

Regione Veneto

Provincia di Treviso

Comune di Roncade

AMPLIAMENTO DISCARICA PER RIFIUTI INERTI
EX CAVA "MUSESTRE"

PROGETTO DEFINITIVO

A2

RELAZIONE GEOLOGICA

Data: Dicembre 2010

Cod.: 1048/1

Committente



Fornaci Del Sile S.r.l.

Via Treponti, 63

31056 Roncade (TV)

Tel.: (+39) 0422-824110 - Fax: (+39) 0422-825918

E-mail: info@fornacidelsile.it - Web: www.fornacidelsile.it

Studio Tecnico Conte & Pegorer

ingegneria civile e ambientale

Via Siora Andriana del Vescovo, 7 – 31100 TREVISO

e-mail: segreteria@studiocontepegorer.191.it

tel. 0422.30.10.20 r.a. - fax 0422.42.13.01

INDICE

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	4
3	GEOMORFOLOGIA	6
4	GEOLOGIA	8
4.1	DATI GENERALI	8
4.2	PEDOLOGIA	9
4.3	GEOLOGIA LOCALE	12
4.3.1	<i>Stratigrafie dei sondaggi 1997 e 2002</i>	13
4.3.2	<i>Prove penetrometriche CPTU 2010</i>	18
4.3.3	<i>Sezioni stratigrafiche</i>	18
4.3.4	<i>Prove geotecniche di laboratorio</i>	19
5	IDROGEOLOGIA	20
5.1	DATI GENERALI	20
5.2	FALDE SUPERFICIALI	22
5.3	FALDE PROFONDE	22
5.4	PIEZOMETRI	23
5.5	UBICAZIONE DEI POZZI ACQUEDOTTISTICI	25
6	VERIFICA DEI CEDIMENTI DIFFERENZIALI DEL PIANO DI POSA DEI RIFIUTI	26
6.1	EFFETTI DEI CEDIMENTI DIFFERENZIALI	26
6.2	METODOLOGIA	26
6.3	CALCOLO DEI CEDIMENTI	28
6.4	CONSIDERAZIONI SUI CEDIMENTI CALCOLATI	42
7	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE DELLA SCARPATA	43
7.1	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E IDROGEOLOGICHE	45
7.1.1	<i>Terreno naturale</i>	45
7.1.2	<i>Strato di rifiuti</i>	45
7.1.3	<i>Strato di copertura</i>	45
7.1.4	<i>Argilla di impermeabilizzazione</i>	45
7.1.5	<i>Ghiaia per dreno e rinforzo</i>	45
7.1.6	<i>Terreno compattato che costituisce il rilevato</i>	46
7.1.7	<i>Livello della falda</i>	46
7.2	ESECUZIONE DELLA VERIFICA	46
7.2.1	<i>Metodo Equilibrio Limite (LEM)</i>	46
7.2.2	<i>Metodo dei concii</i>	48
7.2.3	<i>Valutazione dell'azione sismica</i>	50
7.2.4	<i>Ricerca della superficie di scorrimento critica</i>	52
7.3	CONCLUSIONI SULLA VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE	57
8	CONCLUSIONI	58

1 PREMESSA

La presente relazione geologica di dettaglio è stata redatta come parte integrante del progetto definitivo di realizzazione dell'ampliamento della discarica dell'ex cava di argilla "Torzo - Musestre" di Roncade.

Sono stati esaminati gli aspetti geologici, morfologici, geotecnici ed idrogeologici dell'area oggetto d'intervento, con particolare attenzione alle caratteristiche idrogeologiche, di fondamentale importanza per l'impostazione del fondo discarica ed il posizionamento dei pozzi di controllo.

Lo studio è stato redatto sulla base, oltre dei dati bibliografici e storici reperibili, delle varie indagini geognostiche eseguite in passato integrata da una nuova campagna di indagine.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il sito è ubicato nella bassa pianura veneta in prossimità del confine fra la provincia di Treviso e la provincia di Venezia, nel territorio agricolo compreso fra Roncade, Casale sul Sile e Quarto d'Altino.

L'area rientra in un contesto estrattivo esaurito per l'approvvigionamento di argilla situato lungo Via Claudia Augusta.

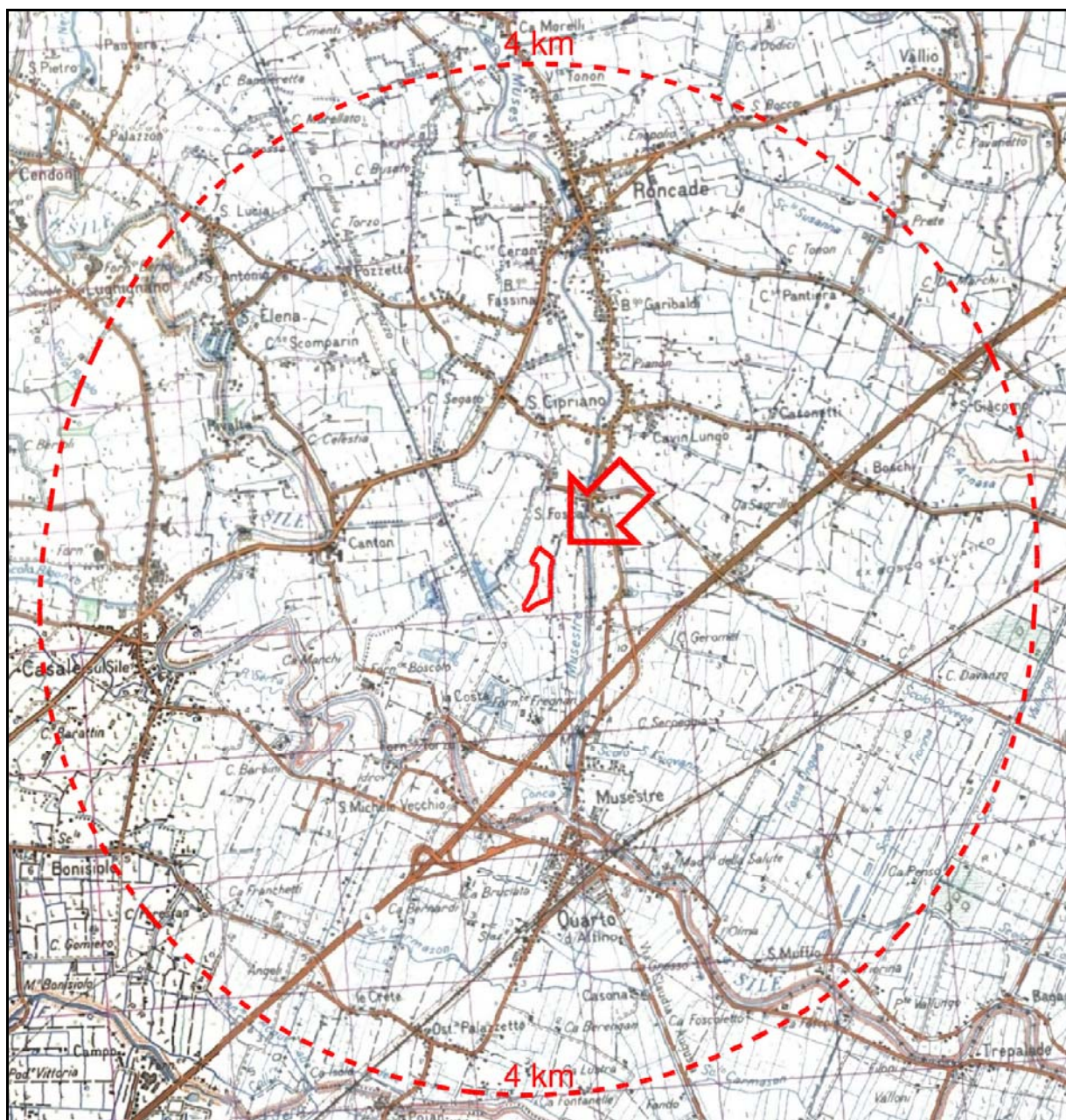


Figura 1: Ubicazione geografica del sito con indicata l'isolinea di equidistanza di 4 km.

L'andamento generale della zona è pianeggiante, con quota topografica media dell'area pari a circa 3 m.s.l.m., ed una inclinazione verso SE; in ogni caso l'intervento antropico ha notevolmente modificato gli originari caratteri naturali.

L'area è inserita in un contesto tipicamente agricolo, caratterizzato dalla prevalenze di colture di tipo seminativo (coltivazione del mais, della soia e dell'orzo) e secondariamente dalla presenza di vigneti.

L'area in oggetto è una vecchia cava a suo tempo adibita all'estrazione di argilla.

La viabilità è quella tipica del paesaggio rurale di bassa pianura, con rete viaria sufficientemente sviluppata caratterizzata da un fitto intreccio di strade secondarie.

L'area è accessibile da due punti:

- da Via Claudia Augusta, strada collegata a Nord con la Strada Provinciale n. 64 "Zermanesa", qui Via Belvedere;
- da Via San Pio X, strada collegata anch'essa, dopo un andamento vario, alla Strada Provinciale n. 64 "Zermanesa", verso Nord Ovest, e alla Strada Provinciale n. 112 "Del Musestre", verso Est.

Le strade provinciali citate sono agevolmente raggiunte dalle principali località del trevigiano e del veneziano.

Gli accessi autostradali più prossimi sono il casello di Preganziol sulla A4, posto ad oltre 8 km, e il casello di Treviso Sud, posto a circa 10 km sulla A27.

I centri abitati più vicini sono S. Fosca situato a circa 750 m a Nord e Musestre a 1.500 m a Sud. Centri abitati più importanti come Roncade, Casale sul Sile e Quarto d'Altino si trovano ad oltre 1.500 m. Frequenti sono le case isolate talvolta abbandonate e gli agglomerati composti da poche unità.

All'interno dell'area non esistono né insediamenti abitativi, né opifici né manufatti, ad eccezione di un rudere, né valori paesaggistici da preservare.

3 GEOMORFOLOGIA

L'area interessa un territorio pianeggiante ricadente nella Bassa Pianura Trevigiana, a Sud della linea delle risorgive, caratterizzato da lineamenti dolci ed uniformi.

L'andamento generale della zona è pianeggiante, con quote topografiche medie al di fuori dell'area di circa 4 m s.l.m. con debole pendenza verso SSE;

L'elemento morfologico locale di maggior rilievo è rappresentato dal reticolo idrografico, con elemento di spicco nel Fiume Sile, di secondaria importanza è il Fiume Musestre che presenta una direzione Nord-Sud e si trova 270 m ad Ovest.

Il Sile è un fiume di risorgiva che in questa zona presenta un andamento Nord-Ovest/Sud-Est, il corso è meandriforme tipico dei fiumi della bassa pianura, è posto ad una distanza minima di circa 1100 m a Sud Ovest dall'area d'intervento.

Il Sile è notoriamente il maggior fiume tra quelli che traggono origine dal sistema delle risorgive, caratterizzato da portate piuttosto costanti nel corso dell'anno (22.37 m³/s, di cui 9.55 m³/s quali deflussi di risorgiva propria; i dati sono stati elaborati partendo da quelli riportati in "Restituzione freatica ai fontanili nell'alta pianura veneta, tra il fiume Piave e i Monti Lessini, CNR-IRSA, 1980).

Anche il Musestre è un fiume di risorgiva, che nasce a Breda di Piave e riceve le acque del Musestrelle e del Fossa. Dopo aver attraversato il centro di Roncade, sfocia nel Sile, in corrispondenza del paese omonimo. Verso la fine del suo corso, dopo il mulino Rachello, si divide in due rami paralleli che si riunificano poco dopo. Il toponimo sarebbe di origine gallica, composto dei termini mosa ("palude") e estre ("dimora signorile rurale"), ricollegandosi ad un insediamento vicino a una palude bonificata.

Vi è inoltre una fitta rete di canalizzazioni secondarie realizzate per l'irrigazione dei campi nella quale possiamo distinguere dei fossati o canali principali e secondariamente fossati di dimensioni ridotte.

La morfologia presenta le caratteristiche tipiche della bassa pianura veneta in cui gli aspetti originari sono stati oblitterati dall'intenso sfruttamento agricolo ed estrattivo.

In particolare sono frequenti le ex-cave attualmente occupate da specchi d'acqua, che talvolta hanno modificato l'andamento idrologico naturale.

L'attività estrattiva svolta nel passato ha trasformato la morfologia pianeggiante ed uniforme in un insieme di cavità relitte, disarticolate ed in parte riempite d'acqua, praticamente stagnante e spesso acquitrinosa, con vegetazione di tipo palustre.

Il paesaggio che ne è derivato (depressioni e laghetti) appare chiaramente in contrasto con l'ambiente agricolo dei territori circostanti.

I campi non soggetti all'attività estrattiva presentano la tipica baulatura dei terreni utilizzati in agricoltura con pendenze inferiori all'1%.

4 GEOLOGIA

4.1 DATI GENERALI

Il territorio in esame, appartiene alla cosiddetta «Bassa Pianura Veneta», costituita essenzialmente da depositi di origine alluvionale continentale molto recenti (Pleistocene ed Olocene).

Senza approfondire eccessivamente la descrizione dei complessi fenomeni deposizionali che hanno portato alla costruzione della pianura veneta, si possono tuttavia rimarcare le seguenti note:

La pianura trevigiana è suddivisa in due porzioni dalla cosiddetta «Fascia delle risorgive», che rappresenta un limite fisico e litologico. In particolare la porzione a Nord della succitata fascia viene denominata «Alta Pianura», quella a Sud «Bassa Pianura».

