



*Discarica di rifiuti non pericolosi
Baricella (Bo)*

Valutazione di impatto ambientale

L.R. 9 del 18 maggio 1999 e s.m.i.

Documentazione Integrativa[I1]

PROGETTO ESECUTIVO

Progetto di ampliamento



ELABORATO 2

Relazione geologica e geotecnica
comprensiva delle verifiche di stabilità

Approvato	E. Zamagni		
Controllato	C. Faraone G.L. Bergonzini		
Redatto	V. Bretti L. Manzone		
Rev.	00	Data	26/09/2016
Cod. Doc.	DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Pagine	1 di 64

SOMMARIO

A	PREMESSA	5
B	QUADRO NORMATIVO	6
	B.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
C	INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO E CARTOGRAFICO	7
D	GEOMORFOLOGIA GENERALE	8
E	MORFOLOGIA DEL SITO	9
F	GEOLOGIA GENERALE	10
G	IDROGRAFIA GENERALE.....	12
H	IDROGEOLOGIA GENERALE.....	13
I	RISCHIO SISMICO	16
J	INDAGINI STORICHE.....	18
K	CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA DEI TERRENI.....	20
	K.1 SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE.....	20
L	MODELLO IDROGEOLOGICO	22
	L.1 CATASTO POZZI E PIEZOMETRIA DELLE ACQUE SOTTERRANEE	22
	L.2 UNITÀ IDROGEOLOGICHE.....	23
	L.3 PARAMETRIZZAZIONE IDROGEOLOGICA	27
	L.4 POTENZIALI INTERFERENZE IDROGEOLOGICHE.....	28
M	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	30
	M.1 INDAGINI DEL 2008	30
	M.2 INDAGINI DEL 2015	33

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	2 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

N	CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA.....	35
N.1	CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA ED UNITÀ DI RIFERIMENTO	35
O	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	36
O.1	CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE	36
O.2	CARATTERISTICHE FISICHE.....	36
O.3	GRADO DI SOVRACONSOLIDAZIONE	37
O.4	DENSITÀ RELATIVA	38
O.5	CARATTERISTICHE DI RESISTENZA AL TAGLIO	38
O.5.1	<i>Terreni coesivi</i>	38
O.5.2	<i>Terreni incoerenti</i>	41
O.6	CARATTERISTICHE DI DEFORMABILITÀ	43
O.6.1	<i>Terreni coesivi</i>	43
O.6.1.1	<i>Prove dinamiche cicliche</i>	44
O.6.2	<i>Terreni incoerenti</i>	44
O.7	CARATTERISTICHE DI CONSOLIDAZIONE	45
O.7.1	<i>Consolidazione primaria</i>	45
O.7.2	<i>Consolidazione secondaria</i>	46
O.8	CARATTERISTICHE DI PERMEABILITÀ	48
O.9	PROVE DI COSTIPAMENTO.....	48
P	VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE	50
Q	VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI	51
R	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO.....	52
R.1	SISMICITÀ DELL'AREA E CLASSIFICAZIONE SISMICA.....	52
R.2	AZIONE SISMICA AI SENSI DEL D.M. 14.01.2008.....	52
S	VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE	54
S.1	MODALITÀ DI CALCOLO DELLE VERIFICHE DI STABILITÀ	54
S.1.1	<i>Assunzioni di calcolo per le analisi di stabilità globale</i>	54
S.1.1.1	<i>Azione sismica</i>	54

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	3 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

S.1.1.2	Pressioni interstiziali e condizioni di drenaggio	54
S.1.2	Azioni dovute ai carichi	55
S.1.3	Livello idrico	55
S.1.4	Parametri relativi al cumulo dei rifiuti	55
S.1.5	Parametri geotecnici di progetto	56
S.2	STABILITÀ GLOBALE A FINE COLTIVAZIONE.....	56
S.3	STABILITÀ GLOBALE A LUNGO TERMINE	58
T	STIMA DEL PROCESSO DI CONSOLIDAZIONE E DEI CEDIMENTI	60
U	SINTESI CONCLUSIVA.....	63
V	APPENDICI.....	64

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	4 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

A PREMESSA

La presente relazione geologica e geotecnica è stata redatta nell'ambito del progetto definitivo dell'ampliamento della discarica di Baricella, sita in Comune di Baricella (BO) (Sito). Oggetto dello studio è la caratterizzazione geologica e geotecnica dei terreni finalizzata al dimensionamento delle opere necessarie per la realizzazione dell'ampliamento, l'analisi dei cedimenti e le verifiche di stabilità globale.

Considerando che l'opera in progetto si svilupperà in adiacenza ad una discarica esistente per la quale sono già state eseguite delle indagini geognostiche in fase di progettazione le informazioni di carattere geologico, geomorfologico ed idrogeologico sono state desunte in parte dagli studi pregressi ed in parte dalla letteratura.

La caratterizzazione geotecnica dei terreni è stata effettuata sulla base dei dati acquisiti nel corso della campagna indagini appositamente progettata dallo Studio Mattioli S.r.l. nel marzo 2008, che a sua volta riprendeva i dati a firma del dott. Gasparini del 1993 e fornita alla Golder Associates quale base per le elaborazioni di progetto.

Questi dati sono stati integrati recentemente con quelli derivanti dalla campagna di indagini eseguita ad agosto 2015 su richiesta della Golder Associates al fine di acquisire dati più dettagliati sul sottosuolo. In particolare risultavano necessari i dati relativi alla formazione geotecnica 2B descritta nel seguito.

Nel presente documento verranno pertanto trattate le seguenti tematiche:

- inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico a scala regionale;
- descrizione della stratigrafia locale;
- modello idrogeologico del sito;
- sintesi dei risultati delle indagini eseguite;
- definizione del modello e delle unità litostratigrafiche dell'area;
- caratterizzazione geotecnica delle unità individuate;
- verifiche di stabilità globale della discarica;
- valutazione dei cedimenti del sedime di fondazione.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	5 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

B QUADRO NORMATIVO

B.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Legge 2 Febbraio 1974, n. 64 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- O.P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006, "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone".
- D.M. 14.01.2008 “Nuove norme tecniche per le costruzioni”.
- Raccomandazioni AGI Giugno 1977, “Programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”.
- Raccomandazioni AGI maggio 1994 “Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio”.
- Raccomandazioni AGI, marzo 2005, “Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica, Linee Guida”.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	6 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

C INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO E CARTOGRAFICO

L'area oggetto del presente lavoro (Figura 1), è collocata in adiacenza all'attuale discarica di Baricella, nella bassa pianura bolognese, ad una quota compresa tra 7 e 9 m s.l.m., nel settore sud-orientale del Comune di Baricella a Nord-Est della città di Bologna, ed è rappresentata nelle seguenti Carte Tecniche della Regione Emilia Romagna:

- Tavola 203 SE: toponimo "Baricella"-scala 1:25.000;
- Sezione 203150: toponimo "Baricella"-scala 1:10.000;
- Elemento 203151: toponimo "Prato Grande"-scala 1:5.000.

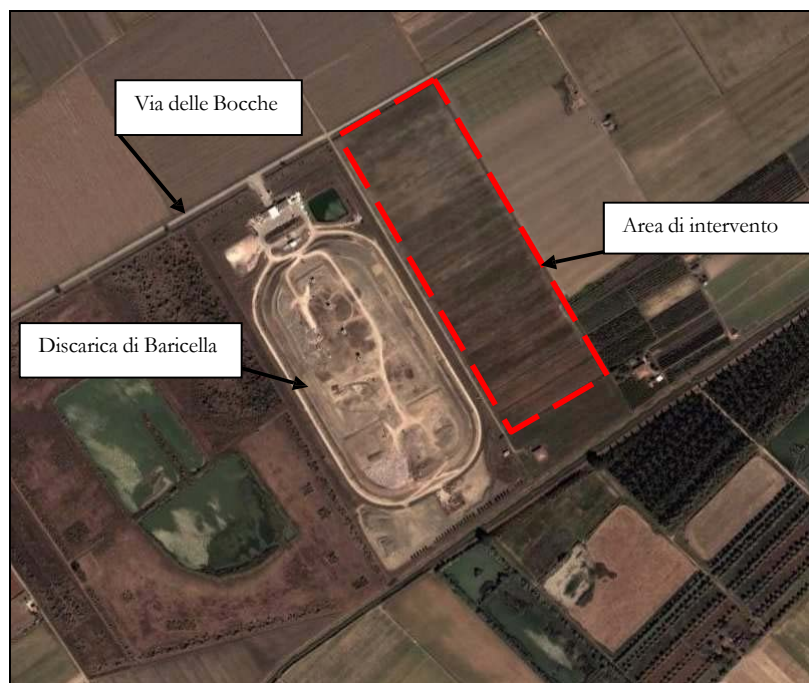


Figura 1- Inquadramento geografico dell'area di intervento

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	7 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

D GEOMORFOLOGIA GENERALE

L'Emilia-Romagna, compresa per intero nel versante padano dell'Appennino settentrionale, è caratterizzata da una marcata articolazione del territorio, prodotta dalla distribuzione dei rilievi e, conseguentemente, dalla rete idrografica, dall'altimetria, dai paesaggi e dal clima.

Nella regione si possono individuare una zona di montagna, una di collina, una di pianura ed una costiera. Le condizioni naturali sono caratterizzate da una distribuzione lineare di questi elementi morfologici, secondo fasce a sviluppo WNW-ESE.

In corrispondenza dell'asse della catena appenninica sono presenti le cime più elevate che formano rilievi compatti a cui seguono, verso la pianura, varie cime e dorsali di minor altezza. La fascia collinare degrada, infine, verso la pianura alluvionale.

Dal punto di vista idraulico, i corsi d'acqua scorrono con direzione SSO-NNE e presentano, nel loro tratto montano e collinare, un regime torrentizio caratterizzato da elevate portate autunnali e primaverili alle quali si alternano, nei periodi invernali ed estivi, prolungati periodi di magra. Lo sbocco dei fiumi nella pianura determina la formazioni di importanti conoidi che fungono da raccordo tra la fascia montana e quella di pianura.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	8 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

E MORFOLOGIA DEL SITO

Nello specifico l'area in oggetto è sita nell'unità di pianura.

La discarica è ubicata nella bassa pianura bolognese, su un territorio caratterizzato dall'alternanza di aree depresse (zone umide bonificate) ed aree poco rilevate (dossi fluviali). Il paesaggio agrario presenta diffuse colture erbacee, pochissime alberature isolate, rari gruppi arbustivi, qualche campo con coltivazioni arboree ed alcuni pioppeti; gli argini dei corsi d'acqua sono elementi sedimentati e caratterizzanti il paesaggio.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	9 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

F GEOLOGIA GENERALE

Il sito è ubicato in una zona di pianura costituita da una coltre deposizionale caratterizzata esclusivamente da alluvioni recenti e attuali, attribuibili al fiume Reno.

La pianura bolognese è caratterizzata da depositi alluvionali di origine continentale che si impilano sulle successioni marine, affioranti nelle aree collinari pedeappenniniche, ove si mostrano dislocate in profondità da un sistema di faglie, a direzione NO-SE.

Le formazioni marine si approfondiscono molto rapidamente raggiungendo profondità già di circa m 300-400 all'altezza del confine settentrionale del territorio del Comune di Bologna.

Le pendenze rilevabili lungo la pianura passano da un valore del 25 per mille nella parte dell'alta pianura ad un valore 1 per mille in quella della bassa pianura.

La geomorfologia di pianura risente sensibilmente della presenza dei conoidi dei fiumi principali quali il Reno ad Ovest ed i Savena ad Est.

L'area in esame si sviluppa in un settore deposizionale dell'alta Pianura Padana caratterizzato da leggere ondulazioni che degradano progressivamente verso Nord; pressoché pianeggiante si ubica ad una quota media di 8,00 m s.l.m.

La morfologia superficiale risente sia del costante intervento umano, volto a migliorarne l'efficienza dal punto di vista agricolo, sia della vicinanza degli scoli tributari del Fiume Reno, che in fase di tracimazione e di sedimentazione, hanno depositato lenti alluvionali che si interdigitano tra di loro conferendo alla zona un andamento leggermente ondulato.

L'idrografia superficiale secondaria è rappresentata da piccoli fossi di scolo bordanti le zone coltivate, che raccolgono le acque di precipitazione eccessive per incanalarle verso i collettori principali. Dal punto di vista geo-litologico l'area ricade in un settore di depositi alluvionali quaternari caratterizzati essenzialmente da materiali medio fini (argille e limi) interrotti localmente da sottili lenti sabbiose (Figura 2. Estratto Carta Geologica d'Italia. Scala 1: 100.000).

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	10 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

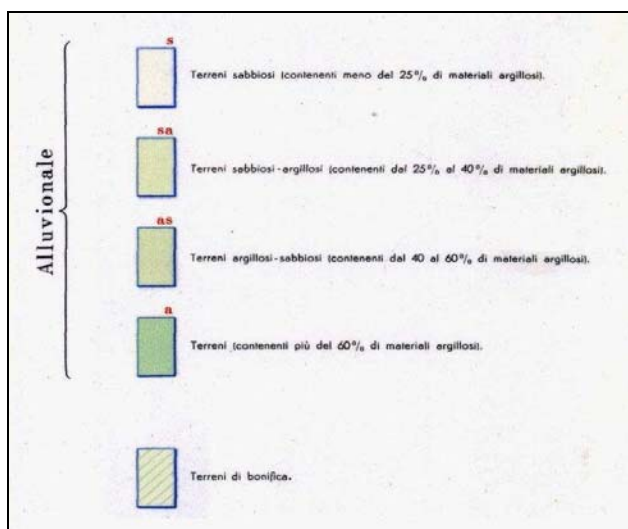
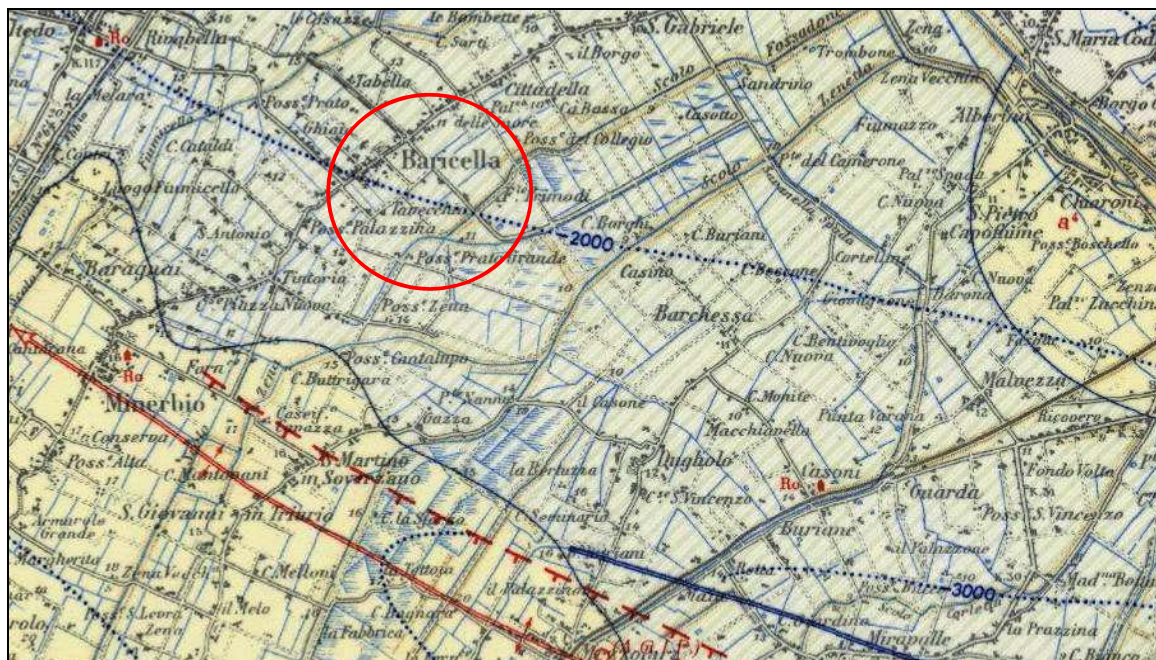


Figura 2. Estratto Carta Geologica d'Italia. Scala 1: 100.000

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	11 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

G IDROGRAFIA GENERALE

Dal punto di vista idrografico l'elemento principale più prossimo all'area in oggetto è il fiume Reno.

