nonché la falda freatica ivi insediata, posto che si ritiene impermeabile l'ammasso granitico a profondità superiore ai 6.00 m.

Non viene esplicitamente trattato l'argomento relativo alla eventuale presenza di circolazione idrica profonda per l'evidente motivo della ininfluenza delle problematiche affliggenti i terreni e la eventuale circolazione idrica superficiale sul sistema idrico profondo, ***in quanto, esistente o inesistente che sia, quest'ultimo risulta protetto dalla sovrastante banda granitica impermeabile, per spessori di alcuni decimetri.***

Ove, invece, si fosse ritenuta inquinabile anche l'eventuale acqua profonda, nella delineazione dei sistemi di messa in sicurezza del sito si sarebbero dovuti includere anche gli interventi per la tutela della ben più pregiata risorsa idrica profonda.

La Relazione conclude, pertanto, sull'argomento affermando che gli interventi di messa in sicurezza “*dovranno principalmente focalizzarsi sulla minimizzazione della produzione di percolato all'interno della discarica (fonte di contaminazione)*”, configurandoli nella regimazione delle acque meteoriche a monte della discarica, nella realizzazione di un top capping sul corpo discarica, nella “*riduzione della migrazione di acque contaminate da percolato verso valle con interventi di barriera (fisica o idraulica)*”.

Ogni attenzione, in sintesi, è esclusivamente rivolta alla protezione dall'inquinamento dell'unica risorsa idrica vulnerabile, quella relativa alla falda superficiale.

La Relazione De Paola-2013, con la corposa campagna di indagini geoelettriche costituita da ben n.19 elettrotomografie, attingenti profondità di circa 35.00 m dal p.c., e da n.10 sondaggi elettrici verticali, spinti sino a profondità comprese tra 90.00 e 135.00 m rispetto al p.c., pone un punto fermo sulla modellazione idrogeologica dell'intero bacino idrografico ricadente all'interno dell'area di interesse.

La distribuzione delle elettrotomografie e dei SEV è tale da ***investigare completamente l'area*** e saggiare anche alcuni punti ad essa esterni con taluni SEV, mentre ***le diverse direzioni prescelte per gli allineamenti elettrodici delle tomografie sono tali da comprendere tutte le principali linee tettoniche di interesse e le associazioni di fratture riscontrate lungo i versanti.***

I risultati ottenuti, oltre che essere collimanti con quelli raccolti nella Relazione Vivarelli-2005, ne ampliano la portata e codificano in maniera univoca i caratteri idrogeologici caratterizzanti il sistema acquifero locale.

In sintesi, i risultati ottenuti sono i seguenti.

Le elettrotomografie concordemente denunciano l'esistenza di un elettrostrato superficiale a bassa resistività e spesso pochi metri, in generale 4.00 – 6.00 m o poco più localmente, costituente l'acquifero locale, arealmente discontinuo e con morfologia che si adatta a quella topografica; segue un elettrostrato ad alta resistività fino alla massima profondità esplorata, pari a circa 35.00 m, caratterizzante la sostanziale impermeabilità del sottostante omogeneo complesso granitico.

In nessun caso sono state intercettate, all'interno di detto ammasso granitico, discontinuità tali da costituire connessioni idriche tra quest'ultimo e la falda idrica di superficie.

Le elettrotomografie in oggetto, delle quali ben nove risultano eseguite sul corpo della discarica CIPNES secondo allineamenti all'incirca tra loro ortogonali e con angolazioni anche diverse, attestano ***la tenuta idraulica del sistema impermeabile della discarica***, dando luogo ad un fondo continuo ed omogeneo dovuto al comportamento dielettrico proprio di tale sistema che impedisce il passaggio degli impulsi elettrici verso il basso.

I n. 10 SEV, spinti sino ad una profondità minima di 90.00 m dal p.c. e massima di 135.00 m dal p.c., completano il quadro precedentemente esposto, confermando l'esistenza di un acquifero superficiale profondo pochi metri, sede di debole e discontinua circolazione idrica, allocato nella coltre granitica arenacea e nella porzione alta alterata e fratturata del sottostante complesso granitico, a cui segue l'ammasso granitico meglio caratterizzato sotto il profilo della discontinuità e perciò sostanzialmente impermeabile fino alla massima profondità esplorata di 135.00 m dal p.c.

Deboli flessi nelle curve di resistività, appena avvertiti nei SEV n.5 e n.8, alle rispettive profondità di circa 55.00 e 88.00 m dal p.c., potrebbero indicare la presenza, invero molto debole ove esistente, di locale circolazione idrica in frattura.