L'Alta Pianura si estende per una fascia larga mediamente una decina di chilometri ed è caratterizzata da un materasso alluvionale esteso dalla «fascia delle Risorgive» fino a ridosso dei rilievi prealpini e costituito quasi esclusivamente da ghiaie in matrice più o meno sabbiosa, per spessori di alcune centinaia di metri.

Intercalate a tali ghiaie si possono rinvenire delle sottili lenti sabbiose, talora limose, con potenza decimetrica.

Nel sottosuolo è presente un acquifero unico, indifferenziato, di grande potenzialità, normalmente utilizzato per scopi idropotabili, alimentato dalle precipitazioni efficaci, dalla dispersione dei corsi d'acqua (in particolare del Piave), dal ruscellamento dei rilievi prealpini e dall'irrigazione.

Nella Bassa Pianura le ghiaie vengono rapidamente sostituite da materiali fini a bassa o nulla permeabilità (argille e limi) alternati ad orizzonti sabbiosi, sabbioso-ghiaiosi.

Tali orizzonti a più elevata permeabilità contengono normalmente delle falde in pressione («falde artesiane» o «falde risalenti»), alimentate esclusivamente dal potente acquifero contenuto nell'Alta Pianura. Si genera quindi un sistema multistrato, con terreni acquiferi separati da potenti bancate di materiali argillosi.

Si assiste ad una venuta a giorno della falda freatica in corrispondenza delle risorgive (che praticamente drenano completamente la falda freatica) ed alla conseguente formazione di una rilevante rete idrografica; contemporaneamente il monoacquifero dell'Alta Pianura comincia a differenziarsi in almeno 6 «*falde confinate*» profonde utilizzate per approvvigionamenti di varia natura.

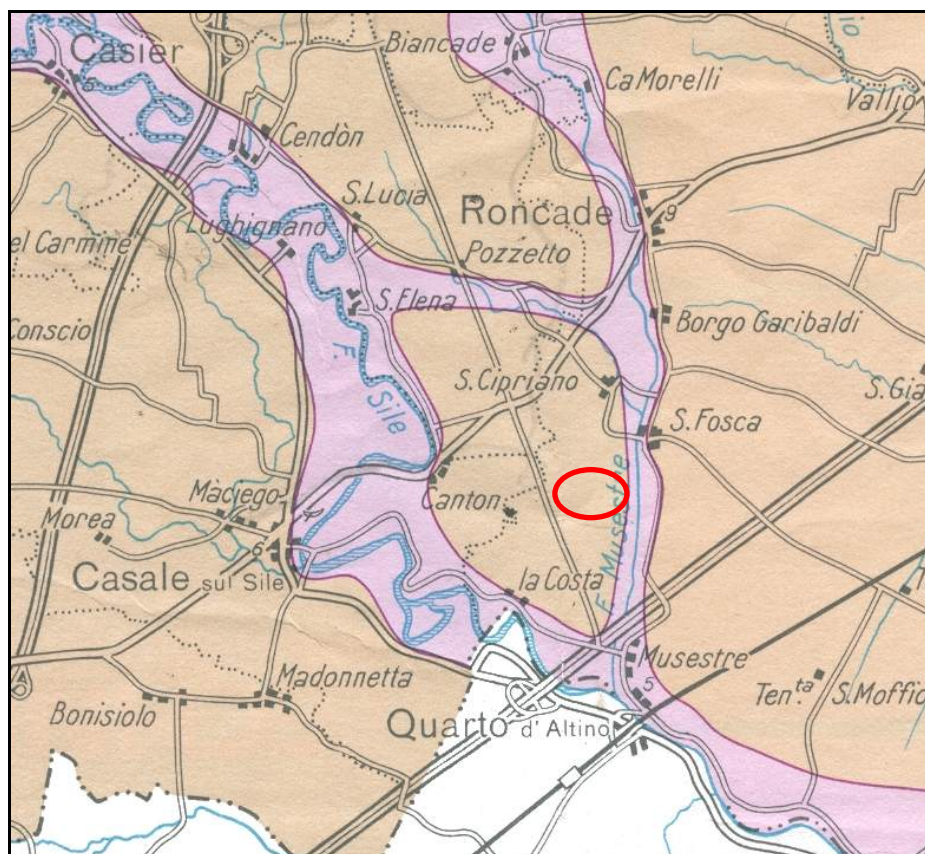
Non è più possibile invece sfruttare la falda freatica a scopi potabili in quanto, pur potendosi ancora localizzare in lenti di terreno prevalentemente sabbioso, vengono rapidamente a decadere i presupposti di permeabilità del mezzo e soprattutto la continuità e l'abbondanza dell'alimentazione.

Il sottosuolo dell'area in esame deriva dall'apporto delle correnti di fusione glaciale e postglaciali del Piave e del fiume Brenta, successivamente rimaneggiate dall'azione del fiume Sile.

In particolare i sedimenti più superficiali appartengono alle correnti più distali del Brenta, e pertanto sono caratterizzati da granulometrie prevalentemente fini ed omogenee di tipo limoso-argillose; tale omogeneità viene interrotta in corrispondenza della bassura del Sile, presumibilmente impostato in corrispondenza di un paleoalveo del Piave, i cui sedimenti sono costituiti prevalentemente da ghiaia medio-fine in matrice sabbioso-limosa.

4.2 PEDOLOGIA

Il terreno agrario superficiale viene classificato nello studio di Alvisè Comel "*TERRENI AGRARI DELLA PROVINCIA DI TREVISO*" come "Terreni argillosi o sabbioso-argillosi di antica alluvione in vario stato di decalcificazione e spesso con caranto"



Terreni argillosi o sabbioso-argillosi di antica alluvione in vario stato di decalcificazione e spesso con caranto.



Terreni calcareo-dolomitici sabbiosi, o sabbioso-limosi, spesso misti a ciottoli, o riposanti su ghiaie.

Figura 2: Estratto dalla Carta dei "terreni agrari della provincia di Treviso" di Alvise Comel

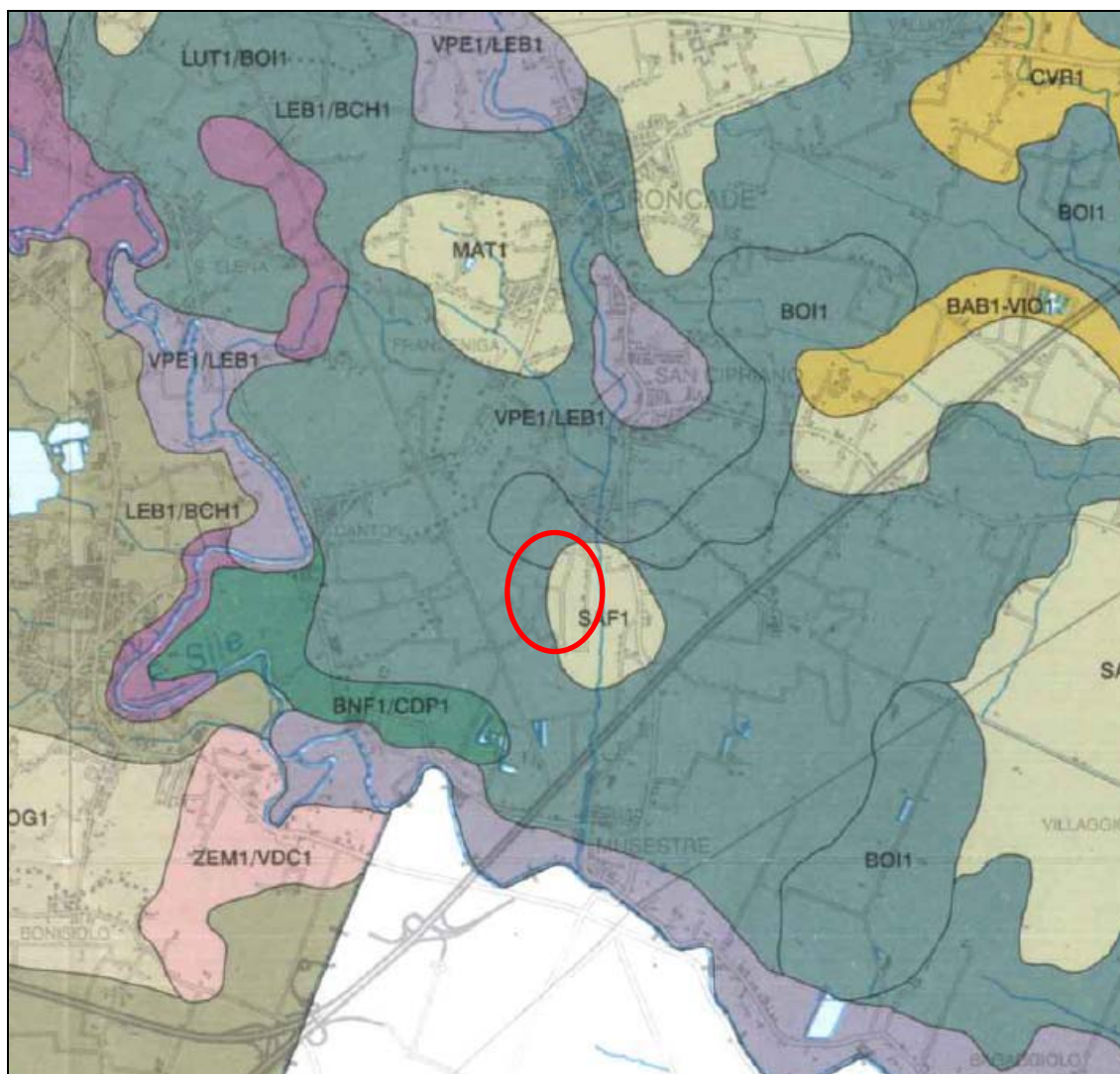
Trattasi dei terreni tipici della Bassa Pianura, con caratteristiche agrarie simili in tutto il territorio interessato; le eventuali variazioni sono determinate da una differente quantità in contenuti di sabbia e decalcificazione, che provocano un differente stato di addensamento e compattazione.

Il colore prevalente è il bruno-giallastro, determinato dalla presenza degli idrati di ferro di alterazione.

La composizione media di questi terreni, in base alla bibliografia, prevede una distribuzione in parti pressoché simili di sabbia, argilla e limo a cui è da aggiungere la debole presenza di carbonati.

In profondità è spesso presente un orizzonte biancastro nodulare denominato "caranto", formatosi in seguito a rideposizione di carbonato di calcio solubilizzato in superficie.

Recentemente l'A.R.P.A.V. ha condotto dal 2003 al 2007 uno studio approfondito sui suoli della pianura trevigiana. L'elaborazione dei dati ha permesso la stesura di una carta dei suoli.



P3 Bassa pianura antica (pleni-tardiglaciale) con suoli decarbonati e con accumulo di carbonati negli orizzonti profondi.



P3.5 Aree dossiformi di transizione tra alta e bassa pianura, costituite prevalentemente da limi, sabbie e ghiaie.
Unità Cartografiche: **LMA1/BNF1, GOD1/BNF1**



P3.1 Dossi fluviali poco espressi, costituiti prevalentemente da sabbie.
Unità Cartografiche: **BNF1/CDP1**



P3.2 Pianura alluvionale indifferenziata, costituita prevalentemente da limi.
Unità Cartografiche: **MAT1, MAT1/LUT1, SAF1**



P3.3 Depressioni della pianura alluvionale, costituite prevalentemente da argille e limi.
Unità Cartografiche: **LUT1, LUT1/BOI1, BOI1, OLM1, STG1/BOI1**

Figura 3: Estratto della Carta dei Suoli della Provincia di Treviso. ARPAV.

Il sito in esame ricade nella bassa pianura antica con suoli decarbonatati e con accumulo di carbonati negli orizzonti profondi, in particolare: in parte è caratterizzata da depressioni della pianura alluvionale costituite prevalentemente da argille e limi (suoli LUT1/BOI1), in parte rientra nella pianura alluvionale indifferenziata costituita prevalentemente da limi (SAF1).

I primi sono suoli a profilo Ap-Bw-BCkg-Ckg, profondi, tessitura da fine in superficie a media in profondità, privi di scheletro, da molto calcarei in superficie a estremamente calcarei in profondità, drenaggio lento, permeabilità bassa, con concrezioni di carbonato di calcio in profondità, con moderata tendenza a fessurare durante la stagione estiva, falda molto profonda.

I secondi sono suoli a profilo Ap-B(k)-C(k)g, profondi, tessitura da moderatamente fine in superficie a moderatamente grossolana in profondità, da moderatamente calcarei in superficie a estremamente calcarei in profondità, drenaggio mediocre, permeabilità moderatamente alta, con accumulo di carbonati in profondità, falda profonda.

Più in profondità la stratigrafia del sottosuolo è ben nota ai cavaatori della zona, almeno fino a 8-10 m di profondità; uno spessore di argille superficiali di 1.7-2 m, coltivabile per la confezione di laterizi, è seguito verso il basso, fino a 5-8 m, da un orizzonte di argille sabbiose e limose, non utilizzabile per le fornaci a causa dell'elevato contenuto in carbonati.

La natura litostratigrafica del sottosuolo può essere dedotta dai sondaggi realizzati in sito e dalle prove penetrometriche recentemente eseguite.

