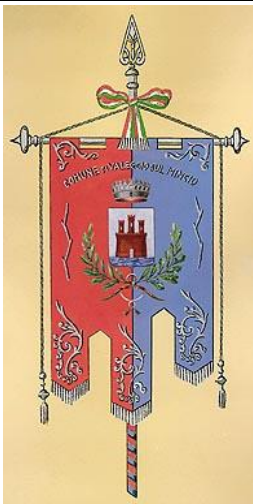


REGIONE VENETO  
PROVINCIA DI VERONA  
COMUNE DI VALEGGIO SUL MINCIO



DISCARICA CONTROLLATA PER IL TRATTAMENTO DI R.S.U. IN  
LOCALITÀ CÀ BALDASSARRE

PROGETTO ESECUTIVO DI RIBAULATURA DEL CAPPING  
VARIANTE TECNICA E MORFOLOGICA

**ELABORATO 02:**  
**RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**

Il Tecnico

Dott. Geol. Cesare Bagolini



## SOMMARIO

1.	PREMESSA .....	4
2.	AREA DI INDAGINE .....	4
2.1.	SCOPO DELL'INDAGINE .....	4
3.	GEOLOGIA .....	5
4.	GEOMORFOLOGIA .....	5
5.	IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA .....	7
5.1.	ACQUE SUPERFICIALI .....	7
5.2.	ACQUE SOTTERRANEE.....	7
5.2.1.	RETE DI MONITORAGGIO DELLA DISCARICA .....	8
5.2.2.	RETE DI MONITORAGGIO PROSSIMALE .....	10
5.2.3.	SISTEMA IDROGEOLOGICO LOCALE - CONSIDERAZIONI FINALI.....	15
6.	CARATTERIZZAZIONE SISMICA .....	16
6.1.	STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO.....	16
6.2.	INDAGINI DI SISMICA PASSIVA.....	17
6.3.	CLASSIFICAZIONE SISMICA .....	17
6.4.	PARAMETRI SISMICI.....	18
7.	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	19
7.1.	COMPORAMENTO DEI RIFIUTI.....	19
7.2.	MODELLO GEOTECNICO.....	24
8.	INTERVENTI DEL PROGETTO APPROVATO CON DSE 2580/1425	
9.	VERIFICHE GEOTECNICHE .....	25
9.1.	PROCEDURE DI CALCOLO.....	25
9.2.	MODELLO DI CALCOLO.....	26
9.3.	RISULTATI.....	27
9.4.	STIMA DEI CEDIMENTI ATTESI DALLA VARIANTE AL PROGETTO APPROVATO CON DSE N. 2580/14.....	28

---

10.	BIBLIOGRAFIA .....	29
11.	ALLEGATI .....	31

- I. INDAGINE GEOFISICA MEDIANTE TECNICA HVSR;
- II. VERIFICHE GEOTECNICHE - ELABORATI DI CALCOLO.

## 1. PREMESSA

La presente *Relazione Geologica, Idrogeologica e Geotecnica* fa parte integrante del *Progetto per la Ribaulatura del Capping* della discarica controllata per il trattamento di Rifiuti Solidi Urbani, sita in località “Cà Baldassarre”, Comune di Valeggio sul Mincio (VR).

Il rapporto e le indagini sono state eseguite tenendo conto della normativa vigente in materia ambientale e in campo geotecnico.

## 2. AREA DI INDAGINE



FIGURA 2.1: Immagine da satellite con inquadramento dell'area di progetto (fonte - Google Earth - 2021).

L'area in esame è situata nella porzione orientale del territorio comunale di Valeggio sul Mincio, in località Cà Baldassarre. Per l'ubicazione si veda Figura 2.1 o Tavola 01: “*Corografia, PAT, Estratto Catastale*”.

Dal punto di vista morfologico il territorio in esame si sviluppa all'interno dell'Alta Pianura Veronese ed è costituito da un complesso alluvionale sviluppato principalmente dal Fiume Mincio ed in misura secondaria da alcuni corsi d'acqua minori, in diverse fasi dell'Era Quaternaria.

### 2.1. SCOPO DELL'INDAGINE

Il presente studio si propone di raggiungere i seguenti obiettivi:

- *Caratterizzazione Geologica dell'area*, con particolare attenzione alle proprietà idrauliche che caratterizzano il primo sottosuolo, che sarà interessato dalla realizzazione delle unità disperdenti della rete di smaltimento acque meteoriche;
- *Caratterizzazione Geotecnica* dei materiali utilizzati per la ribaulatura del capping e del corpo rifiuti su cui sarà effettuato l'intervento. La determinazione delle principali proprietà meccaniche di questi materiali darà modo di effettuare verifiche puntuali sulle interazioni indotte dagli interventi previsti dalla Variante Tecnica e Morfologica al Progetto approvato con DSE 25810/14.

### 3. GEOLOGIA

La zona oggetto di studio è situata nell'*Alta Pianura Veronese*, a ridosso delle cerchie più esterne dell'Anfiteatro Morenico del Garda. Quest'area pedemontana è costituita da un complesso alluvionale sviluppato principalmente dai *Fiumi Adige, Mincio* ed in misura secondaria da alcuni corsi d'acqua minori, in diverse fasi dell'*Era Quaternaria* (sia in epoca glaciale che post-glaciale).

La deposizione dei sedimenti di varia granulometria ed il continuo variare della sede fluviale dell'Adige hanno portato alla formazione, in tempi diversi, di un'ampia *Conoide Composta*, con asse disposto in direzione NNW-SSE, delimitato a Nord-Ovest dall'Anfiteatro Morenico del Garda, a Nord dai Monti Lessini, a Sud dal limite settentrionale della *Fascia delle Risorgive* e a Ovest dalla depressione valliva del Fiume Mincio.

E' caratterizzata da una morfologia pianeggiante abbastanza regolare, interrotta solo dalla presenza di terrazzamenti operati dall'azione geodinamica fluviale e dall'intervento antropico sull'ambiente, che in alcuni casi ha modificato in modo incisivo l'assetto naturale del territorio. L'*Alta Pianura* rappresenta una zona di transizione tra l'area pedemontana, che lambisce la base dei rilievi prealpini, e la pianura propriamente detta, ed è costituita dal *sistema planiziale delle fasce fluviali*.

Le vicende geologiche del territorio in esame sono strettamente legate alla genesi e successiva evoluzione della *Pianura Padana*, di cui fa parte. La ricostruzione paleogeografica e la successione temporale dei vari ambienti che si sono succeduti nel tempo si basa sui risultati dell'attività dell'AGIP per la ricerca degli idrocarburi e sugli studi effettuati dall'ENEL per la localizzazione di una centrale elettronucleare.

Le correlazioni stratigrafiche tra i pozzi AGIP di Villafranca, Nogarole Rocca e Rodigo, (Comune di Goito) hanno permesso una ricostruzione attendibile degli eventi verificatisi a partire dall'era mesozoica.

Lo spessore complessivo dei depositi nell'area in esame raggiunge valori notevoli: la base del *Quaternario* è infatti segnalata a 500 ÷ 1.000 m nel settore delle colline moreniche, e nella fascia pedecollinare, per raggiungere poi i 1.500 m nella media pianura.

L'assetto attuale che caratterizza il territorio risente in particolar modo degli effetti causati dalle glaciazioni, che si sono sviluppate a partire da circa 1,8 milioni di anni fa.

Questi eventi climatici relativamente recenti hanno infatti lasciato un'impronta spiccata sul territorio, nelle componenti fisiche, biologiche ed antropiche: dopo l'ultima glaciazione entriamo nella fase climatica attuale.

Le unità geologiche affioranti nel territorio sono esclusivamente di ambiente continentale e costituite da morene, depositi fluvioglaciali ed alluvioni di età compresa tra il *Pleistocene* e l'*Olocene*.

A partire dall'*Olocene* fino ai giorni nostri l'elemento geomorfologico principale è costituito dai corsi d'acqua che, riprendendo la fase di erosione dei depositi morenici a monte e di rideposizione a valle dei materiali, hanno contribuito a dare l'assetto attuale al territorio in oggetto.

La successione stratigrafica che caratterizza il primo sottosuolo è stata determinata sulla base della documentazione bibliografica disponibile e attraverso l'osservazione delle pareti lungo il perimetro di una cava posta a Sud, in adiacenza della discarica in oggetto.

Nei primi 30 metri di profondità si rinviene una successione di alluvioni ghiaioso sabbiose, alternate ad alluvioni sabbioso ghiaiose, con rare ed isolate lenti di materiali più fini. Questi sedimenti sono caratterizzati da buone proprietà meccaniche e permeabilità medio elevata.

### 4. GEOMORFOLOGIA

Il territorio in esame si trova a Sud-Est delle cerchie moreniche frontali dell'*anfiteatro morenico del Garda*, e fa quindi parte della *piana proglaciale*, che costituisce l'*Alta Pianura*, che si estende fino alla *fascia delle risorgive*, che ne delimitano il confine meridionale.

Questa porzione di territorio è costituita da un complesso alluvionale sviluppato principalmente dai *Fiumi Adige, Mincio, Tione* e, in misura secondaria, da altri corsi d'acqua minori, in diverse fasi dell'*Era Quaternaria* (sia in epoca glaciale, che post-glaciale).

La morfologia superficiale che caratterizza questo territorio è il risultato delle azioni congiunte del sistema morfogenetico glaciale e di quello fluviale.

Gli elementi geomorfologici principali sono quindi:

- la *Conoide Composta del fiume Mincio*, generata dalle divagazioni del corso d'acqua. Questa si sviluppa verso Sud-Est, con apice poco a Sud di Valeggio sul Mincio, dove si raccorda con le morene dell'anfiteatro del Garda. La porzione meridionale invece degrada dolcemente per confondersi con la pianura vera e propria e termina appena a Sud di Roverbella. Ad occidente è delimitata e terrazzata dal fiume stesso, mentre verso oriente si estende abbondantemente in territorio veronese. La sua presenza è evidenziata dall'andamento arcuato delle isoipse. Costituita prevalentemente da materiali grossolani, presenta localmente bruschi cambiamenti tessiturali, per la presenza di paleoalvei sia in superficie che in profondità;
- La *Depressione Valliva* entro cui scorre il *fiume Mincio*, delimitata da vari ordini di terrazzi, che diminuiscono in altezza da Nord verso Sud. Al suo interno si possono rinvenire tracce di paleoalvei e di meandri abbandonati, che testimoniano i consistenti fenomeni di divagazione ed incisione, di età *Olocenica* e attivi anche in tempi recentissimi. La copertura litologica all'interno di questa valle è costituita da sabbie e ghiaie;
- La *fascia delle Risorgive*, che inizia poco a Sud di Roverbella, e si estende verso Est, passando in prossimità di Mozzecane, Povegliano, Pizzoletta, Castel D'Azzano, Ca' di David e Zevio. Dal punto di vista geomorfologico e idrogeologico questa zona è molto importante poiché rappresenta il confine tra l'alta e la bassa pianura. L'origine di questa struttura è legata alla variazione litologica dei materiali: presso il limite settentrionale della piana proglaciale la ghiaia è prevalente sulla sabbia e i materiali fini, ma procedendo verso Sud i rapporti quantitativi si invertono. Il confine meridionale infatti corrisponde, a grandi linee, alla scomparsa della ghiaia, che viene completamente sostituita dalla sabbia e dal limo. La diminuzione di permeabilità dei materiali incontrati durante il suo deflusso, genera un innalzamento della superficie freatica, e dove il livello del terreno, abbassandosi, viene a tagliare quello della falda d'acqua sotterranea abbiamo una linea di emergenza spontanea o risorgiva.
- *Paleoalvei*, che presentano uno sviluppo blandamente meandriforme, lungo una direzione prevalente da NNO verso SSE. Questi indicano zone a deposizione più fine, talora con presenza di livelli torbosi. Derivano da incisioni e rimaneggiamenti operati dai corsi d'acqua in periodi successivi, tra il Wurm e l'Olocene, sui depositi fluvioglaciali. A causa degli interventi di livellazione del territorio, per un suo migliore sfruttamento a scopo agricolo, industriale e residenziale è difficile rilevare la presenza di questi elementi geomorfologici. Per individuarli ed ubicarli è necessaria un'indagine aerofotogrammetrica. Essendo questi costituiti da materiali fini è infatti possibile rilevarne la presenza a causa del loro minore drenaggio delle acque di infiltrazione, rispetto alle zone limitrofe;
- *Modificazioni legate all'attività antropica*, che hanno interferito con i processi di evoluzione geodinamica naturale del territorio. L'intervento più incisivo è testimoniato dalla presenza di alcuni *specchi lacustri artificiali*, residui dell'attività estrattiva di ghiaia e sabbia. Le attività estrattive risultano concentrate soprattutto nella zona di incisione del Mincio e nella piana fluvioglaciale che la circonda, nell'area compresa tra Villafranca e Quaderni si rinviene quindi un polo estrattivo di minore importanza. Altro intervento antropico di rilievo è costituito dalla fitta rete di *canali artificiali*, appositamente costruiti a partire dall'inizio del secolo scorso, al fine di rendere irrigabile, e quindi coltivabile il territorio. Gli *interventi di sistemazione idraulica* operati lungo i tratti più critici dei corsi d'acqua, sia in pianura, che lungo le vallate pedemontane, hanno attenuato sensibilmente i processi erosivi, di trasporto e sedimentazione, nonché i fenomeni di divagazione lungo i conoidi e la pianura propriamente detta, che costituivano i principali motori geodinamici del territorio. E' poi presente una *Rete Viaria* ben sviluppata, prevalentemente impostata su rilevati stradali leggermente rialzati, rispetto al livello del piano campagna circostante. La presenza di queste infrastrutture ha influenzato profondamente l'evoluzione geodinamica del territorio. I rilevati stradali costituiscono infatti degli sbarramenti al decorso naturale delle acque superficiali, mentre i tratti in trincea ed i sottopassi svolgono un'azione di raccolta. Lo stesso dicasi delle opere idrauliche per il drenaggio delle acque dal corpo stradale, che, captando e convogliando gli apporti meteorici lungo zone circoscritte, alterano le direzioni

naturali dei deflussi idrici di superficie. Effetto minore, ma comunque interagente sul sistema ambientale, è costituito dall'impermeabilizzazione di piazze, piazzali ed aree più o meno estese lungo i centri abitati, che hanno deviato e modificato i fenomeni di scorrimento superficiale delle acque e quelli di infiltrazione all'interno dei terreni.

L'area di progetto ricade all'interno della *Conoide Composta del Fiume Mincio*, che costituisce e caratterizza la porzione nord-occidentale dell'*Alta Pianura Veronese*.

Il territorio in esame risulta caratterizzato da un elevato grado di stabilità, dal punto di vista delle azioni di modellamento superficiale ad opera dei principali agenti geomorfologici. Non si prevedono interazioni indotte dalla realizzazione delle opere previste dalla Variante Tecnica e Tecnologica al Progetto di Ribaulatura sugli equilibri in essere e sui processi morfodinamici in atto nell'area di intervento e nel territorio circostante..

## 5. IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA

### 5.1. ACQUE SUPERFICIALI

L'area di pianura posta a Sud-Ovest di Verona presenta scarse manifestazioni idrografiche naturali, nonostante le precipitazioni siano relativamente abbondanti nell'arco dell'anno.

Questo è dovuto ad una serie di fattori morfologici, pedologici e litologici che influenzano in maniera incisiva il territorio.

L'idrografia superficiale e il deflusso idrico sotterraneo dipendono principalmente dalle caratteristiche dei terreni, dal loro assetto stratigrafico, dalla morfologia del territorio e dagli aspetti climatici che interessano l'intero bacino imbrifero di cui fa parte l'area in esame.

L'area infatti, come abbiamo visto, è costituita da alluvioni ghiaiose ad elevata permeabilità, che tendono ad inglobare nel potente serbatoio idrico sotterraneo gran parte degli apporti meteorici.

L'attività antropica ha comunque fortemente condizionato l'idrografia superficiale del territorio realizzando una fitta rete di canali artificiali, distribuita in maniera capillare su tutto il territorio, e modificando con opere di rettificazione ed arginamento ampie porzioni dei corsi d'acqua naturali.

Oltre alla rete idrografica naturale è presente in zona un sistema di canali artificiali per l'irrigazione dei terreni dell'intero comprensorio di pianura, gestita principalmente dal Consorzio di Bonifica Alto Agro Veronese (CONAGRO).

L'irrigazione effettuata per mezzo di questi canali nel periodo che va da Aprile a Settembre, rappresenta un importante fattore di alimentazione del sistema idrico sia superficiale che sotterraneo. Se si escludono le eventuali perdite attraverso gli alvei (peraltro infrequenti poiché sottoposti a manutenzione continua), non si evidenziano altri rapporti con questa rete idrografica e il sistema idrogeologico locale.

Nelle immediate vicinanze dell'area di progetto si sviluppano solamente canalette private. L'opera più importante della rete irrigua consortile si rinviene circa 400 m verso Sud, ed è costituita da una diramazione secondaria. Sul lotto su cui insisterà la Discarica non insistono pertanto vincoli o fasce di rispetto.

Data la scarsità di elementi idrografici nelle vicinanze dell'area di intervento, sono da escludere interazioni indotte dagli interventi previsti dalla Variante Tecnica e Morfologica al Progetto di Baulatura e la rete idrografica locale.

