



Luglio 2017



veneto acque



REGIONE DEL VENETO

MESSA IN SICUREZZA PERMANENTE E BONIFICA DELL'EX DISCARICA DI SANT'ELENA DI ROBEGANO IN COMUNE DI SALZANO (VE)

PROGETTO DEFINITIVO – ESECUTIVO

Elaborato 3

**Relazione
geologico-geotecnica**

**Revisione a seguito della
Conferenza dei Servizi Istruttoria,
sedute del 6 e del 21 giugno 2017,
verbale prot. 277280 del 7 luglio 2017**

Numero Relazione 1660672/P0874Rev.1
Elaborato 3

RELAZIONE





Indice

1.0	INTRODUZIONE	3
2.0	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	3
3.0	ANALISI DELLO STATO ATTUALE	4
3.1	Descrizione del Sito ed inquadramento urbanistico	4
3.2	Inquadramento geomorfologico	6
3.3	Litologia	8
3.4	Idrografia superficiale	8
3.5	Aspetti idrogeologici	8
4.0	DESCRIZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE	9
4.1	Prove CPTU	9
4.2	Esecuzione sondaggi e prelievo campioni per prove geotecniche di laboratorio	10
5.0	RISULTATI DELLE INDAGINI ESEGUITE	11
5.1	Prove CPTU	11
5.2	Determinazione conducibilità idraulica da prove geotecniche di laboratorio	14
6.0	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	16

FIGURE NEL TESTO

Figura 1 - Foto satellitare con l'ubicazione del Sito (in rosso), di un'altra ex discarica ubicata a nord-ovest del Sito (in giallo) e dei principali centri abitati prossimi al Sito (fonte: Google Earth Pro)	5
Figura 2 - Foto satellitare con ubicazione del Sito, dell'Area di MISP e delle aree limitrofe con individuazione in colore rosso di una zona a 500 m dall'Area di MISP (fonte: Google Earth Pro)	6
Figura 3 – Stralcio della Carta geomorfologica estratta dallo Studio della Provincia di Venezia (ora Città Metropolitana di Venezia)	7
Figura 4 – Planimetria dell'Area di MISP con ubicazione delle CPTU e dei sondaggi dai quali sono stati prelevati dei campioni per l'esecuzione di analisi geotecniche di laboratorio (Capitolo 4.2)	9
Figura 5 – Planimetria dell'Area di MISP con ubicazione dei sondaggi effettuati in passato	12

ALLEGATI FUORI TESTO

Allegato 1	Risultati CPTU ed elaborazioni, Geolavori S.r.l.
Allegato 2	Stratigrafie relative ai sondaggi effettuati in passato sull'area
Allegato 3	Risultati prove geotecniche di laboratorio



1.0 INTRODUZIONE

Il presente elaborato costituisce la Relazione Geologico-Geotecnica del Progetto di Messa in Sicurezza permanente (MISP) dell'ex discarica ubicata nel Comune di Salzano (VE), in località Sant'Elena di Robegano.

La revisione del documento presentato ad aprile 2017 (Relazione Golder n. 1660672/P0874) viene redatta a seguito di quanto emerso in sede di Conferenza dei Servizi Istruttoria, nel corso delle sedute del 6 e del 21 giugno 2017, e delle prescrizioni di cui al verbale della Regione del Veneto prot. n. 277280 del 7 luglio 2017.

L'area nella quale si prevede di realizzare l'intervento in progetto (Sito), è un'area privata, sede di una ex discarica, in esercizio dal '79 al '85, attualmente chiusa ed adibita a coltivazione agricola diversificata (pascolo cavalli e seminativo).

L'intervento in progetto prevede la diaframmatatura della sola zona occupata dai rifiuti industriali (Area di MISP, si veda l'Elaborato 1), per una superficie pari a circa 12.400 m², che determina uno sviluppo lineare del diaframma perimetrale pari a circa 660 m.

2.0 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Nel presente progetto si dà per nota la seguente documentazione di riferimento:

- "Progetto di messa in sicurezza, ricomposizione ambientale e monitoraggio dell'area – Progetto Preliminare – Elenco elaborati, Relazione, Elaborati grafici, Computo metrico estimativo", Tècne S.r.l.;
- Verbale avente ad oggetto "Approvazione del progetto preliminare di bonifica dell'ex discarica S. Elena presentata, su incarico del Comune di Salzano, dalla Tècne S.r.l.", CdS, 19 ottobre 2006,;
- Nota avente ad oggetto "Bonifica ex discarica di via S. Elena. Invio documentazione a seguito Conferenza dei Servizi del 19 ottobre 2006", Comune di Salzano, 4 dicembre 2006;
- "Progetto di messa in sicurezza, ricomposizione e monitoraggio dell'area – Relazione di sintesi ed approfondimento delle attività svolte", Regione del Veneto;
- "Interventi di risanamento ambientale di competenza regionale discarica in località Sant'Elena di Robegano in Comune di Salzano (VE) – Approfondimento di indagine e Modello Concettuale Definitivo", Veneto Acque S.p.A., 20 giugno 2016;
- Verbale da cui si evince che "gli Enti presenti in Conferenza dei Servizi ritengono unanimemente di condividere i contenuti del documento tecnico presentato da Veneto Acque S.p.A., quali linee guida per la progettazione definitiva dell'intervento di messa in sicurezza permanente dell'area", CdS, 26 luglio 2016;
- Documentazione analitica di laboratorio, commentata nell'ambito dei presenti elaborati progettuali e riferita ai prelievi di campioni geotecnici ed ambientali effettuati in corrispondenza del Sito nel corso degli anni.



3.0 ANALISI DELLO STATO ATTUALE

3.1 Descrizione del Sito ed inquadramento urbanistico

Il Sito, che si estende su una superficie complessiva di circa 5 ha, è ubicato nella pianura veneziana settentrionale (in Figura 1 se ne riporta l'ubicazione su foto satellitare).

Sotto il profilo amministrativo il Sito è ubicato nel territorio comunale di Salzano (VE) e dista dal centro degli abitati di:

- Robegano, frazione del Comune di Salzano (VE), 1 km a sud-ovest;
- Martellago (VE), 2 km ad est;
- Scorzè (VE), 3,5 km a nord-ovest;
- Noale (VE), 5 km ad ovest;
- Salzano (VE), 3,7 km a sud-ovest.

Con riferimento alle rappresentazioni grafiche illustrate nell'Elaborato 17, dal punto di vista catastale il Sito è identificato dai mappali n. 259, 382, 385, 711, 712, 713, 717, 718 e 719 del foglio n. 2 del Comune di Salzano.

La cartografia allegata al Piano di Assetto del Territorio (PAT) del Comune di Salzano, approvato con verbale della CdS prot. n. 12978 del 28 luglio 2016, riporta le seguenti informazioni:

- il Sito ricade all'interno di un'area P1, a "Pericolo moderato - Area soggetta a scolo meccanico";
- sul Sito si evidenzia la presenza di terreni "non idonei" da un punto di vista edificatorio;
- la porzione nord-orientale dell'Area di MISP ricade all'interno di un'area perimetrata come "Aree esondabili o a ristagno idrico";
- il Sito ricade all'interno di un'area perimetrata come "Aree per il miglioramento della qualità territoriale".

Come citato in premessa, l'ex discarica è rimasta in esercizio dal '79 al '85 ed è attualmente chiusa e di proprietà privata, adibita a funzione agricola diversificata: pascolo cavalli, seminativo.

Allo stato attuale, l'Area di MISP si presenta sostanzialmente pianeggiante con una quota assoluta media di circa 10,5 m s.l.m., con una leggera baulatura centrale; è contornata da fossati di scolo perimetrali presenti sui confini nord, ovest e sud-est. La viabilità d'accesso è attualmente rappresentata dal passo carraio dell'abitazione del proprietario del terreno (Sig. Giuseppe Chinellato), a sud-ovest dell'Area di MISP.