4.3 GEOLOGIA LOCALE

Sull'area in esame sono state condotte le seguenti indagini in situ:

- 2 sondaggi a carotaggio continuo profondi uno 15 m da p.c. ed uno 25 m da p.c. nel 1997
- 5 sondaggi a carotaggio continuo profondi 10 m nel gennaio 2002
- 6 piezometri doppi per il monitoraggio della falda più superficiale semiconfinata tra 2 e 3 m da p.c. e della falda confinata tra 7 e 9 m da p.c. nell'agosto 2002.
- 6 prove penetrometriche con piezocono CPTU spinte fino a 10 m di profondità dal piano campagna in aprile 2010.

Sono inoltre state eseguite le seguenti indagini di laboratorio:

STUDIO TECNICO CONTE & PEGORER – Via Siora Andriana del Vescovo, 7 – 31100 TREVISO

- 2 limiti di Attemberg sui campioni di argilla prelevati dai sondaggi del 1997.
- 2 prove di permeabilità diretta a carico variabile su campioni di argilla prelevati dai sondaggi del 1997.
- 2 limiti di Attemberg sui campioni di argilla prelevati dai sondaggi del gennaio 2002.
- 2 prove di consolidazione edometrica sui campioni di argilla prelevati dai sondaggi del gennaio 2002.
- 9 analisi chimiche dell'acqua di falda prelevata dai piezometri realizzati nell'agosto 2002.

Nella tavola allegata al progetto, TAV. B02: STATO DI FATTO Rilievo topografico sono ubicate le indagini eseguite nel sito.

4.3.1 Stratigrafie dei sondaggi 1997 e 2002

I sondaggi da 1 a 5 sono stati realizzati nel 2002 mentre i sondaggi rinominati 6 e 7 sono stati realizzati nel 1997.

Di seguito si riportano le stratigrafie relative ai 7 sondaggi:

Sondaggio1

Da 0,0 a 0,1m terreno vegetale leggermente sabbioso marrone

Da 0,1 a 0,6 m limo debolmente sabbioso debolmente argilloso marroncino

Da 0,6 a 1,1 m limo debolmente sabbioso grigiastro marroncino con piccoli ciottoli arrotondati

Da 1,1 a 1,5 m limo sabbioso grigiastro

Da 1,5 a 1,7 m argilla debolmente limosa grigiastra con frustoli di canna

Da 1,7 a 2,0 m limo argilloso

Da 2,0 a 3,2 m argilla grigia con piccole macchie nere

Da 3,2 a 4,0 m limo sabbioso grigio

Da 4,0 a 4,3 m limo argilloso grigio

Da 4,3 a 4,95 m argilla debolmente limosa grigia

Da 4,95 a 5,05 m torba

Da 5,05 a 5,4 m argilla debolmente limosa grigia

Da 5,4 a 6,0 m alternanza di limo argilloso e limo debolmente sabbioso in strati sfumati di spessore da 2 a 7cm

Da 6,0 a 9,5 m sabbia media e fine

Da 9,5 a 10 limo argilloso grigio

Sondaggio 2

Da 0,0 a 0,4 m sabbia fine leggermente limosa marroncina nera

Da 0,4 a 0,9 m argilla grigio chiara con qualche macchia nera

Da 0,9 a 1,1 m torba

Da 1,1 a 1,4 m argilla debolmente limosa grigia

Da 1,4 a 1,5 m torba

Da 1,5 a 1,7 m limo debolmente sabbioso

Da 1,7 a 3,6 m argilla debolmente limosa grigia

Da 3,6 a 4,0 m argilla debolmente limosa

Da 4,0 a 4,5 m argilla limosa grigia

Da 4,5 a 4,8 m limo sabbioso grigiastro

Da 4,8 a 5,2 m limo argilloso grigio

Da 5,2 a 5,5 m sabbia fine limosa

Da 5,5 a 5,7 m argilla limosa grigiastra

Da 5,7 a 5,8 m limo sabbioso

Da 5,8 a 6,2 limo argilloso con qualche livello centimetrico di torba

Da 6,2 a 7,0 m limo debolmente sabbioso

Da 7,0 a 8,9 m sabbia fine e media

Da 9,9 a 9,4 m limo argilloso grigio con macchie nere

Da 9,4 a 10 m limo debolmente sabbioso grigiastro

Sondaggio 3

Da 0,0 a 0,7 m limo sabbioso debolmente argilloso marroncino oca

Da 0,7 a 1,0 m limo debolmente sabbioso grigiastro con macchie oca e piccoli nuclei di cementazione carbonatica biancastri

Da 1,0 a 1,6 m limo argilloso marroncino grigiastro

Da 1,6 a 1,7 m argilla grigia azzurra

Da 1,7 a 2,0 m argilla debolmente limosa inconsistente

Da 2,0 a 2,5 m limo debolmente sabbioso

Da 2,5 a 3,5 m limo argilloso grigio con venature di sabbia tra 2,7 e 3 m

Da 3,5 a 4,0 m sabbia fine limosa grigia

Da 4,0 a 4,7 m sabbia fine localmente media

Da 4,7 a 5,0 m sabbia fine debolmente limosa

Da 5,0 a 6,5 m sabbia media e fine con qualche livello debolmente limoso

Da 6,5 a 7,2 m argilla grigia con livelli marroni ricchi di materiale organico

Da 7,2 a 9,0 m sabbia media e fine a tratti debolmente limosa

Da 9,0 a 9,3 m argilla debolmente limosa grigia

Da 9,3 a 9,7 sabbia fine debolmente limosa grigia

Da 9,7 a 10,0 m limo sabbioso grigio

Sondaggio 4

Da 0,0 a 0,5 m sabbia fine limosa marroncino ocra

Da 0,5 a 1,0 m limo argilloso grigiastro con macchie ocra

Da 1,0 a 1,6 m limo debolmente sabbioso marroncino grigiastro con sfumature ocra

Da 1,6 a 2,0 m limo sabbioso grigio

Da 2,0 a 2,8 m sabbia fine e localmente media a tratti debolmente

Da 2,8 a 3,0 m limo leggermente sabbioso

Da 3,0 a 4,0 m argilla leggermente limosa con qualche velatura di sabbia fina

Da 4,0 a 4,6 m alternanza di limo argilloso e limo leggermente sabbioso in strati sfumati di spessore da 1 cm.

Da 4,6 a 4,9 m limo sabbioso grigio

Da 4,9 a 5,2 m alternanza di limo argilloso e limo leggermente sabbioso in strati millimetrici e centimetrici sfumati.

Da 5,2 a 5,6 m argilla leggermente limosa grigiastra con macchie

Da 5,6 a 6,0 m sabbia fine limosa grigia

Da 6,0 a 6,5 m sabbia fine e localmente media

Da 6,5 a 6,9 m argilla grigia chiara con piccole macchie nere

Da 6,9 a 7,0 torba

Da 7,0 a 7,3 m argilla grigiastra

Da 7,3 a 7,4 m limo sabbioso

Da 7,4 a 9,0 sabbia fine limosa

Da 9,0 a 9,3 m limo argilloso grigio

Da 9,3 a 10,0 m limo sabbioso grigiastro

Sondaggio 5

Da 0,0 a 0,2 m terreno vegetale limoso leggermente sabbioso marroncino

Da 0,2 a 0,8 m limo sabbioso debolmente argilloso marroncino grigiastro

Da 0,8 a 1,1 m limo leggermente sabbioso grigio
Da 1,1 a 1,5 m sabbia fine debolmente limosa grigia
Da 1,5 a 1,6 m limo debolmente sabbioso grigio
Da 1,6 a 2,1 m argilla debolmente limosa grigia
Da 2,1 a 3,2 m limo debolmente sabbioso grigio con livelli centimetrici di sabbia fine
Da 3,2 a 4,0 m argilla grigia con qualche macchia nera
Da 4,0 a 4,7 m alternanza di limo argilloso e limo leggermente sabbioso in strati da 1 a 5 cm di spessore sfumati
Da 4,7 a 5,5 m argilla grigia chiara a tratti debolmente limosa.
Da 5,5 a 6,2 m limo debolmente sabbioso grigio
Da 6,2 a 6,6 m sabbia fine grigia
Da 6,6 a 6,7 m limo sabbioso grigio
Da 6,7 a 7,5 m sabbia fine e media a tratti debolmente limosa
Da 7,5 a 8,0 limo grigio debolmente sabbioso
Da 8,0 a 9,0 m argilla grigia chiara
Da 9,0 a 10,0 m argilla debolmente limosa grigia

Sondaggio 6

Da 0,0 a 1,5 m argilla limosa debolmente sabbiosa nocciola
Da 1,5 a 1,8 m limo argilloso grigio
Da 1,8 a 2,0 m sabbia fine limosa grigia
Da 2,0 a 2,8 m sabbia fine debolmente limosa grigia
Da 2,8 a 3,1 m sabbia medio fine limosa grigia
Da 3,1 a 3,5 m limo argilloso grigio
Da 3,5 a 4,15 m argilla limosa grigia
Da 4,15 a 4,6 m limo argilloso grigio
Da 4,6 a 5,3 m sabbia fine limosa grigia
Da 5,3 a 6,15 m argilla limosa grigia, rari livelli limoso-sabbiosi.
Da 6,15 a 6,75 m limo argilloso grigio
Da 6,75 a 7,55 m sabbia fine, passante a medio fine limosa grigia
Da 7,55 a 8,15 m alternanze di limo argilloso ed argilla limosa grigia
Da 8,15 a 8,50 m sabbia medio fine limosa grigia
Da 8,5 a 8,9 argilla limosa grigia
Da 8,9 a 9,3 m sabbia medio fine limosa grigia

Da 9,3 a 10,8 m limo argilloso deb. Sabbioso grigio, frequenti veli e livelli centimetrici di sabbia fine limosa grigia

Da 10,8 a 12,7 m argilla limosa grigia con rari veli torbosi tra 12,40 e 12,45

Da 12,7 a 14,25 m limo argilloso deb. sabbioso grigio

Da 14,25 a 14,85 m sabbia media limosa grigia

Da 14,85 a 15,0 argilla grigia con laminazioni torbose

Sondaggio 7

Da 0,0 a 0,8 m limo argilloso deb. sabbioso nocciola

Da 0,8 a 3,0 m sabbia medio fine limosa grigia

Da 3,0 a 3,5 m limo argilloso grigio

Da 3,5 a 5,3 m sabbia medio fine debolmente limosa grigia

Da 5,3 a 6,0 m argilla limosa grigia, torba fibrosa nera a 5,8 m

Da 6,0 a 6,3 m limo argilloso sabbioso nocciola

Da 6,3 a 6,7 m sabbia medio fine deb. limosa grigia

Da 6,7 a 7,0 m alternanze centimetriche di limo argilloso e argilla limosa

Da 7,0 a 7,6 m sabbia fine deb. limosa grigia

Da 7,6 a 9,45 m sabbia medio fine limosa grigia.

Da 9,45 a 11,0 m alternanze centimetriche di limo argilloso e limo sabbioso grigio

Da 11,0 a 12,5 m limo argilloso deb. sabbioso grigio, torba fibrosa a 11,1

Da 12,5 a 13,6 m sabbia medio fine limosa grigia

Da 13,6 a 14,95 m sabbia media limosa grigia

Da 14,95 a 15,20 limo sabbioso grigio

Da 15,2 a 16,4 m sabbia medio fine grigia

Da 16,4 a 17 m alternanze centimetriche di argilla limosa e limo sabbioso

Da 17 a 18 m sabbia medio fine limosa grigia

Da 18 a 18,65 m argilla limosa grigia, torba fibrosa nera a 18.05

Da 18,65 a 19,65 m limo argilloso grigio con veli di torba fibrosa nera

Da 19,65 a 20,0 m alternanze centimetriche di limo argilloso e limo sabbioso grigio

Da 20 a 20,4 m argilla limosa grigia, a tratti limo argilloso

Da 20,4 a 21,1 m limo argilloso deb. sabbioso grigio, torba fibrosa a 20,4

Da 21,1 a 22,4 m argilla limosa grigia

Da 22,4 a 23,2 m limo argilloso deb. sabbioso grigio, torba fibrosa a 20.4

Da 23,2 a 24,2 m sabbia medio fine limosa grigia

Da 24,2 a 25 m argilla limosa grigia.

4.3.2 Prove penetrometriche CPTU 2010

Nel mese di aprile 2010 sono state effettuate 6 prove penetrometriche statiche con piezocono.

Con il piezocono è stato possibile acquisire, durante il movimento continuo di spinta, le grandezze qc (resistenza di punta) ed fs (attrito laterale) ad ogni centimetro di profondità. Il sistema ha acquisito inoltre il valore della U (Pressione Idrostatica nei Pori) e l'angolo di inclinazione della batteria di aste.

Confrontando le resistenze di punta con i valori della pressione di dissipazione si sono individuati i livelli impermeabili e i livelli permeabili.

In allegato si riportano i grafici della prove effettuate.

4.3.3 Sezioni stratigrafiche

Dai dati derivanti dall'interpretazione delle stratigrafie dei sondaggi e delle prove penetrometriche sopra menzionati si sono costruite 5 sezioni stratigrafiche da cui si evince una certa eterogeneità del sottosuolo data da alternanze di terreni limoso-sabbiosi e argilloso-limosi con strati sabbiosi.

Tra gli elementi di continuità si nota la presenza di:

- uno strato superficiale limoso e argilloso continuo su tutta l'area con letto a profondità variabili tra 0,8 e 2 m da p.c.
- uno strato argilloso dello spessore medio di circa 85 cm, a profondità variabili tra 1,5 e 3 dal p.c.
- uno strato dello spessore medio di 1,4 m posto a profondità variabile tra i 4,5 ed i 6,5 m dal p.c.

