

## Sogliano Ambiente S.p.A

Piazza Garibaldi, 12  
47030 Sogliano al Rubicone (FC)  
Tel. 0541 948910  
Fax 0541 948909  
e-mail: info@soglianoambiente.it  
sito web: www.soglianoambiente.it



**Sogliano  
Ambiente**

# DISCARICA PER RIFIUTI NON PERICOLOSI DENOMINATA "GINESTRETO 3"

Località Ginestreto - Comune di Sogliano al Rubicone (FC)

Procedura di Valutazione di Impatto Ambientale

L.R. 4/18 e D.Lgs. 152/06 e s.m.i.

## STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

### RELAZIONE GEOLOGICA

Allegato:

**E**

Elaborato:

**1**

#### Progettazione:

ing. Maurizio Carbone - Sogliano Ambiente S.p.A.

#### Collaboratori alla progettazione:

dott. Nicholas Lazzarini - Sogliano Ambiente S.p.A.  
ing. Maurizio Migliori - Sogliano Ambiente S.p.A.

#### Timbro e firma:

#### Consulenti per la progettazione:

ing. F. Forlani - Studio Sgai s.r.l., Morciano di R. (RN)  
dott. geol. A. Ricci - S. Piero in Bagno (FC)  
geom. R. Galeotti - Studio Geo-exe, Forlì (FC)  
ing. D. Neri - Ingegneria ambientale, Forlì (FC)  
dott. for. G. Grapeggia - Studio Verde, Forlì (FC)  
ing. M. Orlati - Studio Tema, Forlì (FC)  
ing. S. Bagli - Gecosistema, Rimini (RN)  
ing. P. Bernabini - Cober S.r.l., S. Piero in Bagno (FC)

**Codice documento: Ara G3 SIA GE 05.01**

Rev.	Data	Redatto	Controllato	Approvato
0	set-22	AR	MC	MC

## **Indice**

1. Scopo dell'indagine	pag. 2
2. Normativa di riferimento	pag. 3
3. Inquadramento cartografico	pag. 5
4. Inquadramento geologico	pag. 7
4.1 Aspetti generali	pag. 7
4.2 Tavola di analisi	pag.11
4.3 Aspetti specifici vallecola G3	pag.12
5. Inquadramento morfologico	pag.12
5.1 Aspetti generali	pag.12
5.2 Tavola di analisi	pag.14
5.3 Aspetti specifici vallecola G3	pag.14
6. Lineamenti idrogeologici	pag.15
6.1 Aspetti generali	pag.15
6.2 Tavola di analisi	pag.16
6.3 Aspetti specifici vallecola G3	pag.16
7. Permeabilità dell'area di studio	pag.17
7.1 Permeabilità dei terreni	pag.17
7.2 Carta permeabilità litologica	pag.18
7.3 Criteri di classificazione	pag.18
7.4 Analisi dei dati	pag.18
8. Prove di archivio vallecola Ginestreto 2 (G2)	pag.19
9. Prove di archivio vallecola Ginestreto 4 (G4)	pag.20
9.1 Campagna geognostica 2006	pag.20
9.2 Campagna geognostica 2014	pag.30
9.3 Realizzazione prove in sito integrative 2014	pag.35
9.4 Campagna geofisica	pag.37
10. Indagini di dettaglio per il progetto discarica G3	pag.39
10.1 Indagini preliminari G3-2006	pag.39
10.2 Indagini preliminari G3-2008	pag.44
10.3 Campagna geognostica 2021	pag.48
11. Sezioni geologiche	pag.63
11.1 Sezioni geologiche generali area discariche	pag.63
11.2 Sezioni geologiche vallecola G3	pag.63
12. Sintesi parametri geotecnici	pag.64
12.1 Coperture detritiche (frana) - Vallecola G3	pag.64
12.2 Substrato (FAAp)	pag.65
12.3 Substrato (FAAap)	pag.66
13. Verifiche di stabilità	pag.66
14. Considerazioni sulla sismicità	pag.67
14.1 Note generali	pag.67
14.2 Storia sismica del Comune di Sogliano al Rubicone	pag.67
14.3 Classificazione sismica del Comune di Sogliano al Rubicone	pag.70
14.4 Zonizzazione sismica	pag.71
14.5 Magnitudine di progetto	pag.72
15. NTC (2018) (D.M. 17/01/2018)	pag.72
16. Risposta sismica locale (RSL)	pag.75
17. Consigli operativi	pag.75
18. Conclusioni	pag.78

## 1. Scopo dell'indagine

Il presente studio geologico costituisce supporto al progetto per la realizzazione della Discarica per rifiuti non pericolosi denominata "Ginestreto 3 - (G3)" entro il "Polo integrato di Ginestreto" sito in Località Ginestreto-Vallecola G3 in Comune di Sogliano al Rubicone (FC). L'area oggetto di studio è stata oggetto di svariate indagini geologiche e geotecniche mirate all'esecuzione della discarica Ginestreto 1 (G1), della discarica Ginestreto 2 (G2), della discarica G4 e relativi servizi, impianti e viabilità di accesso, oltretutto a studi geologici preliminari relativi alla vallecola Ginestreto 3 (G3).

Tali indagini sono state consultate ed hanno costituito la base per realizzare gli approfondimenti per lo studio di dettaglio inerente il progetto.

Lo studio specifico per la vallecola G3 è stato sviluppato mediante rilievo topografico (eseguito da Geo-Exe), rilevamento geologico di dettaglio, esecuzione di prove in sito di tipo diretto (sondaggi a carotaggio continuo - eseguiti da Sogeo) ed indiretto (indagini geofisiche - eseguite da Geol. F. Stragapede e indagini penetrometriche eseguite da Geol. M. Moroni) ed esecuzione di prove di laboratorio (Laboratorio geomeccanico Orazi).

Fanno parte integrante del presente lavoro i seguenti elaborati:

### Cartografia generale di inquadramento

- Elab.2 - Inquadramento cartografico (in scala 25.000, 10.000, 5.000)
- Elab.3 - Carta geologica in scala 1:5.000
- Elab.4 - Carta morfologica in scala 1:5.000
- Elab.5 - Carta permeabilità in scala 1:5.000
- Elab.6 - Ubicazione generale prove disponibili in scala 1:2.000
- Elab.7 - Ubicazione sezioni geologiche area discariche in scala 1:2.000
- Elab.8 - Sezioni geologiche area discariche in scala 1:2.000

### Cartografia di dettaglio

- Elab.9 - Carta geologica di dettaglio G3 in scala 1:1.000
- Elab.10 - Carta morfologica di dettaglio G3 in scala 1:1.000
- Elab.11 - Carta permeabilità di dettaglio G3 in scala 1:1.000
- Elab.12 - Ubicazione prove e sezioni geologiche G3 stato attuale in scala 1:1.000
- Elab.13a - Sezioni geologiche longitudinali in scala 1:1.000
- Elab.13b - Sezioni geologiche longitudinali in scala 1:1.000
- Elab.14 - Sezioni geologiche trasversali in scala 1:1.000
- Elab.15 - Sezioni geologiche trasversali in scala 1:1.000

### Prove archivio

- Elab.16 - Prove di archivio aree limitrofe (vallecola G2, Vallecola G4)
- Elab.17 - Prove di archivio vallecola G3

### Campagna geognostica a supporto progetto (2021)

- Elab.18 - Indagine geofisica (Geol. F. Stragapede)
- Elab.19 - Sondaggi (Sogeo)
- Elab.20 - Prove di laboratorio e permeabilità in sito (Laboratorio Orazi)
- Elab.21 - Down Hole (Geol. F. Stragapede)
- Elab.22 - Risposta sismica locale (Geol. F. Stragapede)
- Elab.23 - Prove Penetrometriche (Geol. M. Moroni)

### Sezioni geologiche stato modificato

- Elab.24 - Ubicazione sezioni geologiche G3 stato modificato in scala 1:1.000
- Elab.25a - Sezioni geologiche G3 longitudinali stato modificato in scala 1:1.000
- Elab. 25b - Sezioni geologiche G3 longitudinali stato modificato in scala 1:1.000
- Elab.26 - Sezioni geologiche G3 trasversali stato modificato in scala 1:1.000
- Elab. 27 - Sezioni geologiche G3 trasversali stato modificato in scala 1:1.000
- Elab. 28 - Sezione geologica in asse argine di valle in scala 1:1.000

## ***2. Normativa di riferimento***

### Decreto Ministeriale 17.01.2018

Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni

### Decreto Ministeriale 14.01.2008

Testo Unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni

### Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009

### Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007

### Eurocodice 8 (1998)

#### Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture

Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

### Eurocodice 7.1 (1997)

Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali – UNI

### Eurocodice 7.2 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) UNI

### Eurocodice 7.3 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002) UNI

### Leggi nazionali in materia di Vincolo Idrogeologico

- R.D.L. 30 dicembre 1923 n. 3267
- R.D. 16 maggio 1926 n. 1126

### Leggi regionali in materia di pianificazione e di Vincolo Idrogeologico

- L.R. 7 dicembre 1978 n. 47 e successive modifiche ed integrazioni
- L.R. 4 settembre 1981 n. 30 – P.M.P.F. (deliberazione del Consiglio regionale n. 2354 del 01/03/1995)
- L.R. 21 aprile 1999 n. 3
- L.R. n. 3 del 21 aprile 1999 Riforma del sistema regionale e locale

### Normativa Sismica Regionale

- Ordinanza del PCM n° 3274/2003 – Riclassificazione sismica dell'Emilia Romagna
- Atto di indirizzo e coord. Tecnico ai sensi art. 16 c.1 della L.R. 20/2000 per gli studi di microzonazione sismica Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica Del. Ass. Legsl. Progr. "112 – oggetto" 3121 del 02/05/2007
- L.R. n° 19 del 30/10/2008 "Norme per la riduzione del rischio sismico"

#### Normativa Comunità Montana in materia di Vincolo Idrogeologico

- Direttiva Regionale approvata con delibera della Giunta Regionale n. 1117 del 11/07/2000
- Regolamento Procedurale Comunità Montana Appennino Cesenate delibera di Giunta n. 74 del 18/08/2000

#### Normativa Unione Comuni Valle del Savio in materia di Vincolo idrogeologico

- Regolamento dell'Unione Valle Savio - Procedure amministrative e norme tecniche relative alla gestione del vincolo idrogeologico (in vigore dal 18 giugno 2018)  
(Approvato con delibera di Consiglio n. 13 del 26/04/2018)

#### Ordinanze Autorità di Bacino nazionale, regionale o interregionale

##### *Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli*

- L.R. n° 14 del 29/03/1993 istituzione Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli
- Piano stralcio per il rischio idrogeologico-Approvato con Del. G.R. n° 350 del 17/03/2003
- Variante normativa al titolo III - Assetto Idrogeologico - Approvato con Del. G.R. n°144 del 16/02/2009

##### *Autorità di Bacino Interregionale Marecchia-Conca*

- Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) (anno 2004)
  - Piano Stralcio di Bacino per l'assetto idrogeologico - integrazione fasce di territorio di pertinenza dei corsi d'acqua di alta vulnerabilità idrologica
  - Piano stralcio di Bacino per l'assetto idrogeologico - assetto Idraulico - T.Uso
- Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI) (anno 2004) - Progetto di variante aree di versante in dissesto e fasce fluviali (adottato dal Comitato Istituzionale con Del. n° 3 del 14/12/2012)

#### PTCP - Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale

- P.T.C.P. Provincia di Forlì-Cesena (Approvazione 14/09/2006 Del. Cons. Prov. Prot. n. 68886/146)
- Variante integrativa P.T.C.P. (Adozione 30/03/2009 Del. Cons. Prov. prot. n. 29974/42 Approvazione Del. C.P. n° 146 del 19/07/2010)
- Variante specifica al P.T.C.P. ai sensi art. 27 bis L.R. 20/2000 e ss.mm.ii. (Approvato con Del. C.P. n° 68886/146 del 14/09/2006 - Integrato con Del. C.P. n° 70346/146 del 19/07/2010)

#### Regolamento Urbanistico Comunale

- Variante generale al P.R.G. - Adottata con Del. C.C. n. 17 del 19/03/2001 - Approvata con Del. G.P. n. 25291/113 del 30/03/2004 e n. 81265/05 del 15/11/2005
- Variante Art. 15 L.R. 47/78 - Approvata con Del. C.C. n. 22 del 06/04/2005, n. 3 del 22/02/2007 e n. 32 del 29/07/2008
- PSC Comune di Sogliano al Rubicone - Approvato con Del C.C. n. 81 del 18/12/2008 e adottato 30/03/2009 con Del. Cons. Prov. prot. 29974/72
- RUE Comune di Sogliano al Rubicone - Adottato con Del. C.C. n° 4 del 30/03/2016 e Approvato con Del. C.C. n° 17 del 20/06/2017

### Regolamento gestione rifiuti

- Decreto Legislativo 13 gennaio 2003 n° 36 “Attuazione della direttiva 1999/31/Ce - Discariche di rifiuti”
- Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti ai sensi art. 199 del D.Lgs. 152/2006 (Del. G.R. n° 67 del 03/05/2016)

### **3. Inquadramento cartografico**

Il sito rappresentato dalla discarica Ginestreto 4, gestita da Sogliano Ambiente e dalle discariche in post gestione Ginestreto 1 e Ginestreto 2, e dalla vallecchia Ginestreto 3 oggetto del presente studio, è localizzato lungo il percorso della strada Provinciale 13 di fondovalle dell'Uso; poco dopo l'abitato di Masrola, la cui viabilità di servizio si dirama dalla strada Provinciale, per raggiungere dopo circa quattro chilometri il sito in oggetto.