### 5.2. ACQUE SOTTERRANEE

Dal punto di vista idrogeologico, l'area in esame è posta all'interno dell'*Alta Pianura*. Si trova infatti a Sud del *Tavolato Lessineo*, e a nord-ovest del *limite superiore delle Risorgive*.

L'*Alta Pianura*, che si sviluppa tra 150 e 40 metri s.l.m., è caratterizzata da depositi prevalentemente ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi, ed è sede di un importante falda freatica (libera). È costituita da un acquifero praticamente unitario, che può inglobare livelli impermeabili, ma discontinui, come del resto è emerso dai

dati dei numerosi sondaggi disponibili. Costituisce poi la principale zona di alimentazione delle falde idriche in pressione, che caratterizzano la fascia settentrionale della *Media Pianura*;

La *Media Pianura*, posta a Sud, che si sviluppa tra 40 e 20 metri s.l.m., corrisponde alla parte medio-inferiore delle conoidi fluvioglaciali, ed è costituita da alternanze di sedimenti a granulometria grossolana (ghiaie e sabbie) e livelli di materiali fini o finissimi (limi e argille). In questa zona i depositi alluvionali di tipo continentale raggiungono spessori massimi di 350 ÷ 400 metri. Le intercalazioni a granulometria grossolana sono sede di falde in pressione, suddivise tra loro dagli strati argillosi, ed alimentate dalla falda freatica dell'*Alta Pianura*. La *struttura idrogeologica* è caratterizzata da un *sistema multifalde*, costituito dall'alternanza di acquiferi indipendenti, separati da livelli argillosi (*acquitard*) o comunque a bassa permeabilità (*acquiclude*), di spessore variabile. Al confine meridionale dell'*Alta Pianura* infatti, la rastremazione progressiva e rapida delle singole conoidi ghiaiose entro materiali più fini provoca una brusca evoluzione dall'unica grande falda esistente a monte ad un modesto sistema multifalde in pressione, e determina l'emergenza pressoché completa della prima falda attraverso i fontanili.

Il *Drenaggio* della falda principale avviene prevalentemente attraverso i numerosi punti di emergenza disposti all'interno della *Fascia delle Risorgive*. Anche i principali corsi d'acqua svolgono un'azione drenante delle acque sotterranee, ma tale rapporto avviene in corrispondenza dei periodi di magra, e si concentra principalmente lungo alcuni tratti delle aste fluviali. I numerosi pozzi utilizzati a scopo irriguo, idropotabile e industriale infine determinano un utilizzo della risorsa idrica sotterranea non trascurabile.

L'indagine idrogeologica a scala locale ha tenuto conto della bibliografia disponibile, dei dati relativi alle colonne stratigrafiche e dei livelli idrici dei pozzi più prossimi all'area di indagine e della rete per il monitoraggio fisico chimico della falda nell'immediato intorno della Discarica. Questi hanno permesso di ricavare informazioni utili a definire le caratteristiche geometriche della struttura idrogeologica locale.

#### 5.2.1. RETE DI MONITORAGGIO DELLA DISCARICA

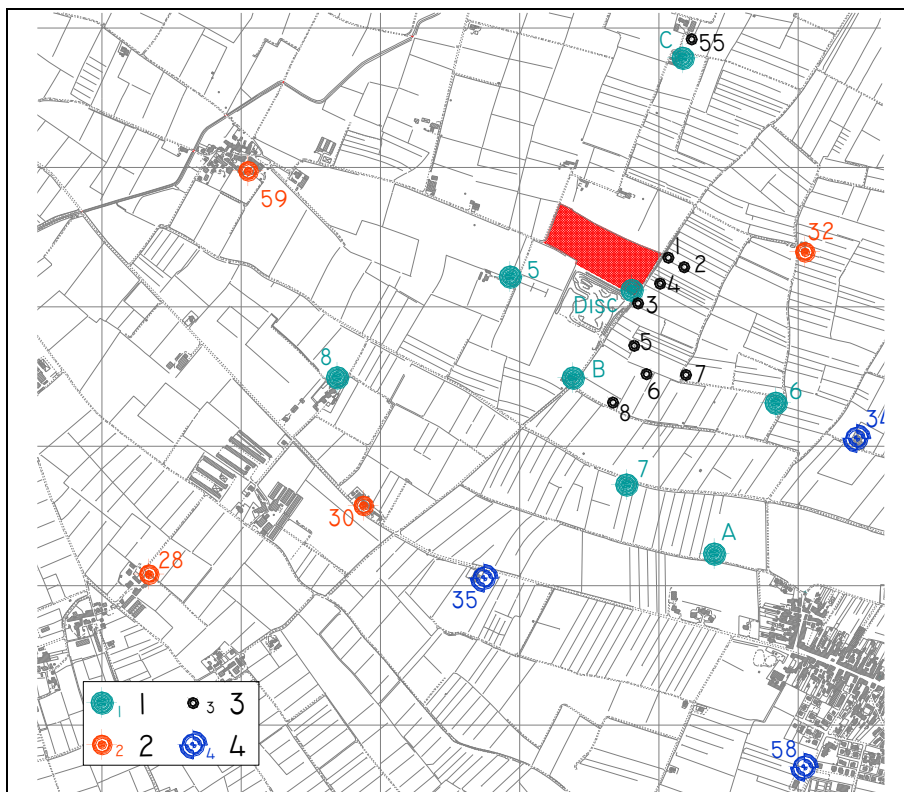


FIGURA 5.2.1.1: Rete di Monitoraggio della Falda: 1 = Pozzi Discarica; 2 = Pozzi Comune di Valeggio sul Mincio; 3 = Pozzi Comune di Villafranca Veronese; 4 = Pozzi Comuni di Valeggio s. M. e Villafranca V.se.



Per quanto riguarda il monitoraggio della falda in corrispondenza della discarica, il controllo viene effettuato attraverso 24 piezometri (vedi figura 5.2.1.1), suddivisi come segue:

- Rete di monitoraggio della Discarica, composta da 8 pozzi, denominati A, B, C, 5, 6, 7, 8 e Discarica;
- Rete di Monitoraggio utilizzata dal Comune di Valeggio sul Mincio, composta da 4 piezometri, denominati 28, 30, 32 e 59;
- Rete di Monitoraggio utilizzata dal Comune di Villafranca, composta da 9 punti di prelievo, denominati 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 55;

Rete di Monitoraggio utilizzata dai Comuni di Villafranca e Valeggio, composta da 3 pozzi, denominati 34, 35 e 58.

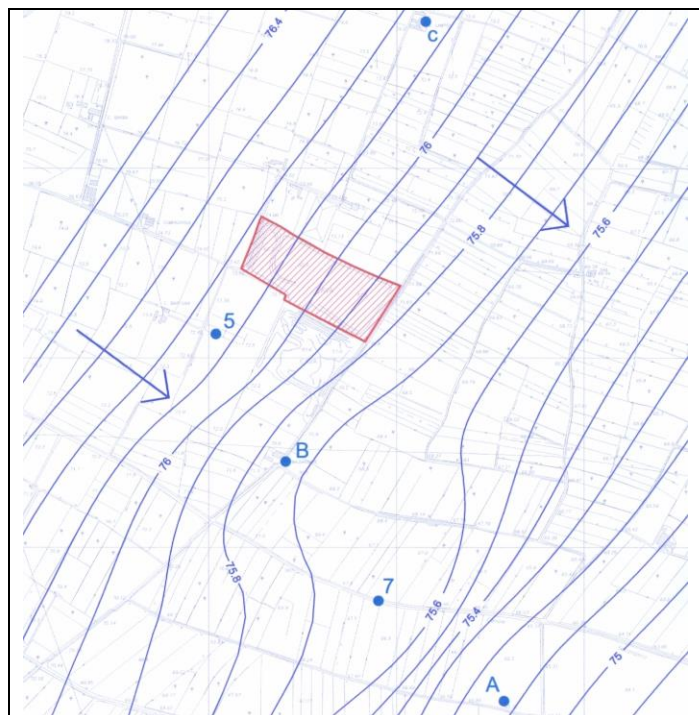


FIGURA 5.2.1.2: Carta delle Isofreatiche elaborata sulle misure piezometriche del mese di Maggio 2001 (nota: le quote della falda sono relative, calcolate con riferimento ai caposaldi della discarica).

Come evidenziato nelle Figure 5.2.1.2 e 5.2.1.3, che rappresentano, rispettivamente, una fase di magra e di piena dell'acquifero, rilevata attraverso la rete di monitoraggio, la direzione di deflusso prevalente delle acque di falda, in corrispondenza del sito in esame, è da Nord Ovest verso Sud Est.



FIGURA 5.2.1.3: Carta delle Isofreatiche elaborata sulle misure piezometriche del mese di Agosto 2001.

#### 5.2.2. RETE DI MONITORAGGIO PROSSIMALE

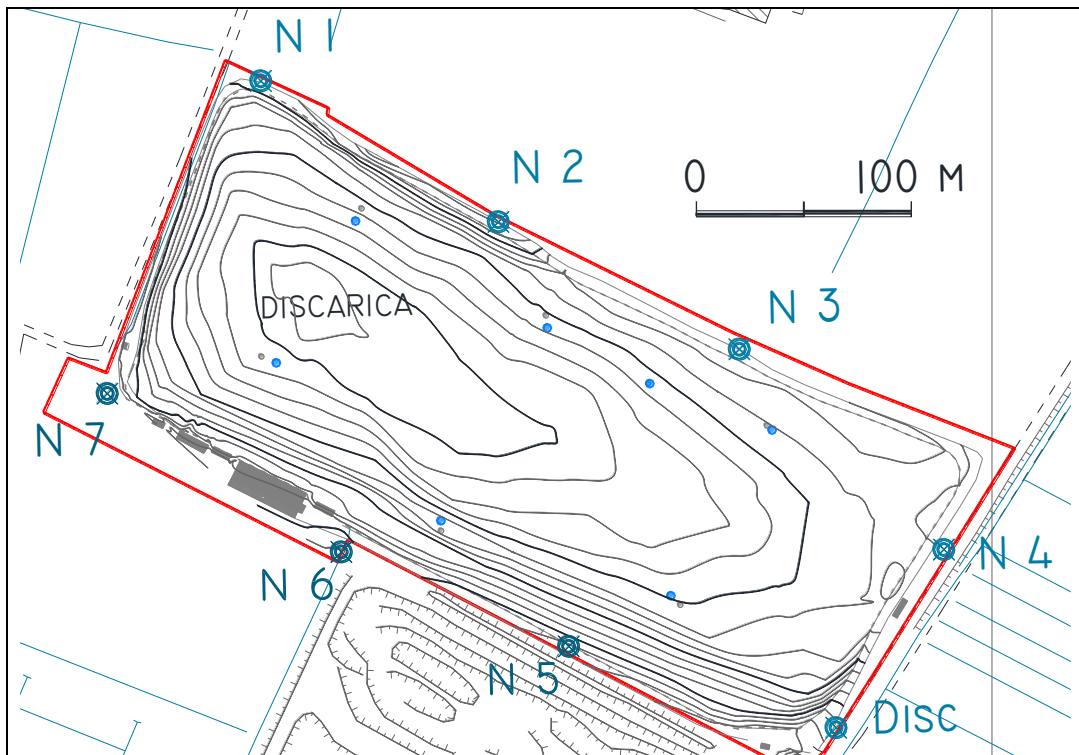


FIGURA 5.2.2.1: Rete Prossimale per il monitoraggio delle acque di falda.

A partire dal mese di febbraio 2014 sono stati rilevati dei superamenti delle c.m.a. presso il Pozzo Discarica per i parametri Ammoniacca e, successivamente di Manganese. Poiché l'anomalia persisteva, nel periodo iniziale è stato implementata la frequenza dei monitoraggi presso questo punto di controllo.

Successivamente, poiché il fenomeno manifestava una tendenza a persistere, il Comune di Valeggio sul Mincio ha incaricato lo Studio ISER S.r.l., specializzato nella valutazione delle dinamiche idrauliche e idrochimiche delle acque sotterranee, al fine di individuare le eventuali correlazioni di causa – effetto del fenomeno in atto.

Avendo stabilito che l'anomalia poteva essere correlata alla presenza della discarica, i tecnici incaricati hanno stabilito la necessità di effettuare i seguenti interventi:

- realizzare una rete di piezometri prossimale alla discarica, che consentisse di effettuare uno studio di maggiore dettaglio;
- mettere in atto uno specifico protocollo di indagine costituito da rilevamenti freaticometrici e campionamenti per l'esecuzione di analisi chimiche di laboratorio, per la determinazione di uno specifico set parametrico da determinare e frequenza dei campionamenti), che consentisse di individuare le dinamiche in atto, tenendo conto della presenza della discarica.

Dai 4 piezometri iniziali proposti, nel corso del tempo la rete è stata implementata ed attualmente è costituita da 8 piezometri, comprendenti quello della discarica, sul quale sono disponibili anche i dati storici.

Le indagini ad oggi svolte, e tuttora in corso hanno permesso di determinare con maggiore dettaglio le oscillazioni freaticometriche e i deflussi dell'acquifero locale (vedi figure seguenti), e l'andamento nel tempo delle concentrazioni dei parametri chimici analizzati nei singoli piezometri.

Le misure dei livelli di falda hanno consentito di rilevare l'andamento della superficie freatica nel tempo. L'elaborazione dei dati di rilevamento poi ha consentito di predisporre le carte a curve isofreatiche, utili alla determinazione delle direzioni di deflusso e del gradiente caratteristico dell'acquifero locale.

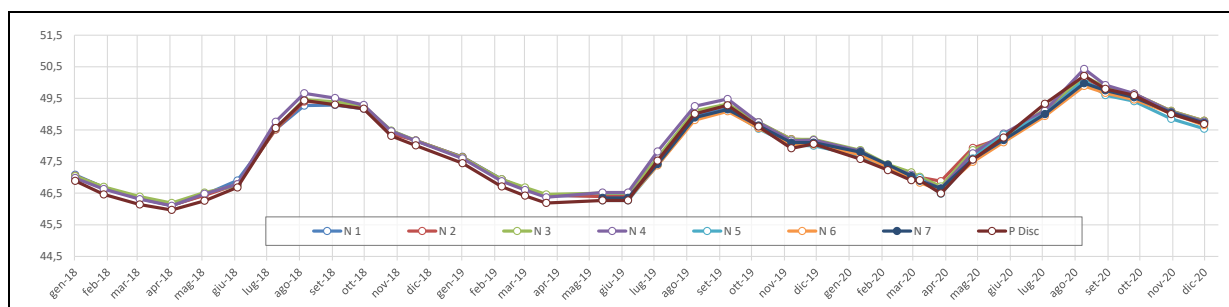


FIGURA 5.2.2.2: *Andamento dei Livelli di Falda nel tempo, presso i piezometri della rete di monitoraggio attivata a partire dal mese di gennaio 2018 (periodo monitorato gennaio 2018 - dicembre 2020).*

Dopo avere raggiunto un punto di minimo, registrato nel periodo aprile-maggio, i livelli dell'acquifero iniziano a crescere progressivamente, entrando nella fase di piena stagionale, che culmina tra agosto e settembre.

Nel periodo di misure, il livello massimo registrato è stato rilevato al piezometro N4 (50,43 m), mentre il livello minimo è stato raggiunto al Pozzo Discarica (45,97 m). L'escursione media è risultata pari a 3,94 m, al piezometro N4 è stata rilevata l'escursione più elevata (4,33 m), mentre nel settore corrispondente al piezometro N6, l'acquifero presenta l'escursione minore (3,58 m). La tabella seguente riporta i valori massimi, minimi e relativa escursione rilevata sull'intera rete prossimale nel periodo gennaio 2018 - dicembre 2020.

Tabella 35.2.2.1: *Valori massimi, minimi ed escursione dell'acquifero registrati presso la rete di monitoraggio prossimale nel periodo gennaio 2018 ÷ dicembre 2020.*

<i>Piezometro</i>	<i>Min.</i>	<i>Max.</i>	<i>Escursione</i>
<i>NI</i>	<i>46,11</i>	<i>50,02</i>	<i>3,91</i>

N2	46,12	50,13	4,01
N3	16,19	50,19	4,00
N4	46,10	50,43	4,33
N5	46,27	50,08	3,81
N6	46,31	49,89	3,58
N7	46,35	49,98	3,63
<b>Pozzo Discarica</b>	45,97	50,21	4,24

L'elaborazione dei dati di rilevamento ha dato modo di predisporre le carte delle curve isofreatiche, che rappresentano la morfologia che l'acquifero ha assunto nei primi otto mesi dell'anno corrente. I dati relativi all'ubicazione della rete piezometrica sono stati inseriti su Carta Tecnica Regionale numerica, assegnando ai piezometri lo stesso sistema di coordinate geografiche utilizzato nella cartografia ufficiale. Si riportano di seguito alcune delle carte più significative.