Questi tre strati argillosi costituiscono il tetto di tre strati sabbiosi che rappresentano possibili acquiferi.

Confrontando le stratigrafie dei sondaggi 2, 3, 4 (che coprono da Nord a Sud il settore orientale dell'area in esame, vedi sezioni allegate), si osserva che è difficile stabilire la continuità dello strato sabbioso presente tra 0,7-2 m da p.c. e 2,5-3 m da p.c.. mentre appare più netta la continuità degli strati sabbioso-limoso posti tra 3,5 e 6 m da p.c. e tra i 7 ed i 9 m dal p.c..

Confrontando le stratigrafie dei sondaggi 5, 6, 7 (che coprono da Nord a Sud il settore occidentale dell'area in esame, vedi sezione allegata) si osserva che il primo strato sabbioso ha uno spessore variabile tra 20-30 cm a nord e 2 m a sud. La continuità dello strato sabbioso posto tra 3,5 e 6 m da p.c. è interrotta da una lente argillosa, lo strato sabbioso a 7 metri aumenta di potenza verso Sud, passando da uno spessore inferiore ad un metro ad uno di 3 metri.

In generale, sempre per quanto riguarda i primi 10 metri dal p.c., nella zone Nord-occidentale e Sud orientale dell'area in esame la natura del sottosuolo appare prevalentemente limoso argillosa; nella zona Sud occidentale e Nord orientale, invece, appare prevalentemente sabbiosa.

Dai 9 m fino alla profondità indagata di 20 m dal p.c. si hanno, con buona continuità su tutta l'area in esame, limi e limi argillosi.

4.3.4 Prove geotecniche di laboratorio

Sono stati eseguiti dei campionamenti, nei sondaggi 6 e 7, in corrispondenza degli strati argillosi situati fra i 5.30 ed i 6.15 m di profondità; le prove di permeabilità eseguite in laboratorio hanno dato valori fra i 10^{-6} ed i 10^{-8} cm\sec pertanto risultano una buona protezione per le falde più profonde.

Si sono eseguiti, inoltre, campionamenti fra i 3,00 ed i 3,50 m dal p.c. nei sondaggi 2, 3, 4. Dall'analisi dei campioni risulta la presenza di:

- Sondaggio 2: limo argilloso con veli di limo sabbioso, grigio;
- Sondaggio 3: sabbia fine con limo grigio-chiara;
- Sondaggio 4: argilla limosa grigia con frustoli torbosi e limo argilloso con veli di limo sabbioso, grigio.

Dalle prove eseguite sui campioni prelevati dai sondaggi 2 e 4 risultano valori di permeabilità dell'ordine di 10^{-8} cm/sec e valori di coefficiente di consolidazione dell'ordine di 10^{-3} cmq/sec.

5 IDROGEOLOGIA

5.1 DATI GENERALI

Il sottosuolo è caratterizzato da un sistema multifalde, costituito da una falda superficiale e da una serie di falde profonde.

Estrapolando i dati forniti dalle stratigrafie reperibili in zona risulta che almeno fino a 360 m di profondità il sottosuolo è formato essenzialmente dall'alternanza di livelli limoso-argillosi con letti ghiaioso-sabbiosi; ne deriva pertanto che a livelli a permeabilità bassa si alternano livelli con permeabilità medio-elevata.

Il deflusso generale delle falde in pressione è verso sud est. La ricarica principale degli acquiferi deriva dalle perdite in alveo del fiume Piave e secondariamente ad infiltrazioni meteoriche. Ai contorni immediati dei corsi d'acqua Sile e Musestre possono essere possibili scambi idrici di direzione alterna (drenaggio od alimentazione operata dai fiumi in relazione alle fasi di magra e di piena), tuttavia limitata a spazi molto ridotti, probabilmente di qualche decina di metri, a causa delle ridotte dimensioni di permeabilità dei terreni argillosi.

Le fasi di piena dei due fiumi possono influenzare il regime della falda anche a distanze maggiori; si tratta però soltanto di influenze relative ad un innalzamento della superficie freatica e non a fenomeni di alimentazione diretta.

I pozzi per acqua terebrati nelle immediate vicinanze della cava (i più vicini distano almeno 500 m) hanno dovuto spingersi fino ad oltre un centinaio di metri per incontrare terreni diversi, sufficientemente permeabili da fornire accettabili portate d'acqua (raramente di supera 1 l/sec). Gli strati sabbiosi individuati potrebbero contenere falde di portata non sufficiente per lo sfruttamento idrico, come testimoniato dai pozzi privati in zona che si spingono oltre i 50 metri. La portata estraibile dai pozzi è comunque modestissima; la falda può essere considerata praticamente stagnante. I pozzi artesiani sono costituiti da canne infisse per battuta che raggiungono la profondità di un centinaio di metri. La portata spontanea risulta inferiore ad un litro/sec.

Dal Prà (1978) ha effettuato delle sperimentazioni in una fossa di cava preventivamente prosciugata situata in vicinanza della cava.

Le prove sperimentali sono consistite nella verifica dei tempi di risalita del livello freatico dalla posizione dinamica di massimo abbassamento alla posizione statica, in equilibrio con la falda in quiete nei pozzi e nelle cave circostanti.

La fossa si trova nell'area adibita a discarica situata in prossimità dell'area di studio.

Le dimensioni reali della cava risultavano di 70 x 95 m, con una profondità media di circa 1.5 e massima di poco meno di 2 m.

Lo specchio d'acqua (superficie freatica) si trovava prima dello svuotamento a circa 0.5 dal piano di campagna e quindi a circa 1.5 m al di sopra della zona più profonda della cava.

Lo svuotamento ha richiesto alcuni giorni di pompaggio.

Messo a giorno il fondo cava è stata infissa un'asta idrometrica per seguire la risalita del livello una volta che si fosse interrotto l'emungimento.

Le osservazioni, che sono avvenute ad intervalli di alcuni giorni, si sono prolungate per un periodo di tempo di un mese.

Dall'analisi dei risultati si è riscontrato che la risalita è stata lentissima: in ben 18 giorni la falda è risalita di soli 100 cm.

Il livello ha raggiunto 138 cm dal fondo addirittura dopo 30 giorni.

In tale periodo si sono verificati 3 episodi piovosi particolarmente copiosi che hanno contribuito in maniera evidente al riempimento, sia come afflussi diretti nello specchio di cava e sia soprattutto come ruscellamento superficiale dalle zone attigue.

La velocità media di risalita è stata dell'ordine di 2 cm/giorno. Si tenga presente inoltre che durante la risalita nelle due cave immediatamente adiacenti, separate da diaframmi di argilla di pochi metri di larghezza, l'acqua si trovava a circa 0.5 m al di sotto del p.c., creando così un gradiente idraulico iniziale di circa il 30% mentre in condizioni normali la falda offre gradienti di circa 0.1%.

Le dimensioni minime della velocità di risalita, quali sono risultate dalle prove svolte, sono una chiara testimonianza dei valori ridottissimi della permeabilità e della porosità efficace del complesso argilloso costituente il sottosuolo e delle dimensioni trascurabili della velocità effettiva di deflusso della falda in condizioni normali.

Per poter avere dei termini di confronto si può considerare che in materiali ghiaiosi la risalita della superficie freatica dal fondo cava al livello statico iniziale, prima del pompaggio, si sarebbe verificata nel giro di alcuni minuti.

5.2 FALDE SUPERFICIALI

Le caratteristiche degli acquiferi più superficiali sono state tratte da studi specifici inerenti le discariche adiacenti a quella in progetto.

Dalle stratigrafie relative ai primi 10 m da p.c. si sono individuati tre livelli sabbiosi potenziali sedi di acquiferi. Il primo ed il secondo, probabilmente comunicanti sono stati definiti come prima falda, il terzo livello è stato definito seconda falda.

Sul primo livello sabbioso di spessore variabile tra 20-30 cm e 2 m gli studi condotti per le discariche non forniscono dati.

Per la prima falda posta tra circa 1,5 e 6 m da p.c. le misure condotte mostrano un deflusso generale da N a S e locale deviazione degli assi di drenaggio causata dai fiumi Sile e Musestre.

I gradienti sono molto bassi ($10^{-2} - 10^{-5}$ cm/sec) e questo, insieme alla conducibilità idraulica dei materiali ($10^{-3} - 10^{-4}$ cm/sec) indica valori di spostamento della falda molto lenti, da pochi cm/giorno a 1 - 2 m/giorno.

Tale movimento è, inoltre, discontinuo e legato alle differenze di carico piezometrico locali.

Per la seconda falda posta tra 6,5 - 7 metri e 9 m da p.c. con potenza che aumenta verso Sud, passando da uno spessore inferiore ad un metro ad uno di 3 metri, i gradienti sono molto bassi ($10^{-2} - 10^{-6}$ cm/sec) e così pure la conducibilità idraulica ($10^{-3} - 10^{-5}$ cm/sec).

Le velocità di deflusso, anche in questo caso, sono molto basse (qualche cm/giorno), discontinue nel tempo e leggermente variabili in direzione.

Il tetto del primo acquifero confinato, preso come riferimento per l'impostazione della barriera di fondo della discarica, è collocato, quindi, fra le quote di -0,70 e -2,00 m s.l.m.

5.3 FALDE PROFONDE

Le falde profonde sono poste ad una profondità maggiore di 30 m dal p.c..

Sono individuabili almeno 6 falde in pressione poste alle seguenti profondità:

30-50 m; 60-80 m; 170-190 m; 200-220 m; 260-280 m; 360 m.

Il sottosuolo presenta una certa disomogeneità orizzontale, con diminuzione della percentuale della frazione fine spostandosi verso il Sile, ovviamente determinata dalla maggior energia idraulica in corrispondenza del fiume e delle sue zone di influenza.

Tale disomogeneità si rispecchia nella presenza degli acquiferi.

Gli acquiferi profondi dotati di più elevata trasmissività si trovano infatti alla profondità di circa 60 m (strato ghiaioso spesso alcuni metri), 200 – 220 m (presente un potente banco di sabbia, sede di una falda sfruttata da diversi pozzi con livello piezometrico vicino al piano di campagna), i 260- 280 m (dotato di livello piezometrico maggiore di quello delle falde precedenti) e 360 metri.

5.4 PIEZOMETRI

Nel 2002, la ditta ha provveduto all'esecuzione di 6 coppie di piezometri che vanno ad intercettare, sulla base della ricostruzione stratigrafica, quelle che sono state interpretate come prima e seconda falda.

Dall'interpretazione si delinea la presenza di una falda semiconfinata, più superficiale, che si colloca tra 1,5 e 6 metri dal piano campagna, e di una falda confinata, più profonda, tra i 6,5 - 7 m ed i 9 m dal piano campagna.

Sulla base delle misure freatiche eseguite il 30/08/02 è stato possibile ricostruire una carta ad isofreatiche sia per la prima che per la seconda falda.

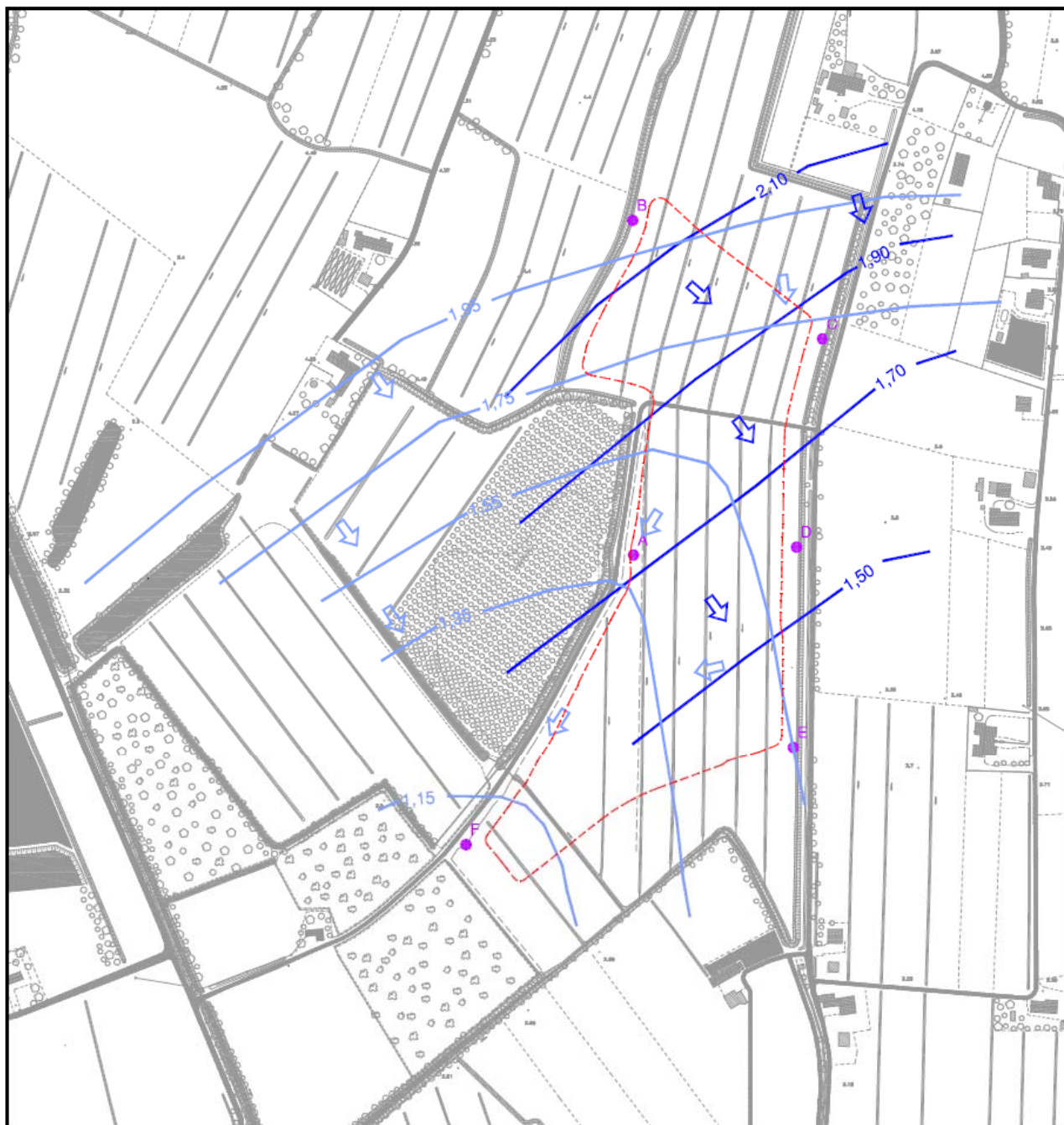
I dati sono stati elaborati attraverso il metodo dell'interpolazione lineare o triangolazione.