Lo spartiacque del bacino in esame che ospita la discarica culmina in un punto posto tra Ginestreto (336 m s.l.m.) a nord e la Serra (319 m s.l.m.) a sud avente quota 364 m s.l.m. Verso est, in corrispondenza delle discariche G1 e G2, il sito degrada progressivamente verso il Rio Morsano raggiungendo quota 163 m s.l.m.

La viabilità locale (via Ginestreto) si sviluppa, in corrispondenza dello spartiacque. La strada di servizio alla discarica, procede a parallelamente al corso del Rio Morsano, in prossimità dello stesso.

Altimetricamente, il territorio in oggetto è situato tra i 364 metri e i circa 112 metri sul livello marino dell'alveo del Morsano nella confluenza con il fiume Uso, al limite dell'area globalmente interessata dagli impianti del sito di Ginestreto.

Il contesto territoriale del sito è circoscritto nell'ambito del bacino imbrifero il Rio Morsano, il corso d'acqua che ha inciso la valle principale ed il cui corso, scorrendo in direzione nord-est, confluisce nel fiume Uso, immediatamente ad ovest dell'abitato di Masrola.

L'assetto morfologico è caratterizzato dal susseguirsi di vallecchie con assi all'incirca paralleli tra loro, che si sottendono dagli spartiacque e si innestano nel fondovalle secondo direttrici ad esso perpendicolari.

Il prevalere delle litologie argillose impermeabili non consente lo sviluppo di attività idrogeologica significativa; caratteristica quest'ultima che determina la specifica vocazione del sito di contenere una discarica, infatti l'impermeabilità del substrato costituisce da sola elemento di sicurezza per la dispersione di eventuali inquinanti che si potrebbe avere dal fondo dell'invaso.

Il Polo Integrato di Ginestreto è situato in vicinanza dei centri abitati di Ponte Uso, Masrola in Comune di Borghi, e Montebello in Comune di Torriana.

Il sito destinato a discarica è completamente disabitato ed incolto, l'utilizzazione del suolo nell'intera area circostante è il pascolo, il seminativo semplice e il bosco.

Il sito di studio risulta così identificabile:

- Carta geologica 1:100.000 - Foglio 108 “Mercato Saraceno”
- Corografia 1:25.000 - Tavoleta 108 I NE “S. Marino” - Tavoleta 108 I NW “Montegelli”
- CTR 1:10.000 - Sezione 266040 “Montetiffi”

- CTR 1:5.000 – Elemento 266042 e 267013
- Comune – Sogliano al Rubicone
- Frazione - Ginestreto
- Località – Polo Integrato di Ginestreto, Vallecola G3

Un inquadramento cartografico generale dell'area di studio è riportato nell'Elaborato 2.

In particolare la zona di indagine riguarda la vallecola denominata Ginestreto 3 (G3), posta ad Ovest della vallecola Ginestreto 4 (G4) sede della discarica attualmente in esercizio, e ad Est della vallecola Ginestreto 2 (G2) sede della discarica in post-esercizio.

Nella sua parte centrale la vallecola G3 è identificabile alle seguenti coordinate:

- |                    |                       |                        |
|--------------------|-----------------------|------------------------|
| - Coordinate WGS84 | latitudine: 43,971721 | longitudine: 12,331401 |
| - Coordinate ED50  | latitudine: 43,972664 | longitudine: 12,332363 |

Si allega di seguito stralcio della zona tratta da Google Earth



## 4. Inquadramento geologico

### 4.1 Aspetti generali

Gli aspetti geologici dell'area sono stati esaminati nella prima fase di studio dal punto di vista generale considerando un'ampia zona allargata rispetto al sito identificato per la realizzazione della discarica G3.

La restituzione grafica del rilievo a supporto è in scala 1:5.000 (Elab.3).

L'area di studio risulta interessata principalmente da terreni, ascrivibili al Complesso sedimentario semialloctono o parautoctono, che sono sovrascorsi sui terreni autoctoni della Serie Umbro-Marchigiano-Romagnola, a seguito delle spinte orogeniche da SO verso NE. La tettonica di ricoprimento gravitativo si esprime lungo tutta la valle dell'Uso e con la massima estensione nella depressione occupata dalla colata della Valmarecchia. La messa in posto della Falda Ligure nella Valmarecchia sui depositi autoctoni della Marnoso Arenacea, durante la fase di sollevamento Tortoniana della catena Appenninica, fu probabilmente guidata da una linea tettonica trasversale all'asse del bacino della Marnoso Arenacea (la linea del Marecchia).

La potente coltre alloctona, costituita da membri di svariata natura litologica, è stata prodotta da un episodio tettonico - gravitativo che si è protratto fino al Pliocene Inf., epoca nella quale si è realizzata la definitiva messa in posto della colata gravitativa.

Tale spiccata tettonica di tipo "colata gravitativa" si riflette sul terreno con un estremo assortimento litologico e contatti tra depositi di età molto diverse estremamente variegati e discontinui. In particolare dal punto di vista cronostratigrafico l'evento sopra riportato si può descrivere come tettonico-gravitativo, inserito nel Pliocene inferiore entro la Serie Romagnola autoctona. In seguito è proseguita la sedimentazione normale con deposizione, sui terreni sopra descritti, del Pliocene neoautoctono.

Nella carta geologica 1:5.000, facente parte del presente studio, le varie formazioni sono state distinte utilizzando le denominazioni definite dalla carta geologica della Regione Emilia Romagna, come di seguito:

#### *h<sub>1</sub> Discarica*

Deposito di materiale conseguente ad una qualsiasi attività umana, ad esempio discariche di cava e di miniera, depositi di rifiuti solidi urbani o di materiale inerte, terreni di riporto, utilizzati per la realizzazione di sbarramenti artificiali di piccoli bacini, fiumi, canali o massicciate di importanti opere varie.

### Depositi quaternari continentali

#### Depositi di frana attivi

Deposito gravitativo con evidenze di movimenti in atto (indipendentemente dalla entità e dalla velocità degli stessi). L'attività può essere continua o, più spesso, intermittente ad andamento stagionale o pluriennale. Vengono inclusi in questa categoria anche depositi di frane che al momento del rilevamento non presentano sicuri segni di movimento ma che denotano comunque una recente attività segnalata da indizi evidenti (lesioni a manufatti, assente o scarsa vegetazione, terreno rimobilizzato) all'occhio del tecnico rilevatore. Sono altresì incluse anche frane con velocità recepibile solo attraverso strumenti di precisione (inclinometri, estensimetri, ecc.) qualora esistenti.



*a<sub>1</sub> Deposito di frana attiva di tipo indeterminato*

Deposito gravitativo con evidenze di movimenti in atto o recenti, costituito da litotipi eterogenei, raramente monogenici, ed eterometrici, più o meno caotici. La tessitura dei depositi è condizionata dalla litologia del substrato e dal tipo di movimento prevalente, che è stato generalmente indicato (dove non specificato, il tipo movimento è indeterminato). La maggior parte dei depositi di frana del territorio appenninico è comunque di tipo complesso ed è il risultato di più tipi di movimento sovrapposti nello spazio e nel tempo (tipicamente scorrimenti/colamenti). La tessitura prevalente risulta costituita da clasti di dimensioni variabili immersi in una abbondante matrice pelitica e/o sabbiosa).

*a<sub>1b</sub> Deposito di frana attiva per scivolamento*

Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio.

*a<sub>1d</sub> Deposito di frana attiva per colamento di fango*

Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più coesivi. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili.

*a<sub>1g</sub> Deposito di frana attiva complessa*

Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.

Depositi di frana quiescenti

Deposito gravitativo senza evidenze di movimenti in atto o recenti. Generalmente si presenta con profili regolari, vegetazione con grado di sviluppo analogo a quello delle aree circostanti non in frana, assenza di terreno smosso e assenza di lesioni recenti a manufatti, quali edifici o strade. Per queste frane sussistono oggettive possibilità di riattivazione poiché le cause preparatorie e scatenanti che hanno portato all'origine e all'evoluzione del movimento gravitativo non hanno, nelle attuali condizioni morfoclimatiche, esaurito la loro potenzialità. Sono quindi frane ad attività intermittente con tempi di ritorno lunghi, generalmente superiori a vari anni. Rientrano in questa categoria anche i corpi franosi oggetto di interventi di consolidamento, se non supportati da adeguate campagne di monitoraggio o da evidenze di drastiche modifiche nell'assetto dei luoghi.

*a<sub>2b</sub> Deposito di frana quiescente per scivolamento*

Deposito originato dal movimento verso la base del versante di una massa di terra o roccia, che avviene in gran parte lungo una superficie di rottura o entro una fascia, relativamente sottile, di intensa deformazione di taglio.

- a<sub>2d</sub> Deposito di frana quiescente per colamento di fango*  
 Deposito messo in posto da movimento distribuito in maniera continuata all'interno della massa spostata. Le superfici di taglio all'interno di questa sono multiple, temporanee e generalmente non vengono conservate. I materiali coinvolti sono per lo più coesivi. I depositi più frequenti sono costituiti in prevalenza da una matrice pelitica e/ o pelitico-sabbiosa che include clasti di dimensioni variabili.
- a<sub>2g</sub> Deposito di frana quiescente complessa*  
 Deposito messo in posto in seguito alla combinazione nello spazio e nel tempo di due o più tipi di movimento.
- a<sub>4</sub> Deposito eluvio-colluviale*  
 Coltre di materiale detritico, generalmente fine (frammenti di roccia, sabbie, limi e peliti) prodotto da alterazione "in situ" o selezionato dall'azione mista delle acque di ruscellamento e della gravità (subordinata), con a luoghi clasti a spigoli vivi o leggermente arrotondati.
- b<sub>1</sub> Deposito alluvionale in evoluzione*  
 Deposito costituito da materiale detritico generalmente non consolidato (ghiaie, talora embriciate, sabbie e limi argillosi) di origine fluviale, attualmente soggetto a variazioni dovute alla dinamica fluviale. Può essere talora fissato da vegetazione (b<sub>1a</sub>).