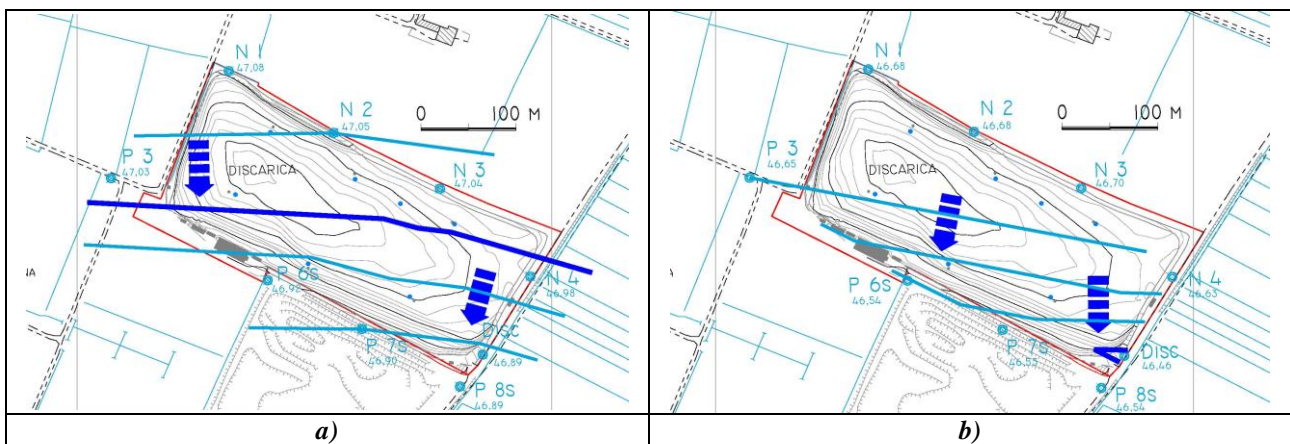


FIGURA 5.2.2.3: *Carta delle Curve Isofreatiche* elaborata sui dati di rilevamento effettuati nei mesi di gennaio a) e febbraio 2018 b).

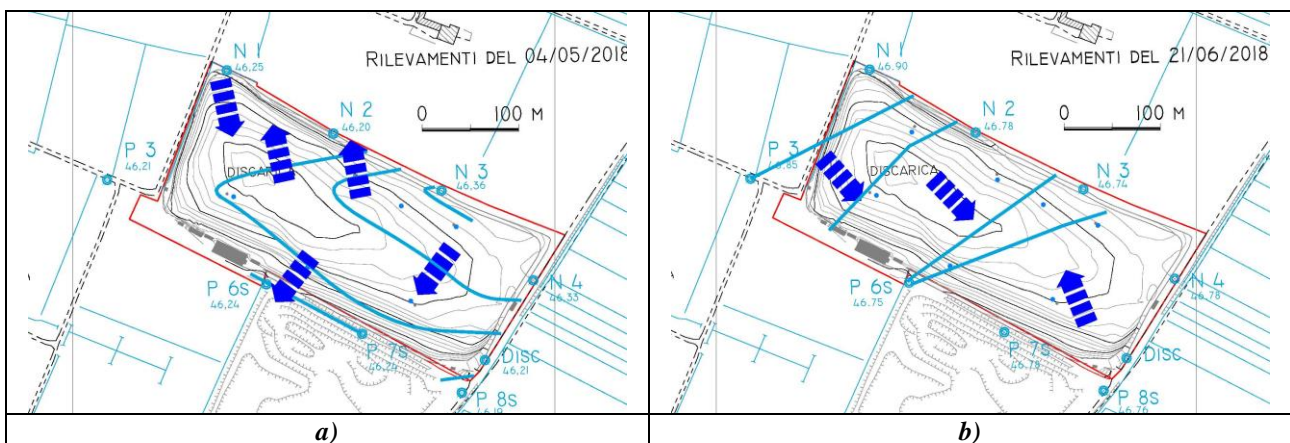


FIGURA 5.2.2.4: *Carta delle Curve Isofreatiche* elaborata sui dati di rilevamento effettuati nei mesi di maggio a) e giugno 2018 b).

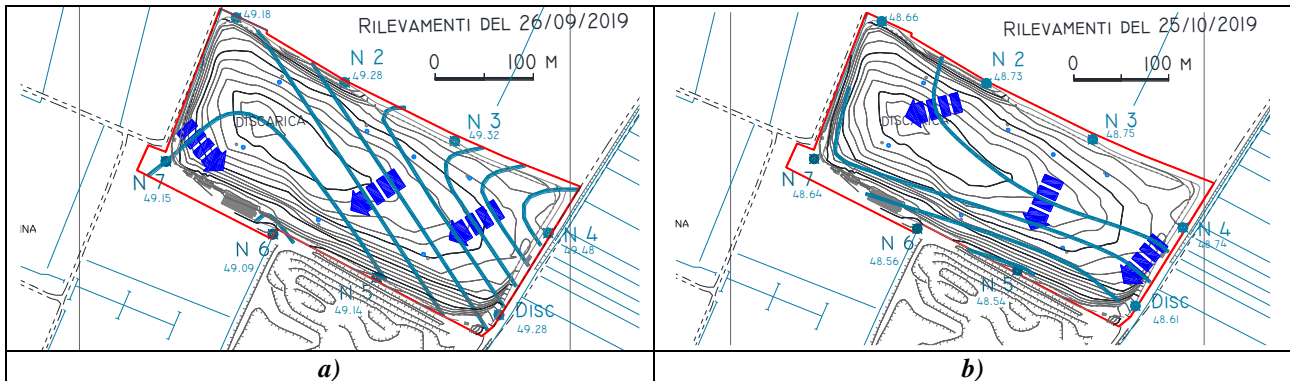


FIGURA 5.2.2.5: *Carta delle Curve Isofreatiche elaborata sui dati di rilevamento effettuati nei mesi di settembre a) e ottobre 2019 b).*

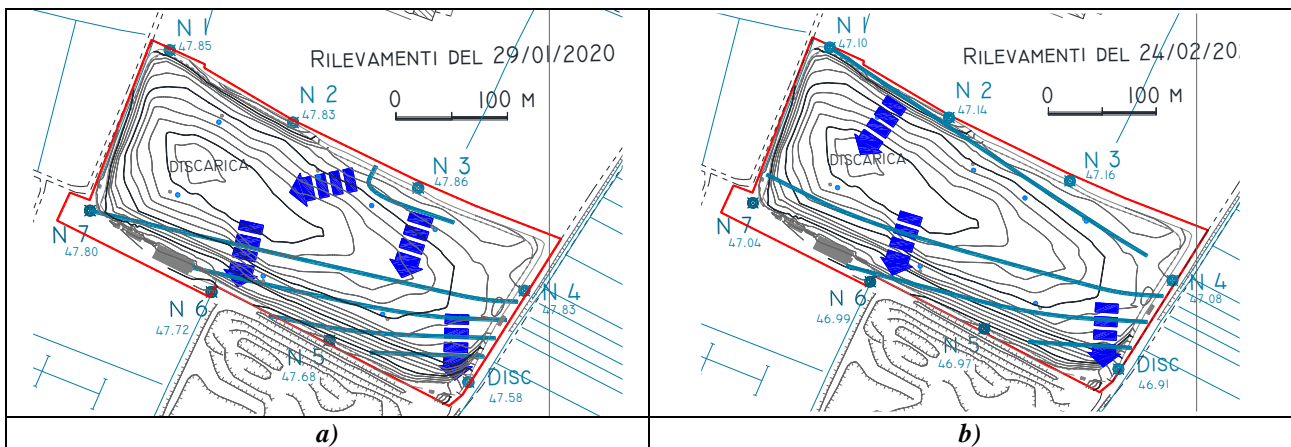


FIGURA 5.2.2.6: *Carta delle Curve Isofreatiche elaborata sui dati di rilevamento effettuati nei mesi di gennaio a) e febbraio 2020 b).*

Dai dati raccolti e ad oggi disponibili è stato possibile ottenere un quadro abbastanza dettagliato sulla reale direzione di deflusso dell'acquifero in corrispondenza dell'area di discarica. Come già evidenziato nelle precedenti relazioni, la situazione rilevata si discosta da quanto presunto dalla documentazione storica e dalle elaborazioni dello Studio ISER (Bortolami - Di Molfetta) S.r.l. I migliori risultati sono dovuti alla nuova rete per il monitoraggio delle acque sotterranee, costituita da 8 piezometri disposti in maniera funzionale lungo il perimetro esterno del corpo discarica.

In base ai nuovi dati ottenuti risulta pertanto quanto segue:

- L'acquifero risulta interessato dall'interferenza indotta dalle pratiche irrigue, che interessano le aree esterne, che confinano lungo i lati a Nord, Est e Ovest della discarica. Nella fase autunnale ed invernale la falda è interessata da una fase discendente, che corrisponde al momento di magra. La morfologia della sua superficie in questo periodo dell'anno, non risultando disturbata dagli apporti indotti dalle pratiche irrigue provenienti dalle aree a Nord, Est e Ovest risulta abbastanza regolare e si sviluppa secondo un piano leggermente inclinato verso Sud, Sud-Est. Questa situazione si può considerare naturale, nel senso che corrisponde a situazioni di equilibrio idraulico raggiunte in base a condizioni ordinarie al suo contorno. Le direzioni di deflusso, nella porzione di territorio in esame, risultano relativamente omogenee, ed oscillano attorno ad una direzione prevalente che va grosso modo da Nord verso Sud.
- Nel periodo tardo primaverile ed estivo la morfologia dell'acquifero presenta deflussi più irregolari e variabili nel tempo. In questo periodo dell'anno risulta chiaro l'effetto dell'interferenza legata alle pratiche irrigue. Queste vengono normalmente effettuate a rotazione: il gestore della rete irrigua concede il suo utilizzo ai diversi proprietari dei terreni in quantità e tempi proporzionali alle superfici di proprietà/disponibilità. Quindi le zone di alimentazione dell'acquifero, indotte dalle pratiche

irrigue, variano nell'arco temporale, e si ripetono con le stesse cadenze normalmente con frequenza settimanale. Inoltre sui diversi lotti di proprietà non sempre viene rilasciata l'acqua irrigua, in caso di pioggia nei giorni precedenti agli orari assegnati;

- Si evidenzia che l'area di discarica e il fondo della ex cava posta a Sud, di proprietà di Progeco Ambiente S.p.A. non sono interessati dalle pratiche irrigue. Pertanto l'acquifero non riceve apporti da queste superfici che pertanto svolgono una funzione di ricezione e richiamo degli apporti idrici che alimentano la falda nelle aree a Nord, Est e Ovest.

Nel quadro delle conoscenze ottenute nel periodo monitorato è possibile dedurre quanto segue:

- Nei periodi ordinari (fase invernale e primaverile) i deflussi della falda si sviluppano da Nord verso Sud, Sud Est, e pertanto i piezometri a monte idrogeologico della discarica risultano essere N 1, N 2 e N 3. I piezometri N 4 e P 3 risultano ubicati in posizione laterale, mentre P 6S, P 7S, P 8S e il piezometro Discarica intercettano l'acquifero a valle idrogeologico della discarica.
- Da maggio a ottobre le posizioni di valle e monte idrogeologico variano in base al variare delle aree interessate dalle pratiche irrigue;
- L'area che normalmente risulta posta a valle idrogeologico della discarica, indipendentemente dal periodo dell'anno, risulta incentrata attorno ai piezometri N5 e N6. L'area di provenienza dei deflussi invece risulta variabile

Ai fini dello studio sulle direzioni dell'acquifero e sulle possibili dinamiche inerenti lo stato di compromissione in atto, l'attuale rete prossimale di monitoraggio (vedi figura 3.5.2.a.1) è risultata idonea e adeguata al raggiungimento degli obiettivi prefissati dallo studio ISER, in quanto consentirà di approfondire correttamente gli aspetti idraulici dell'acquifero, dato fondamentale ai fini della definizione di un eventuale intervento per il risanamento, che sarà stabilito alla fine del periodo di monitoraggio biennale attualmente stabilito e concordato con gli Enti preposti.

Per quanto riguarda il chimismo, nelle tabelle seguenti si riportano le situazioni di maggiore criticità rilevate nella rete di monitoraggio prossimale, ad esclusione dei *Nitrati*, che sono stati rilevati in maniera diffusa e in diverse campagne di rilevamento. Tale presenza infatti risulta associabile alle attività agricole svolte in tutte le aree limitrofe alla discarica.

TABELLA 5.2.2.2: Criticità rilevate nel corso dei monitoraggi.

Piez.	Parametro	2017	2018				2019				2020				
		26/07	10/01	30/05	02/08	21/11	18/04	24/06	08/08	17/12	25/03	16/05	15/07	15/09	24/11
P N1		*	*												
P N2	Mn [µg/l]	*	*		63	58		61			58	58			
	Fe [µg/l]										250				
P N3	Mn [µg/l]	*	*	54		54		56	161			84	97		
	NH <sub>4</sub> [mg/l]								0,6						
P N4	Mn [µg/l]	*	*			69				55	69				
P 3	Mn [µg/l]					*//*									
P 6S	Mn [µg/l]					*//*									
P 7S / P N5	Mn [µg/l]	129	251		230	*//*	P N5 *	266	243	329	295	303	265	295	265
	NH <sub>4</sub> [mg/l]	55,6	49		26			19.1	25	28	33.5	28.1	19.8	37.2	2.99
	Fe [µg/l]	3.510	689		1.600			2.400	3.012	1.400	2.505	3.100	2.722	1.914	2.000
	As [µg/l]	23						12				12	11		
P 8S	Mn [µg/l]				100	*//*									
P N6		*	*	*	*	*	*								
P N7	Zn [µg/l]	*	*	*	*	*	*						3.069		

TABELLA 5.2.2.2: Criticità rilevate nel corso dei monitoraggi.

Piez.	Parametro	2017	2018				2019				2020			
		26/07	10/01	30/05	02/08	21/11	18/04	24/06	08/08	17/12	25/03	16/05	15/07	15/09
Pozzo Discarica	NH <sub>4</sub> [mg/l]		0,9	1,03			1,0	0,6						
	Mn [µg/l]			51			51	59						
Note:	* = opera non ancora realizzata; // = prelievo non effettuato per livello falda troppo basso **/* = Prelievi non autorizzati da Adige Ambiente S.r.l.													

L'analisi dei dati evidenzia che il settore di maggiore criticità si trova in corrispondenza del piezometro P 7S (Adige Ambiente S.r.l.) fino al mese di agosto 2018, quindi a partire dal mese di giugno 2019 il settore più compromesso si individua nel piezometro P N5, ubicato in prossimità del P 7S. Questi punti di misura peraltro si trovano frequentemente a valle idrogeologico della discarica.

Dall'analisi generale dei dati ad oggi acquisiti si conferma la tendenza, già evidenziata dallo studio ISER (relazione del mese di marzo 2020), ad una fase di attenuazione del fenomeno di compromissione dell'acquifero. Conclusioni in tale senso comunque sono ancora premature, dato l'ancora esiguo periodo di osservazione del fenomeno.

La fonte della contaminazione è costituita dal percolato che si accumula sul fondo dei lotti della discarica. Le azioni intraprese, al fine di contenere il problema e di mettere in atto un intervento di messa in sicurezza permanente del sito sono le seguenti:

- continuo asporto del refluo dal fondo dei lotti, al fine di mantenerne al minimo il battente;
- realizzazione della variante temporanea al progetto di copertura della discarica, costituito dalla posa di teli impermeabili in LDPE e dalla realizzazione di una rete per la regimazione ed allontanamento dei deflussi meteorici dal corpo rifiuti. Le opere realizzate di fatto hanno dimezzato la produzione di percolato, la cui origine primaria è costituita dalle infiltrazioni di acque meteoriche nel corpo rifiuti;
- realizzazione del progetto in esame, di cui il presente rapporto fa parte della documentazione, che presenta a tutti gli effetti le caratteristiche di una messa in sicurezza permanente del sito, avendo il fine di impedire infiltrazioni di acque piovane all'interno del corpo rifiuti.

### 5.2.3. SISTEMA IDROGEOLOGICO LOCALE - CONSIDERAZIONI FINALI

Le opere previste dalla Variante Tecnica e Morfologica al Progetto di Ribaulatura del Capping della Discarica comporta le seguenti interazioni sul sistema idrogeologico locale:

- **Caratteristiche Idrauliche:** non sono previste alterazioni al Regime dell'acquifero, né sulle sue direzioni di deflusso. La rete per la regimazione delle acque di origine meteorica ricadenti sul corpo rifiuti è già stata realizzata ed ultimata nel mese di dicembre 2019. Questa è costituita da una canaletta disposta lungo il perimetro esterno del corpo rifiuti, collegata a 7 Unità costituite da gruppi di pozzi assorbenti, che trasmettono nel suolo le acque meteoriche defluite nella canaletta. Nei periodi di pioggia il nuovo sistema di regimazione provoca un temporaneo innalzamento della falda in corrispondenza delle unità disperdenti e conseguentemente lievi e temporanee alterazioni alle direzioni di deflusso della falda. Queste dinamiche riguardano però lo stato di fatto. La Variante Tecnologica e Morfologica al Progetto di ribaulatura della discarica non comporta alcun tipo di modifica al sistema di regimazione delle acque meteoriche e pertanto nessuna variazione di tipo idraulico sulla falda, rispetto allo stato attuale;
- **Idrochimica della Falda:** gli interventi previsti dalla Variante Tecnologica e Morfologica al Progetto di Ribaulatura prevedono il potenziamento del pacchetto di impermeabilizzazione sommitale, e hanno lo scopo di ridurre i fenomeni di infiltrazione delle acque piovane all'interno del corpo rifiuti. Conseguentemente la produzione di percolato subirà un significativo decremento. Poiché questo refluo costituisce una delle fonti primarie di un fenomeno di compromissione locale della falda in atto da alcuni anni, la sua riduzione al minimo possibile comporta un beneficio sulla qualità della

falda. L'intervento prospettato si configura a tutti gli effetti come una messa in sicurezza permanente del sito.