Le isofreatiche relative alla prima falda sono state ricavate utilizzando i dati relativi ai piezometri denominati 1A, 1B, 1C, 1D ed 1F cui si aggiunge una misura della superficie freatica di un laghetto rilevato in prossimità del sito. Dall'elaborazione è stato escluso il piezometro 1E poiché non presentava al suo interno risalita d'acqua.

Per le isofreatiche relative alla seconda falda si sono utilizzate le misure dei piezometri 2A, 2B, 2C e 2E, le misure presso 2D e 2F, hanno dato valori riferibili a quelli della prima falda dimostrando che non si era intercettata la seconda, di conseguenza sono state escluse.

Dalla rappresentazione delle isofreatiche riportate nella figura seguente si evince, per la prima falda, una direzione di flusso circa Nord-Sud con gradiente dello 0,25% nella parte sommitale dell'area, il deflusso volge poi bruscamente ed assume direzione NNE-SSW con gradiente dello 0,2% probabilmente sotto l'azione drenante del Fiume Sile.

Per quanto riguarda la seconda falda, l'andamento delle isofreatiche si presenta con direzione NE – SW, il deflusso avviene dunque con direzione NW-SE con un gradiente dello 0,2%.



- - - - - Limite bacino scarica
- 1,35 — Isofreatica della 1^a falda con quota in m s.l.m. (misurata il 30/08/02)
- 1,50 — Isofreatica della 2^a falda con quota in m s.l.m. (misurata il 30/08/02)
- ^D Piezometro
- ⇩ Direzione deflusso 1° falda
- ⇩ Direzione deflusso 2° falda

5.5 UBICAZIONE DEI POZZI ACQUEDOTTISTICI

Si è provveduto poi a verificare anche la distanza di pozzi pubblici utilizzati a scopo idropotabile: secondo l'AATO Veneto Orientale, quelli attualmente in esercizio sono ubicati a Lanzago di Silea (9 pozzi) e Carbonera (3 pozzi), e pertanto ad una distanza minima di almeno 8,5 km a N rispetto al sito in studio.

Esistono poi altri pozzi acquedottistici ubicati in comune di Preganziol, ad una distanza minima di almeno 6,5 km ad ovest.

Il MOSAV (Modello Strutturale degli Acquedotti del Veneto) indica la presenza di un centro di produzione idrica di importanza locale (pozzi, sorgenti, opere di presa, impianti di potabilizzazione) in comune di Quarto d'Altino, a 1,40 km in direzione sudovest.

La distanza dei pozzi rispetto all'area, la posizione dei filtri, la situazione stratigrafica fanno sì che si possa escludere con assoluta certezza qualsiasi possibilità di correlazione tra eventuali fuoriuscite di percolato dalla discarica ed alterazione della qualità delle acque da utilizzare a scopo acquedottistico.

In ogni caso non risulta la presenza di pozzi ad uso potabile nel raggio di 200 m dal perimetro dell'area; sono pertanto rispettate le prescrizioni poste.

6 VERIFICA DEI CEDIMENTI DIFFERENZIALI DEL PIANO DI POSA DEI RIFIUTI

6.1 EFFETTI DEI CEDIMENTI DIFFERENZIALI

I cedimenti differenziali del piano di posa dei rifiuti rappresentano un aspetto importante, in quanto generano lo squilibrio statico di un'opera con innescamento di conseguenze maggiormente gravose, pregiudicando la stabilità della struttura.

Il concetto espresso vale soprattutto per le strutture rigide; la discarica rappresenta invece una struttura elastica che sopporta completamente ogni deformazione.

La valutazione dei cedimenti differenziali è fatta, di conseguenza, non con lo scopo di determinare la stabilità dell'opera, ma di prevedere le deformazioni dei piani di scorrimento del percolato alla base per il drenaggio.

La valutazione di tali deformazioni permetterà di definire l'influenza che queste possono avere sulle pendenze iniziali di progetto e di conseguenza sullo scorrimento verso il pozzo di sollevamento.

6.2 METODOLOGIA

Nel calcolo dei cedimenti del fondo sono stati considerati i risultati ottenuti dalle prove edometriche sui campioni di argilla prelevati dal sito.

La formula utilizzata per la determinazione del cedimento per ogni strato argilloso cedevole, è la seguente:

$$\Delta H = H_0 \times C_c / (1 + e_0) \times \log((p + \Delta p) / p)$$

dove i simboli assumono il seguente significato:

- ΔH cedimento dello strato argilloso considerato (m)
- H_0 spessore dello strato argilloso (m)
- C_c coefficiente di compressione, ovvero la pendenza del tratto rettilineo del diagramma edometrico (adimensionale)
- e_0 indice dei vuoti dell'argilla (adimensionale)
- p pressione iniziale a cui è sottoposta l'argilla in sito (t/mq)
- $p + \Delta p$ pressione allo stato di progetto (t/mq)

Il valore della pressione allo stato di chiusura sarà sicuramente superiore a quello storico. La presenza dei rifiuti abbancati e le barriere di base e di copertura finale determineranno un carico aggiuntivo al suolo: il conseguente incremento di pressione determinerà dei cedimenti degli strati compressibili.

Le prove di laboratorio sui campioni indisturbati a disposizione sono la prova in S2 e in S4 su campioni prelevati tra 3 e 3,6 m da p.c.. I dati ricavati dalla prova S2 sono stati estesi alla zona sud di interesse mentre i dati ricavati dalla prova S4 sono stati estesi alla zona nord, in entrambi i casi i valori corrispondenti sono stati attribuiti a tutti gli strati argillosi presenti fino alle profondità indagate.

Le prove di consolidazione edometrica forniscono un diagramma indice dei vuoti-logaritmo della pressione. Il coefficiente di consolidazione (o compressione) C_c è rappresentato dalla pendenza della curva nel tratto quasi retto ed è pari a:

$$C_c = \Delta e / \Delta \log P$$

Dove :

$\Delta e = e_1 - e_2$, (e_1 ed e_2 corrispondono all'indice di vuoti al tempo 1 e 2 della prova)

$\Delta \log P = \log P_1 - \log P_2$, (P_1 e P_2 è sono i carichi (Kg/cmq) imposti durante la prova al tempo t_1 ed al tempo t_2)

I parametri calcolati sono riportati nelle tabelle sottostanti.

Valutazione del Coefficiente di Consolidazione C_c

Sondaggio	Δe		ΔP		C _c
	e_1	e_2	P_1	P_2	
S2	0,76	0,7	4	16	0,100
S4	0,66	0,53	4	16	0,216

Indice dei vuoti iniziale	
Sondaggio	e_0
S2	0,88
S4	0,87

e_0 è l'indice dei vuoti iniziale cioè al tempo zero.

Peso terreni	γ (t/mc)
argilla	1,8
sabbia	1,9

I valori ottenuti indicano caratteristiche geotecniche relativamente uniformi.

I cedimenti sono stati determinati per le stratigrafie corrispondenti a tutti i sondaggi realizzati in sito dove e alle tre prove penetrometriche lungo l'asse mediano della discarica, allo scopo di valutare il carico dato dallo spessore di rifiuti minimo (ai lati della discarica) e massimo (al centro della discarica).

La pressione sui singoli strati sarà calcolata puntualmente considerando la profondità di scavo e lo spessore dei rifiuti in corrispondenza di ogni sondaggio. Con la formula indicata precedentemente sono stati valutati i cedimenti per ciascuno strato di argilla (l'unico materiale considerato cedevole), la somma dei quali dà il valore dell'abbassamento complessivo.

6.3 CALCOLO DEI CEDIMENTI

Come sopra specificato la formula utilizzata per il calcolo dei cedimenti è la seguente

$$\Delta H = H_0 \times C_c / (1 + e_0) \times \log((p + \Delta p) / p)$$

p: indica il carico (t/mq) a cui erano sottoposti gli strati argillosi in origine. I valori di p per i singoli strati argillosi sono riportati nella prima tabella *Successioni stratigrafiche STATO DI FATTO*.

Nella tabella successiva *Sovraccarico da progetto* viene calcolato il carico Δp (t/mq) imposto dai rifiuti, dalla copertura della discarica, dal sistema impermeabilizzante di fondo e dallo strato di regolarizzazione.

Per valutare come il sovraccarico si distribuisce in profondità è stata applicata una formula che si basa sull'impronta di applicazione del carico in superficie (approssimata ad un quadrato con lato di 180 m) e sulla profondità del tetto dello strato argilloso di cui si vuole calcolare il cedimento.

$$\Delta p_z = \Delta p_{\text{netto}}^* (L/L+z)$$

con:

L: lato dell'impronta (m)

z: profondità del tetto dello strato considerato (m)

La formula per il calcolo dei cedimenti diviene quindi:

$$\Delta H = H_0 \times C_c / (1 + e_0) \times \log((p + \Delta p z) / p)$$

I cedimenti calcolati per ogni sondaggio considerato vengono riportati nelle pagine seguenti.

CEDIMENTI IN CORRISPONDENZA SONDAGGIO S1

Parametri argilla	l strato
Cc	0,1
e ₀	0,87

Successioni stratigrafiche STATO DI FATTO

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	Htot [m]	p_{strato} [t/mq]	$p_{\text{a metà strato argilla}}$ [t/mq]
argilla	1,8	1,10	1,10	1,98	0,99
sabbia	1,9	0,40	1,50	0,76	
argilla	0,8	1,70	3,20	1,36	3,42
sabbia	0,9	0,80	4,00	0,72	
argilla	0,8	2,00	6,00	1,60	5,62
sabbia	0,9	3,50	9,50	3,15	
argilla	0,8	0,50	10,00	0,40	9,77

Sovraccarico da progetto

strato	γ [t/mc]	H [m]	Htot [m]	p_{strato} [t/mq]	Δp [t/mq]
copertura discarica	2,0	2,00	2,00	3,90	
rifiuti	1,5	1,80	3,80	2,70	
impermeab. Fondo	2,0	1,50	5,30	3,00	
Limo	1,9	0,50	0,50	0,95	10,55

Distribuzione del sovraccarico in profondità

lato fondazione B (m)	180
-----------------------	-----

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	Profondità applicazione carico (m da piano campagna attuale)	ΔP su strato [t/mq]	ΔH [m]
argilla	1,8	1,10	0,00	10,55	0,063
sabbia	1,9	0,40			
argilla	0,8	1,70	1,50	10,46	0,055
sabbia	0,9	0,80			
argilla	0,8	2,00	4,00	10,32	0,048
sabbia	0,9	3,50			
argilla	0,8	0,50	9,50	10,02	0,008
Cedimento totale					0,175

CEDIMENTI IN CORRISPONDENZA SONDAGGIO S2

Parametri argilla	l strato
Cc	0,1
e ₀	0,88

Successioni stratigrafiche STATO DI FATTO

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	Htot [m]	p _{strato} [t/mq]	p _{a metà strato argilla} [t/mq]
argilla	2,1	1,50	1,50	3,09	1,55
argilla	1,1	3,00	4,50	3,18	4,68
sabbia	0,9	1,30	5,80	1,17	
argilla	1,1	1,20	7,00	1,27	8,08
sabbia	0,9	1,90	8,90	1,71	
argilla	1,1	1,10	10,00	1,17	11,01

Sovraccarico da progetto

strato	γ [t/mc]	H [m]	Htot [m]	p _{strato} [t/mq]	Δp [t/mq]
copertura discarica	2,0	2,00	2,00	3,90	
rifiuti	1,5	2,60	4,60	3,90	
impermeab. Fondo	2,0	1,50	6,10	3,00	
Limo	1,9	0,50	0,50	0,95	11,75

Distribuzione del sovraccarico in profondità

lato fondazione B (m)	180
-----------------------	-----

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	Profondità applicazione carico (m da piano campagna attuale)	ΔP su strato [t/mq]	ΔH [m]
argilla	2,1	1,50	0,00	11,75	0,075
argilla	1,1	3,00	1,50	11,65	0,087
sabbia	0,9	1,30			
argilla	1,1	1,20	5,80	11,38	0,024
sabbia	0,9	1,90			
argilla	1,1	1,10	8,90	11,20	0,018
Cedimento totale					0,203