Le aree limitrofe al Sito, contraddistinte dalla presenza di piccole realtà rurali, sono sostanzialmente pianeggianti, ed hanno vocazione prevalentemente agricola. Circa 1,5 km a nord-ovest del Sito è presente un'area industriale.

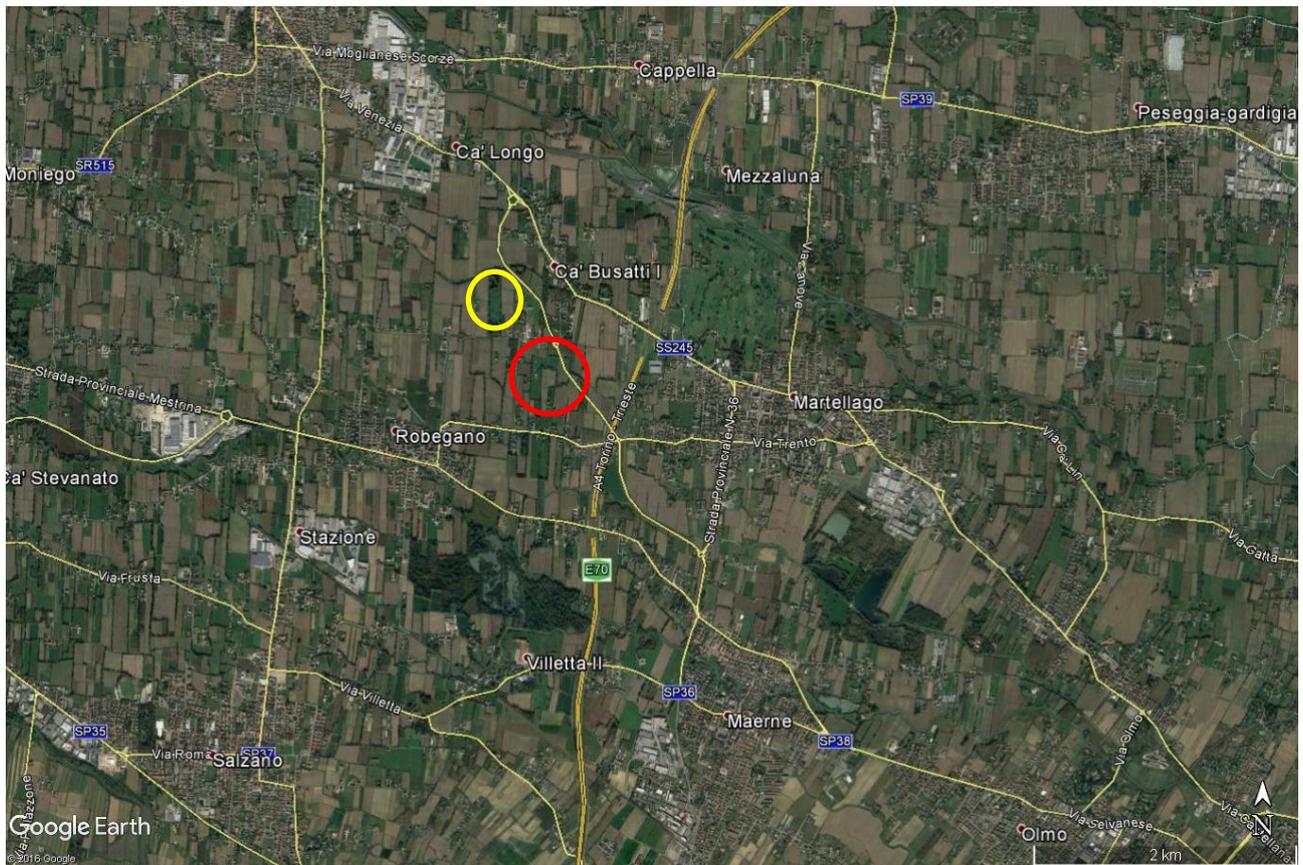


Figura 1 - Foto satellitare con l'ubicazione del Sito (in rosso), di un'altra ex discarica ubicata a nord-ovest del Sito (in giallo) e dei principali centri abitati prossimi al Sito (fonte: Google Earth Pro)

Entro circa 500 m dall'Area di MISP (zona individuata in colore rosso nella Figura 2) non sono presenti centri abitati. Si rileva soltanto la presenza di qualche abitazione isolata.

In particolare, esternamente al Sito sono presenti:

- ad est e nord-est, un'area sostanzialmente pianeggiante adibita ad uso agricolo e la bretella di raccordo stradale del Passante di Mestre;
- a sud, un filare alberato e altre aree adibite ad uso agricolo;
- ad ovest, un doppio filare alberato, aree adibite ad uso agricolo e, in prossimità dell'attuale accesso al Sito, l'abitazione del Sig. Chinellato e l'annesso fabbricato adibito a deposito agricolo;
- a nord, un doppio filare alberato e altre aree adibite ad uso agricolo.

A nord-ovest del Sito (zona individuata in colore giallo nella Figura 1), a monte idraulico rispetto alla direzione di falda, esiste una ex discarica per rifiuti inerti e fanghi biologici, gestita tra gli anni 1993 e 1998, già oggetto di un intervento di sistemazione ambientale definitiva, collaudato nel 2002.

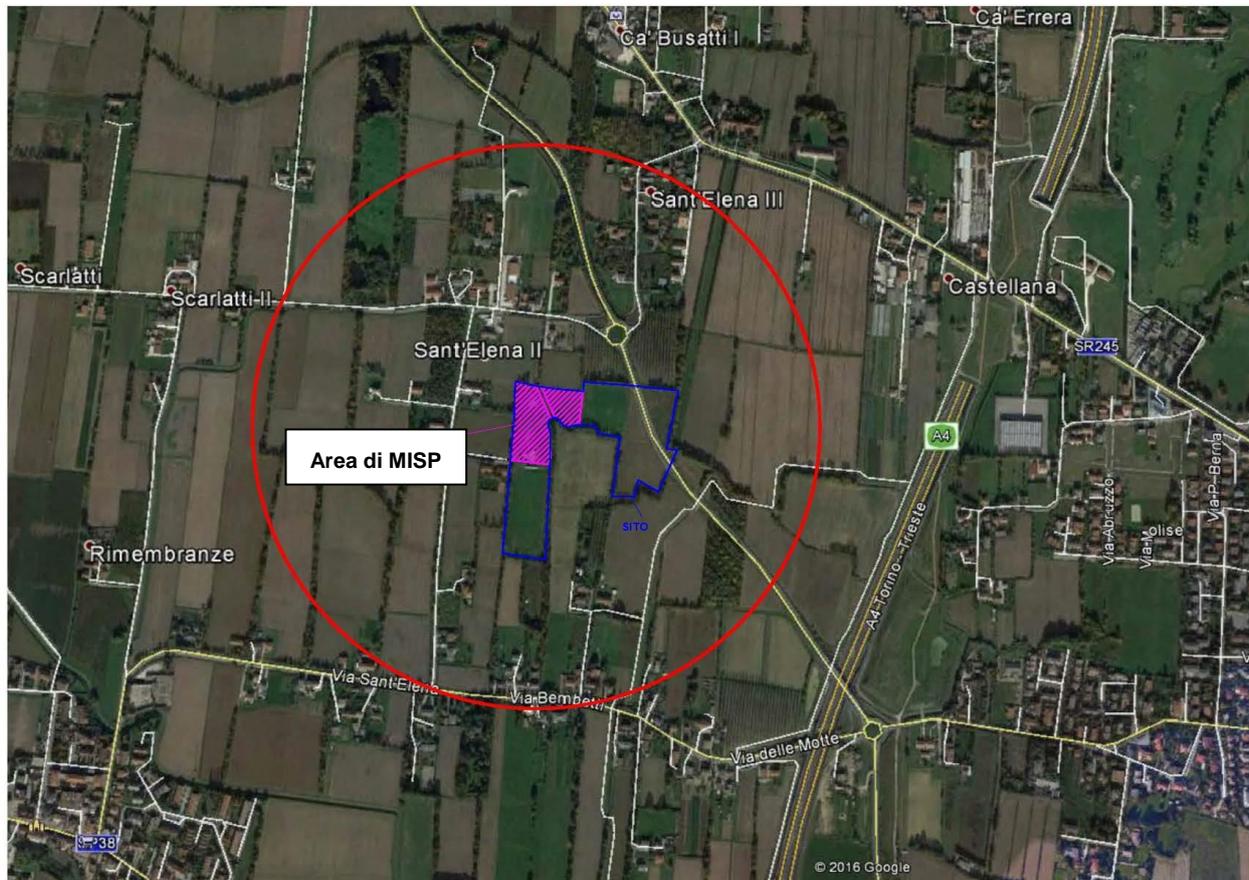


Figura 2 - Foto satellitare con ubicazione del Sito, dell'Area di MISP e delle aree limitrofe con individuazione in colore rosso di una zona a 500 m dall'Area di MISP (fonte: Google Earth Pro)