Elemento idrologico minore, prossimo all'area di studio, è il canale Lorgana; esso corre in prossimità del confine settentrionale della Provincia di Bologna, nell'ultimo tratto in maniera parallela al Canale della Botte; presenta una conformazione tipica dei grandi canali di bonifica della bassa pianura con tracciato a tratte rettilinee, ampie sezioni e banche interne con una fascia di canneto a livello dell'acqua, ripide sponde sfalciate e tratti con vegetazione arbustiva.

Si osservano inoltre piccoli fossi di scolo bordanti le zone coltivate, che raccolgono le acque di precipitazione eccessive per incanalarle verso i collettori principali (Figura 3).

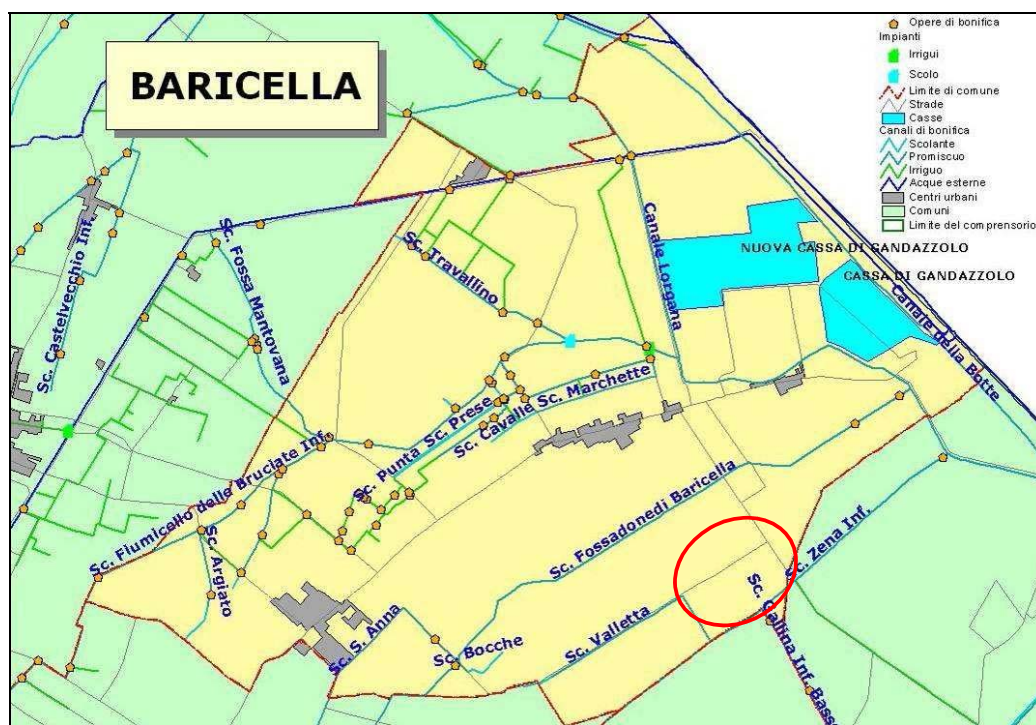


Figura 3. Idrografia di dettaglio del comune di Baricella

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	12 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

H IDROGEOLOGIA GENERALE

Il complesso sistema acquifero del bacino padano è costituito da un grande serbatoio naturale alimentato per infiltrazione superficiale nell'alta pianura, per flusso di subalveo all'ingresso in pianura dei corsi d'acqua e per scambi con il sistema idrico superficiale.

L'alimentazione avviene prevalentemente in corrispondenza della fascia delle conoidi pedeappenniniche.

I depositi quaternari sono permeati da acque dolci la cui base è da porsi al passaggio fra formazioni continentali e marine.

Dai rapporti di perforazione dell'AGIP reperibili in letteratura, risulta infatti che in tutta la pianura all'aumentare della profondità, agli strati saturati da acque dolci succedono strati ad acque salato-salmastre: l'acqua salmastra che satura le formazioni pleistoceniche della pianura è da ritenersi coeva alle formazioni stesse. Ciò è giustificato dal fatto che, laddove le formazioni marine si presentano con buone caratteristiche di permeabilità, l'acqua salata coeva della formazione, è stata spiazzata dal flusso di acqua dolce che scorre nell'acquifero.

La base dell'acquifero risulta dunque per lo più costituita da facies praticamente impermeabili saturate da acqua salata immobile.

La superficie di separazione tra acque dolci ed acque salate può pertanto essere considerata con l'effettiva chiusura idrodinamica inferiore del sistema acquifero.

L'andamento del tetto del substrato manifesta in generale una brusca immersione in corrispondenza della media pianura presentando nel caso del territorio bolognese le profondità maggiori nelle aree in prossimità del fiume Reno e dell'Idice.

La distinzione dei diversi acquiferi risulta difficile per i complessi rapporti spaziali dei sedimenti clastici. Si possono comunque riassumerne le caratteristiche dicendo che il complesso sistema acquifero della pianura risulta costituito da una serie di orizzonti permeabili connessi idraulicamente, intercalati con livelli impermeabili tali da poter essere assimilati, a scala regionale, ad un unico acquifero (acquifero monostrato equivalente).

Si tratta di un sistema idrico caratterizzato da una dinamica delle acque sotterranee propria di un acquifero artesianico, almeno nelle fasce di medio-bassa pianura.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	13 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

Procedendo da Sud verso Nord, il territorio della pianura bolognese è caratterizzato dalla presenza di tre unità idrogeologiche distinte (l'alta, la media e la bassa pianura) disposte sub-parallelamente rispetto al margine appenninico.

La zona di alta pianura, cui corrispondono le quote topografiche più elevate, è identificata dalla fascia più o meno continua delle ghiaie che si estende nel territorio bolognese, della conoide del torrente Samoggia (ad Ovest) alla conoide del torrente Quaderna (ad Est) ed è caratterizzata da terreni prevalentemente ghiaiosi, anche di notevole spessore, e di conseguenza dalla presenza di abbondanti risorse idriche sotterranee facilmente sfruttabili.

La parte Ovest è occupata dalla conoide del fiume Reno, che si allunga ampiamente per quasi 10 km nella pianura raggiungendo profondità elevate.

Nella media e bassa pianura bolognese, dove i terreni sono via via sempre più argillosi, le caratteristiche del sottosuolo non permettono rapide ricariche.

L'acquifero qui perde unitarietà e compaiono livelli a permeabilità ben differenziata con falde localmente in pressione e scarsamente intercomunicanti per la discontinuità degli orizzonti trasmissivi.

L'alimentazione qui avviene in prevalenza da monte ed anche per infiltrazione diretta. Compaiono in profondità orizzonti sabbiosi di ambiente costiero e marino, con acque in pressione non più di provenienza appenninica ma padana, in parte acque fossili, con ricambio molto lento.

Nei terreni superficiali è quasi sempre presente una falda freatica alimentata dai fiumi, ormai pensili, e dalle acque meteoriche.

Le aree di pianura costituiscono zone di accumulo delle acque, con circolazione in senso NW-SE (bacini sinclinalici della bassa pianura) e dove gli acquiferi, per le modalità di alimentazione e per il chimismo delle acque, sono da considerarsi a livelli multipli, cioè differenziati.

In particolare nella zona di Baricella si nota che la falda freatica superficiale, presente nelle aree topograficamente più rilevate (dossi fluviali), diventa confinata in area di valle alluvionale (dove insiste l'area oggetto del presente studio), proprio per la presenza da p.c. a circa 8-10 m di profondità (0-2 m s.l.m.), di argille impermeabili. Tali argille sono parzialmente sature ma non riferibili ad un acquifero e pertanto le acque contenute verranno chiamate di "ritenzione".

Più in profondità abbiamo diversi livelli acquiferi noti dalle ricerche idriche, che si attestano all'incirca alle profondità di 40 m, 100 m, 150 m, 180 m, 250 m, 300 m e 350 m.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	14 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

I livelli più consistenti e maggiormente sfruttati, sono quelli profondi da 250 m a 350 m il cui livello statico si differenzia (circa -6--8 m s.l.m.) rispetto i livelli più superficiali che invece oscillano da 4-5 m s.l.m.

Tale differenziazione, che va nel tempo riducendosi, è l'effetto del sovraemungimento operato in tutta la provincia negli anni '65-'70 ed alla base delle cause del fenomeno di subsidenza accelerata.

L'andamento della superficie freatica è complessivamente regolare e pseudo-orizzontale; le falde più superficiali denotano forme del tutto identiche alla topografia e pendenze in area che si aggirano sul 2-3% in direzione SW-NE.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	15 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

I RISCHIO SISMICO

L'area del comune di Baricella all'interno del quale si sviluppa per intero l'intervento in progetto, ricade in relazione alla nuova riclassificazione sismica della regione Emilia-Romagna (per ordinanza del PCM n. 3274/2003) in zona sismica 3.

I parametri utilizzati per misurare la pericolosità di un sito sono i seguenti:

- l'intensità massima sperimentata nel sito negli ultimi 1000 anni;
- l'intensità corrispondente ad un assegnato periodo di ritorno;
- il valore del rapporto fra il coefficiente sismico di progetto e quello attribuito ad un sito di riferimento.

Per rischio sismico si intende il valore del danno atteso da un sisma che interesserà in futuro una determinata area. Il valore dipende dalla pericolosità, dalla vulnerabilità e dall'esposizione (ossia dall'importanza e dal valore del territorio antropizzato). La differenza tra rischio e pericolosità implica il concetto di valore: si consideri che un'area a pericolosità sismica elevata, ma disabitata, potrà risultare a rischio non elevato, mentre aree a bassa pericolosità, ma densamente popolate e per di più con costruzioni di cattiva qualità, potranno risultare ad alto rischio.

La nuova normativa sismica (D.M. 14/09/2005) disciplina la progettazione e la costruzione di opere d'arte soggette ad azioni sismiche, nonché la valutazione della sicurezza e gli interventi di adeguamento su opere esistenti soggette al medesimo tipo di azioni sismiche.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si definiscono sette tipi di sottosuolo (Tabella 1. Categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione) suddivisi sulla base del profilo stratigrafico del suolo di fondazione. Tali categorie possono essere definite in funzione dei valori delle VS30 (velocità media di propagazione entro 30 metri di profondità delle onde di taglio) e, subordinatamente, in base ai valori di NSPT per terreni granulari e cu per terreni coesivi.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	16 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

	DESCRIZIONE DEL PROFILO STRATIGRAFICO	PARAMETRI		
		VS30 [m/s]	NSPT [colpi/30cm]	cu [KPa]
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m	>800	---	---
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS30 compresi tra 360 e 800 m/s ovvero resistenza penetrometrica NSPT>50 e cu>250 KPa	360÷800	> 50	>250
C	Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri caratterizzati da valori di VS30 compresi tra 180 e 360 m/s (15<NSPT<50 e 70<cu<250 KPa)	180÷360	15÷50	70÷250
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di VS30 <180 m/s (NSPT<15, cu<70 KPa)	<180	<15	<70
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di Vs,30 simili a quelli dei tipi C o D e spessore tra 5 e 20 m giacenti su un substrato di materiale più rigido con VS30>800 m/s			
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità (PI>40) e contenuto d'acqua caratterizzati da VS30<100 m/s e 10<cu<20 KPa	<100	---	10÷20
S2	Depositi di terreno soggetto a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti			

Tabella 1. Categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	17 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

J INDAGINI STORICHE

Dall'analisi dei dati storici e di letteratura (studio geognostico discarica RSU in Comune di Baricella, ed. 1993 – a cura del Dott. Giorgio Gasparini) si evince che complessivamente, l'area investigata posta ad Ovest dell'attuale area di potenziale ampliamento, è costituita da sedimenti alluvionali Quaternari, prevalentemente limo-argillosi con intercalazioni lenticolari sabbiose.

Il modello geomeccanico desunto e illustrato nella Figura 4 dalle indagini effettuate, può essere così schematizzato:

- dal piano campagna sino a -8/-10 m, sono presenti terreni argillosi sovraconsolidati per "aging" così suddivisibili: un primo strato, fino a circa -4 m, caratterizzato da abbondante sostanza organica ad elevata compressibilità e basse caratteristiche di resistenza al taglio; un secondo strato, da -4 a -10 m, con diminuzione della sostanza organica e miglioramento delle caratteristiche geotecniche; la permeabilità risulta comunque molto bassa;
- al di sotto delle argille recenti e cioè oltre gli 8 m e fino ai -13 /-14 m, si hanno generalmente argille limose con R_p più elevato ($10-24 \text{ Kg/cm}^2$) e coefficiente di consolidazione c_v medio-basso ($6-9 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$); è più alto il contributo dell'attrito ($\varphi=22-23^\circ$) e minore la coesione efficace ($c'=0.06 \text{ Kg/cm}^2$); localmente, si rinvencono le prime sabbie presenti comunque anche a profondità maggiori (-13 /-14 m e fino a circa -16 m); si tratta di sabbie fini con R_p elevato ($90-100 \text{ Kg/cm}^2$) ed angolo di attrito interno pari a $32-34^\circ$;
- a partire dai -16 e/o -19 m da p.c., si rinvencono argille limose del tutto simili a quelle recenti, sotto le quali si hanno nuovamente sabbie ($R_p=50-150 \text{ Kg/cm}^2$) e limi aventi $R_p=19-21 \text{ Kg/cm}^2$, coefficiente di consolidazione $c_v=10^{-3} \text{ cm}^2/\text{s}$ e permeabilità dell'ordine di 10^{-10} m/s ;
- seguono poi, da -24 a -39 m circa, nuovamente alternanze di argille limose e limi (questi ultimi con R_p anche fino a 45 Kg/cm^2) fino al primo livello sabbioso importante dal punto di vista idrogeologico, compreso fra -35 e -43 m circa, che presenta R_p pari a $70-130 \text{ Kg/cm}^2$;
- oltre i -40/-43 m sono presenti argille con permeabilità (10^{-10} cm/s) e c_v ($5 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$) piuttosto bassi; anche il coefficiente di compressibilità m_v risulta essere piuttosto basso ($0.0015 \text{ cm}^2/\text{Kg}$), dello stesso ordine di quello riferito alle argille recenti.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	18 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