CEDIMENTI IN CORRISPONDENZA SONDAGGIO S3

Parametri argilla	I strato
Cc	0,216
e ₀	0,87

Successioni stratigrafiche STATO DI FATTO

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	Htot [m]	p_{strato} [t/mq]	$p_{\text{a metà strato argilla}}$ [t/mq]
argilla	1,8	1,50	1,50	2,70	1,35
argilla	0,8	0,50	2,00	0,40	2,90
sabbia	0,9	0,50	2,50	0,45	
argilla	0,8	1,00	3,50	0,80	3,95
sabbia	0,9	3,0	6,50	2,70	
argilla	0,8	0,7	7,20	0,56	7,33
sabbia	0,9	1,8	9,00	1,62	
argilla	0,8	1,0	10,00	0,80	9,63

Sovraccarico da progetto

strato	γ [t/mc]	H [m]	Htot [m]	p_{strato} [t/mq]	Δp [t/mq]
copertura discarica	2,0	2,00	2,00	3,90	
rifiuti	1,5	2,00	4,00	3,00	
impermeab. Fondo	2,0	1,50	5,50	3,00	
Limo	1,9	0,50	0,50	0,95	10,85

Distribuzione del sovraccarico in profondità

lato fondazione B (m)	180
-----------------------	-----

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	Profondità applicazione carico (m da piano campagna attuale)	ΔP su strato	ΔH
				[t/mq]	[m]
argilla	1,8	1,50	0,00	10,85	0,166
argilla	0,8	0,50	1,50	10,76	0,039
sabbia	0,9	0,50			
argilla	0,8	1,00	2,50	10,70	0,066
sabbia	0,9	3,00			
argilla	0,8	0,70	6,50	10,47	0,031
sabbia	0,9	1,80			
argilla	0,8	1,00	9,00	10,33	0,037
Cedimento totale					0,338

CEDIMENTI IN CORRISPONDENZA SONDAGGIO S4

Parametri argilla	I strato
Cc	0,216
e ₀	0,87

Successioni stratigrafiche STATO DI FATTO

strato	γ [t/mc]	H [m]	H _{tot} [m]	p_{strato} [t/mq]	$p_{\text{a metà strato argilla}}$ [t/mq]
argilla	1,8	1,50	1,50	2,70	1,35
sabbia	0,9	1,20	2,70	1,08	
argilla	0,8	1,20	3,90	0,96	4,26
sabbia	0,9	1,20	5,10	1,08	
argilla	0,8	0,40	5,50	0,32	5,98
sabbia	0,9	0,9	6,40	0,81	
argilla	0,8	0,9	7,30	0,72	7,31
sabbia	0,9	1,6	8,90	1,44	
argilla	0,8	1,0	9,90	0,80	9,51

Sovraccarico da progetto

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	H _{tot} [m]	p_{strato} [t/mq]	Δp [t/mq]
copertura discarica	2,0	2,00	2,00	3,90	
rifiuti	1,5	2,00	4,00	3,00	
impermeab. Fondo	2,0	1,50	5,50	3,00	
Limo	1,9	0,50	0,50	0,95	10,85

Distribuzione del sovraccarico in profondità

lato fondazione B (m)	180
-----------------------	-----

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	Profondità applicazione carico (m da piano campagna attuale)	ΔP su strato	ΔH
				[t/mq]	[m]
argilla	1,8	1,50	0,00	10,85	0,166
sabbia	0,9	1,20			
argilla	0,8	1,20	2,70	10,69	0,076
sabbia	0,9	1,20			
argilla	0,8	0,40	5,10	10,55	0,020
sabbia	0,9	0,90			
argilla	0,8	0,90	6,40	10,48	0,040
sabbia	0,9	1,60			
argilla	0,8	1,00	8,90	10,34	0,037
Cedimento totale					0,339

CEDIMENTI IN CORRISPONDENZA SONDAGGIO S5

Parametri argilla	l strato
Cc	0,216
e ₀	0,87

Successioni stratigrafiche STATO DI FATTO

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	H _{tot} [m]	p strato [t/mq]	p a metà strato argilla [t/mq]
argilla	1,8	1,00	1,00	1,80	0,90
sabbia	1,9	0,50	1,50	0,95	
argilla	0,8	0,60	2,10	0,48	2,99
sabbia	0,9	1,10	3,20	0,99	
argilla	0,8	0,80	4,00	0,64	4,54
sabbia	0,9	0,70	4,70	0,63	
argilla	0,8	1,50	6,20	1,20	6,09
sabbia	0,9	1,30	7,50	1,17	
argilla	0,8	2,50	10,00	2,00	8,86

Sovraccarico da progetto

strato	γ [t/mc]	H [m]	H _{tot} [m]	p strato [t/mq]	Δp [t/mq]
copertura discarica	2,0	2,00	2,00	3,90	
rifiuti	1,5	2,00	4,00	3,00	
impermeab. Fondo	2,0	1,50	5,50	3,00	
Limo per regolarizzazione	1,9	0,50	0,50	0,95	10,85

Distribuzione del sovraccarico in profondità

lato fondazione B (m)	180
-----------------------	-----

strato terreno	γ [t/mc]	H	Profondità applicazione carico (m da piano campagna attuale)	ΔP su strato	ΔH
		[m]		[t/mq]	[m]
argilla	1,8	1,00	0,00	10,85	0,129
sabbia	1,9	0,50			
argilla	0,8	0,60	1,50	10,76	0,046
sabbia	0,9	1,10			
argilla	0,8	0,80	3,20	10,66	0,048
sabbia	0,9	0,70			
argilla	0,8	1,50	4,70	10,57	0,076
sabbia	0,9	1,30			
argilla	0,8	2,50	7,50	10,42	0,097
Cedimento totale					0,397

CEDIMENTI IN CORRISPONDENZA SONDAGGIO S6

Parametri argilla	l strato
Cc	0,216
e ₀	0,87

Successioni stratigrafiche STATO DI FATTO

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	H _{tot} [m]	p_{strato} [t/mq]	$p_{\text{a metà strato argilla}}$ [t/mq]
argilla	1,8	1,50	1,50	2,70	1,35
sabbia	0,9	0,20	1,70	0,18	
argilla	0,8	0,80	2,50	0,64	3,20
sabbia	0,9	0,30	2,80	0,27	
argilla	0,8	1,50	4,30	1,20	4,39
sabbia	0,9	0,7	5,00	0,63	
argilla	0,8	1,5	6,45	1,16	6,20
sabbia	0,9	0,8	7,25	0,72	
argilla	0,8	1,8	9,05	1,44	8,22

Sovraccarico da progetto

strato	γ [t/mc]	H [m]	H _{tot} [m]	p_{strato} [t/mq]	Δp [t/mq]
copertura discarica	2,0	2,00	2,00	3,90	
rifiuti	1,5	2,00	4,00	3,00	
impermeab. Fondo	2,0	1,50	5,50	3,00	
Limo	1,9	0,50	0,50	0,95	10,85

Distribuzione del sovraccarico in profondità

lato fondazione B (m)	180
-----------------------	-----

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	Profondità applicazione carico (m da piano campagna attuale)	ΔP su strato	ΔH
				[t/mq]	[m]
argilla	1,8	1,50	0,00	10,85	0,166
sabbia	0,9	0,20			
argilla	0,8	0,80	1,70	10,75	0,059
sabbia	0,9	0,30			
argilla	0,8	1,50	2,80	10,68	0,093
sabbia	0,9	0,70			
argilla	0,8	1,45	5,00	10,56	0,072
sabbia	0,9	0,80			
argilla	0,8	1,80	7,25	10,43	0,074
Cedimento totale					0,464

CEDIMENTI IN CORRISPONDENZA SONDAGGIO S7

Parametri argilla	I strato
Cc	0,1
e ₀	0,88

Successioni stratigrafiche STATO DI FATTO

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	Htot [m]	p _{strato} [t/mq]	p _{a metà strato argilla} [t/mq]
argilla	2,1	0,50	0,50	1,03	0,52
sabbia	1,9	1,00	1,50	1,90	
sabbia	0,9	1,20	2,70	1,08	
argilla	1,1	0,50	3,20	0,53	4,28
sabbia	0,9	1,80	5,00	1,62	
argilla	1,1	1,70	6,70	1,80	7,06
sabbia	0,9	2,50	9,20	2,25	
argilla	1,1	0,60	9,80	0,64	10,53

Sovraccarico da progetto

strato	γ [t/mc]	H [m]	Htot [m]	p _{strato} [t/mq]	Δp [t/mq]
copertura discarica	2,0	2,00	2,00	3,90	
rifiuti	1,5	2,60	4,60	3,90	
impermeab. Fondo	2,0	1,50	6,10	3,00	
Limo	1,9	0,50	0,50	0,95	11,75

Distribuzione del sovraccarico in profondità

lato fondazione B (m)	180
-----------------------	-----

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	Profondità applicazione carico (m da piano campagna attuale)	ΔP su strato	ΔH
				[t/mq]	[m]
argilla	2,1	0,50	0,00	11,75	0,037
sabbia	1,9	1,00	0,50		
sabbia	0,9	1,20			
argilla	1,1	0,50	2,70	11,58	0,015
sabbia	0,9	1,80			
argilla	1,1	1,70	5,00	11,43	0,038
sabbia	0,9	2,50			
argilla	1,1	0,60	9,20	11,18	0,010
Cedimento totale					0,100

CEDIMENTI IN CORRISPONDENZA CPTU1

Parametri argilla	I strato
Cc	0,216
e ₀	0,87

Successioni stratigrafiche STATO DI FATTO

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	Htot [m]	p_{strato} [t/mq]	$p_{\text{a metà strato argilla}}$ [t/mq]
argilla	1,8	1,50	1,50	2,70	1,35
argilla	0,8	0,50	2,00	0,40	2,90
sabbia	0,9	0,70	2,70	0,63	
argilla	0,8	0,50	3,20	0,40	3,93
sabbia	0,9	2,8	6,00	2,52	
argilla	0,8	2,0	8,00	1,60	7,45
sabbia	0,9	0,5	8,50	0,45	
argilla	0,8	2,2	10,70	1,76	9,58

Sovraccarico da progetto

strato	γ [t/mc]	H [m]	Htot [m]	p_{strato} [t/mq]	Δp [t/mq]
copertura discarica	2,0	2,00	2,00	3,90	
rifiuti	1,5	1,90	3,90	2,85	
impermeab. Fondo	2,0	1,50	5,40	3,00	
Limo	1,9	0,50	0,50	0,95	10,70

Distribuzione del sovraccarico in profondità

lato fondazione B (m)	180
-----------------------	-----

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	Profondità applicazione carico (m da piano campagna attuale)	ΔP su strato	ΔH
				[t/mq]	[m]
argilla	1,8	1,50	0,00	10,70	0,165
argilla	0,8	0,50	1,50	10,61	0,039
sabbia	0,9	0,70			
argilla	0,8	0,50	2,70	10,54	0,033
sabbia	0,9	2,80			
argilla	0,8	2,00	6,00	10,35	0,087
sabbia	0,9	0,50			
argilla	0,8	2,20	8,50	10,22	0,080
Cedimento totale					0,404

CEDIMENTI IN CORRISPONDENZA CPTU2

Parametri argilla	I strato
Cc	0,216
e ₀	0,87

Successioni stratigrafiche STATO DI FATTO

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	H _{tot} [m]	p_{strato} [t/mq]	$p_{\text{a metà strato argilla}}$ [t/mq]
argilla	1,8	1,50	1,50	2,70	1,35
sabbia	0,9	0,50	2,00	0,45	
argilla	0,8	0,80	2,80	0,64	3,47
sabbia	0,9	0,40	3,20	0,36	
argilla	0,8	1,50	4,70	1,20	4,75
sabbia	0,9	0,5	5,20	0,45	
argilla	0,8	1,6	6,80	1,28	6,44
sabbia	0,9	0,9	7,70	0,81	
argilla	0,8	0,6	8,30	0,48	8,13

Sovraccarico da progetto

strato	γ [t/mc]	H [m]	H _{tot} [m]	p_{strato} [t/mq]	Δp [t/mq]
copertura discarica	2,0	2,00	2,00	3,90	
rifiuti	1,5	5,20	7,20	7,80	
impermeab. Fondo	2,0	1,50	8,70	3,00	
Limo	1,9	0,50	0,50	0,95	15,65

Distribuzione del sovraccarico in profondità

lato fondazione B (m)	180
-----------------------	-----

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	Profondità applicazione carico (m da piano campagna attuale)	ΔP su strato	ΔH
				[t/mq]	[m]
argilla	1,8	1,50	0,00	15,65	0,191
sabbia	0,9	0,50			
argilla	0,8	0,80	2,00	15,48	0,068
sabbia	0,9	0,40			
argilla	0,8	1,50	3,20	15,38	0,109
sabbia	0,9	0,50			
argilla	0,8	1,60	5,20	15,21	0,097
sabbia	0,9	0,90			
argilla	0,8	0,60	7,70	15,01	0,031
Cedimento totale					0,496