3.2 Inquadramento geomorfologico

L'area in esame è compresa nel bacino scolante della laguna di Venezia, tra i Fiumi Marzenego e Dese.

Si tratta di una zona pianeggiante, con quote altimetriche del piano campagna naturale di una decina di metri superiori al livello medio del mare.

Gli unici elementi di risalto morfologico, di origine antropica, sono costituiti dalle arginature dei fiumi e dai rilevati stradali.

Più in generale quest'area è al centro della vasta pianura Veneta, qui caratterizzata da alluvioni quaternarie fluvio-glaciali che si succedono nel sottosuolo per varie centinaia di metri (900 ÷ 1.000 m e sino a circa 1500 m nella zona di Chioggia).

A questi depositi continentali si intercalano ora terreni in facies marina, legati alle trasgressioni e regressioni succedutesi nel tempo, ora saltuari depositi tipici di ambienti lacustri, palustri e lagunari.

Dell'intero deposito quaternario, la struttura dei 300 m circa più superficiali è dovuta per buona parte all'attività alluvionale dei fiumi Bacchiglione, Brenta, Sile e Piave e risale al Pleistocene superiore ed all'Olocene; l'attività fluviale, nel tratto terminale, si è esplicata con una continua opera di livellazione, realizzata mediante una progressiva deposizione con conseguente ostruzione degli alvei, a cui seguivano esondazioni che a loro volta andavano a colmare le depressioni formatesi tra alveo e alveo.



Contemporaneamente all'attività legata all'apporto dei fiumi, si sono verificati fenomeni di sollevamento delle terre emerse, conseguenti allo scioglimento dei ghiacciai soprastanti e di assestamento dei depositi alluvionali più recenti, per costipamento degli stessi.

L'effetto di tali attività, almeno nella parte più superficiale del deposito quaternario, per alcune decine di metri, è la formazione di orizzonti a sviluppo prevalentemente lentiforme, con grande variabilità sia orizzontale che verticale.

Raramente i litotipi presenti, sabbie, limi ed argille, sono puri; più frequentemente si trovano frammisti tra loro, con una distribuzione granulometrica piuttosto ampia.

Dall'esame dello stralcio della carta geomorfologica della Provincia di Venezia, riportato in Figura 3, si osserva, inoltre, che uno dei numerosi dossi fluviali che caratterizzano l'assetto geomorfologico della bassa pianura veneta passa, con direzione Nord-Ovest/Sud-Est, in corrispondenza della porzione sud dell'ex discarica di Sant'Elena. Tale struttura geomorfologica, costituita da una maggior prevalenza di materiali granulari sabbioso-limosi, non è affiorante, ma si trova in profondità ricoperta da sedimenti fini depositatesi nelle fasi di disattivazione dell'alveo. Il dosso fluviale in questione è indirettamente individuabile anche attraverso l'analisi delle sezioni stratigrafiche, longitudinali e trasversali, elaborate nel corso delle indagini effettuate negli anni passati (riportate negli elaborati di cui al Capitolo 2.0) nel settore sud dell'ex discarica, nelle quali si evidenzia la sostituzione dei livelli argillosi profondi con terreni granulari sabbiosi maggiormente permeabili di facies fluviale.

La presenza del dosso fluviale sopra citato assume un'importanza rilevante nei confronti dell'assetto idrogeologico in quanto sembra svolgere un'azione drenante con richiamo d'acqua dalla falda nell'intorno.

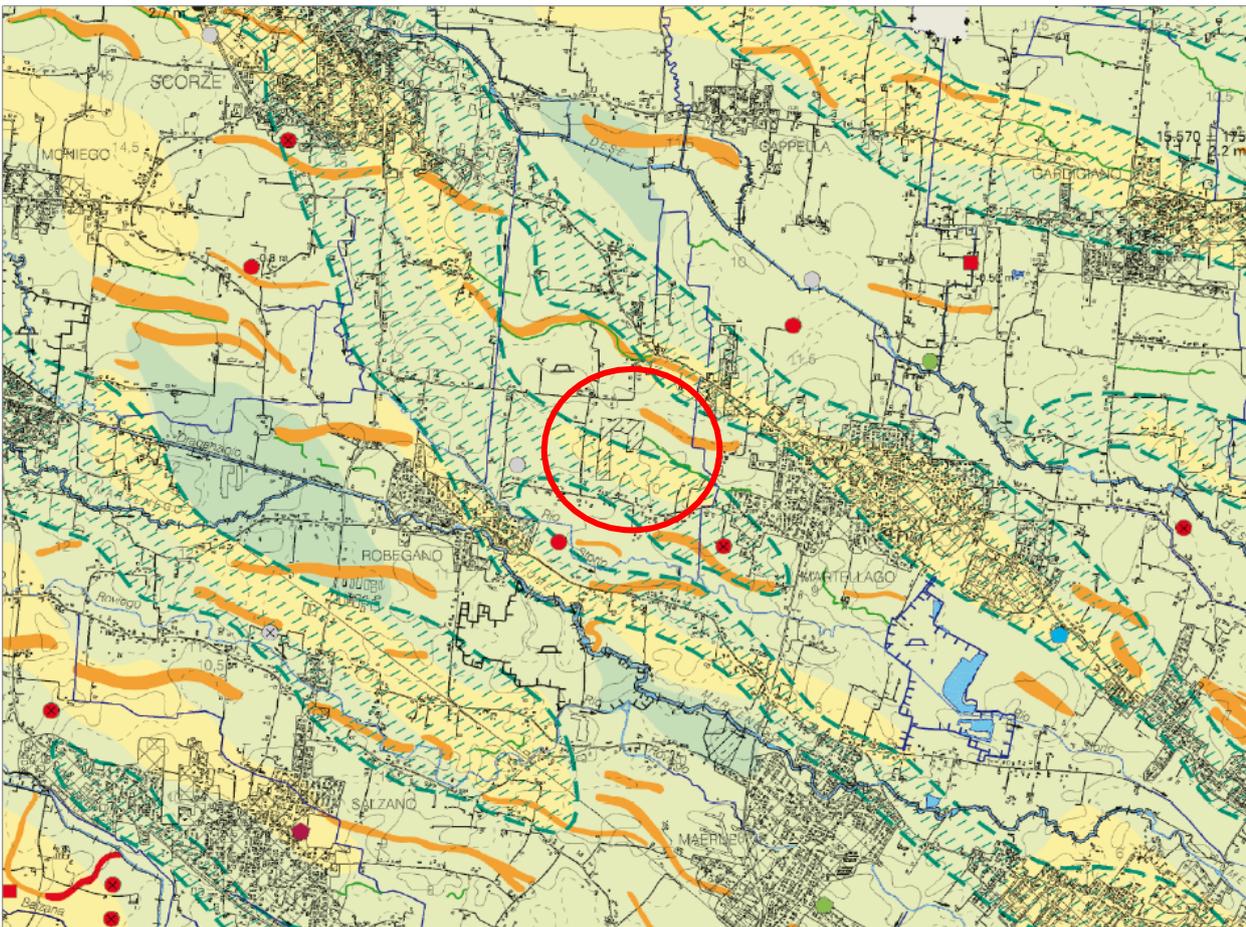


Figura 3 – Stralcio della Carta geomorfologica estratta dallo Studio della Provincia di Venezia (ora Città Metropolitana di Venezia)



3.3 Litologia

Le indagini geognostiche eseguite in passato sull'area hanno confermato una situazione sostanzialmente disomogenea, con frequenti variazioni litologiche, sia verticali che orizzontali.