La lettura combinata delle elettrotomografie e dei SEV (questi ultimi confrontabili con quelli compresi nella relazione Vivarelli-2005, anche se limitati ad una quarantina di metri di profondità) conferma quanto complessivamente emerge dalle indagini esperite, cioè la presenza di una debole falda idrica superficiale sostenuta alla base

da un complesso impermeabile almeno fino ad una cinquantina di metri di profondità.

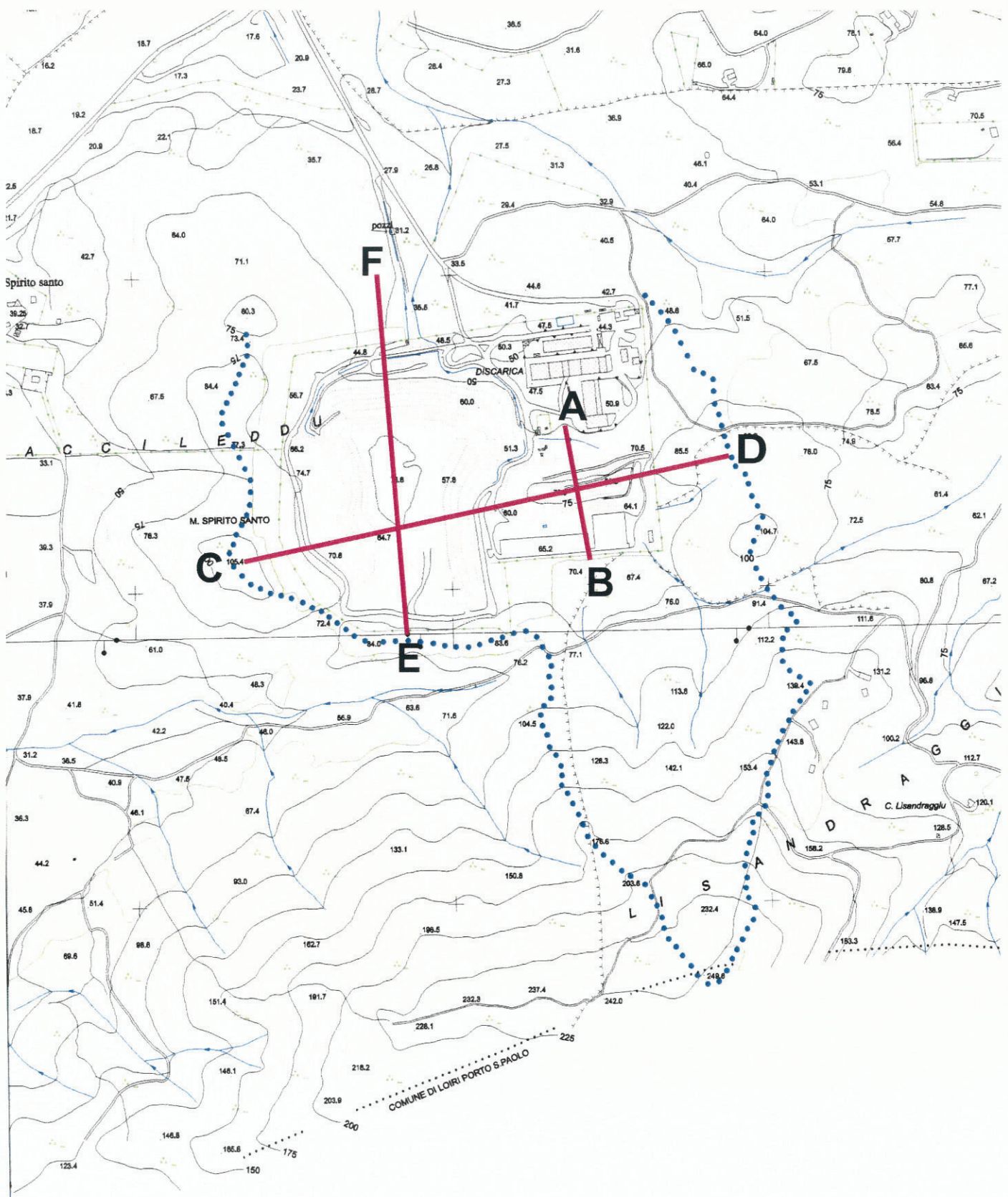
Tale assunto **esclude ogni possibilità di trasferimento degli inquinanti dalla falda di superficie ad una eventuale risorsa idrica circolante in profondità.**

Si evidenzia, infine, che la falda idrica superficiale è caratterizzata, oltre che da elevatissima *vulnerabilità*, da una *potenzialità idrica* molto ridotta, connessa al ridotto apporto delle ricariche, costituite, nel caso in esame, dalle sole precipitazioni meteoriche; tale *potenzialità idrica*, per la falda in oggetto, è compresa in un *range* di 7500 ÷ 12'350 m³/a.