### Successione neogenico-quadernaria del margine appenninico padano

#### *AES8 Subsintema di Ravenna*

Ghiaie da molto grossolane a fini con matrice sabbiosa, sabbie e limi stratigrafici con copertura discontinua di limi argillosi, limi e limi sabbiosi, rispettivamente depositi di conoide ghiaiosa, intravallivi terrazzati e di interconoide. Argille, limi ed alternanze limoso-sabbiose di tracimazione fluviale (piana inondabile, argine, e tracimazioni indifferenziate). Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico. A tetto suoli, variabili da non calcarei, a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente meno di 150 cm, e a luoghi parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallobruno. I suoli non calcarei e scarsamente calcarei hanno colore bruno scuro e bruno scuro giallastro, spessore dell'alterazione da 0,5 ad 1,5 m, contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. I suoli calcarei appartengono all'unità AES8a, nel sottosuolo della pianura: depositi argillosi e limosi grigi e grigio scuri, arricchiti in sostanza organica, di piana indondabile non drenata, palude e laguna passanti, verso l'alto, a limi-sabbiosi, limi ed argille bruni e giallastri di piana alluvionale ben drenata con suoli calcarei e non calcarei al tetto; depositi deltizi, litorali e, localmente, marini. I depositi di piana alluvionale includono ghiaie di canale fluviale e geometria nastriforme; lungo la fascia costiera passano con contatto netto ed erosivo a sabbie litorali. Il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sugli altri subsintemi e sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità circa 28 metri. (Pleistocene sup. – Olocene).

#### *AES<sub>8a</sub> Unità di Modena*

Ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua, talora organizzate in corpi a geometrie lenticolari, nastriforme, tabulari e cuneiformi. Depositi alluvionali intravallivi, terrazzati, deltizi, litorali, di conoide, e, localmente, di piana inondabile. Limite superiore coincidente con il piano topografico dato da un suolo calcareo di colore bruno olivastro e bruno grigiastro. Il profilo di alterazione è di esiguo spessore (meno di 100 cm). Può ricoprire resti archeologici di età romana del VI secolo d.c. Limite inferiore inconforme, marcato da una superficie di erosione fluviale lateralmente correlata a un suolo da decarbonatato a parzialmente carbonatato contenente resti archeologici di età dal Neolitico al Romano. Lo spessore massimo dell'unità è generica. (Olocene).

#### *FAA Argille Azzurre*

Argille, argille marnose, localmente siltose, marne argillose e siltose, grigie e grigio-azzurre, talora grigio plumbeo, a stratificazione mal distinguibile per bioturbazione; locali intercalazioni di sabbie fini in strati sottili o medi. Talora livelli a slump. Nella parte inferiore della formazione localmente sono presenti sottili livelli discontinui di biocalcareni fini e siltiti giallo, o ocra se alterate, sottilmente laminate. Frequenti microfossili; variabile la concentrazione di malacofauna a Gasteropodi e Lamellibranchi, sia come biosomi che come bioclasti. Presenti anche blocchi di aq (AQV - Formazione di Acquaviva), costituita da torbiditi arenaceo-marnoso-pelitici con marne a forte componente carbonatica.

L'ambiente di sedimentazione varia da piattaforma, localmente litorale, a scarpata. Foraminiferi planctonici appartenenti nei vari livelli alle zone a Globorotalia margaritae, G. punctulata, G. bononiensis, G. crassaformis, G. inflata e Hyaline baltica. Contatto inferiore graduale rapido su CEA, paraconcordante o marcato da una lieve discordanza angolare su FCO, discordante su unità più antiche. Potenza fino a 1000 m circa. (Pliocene inf. - Pleistocene inf.).

#### *FAA<sub>2p</sub> Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies pelitico-arenacea*

Prevalenti argille ed argille marnose grigio-azzurre, siltose, fossilifere, in strati molto sottili e sottili, con sottilissimi livelli di sabbie fini, intensamente bioturbate; rari intervalli pelitico-arenacei, con arenarie giallastre, molto sottili (A/P < 1/2). Nell'area del foglio 255 torbiditi pelitico-arenacei (A/P 1/2 alla base e al tetto, oltre 2/1 nell'intervallo centrale); argille marnose, siltose e sabbiose; arenarie grigie, giallastre se alterate, poco cementate, in strati sottili e medi, con abbondanti biosomi e bioclasti grossolani; saltuarie calcareniti con clasti quarzosi e argille marnose, siltose e sabbiose; presenti strati con abbondanti microfossili e minor contenuto in sabbia e silt (emipelagiti); diffusi macrofossili rimaneggiati. (Pliocene inf.).

#### *FAA<sub>2ap</sub> Argille Azzurre - membro delle Arenarie di Borello - litofacies arenaceo-pelitica*

Alternanza di peliti e peliti sabbiose grigie, localmente marnose, fortemente fossilifere, biancastre all'alterazione, e arenarie grigio-giallastre in livelli sottili e medi, per lo più poco cementate (A/P variabile da 1/2 a 2); talora arenarie prevalenti in strati da spessi a molto spessi, mal definiti, a laminazione inclinata e con livelli di tritume conchigliare, o livelli siltosi. Nell'area del Foglio 255 alternanze arenaria-pelite (A/P da 2/1 a 3/1), in strati sottili; localmente gli strati sono

amalgamati (A/P fino a 10). Nell'area del Foglio 266 possono essere presenti corpi arenacei lenticolari intercalati alle argille, costituiti da arenarie a granulometria da medio-fine a medio-grossolana, di colore giallastro (A/P>1). (Pliocene inf.).

*FAA<sub>2d</sub> Argille Azzurre – membro delle Arenarie di Borello – litofacies conglomeratica*

Conglomerati clasto e matrice sostenuti, con ciottoli arrotondati in matrice arenacea giallastra, dimensioni dei clasti fino a 30 cm. I ciottoli sono costituiti principalmente da calcari micritici grigi, calcari marnosi grigio-verdastri e arenarie fini micacee. (Pliocene inf.).

*FAA<sub>2e</sub> Argille Azzurre – membro delle Arenarie di Borello – litofacies a brecce di Santa Maria Riopetra*

Peliti provenienti prevalentemente da FAA con frammenti e blocchi provenienti anche da AVS; accumulo caotico con matrice argillosa prevalentemente varicolorata e clasti di calcilutiti, marne e marne calcaree grigio-chiare o biancastre; argilliti rosso-scuri, rosate, verdi, nerastre, in strati molto sottili e sottili; arenarie fini, grigie; torbiditi arenaceo-marnosi con alta componente carbonatica; calcilutiti silicee grigie, gradate, in strati medi e spessi; calcilutiti marnosi grigio-chiare in strati spessi. Presente un olostolite di GHL (gh). Spessore massimo di alcune centinaia di metri e forti variazioni laterali con rapide chiusure. (Pliocene inf.).

## Unità liguri

*AVS Argille Varicolori della Val Samoggia*

Argilliti e siltiti marnosi tettonizzate grigio-verdi, nerastre e rosso scuri, con subordinate arenarie e siltiti, calcilutiti e calcari marnosi e con blocchi budinati di calcilutiti bianche e verdini spesso brecciati, siltiti manganesifere, areniti grigie. Frattura scheggiata con numerosi piani di taglio pervasivi e superficie lucida. La potenza geometrica massima raggiunge i 400 m, con probabili ripetizioni tettoniche. (Cretacico inf. – Paleocene?).

## 4.2 Tavola di analisi

Come evidente dalla carta geologica prodotta in scala 1:5.000 (Elab.3) in generale l'area risulta per gran parte interessata da terreni ascrivibili alla Formazione delle Argille Azzurre con netta prevalenza della Litofacies pelitica (FAA<sub>p</sub>) ed in subordine della Litofacies arenaceo pelitica (FAA<sub>ap</sub>). Sono altresì presenti depositi alluvionali terrazzati di bassa quota (AES<sub>8a</sub>) lungo le principali aste fluviali e torrentizie (Torrente Uso e Rio Morsano).

In particolare la zona interessata dalla discarica G3 evidenzia la presenza di Argille Azzurre – Litofacies pelitica (FAA<sub>p</sub>) che sui fianchi della valle passano Litofacies arenaceo pelitica (FAA<sub>ap</sub>).

La viabilità di accesso al sito delle discariche e servizi correlati, che si sviluppa con andamento circa parallelo al corso del Rio Morsano, interessa:

- nel tratto iniziale dall'innesto nella SP Uso → depositi alluvionali terrazzati;
- nel tratto centrale → litotipi ascrivibili a FAA<sub>p</sub> nella pendice di monte e a valle depositi alluvionali terrazzati;
- nel tratto terminale in prossimità di G2 e G1 → litotipi ascrivibili a FAA<sub>ap</sub>.

Lungo la viabilità in varie zone concave si rileva la presenza di detrito a matrice argillosa dovuto agli accumuli periodici di fondo in vallecole interessate da evoluzione di tipo calancoide.

#### 4.3 Aspetti specifici vallecola G3

Come evidente dalla carta geologica di dettaglio in scala 1:1.000 (Elab.9), in un'ampia area di studio la zona di intervento risulta occupata da terreni ascrivibili alla Formazione Pliocenica in posizione parautoctona, all'interno della quale è possibile riconoscere Litofacies eteropiche; la prima prevalentemente argillosa (FAAp) e la seconda prevalentemente arenaceo pelitica (FAAap).

Durante il rilevamento geologico di dettaglio sono state rilevate misure di strato soprattutto nelle Litofacies pelitico arenacea e localmente nella Litofacies pelitica.

In generale si rileva la prevalente immersione degli strati verso N - NE con inclinazioni variabili da 13° a 25°.

La parte centrale della vallecola evidenzia nella depressione assiale depositi detritici caotici derivanti dai fenomeni di evoluzione gravitativa del calanco per colamenti succedutisi nel tempo a seguito di eventi piovosi intensi. Tali depositi risultano attualmente non interessati da significativi movimenti gravitativi in atto.

### *5. Inquadramento morfologico*

#### 5.1 Aspetti generali

Gli aspetti morfologici, così come quelli geologici di cui al precedente paragrafo, sono stati esaminati nella prima fase di studio dal punto di vista generale mediante lo studio di un'ampia zona allargata rispetto a quella specifica di intervento.

Le forme rilevate sono state riportate su cartografia in scala 1:5.000 (Elab.4).

Tale esame è servito ad analizzare le tendenze evolutive generali ed in particolare delle vallecole contermini all'opera proposta al fine di valutare nel tempo le possibili interferenze con la discarica e dare consigli operativi in merito ad opere atte a perseguire la conservazione del suolo e la protezione dei versanti contermini all'area della discarica, ed alla viabilità e servizi.

Gli approfondimenti relativi alle forme di dissesto, ai fenomeni erosivi, all'evoluzione calanchiva ecc. hanno consentito di definire un'area più ristretta ove realizzare, in seguito, gli studi di dettaglio di utile ausilio per il progettista.

In generale, l'assortimento di depositi sedimentari con conseguente diversità di comportamento nei confronti dei processi erosivi, e le differenziate configurazioni strutturali e giaciture che intervengono nel contesto di interesse, hanno prodotto assetti morfologici molto variabili, schematizzabili nei principali modelli di seguito esposti:

1) Superfici sub-pianeggianti relative ai fondovalle ed ai depositi alluvionali terrazzati che si impostano a varie quote lungo i fianchi vallivi. L'ampiezza dei fondovalle e la distribuzione delle alluvioni terrazzate sono direttamente connesse con la natura litologica

delle formazioni geologiche affioranti, dalle quali sono preminentemente derivate le tipologie di evoluzione geomorfologica territoriale.

2) Zone a morfologia ondulata, inaspita localmente da sporgenze date da affioramenti di lembi rocciosi, o dallo sviluppo marcato di fenomeni erosivi di tipo selettivo. In quest'ambito si assiste ad una sensibile amplificazione delle sezioni vallive trasversali, che in genere hanno portato alla obliterazione dei terrazzi alluvionali alle quote superiori, che risultano quindi totalmente o parzialmente smantellati dall'erosione.

E' frequente registrare processi di instabilità lungo i versanti, dovuti sia alla mobilitazione di coperture per imbibimento (in detti fenomeni incide in genere anche il non corretto sfruttamento agricolo dei terreni), sia alla rimobilitazione di coltri detritiche di paleofrana. Non è infrequente il fenomeno della coalescenza di singoli dissesti ubicati lungo le zone morfologicamente depresse, riuniti verso valle a formare un unico bacino di frana in corrispondenza degli impluvi principali.

Superfici staticamente più affidabili si attestano in ambito di crinale, dove le forme morfologiche sono più regolari e le pendenze più attenuate. In tali siti anche i processi erosivi e/o destabilizzanti assumono quindi minore incisività. Le aree dotate di migliore stabilità si riconoscono dove affiorano formazioni geologiche a comportamento lapideo.