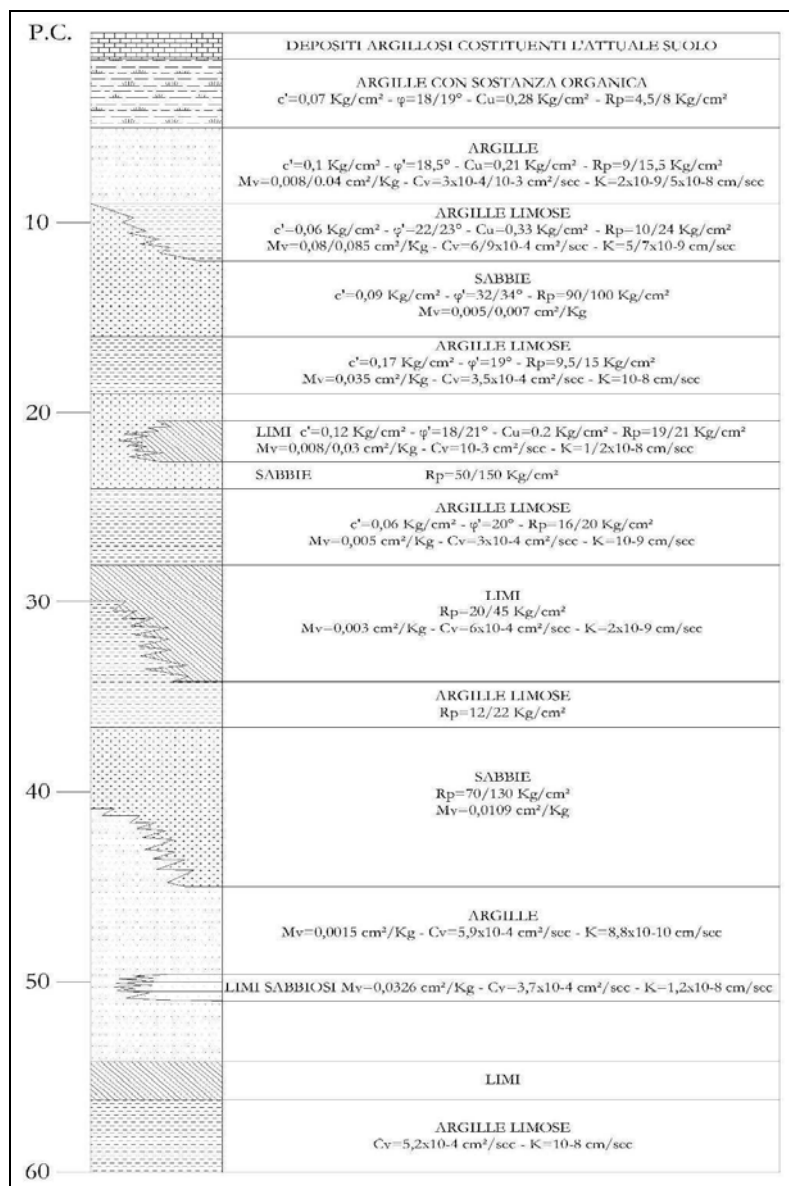


Figura 4. Colonna geomeccanica riassuntiva (da studio geognostico-relazione 1993)

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	19 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

K CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA DEI TERRENI

Le risultanze scaturite dalle indagini in sito, hanno permesso la caratterizzazione litostratigrafica descritta nel presente capitolo; qualora tali indagini non abbiano fornito dati sufficienti, si è fatto riferimento a quanto disponibile dalla bibliografia e/o da dati acquisiti dalle pregresse indagini sui terreni caratterizzanti l'area adiacente, sede dell'attuale discarica.

K.1 SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE

In Allegato 1 vengono riportate le sezioni litostratigrafiche e la loro relativa ubicazione, ricostruite partendo dall'analisi comparata di sondaggi, prove penetrometriche ed analisi di laboratorio effettuate sui campioni di terreno.

Ove possibile si sono poi confrontati sondaggi e prove vicine "tarando" in tal modo un modello interpretativo congiunto valido anche per le zone ove esistono o solo prove o solo sondaggi. In tal senso sono risultate molto utili le determinazioni analitiche di laboratorio, in particolare l'analisi granulometrica e le prove di caratterizzazione (limiti di Atterberg, ecc.).

Analizzando le sezioni litostratigrafiche elaborate, si evidenzia la natura spesso lenticolare dei sedimenti con il ripetersi in sequenza monotona di depositi prevalentemente fini (argille e limi) con intercalati strati più grossolani limo-sabbiosi, o più francamente sabbiosi, che tendono ad aumentare di spessore con la profondità.

Il modello litostratigrafico tipo, può essere così schematizzato:

- dal piano campagna e sino a circa 1 m di profondità da p.c. (6,5-6 m s.l.m.) è presente uno strato argilloso costituente l'attuale suolo, indurito per essiccamento;
- alla base del livello costituito dal suolo e cioè oltre i 6,5-6 m s.l.m., si hanno argille ricche di sostanza organica sia visibile che non;
- segue poi una sedimentazione argillosa la cui base sedimentaria è situata a profondità compresa tra i -1 /-4 m s.l.m.; si tratta di argille limose e/o debolmente limose plastiche, con calcinelli e screziature bruno-giallastre da alterazione;
- al di sotto delle argille più recenti e sino alla quota di circa -8 /-9 m s.l.m. (al centro delle sezioni FF' e BB'), si individua quindi un livello costituito da materiale più grossolano

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	20 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

rappresentato da sabbie medio-fini ($q_c=80-200$ kg/cm²) talvolta interrotte lateralmente da depositi limo-argillosi con spessori maggiori verso Sud-Est;

- oltre i -8 /-9 m s.l.m., e sino alla quota di -12 m s.l.m., si hanno delle differenziazioni laterali tra limi ed argille limose e/o debolmente limose;
- la successione continua con depositi argillosi molto continui in senso di sviluppo laterale ai quali sono intercalati livelli limosi dalla natura lenticolare;
- alla base si trovano i livelli sabbiosi che chiudono la sedimentazione tra i quali il più profondo si individua, in corrispondenza delle sezioni FF' e GG', a circa -30 /-35 m s.l.m.

Nelle sezioni litostratigrafiche, viene ben evidenziata la sedimentazione argillosa più superficiale. Tali depositi rappresentano, a parte il banco sabbioso presente a 35-45 m di profondità (-25 /-35 m s.l.m.), l'unico episodio continuo presente nell'intera area, in tutte le sezioni.

Al di sotto di tali sedimenti la situazione risulta molto più variabile con depositi granulometricamente più grossolani. Sedimenti argillosi sono tuttavia presenti anche a profondità elevate, ma presentano caratteristiche granulometriche differenti da quelli più superficiali e soprattutto non presentano sostanze organiche visibili.

Per quanto riguarda i banchi sabbiosi, generalmente ospitanti falde idriche, il primo livello continuo ed importante è quello compreso tra i -25/-35 m s.l.m., caratterizzato da sabbie medio-fini di color grigio.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	21 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

L MODELLO IDROGEOLOGICO

In questo capitolo verrà illustrato il modello idrogeologico ricostruito per la zona in esame e scaturito dall'analisi dei dati di natura geologica ed idrogeologica locali ricavati dalle indagini eseguite, nonché da notizie e dati sui prelievi di risorsa idrica reperiti da studi idrogeologici di bibliografia.

L.1 CATASTO POZZI E PIEZOMETRIA DELLE ACQUE SOTTERRANEE

Nel corso della progettazione della discarica RSU attualmente presente nell'area contigua alla zona d'interesse, è stata investigata un'area di circa 3000 ha all'interno della quale è stato fatto un capillare lavoro di censimento pozzi dal quale ne sono stati selezionati n. 161 distinti in pozzi superficiali, pozzi intermedi e pozzi profondi.

Durante tale censimento sono state eseguite misurazioni dei livelli statici degli acquiferi, delle profondità dei singoli pozzi e quando possibile, sono state richieste informazioni agli utilizzatori su modalità e quantità dei prelievi d'acqua.

In sintesi è emerso che, complessivamente per i pozzi profondi (> 60 m), fino al 1960-1965 la situazione fosse pressoché indisturbata con livello piezometrico prevalente sul piano campagna e successivamente (dal 1965 al 1975) ci sia stato un rapido ed elevato abbassamento del livello. Da quel momento in poi, si può notare un graduale recupero, con livelli di falda che tornano a profondità confrontabili con quelle rilevate fino al 1965. È evidente che tale andamento è il risultato del bilancio delle falde acquifere in cui i prelievi da pozzo assumono un ruolo fondamentale, differenziando così i vari livelli.

Non si ha notizia e nemmeno dati di una tale evoluzione nei livelli piezometrici delle falde intermedie (fino a 40-50 m di profondità). Tali acquiferi, molto meno potenti e protetti di quelli profondi, sono certamente raggiunti da numerosi pozzi che però estraggono complessivamente quantità d'acqua non rilevanti.

I pozzi più numerosi sono quelli superficiali ed i loro dati piezometrici hanno messo in evidenza che le pendenze di falda sono ovunque modestissime, con i minimi nelle zone di valle (area di discarica) ove si rasenta la orizzontalità; da quanto detto, emerge con chiarezza che il bilancio idrico di tali acquiferi è governato completamente dalla superficie topografica attraverso i due fenomeni di infiltrazione e evapotraspirazione.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	22 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

Lo scorrimento è, per le modeste permeabilità e pendenze, molto ridotto se non trascurabile e non si notano in alcun caso situazioni con forma della superficie piezometrica che evidenzino rapporti diretti fiume-falda.

L.2 UNITÀ IDROGEOLOGICHE

Attraverso l'esame delle litostratigrafie dei sondaggi eseguiti, unitamente all'analisi delle sezioni ricostruite, si è cercato di interpretare la struttura fisica della zona in esame, con particolare riferimento all'aspetto idrogeologico.

Della parte geognostica si sono analizzati in particolar modo i dati provenienti dalle prove CPTU, nei quali è riportato l'andamento delle pressioni interstiziali (u). Si è correlato tale andamento con quello della pressione idrostatica naturale, potendo così distinguere gli strati permeabili da quelli impermeabili; si è infatti rilevato come per gli strati dotati di una discreta permeabilità vi sia una certa coincidenza tra l'andamento delle pressioni interstiziali con la pressione idrostatica, mentre per quelli impermeabili quest'ultima risulta quasi sempre inferiore, ma comunque diversa.

Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche sono state inoltre eseguite diverse prove di dissipazione che hanno permesso principalmente, la determinazione della pressione interstiziale naturale anche per i livelli argillosi.

Ulteriore contributo alla definizione idrogeologica dei terreni indagati, è derivato dalle prove di permeabilità realizzate in corso di sondaggio, e da quelle di laboratorio effettuate sui campioni prelevati.

Attraverso l'analisi dettagliata delle risultanze scaturite dalla campagna geognostica realizzata, si sono distinti quindi i terreni indagati in permeabili (acquiferi) e semipermeabili o impermeabili (acquitardi).

Da tale analisi, si è ricostruito l'andamento della struttura idrogeologica dell'area in esame, riconoscendo tre unità sovrapposte (Figura 5):

- la prima superficiale, fino a circa 10 m di profondità da p.c. (-1/-2 m s.l.m.) e definita come livello impermeabile di base;
- la seconda, definita come primo acquifero, compresa tra i -10 ed i -15 m da p.c. (-1 /-9 m s.l.m.);

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	23 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

- la terza profonda, considerando per tale tutto ciò che è compreso al di sotto dei -15 m da p.c., e definita come livelli impermeabili profondi.

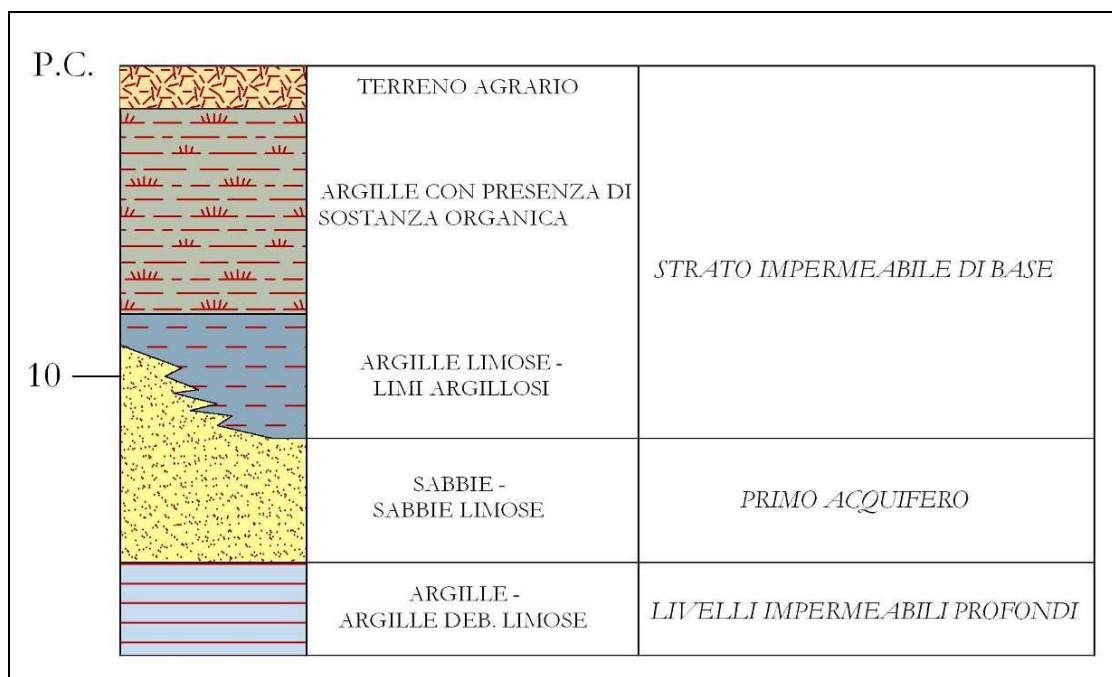


Figura 5. Stratigrafia schematizzata dei primi 20 m di successione

La prima unità evidenziata, corrisponde ad un'unità di valle caratterizzata litologicamente da depositi a granulometria fine: si tratta prevalentemente di argille debolmente limose ed argille con presenza abbondante di resti organici. Tale unità si differenzia nettamente dai livelli sottostanti, evidenziando un ambiente idrico particolare dal punto di vista idrogeologico; infatti, risulta essere costituita da terreni caratterizzati prevalentemente da bassi valori del coefficiente di permeabilità (> 10-9 m/sec), come testimoniato sia dalle prove Lefranc realizzate in sito, che da quelle di laboratorio.

Altra peculiarità è quella della forte infiltrabilità che caratterizza il suolo nella stagione secca per fenomeni di ritiro che portano alla formazione di mud-cracks che possono raggiungere anche il metro di profondità.

Tali terreni si inquadrano come acquitardi a permeabilità molto ridotta; tuttavia presentano al loro interno delle discontinuità orizzontali dovute a variazioni litologiche (lenti millimetriche di materiali più grossolani) con spessori molto modesti, ma idrogeologicamente sufficienti a rendere il deposito anisotropo: l'acqua presente all'interno di queste discontinuità, può essere definita come acqua di

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	24 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

ritenzione superficiale, ovvero acqua di saturazione di tipo confinato, con scorrimento, qualora vi sia, di tipo rigorosamente orizzontale.

Il bacino di alimentazione per questa unità, risulta essere la valle stessa, per la quale riveste la massima importanza l'apporto superficiale dovuto prevalentemente alla rete di canalizzazione, alle irrigazioni e in misura maggiore alle precipitazioni meteoriche.

Al di sotto della prima unità superficiale, si colloca l'unità definita come primo acquifero, con caratteristiche proprie sia da un punto di vista litologico sia per ciò che riguarda le caratteristiche idrogeologiche ed idrodinamiche.

Dall'analisi delle litostratigrafie, nonché delle sezioni ricostruite, si denota infatti la presenza di depositi a granulometria più grossolana, rappresentati da sabbie o terreni intermedi quali sabbie limose e/o limi sabbiosi.

Il corpo acquifero così individuato contiene una falda, definita come falda più superficiale; la quale risulta sia in senso areale che verticale abbastanza irregolare e variabile, con punti in cui tende a chiudersi ed altri dove riprende con spessori anche importanti. Tale variabilità è stata evidenziata soprattutto dalle sezioni litostratigrafiche ricostruite, che mostrano come esista una marcata variabilità di tale livello anche in punti posti a breve distanza tra loro, fatto questo che conferma la natura dell'ambiente deposizionale descritto, legato principalmente ad episodi dei corsi d'acqua intervallati fra loro da periodi di relativa calma deposizionale molto irregolari sia nel tempo che nello spazio.