## 6. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati si definiscono a partire dalla "Pericolosità Sismica di Base (PSB)" che caratterizza l'area di intervento.

Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La PSB è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero, considerando un sottosuolo di riferimento caratterizzato da superficie topografica orizzontale (Categoria A), con ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , facendo riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$ , nel periodo di riferimento  $V_R$  (ricavato in base alle caratteristiche specifiche di ogni singolo tipo di costruzione moltiplicando la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ ).

Ai fini della normativa vigente le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- $a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F_o$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.
- $T^*_C$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

### 6.1. STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

Nei confronti delle azioni sismiche, gli *Stati Limite di Esercizio* e gli *Stati Limite Ultimi*, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti. Come *Stati Limite di Esercizio* si considerano:

- *Stato Limite di Operatività (SLO)*: a seguito del terremoto la costruzione, nel suo complesso (vanno inclusi gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione), non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- *Stato Limite di Danno (SLD)*: è l'entità di danno indotto dal terremoto che la costruzione nel suo complesso ha subito, al di sopra della quale si possono mettere a rischio gli utenti o compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali. Al di sotto dello SLD l'opera si mantiene immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Tra gli *Stati Limite Ultimi* vanno invece valutati:

- *Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)*: a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- *Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)*: a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento degli Stati Limite nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tabella seguente.

TABELLA 6.1.1: Probabilità di Superamento  $P_{VR}$ , in funzione degli Stati Limite.



Stato Limite		P <sub>VR</sub>
Stati Limite di Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati Limite Ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Qualora la protezione nei confronti degli stati limite di esercizio sia di prioritaria importanza, i valori di P<sub>VR</sub> forniti in tabella devono essere ridotti in funzione del grado di protezione che si vuole raggiungere. Nel caso in esame le verifiche sono state effettuate relativamente allo Stato Limite Ultimo.

## 6.2. INDAGINI DI SISMICA PASSIVA

In campagna è stata effettuata l'indagine per mezzo di un *Tromografo Digitale*, che ha permesso di determinare in modo indiretto la *stratigrafia del sottosuolo*, attraverso la stima delle velocità di propagazione delle *Onde di Taglio (Vs)* in conformità a quanto previsto dalle *Norme Tecniche per le Costruzioni* del 14 gennaio 2008 e di individuare le *frequenze caratteristiche di risonanza* del sito che rappresentano un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento strutturale degli edifici in termini di risposta sismica locale.

Caratteristiche della strumentazione utilizzata, metodologie e risultati delle indagini eseguite sono descritte nell' "Allegato IP".

## 6.3. CLASSIFICAZIONE SISMICA

Secondo la nuova normativa sismica italiana il Comune di Valeggio sul Mincio appartiene alla **Zona 3**, alla quale è associata un'accelerazione sismica di 0,15g, come indicato nella Tabella seguente.

TABELLA 6.3.1: Valori dell'Accelerazione Sismica in relazione alle diverse Zone Sismiche.

Zona	Valore di a <sub>g</sub>
1	0,35g
2	0,25g
<b>3</b>	<b>0,15g</b>
4	0,05g

Sempre secondo la stessa normativa e più precisamente secondo le norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici è possibile stabilire la categoria del suolo di fondazione in base alle informazioni ricavate sulla stratigrafia locale.

TABELLA 6.3.2: Categorie di suolo di fondazione. (\* V<sub>S30</sub> = velocità media di propagazione delle onde di taglio, entro 30 m di profondità)

Categoria	Profilo Stratigrafico del Suolo di Fondazione
<b>A</b>	<b>Formazioni Litoidi o suoli omogenei molto rigidi</b> caratterizzati da valori di V <sub>S30</sub> * superiori a 800 m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m.
<b>B</b>	<b>Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti</b> , con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V <sub>S30</sub> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica N <sub>SPT</sub> > 50, o coesione non drenata c <sub>u</sub> >250kPa)
<b>C</b>	<b>Depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza</b> , con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri, caratterizzati da valori di V <sub>S30</sub> compresi tra 180 e 360 m/s (15 < N <sub>SPT</sub> < 50, 70 < c <sub>u</sub> < 250 kPa)
<b>D</b>	<b>Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente</b>

TABELLA 6.3.2: *Categorie di suolo di fondazione. (\*  $V_{S30}$  = velocità media di propagazione delle onde di taglio, entro 30 m di profondità)*

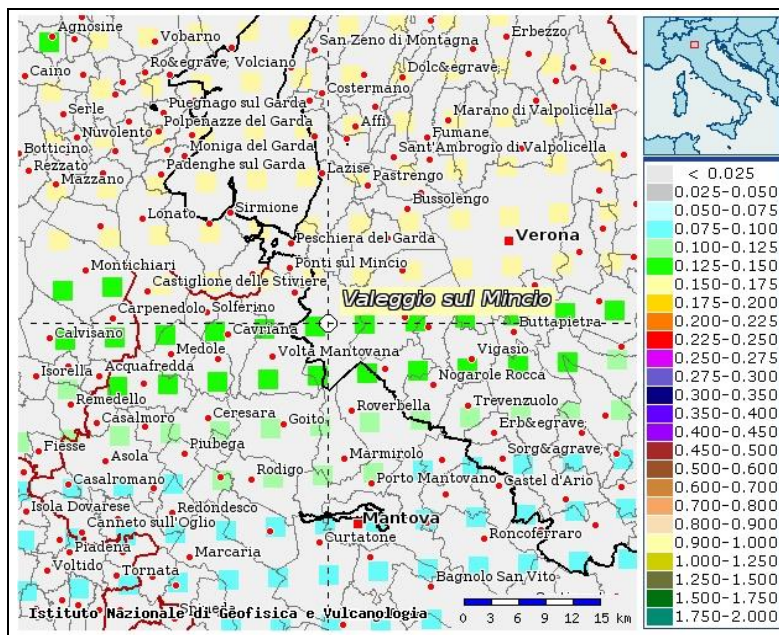
Categoria	Profilo Stratigrafico del Suolo di Fondazione
	<b>consistenti</b> , caratterizzati da valori di $V_{S30} < 180$ m/s ( $N_{SPT} < 15$ , $c_u < 70$ kPa).
E	<b>Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali</b> , con valori di $V_{S30}$ simili a quelli del tipo C o D e spessore compreso tra 5 e 20 m, giacenti su di un substrato di materiale più rigido con $V_{S30} > 800$ m/s.
S 1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato <i>Indice di Plasticità</i> ( $IP > 40$ ) e <i>Contenuto d'Acqua</i> , caratterizzati da valori di $V_{S30} < 100$ m/s ( $10 < c_u < 20$ kPa)
S 2	Depositi di terreni soggetti a Liquefazione, di Argille Sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

I risultati ottenuti attraverso le indagini sismiche hanno permesso di determinare il valore di  $V_{S30}$  (velocità equivalente delle onde sismiche di taglio dei primi 30 m di sottosuolo, a partire dal piano di posa delle fondazioni) che si riporta di seguito.

TABELLA 6.3.3: *Valori di  $V_{S30}$  = velocità media di propagazione delle onde di taglio, entro 30 m di profondità, ricavati dalle Indagini Sismiche.*

HVSR 01
$V_{S30} = 407 \pm 81$ m/s
$327$ m/s $< V_{S0,0-30,0} < 488$ m/s

In base ai risultati ottenuti attraverso l'indagine sismica il suolo di fondazione risulterebbe appartenere alla **Categoria B**.

FIGURA 6.3.1: *Stralcio della mappa di Pericolosità Sismica ( $a_g$  compreso tra 0.150 e 0.175).*

#### 6.4. PARAMETRI SISMICI

I parametri sismici utilizzati per le verifiche dei capitoli seguenti sono stati ricavati utilizzando i dati dalla Tabella 1, Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008: “*Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*”, una volta determinate le coordinate geografiche dell'area di progetto.

TABELLA 6.4.1: Parametri Sismici.

SITO IN ESAME				
Latitudine	45,3448	Longitudine	10,7784	
Classe	1	Vita Nominale	50 anni	
SITI DI RIFERIMENTO				
Sito 1 ID: 12948	Lat. 45,3530	Long. 10,7183	Dist. 4791,035	
Sito 2 ID: 12949	Lat. 45,3546	Long. 10,7892	Dist. 1373,814	
Sito 3 ID: 13171	Lat. 45,3046	Long. 10,7915	Dist. 4585,075	
Sito 4 ID: 13170	Lat. 45,3030	Long. 10,7206	Dist. 6488,031	
PARAMETRI SISMICI				
Categoria Sottosuolo	C	Categoria Topografica	T1	
Periodo di Rif.	35 anni	Coefficiente Cu	0,7	
STATI LIMITE				
	SLO	SLD	SLV	SLC
Probabilità di Superamento	81%	63%	10 %	5%
T <sub>r</sub>	30	35	332 anni	682 anni
A <sub>g</sub>	0,038 g	0,041 g	0,123 g	0,164 g
F <sub>o</sub>	2,572	2,543	2,439	2,450
T <sub>c</sub> *	0,233 s	0,239 s	0,274 s	0,278 s
COEFFICIENTI SISMICI				
	SLO	SLD	SLV	SLC
S <sub>s</sub>	1,500	1,500	1,500	1,460
C <sub>c</sub>	1,700	1,680	1,610	1,600
S <sub>t</sub>	1,000	1,000	1,000	1,000
K <sub>h</sub>	0,011	0,012	0,044	0,057
K <sub>v</sub>	0,006	0,006	0,022	0,029
a <sub>max</sub>	0,554	0,606	1,807	2,343
β	0,200	0,200	0,240	0,240

## 7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### 7.1. COMPORTAMENTO DEI RIFIUTI

I rifiuti conferiti presso la discarica di Valeggio sul Mincio a partire dagli anni 80 sono costituiti da diverse tipologie. Le principali sono costituite da:

- scarti solidi prodotti da utenze civili, così come venivano smaltiti in tempi antecedenti le attività di differenziazione. Oltre ai residui organici pertanto, contenevano gli scarti degli imballaggi (carta e plastica), ed altri materiali non più utili. Queste tipologie costituiscono una parte importante dell'intero corpo rifiuti, in quanto il bacino di utenza della discarica comprendeva diverse amministrazioni comunali;
- scarti solidi provenienti dalla catena agro alimentare, costituiti in prevalenza da frutta, verdura e derivati;
- scarti solidi provenienti dalle produzioni artigianali ed industriali ubicate nel territorio provinciale di Verona.

La componente organica dei questi materiali risulta non trascurabile, ed è quella che, nel corso dei processi di degradazione, dà luogo nel tempo a importanti fenomeni di assestamento, con la contemporanea produzione di gas e acqua.

La coltivazione della discarica nei diversi lotti in cui è stata suddivisa è stata effettuata con i rifiuti che mano a mano venivano conferiti. L'ammasso che attualmente occupa l'intero volume risulta pertanto estremamente eterogeneo, come composizione. A seconda delle zone pertanto il comportamento meccanico varia nel tempo. La morfologia abbastanza ondulata che caratterizza la sommità della discarica ne è una prova evidente.

Tra i principali elementi che costituiscono il corpo rifiuti vanno distinti i materiali caratterizzati da un comportamento prevalentemente elastico (plastiche e gomma) da quelli che tendono col tempo a subire processi di deterioramento, che ne diminuiscono progressivamente la resistenza meccanica alla compressione (poliuretano espanso, e similari) e da quelli che, a causa dei processi di decomposizione (materia organica, verde, ecc.), tendono a trasformarsi in materiali a granulometria più fine, acquisendo una leggera coesione e riducendo in parte i valori dell'angolo di attrito.

A partire dal mese di agosto 1996 buona parte della discarica è stata allestita con il pacchetto di copertura sommitale. Anche l'ultimo lotto rimasto in esercizio è stato infine chiuso nell'anno 2000. Per circa 15 anni pertanto la componente organica del corpo rifiuti si è trasformata attraverso processi di decomposizione in ambiente anaerobico, dando luogo a vistosi assestamenti, che, coadiuvati con gli assestamenti meccanici indotti dal peso stesso dei rifiuti, hanno provocato un abbassamento di 4,0 m nei punti più spinti. Attualmente tali fenomeni risultano molto più contenuti, anche se la continua produzione di biogas, che viene regolarmente bruciato alla torcia, indica che i processi decompositivi sono ancora in atto.

In base ai dati indiretti ad oggi rilevati (misurazioni periodiche degli assestamenti) è comunque possibile affermare che allo stato attuale è già stato superato il punto di flesso (vedi figura 7.1.1) che separa i cedimenti primari da quelli secondari. Questo significa che il corpo rifiuti ha già raggiunto un buon livello di compattazione, e questo fatto ne conferisce un parziale miglioramento di alcune sue proprietà meccaniche, in particolar modo nei riguardi del suo *Modulo Elastico*.

Sulla base delle osservazioni sopra esposte è stata effettuata una stima dei principali parametri geotecnici che caratterizzano l'ammasso dei rifiuti stoccato a partire dall'inizio degli anni '80 nella discarica in località Baldassarre, che si riporta di seguito.

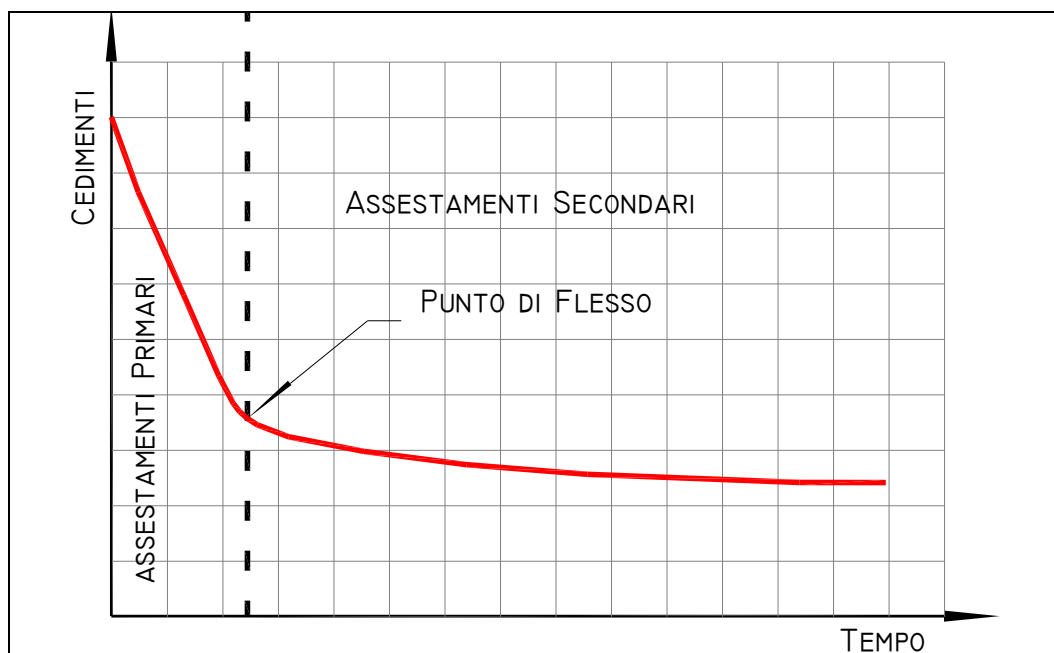


FIGURA 7.1.1: Curva Cedimenti/Tempo, con evidenziate le fasi principali del fenomeno di assestamento.

- *Peso di Volume ( $\gamma_n$ )*: questo valore è stato calcolato sui carichi in ingresso alla Discarica in funzione della capacità degli automezzi, ed è risultato compreso tra 800 e 1.100 kg/m<sup>3</sup>. Una volta compattato meccanicamente nel corso della coltivazione del corpo rifiuti, e successivamente sottoposto al carico dei rifiuti soprastanti, e quindi sottoposto ai processi di degradazione fisico chimica della componente organica, l'ammasso si è addensato progressivamente, fino a raggiungere valori compresi tra 1.100 e 1.300 kg/m<sup>3</sup>;
- *Angolo di Attrito ( $\phi$ )*: la miscela delle diverse tipologie di materiali pervenuti (fini e grossolani, fibrosi e plastici) può essere considerata come un materiale composito, costituito da due componenti: una matrice a comportamento assimilabile a quello di una terra, che comprende le particelle a grana medio fine, e una componente fibrosa, con elementi orientati in modo casuale, che interessa le parti più grossolane, con proprietà prevalenti di questo tipo. Osservazioni dirette, effettuate nel corso della gestione operativa sui fronti di abbancamento del corpo rifiuti di altre discariche analoghe a quella in esame, hanno dato modo di stabilire che la resistenza al taglio della matrice di base è principalmente di tipo attritivo. L'ordine di grandezza risulta pari a  $25^\circ \leq \phi \leq 35^\circ$ .
- *Coesione (c)*: la determinazione della componente legata alla coesione dell'ammasso risulta invece più incerta. Tale effetto inizia a diventare significativo in condizioni di carico, come quelle che si vengono a creare con la compattazione e l'abbancamento progressivo dei rifiuti. In tali condizioni il corpo rifiuti può raggiungere un valore compreso tra 10 e 30 kPa.
- *Modulo Elastico (E)*: per quanto riguarda i fenomeni di assestamento caratteristici di questi rifiuti sono stati adottati dei valori compatibili con il comportamento tipico dei materiali disposti in cumuli nel tempo, rilevato nel corso delle numerose verifiche topografiche, effettuate durante la coltivazione del corpo rifiuti. L'assestamento si sviluppa principalmente attraverso le seguenti modalità: a) schiacciamento progressivo delle componenti meno resistenti a compressione (gomme piume e similari); b) raggiungimento di un continuo stato di equilibrio a contrasto delle forze agenti da parte della componente strutturale del rifiuto (prevalentemente costituita dalle plastiche, che costituiscono lo scheletro dell'ammasso); c) slittamento relativo tra le singole particelle costituenti, che si vanno a disporre secondo una struttura più addensata, per offrire una maggiore resistenza d'insieme. Le acque di percolazione possono accelerare questi processi. Esse agiscono da lubrificante, che diminuisce le forze di attrito lungo le superfici di contatto tra le singole particelle; d) decremento volumetrico conseguente ai processi di degradazione che interessano la frazione organica del rifiuto. Questi comportano la rottura progressiva delle catene organiche più grandi, con la formazione di composti solidi più semplici, acqua e gas. Dai dati disponibili, confrontati con quelli di letteratura, è stato possibile stimare che il *Modulo Elastico* caratteristico, per il rifiuto che ha già sviluppato buona parte degli assestamenti indotti dal suo stesso peso sovrapposto e buona parte dei processi di degradazione presenta un Modulo Elastico compreso tra 100 e 180 kg/cm<sup>2</sup>.