In questo contesto comunque l'affidabilità statica risulta sensibilmente diversa a seconda che si tratti delle parti centrali dei lembi rocciosi o di quelle perimetrali; posizioni quest'ultime che infatti possono essere interessate da frane di crollo, mobilitazione di detrito di falda, oppure dal rilassamento e divaricazione di cunei rocciosi disarticolati per effetto della tettonica. Detti fenomeni si sviluppano principalmente in quanto al piede degli affioramenti rocciosi sono spesso presenti litotipi di natura argillosa più erodibili e plastici che causano fenomeni di scalzamento al piede dei litotipi tenaci.

3) Zone con marcati fenomeni di erosione concentrata caratterizzate da profonde incisioni variegata con formazione di forme calanchive, in corrispondenza degli affioramenti di natura argillosa e marnoso-argillosa di scarsa consistenza, con pendenze medio - alte, dove l'impermeabilità dei litotipi incentiva il rapido scorrimento delle acque meteoriche.

La morfologia generale di detti siti si presenta quindi estremamente tormentata ed in continua evoluzione per fenomeni di erosione concentrata, ruscellamento e movimenti gravitativi corticali per fluidificazione indotta dalle precipitazioni meteoriche. A partire dal coronamento dei bacini calanchivi, si realizza l'intercalare di incisioni più o meno ampie e pronunciate, mentre sul fondo delle forme concave si accumulano depositi detritici prodotti dall'erosione delle pendici superiori, che stagionalmente subiscono evoluzioni più o meno marcate a seconda dell'intensità e durata delle precipitazioni.

4) Zone caratterizzate da lineamenti morfologici generalmente molto marcati, di tipo giovanile, che realizzano un brusco raccordo topografico tra il fondovalle e la sommità dei versanti. Questa configurazione, che limita significativamente la continuità percettiva del paesaggio, è tipica delle superfici dove affiorano depositi sedimentari flyschoidi o comunque formazioni geologiche resistenti all'erosione. In questi ambiti si è realizzato un marcato approfondimento verticale dei corsi d'acqua, condizionato in genere dalle principali direttrici tettoniche. Ne derivano sezioni vallive confinate in senso trasversale con la tipica forma a V.

In generale in dette zone si osserva la conservazione dei depositi alluvionali terrazzati. Locali riduzioni di pendenza, con forme più regolari ed ondulate, si verificano dove insistono le coltri detritiche più significative, originate per la maggior parte dalla disgregazione meccanica della roccia in posto ad opera di faglie, oppure dall'accumulo di materiali gravitati dalla sommità dei rilievi.

Nelle aree di affioramento della roccia in posto si realizzano sostanziali condizioni di affidabilità statica, mentre dove insistono le coperture detritiche può determinarsi instabilità o attivarsi movimento del terreno nei primi metri di profondità, in particolari condizioni sismiche e meteorologiche, se non è presente una corretta regimazione idrica.

Nel complesso, in seno al territorio comunale le zone più estesamente diffuse sono quelle a morfologia ondulata di cui al precedente punto 2, e poi quelle con marcati fenomeni di erosione concentrata caratterizzate da profonde incisioni variegata con formazione di forme calanchive di cui al punto 3.

I nuclei abitati principali sono invece concentrati nelle zone morfologicamente rilevate costituite da litotipi tenaci (vedi ad es. Sogliano Capoluogo, Strigara, Rontagnano ecc.), o nelle zone di fondovalle sub pianeggianti (Ponte Uso, Bivio Montegelli, ecc.)

## 5.2 Tavola di analisi

Nella tavola di studio in scala 1:5.000 (Elab.4) si evidenzia che dallo spartiacque a monte, dove si localizza la strada comunale Ginestreto, che segue uno sviluppo medio S-W e N-E, dipartono una serie di vallecole a sviluppo N-W S-E che dopo un primo tratto con gradienti topografici significativi, degradano verso l'alveo del Rio Morsano con pendenze basse.

Tali vallecole sono in genere interessate nella parte sommitale da litotipi arenaceo-marnosi (FAAap) e nella parte medio terminale da litotipi argilloso-marnosi (AVS, FAAp).

Nella parte sommitale sono presenti locali scarpate subverticali, e a monte nicchie e fenomeni erosivi diffusi e concentrati a causa dell'inesistente e/o non idonea regimazione idrica.

Invece, in corrispondenza degli affioramenti di natura argillosa e marnoso-argillosa, la scarsa consistenza e l'impermeabilità dei terreni ha dato luogo allo sviluppo di un reticolo idrografico ed ha fornito all'area in esame la caratteristica morfologia collinare con pendii scarsamente acclivi modellati dagli agenti atmosferici, localmente interrotta da profonde incisioni variegata con formazione di forme calancoidi.

A partire dal coronamento dei bacini si realizza l'intercalare di incisioni più o meno ampie e pronunciate, mentre sul fondo delle forme concave si accumulano depositi detritici prodotti dall'erosione delle pendici superiori, che stagionalmente subiscono evoluzioni più o meno marcate a seconda dell'intensità e durata delle precipitazioni.

In prossimità del Rio Morsano l'assetto è sub pianeggiante per la presenza di depositi alluvionali.

## 5.3 Aspetti specifici vallecola G3

Come evidente dalla carta morfologica di dettaglio in scala 1:1.000 (Elab.10) il versante di intervento ubicato in sinistra orografica del Rio Morsano risulta costituito da litotipi preminentemente argillosi.

La vallecola a sviluppo NO-SE si presenta ampia, delimitata da fianchi a media acclività costituiti localmente da roccia in affioramento.

La parte centrale in asse è costituita da un deposito detritico, identificato come frana attiva per colamento di fango ( $a_{1d}$ ) nelle carte geologiche, che degrada con media acclività in direzione SE verso la strada di accesso alle discariche.

La parte sommitale della vallecchia presenta acclività medio-alta, con scarpate, e locali fenomeni erosivi diffusi e concentrati a causa della non idonea regimazione idrica e della natura argillitica del substrato presente.

Il progetto prevede la creazione di una gradonatura in scavo per la riduzione della pendenza e l'asportazione totale delle coperture detritiche di alterazione e del cotico agrario, oltrechè del corpo di frana.

A valle della strada di accesso alle discariche si rileva una morfologia dolce con assetto sub-orizzontale a causa della presenza di depositi alluvionali del Rio Morsano.

## **6. Lineamenti Idrogeologici**

### **6.1 Aspetti generali**

A seguito della tettonica dell'area si verifica sul territorio un estremo assortimento litologico e contatti tra depositi di età molto diverse estremamente variegati e discontinui. Tale assortita configurazione geologica territoriale, con articolato scenario di depositi sedimentari a distinta permeabilità, porta ad ottenere dinamiche di drenaggio delle precipitazioni meteoriche alquanto differenziate.

Nelle aree di affioramento dei terreni poco permeabili di tipo argilloso e marnoso, o dove affiorano le serie flyschoidi moderatamente tettonizzate, si assiste al netto prevalere dello scorrimento idrico superficiale diffuso e/o incanalato. L'aspetto idrogeologico si manifesta principalmente mediante ridotto deflusso ipodermico al contatto tra roccia in sito e terreno alterato superficiale.

Per contro, in corrispondenza dei depositi alluvionali e di affioramento di placche rocciose molto fratturate assume più importanza l'attività idrogeologica.

Nei depositi alluvionali terrazzati e di fondovalle si verificano fenomeni di filtrazione nei terreni ghiaiosi e sabbiosi, e l'idrografia sotterranea si risolve spesso in una falda di tipo freatico, caratterizzata da escursioni stagionali, e che in alcuni casi si può ritenere direttamente relazionabile ai deflussi in subalvea dei limitrofi corsi d'acqua.

Nel caso di affioramenti rocciosi la permeabilità è secondaria, principalmente dovuta a stress tettonici e/o deposizionali, a volte notevole, su rocce originariamente impermeabili, e dà luogo a fenomeni di percolazione sia lungo vie preferenziali dovute a fratturazione secondaria delle medesime sia lungo i giunti di strato.

Infiltrazioni e circolazioni idiche sotterranee più o meno cospicue possono inoltre esercitarsi entro le coltri detritiche e/o di paleofrana, con intensità subordinata al prevalere, negli ammassi detritici, di composizioni granulometriche grossolane (sabbie e limi) o fini (argille).

Dove prevale il drenaggio idrico superficiale, questi configura patterns che dipendono dalla natura litologica della roccia in posto: nei terreni argillosi si instaurano generalmente patterns di densità medio-alta, sovente erosivi, che raggiungono talora una sensibile ramificazione (pattern dendritico o subdendritico); diversamente, entro le serie flyschoidi marnoso-arenacee, i patterns del drenaggio sono meno addensati e subiscono spesso un



controllo strutturale ( in genere fossi a carattere stagionale poco ramificati, a basso grado di gerarchizzazione e mediocre densità di drenaggio).

## 6.2 Tavola di analisi

### *Acque di superficie*

L'idrografia superficiale del territorio in esame, il cui pattern è evidente nella carta morfologica in scala 1:5.000 allegata (Elab.4), è strettamente legata al regime delle precipitazioni. Data la scarsa permeabilità della quasi totalità dei terreni affioranti, nella zona non sussistono acquiferi sotterranei in grado di alimentare sorgenti permanenti o temporanee significative. Ne consegue il carattere torrentizio del Torrente Uso e del Rio Morsano, il cui deflusso praticamente si annulla alla fine dei periodi estivi, malgrado venga alimentato dal drenaggio della falda presente entro i modesti sedimenti alluvionali terrazzati o di fondovalle presenti (soprattutto per quanto riguarda il Torrente Uso).

### *Acque sotterranee*

Nel sottosuolo del territorio considerato, date le caratteristiche idrogeologiche delle formazioni litologiche presenti, com'è già stato fatto rilevare, è nota solo la presenza di falde freatiche (non confinate) in genere presenti entro le alluvioni e le coltri detritiche superficiali più permeabili. Si tratta in genere di falde acquifere temporanee, rese tali dal drenaggio marginale, che si sviluppa dove la superficie topografica o l'alveo torrentizio incidono questi depositi di limitata estensione e i sottostanti terreni impermeabili.

La carta idrologica traccia le principali aste fluviali, i corsi d'acqua minori e gli impluvi che, per caratteristiche geometriche, possono ritenersi topograficamente definiti nel loro corso e pertanto fattori di localizzata interferenza con le modificazioni morfologiche e topografiche dei luoghi.

In generale i bacini idrografici superficiali presentano superfici rilevanti e sono interessate da patterns di densità medio alta, sovente erosivi, che raggiungono una sensibile ramificazione (patterns dendritico o sub dendritico).

Il bacino di interesse (vallecola G3) presenta una superficie significativa nel contesto medio dei bacini interessanti la tavola di studio (Elab.4).

Il Rio Morsano risulta stabilizzato e non sono presenti in alveo marcati fenomeni erosivi; ne consegue la totale assenza di fenomeni di scalzamento al piede della pendice in sinistra orografica interessate dalle discariche esaurite e ripristinate (G1 e G2), dalla discarica in esercizio (G4), da quella in progetto (G3) e dalla relativa viabilità di accesso.

Nel sedime oggetto di intervento non si rileva presenza di falda in ragione della natura preminentemente argillosa delle formazioni presenti.

## 6.3 Aspetti specifici vallecola G3

Attualmente nella vallecola sono presenti fossi, a sviluppo NW-SE, che convogliano le acque verso la rete di smaltimento legata alla sottostante viabilità di accesso alle discariche e poi mediante apposita caditoia e tubazione, al Rio Morsano.

Per quanto attiene le acque di prima corrivazione, saranno adeguatamente canalizzate e regimate, sia in fase di coltivazione che a sistemazione finale della discarica, attraverso una efficiente rete scolante anche per la zona interessata dal progetto.

L'idrogeologia risulta significativa solo in corrispondenza dei materassi alluvionali prevalentemente limoso-sabbiosi e ghiaiosi in aderenza all'alveo torrentizio posto a valle mentre risulta praticamente inesistente nei terreni argillosi di interesse per la zona oggetto di intervento.