Essendo il primo acquifero limitato superiormente da sedimenti pelitici dominanti, la falda in esso contenuta risulta essere di tipo saliente, cioè il deposito impermeabile posto al tetto dell'acquifero determina una differenza di quota tra il livello statico e la quota di soggiacenza della falda più superficiale.

Quando si realizza una perforazione che capta una falda confinata, venendo a mancare in quel punto la pressione geostatica, il livello dell'acqua nel foro potrà stabilizzarsi alla quota di equilibrio che indica il livello piezometrico. In alcuni casi il livello piezometrico può essere superiore alla superficie topografica (falda artesianica). Si parla invece di falda saliente (o semiartesianica) quando il livello piezometrico risale all'interno dello strato confinante ma non arriva in superficie.

Il livello idrico all'interno di questo tipo di falde, risente molto della stagionalità delle precipitazioni; infatti, l'acqua che le alimenta è quella che si infila dove il terreno permeabile che costituisce la falda stessa viene a trovarsi in superficie e, quindi, può ricevere acqua. Pertanto, la zona "di ricarica"

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	25 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

dell'acquifero può trovarsi anche molto distante dalla falda stessa: infatti, il bacino di alimentazione di questo acquifero, può ragionevolmente essere interpretato al di fuori della zona di valle e legato principalmente alle infiltrazioni delle unità di canale naturale ed in particolare in un'area i cui depositi sembrano essere in continuità stratigrafica con tale acquifero.

Al di sotto dell'unità intermedia si rinviene quella profonda, intendendo per tale tutto ciò che è compreso a profondità maggiori di 15 m da p.c. (c.ca -8/-9 m s.l.m.).

Tale unità è costituita da alternanze di livelli fini e grossolani; sono comunque prevalenti i setti di materiali più fini, di natura argillosa preminente, diversa però, per caratteristiche meccaniche e litologiche, da quelle costituenti la prima unità.

La situazione specifica inerente la piezometria ed il chimismo delle acque sotterranee all'interno dell'area di discarica, è stata evidenziata attraverso i dati messi a disposizione dalla committenza e riferiti a n. 12 piezometri, installati all'interno dell'attuale discarica alle profondità di 8 m da p.c. e 15 m da p.c. e per mezzo delle misure piezometriche realizzate all'interno dei piezometri installati nel corso della campagna di indagine; al fine di indagare il livello piezometrico relativo all'acqua di ritenzione contenuta negli acquitardi più superficiali, in aggiunta ai piezometri installati all'interno dei fori di sondaggio/prova, nel corso della campagna geognostica si sono realizzati n. 2 piezometri (PZA e PZB) spinti sino alle profondità rispettivamente di 5,50 m e 6,00 m da p.c.

Per quanto riguarda la soggiacenza del livello idrico, si evidenzia all'interno dell'area occupata dall'attuale discarica, un minimo di 0,16 m ed un massimo di 3,10 m all'interno del piezometro posto a -8 m da p.c., mentre nel piezometro più profondo (-15 m da p.c.) si ha un minimo di 1,11 m ed un massimo di 3,20 m nel corso dell'intervallo di monitoraggio 2005-2007. Tali dati risultano essere in accordo con le misure effettuate nel trimestre Marzo-Giugno 2008, all'interno dei piezometri installati alla profondità di -10 m da p.c. nei fori penetrometrici, che mostrano un minimo del livello idrico pari a 1,80 m ed un massimo di 3,30 m.

Come già espresso in precedenza a proposito delle caratteristiche degli acquiferi più superficiali, analizzando i dati in nostro possesso emerge che le pendenze di falda sono all'interno dell'area esigue e la discarica si colloca in zona a pendenza media non superiore il 2,5‰.

Dalla caratterizzazione idrochimica delle acque sotterranee reperita da bibliografia, si evince quanto segue:

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	26 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

- le acque profonde sono nettamente differenziate da quelle superficiali: esse risultano infatti essere acque “mature” ben caratterizzate ed in equilibrio con l’ambiente sotterraneo; presentano basse conducibilità e solfati bassissimi o mancanti;
- le acque superficiali risentono delle attività agricole di superficie adattandosi di volta in volta alle condizioni specifiche.
- la falda più superficiale (posta a -1/-9 m s.l.m.) presenta conducibilità medio-elevata in presenza di una facies chimica ben delineata di un’acqua matura.

Come esposto in precedenza, per quanto riguarda l’alimentazione di tali acquiferi, occorre far riferimento alle zone di “dosso” per l’unità intermedia e direttamente alla superficie, per infiltrazione diretta, per le acque di ritenzione presenti all’interno dei depositi argillosi più recenti.

L.3 PARAMETRIZZAZIONE IDROGEOLOGICA

Una volta definita la struttura fisica, avendo distinto l’andamento dei vari strati permeabili ed impermeabili con la profondità, si sono attribuiti sia per gli acquitardi che per l’acquifero riconosciuto, i valori del coefficiente di permeabilità, determinati sulla base delle prove eseguite, sia di laboratorio che di campagna, con particolare riferimento a quelle Lefranc.

Nella seguente Tabella 2 si riassumono i valori di permeabilità ricavati per ciascuna unità idrogeologica individuata.

UNITÀ IDROGEOLOGICA	PROFONDITÀ [m s.l.m.]	K [m/s] (prova Lefranc)	K [m/s] (in cella edometrica)
Livello imp. di base	8 /-2	3,02 x 10 ⁻⁹ - 8,80 x 10 ⁻⁹	1,22 x 10 ⁻¹⁰ - 1,06 x 10 ⁻⁹
Primo acquifero	0 /-6	1,94 x 10 ⁻⁶ - 6,78 x 10 ⁻⁵	2,30 x 10 ⁻⁶
Livelli imp. profondi	>-6	---	8,22 x 10 ⁻¹¹ - 1,94 x 10 ⁻¹⁰

Tabella 2. Quadro riassuntivo dei valori di coefficiente di permeabilità ricavati per le unità

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	27 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

idrogeologiche individuate.

L.4 POTENZIALI INTERFERENZE IDROGEOLOGICHE

A seguito dello studio idrogeologico elaborato dal Dott. Giorgio Gasparini a supporto del progetto di realizzazione della discarica attualmente presente nell'area (1993), supponendo che il regime idrogeologico e di emungimento all'interno dei pozzi situati in prossimità della discarica non sia variato nel corso degli anni, vengono confermati i parametri idrogeologici validi per le diverse unità descritte all'interno del documento e di seguito sintetizzati:

ARGILLE DI "VALLE" (acque di ritenzione superficiale):

- Porosità efficace, $n_e=1\%$
- Coefficiente di immagazzinamento, $S=3 \times 10^{-3}$
- Coefficiente di permeabilità verticale, $k_v=3,307 \times 10^{-8}$ cm/s
- Trasmissività, $T=1,893 \times 10^{-2}$ cm²/s
- Dispersività, $\alpha=520$ cm
- Coefficiente di diffusione, $D_o=1 \times 10^{-6}$ cm²/s
- SABBIE DELL'UNITÀ INTERMEDIA (prima falda):
- Porosità efficace, $n_e=16\%$
- Coefficiente di immagazzinamento, $S=9,65 \times 10^{-5}$
- Coefficiente di permeabilità orizzontale, $k_h=3,665 \times 10^{-3}$ cm/s
- Trasmissività, $T=0,5705$ cm²/s
- Dispersività, $\alpha=2,130$ cm
- Coefficiente di diffusione, $D_o=1 \times 10^{-3}$ cm²/s

SABBIE DELL'UNITÀ INTERMEDIA (seconda falda) E PROFONDA (falde profonde):

- Porosità efficace, $n_e=16\%$

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	28 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

- Coefficiente di immagazzinamento, $S=9,65 \times 10^{-5}$
- Coefficiente di permeabilità orizzontale, $k_h=5,87 \times 10^{-3}$ cm/s
- Trasmissività, $T=17,61$ cm²/s
- Dispersività, $\alpha=2,130$ cm
- Coefficiente di diffusione, $D_o=1 \times 10^{-3}$ cm²/s

ARGILLE DI INTERSTRATO

- Porosità efficace, $n_e=1\%$
- Coefficiente di immagazzinamento, $S=9,65 \times 10^{-5}$
- Coefficiente di permeabilità verticale, $k_v=3,487 \times 10^{-8}$ cm/s
- Dispersività, $\alpha=520$ cm
- Coefficiente di diffusione, $D_o=1 \times 10^{-6}$ cm²/s

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	29 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

M INDAGINI GEOGNOSTICHE

Le caratteristiche geotecniche dei terreni oggetto dell'ampliamento sono state desunte dalle indagini eseguite nel 2008 integrate con quelle nuove eseguite nel mese di luglio 2015. Di seguito è illustrata la sintesi delle attività eseguite. Nell'Elaborato 7 – Sezioni geotecniche trasversali (cod. doc. DS 02 BO VA 01 D1 PL 07.00) e nell'Elaborato 8 – Sezioni geotecniche longitudinale (cod. doc. DS 02 BO VA 01 D1 PL 08.00) sono mostrate le ubicazioni dei punti di indagine eseguiti rispettivamente nel 2008 e nel 2015.

M.1 INDAGINI DEL 2008

In particolare nel 2008 le verifiche di campo hanno compreso:

- n.3 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo (Appendice 1);
- n.12 prove penetrometriche statiche con piezocono (CPTU) (Appendice 1);
- n. 29 prove di dissipazione con piezocono in fase di esecuzione delle CPTU (Appendice 1);
- n. 2 rilievi sismici di analisi spettrale delle onde superficiali (MASW) (Appendice 2).

Nelle seguenti tabelle si riporta invece il quadro riassuntivo delle indagini con indicazione delle profondità investigate.

ID [quota l.m.m.]	PROFONDITÀ Da p.c. [m]	LIVELLO IDRICO Da l.m.m. [m]	ATTREZZATURA INSTALLATA	PROVE IN FORO Da l.m.m. [m]
BH1 [+7.22 m]	20.00	+3.62	---	Lefranc
BH2 [+7.44 m]	50.00	---	Piezometro Norton Ø 3" a - 15.00 m da p.c.	Lefranc
BH3 [+7.67 m]	20.00	+4.67	---	Lefranc

Tabella 3. Quadro riassuntivo dei sondaggi geognostici realizzati nel 2008

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	30 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

PROVA	QUOTA PROVA SUL l.m.m. [m]	PROFONDITÀ DA p.c. [m]	LIVELLO IDRICO DA p.c. [m]	LIVELLO IDRICO sul l.m.m. [m]
CPTU1	+7.34	15.37	-2.70	+4.64
CPTU2	+7.18	35.83	-2.20	+4.98
CPTU2bis	+7.18	9.57	-2.20	+4.98
CPTU3	+7.16	15.40	-1.80	+5.36
CPTU4	+7.32	35.30	-2.30	+5.02
CPTU5	+7.00	20.62	-2.15	+4.85
CPTU6	+7.19	15.48	-1.90	+5.29
CPTU7	+7.78	15.42	-2.80	+4.83
CPTU8	+7.48	20.29	-2.95	+4.53
CPTU9	+7.01	35.67	-2.35	+4.66
CPTU10	+8.48	15.61	-2.20	+6.28
CPTU11	+8.13	38.56	-3.10	+5.03
CPTU12	+8.04	15.47	-2.90	+5.14

Tabella 4. Quadro riassuntivo delle prove penetrometriche realizzate nel 2008

PROVA	DISSIP. N°	PROFONDITÀ DA P.C.	DURATA	PRESSIONE FINALE U_f
		[m]	[sec.]	[kPa]
CPTU1	DISS. 1	8.56	3600	71
CPTU2	DISS. 1	8.37	307	65
CPTU2	DISS. 2	12.27	151	118
CPTU2bis	DISS. 1	7.42	5400	109
CPTU2bis	DISS. 2	8.68	1320	69
CPTU3	DISS. 1	20.78	477	110
CPTU4	DISS. 1	7.64	3000	59
CPTU4	DISS. 2	9.47	335	68
CPTU4	DISS. 3.	19.26	242	180
CPTU5	DISS. 1	7.00	3900	135
CPTU6	DISS. 1	8.68	4500	84
CPTU7	DISS. 1	8.18	2400	91

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	31 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

PROVA	DISSIP. N°	PROFONDITÀ DA P.C.	DURATA	PRESSIONE FINALE U_f
CPTU8	DISS. 1	8.23	1620	67
CPTU8	DISS. 2	12.07	417	98
CPTU8	DISS. 3	17.90	329	163
CPTU8	DISS. 4	18.30	206	163
CPTU9	DISS. 1	7.10	1800	50
CPTU9	DISS. 2	10.30	338	120
CPTU9	DISS. 3	10.54	37	89
CPTU9	DISS. 4	12.11	126	98
CPTU10	DISS. 1	8.13	3300	107
CPTU10	DISS. 2	14.75	124	107
CPTU11	DISS. 1	7.39	2700	51
CPTU11	DISS. 2	12.94	660	90
CPTU11	DISS. 3	20.88	133	181
CPTU11	DISS. 4	37.35	145	320
CPTU11	DISS. 5	38.07	126	339
CPTU12	DISS. 1	9.63	2400	78
CPTU12	DISS. 2	12.98	394	106

Tabella 5. Quadro riassuntivo delle prove di dissipazione realizzate nel 2008

Per quanto concerne le determinazioni geotecniche di laboratorio, i campioni prelevati nel corso delle indagini in sito sono stati conferiti presso il laboratorio geotecnico SINERGEA, di Granarolo dell'Emilia (BO), il quale ha provveduto, nel mese di Maggio 2008, alla realizzazione delle indagini riportate nella seguente Tabella 6. I certificati sono allegati nell'Appendice 2.

Sond.	Camp	Prof. (m)	DC	CLASS. USCS	Lim	Gra + Sed	CD+R	Edo	cv	K edo
BH 1	CI1	7.50 ÷ 8.00	X	X	X	X	X	X	X	X
BH 1	CI2	17.50 ÷ 18.00	X	X	X	X		X	X	X

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	32 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

Sond.	Camp	Prof. (m)		DC	CLASS. USCS	Lim	Gra + Sed	CD+R	Edo	cv	K edo
BH 2	CI1	7.50	÷ 8.00	X	X	X	X	X	X	X	X
BH 2	CI2	10.00	÷ 10.60	X	X	X	X		X	X	X
BH 2	CI3	18.00	÷ 18.60	X	X	X	X		X	X	X
BH 2	CI4	24.00	÷ 24.60	X	X	X	X		X	X	X
BH 2	CI5	33.00	÷ 33.60	X	X	X	X		X	X	X
BH 2	CI6	43.00	÷ 43.60	X	X	X	X		X	X	X
BH 3	CI1	6.50	÷ 7.10	X	X	X	X	X	X	X	X
BH 3	CI2	16.40	÷ 17.00	X	X	X	X		X	X	X

Tabella 6. Quadro riassuntivo delle indagini di laboratorio eseguite nel 2008

M.2 INDAGINI DEL 2015

Nel mese di giugno 2015 sono state eseguiti tre sondaggi geognostici integrativi al fine di caratterizzare con maggior dettaglio i terreni sottostanti il sedime della discarica in progetto mediante il prelievo di campioni indisturbati di terreno da sottoporre a prove geotecniche in laboratorio. In particolare le prove selezionate sono state:

- granulometrie ed areometrie;
- limiti di Atterberg;
- prove di taglio CIU;
- prove triassiali CIU;
- prove triassiali UU;
- prove in colonna risonante;
- prove proctor.

