è vietata la riproduzione di questo documento, senza preventiva autorizzazione scritta dello SGI
reproduction of this document is forbidden without prior written permission of SGI

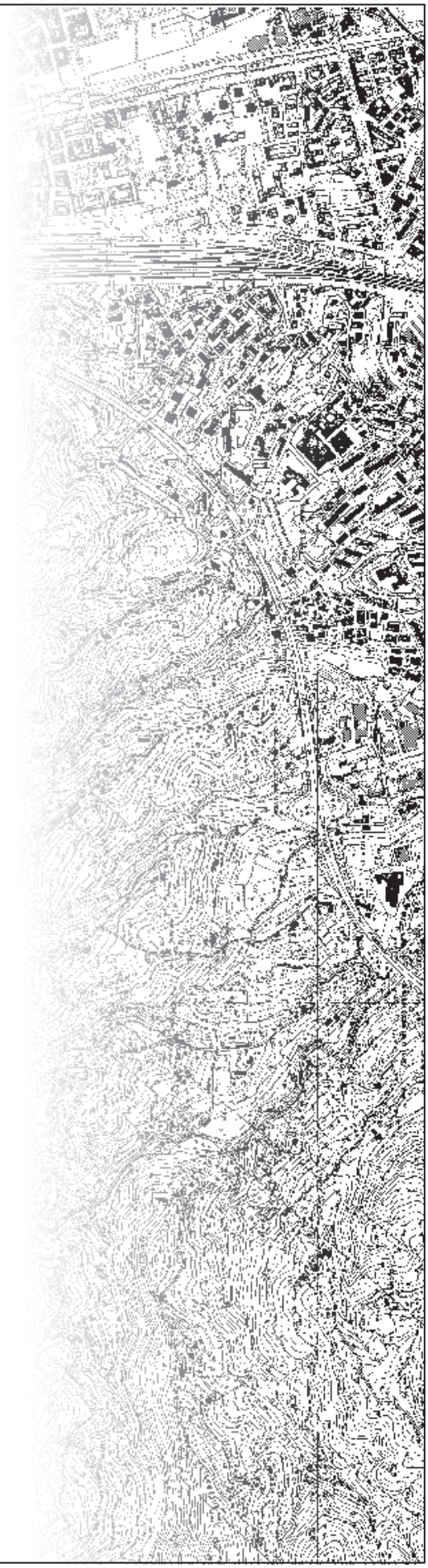
Allegato C:

Relazione indagine geologico geofisica

(Earth Resistivity Tomography)

STUDIO PROGEA
Dott. S. AICARDI
~ Geologo ~

via G. Leopardi 35 r 17100 Savona
Tel e Fax 019.825956Q Studio.Progea@gmail.com



RELAZIONE TECNICA DI SINTESI

OGGETTO DELL'INTERVENTO
Indagine geologico geofisica (Earth Resistivity Tomography) per la definizione di un modello idrogeologico qualitativo.

COMMITTENTE : ECOSAVONA S.r.l.

LOCALITA' : Boscaccio – Vado Ligure
Savona

Redazione a cura di

Dott. Sergio AICARDI (A.P. n°304)

10 gennaio 2010

SOMMARIO DELLA RELAZIONE

1 Premessa 3

2 Geologia del comparto 3

2 Tomografia Elettrica (E.R.T.) 4

2.1 Strumentazione e mezzi 4
2.2 Dettagli del rilievo 5
2.2.1 Modellistica delle caratteristiche elettriche *5*
2.3 Approccio interpretativo e sintesi dei risultati 6

4 Evidenze idriche di terreno 8

5 Conclusioni 8

Studio PROGEA
~Geologi Associati ~
Via G. Leopardi 35r 17100 Savona
Tel e Fax 019.825956 *Studio.Progea@gmail.it*

1 Premessa

Nella presente relazione vengono presentate le risultanze, in sintesi, delle indagini indirette eseguite sul sito di interesse della Committente, nel comparto che ospita l'impianto di smaltimento rifiuti di loc. Boscaccio, nel territorio del Comune di Vado Ligure in provincia di Savona.