I terreni interessati risultano infatti impermeabili o scarsamente permeabili.

Come evidente dalle sezioni geologiche, dai dati rilevati in superficie ed in profondità, e dalla caratterizzazione dei terreni interessati come conseguenza del modello geologico-stratigrafico descritto, non sussistono condizioni fisiche nel sottosuolo che possano presumere potenziali deflussi idrici nei terreni del substrato e con i quali la realizzazione della discarica possa venire in interferenza.

## ***7. Permeabilità dell'area di studio***

Il territorio comunale di Sogliano al Rubicone ha un grosso valore paesaggistico ma a causa dei litotipi affioranti risulta estremamente fragile, specialmente in termini di erosione. Tale fenomeno è legato alla morfologia ed acclività dei siti, alla copertura vegetale e boschiva ed alla permeabilità dei terreni.

Per tale motivo si è ritenuto opportuno produrre una cartografia sulla permeabilità generale dell'area in scala 1:5.000 (Elab.5).

Tale elaborato sarà di utile ausilio al Progettista per lo studio dei fenomeni di dissesto, erosione, ecc. al fine di consentire la corretta progettazione e di programmare gli interventi di difesa del suolo. Oltre alla pianificazione di opere di protezione e consolidamento (legate alla erodibilità dei suoli), altro significativo settore conseguente alla permeabilità dei terreni è quello legato alla impermeabilizzazione del fondo discarica.

Infine significativa interconnessione con la permeabilità dei terreni è quella legata alla quantificazione dei parametri idraulici e quindi alla definizione esatta del rischio derivante da scorrimenti più o meno veloci di acque meteoriche e loro smaltimento nella rete idrica superficiale (sia naturale che legata alle opere da realizzare).

La carta di permeabilità, alla scala 1:5.000 cui viene restituita nel presente studio, parte dalla base litologica 1:25.000 e dalla geologica 1:10.000 regionale, affinata secondo il rilievo geologico specifico ed è stata ulteriormente affinata considerando una serie di dati derivanti da prove di laboratorio e di campagna, sia di archivio, che all'uopo realizzate.

### **7.1 Permeabilità dei terreni**

Per inquadrare il comportamento idrogeologico del territorio in oggetto, ovviamente legato alla natura ed alla distribuzione dei diversi tipi litologici in esso presenti, sono state distinte:

- a) le aree caratterizzate dalla presenza di sedimenti lapidei prequaternari fortemente diagenizzati e in netta prevalenza d'origine marina;
- b) le aree interessate da depositi alluvionali e da coltri detritiche.

Mentre gran parte dei sedimenti del primo gruppo sono permeabili per fessurazione, le alluvioni e le coltri detritiche sono, invece, costituite da depositi permeabili per porosità.

I sedimenti lapidei prequaternari fortemente diagenizzati e in netta prevalenza d'origine marina, sono scarsamente dotati per quanto concerne le acque sotterranee.

Se, infatti, si escludono i suoli e le coltri d'alterazione superficiali, ove si presentano modeste falde non confinate (freatiche) poco profonde, discontinue e spesso temporanee, queste masse litologiche, se inalterate ed in strato, sono praticamente impermeabili o al massimo dotate di acquiferi locali, generalmente limitati e discontinui, dovuti a particolari situazioni di fessurazione della roccia. La loro modesta entità è dovuta, di norma, alla frequente presenza di interstrati impermeabili oppure alla scarsa potenza degli strati interessati ed al loro inserimento in serie stratigrafiche idricamente non ricettive.

I terreni permeabili per porosità, pur con diversa ricettività idrica, riguardano sia i sedimenti alluvionali terrazzati o di fondovalle la cui origine è legata essenzialmente all'attività sedimentaria del Torrente Uso e del Rio Morsano sia gli accumuli d'origine antropica o ai dissesti.

## 7.2 Carta permeabilità litologica

Questa carta, restituita in scala 1:5.000, è servita per lo studio generale dell'area come supporto allo studio ambientale e poi come primo passaggio per arrivare alla carta di permeabilità Formazionale specifica dell'area di intervento.

Per la redazione della carta di permeabilità litologica 1:5.000 sono stati verificati tutti i litotipi affioranti nel territorio di studio, così come definiti dalla carta litologica della Regione Emilia Romagna.

Si è poi passati alla corretta perimetrazione dei litotipi con una scala di approfondimento maggiore attraverso l'analisi della carta geologica 1:10.000 della R.E.R. e poi attraverso la carta geologica 1:5.000 derivante dal rilevamento specifico eseguito per il presente studio.

Per la definizione della classe di permeabilità litologica di ogni litotipo presente sono stati raccolti prima tutti i dati di prova in archivio e poi si è integrato il lavoro mediante prelievo di campioni indisturbati ed esecuzione di prove di permeabilità in laboratorio.

Una volta analizzati i vari dati di prova è stato definito un range di variabilità di K (coefficiente di permeabilità) per ogni litotipo.

## 7.3 Criteri di classificazione

Per passare ad una classificazione del terreno secondo i valori di K rilevati, e quindi definire la classe di permeabilità litologica di ogni litotipo, è stata utilizzata come riferimento la tabella di seguito riportata, tratta da "Elementi di geotecnica - P. Colombo F. Coloselli - Luglio 1996".

**Tab. 1 - Classificazione del terreno secondo il valore di K**

Grado di permeabilità	Valore di K (m/s)
alto	superiore a $10^{-3}$
medio	$10^{-3} \div 10^{-5}$
basso	$10^{-5} \div 10^{-7}$
molto basso	$10^{-7} \div 10^{-9}$
impermeabile	minore $10^{-9}$

## 7.4 Analisi dei dati

Le classi di permeabilità definite a seconda del valore di K (coefficiente di permeabilità) permettono una prima suddivisione comportamentale dei terreni affioranti sul territorio in studio. La carta di sintesi pertanto suddivide l'area di studio in ambiti nei quali si

riconoscono condizioni più o meno gravose per il grado di pericolosità derivante da fenomeni di filtrazione o da fenomeni erosivi e di rapido scorrimento di acque in superficie con conseguente veloce convogliamento nei collettori idrici principali.

Tali condizioni sono ben chiaramente correlabili alle opere da realizzare per evitare il rischio di dissesti geologici ed idraulici, con particolare riferimento alla protezione spondale da fenomeni erosivi ed alla corretta realizzazione delle opere di captazione e smaltimento acque superficiali, oltreché a definire le misure precauzionale le opere al fine di tutelare le acque sotterranee dall'inquinamento.

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva delle classi di permeabilità litologica e formazionale desunte dai dati di prova.

**Tab. 2 – permeabilità delle formazioni**

Formazione di riferimento	Classe permeabilità litologica	K (cm/sec)
R (Riporti)	Bassa	$10^{-3} \div 10^{-5}$
a <sub>1</sub> (Frane attive)	Media	$10^{-1} \div 10^{-2}$
a <sub>2</sub> (Frane quiescenti)	Media	$10^{-2} \div 10^{-3}$
b <sub>1</sub> (Depositi alluvionali in evoluzione)	Alta	$10^{-1} \div 10^{-3}$
AES <sub>8</sub> , AES <sub>7</sub> , AES <sub>6</sub> (Depositi alluvionali terrazzati)	Alta	$10^{-1} \div 10^{-3}$
FAA <sub>p</sub> (Argille Azzurre – lit. pelitica)	Impermeabile	$10^{-8} \div 10^{-9}$
FAA <sub>ap</sub> (Argille Azzurre – lit. aren. pel)	Impermeabile	$10^{-7} \div 10^{-9}$
FAA <sub>a</sub> (Argille Azzurre – lit. arenacea)	Media	$10^{-3} \div 10^{-5}$
FAA <sub>e</sub> (Argille Azzurre – lit. a brecce di S. Maria Riopetra)	Impermeabile	$10^{-8} \div 10^{-10}$
RIL (Argille e Marne di Riolo Terme)	Molto Bassa	$10^{-5} \div 10^{-7}$
AVS (Argille varicolori)	Impermeabile	$10^{-8} \div 10^{-10}$

Dalla carta generale di permeabilità prodotta in scala 1:5000 (Elab.5) si desume come siano nettamente preminenti le classi di impermeabilità e bassa permeabilità.

Come evidente dalla carta di permeabilità di dettaglio prodotta in scala 1:1.000 (Elab.11), escludendo le coperture detritiche di frana che verranno asportate con lo scavo, l'area della discarica G3 interessata dalle opere è caratterizzata da terreni del substrato impermeabili.

## 8. Prove di archivio vallecchia Ginestreto 2 (G2)

In riferimento al progetto per la costruzione della discarica nel sito denominato Ginestreto 2, nel mese di giugno 2003 sono state eseguite prove di laboratorio a cura dell'Università Politecnica delle Marche Dipartimento di Fisica e Ingegneria dei Materiali e del Territorio. Il documento relativo riportante i risultati delle prove di laboratorio eseguite per ottenere i dati di progetto utili per eseguire le analisi necessarie a rispondere alla richiesta di integrazioni dell'Amministrazione Provinciale di Forlì-Cesena, Servizio di Pianificazione Territoriale Prot. 70723/02, comprendeva analisi che caratterizzano il substrato integro costituito da argille varicolori (AVV), Argille Azzurre (FAA) Litofacies Arenaceo-Pelitica (FAAap), ed il materiale che sarà utilizzato per la costruzione dei rilevati (argilla compattata e argilla compattata additivata con il 3% di calce).

Si riporta in allegato solo la parte inerente il substrato FAAp in quanto le argille varicolori (AVV) non affiorano nella vallecola G3 oggetto del presente studio.

Sul FAAp sono state eseguite prove di taglio diretto. In particolare, essendo questa formazione costituita da due materiali distinti, arenaria e pelite, cautelativamente tale formazione è stata caratterizzata mediante i parametri geotecnici relativi alla pelite che ha resistenza notevolmente inferiore all'arenaria. Negli allegati D, E ed F sono riportate le prove effettuate sui materiali prelevati, rispettivamente, dalle trincee 1, 2 e 3 (Elab.16).

## **9. Prove di archivio vallecola Ginestreto 4 (G4)**

Come evidente nella planimetria di ubicazione generale prove disponibili in scala 1:2.000 (Elab.6) la vallecola Ginestreto quattro (G4), posta al limite Est della vallecola G3 in studio, è stata indagata con prove di tipo diretto e prove di tipo indiretto.

Si riporta di seguito la sintesi delle campagne geognostiche eseguite.

### 9.1 Campagna geognostica 2006

Su incarico della Sogliano Ambiente s.p.a. nel Settembre 2006 è stata realizzata nella vallecola G4 una campagna geognostica preliminare dall'Impresa SOGEO snc di Lugo (sondaggi a carotaggio continuo ed installazione di sistema di monitoraggio mediante piezometri) e dall'Impresa GEO LOG di Ravenna (prove penetrometriche statiche).

Sui campioni prelevati nelle verticali di prova, sono state realizzate prove di laboratorio a cura del Laboratorio Tecnogeo di Cattolica.

Lo scrivente ha curato la direzione lavori, e tutte le indagini geologiche a supporto.

#### **● Sondaggi**

La campagna geognostica di tipo diretto è stata spinta a significativa profondità mediante n° 3 sondaggi a carotaggio continuo (S1-G4, S2-G4, S3-G4), che hanno raggiunto la profondità rispettivamente di 20 m, 18 m e 15 m, dal p.c. attuale.

La stratigrafia ricostruita dai testimoni di perforazione evidenzia quanto segue:

- i depositi detritici caotici sono costituiti da prevalenti limi argillosi di colore grigio-giallastro con lenti di sabbia limosa giallastra e livelletti limo-sabbiosi, e da argille grigie con variegature giallastre;
- i valori di pocket penetrometer e vane test evidenziano una variabilità di consistenza del deposito ( $P.P = 1.0 \text{ Kg/cmq} - 3,5 \text{ kg/cmq}$  e  $V.T = 0.40 \div 1,90$ );
- il substrato (FAAp) è stato rilevato rispettivamente a 8.60 m, 12.70 m e 9.40 m dal p.c. ed è costituito da argilla debolmente marnosa di colore grigio, molto compatta, con veli e livelli sabbiosi centimetrici.