6. – IL MODELLO IDROGEOLOGICO

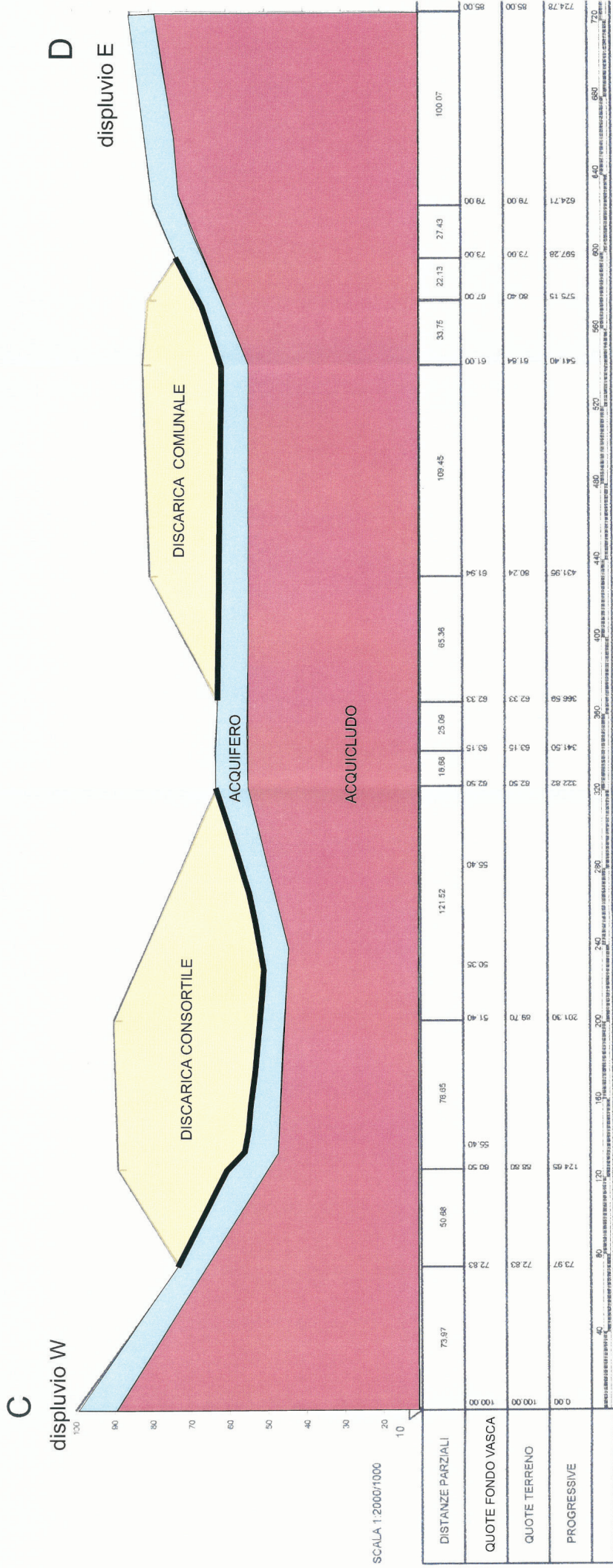
Sintetizzando quanto in precedenza esposto ed estratto dalle varie campagne di indagini e connessi studi, si propone di seguito il modello idrogeologico che meglio interpreta la realtà fisica dei luoghi di interesse.

Esso deriva dalle caratteristiche litostratigrafiche e di permeabilità dei complessi idrogeologici presenti nel sito, come è possibile rilevare dalle allegate sezioni idrogeologiche schematiche.