Nei punti successivi si descrive infine il comportamento del corpo rifiuti sottoposto ad un sovraccarico verticale e i possibili effetti che lo stesso può indurre sulla morfologia sommitale prevista dal progetto in esame.

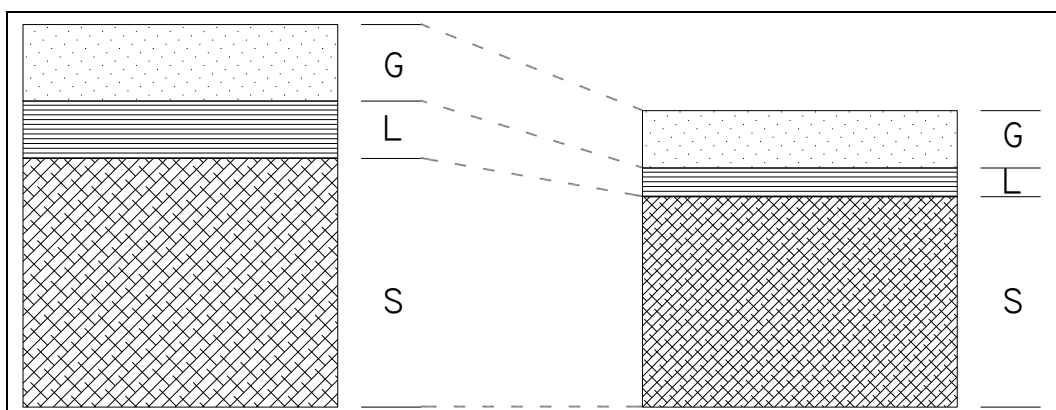


FIGURA 7.1.2: *Volume del rifiuto suddiviso nelle tre fasi che lo compongono. A sinistra: stato sciolto, tipico del materiale abbancato; a destra stato addensato, tipico del materiale sottoposto a compattazione e pressione indotta dal peso del materiale soprastante, compresa la possibilità di asporto del liquido in uscita dal sistema.*

Il corpo è caratterizzato da una permeabilità media, nel senso che permette un agevole passaggio di liquidi e gas al suo interno. La sua massa è costituita da un insieme di elementi solidi (plastica, gomme piume, fibre vegetali, ecc.) e da un insieme di vuoti, parzialmente riempiti da fluidi (prevalentemente acqua di origine meteorica, che una volta a contatto con i rifiuti si trasforma in percolato). Questo materiale si può rappresentare schematicamente nelle tre fasi che lo compongono: solida, liquida e gassosa, come riportato nella figura 7.1.2. Lo schiacciamento del rifiuto interessa le tre fasi nelle seguenti modalità:

- **Solida:** questa componente subisce un decremento volumetrico a causa dell'elevata elasticità che caratterizza la maggior parte delle sue componenti (plastiche, gomme, gomme piume, fibre vegetali, ecc.), che tendono ad adattarsi alle sollecitazioni indotte diminuendo il proprio volume. Le singole particelle tendono poi a slittare tra loro per assumere un maggior grado di assestamento. Questo effetto viene incrementato ed accelerato in presenza di acqua o percolato, che funziona da lubrificante lungo le superfici di contatto tra le singole particelle. L'entità del fenomeno risulta comunque abbastanza contenuta. Si stima che possa raggiungere al massimo il 10% dell'intero decremento di volume che interessa il corpo rifiuti. Per la componente relativa alla decomposizione residua della frazione organica è stato stimato un altro 20% dell'intero decremento di volume che interessa il corpo rifiuti;
- **Liquida:** lo schiacciamento dell'intelaiatura solida del rifiuto (plastiche, gomme, fibre vegetali, ecc.) assieme allo slittamento reciproco dei singoli elementi spinge verso l'esterno della massa i liquidi in essa contenuti. Questi infatti, non essendo comprimibili, ed assumendo la forma del loro contenitore, tendono a migrare attraverso vie di sfogo, non interessate dallo schiacciamento. Queste corrispondono alle superfici di discontinuità interparticellari ed allo strato drenante ghiaioso posto sul fondo dei lotti di discarica. La migrazione è rapida, essendo favorita dalla permeabilità del corpo rifiuti. Da qui le pendenze del fondo convogliano i percolati verso i pozzi di captazione, dove si provvede al continuo asporto del liquido. Il battente idraulico massimo consentito alle bocche pozzo è infatti pari a 0,30 m. La fase liquida non subisce decrementi volumetrici apprezzabili. Una volta espulsa dallo schiacciamento dell'ammasso viene comunque regolarmente asportata per il conferimento verso impianti autorizzati;
- **Gassosa:** gli schiacciamenti indotti dai carichi sulla struttura solida dei rifiuti e gli slittamenti reciproci tra le particelle che lo compongono, per assumere un maggiore grado di compattazione avvengono a spese della fase gassosa dell'ammasso. Il rimanente 70% del calo di volume, che si riscontra nel corso dei fenomeni di assestamento interessa infatti questa fase. Nel processo i gas migrano verso i numerosi punti di sfogo, costituiti dai vuoti strutturali, dalle discontinuità interparticellari, dai pozzi per la captazione del biogas e dai pozzi per la captazione del percolato. Dopo la posa del pacchetto di copertura sommitale previsto dal progetto i gas escono dal corpo rifiuti attraverso queste strutture impiantistiche (pozzi).

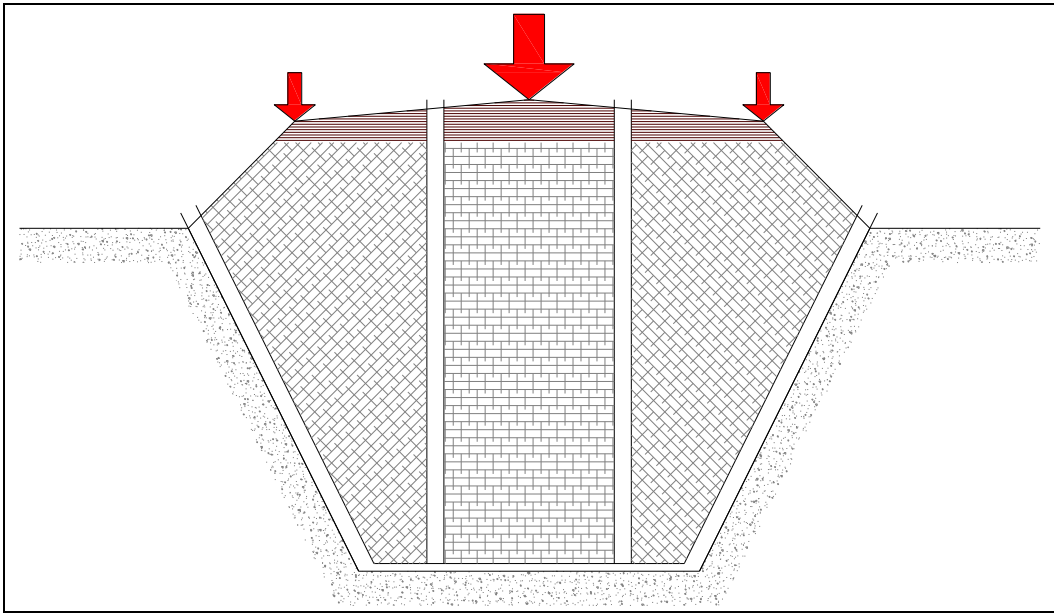


FIGURA 7.1.3: Sezione rappresentativa della Discarica: L'invaso è riempito dal rifiuto conferito, a sua volta caricato sulla sommità dai materiali per l'allestimento della nuova copertura di progetto. I carichi indotti (freccie rosse) agiscono con intensità proporzionale allo spessore dei materiali abbancati. Ai lati si riportano i pozzi per la captazione del biogas, mentre al centro quelli per la captazione del biogas e del percolato.

I fenomeni di assestamento, indotti dal sovraccarico dei materiali di riporto per la ribaulatura della Discarica, si sviluppano pertanto attraverso il progressivo “sgonfiamento” del corpo rifiuti, come indicato nelle figure seguenti.

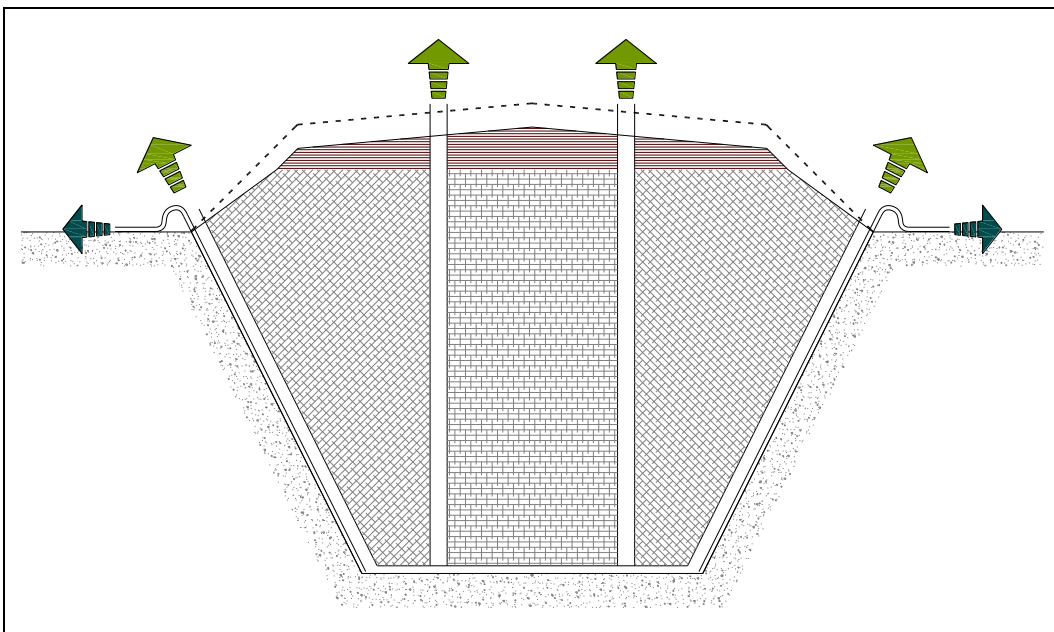


FIGURA 7.1.4: Modalità di sviluppo dei fenomeni di assestamento. I carichi indotti provocano lo schiacciamento progressivo del corpo rifiuti a spese della fase gassosa che caratterizza l'ammasso. Questa migra all'interno dello stesso, favorita dalla permeabilità che lo caratterizza, per uscire quindi dai pozzi per la captazione di biogas e percolato (freccie chiare). Il liquido, incompressibile, migra verso il basso, per essere convogliato verso i pozzi del percolato da cui viene continuamente asportato (freccie scure).

**L'impianto pertanto è dotato delle strutture necessarie a favorire gli assestamenti indotti dal sovraccarico delle spinte previste dall'intervento in progetto, senza provocare rigonfiamenti di masse in corrispondenza della morfologia sommitale o refluenti in corrispondenza del perimetro esterno del corpo rifiuti.**

## 7.2. MODELLO GEOTECNICO

In base a quanto rilevato direttamente sul sito, e tenendo conto dei dati riportati in bibliografia relativi a questo tipo di materiali, è stato individuato un *Modello Geotecnico dei Terreni di Fondazione*, rappresentativo del progetto di ribaulatura del capping approvato con DSE n. 2580/14. Su tale modello sono state effettuate le verifiche di stabilità.

TABELLA 7.2.1: Intervalli di Variabilità dei parametri geotecnici caratteristici (Note:  $\gamma_a$  = Peso di Volume Secco,  $\gamma_w$  = Peso di Volume Saturo,  $\gamma_n$  = Peso di Volume Naturale,  $\phi$  = Angolo di Attrito,  $c$  = Coesione,  $E$  = Modulo di Deformazione).

Unità Geotecnica	Parametro	Valore Minimo	Valore Massimo
A - Materiali di Riporto	$\gamma_a$	1.600 kg/m <sup>3</sup>	1.800 kg/m <sup>3</sup>
	$\gamma_w$	1.800 kg/m <sup>3</sup>	2.000 kg/m <sup>3</sup>
	$\phi$	23°	26°
	$c$	0,00 kg/cm <sup>2</sup>	0,05 kg/cm <sup>2</sup>
	$E$	100 kg/cm <sup>2</sup>	150 kg/cm <sup>2</sup>
B - Rifiuti Solidi Urbani	$\gamma_n$	1.100 kg/m <sup>3</sup>	1.300 kg/m <sup>3</sup>
	$\phi$	25°	35°
	$c$	0,01 kg/cm <sup>2</sup>	0,03 kg/cm <sup>2</sup>
	$E$	100 kg/cm <sup>2</sup>	180 kg/cm <sup>2</sup>

TABELLA 7.2.1: Intervalli di Variabilità dei parametri geotecnici caratteristici (Note:  $\gamma_a$  = Peso di Volume Secco,  $\gamma_w$  = Peso di Volume Saturo,  $\gamma_n$  = Peso di Volume Naturale,  $\phi$  = Angolo di Attrito,  $c$  = Coesione,  $E$  = Modulo di Deformazione).

C - Alluvioni ghiaioso sabbiose	$\gamma_a$	1.800 kg/m <sup>3</sup>	1.900 kg/m <sup>3</sup>
	$\gamma_w$	2.000 kg/m <sup>3</sup>	2.200 kg/m <sup>3</sup>
	$\phi$	35°	42°
	$c$	0,00 kg/cm <sup>2</sup>	0,02 kg/cm <sup>2</sup>
	$E$	600 kg/cm <sup>2</sup>	800 kg/cm <sup>2</sup>

In Tabella 7.2.1 si riportano gli intervalli di variabilità dei singoli parametri geotecnici, che sono stati considerati per stabilire il *Modello Geotecnico* riportato in Tabella 7.2.2.

TABELLA 7.2.2: Modello Geotecnico.

Descrizione	Spessore (m)	$\gamma_a$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_w$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	$C$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$E$ (kg/cm <sup>2</sup> )
A - Materiali di Riporto	0,00 ÷ 5,40	1.700	1.900	24	0,00	120
B - Rifiuti Solidi Urbani	0,00 ÷ 20,00	1.100	1.100	32	0,01	130



TABELLA 7.2.2: *Modello Geotecnico.*

Descrizione	Spessore (m)	$\gamma_d$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_w$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	C (kg/cm <sup>2</sup> )	E (kg/cm <sup>2</sup> )
C - Alluvioni ghiaioso sabbiose	> 50	1.800	2.000	38	0,01	700

## 8. INTERVENTI DEL PROGETTO APPROVATO CON DSE 2580/14

Gli interventi previsti dal progetto autorizzato con DSE n. 2580/14 che comportano implicazioni dal punto di vista geotecnico sono i seguenti:

- ribaulatura del capping, con apporto di 65.000 mc di terreni a bassa permeabilità, posa di un pacchetto di impermeabilizzazione, e ulteriore apporto di circa 37.500 mc di terreno vegetale.

Il carico indotto dall'apporto di questi materiali, stimato in circa 170.000 t, sul corpo dei rifiuti stoccati all'interno della discarica altererà l'attuale equilibrio delle forze raggiunto, riattivando i fenomeni di assestamento. Nei capitoli seguenti si riportano i risultati delle verifiche effettuate, finalizzati a quantificare l'entità dei cedimenti nei diversi punti del corpo rifiuti.

## 9. VERIFICHE GEOTECNICHE

Le analisi svolte nei punti seguenti sono finalizzate alla determinazione degli assestamenti del corpo rifiuti sottoposto alle sollecitazioni indotte dall'apporto di terreni nelle condizioni di maggiore criticità (vedi *Sezione di Progetto 01*).

### 9.1. PROCEDURE DI CALCOLO

L'effetto diretto, indotto da un sovraccarico su terreni o altri materiali è quello di provocare, al suo interno, un aumento delle tensioni, sia principali, che di confinamento, in funzione della profondità. A questa nuova condizione i terreni rispondono in maniera diversa, in base al tipo e dimensioni delle particelle costituenti, nonché al loro rapporto percentuale.