Nell'area è in corso di valutazione un progetto di ampliamento dell'impianto. Al fine di ottenere informazioni utili alla definizione di un modello idrogeologico qualitativo è stata condolga la presente indagine geofisica ad elevata profondità, preliminarmente alla progettazione di perforazioni dirette finalizzate al monitoraggio piezometrico.

2 Geologia del comparto

L'area in studio è caratterizzata dall' affioramento di litotipi carbonatici e quarzitici di pertinenza della Formazione delle *Dolomie di S. Pietro dei Monti* (Triassico medio) e delle *Quarziti di Ponte di Nava* (Triassico Inferiore). Sotto il profilo litologico il complesso carbonatico è rappresentato da depositi sedimentari tipici di piattaforma continentale interna od esterna nelle quali è prevalente il contributo dato dai microfossili. Sono presenti i segni di un contributo terrigeno, dovuto cioè all'apporto costiero, con evidenti fenomeni di mobilizzazione gravitativa subacquea (*slumpings*), che costituiscono livelli nei quali risulta abbondante una frazione arenacea o nei quali si è sviluppata una spiccata fissilità, dovuta alla presenza di argille scure. (*Lualdi 1988*). Il tipo litologico quarzitico è costituito da una roccia silicea poco permeabile originatasi a partire da depositi costieri di spiaggia o costieri.

La successione stratigrafica normale, che vede le Dolomie sovrapposte alle Quarziti, in questo caso risulta invertita.

Il complesso di questi terreni costituisce l'unità tettonica di *M.te Carmo* di pertinenza paleogeografica Brianzonese. Il dominio paleogeografico *Brianzonese* raggruppa, sotto il profilo geologico, una vasta serie di rocce appartenenti a numerose formazioni differenti, che corrispondono ad altrettanti ambienti di formazione.

L'unità di M.te Carmo rappresenta uno di questi elementi ed affiora, nell'area di M.te Mao e Torre del Mare, in semifinestra tettonica (*Menardi Noguera 1981*), là dove l'erosione superficiale ha parzialmente cancellato i terreni ad essa sovrascorsi, rinvenibili in affioramento a cornice del complesso, che localmente consistono di metasedimenti afferenti alla Formazione degli Scisti di Gorra.

I processi di messa in posto hanno avuto, nel tempo, differenti fasi di sviluppo caratterizzate da diverse orientazioni delle spinte. Le superficie attraverso le quali si sono sviluppati i sovrascorrimenti cui si è fatto cenno, le fratture connesse agli eventi plicativi e le faglie rappresentano le conseguenze dell'orogenesi alpina, ed hanno prodotto, nel corpo roccioso, una rete di discontinuità che costituisce la via preferenziale per l'infiltrazione idrica.

Tale processo comporta lo sviluppo, nelle masse carbonatiche, di fenomeni carsici a differente scala e, di minima, causa l'accumulo con criterio residuale di argille che rappresentano il risultato della dissoluzione chimica del litotipo calcareo.

Le risultanze del rilevamento geologico strutturale effettuato in superficie, (cfr. Tav. 1) evidenzia la presenza dei caratteri sopra evidenziati.

Studio PROGEA
~Geologi Associati ~
Via G. Leopardi 35r 17100 Savona
Tel e Fax 019.825956 *Studio.Progea@gmail.it*

2 Tomografia Elettrica (E.R.T.)

2.1 Strumentazione e mezzi

La prospezione elettrica è stata eseguita con il resistivimetro Syscal PRO (in figura a lato) in grado di gestire una tensione massima pari a 800 V ed una corrente di 2500 mA con risoluzione pari a 10 µA e durata d'impulso selezionabile compresa tra 0.25 e 2 s. Nel caso è stata utilizzata la massima tensione possibile con un frequenza d'impulso pari a 2 Hz. L'impianto di ricezione ha una impedenza di 10 MΩ ed è in grado di rilevare tensioni nel range ± 10 V con una risoluzione pai a 1 µV (precisione 0.3%) per mezzo di 10 canali contemporanei di acquisizione.