Durante le fasi di perforazione non sono state rilevate nè perdite di acqua di circolazione, nè venute d'acqua.

- Prove di permeabilità in foro

Le prove di assorbimento in foro di sondaggio, come prescritto nelle linee guida per le discariche controllate per rifiuti solidi urbani, sono mirate principalmente a definire la permeabilità in sito della Formazione.

Nei fori di sondaggio S1 ed S3 sono state realizzate delle prove di permeabilità a carico variabile con il metodo di Lefranc.

Le prove sono state eseguite alle seguenti profondità:

Sondaggio n°	Profondità prova (m)	Litotipo interessato
S1	9.00-12.00	Substrato integro
S3	10.50-12.00	Substrato integro

Le prove eseguite evidenziano che nel substrato non si rilevano assorbimenti di acqua.

I litotipi interessati possono quindi considerarsi impermeabili (FAA<sub>p</sub>).

- Prove penetrometriche statiche

Le prove penetrometriche statiche sono state eseguite, mediante penetrometro Pagani TG73 da 20 tonnellate di spinta massima, installato su autocarro Mercedes Unimog a trazione integrale, impiegando una punta di infissione meccanica tipo Begemann dotata di manicotto.

Le prove penetrometriche statiche (CPT) sono state eseguite impiegando una punta di infissione meccanica tipo Begemann, procedendo secondo gli standard ISSMFE - Technical Committee on Penetration Testing (Orlando, USA 1988) e Cone Penetration Test (C.P.T.) - Internationale Reference Test Procedure

I dati registrati sono consistiti nella misura della resistenza alla penetrazione di punta e laterale dell'utensile, in fase di avanzamento, per intervalli di cm 20.

I valori così ricavati sono stati opportunamente elaborati, impiegando relazioni sperimentali di diffusa applicazione.

**- rapporto Rf% - caratterizzazione litologica**

$$Rf\% = \left( \frac{fs}{qc} \right) * 100$$

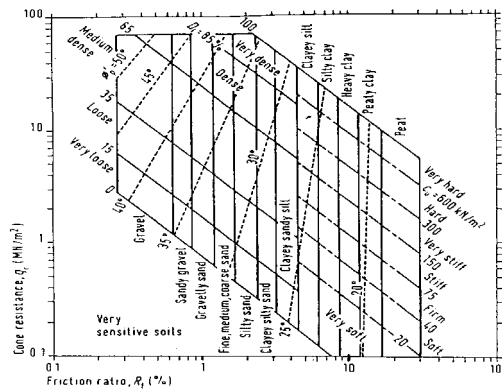
dove fs = resistenza unitaria di attrito sul manicotto

qc = resistenza unitaria sulla punta

Il rapporto Rf%, attraverso l'interpolazione proposta da Begemann, consente di differenziare le tipologie litologiche e distinguerle in relazione al loro comportamento geo-meccanico.

**- angolo di attrito efficace/coesione non drenata**

Il valore dell'angolo di attrito efficace, per i terreni a comportamento prevalentemente non coesivo, e la coesione non drenata, per i terreni limo-argillosi prevalenti, e' stato determinato impiegando diagramma integrato di interpretazione di Searle-79.



### - coeff. di compr. volumetrica (mv)

Il coeff. di compr. volumetrica e' stato determinato dalla relazione di Mitchell-Gardner<sup>75</sup>

$$mv = \frac{1}{(\alpha * q_{corr})}$$

dove  $\alpha$  è funzione generalmente del tipo litologico e del livello della qc raggiunto.

Per i valori della funzione  $\alpha$  sono stati impiegati i valori proposti da Sanglerat-79 e Lunne-81 che vengono assunti pari a:

terreni coesivi  $\alpha = 1.5$  per  $rf\% > 11.708$  e  $q_c \leq 7 \text{ kg/cm}^2$

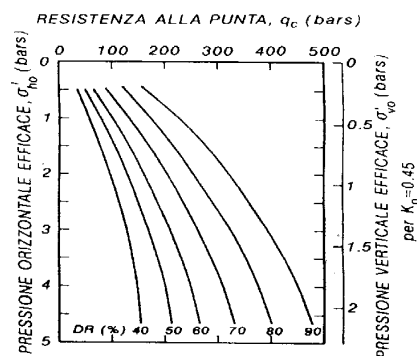
$\alpha = 2$  per  $q_c < 20 \text{ kg/cm}^2$

$\alpha = 3$  per  $q_c \geq 20 \text{ kg/cm}^2$

terreni incoerenti  $\alpha = 3$

### - densita' relativa (Dr%)

La densita' relativa dei terreni granulari e' stata determinata impiegando il diagramma di correlazione da Baldi et al.-82.



Le prove eseguite evidenziano quanto segue:

- il deposito detritico ha spessore variabile da un minimo di 2.60 m (CPT 1) ad un massimo di 11.60 m (CPT 7);
- il deposito detritico caotico mostra valori estremamente variabili di  $R_p$  e  $R_f$  con livelli più o meno addensati;
- sono presenti locali fenomeni di filtrazione nelle zone marcatamente sabbiose del deposito detritico;

- l'interpretazione litologica delle prove effettuate in base al rapporto  $q_c/f_s$  utilizzando la metodologia di Begemann evidenzia che il deposito detritico è costituito da prevalenti limi e argille con locali livelletti limo-sabbiosi e sabbiosi.

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva con la profondità del substrato riscontrata nelle nove verticali di prova.

Prova n°	Profondità substrato da p.c. (m)
CPT 1	2.60
CPT 2	10.20
CPT 3	3.40
CPT 4	4.80
CPT 5	7.20
CPT 6	10.40
CPT 7	11.60
CPT 8	9.00
CPT 9	8.00

#### ● Prove di laboratorio

Le prove eseguite sono state mirate al riconoscimento dei litotipi interessati, alla valutazione della loro permeabilità, ed alla caratterizzazione geotecnica e sono state sviluppate mediante le seguenti determinazioni:

- caratteristiche fisico meccaniche
- analisi granulometriche
- prove di permeabilità
- prove di taglio

Le prove eseguite evidenziano quanto segue:

#### *Coperture detritiche*

I campioni analizzati sono stati prelevati come segue:

Sondaggio n°	Campione n°	Profondità (m)
S1	C.I. 1	7.20-7.70
S2	C.I. 1	6.20-6.70
S3	C.I. 1	6.50-7.00

Le principali caratteristiche riscontrate sono così riassumibili

Proprietà indice			
	S1 Campione CI 1	S2 Campione CI 1	S3 Campione CI 1
W (%)	23.4	22.2	22.7
$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.97	2.01	2.01
$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.60	1.64	1.64
$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.72	2.71	2.72
e	0.700	0.652	0.659
S (%)	91	92	94



dove:

W = contenuto in acqua

$\gamma$  = peso di volume umido

$\gamma_d$  = peso di volume secco

$\gamma_s$  = peso specifico reale

e = indice dei vuoti

S = grado di saturazione

Granulometria			
	S1 Campione CI 1	S2 Campione CI 1	S3 Campione CI 1
Ghiaia (%)	0	0	0
Sabbia (%)	14	27	6
Limo (%)	52	45	58
Argilla (%)	34	28	36

Compressione			
	S1 Campione CI1	S2 Campione CI1	S3 Campione CI1
pocket penetrometer (kg/cm <sup>q</sup> )	q=1.0-1.3	q= 1.3-1.5	q= 2.3-2.7
vane test (kg/cm <sup>q</sup> )	Cu= 0.60	Cu= 0.70	Cu= 1.20

Prove di taglio			
	S1 Campione CI 1	S2 Campione CI 1	S3 Campione CI 1
C' (kg/cm <sup>q</sup> )	0.10	0.16	0.27
$\Phi'$ (°)	23	26	23

dove:

C' = coesione drenata

$\Phi'$  = angolo di attrito drenato

Formazione (FAA<sub>p</sub>)

I campioni analizzati sono stati prelevati come segue:

Sondaggio n°	Campione n°	Profondità (m)
S1	CD 1	17.30-17.70
S2	CD 1	15.00-15.40
S3	CD 1	14.00-14.40

Le principali caratteristiche riscontrate sono così riassumibili

Proprietà indice			
	S1 Campione CD 1	S2 Campione CD 1	S3 Campione CD 1
W (%)	15.3	15.6	12.4
$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.17	2.15	2.08
$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.88	1.86	1.85
$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.74	2.73	2.68
e	0.457	0.468	0.449
S (%)	92	91	74

dove:

W = contenuto in acqua

$\gamma$  = peso di volume umido

$\gamma_d$  = peso di volume secco

$\gamma_s$  = peso specifico reale

e = indice dei vuoti

S = grado di saturazione

Granulometria			
	S1 Campione CD 1	S2 Campione CD 1	S3 Campione CD 1
Ghiaia (%)	0	0	0
Sabbia (%)	1	2	31
Limo (%)	52	59	53
Argilla (%)	47	39	16

Limiti di Atterberg			
	S1 Campione CD 1	S2 Campione CD 1	S3 Campione CD 1
$W_L$	62	66	39
$W_P$	20	23	17
$I_P$	42	43	22

dove:

$W_L$  = Limite liquido

$W_P$  = Limite plastico

$I_P$  = Indice di plasticità

Permeabilità			
	S1 Campione CD 1	S2 Campione CD 1	S3 Campione CD 1
K (cm/sec)	$3.8 \cdot 10^{-9}$	$2.3 \cdot 10^{-9}$	$6.9 \cdot 10^{-7}$

Compressione			
	S1 Campione CD1	S2 Campione CD1	S3 Campione CD1
pocket penetrometer (kg/cmq)	$q > 5$	$q > 5$	$q > 5$
vane test (kg/cmq)	$C_u > 2$	$C_u > 2$	$C_u > 2$
E.L.L.	$C_u = 3.12 \text{ kg/cmq}$ $\varepsilon = 6,7\%$	$C_u = 2.18 \text{ kg/cmq}$ $\varepsilon = 5,9\%$	

dove

$C_u$  = coesione non drenata

$\varepsilon$  = Deformazione

Prove di taglio			
	S1 Campione CD 1	S2 Campione CD 1	S3 Campione CD 1
$C'$ (kg/cmq)	0.55	0.63	0.05
$\Phi'$ (°)	21	23	30

dove:

$C'$  = coesione drenata

$\Phi'$  = angolo di attrito drenato

Sulla base delle prove di laboratorio eseguite si rileva che i terreni indagati hanno un comportamento prevalentemente coesivo (limi argillosi localmente sabbiosi e argille). Le coperture hanno media consistenza, mentre il substrato è da compatto a molto compatto.

- Permeabilità substrato (FAAp)

Per passare ad una classificazione del terreno secondo i valori di  $K$  rilevati, e quindi definire la classe di permeabilità litologica di ogni litotipo, si è fatto riferimento allo schema di classificazione di Casagrande e Fadum (1940) ed ai conseguenti coefficienti di permeabilità ( $K$ ) espressi in  $\text{cm/s}$ , differenziando condizioni di permeabilità buona ( $K > 10^{-4} \text{ cm/s}$ ), scarsa ( $K \text{ tra } 10^{-4} \text{ e } 10^{-6} \text{ cm/s}$ ) e praticamente nulla ( $K < 10^{-6} \text{ cm/s}$ ).

Le prove di laboratorio, e le prove di permeabilità in foro, evidenziano che tutti i materiali prelevati ed analizzati (substrato) hanno un comportamento prevalentemente coesivo (limi argillosi e argille) ed evidenziano una permeabilità nulla ( $K \leq 10^{-8} \div 10^{-9} \text{ cm/sec}$ ).

- Sistema di monitoraggio

Le verticali di prova (sondaggi) sono state attrezzate con piezometro a tubo aperto tipo "Norton" in PVC ad alta resistenza tipo "Sireg  $\phi 3$ " con manto drenante in ghiaietto.

A fine perforazione, visto l'utilizzo di acqua per l'esecuzione dei sondaggi, si è provveduto al prosciugamento dei fori che risultavano praticamente colmi visti i terreni indagati (argille).