Fino ad una profondità di circa 3 - 3,5 m dal p.c. è stata riscontrata la presenza di un livello coesivo argilloso – limoso caratterizzato da una ridotta conducibilità idraulica (K dell'ordine di 10^{-9} m/s). In corrispondenza del sedime della discarica, le attività estrattive condotte fino all'anno 1979, hanno inciso tale livello argilloso superficiale (caranto) creando uno scasso di cava successivamente colmato da rifiuti. In molti casi, l'orizzonte coesivo superficiale è stato interamente rimosso mettendo in contatto i rifiuti con l'acquifero sottostante.

Al di sotto di tale strato e fino ad una profondità di una trentina di metri si sono individuati terreni costituiti principalmente da argille e limi più o meno sabbiosi in genere poco consistenti, alternati a livelli sabbioso-limosi.

Successivamente, come verificato con indagini dirette per la realizzazione del vicino Passante, oltre che con la perforazione di pozzi ad uso potabile, si incontrano depositi più grossolani, principalmente sabbie e ghiaie, che rappresentano il principale acquifero, con falda in pressione, utilizzato dagli stessi numerosi emungimenti localizzati in questa zona.

3.4 Idrografia superficiale

L'ex discarica si trova, come detto, tra il Rio Storto (affluente del Fiume Marzenego) a sud-ovest ed il Fiume Dese Sile a nord-est.

La stessa zona in esame è inoltre percorsa da una fitta rete di fossi e scoli collegati ai medesimi corsi d'acqua principali, tributari della laguna di Venezia.

3.5 Aspetti idrogeologici

Le sabbie poste al di sotto dello strato argilloso/limoso superficiale (caranto) formano il primo acquifero significativo nel quale è alloggiata una falda semi-confinata con piezometrica risaliente. L'orizzonte argilloso-limoso sopra descritto, costituisce invece un acquitardo che mette in pressione la sottostante falda.

Il livello di falda dell'acquifero principale, per effetto di una differenza di carico piezometrico, risale con moto verticale all'interno dell'aquitardo, creando un fenomeno di drenanza.

Sulla base di tali considerazioni si distinguono pertanto due orizzonti idrogeologici significativi:

- acquitardo superficiale costituito da argille limose presenti dal p.c. e fino a circa 3-3,5 m dal p.c.: tale orizzonte ha una permeabilità dell'ordine di 10^{-9} m/s e pertanto tende ad "assorbire" ed a trattenere le acque per effetto drenanza;
- acquifero principale nel quale si trova una "falda semiconfinata", presente a partire dalla base dell'aquitardo che si approfondisce fino ad almeno 15 m dal p.c.

Nel corso degli anni, i numerosi piezometri realizzati sono stati fenestrati anche in corrispondenza dello strato argilloso superficiale, al fine di monitorare il livello di percolato che si formava. Nel tempo è stato impropriamente attribuito alle acque di impregnazione che venivano monitorate il valore di falda.

Dall'elaborazione delle quote piezometriche della falda principale effettuate in passato, si osserva la presenza di un significativo richiamo d'acqua da un asse di drenaggio con orientamento Nord-Ovest / Sud- Est. La sua presenza altera la direzione di deflusso della falda sotterranea che, spostandosi da ovest verso est, tende a discostarsi dall'andamento medio regionale, ossia Nord-Ovest / Sud-Est, assumendo direzione Nord-Sud.

La suddetta conformazione delle isopieze può essere di origine artificiale, dovuta ad esempio al drenaggio operato dalla rete di bonifica idraulica, oppure legato a fattori naturali quali ad esempio la presenza del dosso fluviale descritto in precedenza.



4.0 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE

4.1 Prove CPTU

Nell'ambito dell'incarico conferito, Golder Associates S.r.l. (Golder) ha eseguito un'indagine geognostica consistente in n. 21 prove penetrometriche con piezocono (CPTU) sino ad una profondità di circa 20 m dal p.c., in punti ubicati lungo/in prossimità dell'ipotetico tracciato del diaframma, indicativamente ogni 30-40 m. In Figura 4 è riportata la planimetria dell'Area di MISP, con ubicazione delle CPTU.

Le prove CPTU sono state eseguite dalla ditta Geolavori S.r.l.(Geolavori) di Este nei giorni 13-16 marzo 2017, con la supervisione di personale di Golder.

La prova penetrometrica statica (CPT) è una prova eseguita in situ per poter determinare la stratificazione e le proprietà meccaniche del terreno. È indicata per tutti i terreni, tranne depositi ghiaiosi o terreni sabbiosi molto addensati. Uno dei principali vantaggi della prova è la possibilità di ottenere dei dati in continuo. La prova consiste nell'infissione di una punta di forma conica all'interno del terreno. Durante l'avanzamento della punta, che avviene a velocità costante, vengono misurati la resistenza alla penetrazione della punta (q_c) e l'attrito laterale (f_s). Nella prova penetrometrica statica con piezocono (CPTU), sulla punta conica è presente un elemento poroso in grado di misurare la pressione neutrale del terreno al di sotto del livello di falda. In questa prova è possibile identificare strati con differenti caratteristiche di permeabilità basandosi sulla misura contemporanea della resistenza alla penetrazione della punta (q_c) e della pressione neutrale (u).

In generale, in corrispondenza delle sabbie, dove la penetrazione avviene in condizioni praticamente drenate, si hanno valori relativamente alti di q_c associati a valori di u corrispondenti alle condizioni di equilibrio iniziale della falda; nell'argilla invece la penetrazione avviene in condizioni non drenate, cosicché si ha un notevole aumento della pressione neutrale u e valori bassi di q_c caratteristici delle argille.