La planimetria con l'ubicazione dei punti di indagine è mostrata nell'Appendice 1, mentre di seguito è illustrato in sintesi lo stato delle indagini eseguite. In Appendice 3 si trovano i certificati delle analisi.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	33 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

ID	PROFONDITÀ Da p.c. [m]	LIVELLO IDRICO Da p.c. [m]	ATTREZZATURA INSTALLATA	PROVE IN FORO Da p.c. [m]
S1	10.00	---	---	---
S2	10.00	---	---	---
S3	10.00	5	---	---

Tabella 7. Quadro riassuntivo dei sondaggi geognostici realizzati nel 2015

Come accennato in precedenza nel corso delle perforazioni sono stati prelevati alcuni campioni di terreno da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio come riassunte di seguito.

ID sond	ID camp	Unità geotecnica	Prof	Gran. + Aerom.	TRX CU	TRX UU	Taglio CU	Colonna risonante	Proctor
S1	1	2A	2,1-2,5	x		x			x
S1	2	2B	4.00-4.60	x				x	
S1	3	2B	6.55-7.00	x		x			
S1	4	2B	8.05-8.50	x	x				
S2	1	2A	2.00-2.40	x	x				x
S2	2	2B	4.50-5.10	x				x	
S2	3	2B	6.50-7.00	x					
S2	4	2B	9.05-9.30	x			x		
S3	1	2A	2.15-2.60	x		x			x
S3	2	2B	4.00-4.60	x					x
S3	3	2B	6.40-6.80	x			x		
S3	4	2B	8.75-9.20	x		x			

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	34 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

N CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA

N.1 CARATTERIZZAZIONE STRATIGRAFICA ED UNITÀ DI RIFERIMENTO

Per la caratterizzazione stratigrafica dei terreni in sito si è fatto riferimento alle risultanze delle indagini geognostiche realizzate in sito. In particolare, con riferimento ai suddetti dati e alle osservazioni effettuate nel corso dei rilievi in campo, sono state individuate, limitatamente all'area in oggetto, le unità stratigrafiche descritte nel seguito. Si tratta di una descrizione generale, basata sulla totalità delle indagini e dei rilievi disponibili per l'area interessata dal presente studio.

Nella tabella seguente.

Unità geotecnica	Descrizione	Profondità indicativa da p.c. [m]
UNITÀ 1	Terreno agrario argilloso-limoso	0 – 1
UNITÀ 2A	Argille e argille con presenza di sostanza organica sovraconsolidate e fessurate per essiccamento	1 – 3
UNITÀ 2B	Argille e argille con presenza di sostanza organica	3 – 10
UNITÀ 3	Argille limose e limi argillosi	10 – 15
UNITÀ 4	Sabbie e sabbie limose	15 – 18
UNITÀ 5	Argille talora debolmente limose	18 – 20
UNITÀ 6	Limi e limi sabbiosi	sotto i 20

Per una corretta interpretazione della stratigrafia si rimanda ai profili stratigrafici in scala 1:1.000/200 riportati nelle tavole di progetto (cod.doc. DS 02 BO VA 01 D1 PL 07/08.00). Le sezioni sono state elaborate sulla base di quanto emerso dall'interpretazione delle indagini geognostiche e dalle osservazioni scaturite nel corso dei sopralluoghi effettuati.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	35 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

O CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Per la caratterizzazione geotecnica delle unità litostratigrafiche individuate in precedenza si è fatto riferimento, per quanto possibile, ai risultati delle indagini in sito e delle prove di laboratorio; laddove queste non abbiano fornito dati sufficienti alla determinazione di alcuni i parametri geotecnici si è fatto riferimento a quanto disponibile dalla bibliografia e/o a dati acquisiti da pregresse esperienze su terreni analoghi in aree adiacenti e geologicamente e geotecnicamente affini.

O.1 CARATTERISTICHE GRANULOMETRICHE

Sulla base dei risultati delle analisi granulometriche complete eseguite sui campioni di materiale prelevati, si sono ottenute le percentuali in peso, riportate in Tabella 8, corrispondenti alle frazioni granulometriche, secondo il sistema di classificazione A.G.I.

Unità	2B	3	4	5
GHIAIA	0.11	0.36	0.01	0.00
SABBIA	4.23	[5.20	87.22	0.14
LIMO	34.16	[56.23]	10.77	29.36
ARGILLA	56.91	[38.21]	2.00	70.50

NOTA: fra parentesi è riportato il valore medio fra quelli determinati.

Tabella 8. Composizione granulometrica [%] (min+max [media]).

O.2 CARATTERISTICHE FISICHE

Per la determinazione delle caratteristiche fisiche dei terreni coesivi si è fatto riferimento principalmente ai dati di laboratorio e subordinatamente a quelli di bibliografia e ai dati numerici di archivio relativi a misurazioni su terreni analoghi. I valori di riferimento sono riportati in Tabella 9.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	36 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

	UNITÀ GEOTECNICHE			
	2B	3	4	5
γ [kN/m ³]	19.26	18.74÷19.91 [19.35]	19.82	18.20
w_n [%]	26.64	21.89÷33.36 [27.66]	20.68	36.56
LP [%]	18.0	18.0÷23.0 [21.3]	-	29.0
LL [%]	66.0	32.0÷55.0 [44.7]	-	75.0
IP	25.0	12.0÷34.0 [23.4]	-	46.0

NOTA: fra parentesi è riportato il valore medio fra quelli determinati.

Tabella 9. Caratteristiche fisiche dei terreni in sito (min÷max [media]).

O.3 GRADO DI SOVRACONSOLIDAZIONE

Il valore del grado di sovraconsolidazione (OCR, Over Consolidation Ratio) è definito come il rapporto fra la pressione di preconsolidazione e la tensione litostatica verticale efficace alla profondità alla quale si riferisce.

Una stima di OCR può essere ottenuta dal valore della coesione non drenata c_u , attraverso la relazione (Ladd, 1985):

$$\frac{c_u}{\sigma'_v} \cong 0.225 \cdot OCR^{0.8}$$

Il valore di OCR per le unità stratigrafiche coesive è riportato nella seguente Tabella 10.

Unità	1	2A	2B	3	5
OCR	>15	4÷15	1÷3	1÷6	1÷3

Tabella 10. Grado di sovraconsolidazione (OCR).

La sovraconsolidazione riscontrabile soprattutto nei nei depositi coesivi superficiali può essere attribuita per lo più a fenomeni di ageing per essiccamento.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	37 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

O.4 DENSITÀ RELATIVA

Relativamente alle unità stratigrafiche incoerenti, il valore della densità relativa è stato determinato in funzione dei risultati delle indagini in sito, in particolare:

- dalle prove penetrometriche statiche in funzione di q_c e σ'_v (Jamiolkowski, Ladd, Germaine, Lancellotta, 1985);
- dalle prove SPT (Standard Penetration Test) in funzione di NSPT (Skempton, 1986).
- I valori ottenuti sono riassunti nella seguente Tabella 11 e suddivisi tra le sabbie superiori (circa tra i -2.0 e -6.0 m l.m.m.) e quelle inferiori (circa tra -24.0 e -30.0 m l.m.m.).

Unità	4 sup.	4 inf.
D_r [%]	68÷100 [82]	73÷100 [83]

NOTA: fra parentesi è riportato il valore medio fra quelli determinati.

Tabella 11. Densità relativa [%] (min÷max [media]).

O.5 CARATTERISTICHE DI RESISTENZA AL TAGLIO

Nel seguito si riassumono le caratteristiche di resistenza al taglio per le unità litostratigrafiche coesive ed incoerenti.

O.5.1 *Terreni coesivi*

Condizioni non drenate

Per la valutazione della coesione non drenata c_u sono disponibili i risultati relativi alle prove di campo effettuate nel 2008 di:

- prove con pocket penetrometer e Torvane sulle carote estratte dai sondaggi e sui campioni di laboratorio;
- prove con scissometro motorizzato da laboratorio.

È altresì possibile la determinazione di c_u da prove penetrometriche statiche attraverso la seguente relazione empirica:

$$q_c = N_c \cdot c_u + \sigma_{v0}$$

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	38 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

nella quale per il fattore N_c si possono assumere i valori in accordo alle indicazioni proposte da Bjerrum (1972), nel caso specifico tale valore risulta compreso nell'intervallo 15÷20.

Il riassunto dei dati disponibili è riportato in Tabella 12.

Unità	1	2A	2B	3 sup	3 inf	5
c_u [kPa]	45÷80	30÷120	22÷60	50÷100	25÷90	30÷70

Tabella 12. Coesione non drenata [kPa].

Di seguito sono invece illustrati i risultati delle prove eseguite tra agosto e settembre 2015 ad integrazione di quelli esistenti (Tabella 13):

Sond.	Camp.	Prof	Unità Geotecnica	c'_p	ϕ'_p	c'_r	ϕ'_r
n°	n°	(m)		(kPa)	(°)	(kPa)	(°)
S1	4	8,0-8,5	2B	56.0	25.2	47.0	21.0
S2	1	2,0-2,4	2A	7.0	21.3	7.0	19.3
S3	3	6,4-6,8	2B	8.0	23.0	4.0	18.5

Tabella 13. Esiti delle triassiali consolidate non drenate (CIU)

Di seguito gli esiti delle triassiali non consolidate non drenate (Tabella 14).

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	39 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

Sond.	Camp.	Prof	Unità Geotecnica	Cu (kPa)
S1	1	2,1-2,5	2A	38
S1	3	6,5-7,0	2B	59
S3	1	2,1-2,6	2A	41
S3	4	8,75-9,2	2B	48

Tabella 14. Esiti delle triassiali non consolidate non drenate (UU)

È stato inoltre stimato, per le unità 2B e 3, il rapporto tra la resistenza al taglio non drenata e la tensione principale massima in base ai limiti di Atterberg ed all'osservazione dell'aumento della coesione non drenata con la profondità secondo quanto rilevato nelle prove CPTU.

Unità	2B	3 sup
C_u/σ_1 [kPa]	0.3	0.4

Tabella 15. Rapporto tra la resistenza non drenata e la tensione principale massima.

Condizioni drenate

La valutazione dei parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate per le unità coesive è stata ottenuta mediante:

- prove di taglio diretto drenate;
- interpretazione di prove penetrometriche statiche (solo ϕ'), dai valori di q_c e FR (Searle, 1979).

È altresì possibile stimare il valore dell'angolo di resistenza al taglio dal valore dell'indice plastico (Ladd, 1977). Tale determinazione, valida per materiali normalconsolidati, rappresenta un limite inferiore dei valori attribuibili alle unità stratigrafiche esaminate.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	40 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

Nelle successiva Tabella 16 si riassumono i valori dei parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate per le varie unità stratigrafiche.

Prova	da TD		da IP		
Unità	2B	3 sup	3 sup	3 inf	5
ϕ [°]	27.27	27.53÷27.72 [27.63]	28.4÷21.9 [30.7]	28.1÷32.5 [30.0]	26.4
c' [kPa]	18.52	14.49÷30.16 [22.33]	-	-	-

NOTA: fra parentesi è riportato il valore medio fra quelli determinati.

Tabella 16. Parametri di resistenza al taglio nelle unità coesive (min÷max [media]).

0.5.2 Terreni incoerenti

La valutazione dell'angolo di resistenza al taglio per i terreni incoerenti può essere ottenuta mediante:

- interpretazione delle prove SPT.
- La determinazione da prove SPT è eseguita sfruttando le seguenti correlazioni:
- in funzione della densità relativa ottenibile da NSPT e σ'_v (Schmertmann, 1977);
- direttamente in funzione di NSPT e σ'_v (De Mello, 1971).

Nella successiva Tabella 17 si riassumono i valori dei parametri di resistenza al taglio per le varie unità stratigrafiche. Ai fini del calcolo, si è considerato il metodo proposto da Bolton (1986), tenendo conto della non linearità dell'involuppo di rottura.

Unità	4 sup	4 inf
ϕ [°]	30.0÷31.1 [30.7]	30.0÷31.0 [30.7]

NOTA: fra parentesi è riportato il valore medio fra quelli determinati.

Tabella 17: Angolo di resistenza al taglio nelle unità incoerenti (min÷max [media]).

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	41 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

L'unità 4 sup è individuata da circa -1.0÷-5.5 a circa -5.0÷-6.5 m l.m.m., mentre l'unità 3 inf va da circa -24.0÷-30.0 a circa -31.0÷-37.0 m l.m.m.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	42 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

O.6 CARATTERISTICHE DI DEFORMABILITÀ

O.6.1 Terreni coesivi

I parametri di deformazione per le unità coesive sono stati ricavati tramite prove di laboratorio e dalle indagini in sito mediante correlazioni empiriche.

Il modulo di Young non drenato è stato ricavato in funzione della c_u (Duncan & Buchignani, 1976).

Per quanto riguarda M , sono riportati i valori relativi all'intervallo di carico corrispondente all'incremento di carico previsto, a partire dalla tensione litostatica efficace originaria.

Nella successiva Tabella 18 sono riassunti i valori dei moduli di deformazione per le varie unità stratigrafiche.

Unità	1	2A	2B	3	5
M [MPa]	3.0÷5.0	2.0÷8.0	1.0÷5.0	3.0÷9.0	3.0÷5.0

Tabella 18: Moduli di deformazione da CPTU [MPa].

Unità	2B	3 sup	3 inf	5
M [MPa]	4.7	6.6÷7.5 [7.5]	6.8÷12.8 [9.4]	3.8

NOTA: fra parentesi è riportato il valore medio fra quelli determinati.

Tabella 19: Moduli di deformazione da Edometriche [MPa] (min÷max [media]).

L'unità 3 sup è individuata da circa +1.0÷0.0 a circa -1.0÷-5.5 m l.m.m., mentre l'unità 3 inf va da circa -10.0÷-11.0 a circa -28.0 m l.m.m.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	43 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

Unità	1	2A	2B	3	5
E_u [MPa]	15.0	12.0	10.5	15.0+22.5	13.5

Tabella 20: Modulo di Young non drenato [MPa].

O.6.1.1 Prove dinamiche cicliche

Tra le prove integrative del 2015 sono state incluse tre prove di colonna risonante. Le prove servono per misurare i parametri dinamici dei terreni a livelli deformativi bassi determinando le leggi di decadimento della rigidità G e dell'incremento del fattore di smorzamento D in funzione della deformazione tangenziale in condizioni di frequenza di risonanza. La prova è eseguita nel cosiddetto apparecchio di Stokoe, dove un provino cilindrico di terreno consolidato isotropicamente è vincolato alla base e sollecitato all'estremità libera (condizioni fixed – free). La sollecitazione avviene applicando un momento torcente ciclico a frequenze crescenti.

Per ciascun campione così determinate caratteristiche dinamiche quali:

- frequenza di risonanza;
- velocità delle onde di taglio V_s ;
- modulo di taglio G in funzione della deformazione di taglio γ ;
- rapporto di smorzamento D .

La prova è inoltre in grado di misurare l'incremento delle sovrappressioni interstiziali in funzione del numero di cicli di prova e della deformazione al taglio accumulata, fornendo informazioni sull'eventuale decadimento della resistenza al taglio in condizioni di carico dinamico ciclico come ad esempio quello sismico. Nello specifico le prove hanno permesso di acquisire dati inerenti la deformazione del terreno in condizioni dinamiche.

I risultati delle prove sono allegati nell'Appendice 3.

O.6.2 Terreni incoerenti

Il modulo di Young drenato per le unità incoerenti è stato determinato tramite:

- l'elaborazione di prove SPT (D'Apollonia, 1970; Jamiolkowski et al., 1985);

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	44 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

- l'elaborazione di prove CPTU.