Si è di seguito provveduto alla esecuzione di una serie di controlli mediante freatimetro al fine di valutare la presenza di falda.

Le verifiche eseguite sono così riassumibili:

Piezometro	Fine perforazione	Controllo 20/9/06	Controllo 29/9/06	Controllo 3/10/06	Controllo 9/10/06	Controllo 13/10/06	Controllo 20/10/06
S1	15/09/2006	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto
S2	14/09/2006	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto
S3	14/09/2006	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto

### Campagna geognostica 2007

Su incarico della Sogliano Ambiente s.p.a. nel Febbraio 2007 è stata realizzata nella vallecola G4 una ulteriore campagna geognostica preliminare dall'Impresa SOGEO snc di Lugo (sondaggi a carotaggio continuo ed installazione di sistema di monitoraggio mediante piezometri ed inclinometri) e dall'Impresa GEO LOG di Ravenna (prove penetrometriche statiche).

Sui campioni prelevati nelle verticali di prova, sono state realizzate prove di laboratorio a cura del Laboratorio Tecnogeo di Cattolica.

Lo scrivente ha curato la direzione lavori, e tutte le indagini geologiche a supporto.

- Sondaggi

La campagna geognostica di tipo diretto è stata spinta a significativa profondità mediante n° 3 sondaggi a carotaggio continuo, che hanno raggiunto rispettivamente la profondità di 30 m, 10 m e 20 m dal p.c. attuale.

I sondaggi 4 e 5 hanno interessato zone dove sulla base delle cartografie ufficiali e dei rilevamenti di dettaglio il substrato è ascrivibile a FAAp, mentre il sondaggio 6 la zona dove il substrato è ascrivibile a FAAp.

La stratigrafia ricostruita dai testimoni di perforazione evidenzia quanto segue:

- i depositi detritici caotici sono costituiti da prevalenti limi argillosi di colore grigio-giallastro con lenti di sabbia limosa giallastra e livelletti limo-sabbiosi, e da argille grigie con variegature giallastre;
- i valori di pocket penetrometer e vane test evidenziano una variabilità di consistenza del deposito ( $P.P = 1.0 \text{ Kg/cm}^2 - 3,5 \text{ kg/cm}^2$  e  $V.T = 0.40 \div 1,90$ );
- il substrato (FAAp) è stato rilevato nei sondaggi 4 e 5 rispettivamente a 12.00 m, 0.80 m dal p.c. ed è costituito da argilla limosa di colore grigio, molto compatta;
- il substrato (FAAp) è stato rilevato nel sondaggio 6 a 12.00 m dal p.c. ed è costituito da argilla marnosa di colore grigio, molto compatta, con livelletti arenacei centimetrici.

Durante le fasi di perforazione non sono state rilevate nè perdite di acqua di circolazione, nè venute d'acqua.

#### ● Prove penetrometriche statiche

Le prove eseguite evidenziano quanto segue:

- il deposito detritico ha spessore variabile da un minimo di 4.40 m (CPT 15) ad un massimo di 10.00 m (CPT 14);
- il deposito detritico caotico mostra valori estremamente variabili di  $R_p$  e  $R_f$  con livelli più o meno addensati;
- sono presenti locali fenomeni di filtrazione nelle zone marcatamente sabbiose del deposito detritico;
- l'interpretazione litologica delle prove effettuate in base al rapporto  $q_c/f_s$  utilizzando la metodologia di Begemann evidenzia che il deposito detritico è costituito da prevalenti limi e argille con locali livelletti limo-sabbiosi e sabbiosi.

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva con la profondità del substrato riscontrata nelle sei verticali di prova.

Prova n°	Profondità substrato da p.c. (m)
CPT 10	6.40
CPT 11	8.60
CPT 12	8.20
CPT 13	7.80
CPT 14	10.00
CPT 15	4.40

#### ● Prove di laboratorio

Le prove eseguite sono state mirate al riconoscimento dei litotipi interessati, alla valutazione della loro permeabilità, ed alla caratterizzazione geotecnica e sono state sviluppate mediante le seguenti determinazioni:

- caratteristiche fisico meccaniche
- analisi granulometriche
- prove di permeabilità
- prove di taglio

Le prove eseguite evidenziano quanto segue:

*Formazione (FAA<sub>p</sub>)*

I campioni analizzati sono stati prelevati come segue:

Sondaggio n°	Campione n°	Profondità (m)
S4	CD 0	14.00-14.30
S4	CD 1	16.50-16.80
S4	CD 2	19.00-19.40
S4	CD 3	21.00-21.40
S4	CD 4	23.00-23.30
S4	CD 5	25.00-25.40
S4	CD 6	27.00-27.30
S4	CD 7	29.00-29.40
S5	CD 1	3.20-3.60
S5	CD 2	5.00-5.40
S5	CD 3	8.00-8.40

Le principali caratteristiche riscontrate sono così riassumibili

Proprietà indice											
	S4 CD 0	S4 CD 1	S4 CD 2	S4 CD 3	S4 CD 4	S4 CD 5	S4 CD 6	S4 CD 7	S5 CD 1	S5 CD 2	S5 CD 3
W (%)	14.7	15.4	15.5	14.1	14.2	14.4	15.2	13.1	12.9	13.5	13.6
$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.21	2.15	2.18	2.20	2.21	2.19	2.16	2.22	2.18	2.20	2.20
$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.93	1.86	1.89	1.93	1.94	1.92	1.88	1.96	1.93	1.94	1.94
$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.72	2.73	2.74	2.73	2.72	2.71	2.71	2.73	2.74	2.72	2.73
e	0.409	0.468	0.450	0.415	0.402	0.411	0.441	0.393	0.420	0.402	0.407
S (%)	98	90	94	93	96	95	93	91	84	91	91

dove:

W = contenuto in acqua

$\gamma$  = peso di volume umido

$\gamma_d$  = peso di volume secco

$\gamma_s$  = peso specifico reale

e = indice dei vuoti

S = grado di saturazione

Granulometria							
	S4 CD 0	S4 CD 1	S4 CD 2	S4 CD 4	S4 CD 6	S5 CD 1	S5 CD 3
Ghiaia (%)	0	0	0	0	0	0	0
Sabbia (%)	0	1	0	0	0	1	0
Limo (%)	61	59	58	60	64	58	60
Argilla (%)	39	40	42	40	36	41	40

Permeabilità			
	S4 CD 0	S4 CD 1	S4 CD 2
K (cm/sec)	1.20*10 <sup>-9</sup>	1.52*10 <sup>-9</sup>	1.01*10 <sup>-9</sup>

Compressione											
	S4 CD 0	S4 CD1	S4 CD2	S4 CD3	S4 CD4	S4 CD5	S4 CD6	S4 CD7	S5 CD1	S5 CD2	S5 CD3
pocket penetrometer (kg/cmq)	q>5	q>5	q>5	q>5	q>5	q>5	q>5	q>5	q>5	q>5	q>5
vane test (kg/cmq)	Cu>2	Cu>2	Cu>2	Cu>2	Cu>2	Cu>2	Cu>2	Cu>2	Cu>2	Cu>2	Cu>2

dove

Cu= coesione non drenata

Prove di taglio										
	S4 CD 0	S4 CD 1	S4 CD 3	S4 CD 4	S4 CD 5	S4 CD 6	S4 CD 7	S5 CD 1	S5 CD 2	S5 CD 3
C' (kg/cmq)	1.45	1.12	1.65	1.80	1.50	1.75	1.88	1.90	1.70	1.85
Φ' (°)	23	22	23	24	24	25	23	22	24	23

dove:

C' = coesione drenata

Φ' = angolo di attrito drenato

Prova edometrica					
Sondaggio Campione	Intervallo pressione σv (kg/cmq)	Coeff. consolidaz. Cv (mq/s)	Modulo edometrico E (kg/cmq)	Coeff. compressibilità Mv (cmq/kg)	Coeff. permeabilità K (cm/s)
S4-CD0	1.0-2.0	2.67*10 <sup>-4</sup>	222	4.50*10 <sup>-3</sup>	1.20*10 <sup>-9</sup>
	2.0-4.0	2.47*10 <sup>-4</sup>	250	4.00*10 <sup>-3</sup>	9.88*10 <sup>-10</sup>
	4.0-8.0	2.86*10 <sup>-4</sup>	333	300*10 <sup>-3</sup>	8.58*10 <sup>-10</sup>
S4-CD1	1.0-2.0	2.75*10 <sup>-4</sup>	181	5.52*10 <sup>-3</sup>	1.52*10 <sup>-9</sup>
	2.0-4.0	2.67*10 <sup>-4</sup>	210	4.76*10 <sup>-3</sup>	1.27*10 <sup>-9</sup>
	4.0-8.0	2.43*10 <sup>-4</sup>	266	3.76*10 <sup>-3</sup>	9.15*10 <sup>-10</sup>
S4-CD2	1.0-2.0	2.25*10 <sup>-4</sup>	222	4.50*10 <sup>-3</sup>	1.01*10 <sup>-9</sup>
	2.0-4.0	2.30*10 <sup>-4</sup>	250	4.00*10 <sup>-3</sup>	9.21*10 <sup>-10</sup>
	4.0-8.0	1.97*10 <sup>-4</sup>	285	3.51*10 <sup>-3</sup>	6.91*10 <sup>-10</sup>

Sulla base delle prove di laboratorio eseguite si rileva che i terreni indagati hanno un comportamento prevalentemente coesivo (limi argillosi localmente sabbiosi e argille).

Le coperture hanno media consistenza, mentre il substrato è da compatto a molto compatto.

#### ● Permeabilità substrato (FAAp)

Per passare ad una classificazione del terreno secondo i valori di K rilevati, e quindi definire la classe di permeabilità litologica di ogni litotipo, si è fatto riferimento allo schema di classificazione di Casagrande e Fadum (1940) ed ai conseguenti coefficienti di permeabilità (K) espressi in cm/s, differenziando condizioni di permeabilità buona ( $K > 10^{-4}$  cm/s), scarsa ( $K$  tra  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$  cm/s) e praticamente nulla ( $K < 10^{-6}$  cm/s).

Le prove di laboratorio, e le prove di permeabilità in foro, evidenziano che tutti i materiali prelevati ed analizzati (substrato) hanno un comportamento prevalentemente coesivo (limi argillosi e argille) ed evidenziano una permeabilità nulla ( $K \leq 10^{-8} \div 10^{-9} \text{ cm/sec}$ ).

- Permeabilità substrato (FAAap)

Per passare ad una classificazione del terreno secondo i valori di K rilevati, e quindi definire la classe di permeabilità litologica di ogni litotipo, si è fatto riferimento allo schema di classificazione di Casagrande e Fadum (1940) ed ai conseguenti coefficienti di permeabilità (K) espressi in cm/s, differenziando condizioni di permeabilità buona ( $K > 10^{-4} \text{ cm/s}$ ), scarsa ( $K \text{ tra } 10^{-4} \text{ e } 10^{-6} \text{ cm/s}$ ) e praticamente nulla ( $K < 10^{-6} \text{ cm/s}$ ).

Le prove di laboratorio, e le prove di permeabilità in foro, evidenziano che tutti i materiali prelevati ed analizzati (substrato) hanno un comportamento prevalentemente coesivo (limi argillosi e argille) ed evidenziano una permeabilità nulla ( $K \leq 10^{-8} \div 10^{-9} \text{ cm/sec}$ ).

## 9.2 Campagna geognostica 2014

Al fine di dare ulteriori informazioni al progettista ed al calcolatore geotecnico è stata concordata una campagna geognostica integrativa mirata alle opere per la realizzazione della discarica G4.

La campagna geognostica è stata sviluppata mediante esecuzione di:

- sondaggi a carotaggio continuo
- prove di laboratorio
- campagna geofisica

Si riportano di seguito le note tecniche relative alle indagini eseguite.

- Sondaggi

I sondaggi sono stati eseguiti per conto del Committente dalla Sogeo srl nel mese di Gennaio 2014.