Sono stati impiegati n° 2 mezzi fuoristrada e 4 operatori coordinati direttamente dallo scrivente.







Studio PROGEA
~Geologi Associati ~
Via G. Leopardi 35r 17100 Savona
Tel e Fax 019.825956 *Studio.Progea@gmail.it*

2.2 Dettagli del rilievo

L'indagine è stata eseguita su diverse piste e sentieri esistenti, lungo i quali è stata preventivamente rimossa la vegetazione come risulta dalla planimetria di Tav. 1.

Il posizionamento dell'indagine sul rilievo topografico opportunamente corredato dalla Carta Tecnica Regionale, fornito dalla Committente, è stata perfezionata utilizzando la registrazione della posizione assoluta a mezzo GPS degli elettrodi, premettendo georiferire il rilievo topografico ed il profilo geoelettrico.

Sono stati realizzati 6 dispositivi con spaziatura pari a m 10, dei quali 5 dotati di 96 elettrodi mentre 1 da 72. I medesimi sono stati organizzati su 4 linee riportate nella specifica tavola.

Lo schema di acquisizione utilizzato è quello Polo Dipolo con un polo remoto ubicato a circa 1350 dal centro dispositivo. Nel caso della linea 6 sono stati utilizzati due distinti poli remoti ed i dataset acquisiti sono stati integrati. Questa configurazione permette un incremento significativo della massima profondità raggiungibile, rispetto ai tradizionali dispositivi elettronici, fino a ottenere una penetrazione nominale di 200 m da p.c.

I dispositivi sono stati organizzati su 4 linee di cui si da ragione nelle tavole grafiche allegate.



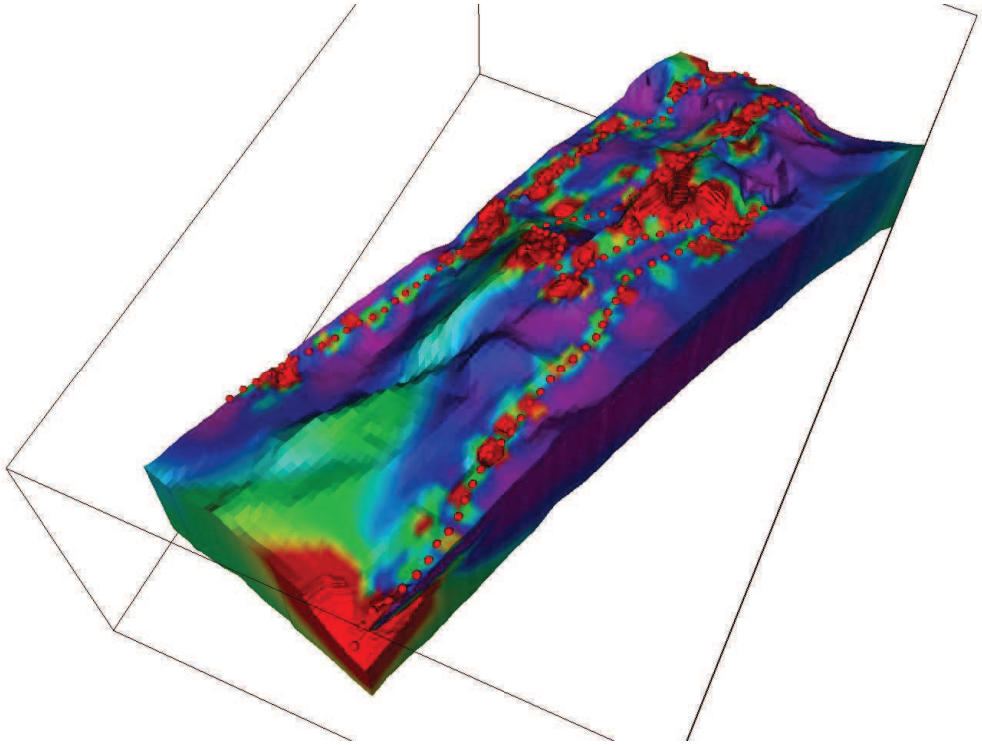


2.2.1 Modellistica delle caratteristiche elettriche

Data la complessità della morfologia di superficie, su versanti a quota ed esposizione differente, che ha interessato la disposizione elettronica, si è provveduto ad elaborare l'intero dataset con un algoritmo di inversione 3D sviluppato dalla società Geostudi Aster S.r.l. di Livorno.