Prova	Unità	4 sup	4 inf
SPT	E' [MPa]	11.4÷23.1 [15.6]	12.7÷23.1 [16.4]
CPTU	E' [MPa]	15÷35	30÷40

NOTA: fra parentesi è riportato il valore medio fra quelli determinati.

Tabella 21: Modulo di Young unità incoerenti [MPa] (min÷max [media]).

L'unità 4 sup è individuata da circa -1.0÷-5.5 a circa -5.0÷-6.5 m l.m.m., mentre l'unità 3 inf va da circa -24.0÷-30.0 a circa -31.0÷-37.0 m l.m.m..

O.7 CARATTERISTICHE DI CONSOLIDAZIONE

O.7.1 Consolidazione primaria

I valori del coefficiente di consolidazione primaria verticale sono stati determinati per le unità coesive dalle prove edometriche.

Unità	2B	3	5
C _v [m ² /s]	9.513x10 ⁻⁷	7.100x10 ⁻⁸ ÷1.345x10 ⁻⁶ [5.757x10 ⁻⁷]	1.511x10 ⁻⁷

NOTA: fra parentesi è riportato il valore medio fra quelli determinati.

Tabella 22: Coefficiente di consolidazione primaria verticale [m²/s].

I valori del coefficiente di consolidazione primaria verticale sono stati anche controllati anche rispetto alla correlazione degli stessi con il limite liquido (LL) riportata nella Figura 6 (Navfac, Vol.1).

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	45 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

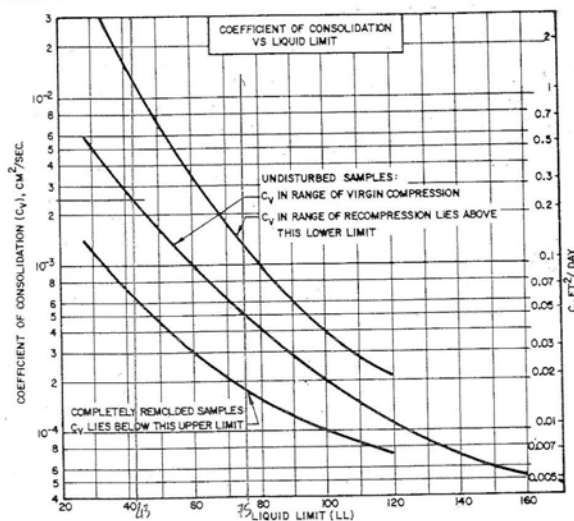


Figura 6: Coefficiente di consolidazione primaria (c_v) in funzione del limite liquido (LL)

I risultati sono rappresentati in Tabella 23.

Unità	2B	3	5
LL	33	45	75
c_v [m²/s]	4.0×10^{-7}	2.5×10^{-7}	5.0×10^{-8}

Tabella 23: Coefficiente di consolidazione primaria verticale [m²/s] in funzione di PI.

0.7.2 Consolidazione secondaria

I valori del coefficiente di consolidazione secondaria sono stati determinati per le unità coesive dalle prove edometriche.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	46 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

Unità	2B	3	5
C_{α} [-]	1.180×10^{-3}	$5.800 \times 10^{-4} \div 1.820 \times 10^{-3}$ [1.018×10^{-3}]	4.300×10^{-4}

NOTA: fra parentesi è riportato il valore medio fra quelli determinati.

I valori riportati sono quelli nell'intervallo di pressioni di interesse per le profondità di prelievo del campione.

Tabella 24: Coefficiente di consolidazione secondaria.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	47 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

O.8 CARATTERISTICHE DI PERMEABILITÀ

I valori del coefficiente di permeabilità sono stati determinati in laboratorio per le unità coesive dalle prove edometriche e dalle celle edometriche e in sito da prove Lefranc.

Unità	2B	3	4	5
k [m/s]	$1.06 \times 10^{-9} \div 2.51 \times 10^{-9}$ [1.79x10 ⁻⁹]	$3.37 \times 10^{-11} \div 2.46 \times 10^{-9}$ [6.191x10 ⁻¹⁰]	$1.72 \times 10^{-9} \div 2.30 \times 10^{-6}$ [1.15x10 ⁻⁶]	$8.22 \times 10^{-11} \div 3.34 \times 10^{-10}$ [2.08x10 ⁻¹⁰]

NOTA: fra parentesi è riportato il valore medio fra quelli determinati.

Tabella 25: Coefficiente di permeabilità da prove di laboratorio [m/s].

Unità	2B	3	4
k [m/s]	$3.02 \times 10^{-9} \div 8.40 \times 10^{-9}$ [6.27x10 ⁻⁹]	$4.30 \times 10^{-9} \div 8.80 \times 10^{-9}$ [5.83x10 ⁻⁹]	$1.94 \times 10^{-6} \div 6.78 \times 10^{-5}$ [2.77x10 ⁻⁵]

NOTA: fra parentesi è riportato il valore medio fra quelli determinati.

Tabella 26: Coefficiente di permeabilità da prove in sito [m/s].

O.9 PROVE DI COSTIPAMENTO

Nell'ottica di realizzare un sottofondo adeguato per l'appoggio dell'argine di base, costituito dallo stesso materiale in sito lavorato in modo da migliorarne le caratteristiche di portanza, nel corso delle indagini dell'agosto 2015 sono state eseguite tre prove proctor su altrettanti campioni di terreno. I campioni sottoposti alla prova proctor provengono dai primi tre metri di profondità. Gli esiti sono mostrati nella Tabella 27.

DS 02 BO VA 01 E1 RG 02.00	Relazione geologica e geotecnica	00	26/09/2016	48 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

Sond.	Camp.	Prof	Umidità ottimale	Massa volumetrica
n°	n°	(m)	%	kN/m3
1	1proctor	0-3.0	23.7	15.2
2	1proctor	0-3.0	23	16.3
3	1proctor	0-3.0	18.6	15.2

Tabella 27. Esiti delle prove Proctor

P VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITÀ A LIQUEFAZIONE

Nelle analisi di liquefazione intervengono i parametri nel seguito descritti:

- in tutte le analisi si è assunto il peso di volume del terreno pari a $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, mentre la falda è stata posta cautelativamente alla profondità di -1.0 m da piano campagna;
- l'accelerazione massima è stata assunta pari ad $a_{\max} = 0.301 \text{ g}$;
- il sisma di riferimento è stato cautelativamente ipotizzato avere una magnitudo $M=4,98$ e da una distanza $R=9,70 \text{ km}$.

In base ad D.M. 14/01/2008 nel caso in esame la verifica di liquefazione potrebbe essere omessa poiché la magnitudo attesa per il terremoto di progetto è caratterizzata da un valore medio M inferiore a 5 ($M=4,98$). Sono state in ogni caso esaminate le verticali penetrometriche CPTU2, CPTU5 e CPTU8, rilevando localmente la presenza di orizzonti prevalentemente sabbiosi a basso addensamento, potenzialmente liquefacibili.

La valutazione dei cedimenti post sismici in corrispondenza di tali orizzonti ha comunque fornito valori sub-centimetrici e pertanto trascurabili dal punto di vista della sicurezza dell'opera.

DS 02 BO VA 00 D1 RG 06.00	Relazione geologica e geotecnica	00	30/09/2015	50 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

Q VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Nella seguente Tabella 28 viene fornita la sintesi dei valori caratteristici dei parametri geotecnici relativi alle unità litologiche precedentemente individuate ed utilizzati per le verifiche illustrate nel seguito.

	UNITÀ GEOTECNICHE					
	1	2A	2B	3	4	5
γ [kN/m ³]	18.0	18.0	19.0	19.0	19.5	18.5
c_u [kPa]	55	54.75	53	80 sup 60 inf	-	50
c_u/h	-	-	5.6	7.0	-	-
c' [kPa]	7.0	6.0	7.0	10.0 sup - inf	-	-
ϕ' [°]	19.0	18.0	22.0	27.0	30.0	26.0
M_{edo} [MPa]	4.0	4.0	3.0	5.0÷5.5 sup 10.0 inf	20.0÷25.0	4.5
E_u [MPa]	15.0	12.0	10.5	15.0 sup 22.5 inf	-	13.5
C_v [m ² /s]	-	-	5 E-07	4 E-07	-	1 E-08
C_α [-]	-	-	1 E-03	1 E-03	-	4 E-04
k [m/s]	-	-	1 E-09	1 E-09 4 E-10	1 E-05	1 E-10

Tabella 28. Valori caratteristici dei parametri geotecnici aggiornati a seguito delle indagini del 2015.

Nelle verifiche di stabilità sismiche, relativamente alle unità 2B e 3, il parametro della coesione non drenata misurato in sito è stato incrementato in base al sovraccarico esercitato dalla discarica, secondo il rapporto tra la tensione massima e la resistenza non drenata individuato.

DS 02 BO VA 00 D1 RG 06.00	Relazione geologica e geotecnica	00	30/09/2015	51 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

R CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

R.1 SISMICITÀ DELL'AREA E CLASSIFICAZIONE SISMICA

Per quanto concerne la classificazione sismica, come indicato nella Delibera di Giunta Regionale n.1677/2005, a decorrere dal 23/10/2005 trova attuazione la classificazione sismica dei Comuni della Regione Emilia Romagna, stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n.3274/2003, la quale ha introdotto una nuova classificazione sismica, suddividendo il territorio nazionale in quattro zone caratterizzate da diverso grado di sismicità e sottoposte alle normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Le zone sono definite rispettivamente ad alta sismicità la zona 1, a media sismicità la zona 2 e a bassa sismicità la zona 3, mentre nella zona 4 viene demandata alle regioni la facoltà di imporre o meno l'obbligo della normativa. Come stabilito dall'allegato B della D.G.R. n.1677/2005, il Comune di Baricella risulta classificato in "zona 3".

R.2 AZIONE SISMICA AI SENSI DEL D.M. 14.01.2008

Le azioni sismiche di progetto ai sensi del D.M. 14.01.2008, in base alle quali valutare il rispetto degli stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A nelle NTC-DM 14/01/2008), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di superamento PVR nel periodo di riferimento VR. In allegato alla norma citata NTC-DM 14/01/2008, per tutti i siti considerati, sono forniti i valori di a_g , F_o e T^*C necessari per la determinazione delle azioni sismiche.

In particolare il sito in oggetto (Comune di Baricella) è contraddistinto dalle coordinate:

- Latitudine: 44.6402 [°];
- Longitudine: 11.5757 [°].

Ai sensi del D.M. 14.01.2008 ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di

DS 02 BO VA 00 D1 RG 06.00	Relazione geologica e geotecnica	00	30/09/2015	52 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

Facendo riferimento a tale approccio semplificato e sulla base delle indagini eseguite (NSPT₃₀=20.2 e cu₃₀=61 kPa) i terreni in sito sono classificabili come suolo di tipo "D", ovvero "Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di vs₃₀ inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT₃₀ < 15 nei terreni a grana grossa e cu₃₀ < 70 kPa nei terreni a grana fina)."

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica l'area in oggetto può essere classificata di categoria T1 "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ".

Assumendo che l'opera possa essere caratterizzata ai fini del calcolo sismico dai seguenti parametri:

- Vita nominale: VN = 100 anni,
- Classe d'uso: IV (coefficiente d'uso CU = 2).

Si ottiene:

Stato Limite	Tr [anni]	a _g [g]	F ₀	T _c [*] [s]
Operatività (SLO)	120	0,091	2,516	0,272
Danno (SLD)	201	0,114	2,563	0,274
Salvaguardia vita (SLV)	1898	0,273	2,463	0,293
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0,301	2,442	0,297
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	200			

	SLO	SLD	SLV	SLC		Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss *										
Amplificazione stratigrafica	1,80	1,80	1,39	1,30	kh		0,029	0,049	0,118	0,121
Cc *										
Coeff. funz categoria	2,39	2,39	2,31	2,30	kv		0,015	0,025	0,059	0,061
St *										
Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00	Amax [m/s ²]		1,599	2,013	3,721	3,837
					Beta		0,180	0,240	0,310	0,310

DS 02 BO VA 00 D1 RG 06.00	Relazione geologica e geotecnica	00	30/09/2015	53 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

S VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE

S.1 MODALITÀ DI CALCOLO DELLE VERIFICHE DI STABILITÀ

La valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità viene condotta mediante il programma di calcolo "Slide" della RocScience (Canada) con riferimento ai seguenti scenari di gestione:

- verifica statica nella configurazione di abbandono al termine della gestione;
- verifica sismica nella configurazione "a lungo termine", al termine della consolidazione del sedime di fondazione.

L'analisi è stata eseguita tramite superfici a segmenti mediante il metodo GLE. Il coefficiente parziale sulla resistenza globale $\gamma_r=1.1$ non è stato applicato all'interno del calcolo, pertanto il fattore di sicurezza minimo di riferimento da trapiandare per la verifica di stabilità è pari a 1.1

S.1.1 Assunzioni di calcolo per le analisi di stabilità globale

S.1.1.1 Azione sismica

Secondo il D.M. 14/01/2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni" nel seguito sono riportati i coefficienti k_h e k_v per l'analisi di stabilità globale per la condizione sismica secondo l'analisi statica equivalente.

S.1.1.2 Pressioni interstiziali e condizioni di drenaggio

Con riferimento agli scenari di verifica sopra descritti, sono state assunte le seguenti ipotesi relative alla dissipazione delle sovrappressioni interstiziali ed al relativo comportamento dei materiali a prevalente frazione fine:

- verifica statica nella configurazione di abbandono al termine della gestione: comportamento al taglio simulato con parametri efficaci, in presenza di sovrappressioni interstiziali dovute alla costruzione e calcolate mediante l'analisi di consolidazione. Saturazione dei rifiuti espressa dal parametro $ru=0.1$ (10% della tensione verticale). Assenza di liquefazione statica;
- verifica sismica nella configurazione "a lungo termine", al termine della consolidazione del sedime di fondazione: comportamento al taglio in condizioni non drenate (coesione non

DS 02 BO VA 00 D1 RG 06.00	Relazione geologica e geotecnica	00	30/09/2015	54 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

drenata), assenza di sovrappressioni dovute a sforzi ciclici, assenza di liquefazione dinamica.
Livello di percolato assunto pari ad 1 m.

S.1.2 Azioni dovute ai carichi

Per l'analisi di stabilità in condizioni statiche (profilo di abbandono) è stata considerata una azione variabile (sovraccarico stradale) caratteristica pari a 20 kPa ed applicata sulla sommità degli argini.

L'azione caratteristica è fattorizzata, al fine di ottenere l'azione di progetto, secondo quanto indicato nel D.M. 14/01/2008, alla Tabella 6.2.I. "Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni".

S.1.3 Livello idrico

Il livello dell'acqua interstiziale è assunto a +4.0÷+4.5 m (quota sul livello medio mare), cioè circa a 3÷4 m dal piano campagna.

S.1.4 Parametri relativi al cumulo dei rifiuti

Poiché in sede di progetto non è possibile identificare il cumulo di rifiuti come un materiale omogeneo nello spazio e nel tempo, sono stati in questa sede assunti parametri di riferimento relativi al comportamento della miscela di materiali conferiti che dovranno poi essere verificati in corso d'opera in base alle effettive condizioni di gestione.

Per quanto riguarda la resistenza al taglio sono stati assunti i seguenti parametri caratteristici, collocati in un intervallo cautelativo.

Vista la loro similitudine sotto il profilo meccanico i parametri inerenti la resistenza al taglio dei rifiuti RSU sono stati assimilati a quelli dei suoli a granulometria fine.

			rifiuti per rilevati perimetrali (scorie)	rifiuti del corpo discarica
peso di volume	γ	kN/m ³	17	17
coesione efficace	c'	kPa	0	10
angolo di attrito efficace	φ'	°	42	25
coesione non drenata	c_u	kPa	-	100

DS 02 BO VA 00 D1 RG 06.00	Relazione geologica e geotecnica	00	30/09/2015	55 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

È stato inoltre assunto che la distribuzione granulometrica, le modalità di compattazione ed il contenuto d'acqua del corpo rifiuti siano tali da poter escludere fenomeni di liquefazione statica e dinamica.