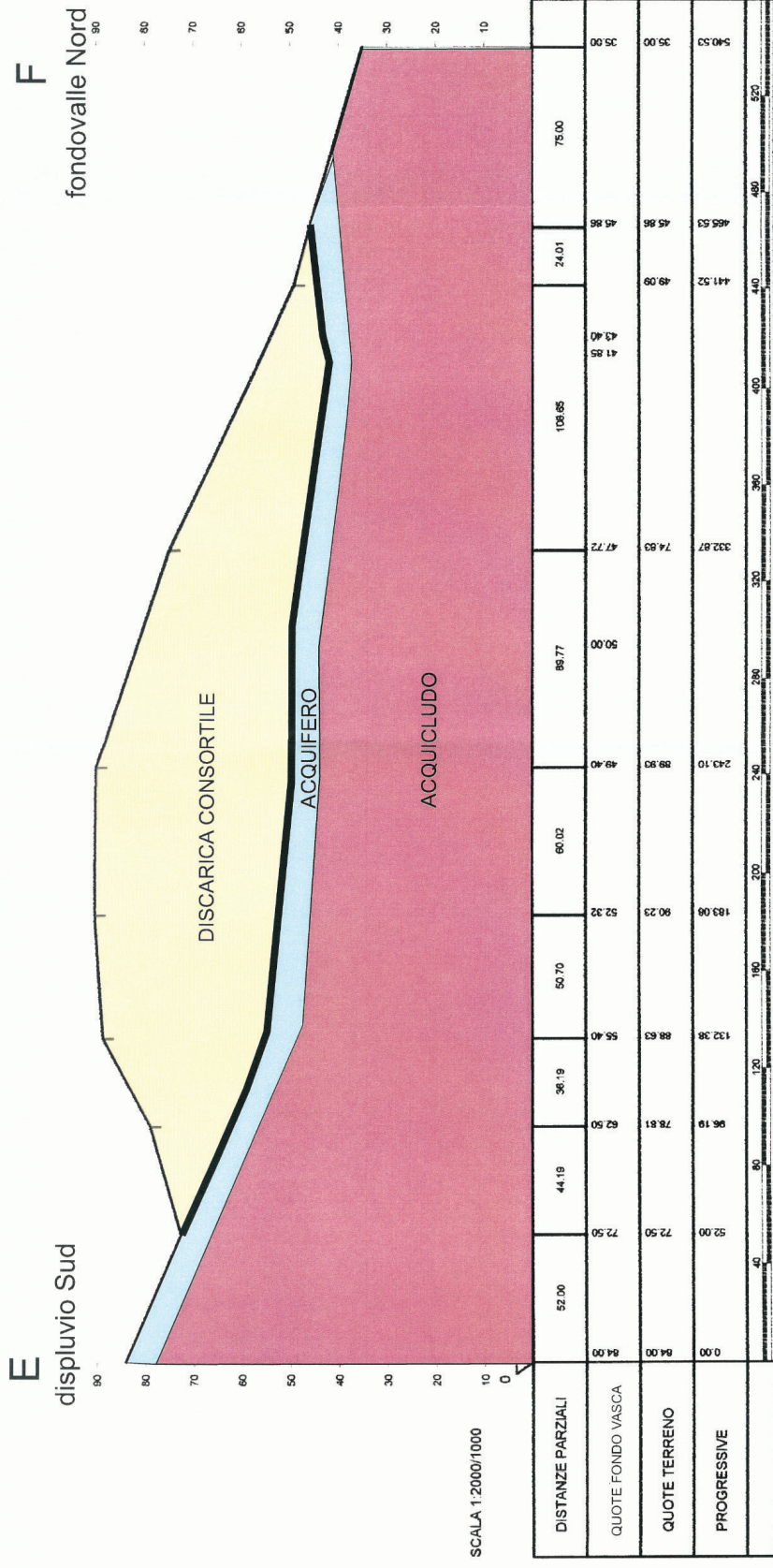
Traccia sezioni idrogeologiche
(Scala 1/7500)





SEZIONE IDROGEOLOGICA SCHEMATICA C - D



- Rifiuti discariche
- Sottofondo impermeabile
- Acquifero: sabbione mediamente permeabile per porosità passante a granito fratturato scarsamente permeabile per fratturazione
- Acquicludo: granito integro non fratturato o poco fratturato, impermeabile

SEZIONE IDROGEOLOGICA SCHEMATICA E - F



-  Rifiuti discarica consortile
-  Sottofondo impermeabile
-  Acquifero: sabbione granitico mediamente permeabile per porosità passante a granito fratturato scarsamente permeabile per fratturazione
-  Acquicludo: granito integro non fratturato o poco fratturato, impermeabile

I complessi rilevati nel sito, come si rileva dalle cartografie sopra riportate, sono essenzialmente due e sono così identificabili, a partire dall'alto stratigrafico:

- Complesso dei depositi sciolti colluviali/alluvionali e dei sabbioni granitici, con permeabilità da media a bassa per porosità e con spessore di qualche metro;
- Complesso litoide dei monzograniti, al top e per alcuni metri con permeabilità bassa per fratturazione passante verso il basso e per alcuni decimetri a permeabilità nulla.