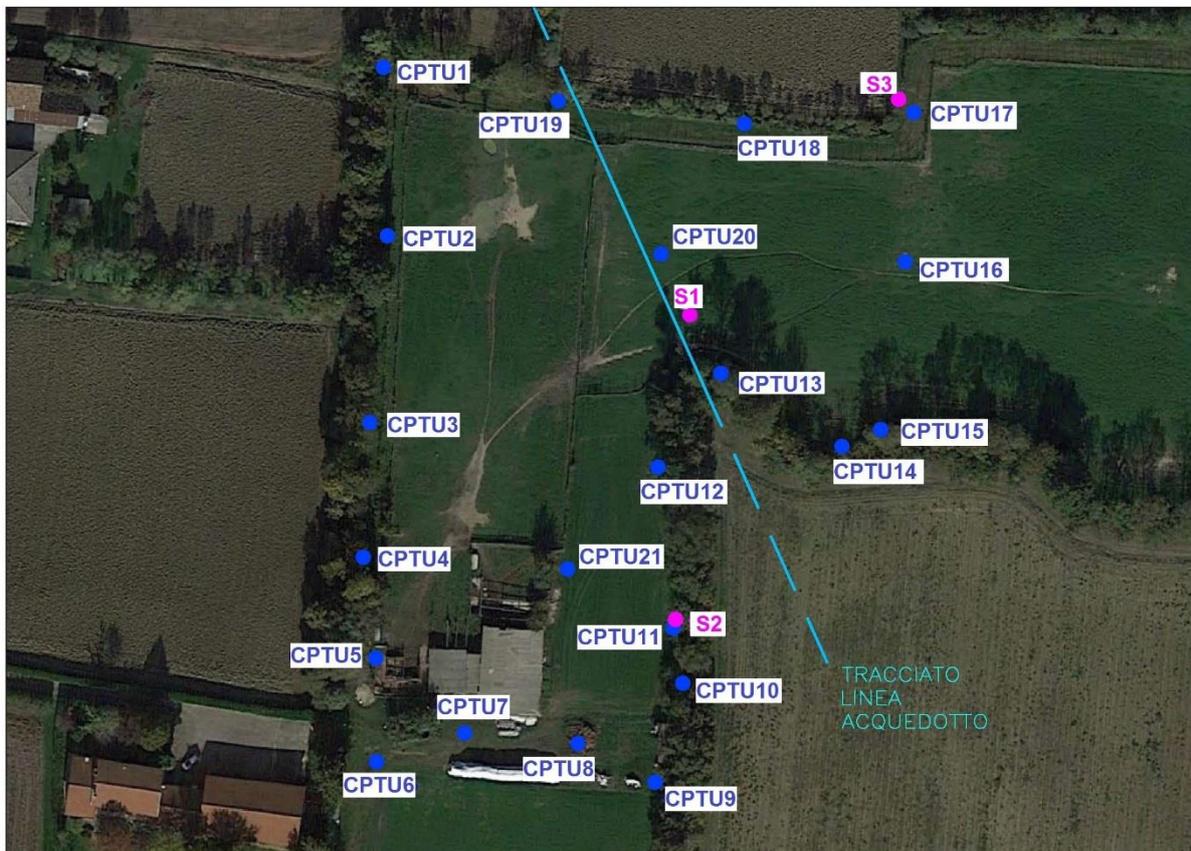


Figura 4 – Planimetria dell'Area di MISP con ubicazione delle CPTU e dei sondaggi dai quali sono stati prelevati dei campioni per l'esecuzione di analisi geotecniche di laboratorio (Capitolo 4.2)



4.2 Esecuzione sondaggi e prelievo campioni per prove geotecniche di laboratorio

Nelle giornate del 9 e 10 marzo 2017 sono stati inoltre eseguiti dalla ditta Geolavori di Este n. 10 sondaggi geognostici (si veda Elaborato 1), spinti sino alla profondità massima di circa 4 m da p.c., con lo scopo principale di verificare l'eventuale presenza di rifiuti e valutarne la tipologia. Le perforazioni sono state condotte a secco, con bassa velocità di rotazione e senza ricorrere all'ausilio di fluidi o fanghi, a carotaggio continuo.

Da 3 sondaggi (S1, S2 e S3, Figura 4) sono stati prelevati, in corrispondenza di orizzonti non interessati dalla presenza dei rifiuti, dei campioni di terreno da sottoporre ad analisi geotecniche di laboratorio, finalizzate ad acquisire i dati di input sito specifici per l'Analisi di Rischio.

In particolare, sono stati prelevati:

- 3 campioni indisturbati dell'insaturo (tra le profondità di 0,5 e 1,5 m da p.c.), sui quali sono stati analizzati i seguenti parametri: classificazione geotecnica visiva, peso di volume secco, porosità totale, contenuto volumetrico d'acqua, frazione di carbonio organico, pH;
- 3 campioni indisturbati nel saturo (tra le profondità di 3,0 e 4,1 m da p.c.), sui quali sono stati analizzati i seguenti parametri: classificazione geotecnica visiva, peso di volume secco, porosità totale, porosità efficace, conducibilità idraulica, contenuto volumetrico d'acqua, frazione di carbonio organico e pH.

In particolare, quindi, i tre campioni prelevati nel saturo sono stati sottoposti a prova di permeabilità a carico variabile per la determinazione delle conducibilità idraulica k.



5.0 RISULTATI DELLE INDAGINI ESEGUITE

5.1 Prove CPTU

In Allegato 1 sono riportati i risultati delle prove eseguite e l'elaborazione delle stesse effettuate dalla ditta che ha condotto l'indagine.

In Elaborato 19 sono riportate le sezioni lito-stratigrafiche ottenute dall'interpretazione delle CPTU, allineate secondo le direzioni coincidenti con i lati dell'Area di MISP e riferite alla quota assoluta s.l.m. Si fa presente al riguardo che il piano campagna nell'Area di MISP presenta una quota assoluta media di circa 10,5 m s.l.m.

In particolare, sulla base dell'ubicazione delle CPTU riportata in Figura 4, le sezioni lito-stratigrafiche possono essere così raggruppate:

- Lato Ovest: sezioni lito-stratigrafiche relative alle prove CPTU1, CPTU2, CPTU3, CPTU4, CPTU5, CPTU6;
- Lato Sud: sezioni lito-stratigrafiche relative alle prove CPTU6, CPTU7, CPTU8, CPTU9;
- Lato Sud - Est: sezioni lito-stratigrafiche relative alle prove CPTU9, CPTU10, CPTU11, CPTU12, CPTU13, CPTU14, CPTU15;
- Lato Est: sezioni lito-stratigrafiche relative alle prove CPTU15, CPTU16, CPTU17;
- Lato Nord: sezioni lito-stratigrafiche relative alle prove CPTU17, CPTU18, CPTU19, CPTU1.

Da un punto di vista generale il modello litostratigrafico locale denota la presenza, fino alle massime profondità indagate (circa 20 m dal p.c., -9,5 m s.l.m.), di una fitta alternanza di terreni di natura prevalentemente argillosa o argilloso-limosa e terreni di natura prevalentemente sabbiosa o sabbioso-limosa. In particolare, si rilevano:

- dal p.c., posto mediamente a 10,5 m s.l.m., fino a circa 7,5 m s.l.m., terreni di natura argillosa riconducibili allo strato di caranto che è stato interessato dalle attività di cava;
- da circa 7,5 m s.l.m. si osserva la presenza di un'alternanza di terreni di natura sabbiosa/sabbioso-limosa/argilloso-limosa sino ad una quota di circa 3,5 m s.l.m., profondità alla quale si riscontra la presenza di uno strato di argilla con spessori variabili da qualche decina di cm a quasi un metro;

La presenza di tale strato di argilla si rileva anche dall'esame delle stratigrafie relative ai sondaggi effettuati in passato sull'area. In Allegato 2 è riportata la stratigrafia relativa ai sondaggi Pa01/2004-12, Pa01/2004-25 e Pa02/2004 - 12 realizzati nel 2004 nell'angolo Nord-Ovest e Nord dell'Area di MISP (si veda Figura 5). L'esame delle stratigrafie permette di rilevare la presenza dello strato di argilla alla profondità di circa 7 m dal p.c., in particolare nel sondaggio Pa01/2004-25 è stata rilevata la presenza di uno strato di argilla con passaggi da limosi a debolmente sabbiosi avente spessore pari a 2,6 m (tra 6,4 e 9 m da p.c.), nel sondaggio PA01/2004-12 uno strato di argilla da limosa a debolmente sabbiosa avente spessore pari a 1,9 m (tra 6,7 e 8,6 m da p.c.), nel sondaggio P02/2004-12 uno strato di argilla da limosa a sabbiosa, tra la profondità di 6,1 m e 7 m da p.c.

- da circa 3,5 m s.l.m., sono presenti terreni di natura prevalentemente sabbiosa o sabbioso-limosa, che si alternano a livelli decimetrici di terreni di natura argillosa o argilloso-limosa. Tali strati di natura prevalentemente sabbiosa o sabbioso-limosa presentano spessori via via maggiori proseguendo verso Sud;
- ad una quota di circa -6,5 m s.l.m. (circa 17 m da p.c.) si rileva la presenza di un orizzonte di natura argillosa con spessori variabili, al di sotto del quale tornano a prevalere gli strati sabbiosi.

In conclusione, la ricostruzione del modello litostratigrafico effettuata sulla base delle prove penetrometriche e delle evidenze dirette risultanti dai carotaggi effettuati in passato ha confermato l'esistenza di una fitta alternanza di terreni in matrice fine, ma la sostanziale assenza di un unico orizzonte coesivo continuo e di potenza almeno dell'ordine dello spessore di un diaframma da 0,5 m quale quello ipotizzato in progetto.