CEDIMENTI IN CORRISPONDENZA CPTU3

Parametri argilla	I strato
Cc	0,216
e ₀	0,87

Successioni stratigrafiche STATO DI FATTO

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	Htot [m]	p_{strato} [t/mq]	$p_{\text{a metà strato argilla}}$ [t/mq]
argilla	1,8	1,50	1,50	2,70	1,35
argilla	0,8	0,50	2,00	0,40	2,90
sabbia	0,9	0,40	2,40	0,36	
argilla	0,8	0,85	3,25	0,68	3,80
sabbia	0,9	0,8	4,00	0,68	
argilla	0,8	2,5	6,50	2,00	5,82
sabbia	0,9	1,2	7,70	1,08	
argilla	0,8	2,5	10,20	2,00	8,90

Sovraccarico da progetto

strato	γ [t/mc]	H [m]	Htot [m]	p_{strato} [t/mq]	Δp [t/mq]
copertura discarica	2,0	2,00	2,00	3,90	
rifiuti	1,5	5,40	7,40	8,10	
impermeab. Fondo	2,0	1,50	8,90	3,00	
Limo	1,9	0,50	0,50	0,95	15,95

Distribuzione del sovraccarico in profondità

lato fondazione B (m)	180
-----------------------	-----

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	Profondità applicazione carico (m da piano campagna attuale)	ΔP su strato	ΔH
				[t/mq]	[m]
argilla	1,8	1,50	0,00	15,95	0,192
argilla	0,8	0,50	1,50	15,82	0,047
sabbia	0,9	0,40			
argilla	0,8	0,85	2,40	15,74	0,070
sabbia	0,9	0,75			
argilla	0,8	2,50	4,00	15,60	0,164
sabbia	0,9	1,20			
argilla	0,8	2,50	7,70	15,30	0,125
Cedimento totale					0,598

CEDIMENTI IN CORRISPONDENZA CPTU4

Parametri argilla	I strato
Cc	0,1
e ₀	0,88

Successioni stratigrafiche STATO DI FATTO

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	Htot [m]	p_{strato} [t/mq]	$p_{\text{a metà strato argilla}}$ [t/mq]
argilla	1,8	1,50	1,50	2,70	1,35
argilla	0,8	0,50	2,00	0,40	2,90
sabbia	0,9	0,60	2,60	0,54	
argilla	0,8	1,10	3,70	0,88	4,08
sabbia	0,9	1,5	5,20	1,35	
argilla	0,8	2,1	7,30	1,68	6,71
sabbia	0,9	1,5	8,80	1,35	
argilla	0,8	2,0	10,80	1,60	9,70

Sovraccarico da progetto

strato	γ [t/mc]	H [m]	Htot [m]	p_{strato} [t/mq]	Δp [t/mq]
copertura discarica	2,0	2,00	2,00	3,90	
rifiuti	1,5	5,60	7,60	8,40	
impermeab. Fondo	2,0	1,50	9,10	3,00	
Limo	1,9	0,50	0,50	0,95	16,25

Distribuzione del sovraccarico in profondità

lato fondazione B (m)	180
-----------------------	-----

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	Profondità applicazione carico (m da piano campagna attuale)	ΔP su strato	ΔH
				[t/mq]	[m]
argilla	1,8	1,50	0,00	16,25	0,089
argilla	0,8	0,50	1,50	16,12	0,022
sabbia	0,9	0,60			
argilla	0,8	1,10	2,60	16,02	0,041
sabbia	0,9	1,50			
argilla	0,8	2,10	5,20	15,79	0,059
sabbia	0,9	1,50			
argilla	0,8	2,00	8,80	15,49	0,044
Cedimento totale					0,254

CEDIMENTI IN CORRISPONDENZA CPTU5

Parametri argilla	I strato
Cc	0,1
e ₀	0,88

Successioni stratigrafiche STATO DI FATTO

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	H _{tot} [m]	p_{strato} [t/mq]	$p_{\text{a metà strato argilla}}$ [t/mq]
argilla	1,8	0,60	0,60	1,08	0,54
sabbia	1,9	1,00	1,60	1,90	
argilla	0,8	0,80	2,40	0,64	3,30
sabbia	0,9	2,00	4,40	1,80	
argilla	0,8	1,50	5,90	1,20	6,02
sabbia	0,9	0,5	6,40	0,45	
argilla	0,8	0,5	6,90	0,40	7,27
sabbia	0,9	2,5	9,40	2,25	
argilla	0,8	0,6	10,00	0,48	9,96

Sovraccarico da progetto

strato	γ [t/mc]	H [m]	H _{tot} [m]	p_{strato} [t/mq]	Δp [t/mq]
copertura discarica	2,0	2,00	2,00	3,90	
rifiuti	1,5	4,60	6,60	6,90	
impermeab. Fondo	2,0	1,50	8,10	3,00	
Limo	1,9	0,50	0,50	0,95	14,75

Distribuzione del sovraccarico in profondità

lato fondazione B (m)	180
-----------------------	-----

strato terreno	γ [t/mc]	H [m]	Profondità applicazione carico (m da piano campagna attuale)	ΔP su strato	ΔH
				[t/mq]	[m]
argilla	1,8	0,60	0,00	14,75	0,046
sabbia	1,9	1,00			
argilla	0,8	0,80	1,60	14,62	0,031
sabbia	0,9	2,00			
argilla	0,8	1,50	4,40	14,40	0,042
sabbia	0,9	0,50			
argilla	0,8	0,50	6,40	14,24	0,013
sabbia	0,9	2,50			
argilla	0,8	0,60	9,40	14,02	0,012
Cedimento totale					0,145

6.4 CONSIDERAZIONI SUI CEDIMENTI CALCOLATI

I cedimenti calcolati nel lotto 1 variano attorno ai 10 cm verso il lato sud della discarica, 15 cm verso in centro del lotto e 17 cm in prossimità del pozzo di raccolta del percolato.

In questo caso il cedimento differenziale favorisce il deflusso del percolato verso il pozzo aumentando la pendenza delle tubazioni ad uno 0,6% lungo l'asse centrale.

Nel Lotto 2 i cedimenti relativi variano tra i 20 cm lungo il lato est a 30 cm lungo il lato ovest, mentre verso il centro del lotto sono pari a circa 25 cm. La pendenza dell'asse centrale delle tubazioni di raccolta percolato, calcolata sulle quote assolute a seguito della dei cedimenti, diminuisce al 0,3% , viene tuttavia garantito il deflusso verso il pozzo.

Nel lotto 3 i cedimenti relativi variano tra i 34 cm lungo il lato est a 43 cm lungo il lato ovest, mentre verso il centro del lotto sono pari a circa 60 cm. La pendenza lungo l'asse centrale aumenta nel primo tratto portandosi all'1% e poi diminuisce nel secondo tratto passando allo 0,2%, anche in questo caso viene garantito il deflusso verso il pozzo di raccolta.

Nel lotto 4 i cedimenti relativi variano tra i 34 cm lungo il lato est a 43 cm lungo il lato ovest, mentre verso il centro del lotto sono pari a circa 50 cm. La pendenza nel primo tratto dell'asse centrale aumenta allo 0,7%, nel tratto finale diminuisce fino allo 0,4%. Viene garantito il deflusso verso il pozzo di raccolta.

7 VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE DELLA SCARPATA

Nel seguente paragrafo vengono analizzate le condizioni di stabilità globale delle scarpate della discarica nella sua configurazione finale; l'analisi è stata svolta tenendo conto della presenza delle azioni sismiche, secondo la nuova normativa (N.T.C., 2008).

Per le verifiche della discarica, a fine conferimento, si fa riferimento alla sezione aggiunta posta in prossimità della sezione 3-3' degli elaborati di progetto (tavola B08) caratteristica dell'intero intervento (vedi planimetria seguente), dove si ha il tratto di scarpata più inclinata (5,5°).

Lungo la sezione esaminata, sul terreno naturale con quota altimetrica di circa 1,4 m s.l.m. sarà realizzato un argine perimetrale con rinforzo in ghiaia, il pacchetto di impermeabilizzazione di fondo (sp 1 m), verranno quindi abbancati rifiuti che saranno poi coperti da un pacchetto finale spesso 2 m. La scarpata che sale dall'argine perimetrale avrà un tratto inclinato a 45 ° e poi la pendenza si ridurrà prima a 5,5 ° fino poi a diventare orizzontale.

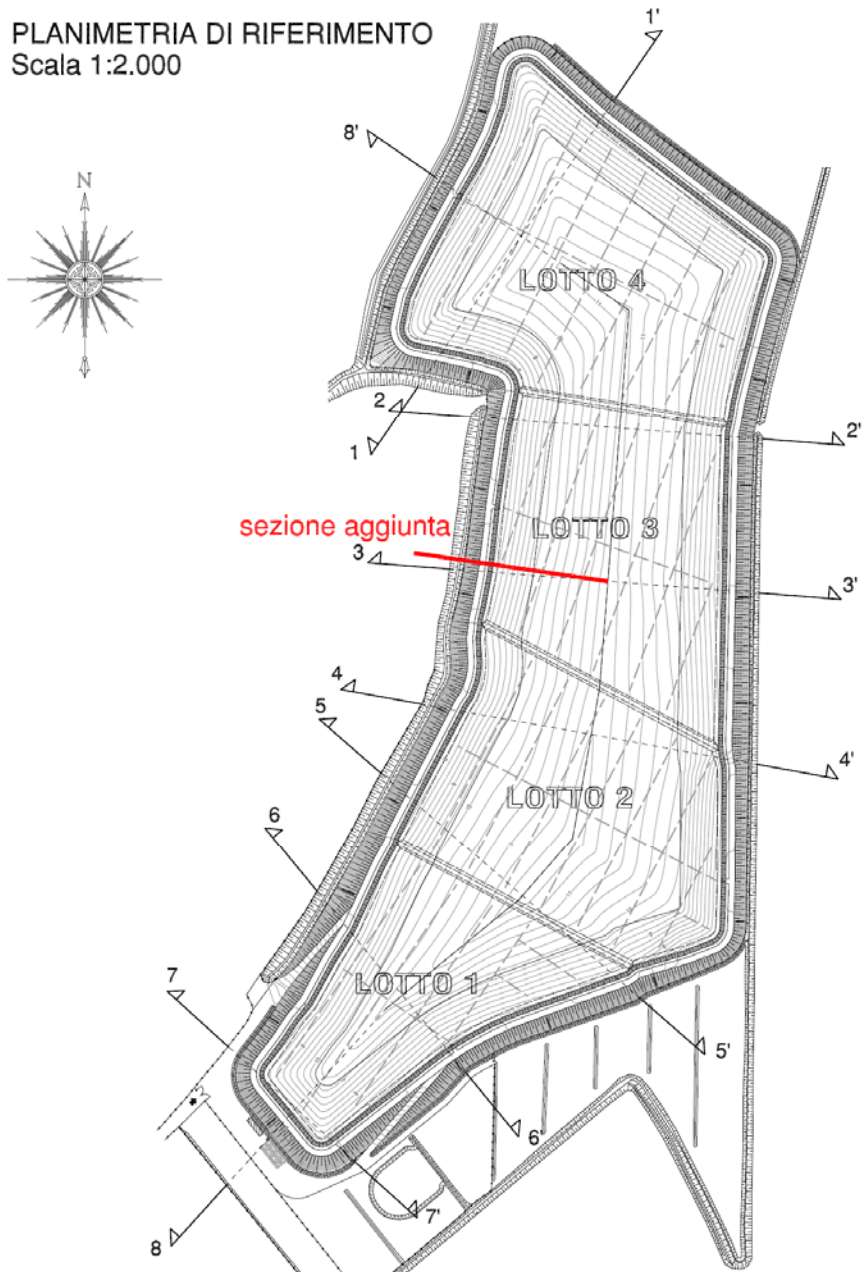


Figura 4: planimetria con traccia della sezione.

7.1 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E IDROGEOLOGICHE

7.1.1 Terreno naturale

Le stratigrafie derivanti dai sondaggi realizzati sul sedime della discarica, evidenziano che il sito è caratterizzato da un sottosuolo in prevalenza limoso argilloso.

I parametri geotecnici attribuiti a questo strato sono i seguenti:

peso specifico 2100 Kg/m³

angolo di attrito 25°

coesione drenata 0,06 kg/cm^q

7.1.2 Strato di rifiuti

Allo strato composto da rifiuti sono stati attribuiti i seguenti parametri:

peso specifico 1500 Kg/m³

angolo di attrito 30°

coesione drenata 0,1 kg/cm^q

7.1.3 Strato di copertura

Allo strato di copertura, composto da terreno vegetale + teli, sono stati attribuiti valori medi:

peso specifico 1.650 Kg/m³

angolo di attrito 15°

7.1.4 Argilla di impermeabilizzazione

Allo strato di impermeabilizzazione, composto da argilla a bassa permeabilità, sono stati attribuiti valori medi:

peso specifico 2.100 Kg/m³

angolo di attrito 25°

coesione drenata 0,06 kg/cm^q

7.1.5 Ghiaia per dreno e rinforzo

Allo strato di ghiaia per dreno e di rinforzo dell'argine, sono stati attribuiti valori medi:

peso specifico 1.900 Kg/m³

angolo di attrito 40°

7.1.6 Terreno compattato che costituisce il rilevato

Al terreno compattato che costituisce l'argine sono stati attribuiti valori medi:

peso specifico 1.800 Kg/m^3

angolo di attrito 28°

7.1.7 Livello della falda

Nell'analisi è stato inserito un livello pari a $-1,5 \text{ m}$ da p.c.