I suoli, considerati nella loro successione stratigrafica, presentano diversi tipi di comportamento, se sottoposti a sollecitazioni di carico. Questi dipendono principalmente dalle dimensioni dei vuoti (classe granulometrica prevalente, grado di assestamento) e dalla capacità di reazione alle sollecitazioni (angolo di attrito in condizioni secche o in presenza d'acqua e coesione) che li caratterizza. L'effetto più evidente, che si rileva lungo il piano di applicazione dei carichi, è quello dei *Cedimenti*, che talvolta si manifestano in maniera molto vistosa. Questi dipendono dallo schiacciamento elastico e dalla consolidazione che si sviluppa attraverso lo slittamento reciproco dei singoli grani, che costituiscono la struttura dei diversi terreni, provocando un addensamento degli stessi, con conseguente miglioramento delle proprietà meccaniche. I fenomeni di assestamento, che si possono sviluppare in tempi da relativamente brevi (terreni prevalentemente elastici, quali ghiaie e sabbie), a molto lunghi (20 anni e più, nel caso di argille molli normalconsolidate), cessano quando si raggiunge un nuovo stato di equilibrio tra le sollecitazioni indotte dai carichi applicati, e la risposta del terreno che riesce a contrastarle in maniera adeguata ed equivalente.

Il calcolo dei cedimenti totali che il substrato di fondazione in esame, costituito in maggior parte dal corpo rifiuti della discarica, subirà nel tempo è stato determinato attraverso il *Metodo Consolidazione Monodimensionale di Terzaghi*.

Questo consente di valutare un cedimento di consolidazione di tipo monodimensionale, prodotto dalle tensioni indotte da un carico applicato in condizioni di espansione laterale impedita. Il cedimento finale deriva dalla somma degli assestamenti calcolati per ogni singolo strato, attraverso la relazione:

$$\delta h = m_v \Delta p H = \frac{\Delta p H}{E_{ed}}$$

Dove:

$\delta h$  = Cedimento;

$m_v$  = Coefficiente di Compressibilità;

$\Delta p$  = Carico al livello dello strato considerato, comprendente le tensioni indotte nel sottosuolo e i carichi applicati in superficie;

$H$  = Spessore dello strato considerato;

$E_{ed}$  = Modulo Edometrico dello strato.

Questo tipo di approccio nel calcolo dei cedimenti passa essenzialmente attraverso due fasi:

- il calcolo delle tensioni verticali indotte alle varie profondità con l'applicazione della teoria dell'elasticità;
- la valutazione dei parametri di compressibilità attraverso la prova edometrica.

In caso di terreni normalconsolidati ( $\sigma'_{v0} = \sigma'_p$ ), come quelli che caratterizzano il primo sottosuolo dell'area in esame, le deformazioni avvengono nel tratto di compressione e il cedimento è valutato come:

$$\Delta H = H_0 CR \log \frac{\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v}{\sigma'_{v0}}$$

Dove:

$\Delta H$  = Cedimento;

$H_0$  = Spessore iniziale dello strato;

CR = Rapporto di Compressione;

$\sigma'_{v0}$  = Tensione verticale efficace, prima dell'applicazione del carico;

$\Delta\sigma_v$  = Incremento di tensione verticale, dovuto all'applicazione del sovraccarico.

In alternativa al Rapporto di Compressione (CR) si fa riferimento al *Modulo Edometrico M*; in tal caso però occorre scegliere opportunamente il valore del modulo da utilizzare, tenendo conto dell'intervallo tensionale ( $\sigma'_{v0} + \Delta\sigma_v$ ) significativo per il problema in esame.

L'applicazione corretta di questo tipo di approccio richiede:

- la suddivisione degli strati compressibili in una serie di piccoli strati di modesto spessore;
- la stima del modulo edometrico nell'ambito di ciascuno strato;
- il calcolo del cedimento come somma dei contributi valutati per ogni piccolo strato in cui è stato suddiviso il banco compressibile.

Le espressioni sopra riportate per il calcolo del cedimento di consolidazione vengono utilizzate sia per le argille che per le sabbie di granulometria da fina a media, perché il modulo di elasticità impiegato si può ricavare direttamente da prove di consolidazione. Tuttavia, per terreni a grana più grossa le dimensioni dei provini edometrici sono poco significativi del comportamento globale dello strato e risulta pertanto preferibile impiegare prove penetrometriche.

## 9.2. MODELLO DI CALCOLO

Nel caso in esame, la valutazione degli effetti indotti dalla ribaulatura sommitale con apporto di materiali, secondo la conformazione geometrica di progetto, è stata effettuata utilizzando una Sezione Tipo della Discarica, derivata dagli elaborati del Progetto approvato con DSE n. 2580/14, e rappresentativa della situazione più critica, in quanto intercetta le quote sommitali più elevate raggiunte dal progetto in esame. La valutazione degli impatti conseguenti alla realizzazione dell'intervento previsto dall'intervento del Progetto approvato con DSE n. 2580/14 è stata effettuata individuando le zone lungo cui si possono verificare le maggiori criticità. L'analisi della Sezione ha dato modo di scegliere 4 punti significativi, su cui effettuare il monitoraggio dei cedimenti, a partire dalla fine lavori.

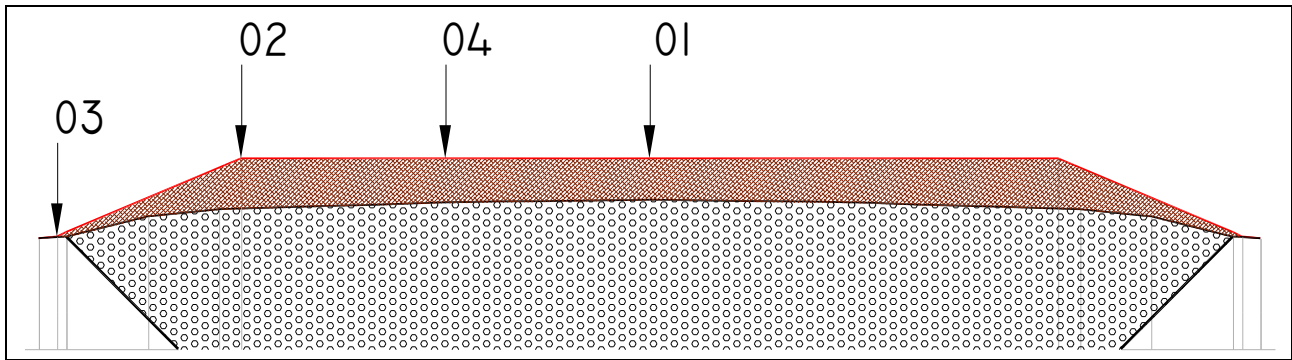


FIGURA 9.2.1: Sezione di Progetto n. 01, Tavola 04 Progetto approvato con DSE n.2580/14 - Ubicazione Punti di Verifica (vedi Tabella 9.2.1).

La figura 9.2.1 riporta l'ubicazione dei punti di verifica lungo la Sezione 01 di Progetto, mentre la tabella 9.2.1 descrive i settori caratteristici lungo la sezione utilizzata per le verifiche.

TABELLA 9.2.1: Descrizione dei Punti utilizzati per le verifiche dei cedimenti.

<b>Punto</b>	<b>Descrizione</b>
01	Asse del Profilo di Ribaulatura
02	Bordo del Profilo di Ribaulatura
03	Piede del Profilo di Ribaulatura
04	Punto intermedio, tra il Bordo e l'Asse del profilo di ribaulatura

Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software *Loadcap*, e più precisamente il modulo *Rilevati*, prodotto dalla Ditta Geostru (via Lungo Ferrovia, 22 - Bianco RC). Il programma consente di impostare diverse variabili, sia di tipo geometrico, che di carattere geotecnico, utili alla definizione di modelli concettuali anche molto complessi. Nelle verifiche dà inoltre modo di effettuare il calcolo dei cedimenti totali di un punto sul fondo, ad una distanza prescelta dall'operatore.

### 9.3. RISULTATI

Nella tabella seguente si riporta una sintesi dei risultati ottenuti attraverso le verifiche dei cedimenti in corrispondenza dei punti di monitoraggio.

TABELLA 9.3.1: Sezione 01 di Progetto. Risultati delle Verifiche.

<b>Punto</b>	<b>Cedimenti (cm)</b>
01	22,87
02	18,08
03	6,28
04	22,87

I cedimenti attesi, indotti dal sovraccarico di materiali per la ribaulatura sommitale della Discarica, calcolati nelle condizioni di massima criticità, risultano compresi entro 23 centimetri, in corrispondenza del settore centrale, e si riducono rapidamente mano a mano che dal ciglio superiore si raggiunge il perimetro esterno dell'area di intervento dove l'assestamento risulta pari a circa 6 cm.

A tali valori si dovranno comunque sommare gli assestamenti indotti dai fenomeni di degradazione del corpo rifiuti che, dalle verifiche ad oggi effettuate, risultano aver comunque superato il punto di flesso (vedi figura 7.1.1) e che pertanto si stimano essere inferiori a 1,0 m.

**Date le caratteristiche strutturali del pacchetto di copertura sommitale, così come previsto dal progetto in esame, gli assestamenti attesi, conseguenti all'apporto di carico ed ai processi di degradazione del corpo rifiuti, non comportano anomalie sulla funzionalità delle strutture stesse e risultano pertanto compatibili.**

#### 9.4. STIMA DEI CEDIMENTI ATTESI DALLA VARIANTE AL PROGETTO APPROVATO CON DSE N. 2580/14

La Variante Temporanea al Progetto approvato con DSE n. 2580/14 ha apportato sul corpo rifiuti circa 16.000 mc dei 65.000 mc previsti.

La Variante Tecnologica e Morfologica in esame attuale non comporta ulteriore apporto di terreni a bassa permeabilità. Per garantire un migliore deflusso delle acque meteoriche però è previsto l'apporto di un volume maggiore di terreno vegetale, che passa dai 27.500 mc previsti dal progetto approvato con DSE n. 2580/14 a 28.800 mc.

La tabella seguente raffronta i diversi apporti di terreno e relativi carichi indotti nelle due ipotesi di progetto.

TABELLA 9.4.1: *Raffronto tra i volumi di terreno apportati previsti dal Progetto approvato con DSE n. 2580/14 e dalla Variante Tecnica e Morfologica allo stesso e stima dei carichi indotti applicando un Peso di Volume pari a 1.850 t/mc.*

<i>Tipo di Terreno Apportato</i>	<i>Progetto approvato con DSE 2580/14</i>	<i>Variante al Progetto approvato con DSE 2580/14</i>	<i>Differenza</i>
Terreni a Bassa Permeabilità (mc)	65.000,0	16.000,0	- 49.000,0
Terreno Vegetale (mc)	27.500,0	28.800,0	+ 1.300,0
Totale Volume Terreni Conferiti (mc)	95.500,0	44.800,0	-47.700,0
Stima del Carico Indotto (t)	171.125,0	82.880,0	-88.245,0

La Variante Tecnica e Morfologica al Progetto approvato con DSE n. 2580/14 comporta un significativo sgravio dei carichi indotti dai terreni apportati. Il peso totale di questi materiali, distribuiti sull'intera sommità del corpo rifiuti si riduce infatti di circa il 50%.

Anche da questo punto di vista pertanto non si rilevano elementi ostativi alla realizzazione di tale variante progettuale, risultando le opere previste compatibili con la funzionalità delle strutture impiantistiche della discarica e delle pendenze sommitali, che consentiranno un efficiente deflusso delle acque meteoriche verso la rete per la loro regimazione ed allontanamento dal corpo rifiuti.

## 10. BIBLIOGRAFIA

- AA. VV.: “*Guida all’industria estrattiva ed al riciclaggio*”. Edizioni PEI, Parma. Supplemento alla rivista “Quarry and Construction”, n° 10/96, Ottobre 1996.
- AA. VV.: “*Modello Sismotettonico dell’Italia Nord-Orientale*”. C.N.R. e G.N.D.T., U.R. 1.4. “Sismotettonica delle Alpi”, Trieste 1987.
- AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI VERONA: “*Lo sviluppo nella tutela del territorio – Attività estrattive e riequilibrio ambientale*” Verona, 1985.
- ANTONELLI R. (1989): “*Stato delle Conoscenze sui Rapporti tra il Fiume Adige e le Falde Idriche dell’Alta Pianura Veronese*” Nuove prospettive di ricerca. Atti del Conv. “Il Fiume Adige”, pp. 123-133, Verona.
- ANTONELLI R., Stefanini S (1982): “*Nuovi Contributi Idrogeologici ed Idrochimici sugli Acquiferi dell’Alta Pianura Veronese*” Mem. Sc. Geol., Vol. 35, pp. 35-67, Padova.
- AZZAROLI A., CITA M. B. (1982): “*Geologia Stratigrafica*” CISALPINO-GOLIARDICA Editore, Milano.
- BARALDI F., ZAVATTI A. (1996): “*Studi sulla Vulnerabilità degli Acquiferi – Vol. 12: Area Morenica Mantovana*” PITAGORA Editrice, Bologna.
- BASSO F. (1995): “*Difesa del Suolo e Tutela dell’Ambiente*” PITAGORA Editrice, Bologna.
- BELL F. G. (2001): “*Geologia Ambientale – Teoria e Pratica*”. ZANICHELLI Edizioni, Bologna.
- BINI A., SCESI L. (1992): “*Geologia Applicata: minerali, rocce e loro proprietà tecniche*” CITTÀ STUDI S.c.r.l., Milano.
- BLATT H. (1997): “*Our Geologic Environment*” Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
- BOCCALETTI M., TORTORICI L. (1987): “*Appunti di Geologia Strutturale*” Scienze della Terra - 4. PATRON Editore. Bologna.
- CASADIO M., ELMI C. (1995): “*Il Manuale del Geologo*” Pitagora Editrice, Bologna.
- CASTELLARIN A. (1982): “*Carta tettonica delle Alpi Meridionali alla scala 1 : 200.000*” CNR, P. F. Geodinamica. Roma.
- CASTIGLIONI G. B. (1979): “*Geomorfologia*” UTET Editore, Torino.
- CELICO P. (1988): “*Prospezioni Idrogeologiche*” Liguori Editore S.r.l. Napoli.
- CHIESA G. (1994): “*Idraulica delle acque di falda*”. Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- CIVITA M. (1994): “*Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all’inquinamento: teoria e pratica*” Pitagora Editrice Bologna.
- CREMA G. C. (1996): “*Risanamento dei suoli e degli acquiferi alluvionali: manuale dell’ambientalista*” Pitagora Editrice Bologna.
- DAL PRÀ , DE ROSSI P., FURLAN F., SILIOTTI A. E ZANGHERI P. (1991): “*Il Regime delle Acque Sotterranee nell’Alta Pianura Veronese*” Società Cooperativa Tipografica, Padova.
- DESIO A. (1985): “*Geologia applicata all’Ingegneria*” Terza Edizione, Editore Ulrico HOEPLI, Milano.
- DE ZANCHE V., SORBINI L. E SPAGNA V. (1977): “*Geologia del Territorio del Comune di Verona*” Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona (IIª serie), Sezione Scienze della Terra N° 1.
- DI ROSA G. (2000): “*Rischio Idrogeologico e Difesa del Territorio*” DARIO FLACCOVIO EDITORE, Palermo.
- DRAMIS F., BISCI C. (1998): “*Cartografia Geomorfologica: Manuale di Introduzione al Rilevamento ed alla Rappresentazione degli Aspetti Fisici del Territorio*” PITAGORA Editrice, Bologna.
- FILIPPI E. (1979): “*Contributo allo studio dell’idrografia tra il Mincio e l’Adige*”. In Boll. Museo Civile di Storia Naturale, Verona.
- FRANCANI V. (1997): “*Idrogeologia Generale e Applicata – Geologia Applicata 2*”. UTET Editore, Torino.
- FRARE G.P. ET AL.: “*Cave: tecniche di coltivazione e recupero ambientale*”. Grafiche Zoppelli S.r.l., Treviso 1996.
- GISOTTI G., BENEDINI M. (2000): “*Il Dissesto Idrogeologico*” Carocci Editore S.p.A., Roma.
- HALLAM A. (1981): “*Interpretazione delle Facies e Stratigrafia*” PITAGORA Editrice, Bologna.
- HAMILL L., BELL F. G. (1992): “*Acque sotterranee: ricerca e sfruttamento*”. Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- MARCHETTI M. (2000): “*Geomorfologia Fluviale*” PITAGORA Editrice, Bologna.
- MARTINIS B. (1988): “*Geologia Ambientale*” Collezione Scienze della terra. UTET, Torino.
- PANIZZA M. (1992): “*Geomorfologia*”. PITAGORA Editrice, Bologna.

- 
- PANIZZA M. (1988): “*Geomorfologia Applicata: Metodi di applicazione alla Pianificazione Territoriale e alla Valutazione di Impatto Ambientale*” La Nuova Italia Scientifica, Roma.
- PAOLELLA A. (1996): “*Ambiente e Progettazione: metodi, tecniche e processi dell'intervento ambientale*” MAGGIOLI Editrice, Rimini.
- REGIONE VENETO (1990): “*Carta Geologica del Veneto, scala 1 : 250.000. Una storia di cinquecento milioni di anni*”. Segreteria Regionale per il Territorio. Venezia.
- REGIONE VENETO (1987): “*Carta delle Unità Geomorfologiche, scala 1 : 250.000. Le Forme del Territorio*”. Segreteria Regionale per il Territorio. Venezia.
- SCAGLIONI A. (1991): “*Elementi di Geologia Agraria*” Geo-Graph Editore, Segrate (MI).
- SIMONETTI S. (2002): “*Rischio Ambientale – Il Rischio della Civiltà Industriale*” Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- SORBINI L., ACCORSI C.A., BANDINI MAZZANTI M., FORLANI L., GANDINI F., MENEGHEL M., RIGONI A., SOMMARUGA M. (1984): “*Geologia e Geomorfologia di una porzione della pianura a Sud-Est di Verona*” Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona (II<sup>a</sup> serie), sezione Scienze della Terra n° 2.
- SORBINI L. (1993): “*Geologia, Idrogeologia e Qualità dei principali acquiferi veronesi*” Memorie del Museo Civico di Storia Naturale di Verona (II<sup>a</sup> serie), sezione Scienze della Terra n° 4.
- STRAHLER A.N. (1984): “*Geografia Fisica*” Ed. Piccin Nuova Libreria S.p.A., Padova.