Si ritiene pertanto sia più cautelativo riferirsi, per quanto attiene allo strato di immersione del diaframma stesso, non ad un unico ben definito orizzonte litologico caratterizzato da un coefficiente di permeabilità isotropo e costante (orizzonte, come detto, non riscontrabile nell'Area di MISP), bensì ad un sistema multistrato indifferenziato formato dall'intera successione di terreni di natura argillosa e limoso-argillosa che si incontrano nei primi 7 m da p.c.

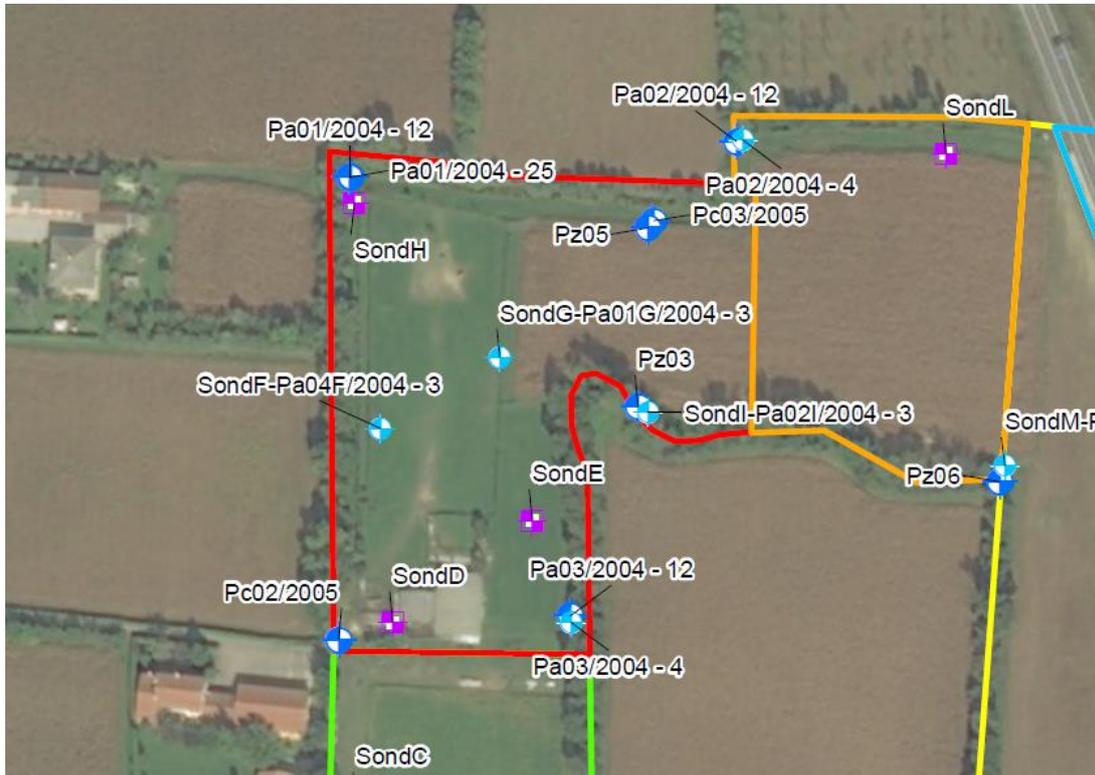


Figura 5 – Planimetria dell'Area di MISP con ubicazione dei sondaggi effettuati in passato

Nel dettaglio, l'analisi delle sezioni lito-stratigrafiche, indica:

- lungo il lato Ovest, la presenza, sino ad una quota di circa 8 - 7,5 m s.l.m. (circa 2,5 - 3 m da p.c.) di terreni prevalentemente di natura argillosa/argillo-limosa; oltre tale profondità si osserva la presenza di un'alternanza di terreni di natura sabbiosa/sabbioso-limosa/argilloso-limosa. Ad una quota di circa 3,5 m s.l.m. (circa 7 m da p.c.), si osserva la presenza di uno strato di argilla con spessore variabile da qualche decina di cm sino a circa 0,7 m. Oltre tale strato è prevalente la presenza di terreni di natura sabbiosa/sabbioso-limosa, specialmente spostandosi verso Sud (CPTU3, CPTU4, CPTU5), dove tale strato raggiunge spessori dell'ordine di 3-4 m. Al di sotto di tale strato, ad una quota tra circa -6 e -6,5 m s.l.m. (circa 16,5 - 17 m da p.c.) si rileva la presenza di uno strato di prevalente natura argillosa, al di sotto del quale tornano a prevalere i terreni di natura sabbiosa/sabbioso-limosa. Si fa presente che la prova CPTU6 si è interrotta alla profondità di circa 0 m s.l.m., per disassamento della punta di perforazione a circa 10 m di profondità dal p.c.;
- lungo il lato Sud, la presenza, sino ad una quota di circa 7,5 - 7 m s.l.m. (circa 3 - 3,5 m da p.c.) di terreni prevalentemente di natura argillosa/argillo-limosa; oltre tale profondità si osserva la presenza di un'alternanza di terreni di natura sabbiosa/sabbioso-limosa/argilloso-limosa. Ad una quota di circa 3,5 m s.l.m. (circa 7 m da p.c.), si osserva la presenza di uno strato di argilla con spessore variabile da qualche decina di cm sino a circa 0,5 m. Oltre tale strato è prevalente la presenza di terreni di natura sabbiosa/sabbioso-limosa (specialmente nella prova CPTU 7, dove è stata riscontrata la presenza di uno spessore di sabbia di circa 6 m) a tratti alternati a modesti spessori di terreni limoso-argillosi/argillosi. Al di sotto di tale strato, ad una quota tra circa -6 e -7 m s.l.m. (circa 16,5 - 17,5 m da p.c.) si rileva la



presenza di uno strato di prevalente natura argillosa, al di sotto del quale tornano a prevalere i terreni di natura sabbiosa/sabbioso-limosa, presenti sino alla massima profondità indagata.

- lungo il lato Sud - Est, la presenza di terreni prevalentemente di natura argillosa/argilloso-limosa sino ad una quota di circa 7 – 6,5 m s.l.m. (circa 3,5 – 4,0 m da p.c.) nelle prove CPTU9 – CPTU13 e sino ad una quota di circa 6 m s.l.m. (circa 4,5 m da p.c.) nelle prove CPTU14 – CPTU15; oltre tale profondità si osserva la presenza di sabbie limose/limi sabbiosi con alternanze decimetriche di sabbie, argille ed argille limose (prevalenti nella porzione più ad Est). Ad una quota tra 4 e 3,5 m s.l.m. (circa 6,5 - 7 m da p.c.), si osserva la presenza di uno strato di argilla con spessore variabile da qualche decina di cm sino anche ad 1 m (CPTU13). Oltre tale strato è prevalente la presenza di terreni di natura sabbiosa/sabbioso-limosa a tratti alternati a modesti spessori di terreni limoso-argillosi/argillosi. Tali strati si riscontrano con prevalenza sino ad una quota di circa -2,5 m s.l.m. (13 m da p.c.); oltre tale profondità tornano a prevalere gli strati di natura argillosa/argilloso-limosa, sino ad una quota di circa -6,5 m s.l.m. (17 m da p.c.), oltre la quale prevalgono i terreni di natura sabbiosa.
- lungo il lato Est, la presenza, sino ad una quota di circa 6,5 - 6 m s.l.m. (circa 4,0 – 4,5 m da p.c.) di terreni prevalentemente di natura argillosa/argilloso-limosa; oltre tale profondità si osserva la presenza di alternanze di sabbie limose/limi sabbiosi/argille limose. Ad una quota tra 4 e 3,5 m s.l.m. (circa 6,5 - 7 m da p.c.), si osserva la presenza di uno strato di argilla con spessore dell'ordine di 0,5 m. Oltre tale strato è prevalente la presenza di terreni di natura sabbiosa/sabbioso-limosa a tratti alternati a modesti spessori di terreni limoso-argillosi/argillosi. Tali strati si riscontrano con prevalenza sino a quote variabili tra -2,5 e -4 m s.l.m. (13 e 14,5 m da p.c.), oltre tale profondità tornano a prevalere gli strati di natura argillosa/argilloso-limosa, sino ad una quota di circa -6,5 m s.l.m. (17 m da p.c.), oltre la quale prevalgono i terreni di natura sabbiosa.
- lungo il lato Nord, la presenza, sino ad una quota di circa 7 m s.l.m. (circa 3,5 m da p.c.) di terreni prevalentemente di natura argillosa/argilloso-limosa; oltre tale profondità si osserva la presenza di alternanze di sabbie limose/limi sabbiosi/argille limose. Ad una quota tra 4 e 3,5 m s.l.m. (circa 6,5 - 7 m da p.c.), si osserva la presenza di uno strato di argilla con spessori variabili tra qualche decina di cm sino a 0,5 m. Oltre tale strato è prevalente la presenza di terreni di natura sabbiosa/sabbioso-limosa a tratti alternati a modesti spessori di terreni limoso-argillosi/argillosi. Tali strati si riscontrano con prevalenza sino a quote variabili tra -2 e -3,5 m s.l.m. (12,5 e 14 m da p.c.), oltre tale profondità tornano a prevalere gli strati di natura argillosa/argilloso-limosa, sino ad una quota di circa -6,5 m s.l.m. (17 m da p.c.), oltre la quale prevalgono i terreni di natura sabbiosa.