7.2 ESECUZIONE DELLA VERIFICA

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

(a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (φ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

(b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

7.2.1 Metodo Equilibrio Limite (LEM)

Il Metodo dell'Equilibrio Limite (LEM) consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di

Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza $F = \tau_f / \tau$.

In riferimento a quanto previsto dalle *NTC 2008*, per l'opera in oggetto è stata condotta la verifica della stabilità globale dell'insieme manufatto-terreno di fondazione (è stata eseguita la verifica di tipo *GEO*, mentre non essendo presenti elementi strutturali, non sono state eseguite verifiche di tipo *STR*).

La verifica deve essere effettuata secondo l'approccio 1:

Combinazione 2: (A2+M2+R2)

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione ed R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Il valore di progetto della resistenza R_d sarà determinato in modo analitico con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, ridotto secondo l'opportuno valore del coefficiente parziale γ_m , specificato in tab. 6.2.// delle *NTC 2008* e di seguito riportato, e tenendo conto del coefficiente parziale γ_R specifico per il tipo di opera (opere di materiali sciolti).

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

Coefficienti parziali per i carichi (da NTC 2008, tab. 6.2.I)

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
<i>Tangente dell'angolo di resistenza al taglio</i>	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
<i>Coesione efficace</i>	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
<i>Resistenza non drenata</i>	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
<i>Peso dell'unità di volume</i>	γ	γ_T	1,0	1,0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (da NTC 2008, tab. 6.2.II)

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti (da NTC 2008, tab. 6.8.I)

La verifica di stabilità globale si ottiene con:

$$E_d \leq R_d \quad \text{ossia} \quad F = \frac{R_d}{E_d} \geq 1$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius, Bishop, Janbu ecc.*). Il metodo che meglio si adatta al nostro caso è il metodo dei conci.

7.2.2 Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a n , il problema presenta le seguenti incognite:

n valori delle forze normali N_j agenti sulla base di ciascun concio;
 n valori delle forze di taglio alla base del concio T_j
 $(n-1)$ forze normali E_j agenti sull'interfaccia dei conci;
 $(n-1)$ forze tangenziali X_j agenti sull'interfaccia dei conci;
 n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_j ;
 $(n-1)$ valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_j ;
 una incognita costituita dal fattore di sicurezza F .

Complessivamente le incognite sono $(6n-2)$.

mentre le equazioni a disposizione sono:

Equazioni di equilibrio dei momenti n

Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n

Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n

Equazioni relative al criterio di rottura n

Totale numero di equazioni $4n$

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

$$i = (6n-2) - (4n) = 2n-2.$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a $(n-2)$ in quando si fa l'assunzione che

N_j sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le $(n-2)$ indeterminazioni. Al caso in particolare si è scelto di applicare il metodo di Bishop.

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.

Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_v = 0, \sum M_0 = 0, \text{ Criterio di rottura.}$$

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i \} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $\Delta X = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di Bishop ordinario, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

7.2.3 Valutazione dell'azione sismica

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza. Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$

$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W : peso concio

K_o : Coefficiente sismico orizzontale

K_v : Coefficiente sismico verticale.

Le NTC 2008 calcolano i coefficienti K_o e K_v in dipendenza di vari fattori:

$$K_o = \beta s \times (a_{max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_o$$

Con

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S S_T a_g$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica): $0.90 \leq S_S \leq 1.80$; è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

S_T (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di S_T varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1(S_T = 1.0) \quad T2(S_T = 1.20) \quad T3(S_T = 1.20) \quad T4(S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Per il nostro sito sono stati applicati i seguenti coefficienti sismici [N.T.C.]:

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]

Vita di riferimento: 50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T2

7.2.4 Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia $m \times n$ e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Di seguito si riportano i risultati dell'elaborazione del software Slope 2010 della Geostru.

Analisi di stabilità dei pendii con BISHOP

Numero di strati	8,0
Numero dei conci	10,0
Coefficiente di sicurezza [R2]	1,1

Superficie di forma circolare

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	16,24 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	25,63 m
Ascissa vertice destro superiore xs	29,81 m
Ordinata vertice destro superiore ys	39,2 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Descrizione:	
Latitudine:	45,6
Longitudine:	12,37
Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]

Vita di riferimento: 50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,32	2,56	0,22
S.L.D.	50,0	0,39	2,59	0,26
S.L.V.	475,0	1,01	2,55	0,36
S.L.C.	975,0	1,3	2,57	0,38

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,576	0,2	0,0117	0,0059
S.L.D.	0,702	0,2	0,0143	0,0072
S.L.V.	1,818	0,24	0,0445	0,0222
S.L.C.	2,3331	0,24	0,0571	0,0286

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,012
 Coefficiente azione sismica verticale 0,006

Vertici profilo

N	X m	y m
1	15,3	19,9
2	20,0	20,0
3	29,3	24,0
4	33,9	24,0
5	36,0	26,0
6	56,0	28,0

Falda

Nr.	X m	y m
1	15,3	17,4
2	56,0	17,4

Piezometrica Nr..1

Vertici strato1

N	X m	y m
1	15,3	19,9
2	20,0	20,0
3	29,3	24,0
4	33,9	24,0
5	34,9	24,9
6	56,0	27,0

Vertici strato2

N	X m	y m
1	15,3	19,9
2	20,0	20,0
3	28,5	23,6
4	32,5	23,6
5	32,8	23,3
6	34,1	23,3
7	35,3	24,4
8	56,0	26,5

Vertici strato3

N	X m	y m
1	15,3	19,9
2	20,0	20,0
3	28,5	23,6
4	32,5	23,6
5	32,8	23,3
6	34,1	23,3
7	34,9	24,0
8	35,8	24,0
9	56,0	26,0

Vertici strato4

N	X m	y m
1	15,3	19,9
2	20,0	20,0
3	28,5	23,6
4	32,5	23,6
5	32,8	23,3
6	34,1	23,3
7	34,9	24,0
8	35,8	24,0
9	38,2	22,5
10	56,0	22,5

Vertici strato5

N	X m	y m
1	15,3	19,9
2	20,0	20,0
3	28,5	23,6
4	32,5	23,6
5	32,8	23,3
6	34,1	23,3
7	34,9	24,0
8	38,8	21,5
9	56,0	21,5

Vertici strato6

N	X m	y m
1	15,3	19,9
2	20,0	20,0
3	22,1	20,9
4	30,1	20,9
5	32,8	23,3

6	34,1	23,3
7	36,8	20,9
8	56,0	20,9

Vertici strato7

N	X m	y m
1	15,3	19,9
2	20,0	20,0
3	22,1	20,9
4	56,0	20,9

Stratigrafia

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm ²)	Fi (°)	G (Kg/m ³)	Gs (Kg/m ³)	K (Kg/cm ³)	Litologia	
1	0	15	1650	1800	0,00		Terreno vegetale sp 100 cm
2	0	40	1900	2100	0,00		Ghiaia sp 50 cm
3	0,06	25	2100	2300	0,00		Argilla sp 50 cm
4	0,1	30	1500	1650	0,00		Rifiuti sp vario
5	0,06	25	2100	2300	0,00		Argilla di fondo sp 100 cm
6	0	28	1800	2000	0,00		Terreno limoso sabbioso compattato sp vario
7	0	40	1900	2100	0,00		Ghiaia rinforzo argine
8	0,06	25	2100	2300	0,00		Terreno naturale argilloso

Carichi concentrati

N°	x m	y m	Fx (Kg)	Fy (Kg)	M (Kg m)
1	30,4	24	0	5000	0
2	32	24	0	5000	0

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	1,42
Ascissa centro superficie	20,99 m
Ordinata centro superficie	33,09 m
Raggio superficie	14,3 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

Analisi dei conchi. Superficie...xc = 20,99 yc = 33,095 Rc = 14,298 Fs=1,4224

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1,65	-19,2	1,75	1160,44	13,93	6,96	0,05	20,5	0,0	1578,4	1005,3
2	1,65	-12,3	1,69	2899,25	34,79	17,4	0,05	20,5	0,0	3278,5	1431,4
3	1,22	-6,4	1,22	2812,87	33,75	16,88	0,05	20,5	0,0	2964,7	1190,8
4	2,09	0,2	2,09	7267,7	87,21	43,61	0,05	20,5	0,0	7257,4	2609,8
5	1,65	7,8	1,67	7918,88	95,03	47,51	0,05	20,5	0,0	7641,8	2567,9
6	1,65	14,5	1,71	8908,28	106,9	53,45	0,05	20,5	0,0	8476,7	2800,2
7	1,65	21,5	1,78	9160,32	109,92	54,96	0,05	20,5	0,0	8709,5	2884,7
8	2,24	30,3	2,6	11352,35	136,23	68,11	0,05	20,5	0,0	10958,0	3750,6
9	1,07	38,3	1,36	4155,4	49,86	24,93	0,0	23,0	0,0	4282,2	1280,6
10	1,65	45,7	2,37	12805,69	153,67	76,83	0,0	23,0	0,0	14040,3	4198,9

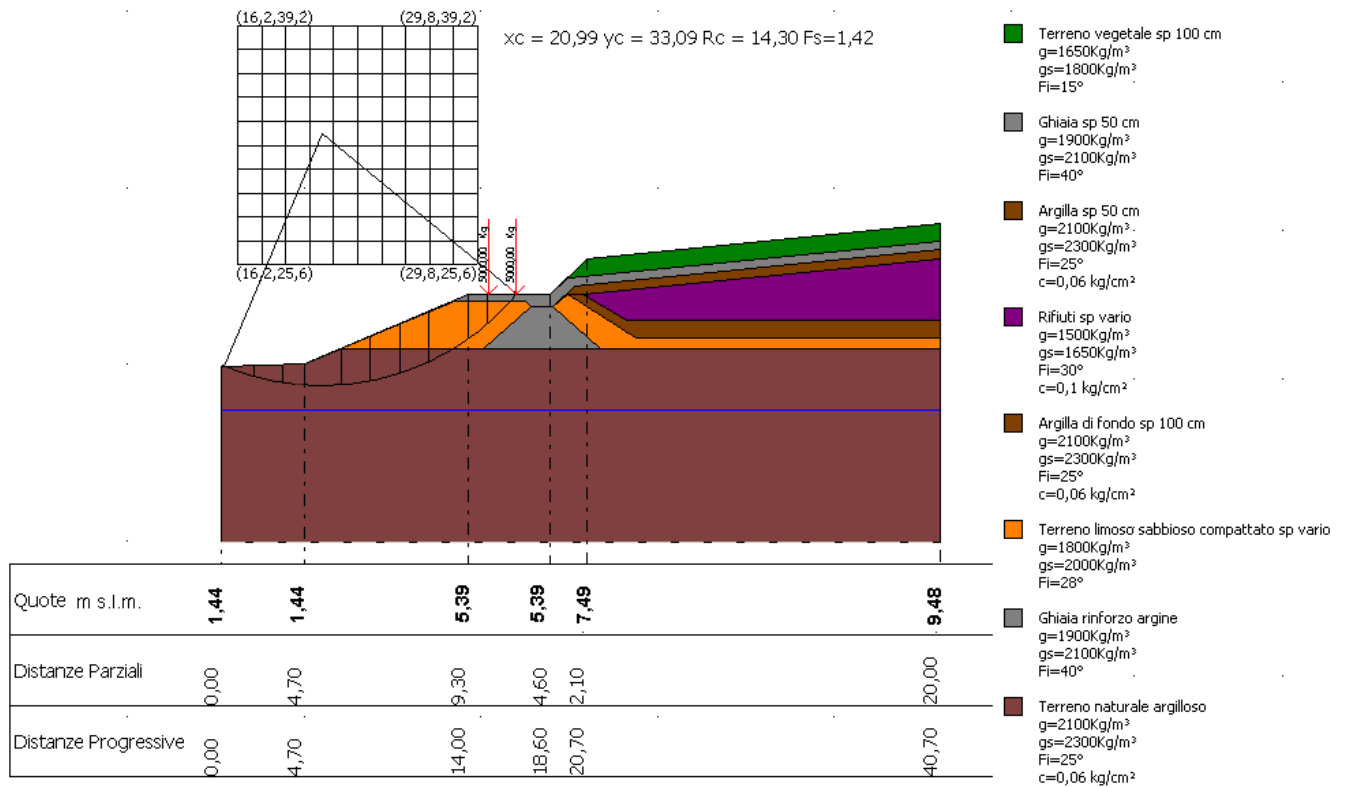


Figura 5: rappresentazione grafica della Verifica con evidenziazione del cerchio critico.

7.3 CONCLUSIONI SULLA VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE

La verifica è stata condotta secondo l'approccio 1 con la combinazione 2 [A2+M2+R2]. Sulla base dei risultati delle verifiche si nota che il pendio risulta sufficientemente stabile con un coefficiente di sicurezza minimo F_s pari a **1,42** che è $> 1,1$ (per opere in materiali sciolti e fronti di scavo come da NTC2008) in corrispondenza al cerchio di scorrimento più sfavorevole.

8 CONCLUSIONI

Le indagini eseguite in epoche diverse chiariscono la situazione litostratigrafica del sito e forniscono i dati sufficienti alla progettazione dell'intervento in programma nel rispetto della normativa in vigore.

Le verifiche dei cedimenti del fondo e di stabilità delle scarpate non mettono in evidenza elementi che possono pregiudicare l'esecuzione dell'intervento.

L'intervento, in conclusione, se realizzato come da progetto esaminato non potrà determinare instabilità alla componente geologica ed idrogeologica e impatti negativi indiretti sulle altre matrici ambientali.