S.1.5 Parametri geotecnici di progetto

In riferimento al D.M. 14/01/2008, le verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi (SLU) sono state condotte secondo l'approccio 1, combinazione 2: (A2+M2+R2). Ai parametri geotecnici caratteristici (Paragrafo Q) sono stati pertanto applicati automaticamente dal software i coefficienti di parzializzazione come indicato nella tabella 6.2.II. del D.M. 14/01/2008.

S.2 STABILITÀ GLOBALE A FINE COLTIVAZIONE

L'analisi di stabilità è stata condotta sul profilo di fine coltivazione (profilo di abbandono), derivato rialzando il profilo di lungo termine di circa 2.2 m in sommità del corpo discarica e di 1.6 m al livello dell'argine superiore del corpo discarica. I punti in blu nella figura rappresentano le posizioni in cui è stato calcolato il valore delle sovrappressioni interstiziali indotte dalla costruzione della discarica.

Le verifiche di stabilità globali condotte hanno mostrato fattori di sicurezza superiori ad 1.1, nel rispetto quindi del fattore minimo di sicurezza previsto dalla normativa di riferimento.

DS 02 BO VA 00 D1 RG 06.00	Relazione geologica e geotecnica	00	30/09/2015	56 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

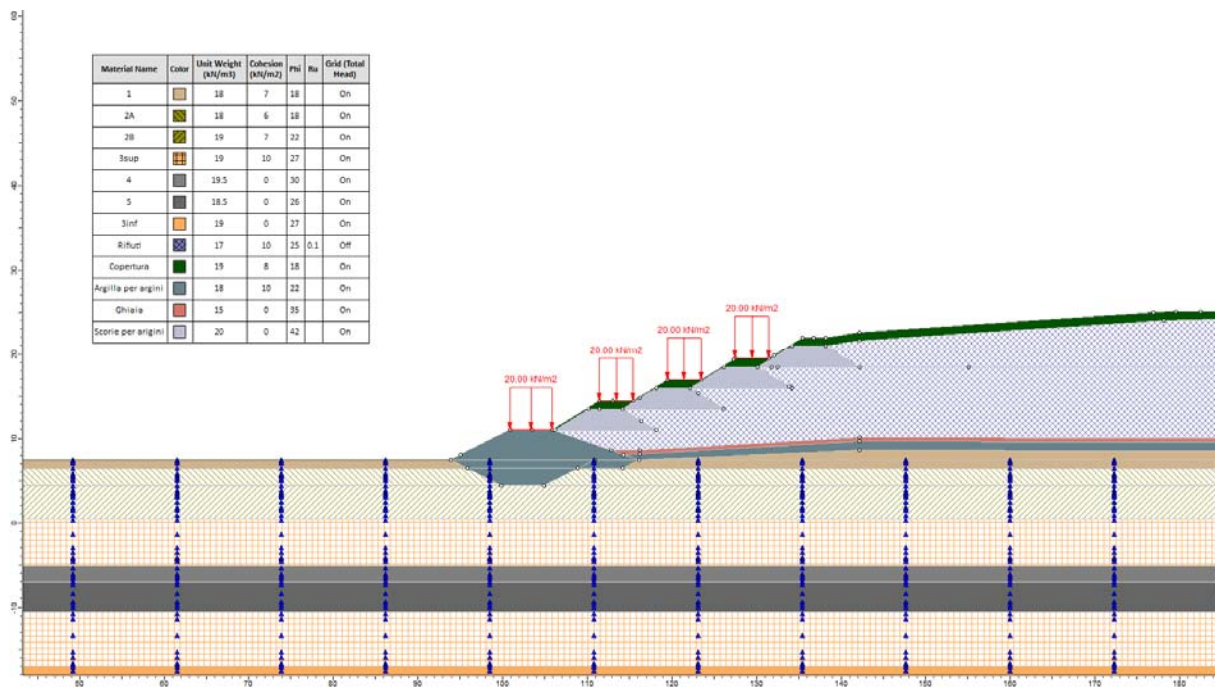


Figura 7. Sezione abbandono – configurazione del modello di calcolo

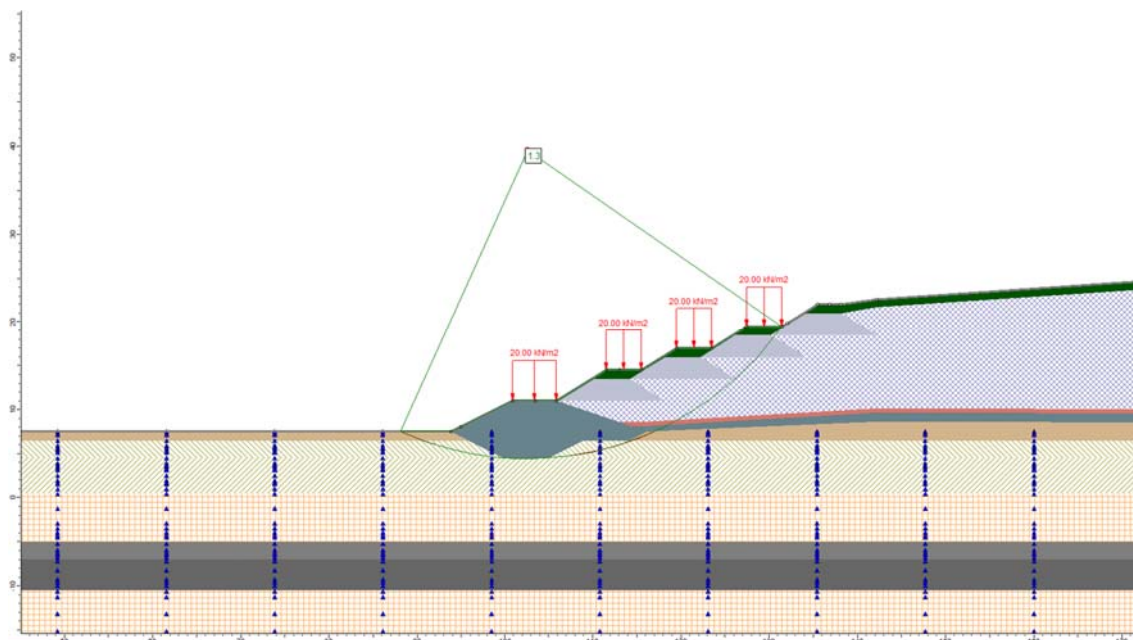


Figura 8. Sezione abbandono - F.S. min = 1.3 ≥ 1.1

DS 02 BO VA 00 D1 RG 06.00	Relazione geologica e geotecnica	00	30/09/2015	57 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

S.3 STABILITÀ GLOBALE A LUNGO TERMINE

L'analisi di stabilità è stato condotta sul profilo di lungo termine (ad avvenuta consolidazione del sedime di fondazione). La sollecitazione sismica di progetto è stata applicata mediante l'amplificazione delle masse applicando i coefficienti k_h e k_v (sia verso il basso, sia verso l'alto) calcolati secondo la normativa vigente.

Le verifiche di stabilità globali condotte hanno mostrato fattori di sicurezza superiori ad 1.1, nel rispetto quindi del fattore minimo di sicurezza previsto dalla normativa di riferimento.

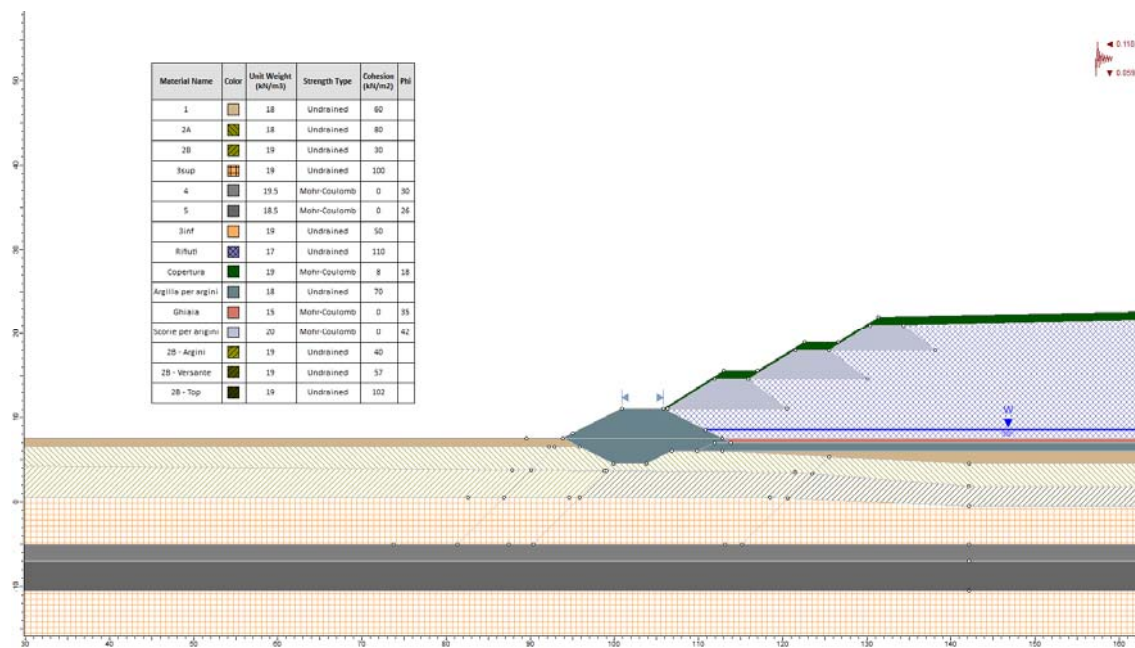


Figura 9: Sezione a lungo termine – configurazione del modello di calcolo

DS 02 BO VA 00 D1 RG 06.00	Relazione geologica e geotecnica	00	30/09/2015	58 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

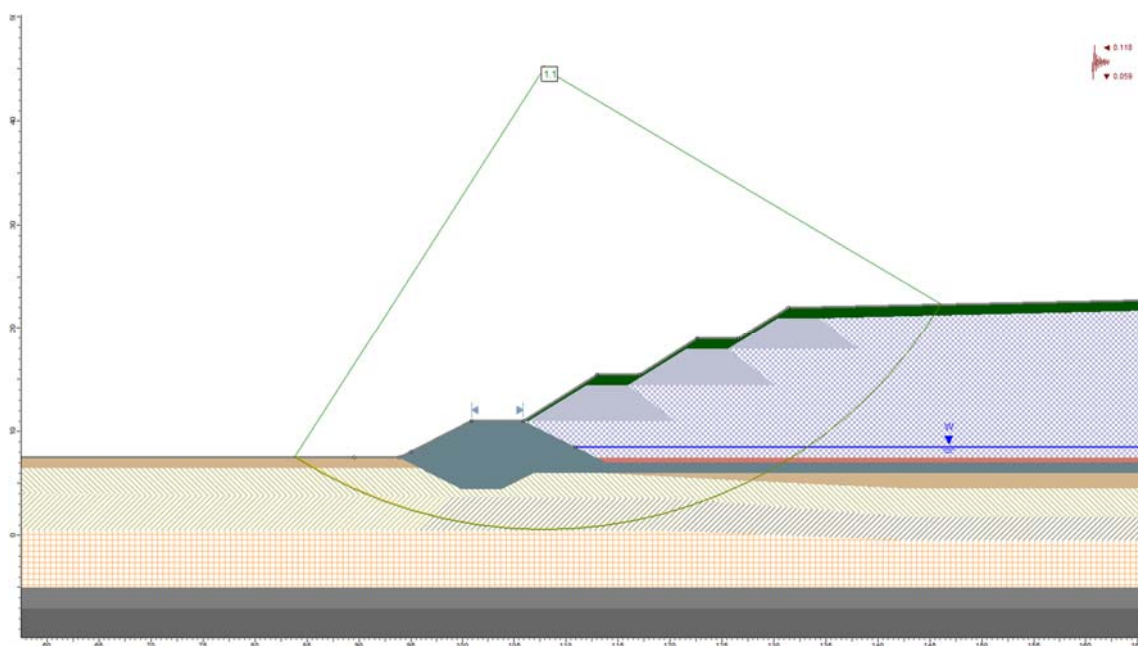


Figura 10. Sezione a lungo termine – sisma verso il basso - F.S. min = 1.1 $\geq$ 1.1

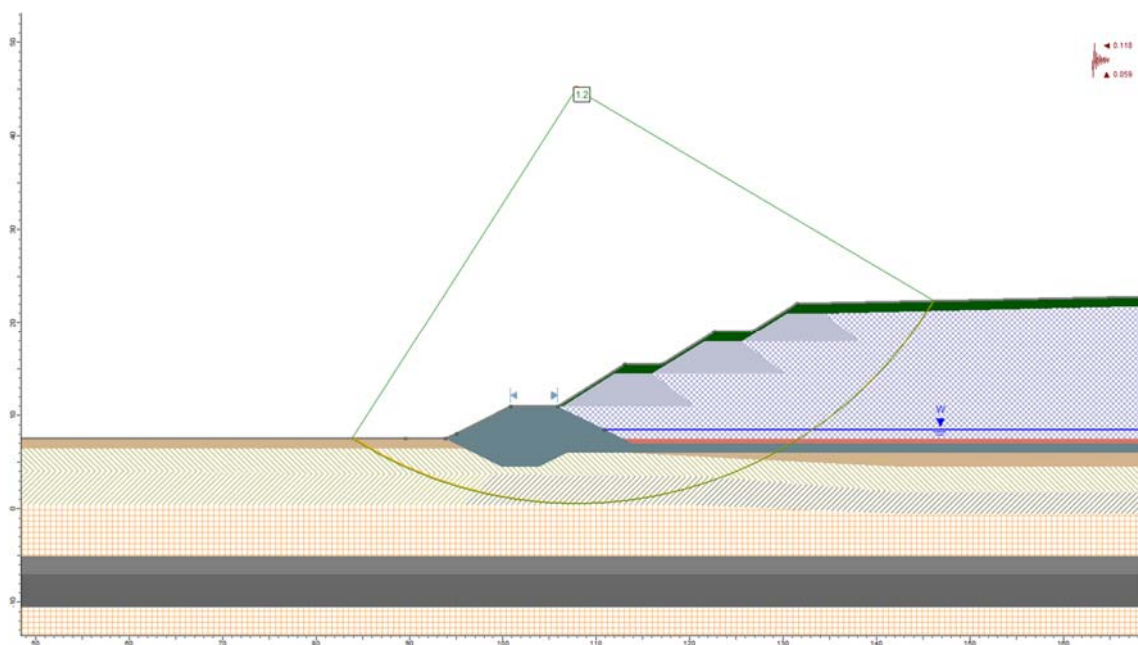


Figura 11. Sezione a lungo termine – sisma verso l'alto - F.S. min = 1.2 $\geq$ 1.1

DS 02 BO VA 00 D1 RG 06.00	Relazione geologica e geotecnica	00	30/09/2015	59 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

T STIMA DEL PROCESSO DI CONSOLIDAZIONE E DEI CEDIMENTI

La stima dei cedimenti del piano di imposta della discarica e la loro evoluzione nel tempo è stata calcolata combinando i seguenti approcci:

- stima del cedimento per terreni incoerenti: teoria dell'elasticità (cedimenti contemporanei alla costruzione dell'opera, trascurabili cedimenti di consolidazione);
- stima del cedimento per terreni coesivi: consolidazione edometrica, primaria e secondaria, in tre dimensioni.