## 11. ALLEGATI



<u>PROGETTO:</u>	DISCARICA CONTROLLATA PER IL TRATTAMENTO DI R.S.U. IN LOCALITÀ CÀ BALDASSARRE PROGETTO ESECUTIVO DI RIBAUTATURA DEL CAPPING VARIANTE TECNICA E MORFOLOGICA
<u>ELABORATO:</u>	<b>02 - RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA</b>
<u>ALLEGATO:</u>	<b>I - INDAGINE GEOFISICA MEDIANTE TECNICA HVSr</b>



## SOMMARIO

1.	PREMESSA .....	3
2.	FONDAMENTI TEORICI .....	3
2.1.	SORGENTE .....	3
2.2.	EFFETTI DI PERCORSO .....	4
3.	LA TECNICA HVSR .....	5
4.	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA .....	5
5.	PROCEDURE DI ANALISI ED ELABORAZIONE DEI DATI.....	6
6.	METODO DI LAVORO.....	6
7.	INTERPRETAZIONE DELLE MISURE ESEGUITE .....	9
7.1.	PROVA HVSR 1.....	9
7.1.1.	PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO .....	10
7.1.2.	VERIFICA DEI RISULTATI .....	11
7.2.	SINTESI CONCLUSIVA .....	12

## 1. PREMESSA

L'indagine descritta nei capitoli seguenti ha lo scopo di effettuare la Caratterizzazione Sismica del sottosuolo, attraverso l'individuazione delle discontinuità sismiche locali e dell'eventuale riflettore principale, che può coincidere con il substrato roccioso o altri terreni ad elevata rigidità, ad esso assimilabili come comportamento.

La strumentazione utilizzata e la metodologia applicata permettono di stimare le velocità di propagazione delle Onde di Taglio ( $V_{S30}$ ), in conformità a quanto previsto dalle Norme Tecniche per le costruzioni del 14 gennaio 2008.

L'indagine in oggetto fa riferimento alla tecnica di *Nakamura* e applica la metodologia HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), basata sul rapporto spettrale H/V.

## 2. FONDAMENTI TEORICI

Le basi teoriche della tecnica HVSR fanno riferimento sia ai principi fondamentali della sismica tradizionale (riflessione, rifrazione e diffrazione) che alla teoria del *Tremore Sismico di Fondo*.

Le caratteristiche di un'onda registrata in un determinato luogo della superficie terrestre da uno strumento dipende da tre fattori, e più precisamente:

- *Forma dell'Onda* prodotta dalla Sorgente S;
- *Percorso* effettuato dall'onda, a partire dalla sorgente S fino al punto di rilevamento, che dipende da numerosi effetti, quali attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, intrappolamento di treni d'onda, ecc.;
- *Risposta dello Strumento*, legata alle sue caratteristiche tecniche e alla sua corretta installazione.

Trascurando la componente legata alle caratteristiche dello strumento di rilevamento, è possibile tradurre il fenomeno registrato secondo il seguente rapporto:

$$SR = S_G \times P_E \times A_Q$$

Con

**SR** = Segnale registrato al punto di rilevamento;

**S<sub>G</sub>** = Sorgente;

**P<sub>E</sub>** = Effetti di Percorso;

**A<sub>Q</sub>** = Funzione di Acquisizione dello Strumento.

Tralasciando gli effetti inerenti le modalità di acquisizione e trasformazione del segnale da parte dello strumento, di seguito si descrivono gli altri elementi che influenzano la propagazione delle onde sismiche all'interno del suolo.

### 2.1. SORGENTE

Il *Tremore Sismico di Fondo*, noto anche come *Rumore Ambientale*, è presente su tutta la superficie terrestre, ed è generato da tre sorgenti principali:

- *Onde Oceaniche* e attività dinamica terrestre. A titolo esemplificativo, il tremore prodotto dalle tempeste oceaniche si estende fino ad oltre 3.000 km di distanza;
- *Perturbazioni Atmosferiche*, il cui disturbo si può propagare sotto forma di microtremore sulla superficie terrestre fino a distanze di 200 ÷ 300 km;
- *Rumore Antropico* (industrie, autostrade, ferrovie, ecc.), che può estendere i suoi effetti fino ad un massimo di 10 ÷ 30 km. L'ampiezza di questa componente risulta trascurabile, rispetto alle altre due nella produzione del *Tremore Sismico di Fondo*. Può al massimo provocare

*Discarica Controllata per il Trattamento di R.S.U. in Loc. Cà Baldassarre*

Studio del dr. Cesare Bagolini - via Valcerea, 3 - 37014 Castelnuovo d. G. (VR)  
Tel. e Fax: 045/7575256 - Email: bagolinicesare @ tiscali.it

interferenze nel corso dell'acquisizione del segnale in caso di vicinanza eccessiva della fonte dallo strumento di rilevazione.

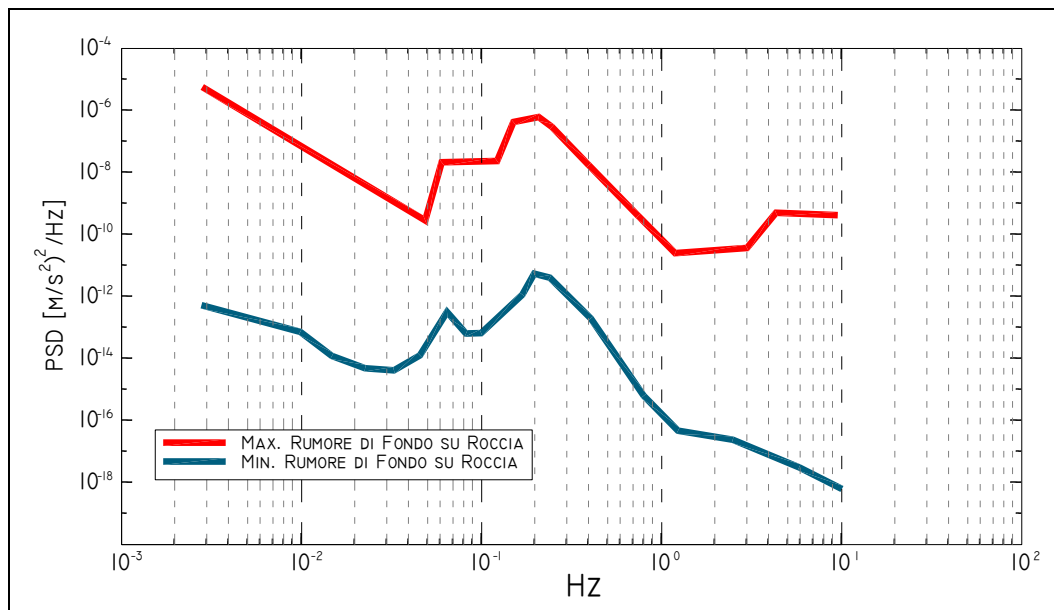


FIGURA 2.1.1: Spettro del Rumore Sismico Minimo e Massimo su Roccia, confrontato con la Soglia di Misura rilevabile per mezzo di Tromografo (Tromino).

Il Rumore Ambientale viene anche indicato come *Microtremore*, in quanto interessa oscillazioni estremamente contenute le accelerazioni in gioco sono dell'ordine di  $10^{-15}$  m/s<sup>2</sup>, di gran lunga più piccole di quelle generate dai terremoti.

In geofisica, le procedure basate sul rilevamento del *Microtremore* vengono indicate come metodi di *Sismica Passiva*, in quanto rilevano onde generate da fonti naturali e non da impulsi provocati artificialmente, con intensità, tempi e distanze dal punto di rilevamento note.

Nella figura 2.1.1 si riportano gli spettri massimo e minimo del Tremore Sismico di Fondo rilevati con misure effettuate direttamente sulla roccia. I due picchi a 0,07 Hz e 0,14 Hz sono comunemente interpretati come onde generate dalle onde oceaniche. Queste componenti dello spettro subiscono un'attenuazione molto tenue, anche a migliaia di chilometri di distanza dal punto in cui vengono generate.

Gli effetti delle sorgenti di perturbazione locale, generate dall'attività antropica, si vanno a sovrapporre su questa traccia di fondo dello spettro, che si mantiene comunque marcatamente distinta.

## 2.2. EFFETTI DI PERCORSO

Nella porzione di sottosuolo compresa tra la Sorgente della perturbazione e un punto posto ad una determinata distanza da questa, le onde elastiche (sia quelle derivanti da un terremoto che quelle indotte dal microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, e fenomeni di intrappolamento, legati sia alla struttura sedimentaria e geologica, che ai fenomeni di attenuazione e smorzamento, che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato.

Questo significa che la componente fondamentale dello spettro contiene informazioni relative alla struttura locale del sottosuolo, in corrispondenza del sensore di acquisizione. Il "rumore sismico", che nella sismologia classica costituisce la componente del segnale che viene scartata attraverso complesse tecniche di pulizia, contiene invece importanti informazioni sulla struttura del primo sottosuolo. Queste però risultano nascoste molto bene nel rumore casuale di fondo di un sismogramma e possono essere individuate ed estratte attraverso apposite metodologie, come appunto quella HVSR.

### 3. LA TECNICA HVSR

La tecnica HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) sta raggiungendo un discreto grado di popolarità in quanto:

- è risultata essere uno strumento stratigrafico efficace, economico e totalmente non invasivo;
- si può applicare in qualsiasi situazione e non necessita di alcun tipo di perforazione, stendimenti di cavi o energizzazione esterna, diversa dal *Microtremore Naturale*;
- dà modo di identificare più strati, anche in caso di contrasti di impedenza sismica bassi;
- è applicabile a geometrie non planari e tridimensionali;
- è applicabile sia a profondità medio basse (fino a 70 – 80 m) che a prospezioni profonde (dell'ordine di 1 km di profondità);
- se la stratigrafia è nota in un punto, consente di effettuare stime speditive dei valori medi di  $V_s$ .

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) e per una corretta caratterizzazione dei litotipi investigati si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo d'onde di superficie (*Rayleigh* e *Love*) secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981).

Il metodo di acquisizione si dice *Passivo* in quanto la perturbazione non è generata artificialmente, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva (sismica a rifrazione), ma consiste nel rumore naturale definito come "*microtremore*". I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la ***Stratigrafia del Sottosuolo*** con un intervallo di indagine compreso tra 0,5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 50 ÷ 70 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e la densità del mezzo stesso;
- la ***Velocità Media delle Onde di Taglio  $V_s$***  calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario conoscere, anche in maniera indicativa, la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia e riconoscibile nella curva H/V. La stima di questo parametro caratterizza al meglio, dal punto di vista geofisico, i vari litotipi presenti. È inoltre possibile valutare la velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno del substrato roccioso (o altro tipo di substrato ad elevato contrasto sismico) e stabilire il tipo di roccia o terreno presente. La tecnica HVSR può essere applicata anche in presenza di inversioni di velocità (materiali più compatti che poggiano sopra livelli con proprietà fisiche più scadenti);
- le ***Frequenze Caratteristiche di Risonanza del Sito*** che rappresentano un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericoloso per la stabilità degli stessi.

### 4. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

I dati sono stati acquisiti per mezzo di un *Tromografo Digitale*, modello *Tromino* ([www.tromino.it](http://www.tromino.it)). Si tratta di uno strumento equipaggiato con tre sensori elettrodinamici ortogonali (velocimetri), per il rilevamento del microtremore in tutte le sue componenti direzionali, ed un'antenna GPS, per la sua localizzazione geografica.

La risposta dei velocimetri viene digitalizzata a 24 bit A/D, con una frequenza di campionamento impostata su 128 Hz.

I dati di acquisizione vengono trasferiti in una scheda di memoria interna da 1 Gb, che registra i tre sismogrammi (vibrazioni nelle direzioni orizzontale x, y e verticale z) per l'intervallo di tempo impostato dall'operatore, che nel caso in esame è pari a 20 minuti.

L'alimentazione viene fornita da due batterie da 1,5 V, che consentono l'eliminazione di cavi esterni, che potrebbero interferire sui dati di acquisizione, provocando rumori anomali.

## 5. PROCEDURE DI ANALISI ED ELABORAZIONE DEI DATI

I dati sono stati convertiti in files ASCII mediante il software "Grilla", fornito a supporto dello strumento utilizzato, che permette di archiviare, gestire, visualizzare ed analizzare le registrazioni strumentali.

I diversi moduli del programma permettono di effettuare vari tipi di elaborazione, e più precisamente:

- l'Analisi Spettrale completa delle tracce;
- il calcolo delle curve H/V per la determinazione delle *Frequenze di Risonanza del Sottosuolo*;
- procedure di pulizia dei tracciati nel dominio del tempo e della frequenza, che consiste nell'individuare e quindi eliminare dalla traccia della registrazione eventuali disturbi provenienti da perturbazioni istantanee esterne, o altri errori di tipo sistematico;
- test sulla significatività dei picchi secondo le linee guida europee;
- determinazione delle frequenze di risonanza delle strutture con rimozione dell'effetto di sottosuolo;
- analisi direzionale;
- confronto tra analisi e registrazioni diverse.

A seconda dello scopo del lavoro è quindi possibile applicare le procedure specifiche. Ultimate le elaborazioni fornisce quindi il rapporto conclusivo con tabelle e illustrazioni.

Nel presente lavoro è stato elaborato uno sviluppo vincolato delle Curve H/V, che ha consentito di elaborare i **Profili delle Velocità** ( grafico H/V<sub>s</sub>) e la **Stima delle V<sub>S30</sub>**, relativa ai primi 30 m di sottosuolo.

Si tratta di uno strumento di modellizzazione delle curve H/V teoriche, basato sulle onde di superficie (Rayleigh e Love) a partire da modelli di sottosuolo inseriti manualmente, attraverso l'interpretazione di tutti i dati rilevati in sito, attraverso l'interpolazione di tutte le informazioni acquisite.

L'individuazione del **Modello Sismostratigrafico Sito Specifico** è stata ottenuta attraverso un procedimento iterativo, che, attraverso un affinamento progressivo dei valori di V<sub>s</sub> caratteristici di ogni sismostrato e del relativo spessore, ha consentito di elaborare una curva caratteristica coerente con lo spettro H/V caratteristico dell'area indagata.

## 6. METODO DI LAVORO

Con Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, è stato stabilito il complesso delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni. Questo è stato quindi successivamente ripreso e sviluppato con il D.M. 14 gennaio 2008: "*Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*" di seguito indicato come NTC/08.

Uno degli assunti fondamentali della normativa riguarda il concetto di **Risposta Sismica Locale**, o **Effetto di Sito**. Nel Capitolo 7.11.3.1 delle NTC/08 si riporta che: "*Il moto generato da un terremoto*

**Allegato I: Indagini di Sismica Passiva**

in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la **Risposta Sismica Locale** consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2)”.  
 Per **Effetto di Sito** si intende l'insieme di trasformazioni (sia in termini di intensità, che frequenza) che un treno di onde sismiche subisce nel suo percorso, durante l'attraversamento di strati di terreno costituiti da materiali con diverse proprietà meccaniche.

Il presente lavoro si basa sulla *Teoria di Nakamura*, che mette in relazione lo spettro di risposta di un substrato di riferimento (roccia sana, caratterizzata da un rapporto  $H/V = 1$ ) con quello effettivamente misurato alla superficie dell'area in esame.

La rappresentazione del *Moto Sismico* può essere espressa sia nel campo del *Tempo*, che delle *Frequenze*. Il modello di riferimento semplificato della procedura di calcolo utilizzata è quella di un deposito alluvionale, costituito da materiale omogeneo, con uno spessore  $H$ , che poggia direttamente sul basamento roccioso. Sottoponendo questo modello ad una perturbazione sismica, con propagazione in direzione verticale delle onde di taglio, se le onde incidenti di taglio sono di tipo sinusoidale, con *Frequenza*  $\nu$ , anche l'accelerazione sul substrato rigido avrà la stessa *Frequenza*  $\nu$ , ed un'Ampiezza pari ad  $A_{MaxR}$ . La corrispondente accelerazione sulla superficie dello strato alluvionale, presenterà la stessa *Frequenza*  $\nu$ , ma un'ampiezza diversa, pari ad  $A_{MaxS}$ . Il rapporto tra le due accelerazioni

$$A = A_{MaxR} / A_{MaxS}$$

viene indicato come *Fattore di Amplificazione*, e dipende dalla Frequenza dell'esecuzione armonica ( $\nu$ ), dal *Fattore di Smorzamento del Terreno* ( $F_S$ ) e dal rapporto  $I = (\sigma_R V_R) / (\sigma_S V_S)$  tra l'*Impedenza* del substrato roccioso e quella caratteristica del deposito alluvionale.

$$A = f(\nu, F_S, I)$$

La variazione del Fattore di Amplificazione con la Frequenza definisce la *Funzione di Amplificazione*  $fA$  del deposito.