Il Complesso dei depositi colluviali-alluvionali, costituito da sabbie ciottolose con limo ed argilla, è ubicato nei compluvi, mentre i sabbioni limoso-argillosi generati dall'alterazione e degradazione dei graniti coprono con maggior continuità il complesso granitico di base.

In entrambi i casi, data la presenza della frazione fina la permeabilità per porosità varia da media a bassa, ma consente in ogni caso l'infiltrazione e la circolazione delle acque; lo spessore dell'acquifero è di qualche metro.

Il sottostante Complesso granitico presenta una scarsa permeabilità per fratturazione limitata ai primi 3.00 ÷ 5.00 m di profondità, solo localmente spinta a maggior profondità, sempre però inferiore ai 10.00 m.

La banda granitica così individuata consente una debole circolazione idrica, che si attenua procedendo verso il basso giacché le fratture tendono a serrarsi per effetto della pressione litostatica.

A profondità superiori il granito si presenta integro e privo di discontinuità atte a consentire la circolazione delle acque almeno fino ad una profondità di oltre 50.00 m dal p.c.

A profondità ancora superiori è possibile riscontrare la presenza di acqua circolante in fratture isolate, non anastomizzate e perciò non costituenti acquifero continuo in rete, con portate, funzione di stoccaggio, coefficiente di immagazzinamento e trasmissività modeste (v. i debolissimi flessi appena percettibili riscontrati a 55.00 e 88.00 m di profondità sulle curve di resistività dei SEV n.5 e n.8).

Riepilogando e concludendo, ***il modello idrogeologico locale è rappresentato da un acquifero superficiale, in genere avente uno spessore medio complessivo di 4.00 ÷ 6.00 m, in parte costituito dai depositi sciolti di copertura con permeabilità per porosità da media a bassa ($k = 10^{-3} \div 10^{-5}$ m/s) esplicante la funzione di acquifero s.s. ed in parte costituito dalla banda granitica alterata e fratturata debolmente permeabile per fratturazione ($k = 1.18^{-5} \div 7.7^{-6}$ m/s) esplicante funzione di acquitardo.***

L'acquifero ospita una falda freatica debole e discontinua arealmente, caratterizzata da una ***potenzialità idrica molto bassa, compresa tra 7500 e 12'350 m³/a.***

Le direzioni di flusso della falda libera come sopra definita seguono le direttrici fondamentali, una da SE verso NW, la seconda da SW verso N.

Detta falda freatica superficiale assume come ***limite basale impermeabile il sottostante complesso granitico che, per uno spessore di oltre 50.00 m svolge, pertanto, il ruolo di acquicludo.***

La descritta barriera impermeabile, il cui spessore minimo accertato è compreso tra i 40.00 ed i 50.00 m, garantisce assoluta protezione da ogni forma possibile di inquinamento l'ipotizzata risorsa idrica profonda.

Pertanto, **le attività dirette a mettere il sito in sicurezza sotto il profilo della tutela ambientale potranno essere utilmente limitate a gestire l'inquinamento di superficie**, derivante dal mescolamento delle acque di falda con il percolato e con gli altri inquinanti generati – come sopra specificato – da altre fonti, con l'obiettivo unico di **impedire la diffusione all'esterno dell'area comprendente gli impianti** seguendo due linee sinergiche di interventi:

- **controllando il ruscellamento in superficie delle acque meteoriche, riducendone al minimo l'ingresso in falda, mediante canalizzazioni, fossi di guardia, barriere fisiche o idrauliche verticali;**
- **captando** (per poi sottoporle a trattamenti opportuni prima del definitivo rilascio nell'ambiente), **immediatamente a valle dell'area impianti, le acque inquinate della falda libera di superficie mediante sistema integrato di Pump and Treat, costituito da una trincea drenante connessa ad un pozzo di pompaggio.**

Si suggerisce, infine, di tutelare gli orizzonti granitici profondi:

- **procedendo**, a titolo precauzionale, **alla sigillatura di tutti i piezometri profondi presenti nell'area, considerato l'attuale stato di inquinamento delle relative acque.**

Benevento, 7 luglio 2014

Prof. geol. Pietro Antonio De Paola