In base alle informazioni ricevute sulla natura dei rifiuti posti a dimora, è stato ritenuto trascurabile il cedimento dilazionato nel tempo del materiale abbancato all'interno del rilevato di discarica.

Lo studio della consolidazione nel tempo è stata eseguita mediante il software Settle3D della Rocscience di Toronto, Canada. Il software esegue lo studio del processo di consolidazione tridimensionale per terreni comunque stratificati (coesivi ed incoerenti con diversa permeabilità).

La stratigrafia di calcolo ed i parametri di deformabilità e consolidazione sono riportati nei paragrafi precedenti. Cautelativamente, anche se in assenza di informazioni dirette, l'unità inferiore è stata estesa fino a 90m da p.c. per tenere in conto dell'estensione in profondità del carico imposto. L'applicazione del sovraccarico è stata simulata ipotizzando la gestione successiva di un primo lotto (Vasca 1), lato Nord Ovest, e successivamente il completamento di un secondo lotto (Vasca 2) fino a raggiungere il profilo finale. Il volume di conferimento annuale stimato per il calcolo dei tempi di costruzione è pari a 150'000 t/anno. Per maggiore accuratezza è stato considerato nel calcolo il carico relativo alla discarica esistente, imposto pari a 230 kPa su un'area rettangolare che inviluppa il profilo del rilevato.

L'analisi è stata suddivisa nei seguenti passi di calcolo:

Durata [mesi]	Descrizione Fase
240	Gestione discarica esistente
262.3	Vasca 1 – Livello 0
278.9	Vasca 1 – Livello 1
289.9	Vasca 1 – Livello 2
316.8	Vasca 2 – Livello 0
343.9	Vasca 2 – Livello 1
370.6	Vasca 2 – Livello 2

DS 02 BO VA 00 D1 RG 06.00	Relazione geologica e geotecnica	00	30/09/2015	60 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

Durata [mesi]	Descrizione Fase
403	Vasche Livello 1 e 2 - 3
1356	Lungo termine (100 anni)

La figura seguente riporta la distribuzione planimetrica dei cedimenti totali (elastici e di consolidazione) a “lungo termine”. Il cedimento massimo, calcolato a centro vasca, è pari a circa 2.3 m rispetto alla quota di costruzione.

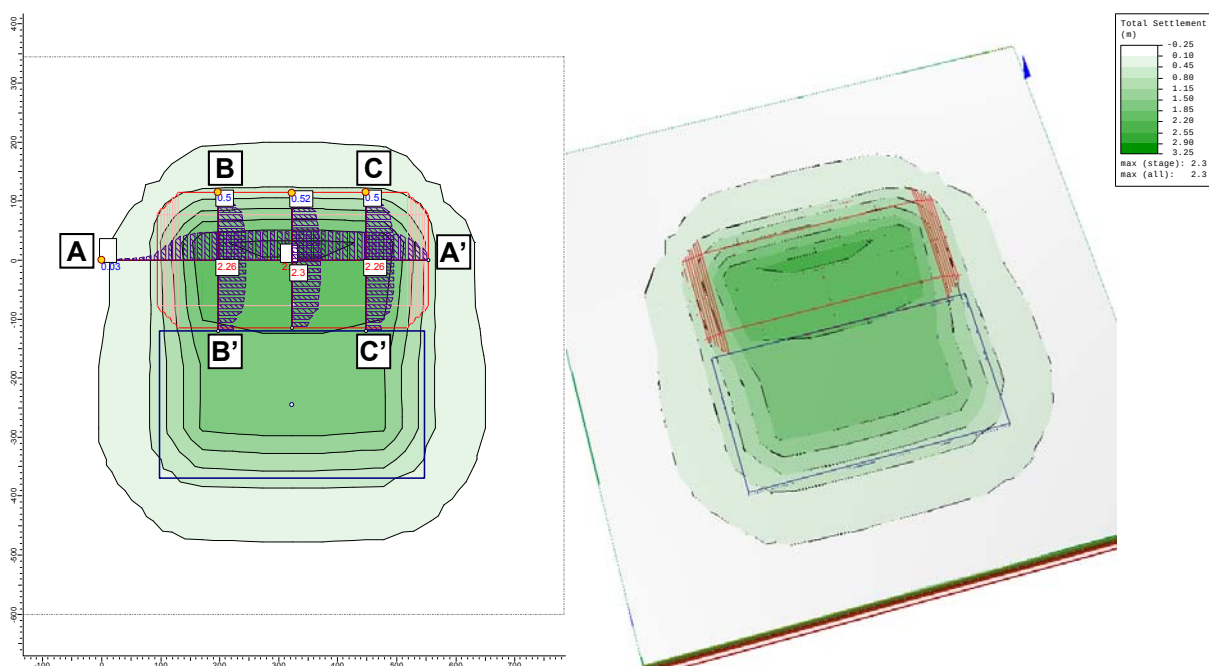


Figura 12: cedimenti massimi [m] a lungo termine

Le figure seguenti riportano la distribuzione dei cedimenti totali (elastici e di consolidazione) nelle varie fasi di calcolo, calcolati lungo la sezione mediana NW-SE e lungo le due sezioni trasversali.

Per maggiori dettagli si rimanda all'Elaborato 14 - Sezioni longitudinali e trasversali sequenza abbancamento rifiuti (cod. doc. DS 02 BO VA 01 D1 PL 14.00).

Al fine di poter permettere una corretta installazione della rete del percolato sono stati stimati i cedimenti del fondo della discarica in modo da garantire la corretta pendenza del percolato verso i

DS 02 BO VA 00 D1 RG 06.00	Relazione geologica e geotecnica	00	30/09/2015	61 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

punti di ubicazione degli slope riser. La pendenza iniziale, in senso longitudinale, stimata nei vari settori tra 2 e 3 % si riduce al termine dei rilasci a 1,5%.

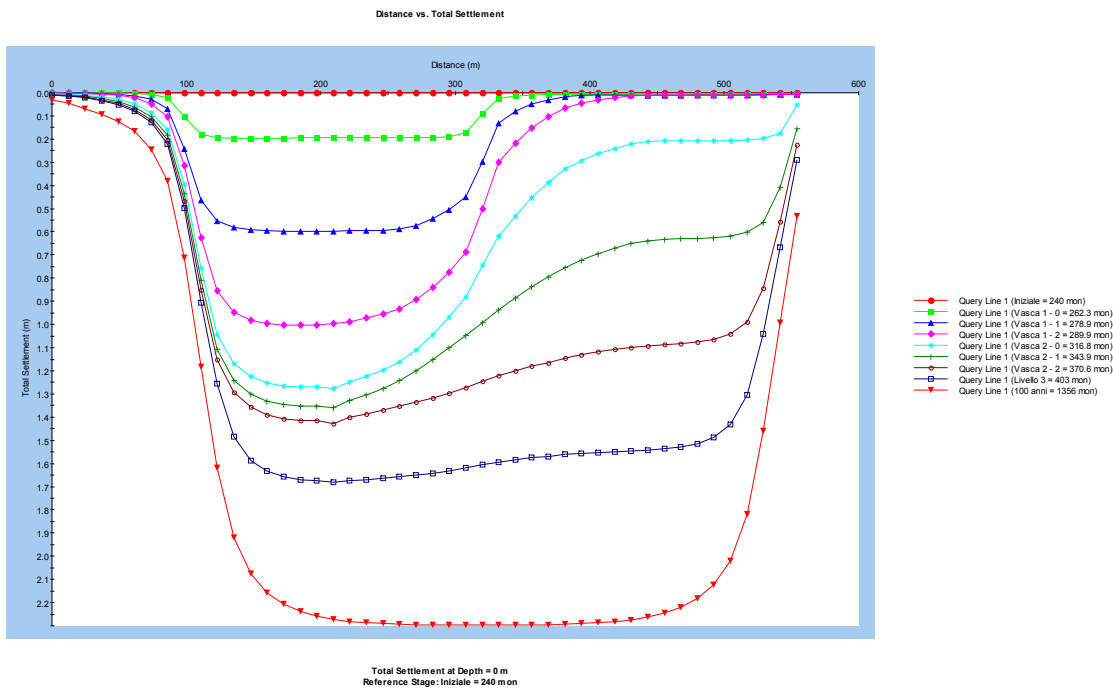
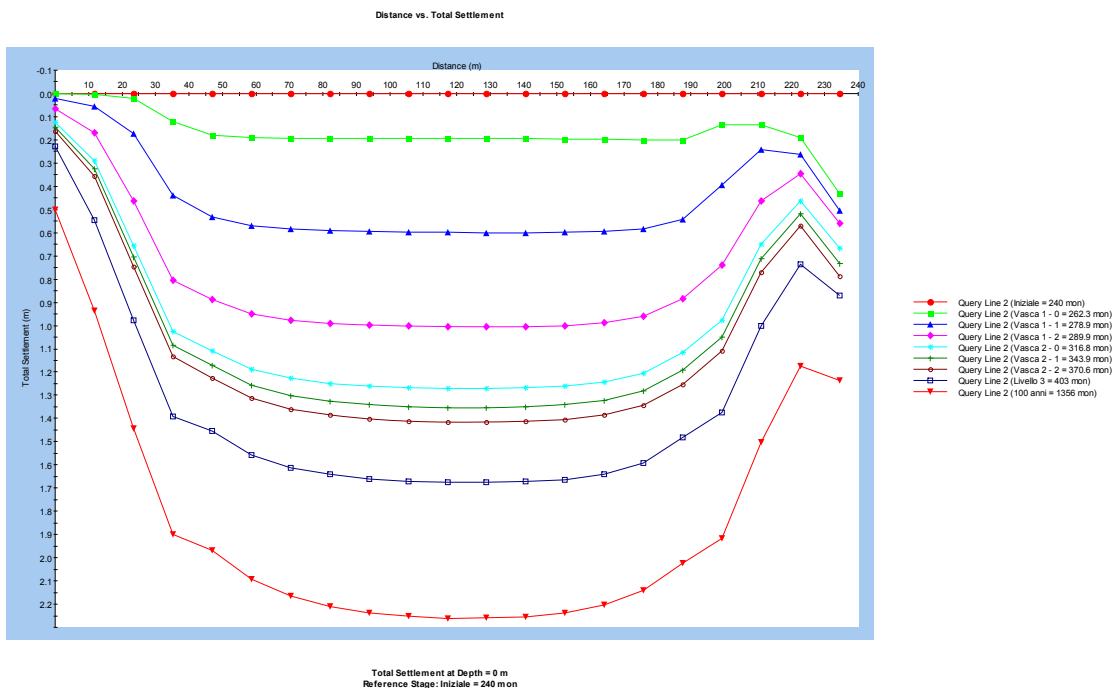


Figura 13: cedimenti lungo la sezione mediana A-A' (direzione NW – SE)



DS 02 BO VA 00 D1 RG 06.00	Relazione geologica e geotecnica	00	30/09/2015	62 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

Figura 14: cedimenti lungo la sezione trasversale "Lotto 1" B-B' (direzione NE-SW)

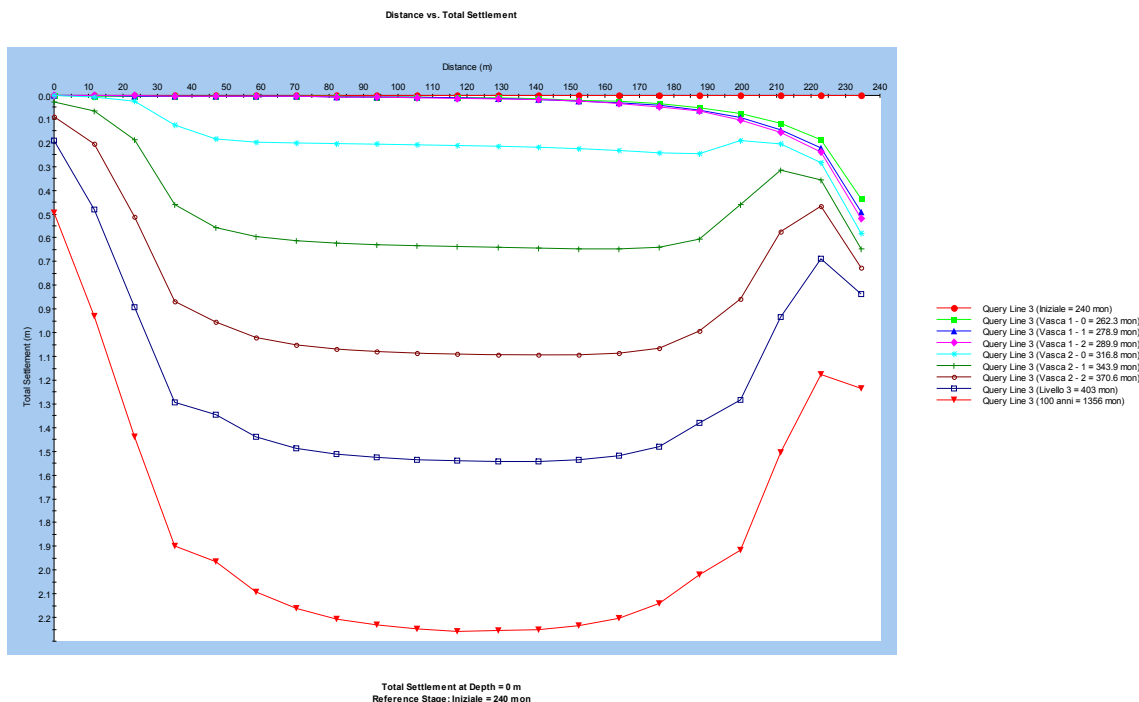


Figura 15: cedimenti lungo la sezione trasversale "Lotto 2" C-C' (direzione NE-SW)

U SINTESI CONCLUSIVA

Al termine della campagna indagini eseguita, della caratterizzazione geotecnica e delle valutazioni geotecniche effettuate, si può concludere che:

- la zona dell'intervento è costituita da sedimenti alluvionali prevalentemente argilloso-limosi con intercalazioni lenticolari sabbiose dalle profondità superiori agli -8.0÷10.0 m. La successione stratigrafica tipica è rappresentata da p.c. a circa -8.0÷10.0 m da argille (Unità da 1 a 3) con bassa permeabilità (dell'ordine ed inferiore a 10^{-9} m/s) sovraconsolidate nei primi metri per essiccamento e con presenza di sostanza organica. Al di sotto di tale profondità, si sono riscontrate alternanze di sabbie (Unità 4) e terreni limoso-argillosi, con permeabilità da bassa (per i limi-argillosi) a medio-alta (per le sabbie);
- i terreni in sito sono classificabili come suolo di tipo "D", ovvero "Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti con spessori

DS 02 BO VA 00 D1 RG 06.00	Relazione geologica e geotecnica	00	30/09/2015	63 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	

- superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $v_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina”);
- i risultati delle analisi di stabilità globale eseguite soddisfano i requisiti della normativa vigente;
 - le valutazioni dei cedimenti e dalla loro evoluzione nel tempo hanno mostrato cedimenti massimi del fondo della discarica dell'ordine di circa 220-230 cm. La progettazione dei sistemi di drenaggio e raccolta del percolato viene pertanto effettuata tenendo conto della variabilità nel tempo delle pendenze del fondo vasca e del cumulo;
 - tutte le valutazioni eseguite si basano su ipotesi di lavoro relative alla resistenza (efficace e non drenata) dei rifiuti abbancati, al loro peso di volume medio una volta messi a dimora, agli eventuali livelli di percolato ed alle tempistiche di conferimento e dovranno essere aggiornate in caso di variazioni in fase di esercizio.

V APPENDICI

DS 02 BO VA 00 D1 RG 06.00	Relazione geologica e geotecnica	00	30/09/2015	64 di 64
Cod.	Descrizione	Rev.	Data	