Considerando i valori di conducibilità idraulica istantanea ottenuti da ciascuna prova CPTU (Allegato 1) è possibile, inoltre, calcolare in corrispondenza dei vari orizzonti stratigrafici attraversati durante le prove i valori di conducibilità idraulica progressivamente mediati sulla verticale.

In particolare, per ciascuna prova CPTU è stato effettuato il seguente calcolo:

- sono stati considerati i valori di conducibilità idraulica istantanea ottenuti dalla prova¹ per ciascun cm di avanzamento;
- è stato calcolato il tempo di attraversamento di ciascun cm di avanzamento (strato “-i”, S_i spessore), valutato con gradiente idraulico unitario (per moto verticale), mediante la formula: $\frac{S_i}{k_i}$;
- è stato calcolato lo spessore totale S_{tot} di attraversamento dello strato come $\sum S_i$;
- è stata quindi calcolata la conducibilità idraulica equivalente dello strato, k_{tot} , mediante la seguente:

¹ A partire da una profondità di 2 m da p.c. (non sono stati utilizzati i valori riscontrati a minori profondità in quanto nei primi metri di approfondimento della punta la restituzione del dato non risulta sempre precisa)



$$k_{tot,CPTUi} = S_{tot,CPTUi} / \sum \frac{S_i}{k_i}$$

I valori ottenuti da ciascuna prova CPTU (k_{tot} , $CPTUi$) sono stati poi utilizzati per calcolare il valore di conducibilità idraulica medio di tutte le prove, alle varie profondità:

$$k_{tot,medio} = \sum \frac{S_{tot,CPTUi}}{t_{tot,CPTUi}}$$

dove $S_{tot,CPTUi}$ indica lo spessore totale dello strato attraversato sino alla profondità di interesse per la singola prova CPTU e $t_{tot,CPTUi}$ indica il tempo totale di attraversamento di tale strato.

I dati ottenuti hanno indicato che già alla quota di 3,5 m s.l.m. (7 m da p.c.) si ottengono valori equivalenti di conducibilità idraulica nell'ordine di 10^{-8} m/s.

5.2 Determinazione conducibilità idraulica da prove geotecniche di laboratorio

Come descritto al Capitolo 4.2 sui campioni prelevati dai sondaggi S1, S2 ed S3 in corrispondenza dell'orizzonte saturo sono state effettuate le prove di permeabilità a carico variabile per la determinazione delle conducibilità idraulica k .

I risultati completi delle prove sono riportati in Allegato 3. In Tabella 1 sono riportati i valori di conducibilità idraulica k per i campioni prelevati in corrispondenza degli orizzonti saturi.

	S1	S2	S3
Profondità da p.c.	3,50-3,80 m	3,50-3,85 m	3,00-3,60 m
Classificazione geotecnica	Limo argilloso grigio chiaro	limo argilloso grigio marrone	Limo argilloso grigio chiaro
k (m/s)	1,56 E-09	9,87 E-10	7,24 E-10

Tabella 1 – Risultati prove geotecniche sui campioni saturi, determinazione della conducibilità idraulica k

Tali valori possono essere posti a confronto con i risultati ottenuti dalle prove CPTU ed in particolare con i risultati delle prove realizzate in prossimità di tali sondaggi (si veda Figura 4), ovvero:

- CPTU20, in prossimità del sondaggio S1;
- CPTU11, in prossimità del sondaggio S2;
- CPTU17, in prossimità del sondaggio S3.

Considerando i valori di conducibilità idraulica istantanea ottenuti dalle prove CPTU (Allegato 1) per ogni cm di avanzamento della punta, in corrispondenza delle profondità di prelievo dei campioni, ed applicando la seguente relazione in cui si eguaglia la sommatoria del tempo di attraversamento di ciascun cm di avanzamento (strato “-i”), valutato con gradiente idraulico unitario (per moto verticale), al tempo di attraversamento dello strato tra le profondità di interesse, è possibile calcolare la conducibilità idraulica equivalente dello strato, k_{tot} :

$$\sum \frac{S_i}{k_i} = \frac{S_{tot}}{k_{tot}}$$



$$k_{tot} = S_{tot} / \sum \frac{S_i}{k_i}$$

Effettuando questo calcolo per ciascuna delle prove CPTU realizzate in prossimità dei sondaggi dai quali sono stati prelevati i campioni da sottoporre ad analisi geotecnica di laboratorio, facendo uso dei valori di conducibilità idraulica istantanea rilevati tra le profondità corrispondenti alle quote di prelievo dei campioni (3,50 - 3,80 m per S1, 3,50-3,85 m per S2 e 3,00-3,60 m per S3) sono stati ricavati i valori di conducibilità idraulica equivalente dello strato.

I risultati sono riportati in Tabella 2.

	CPTU20	CPTU11	CPTU17
Profondità da p.c.	3,50-3,80 m	3,50-3,85 m	3,00-3,60 m
Quota s.l.m.	7,59-7,29 m s.l.m.	6,92-6,57 m s.l.m.	7,75-7,15 m s.l.m.
k (m/s)	1,65 E-08	2,14 E-08	2,71 E-08

Tabella 2 – Valori di conducibilità idraulica istantanea media dalle prove CPTU

Confrontando i valori ottenuti dalle prove geotecniche effettuate in laboratorio con i valori ottenuti dalle prove CPTU (Tabella 1 e Tabella 2), si osserva che il valore di conducibilità idraulica (verticale) ottenuto in laboratorio dalla prova di permeabilità a carico variabile risulta di almeno un ordine di grandezza inferiore rispetto a quello ottenuto con le prove CPTU (che si ritiene maggiormente rappresentativo della conducibilità orizzontale).

Quanto si evince da tale confronto risulta in linea con quanto noto in letteratura: strutture litologiche caratterizzate da fitte alternanze di terreni di natura prevalentemente argillosa o argilloso-limosa con terreni di natura prevalentemente sabbiosa o sabbioso-limosa, come nel caso in esame, sono caratterizzati da valori di conducibilità idraulica orizzontale più elevati di almeno un ordine di grandezza rispetto a quelli verticali.