Studio PROGEA
~Geologi Associati ~
Via G. Leopardi 35r 17100 Savona
Tel e Fax 019.825956 *Studio.Progea@gmail.it*

Per ogni linea è stato quindi prodotto con un processo di inversione, un modello tridimensionale georiferito della variazione delle proprietà elettriche del terreno, entro un prisma teorico che racchiude la linea. Le sezioni presentate nelle tavole sono pertanto sezioni del prisma come risulta indicato negli elaborati grafici.



Prisma di distribuzione della resistività

LA DETERMINAZIONE DELLA POSIZIONE DELLE ANOMALIE, PERTANTO DEVE ESSERE CONDOTTA RICORRENDO AL MODELLO DIGITALE GEORIFERITO E PUO' ESSERE RICAVATA SOLO IN MODO APPROSSIMATO (15%) DALLE TAVOLE GRAFICHE, PARTICOLARMENTE PER QUANTO ATTIENE LE SEZIONI NON ORTOGONALI AI DATI DEL PRISMA LIMITE TEORICO.

E stato possibile organizzare i modelli delle 4 linee a costruirne uno generale parimenti georiferito; il medesimo ammette successive implementazioni con limitazioni di tipo geologico e idrogeologico che in seguito possano diventare disponibili a seguito di ulteriori rilievi ed indagini. La consultabilità del medesimo è possibile con software dedicato presso lo scrivente e consente determinazioni di posizione delle anomalie di interesse, eventualmente nuovamente modellate in considerazione di eventuali ulteriori acquisizioni dati di varia natura, con approssimazioni di 20 m circa.

2.3 Approccio interpretativo e sintesi dei risultati

La resistività dei terreni è funzione sia della natura chimica del terreno stesso, sia della sua porosità, del contenuto in acqua e del contenuto in argilla. La sottostante tabella riporta gli intervalli di variabilità della resistività per i più comuni terreni e rocce. Nel caso in esame il contesto geologico espone un substrato roccioso sostanzialmente subaffiornate di natura carbonatica (cfr. Tav. 1).

L'obbiettivo dell'indagine, all'interno della profondità indagata, è di seguito articolato:

Resistività tipica dei terreni [Ωm][1]	
Calcare	50 ÷ 150
Argilla	1 ÷ 100
Ghiaia	100 ÷ 5000
Calcare	50 ÷ 107
Marna	1 ÷ 100
Quarzite	10 ÷ 108
Argilla	10 ÷ 1000
Sabbia	500 ÷ 5000
Arenaria	1 ÷ 108
Basalto	10 ÷ 107

Studio PROGEA
~Geologi Associati ~
Via G. Leopardi 35r 17100 Savona
Tel e Fax 019.825956 *Studio.Progea@gmail.it*

- *PRIMARIO identificazione, all'interno del massiccio carbonatico, della parte potenzialmente satura dell'acquifero.*
- *SECONDARIO identificazione delle potenziali vie di circolazione idrica ipogea, di tipo vadoso, che drenano il complesso.*

Nei complessi carbonatici la presenza d'acqua in reticolo di deflusso vadoso o nelle porzioni sature è di frequente associata, come si è detto, alla presenza di depositi di argille residuali derivate dai processi di corrosione naturale. Tali porzioni del complesso, interessate da drenaggio o da condizioni di saturazione idrica, costituiscono il bersaglio dell'indagine.

Il metodo è in effetti sensibile alla caduta di resistività elettrica propria dei materiali saturi o ricchi in frazione argillosa.