Il Moto Sismico viene amplificato in corrispondenza di determinate *Frequenze*, che corrispondono alla *Frequenze Naturali* di vibrazione del deposito alluvionale, mentre risulta ridotto nel campo delle Frequenze Elevate, a causa dello smorzamento del terreno. Tra le *Frequenze Naturali* assume particolare importanza quella primaria, che viene denominata *Frequenza Fondamentale di Risonanza* ( $\nu_1$ ), che è un valore specifico di ogni sito.

$$\nu_1 = 1 / T_1 = V_S / 4H$$

Negli ultimi anni un progetto a livello europeo, denominato SESAME (Site EffectS Assessment using AMBient Excitations) ha elaborato le Linee Guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola e anche con metodologia Array. Ha inoltre messo a punto i Criteri di valutazione sulla qualità delle curve HVSR e sulla significatività dei picchi H/V eventualmente rilevati. La corretta ricostruzione del profilo sismostratigrafico del sottosuolo, dell'interpretazione della curva  $V_S / H$  e della stima della velocità delle onde superficiali nei primi 30 m di profondità ( $V_{S30}$ ) vengono calcolate attraverso la seguente relazione

$$V_{S30} = \frac{H}{\sum_{i=1}^n h_i \nu_i}$$

**Allegato I: Indagini di Sismica Passiva**

Dove

- $V_{S30}$  = velocità delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo [m/s];
- $H$  = profondità alla quale si desidera la velocità delle onde di taglio. Nel caso in esame  $H = 30$  m;
- $h_i$  = spessore dello strato iesimo, in caso di profilo multistrato;
- $v_i$  = velocità di propagazione delle onde di taglio nello strato iesimo;

Dall'esame e raffronto tra le velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno dei diversi tipi di sedimenti, sono state elaborate alcune tabelle di riferimento, che associano appunto gli intervalli di variabilità di questo parametro con i diversi litotipi. I valori riportati nella tabella seguente hanno carattere puramente indicativo, ma danno modo di orientarsi sulle possibili correlazioni tra i dati di misura indiretta, e i diversi litotipi che caratterizzano le successioni sedimentarie.

TABELLA 6.1: *Correlazione indicativa tra i diversi litotipi dei depositi alluvionali e le relative velocità di propagazione delle onde di taglio.*

<b>Litologia</b>	<b>Vs min</b> [m/s]	<b>Vs media</b> [m/s]	<b>Vs max</b> [m/s]
ROCCE MOLTO DURE E COMPATTE (es. rocce metamorfiche sane o a fatturazione molto contenuta)	1.400	1.620	//
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti da mediamente a poco fratturate)	700	1.050	1.400
ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie e ignee tenere, arenarie e argilliti)	375	540	700
SUOLI GHIAIOSI (terreni con frazione ghiaiosa superiore al 20%)	375	540	700
ARGILLE COMPATTE, SUOLI SABBIOSI E GHIAIOSI (terreni con frazione ghiaiosa inferiore al 20%, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille limose e argille da mediamente a molto compatte)	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere)	100	150	200

## 7. INTERPRETAZIONE DELLE MISURE ESEGUITE

### 7.1. PROVA HVSR 1

Strumento: TEP-0048/01-09

Inizio registrazione: 04/04/12 10:53:32 Fine registrazione: 04/04/12 11:07:33

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h14'00".

Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 27%

FIGURA 7.1.1: HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

Max. H/V at  $0.19 \pm 0.0$  Hz (in the range 0.0 - 2.0 Hz).

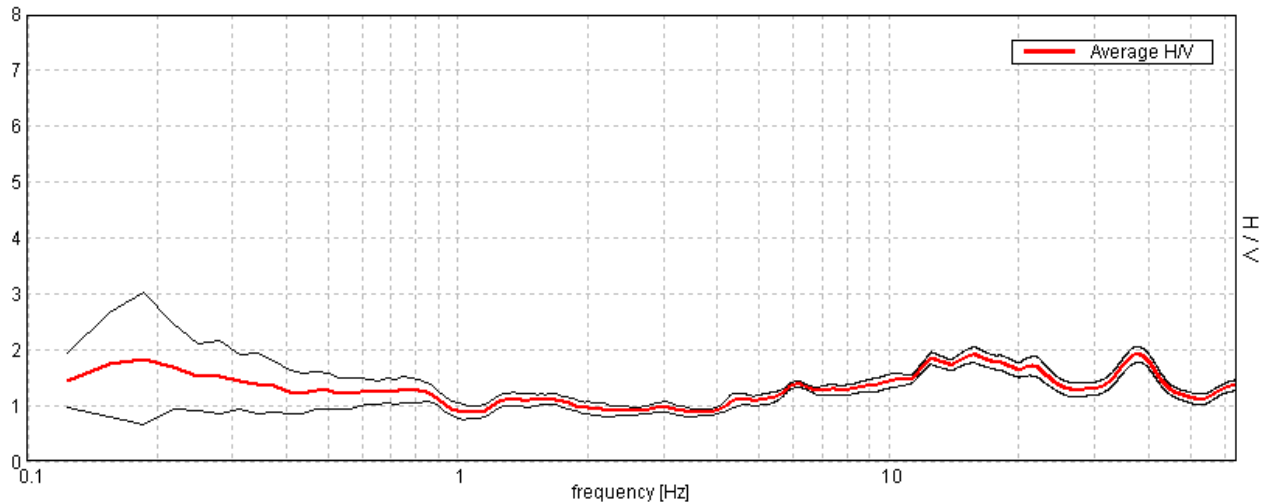
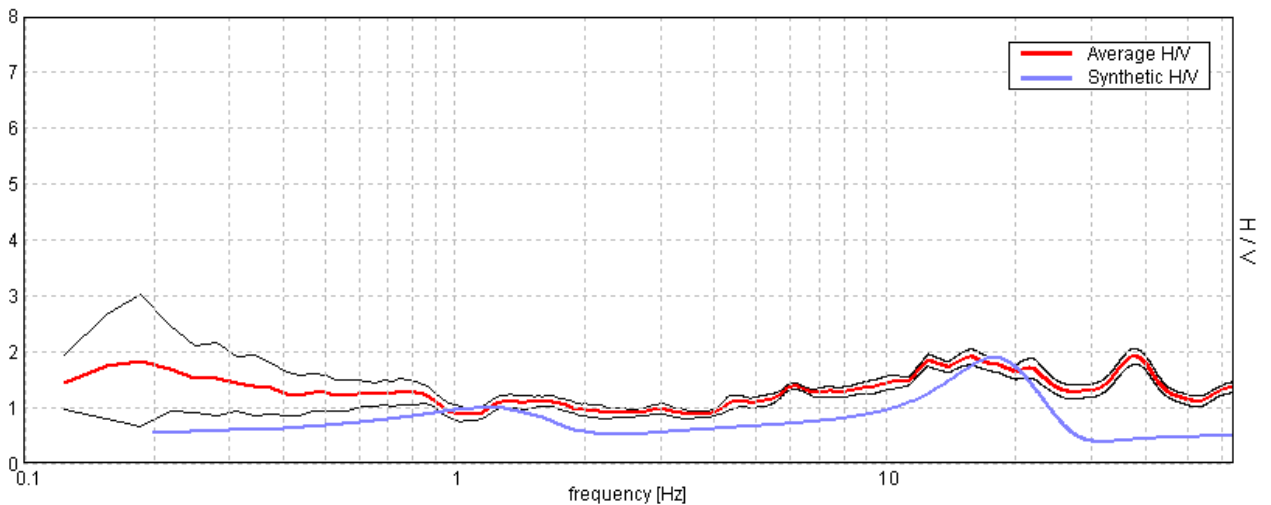


FIGURA 7.1.2: EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $0.19 \pm 0.0$  Hz (in the range 0.0 - 2.0 Hz).



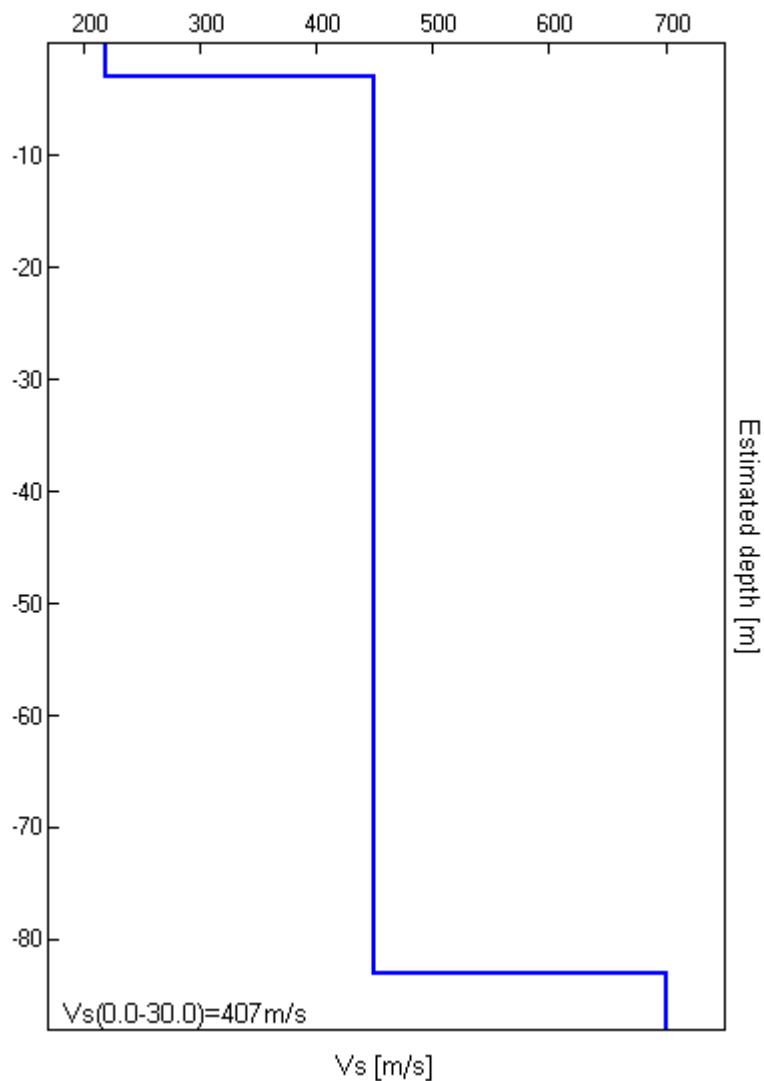


## 7.1.1. PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
3.00	3.00	220	0.34
83.00	80.00	450	0.35
inf.	inf.	700	0.35

FIGURA 7.1.1.1:  $V_s(0.0-30.0) = 407 \pm 81$  m/s

$327$  m/s <  $V_s(0.0-30.0)$  <  $488$  m/s



## 7.1.2. VERIFICA DEI RISULTATI

[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a  $32.63 \pm 2.67$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$15.75 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$14805.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 10	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	0.094 Hz	<b>OK</b>	
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	3.875 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	$1.83 > 2$		<b>NO</b>
<b><math>f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.0  < 0.05$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$0.0 < 0.04688$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.5809 < 3.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per  $\sigma_f$  e  $\sigma_A(f_0)$ 

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

---

## 7.2. SINTESI CONCLUSIVA

L'analisi del profilo sismostratigrafico riportato in Figura 7.1.1 evidenzia la presenza di un riflettore abbastanza marcato a circa 0,50 metri di profondità dal piano campagna. Considerata la struttura geologica locale, questo orizzonte potrebbe corrispondere ad un livello di sedimenti di densità significativamente superiore a quelli soprastanti.

A partire dal piano campagna, è possibile ipotizzare il seguente *Profilo Sismostratigrafico*, caratteristico dell'area indagata:

- Una coltre superficiale, mediamente addensata, con spessore pari a circa 3,0 metri, con velocità  $V_s$  pari a 220 m/s;
- Un livello, con spessore pari a circa 80,0 m, costituito da materiali più addensati, con migliori proprietà meccaniche, che consente una propagazione delle onde di taglio a velocità pari a 450 m/s;
- Un substrato più compatto in profondità, caratterizzato da una propagazione delle onde di taglio a velocità pari a 700 m/s, che costituisce il riflettore più marcato rilevato.

**ALLEGATO II**  
**VERIFICHE GEOTECNICHE**  
**ELABORATI DI CALCOLO**

## Allegato II: Verifiche Geotecniche - Elaborati di Calcolo

Riferimento zona	SEZIONE 01 Elaborati di Progetto
Pressione imposta in sul rilevato (t/m <sup>2</sup> )	0
1/2 Larghezza rettangolo (mt)	162.5
Larghezza base triangolo (mt)	19.7
Imposta piano di posa sbancamento (mt)	0
Incremento netto al piano di posa (t/m <sup>2</sup> )	8.5
Distanza asse - IV punto a scelta (mt)	81.25
DISTANZA PIANO DI POSA --> SUBSTRATO (mt)	100
Altezza rilevato (mt)	5.3
Gamma del rilevato (t/m <sup>3</sup> )	1.7
Gamma fondazione rilevato = Corpo Rifiuti (t/m <sup>3</sup> )	1.1
Gamma fondazione rilevato = Alluvioni Ghiaiose (t/m <sup>3</sup> )	1.9

Cedimenti per ogni strato

Strato	Spessore DH strato (mt)	Modulo edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Grado di consolidazione OCR	Asse (cm)	Bordo esterno (cm)	Piede (cm)	IV Punto (cm)
1	2.00	130	1	1.311	1.294	0.024	1.311
2	2.00	130	1	1.311	1.259	0.072	1.311
3	2.00	130	1	1.311	1.225	0.118	1.311
4	2.00	130	1	1.311	1.193	0.162	1.311
5	2.00	130	1	1.311	1.162	0.203	1.311
6	2.00	130	1	1.311	1.134	0.241	1.311
7	2.00	130	1	1.311	1.108	0.277	1.312
8	2.00	130	1	1.311	1.084	0.309	1.312
9	2.00	130	1	1.311	1.063	0.338	1.312
10	2.00	130	1	1.311	1.044	0.364	1.312
11	2.00	700	1	0.244	0.191	0.072	0.244
12	2.00	700	1	0.244	0.188	0.076	0.244
13	2.00	700	1	0.244	0.185	0.08	0.244
14	2.00	700	1	0.244	0.183	0.083	0.244
15	2.00	700	1	0.244	0.181	0.086	0.244
16	2.00	700	1	0.244	0.179	0.089	0.244
17	2.00	700	1	0.244	0.177	0.091	0.244
18	2.00	700	1	0.244	0.175	0.093	0.244
19	2.00	700	1	0.244	0.174	0.096	0.244
20	2.00	700	1	0.244	0.172	0.097	0.245
21	2.00	700	1	0.244	0.171	0.099	0.245
22	2.00	700	1	0.244	0.169	0.101	0.245
23	2.00	700	1	0.244	0.168	0.102	0.245
24	2.00	700	1	0.244	0.167	0.103	0.245
25	2.00	700	1	0.244	0.166	0.105	0.245
26	2.00	700	1	0.244	0.165	0.106	0.245
27	2.00	700	1	0.244	0.164	0.107	0.246
28	2.00	700	1	0.244	0.163	0.108	0.246
29	2.00	700	1	0.244	0.162	0.108	0.246
30	2.00	700	1	0.244	0.161	0.109	0.246
31	2.00	700	1	0.244	0.16	0.11	0.246
32	2.00	700	1	0.244	0.159	0.111	0.246
33	2.00	700	1	0.244	0.159	0.111	0.246
34	2.00	700	1	0.244	0.158	0.112	0.247
35	2.00	700	1	0.244	0.157	0.112	0.247
36	2.00	700	1	0.244	0.156	0.112	0.247
37	2.00	700	1	0.244	0.155	0.113	0.247
38	2.00	700	1	0.244	0.155	0.113	0.247

Discarica Controllata per il Trattamento di R.S.U. in Loc. Cà Baldassarre

Studio del Dott. C. Bagolini - Via Valcerea, 3 - 37014 Castelnuovo del Garda (VR)

Tel./Fax: 045.7575256 - Cell. 339.1221417 - Email: bagolinicesare@tiscali.it

## Allegato II: Verifiche Geotecniche - Elaborati di Calcolo

Strato	Spessore DH strato (mt)	Modulo edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Grado di consolidazione OCR	Asse (cm)	Bordo esterno (cm)	Piede (cm)	IV Punto (cm)
39	2.00	700	1	0.244	0.154	0.113	0.247
40	2.00	700	1	0.244	0.153	0.114	0.247
41	2.00	700	1	0.244	0.152	0.114	0.247
42	2.00	700	1	0.244	0.152	0.114	0.246
43	2.00	700	1	0.244	0.151	0.114	0.244
44	2.00	700	1	0.244	0.15	0.114	0.242
45	2.00	700	1	0.244	0.149	0.114	0.241
46	2.00	700	1	0.244	0.149	0.115	0.239
47	2.00	700	1	0.244	0.148	0.115	0.237
48	2.00	700	1	0.244	0.147	0.115	0.236
49	2.00	700	1	0.244	0.147	0.115	0.234
50	2.00	700	1	0.245	0.146	0.115	0.232

Cedimenti totali

01 Asse	22.87	cm
02 Bordo	18.08	cm
03 Piede	6.28	cm
04 IV Punto	22.87	cm