6.0 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Sulla base dell'inquadramento litologico del Sito ed in funzione dei risultati delle prove CPTU e delle indagini geotecniche di laboratorio eseguite in corrispondenza dell'Area di MISP, si desume quanto segue:

- il modello litostratigrafico locale denota la presenza, fino alle massime profondità indagate (circa 20 m dal p.c., -9,5 m s.l.m.), di una fitta alternanza di terreni di natura prevalentemente argillosa o argilloso-limosa e terreni di natura prevalentemente sabbiosa o sabbioso-limosa. In particolare, si rilevano:
 - dal p.c., posto mediamente a 10,5 m s.l.m., fino a circa 7,5 m s.l.m., terreni di natura argillosa riconducibili allo strato di caranto che è stato interessato dalle attività di cava;
 - da circa 7,5 m s.l.m. si osserva la presenza di un'alternanza di terreni di natura sabbiosa/sabbioso-limosa/argilloso-limosa sino ad una quota di circa 3,5 m s.l.m., profondità alla quale si riscontra la presenza di uno strato di argilla con spessori variabili da qualche decina di cm a quasi un metro;
 - da circa 3,5 m s.l.m., sono presenti terreni di natura prevalentemente sabbiosa o sabbioso-limosa, che si alternano a livelli decimetrici di terreni di natura argillosa o argilloso-limosa;
 - ad una quota di circa -6,5 m s.l.m. (circa 17 m da p.c.) si rileva la presenza di un orizzonte di natura argillosa con spessori variabili, al di sotto del quale tornano a prevalere gli strati sabbiosi.

In conclusione, la ricostruzione del modello litostratigrafico effettuata sulla base delle prove penetrometriche e delle evidenze dirette risultanti dai carotaggi effettuati in passato ha confermato l'esistenza di una fitta alternanza di terreni in matrice fine, ma la sostanziale assenza di un unico orizzonte coesivo continuo e di potenza almeno dell'ordine dello spessore di un diaframma da 0,5 m quale quello ipotizzato in progetto.

Si ritiene pertanto sia più cautelativo riferirsi, per quanto attiene allo strato di immersione del diaframma stesso, non ad un unico ben definito orizzonte litologico caratterizzato da un coefficiente di permeabilità isotropo e costante (orizzonte, come detto, non riscontrabile nell'Area di MISP), bensì ad un sistema multistrato indifferenziato formato dall'intera successione di terreni di natura argillosa e limoso-argillosa che si incontrano nei primi 7 m da p.c.

- le alternanze di terreni di natura argillosa e argilloso-limosa presenti fino a circa 3,5 m s.l.m. formano un sistema multistrato a bassa permeabilità costituito da livelli che, nonostante non presentino singolarmente caratteristiche di continuità spaziale sull'intera Area di MISP, nel loro complesso rappresentano un orizzonte stratigrafico a bassa permeabilità all'interno del quale si ipotizza avvenire la migrazione verticale dei contaminanti;
- l'elaborazione dei dati provenienti dalle prove CPTU ha consentito di calcolare, in corrispondenza dei vari orizzonti stratigrafici attraversati durante le prove, i valori di conducibilità idraulica progressivamente mediati sulla verticale, evidenziando già alla quota di 3,5 m s.l.m. valori equivalenti di conducibilità idraulica nell'ordine di 10^{-8} m/s;
- i risultati delle prove di permeabilità svolte in laboratorio sui campioni geotecnici indisturbati, prelevati allo scopo di acquisire i dati di input sito specifici per l'Analisi di Rischio, evidenziano generalmente valori di conducibilità idraulica inferiori di almeno un ordine di grandezza rispetto a quelli mediati sulla verticale calcolati, alle medesime profondità, dai dati provenienti dalle prove CPTU;
- le modalità di svolgimento delle prove CPTU, che identificano strati con differenti caratteristiche di permeabilità basandosi sulle misure contemporanee di resistenza alla penetrazione della punta (qc) e di pressione neutrale in corrispondenza dell'elemento poroso anulare posto in prossimità della punta (u), portano a ritenere che i valori equivalenti di conducibilità idraulica calcolati siano più rappresentativi della permeabilità orizzontale delle strutture litologiche indagate;
- analogamente, le modalità di svolgimento delle prove di permeabilità effettuate sui campioni geotecnici indisturbati, portano a ritenere che i valori di conducibilità idraulica riscontrati in laboratorio siano più rappresentativi della permeabilità verticale delle strutture litologiche attraversate;



- è noto in letteratura come, soprattutto in strutture litologiche caratterizzate da fitte alternanze di terreni di natura prevalentemente argillosa o argilloso-limosa con terreni di natura prevalentemente sabbiosa o sabbioso-limosa, come nel caso in esame, i valori di conducibilità idraulica orizzontale siano più elevati di almeno un ordine di grandezza rispetto a quelli verticali. Tale considerazione risulta in linea con il confronto, in corrispondenza del medesimo orizzonte stratigrafico, tra i valori di conducibilità idraulica calcolati dai dati provenienti dalle prove CPTU e quelli riscontrati in laboratorio nelle prove di permeabilità effettuate sui campioni geotecnici indisturbati;
- le considerazioni sopra espresse portano a ritenere che il valore di conducibilità idraulica equivalente calcolato alla quota di 3,5 m s.l.m. elaborando i dati provenienti dalle prove CPTU, nell'ordine di 10^{-8} m/s, sia cautelativo in termini di permeabilità verticale e che quest'ultima, pertanto, sia più in linea con valori medi nell'ordine di 10^{-9} m/s;
- nel caso in esame, considerando che i rifiuti che costituiscono la sorgente di contaminazione risultano presenti fino ad una profondità di circa 3 m dal p.c., corrispondente a circa 7,5 m s.l.m., ipotizzando che il sistema multistrato nel quale avviene la potenziale migrazione verticale dei contaminanti raggiunga la quota di 3,5 m s.l.m., lo spessore di tale sistema multistrato risulta pari ad almeno 4 m;
- in quest'ottica, pertanto, intestando il diaframma verticale di confinamento dell'Area di MISP ad una quota di fondo di 3,5 m s.l.m., prima di incontrare a maggiore profondità orizzonti stratigrafici più permeabili di natura prevalentemente sabbiosa o sabbioso-limosa, la struttura viene realizzata all'interno di un sistema multistrato formato da terreni di natura argillosa e argilloso-limosa che, nonostante si alternino in livelli di potenza decimetrica, si può considerare costituiscano, nel loro complesso, la migliore soluzione per approssimare un orizzonte stratigrafico di spessore superiore al metro e conducibilità idraulica verticale nell'ordine di 10^{-9} m/s (valori caratteristici riferiti al D.Lgs. 36/2003 per la barriera di confinamento, di spessore pari ad almeno 1 m, prevista al fondo delle discariche per rifiuti non pericolosi).



Firme della Relazione



Nicola Lovadina
Dott. Geol. Nicola Lovadina
Geologo



Silvia Cestaro
Ing. Silvia Cestaro
Environmental Engineer



Moreno Zanella
Ing. Moreno Zanella
Environmental Engineer



Andrea Scalabrin
Ing. Andrea Scalabrin
Project Manager



Jean Pierre Davit
Ing. Jean Pierre Davit
Project Director

Golder Associates è una società internazionale che offre, da oltre 50 anni, servizi di consulenza, progettazione e realizzazione nel campo delle scienze ambientali, dell'ingegneria geotecnica e dell'energia. La nostra mission "Engineering Earth's Development, Preserving Earth's Integrity" sottolinea il nostro costante impegno verso l'eccellenza - sia in campo tecnico, sia nella cura del servizio al cliente - e verso la sostenibilità.

Per maggiori informazioni visitate il sito www.golder.com

Africa	+ 27 11 254 4800
Asia	+ 86 21 6258 5522
Oceania	+ 61 3 8862 3500
Europa	+ 44 1628 851851
America del Nord	+ 1 800 275 3281
America del Sud	+ 56 2 2616 2000

solutions@golder.com
www.golder.com

Golder Associates S.r.l.
Via Castelfidardo 11
35141 Padova
Italia
T: +39 049 78 49 711