Sulla scorta di dati bibliografici e sulla base di esperienze acquisite in precedenza per il substrato atteso è possibile stilare la seguente tabella:

Materiali	Dolomie [Ωm]	Detrito [Ωm]	Argille [Ωm]	Metasedimenti Permiani [Ωm]
C. Sature	50-400	50-150	2-10	130-400
C. Insature	400-8000	3500	5-100	400-3200

Dall'esame della medesima si evince che la discriminazione tra massa carbonatica e reticolo di fatturazione interessato è quindi possibile.

L'eventuale presenza di acqua, anche in modesta quantità interagisce con le componenti argillose realizzando un effetto di ionizzazione superficiale dovuta a cationi e anioni non bilanciati che abbassa drasticamente la resistività elettrica; essa è soprattutto ben evidenziata dalla distribuzione della caricabilità ed in particolare dai flessi della curva di distribuzione della medesima, in corrispondenza di anomalie dipolari (rosso/blu) nelle tavole.

Tale configurazione segna in particolare i salti litologici cui sono associate fasce milonitiche, circolazione idrica e argillificazione.

Le tavole di sintesi riportano la distribuzione di resistività elettrica e caricabilità modellata.

Nella lettura delle medesime si consideri che:

Resistività elettrica superiori a 8000 Ωm sono relative a corpi rocciosi con caratteristiche che eccedono quelle proprie dei calcari e sono relative a manifestazioni carsiche ipogee. In particolare nelle tavole è stato introdotto uno schema assonometrico con la indicazione delle superficie isoresistive, estese all'intero modello e non solo relative alla sezione presentata, con valori propri > 12000 Ωm;

Le medesime, a causa del passo di campionamento utilizzato, non possono essere interpretate come volumi cavi quanto come inviluppo esteso all'intorno di tutte le cavità presenti nel medesimo;

Le zone che mostrano resistività minore <80 Ωm devono essere interpretate come comparti nei quali l'accumulo di argilla sia particolarmente sviluppato e dove sia maggiormente intensa le presenza idrica.

Si consideri che la prospezione elettrica descrive il terreno in funzione della distribuzione della proprietà fisica studiata (resistività-caricabilità) e che i limiti eventualmente individuabili possono non corrispondere a bordi di corpi geometricamente definiti. Ciò è dovuto sia al fatto che la resistività elettrica in un mezzo alterato varia spazialmente con continuità, indipendentemente dalla presenza di discontinuità abrupto, sia al particolare funzionale (smoothness constrain) impiegato nel calcolo della sezione.

Studio PROGEA
~Geologi Associati ~
Via G. Leopardi 35r 17100 Savona
Tel e Fax 019.825956 *Studio.Progea@gmail.it*

4 Evidenze idriche di terreno

Per la interpretazione idrogeologica degli elaborati, per la stesura del successivo paragrafo conclusivo, sono stati effettuati una serie di sopralluoghi tesi a migliorare la conoscenza geologica di superficie a ad individuare presenza idrica sotto forma di sorgenti regimate o libere, contemporanea all'acquisizione delle misure.

In particolare la presenza idrica è stata censita in Tav. 1; l'altitudine delle emergenze è riportata in tabella:

Emergenza	***Altituidine m s. l. m.***	***Livello idrico m s. l. m.***
Pozzo Cascina Trevo	*~ 330*	*~ 190 notizia verbale*
Ristagno R. Canino	*~ 175*	
Ristagno R. Mulini	*~ 175*	
Sorgente Linea 2 (fontana marsa)	*~ 275*	
Sorgente Sud Est M. Mao	*~ 275*	
Captazioni Galleria Mao	*~ 28*	

L'area è attraversata da una galleria ferroviaria "Mao", presente sulla linea tra le stazioni di Vado Ligure (Km 45 + 881) e Spotorno (Km 49 + 281), lunga 3400 m, che ha registrato, in corso di esecuzione, il verificarsi di importanti venute idriche cui furono associati sfornellamenti (nota verbale RFI).

Nella galleria è presente una conduttura in asse che capta e drena alcune di emergenze idriche. Nella medesima, in corrispondenza dal Km 47 + 100, è stato posto un diaframma impermeabile che separa le acque che defluiscono in direzione Vado Ligure da quelle che sono drenate, invece, verso Spotorno.

Le prese sono indicate nella sezione di Tav. 1, la portata globale è stata occasionalmente stimata nell'ordine di 20 l/s.

Parallelamente alla galleria sono presenti due gallerie, lunghe 40 m circa, prive di rivestimento, che fungono da captazione e permettono di riconoscere la dolomia incassante.

Il rilevamento di superficie ha messo in evidenza la presenza di due cavità ubicate in Tav. 1.

La prima di queste presenta evidenti segni di scavi artificiali, la seconda è interessata da depositi di breccie attuali a cemento calcareo.





5 Conclusioni

Sulla scorta delle indagini e del rilevamento sviluppato è possibile formulare le seguenti considerazioni di sintesi conclusiva:

Studio PROGEA
~Geologi Associati ~
Via G. Leopardi 35r 17100 Savona
Tel e Fax 019.825956 *Studio.Progea@gmail.it*

Entro la profondità indagata non è presente un livello saturo;

Il medesimo è verosimilmente limitato a quota inferiore rispetto a m 30 s.l.m. circa, secondo una superficie che si raccorda con il mare;

Le emergenze di superficie, censite nella Tav. 1 danno ragione di vie di drenaggio di tipo vadoso o in frattura;

Il corpo quarzitico ricoperto dal rilevato della discarica costituisce uno spartiacque idrogeologico concordemente con quanto emerge dalle misure piezometriche effettuate nei fori realizzati;

La scomparsa dell'acqua nel periodo secco conferma la natura di drenaggio vadoso e temporaneo delle direttrici intercettate dai fori medesimi;

Il drenaggio in direzione Sud (SE-SO) avviene secondo direttrici sconosciute;

Per quanto attiene il drenaggio in direzione SE la Linea 6 chiarisce la geometria di una anomalia basso resistiva associata verosimilmente al drenaggio in direzione Rio dell' Eliceto, il quale risulta impostato su di una lineazione tettonica, a tale struttura di drenaggio è presumibilmente legata la presenza di una sorgente di superficie;

Rispetto alle direttrici in direzione SO si può ipotizzare una comunicazione con il corpo a bassa conducibilità cui è associata la sorgente della Linea 2;

Tale corpo si estende per una profondità di circa m 70 da p.c.

La reale consistenza di un eventuale volume impregnato può essere verificata con una perforazione. La medesima deve estendersi per la totalità di tale profondità ed essere dotato di un tratto cieco e cementato sommatale di almeno m 10 per scongiurare la contaminazione con acque superficiali;

Si ravvisa l'opportunità, per la realizzazione della rete di monitoraggio, di perfezionare captazioni razionali delle emergenze individuate, compresi i ristagni rinvenuti nei nelle parti alte dei rii nella stagione secca, e di proteggere le medesime, segnatamente dal flusso di piena con bottini;

La presenza di massimi di resistività sulle linee 1, 3 e 4, in combinazione con la presenza di cavità accessibili, pone in evidenza la presenza, all'interno del perimetro dell'area carsica, di cavità inaccessibili;

Si ravvisa l'opportunità, per la realizzazione della rete di monitoraggio, di effettuare perforazioni in corrispondenza delle anomalie della linea 2 e 3, la cui posizione deve essere verificata ricorrendo al modello digitale georiferito, che possono consentire il controllo di una eventuale via di drenaggio vadoso, ancorchè temporanea di sicura importanza, nel contesto del sistema generale di circolazione idrica ipogea, essendo localizzata in coincidenza con una manifestazione di carso maturo;

In generale nella perforazione di fori di controllo sarà opportuno controllare, in corso d'opera la velocità di avanzamento della macchina al fine di ottenere valutazioni qualitative circa la competenza del materiale incontrato;

In corso di avanzamento, con intervalli opportuni, sarà utile disporre prove di immissione a mezzo pompaggio al fine di chiarire la presenza di eventuali cavità o comunque variazioni nella permeabilità della roccia.

Dott. Sergio AICARDI

Studio PROGEA
~Geologi Associati ~
Via G. Leopardi 35r 17100 Savona
Tel e Fax 019.825956 *Studio.Progea@gmail.it*