La campagna geognostica di tipo diretto è stata spinta a significativa profondità mediante n° 3 sondaggi a carotaggio continuo (S7/14, S8/14 e S9/14), che hanno raggiunto la profondità rispettivamente di 20 m, 30 m e 30 m, dal p.c. attuale.

- Sondaggio S7/14

Il sondaggio è stato eseguito a valle della strada di accesso alle discariche in prossimità del Rio Morsano.

Come evidente dalla stratigrafia allegata, in superficie è presente materiale di riporto dello spessore di circa 2.80 m che costituisce il piazzale di servizio della cabina Enel.

Da -2.80 a -6.90 m si rileva la presenza dei depositi alluvionale del Rio Morsano costituiti da limi sabbiosi e limi argillosi e da un deposito di ghiaia in matrice limo sabbiosa dello spessore di 1.80 m.

Il substrato (FAAp), costituito da argillite di colore grigio, è stato rilevato a -6.90 m dal p.c. ed è stato indagato fino a fondo foro (-20 m dal p.c.)

- Sondaggio S8/14 e sondaggio S9/14

I sondaggi realizzati in prossimità della zona apicale della vallecchia, in adiacenza alla strada comunale di crinale (strada comunale Ginestreto) hanno evidenziato che al di sotto

di un ridotto cotico agrario (0.7-1.0 m) costituito da limo argilloso marrone, è presente il substrato (FAAp).

La parte superficiale fino a circa 4.00 m dal p.c. risulta alterata e fratturata, costituita da argillite di colore grigio con variegature marroni.

La parte profonda indagata nelle 2 verticali da -4.00 m a -30.00 m è costituita da argillite di colore grigio compatta.

Non è stata rilevata presenza di falda.

Durante le fasi di perforazione non sono state rilevate perdite di fluidi di perforazione.

Nelle tre verticali di prova sono state eseguite prove di permeabilità in foro entro il substrato, che hanno dato il seguente esito:

Sondaggio n°	Prova n°	Profondità (m)	Coeff. Permeabilità (k)
S7/14	1	9.00-10.00	$6.23 \cdot 10^{-8}$
S7/14	2	12.00-13.00	$3.49 \cdot 10^{-8}$
S8/14	1	3.00-4.00	$3.96 \cdot 10^{-9}$
S8/14	2	6.00-7.00	$5.79 \cdot 10^{-9}$
S9/14	1	3.00-4.00	$3.96 \cdot 10^{-9}$
S9/14	2	6.00-7.00	$2.98 \cdot 10^{-8}$

Le tre verticali di prova sono state attrezzate con piezometri tipo Norton e come evidente dalla loro localizzazione e dal loro schema di completamento hanno lo scopo di verificare rispettivamente la subalvea del Rio Morsano (dep. alluvionale), ed il substrato formazionale (FAAp).

Si riepiloga di seguito esito dei monitoraggi eseguiti:

Piezo (n°)	Tratto fenestrato (m)	Monit.	Controllo 22/01/14 (m)	Controllo 31/01/14 (m)	Controllo 07/02/14 (m)	Controllo 24/02/14 (m)	Controllo 24/03/14 (m)	Controllo 28/04/14 (m)	Controllo 27/05/14 (m)
S7/14	-3.0 ÷ -20.0	Subalvea	-3.28	-3.20	-3.00	-2,28	-2,87	-2,70	-3,24
S8/14	-6.0 ÷ -30.0	Substrato	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto
S9/14	-6.0 ÷ -30.0	Substrato	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto

Controllo 09/06/14 (m)	Controllo 20/06/14 (m)	Controllo 01/07/14 (m)	Controllo 08/07/14 (m)	Controllo 15/07/14 (m)	Controllo 31/07/14 (m)	Controllo 18/08/14 (m)	Controllo 25/08/14 (m)	Controllo 01/09/14 (m)
-3.62	-3.78	-3.82	-3.85	-3.90	-3,95	-4,12	-4,30	-4,45
Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto
Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto

Controllo 15/09/14 (m)	Controllo 01/10/14 (m)	Controllo 13/10/14 (m)	Controllo 27/10/14 (m)	Controllo 10/11/14 (m)	Controllo 18/11/14 (m)	Controllo 01/12/14 (m)	Controllo 10/12/14 (m)	Controllo 22/12/14 (m)
-4,50	-4,40	-4,42	-4,46	-4,40	-4,00	-3,90	-3,95	-3,80
Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto
Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto



Controllo 13/01/15 (m)	Controllo 22/01/15 (m)	Controllo 30/01/15 (m)	Controllo 06/02/15 (m)	Controllo 13/02/15 (m)	Controllo 13/03/15 (m)
-3,15	-3,20	-3,00	-2,80	-2,82	-2,75
Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto
Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto	Asciutto

● Prove di laboratorio

Al fine di integrare ulteriormente i dati disponibili su richiesta del Progettista nei sondaggi eseguiti nel 2014 sono stati prelevati campioni da sottoporre a prove di laboratorio.

Si riporta di seguito la tabella riepilogativa dei campioni sottoposti a prove a cura del Laboratorio geomeccanico Orazi di Pesaro

Sondaggio (n°)	Campione (n°)	Profondità (m)	Litotipo
S7/14	C1	7.10-7.50	Substrato integro FAAp
	C2	13.0-13.40	Substrato integro FAAp
S8/14	C1	3.40-3.80	Substrato alterato FAAp
	C2	8.00-8.40	Substrato integro FAAp
	C3	12.20-12.50	Substrato integro FAAp
S9/14	C1	2.10-2.40	Substrato alterato FAAp
	C2	9.60-10.00	Substrato integro FAAp
	C3	11.50-11.80	Substrato integro FAAp

Si riportano di seguito le tabelle riassuntive con le relative determinazioni eseguite

<i>proprietà indice</i>								
	Sond.S7/14 Camp. C1	Sond.S7/14 Camp. C2	Sond.S8/14 Camp. C1	Sond.S8/14 Camp. C2	Sond.S8/14 Camp. C3	Sond.S9/14 Camp. C1	Sond.S9/14 Camp. C2	Sond.s9/14 Camp. C3
W (%)	16,9	12,8	13,3	16,0	13,4	16,1	19,4	21,5
$\gamma$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,15	2,09	2,09	2,04	2,03	2,05	2,04	2,00
$\gamma_d$ (Mg/m <sup>3</sup> )	1,84	1,85	1,84	1,76	1,79	1,77	1,71	1,65
$\gamma_s$ (Mg/m <sup>3</sup> )	2,71	2,73	2,74	2,71	2,78	2,74	2,78	2,77
e	0,473	0,473	0,485	0,541	0,553	0,552	0,627	0,683
S (%)	0,97	0,74	0,75	0,80	0,67	0,80	0,86	0,87

dove:

W = contenuto in acqua

$\gamma$  = peso di volume umido

$\gamma_d$  = peso di volume secco

$\gamma_s$  = peso specifico reale

e = indice dei vuoti

S = grado di saturazione

<i>Granulometria</i>								
	Sond.S7/14 Camp. C1	Sond.S7/14 Camp. C2	Sond.S8/14 Camp. C1	Sond.S8/14 Camp. C2	Sond.S8/14 Camp. C3	Sond.S9/14 Camp. C1	Sond.S9/14 Camp. C2	Sond.S9/14 Camp. C3
Ghiaia (%)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabbia (%)	4,5	4,5	4,1	4,2	4,8	3,7	4,4	3,7
Limo (%)	48,9	48,7	51,2	54,7	44,6	61,0	40,6	40,9
Argilla (%)	46,6	46,9	44,7	41,1	50,6	35,3	55,0	55,4

<i>Limiti di consistenza</i>								
	Sond.S7/14 Camp. C1	Sond.S7/14 Camp. C2	Sond.S8/14 Camp. C1	Sond.S8/14 Camp. C2	Sond.S8/14 Camp. C3	Sond.S9/14 Camp. C1	Sond.S9/14 Camp. C2	Sond.S9/14 Camp. C3
L.Liquid. %	63	62	64	62	66	51	74	73
Ind.plast. %	37	38	34	37	41	32	46	45
Ind.consist.	1,25	1,29	1,49	1,24	1,28	1,09	1,19	1,14
Ind.liquidità	-0,25	-0,29	-0,49	-0,24	-0,28	-0,09	-0,19	-0,14

<i>Classificazione</i>								
	Sond.S7/14 Camp. C1	Sond.S7/14 Camp. C2	Sond.S8/14 Camp. C1	Sond.S8/14 Camp. C2	Sond.S8/14 Camp. C3	Sond.S9/14 Camp. C1	Sond.S9/14 Camp. C2	Sond.S9/14 Camp. C3
U.N.I. 10006	A7-6	A7-6	A7-5	A7-6	A7-6	A7-6	A7-6	A7-6
U.S.C.S	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH	CH

<i>Prove di taglio diretto (picco)</i>					
	Sond. S7/14 Camp. C1	Sond. S8/14 Camp. C1	Sond. S8/14 Camp. C3	Sond. S9/14 Camp. C1	Sond. S9/14 Camp. C3
C' (KPa)	42,0	52,1	46,0	57,8	20,6
Φ' (°)	21,1	22,2	20,0	22,1	24,2

dove:

C' = coesione intercetta

Φ' = angolo di attrito drenato

<i>Edometro</i>			
	Sond. S7/14 Camp. C1	Sond. S8/14 Camp. C1	Sond. S9/14 Camp. C2
Modulo edometrico (98,1-196,1 KPa)	-----	-----	-----
Modulo edometrico (196,1-392,3 KPa)	134.826	80.874	33.098
Modulo edometrico (392,3-784,6 KPa)	60.637	51.477	25.090

dove:

E = modulo edometrico

Cv = coefficiente di consolidazione

K = coefficiente di permeabilità

<i>Compressione</i>								
	Sond.S7/14 Camp. C1	Sond.S7/14 Camp. C2	Sond.S8/14 Camp. C1	Sond.S8/14 Camp. C2	Sond.S8/14 Camp. C3	Sond.S9/14 Camp. C1	Sond.S9/14 Camp. C2	Sond.S9/14 Camp. C3
pocket penetrometer (kg/cm <sup>2</sup> )	> 5,0	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0	>5,0
Vane test (kg/cm <sup>2</sup> )	>2,0	>2,0	>2,0	>2,0	>2,0	>2,0	>2,0	>2,0
ELL (KPa)	-----	256	265	216	-----	317	-----	-----

<i>Permeabilità</i>								
	Sond.S7/14 Camp. C1	Sond.S7/14 Camp. C2	Sond.S8/14 Camp. C1	Sond.S8/14 Camp. C2	Sond.S8/14 Camp. C3	Sond.S9/14 Camp. C1	Sond.9/14 Camp. C2	Sond.9/14 Camp. C3
Coeff.permeab. (m/s)	8,1*10 <sup>-11</sup>	9,1*10 <sup>-11</sup>	1,0*10 <sup>-10</sup>	7,8*10 <sup>-11</sup>	3,7*10 <sup>-11</sup>	1,2*10 <sup>-10</sup>	4,9*10 <sup>-11</sup>	6,1*10 <sup>-11</sup>

Di seguito nel Giugno 2014, su richiesta del progettista geotecnico e strutturale, sono state eseguite ulteriori prove sia in sito che di laboratorio al fine di approfondire la conoscenza del comportamento geomeccanico del substrato e la situazione idrogeologica che lo interessa.

Sono state effettuate delle prove triassiali di grande diametro seguendo il metodo "multistage triaxial test" su campioni prelevati in apposite trincee eseguite al fine di mettere in luce il substrato (FAAp e FAAap).

In sito sono stati fatti prelievi di materiale in 8 punti individuati con la sigla da T1 a T8. Non tutti i campioni estratti sono risultati idonei per l'esecuzione delle prove. I campioni analizzati sono stati così identificati:

trincea n°	Campione n°	Litotipo
T1	T1-1	Substrato FAAp
	T1-4	Substrato FAAp
	T1-5	Substrato FAAp
	BT1	Substrato FAAp
T2	T2.3	Substrato FAAp
	T2.6	Substrato FAAp
T3	BT3	Substrato FAAap
T6	BT6	Substrato FAAap
T8	T8.2	Substrato FAAap
	BT8	Substrato FAAap

In base alle caratteristiche del materiale e alle dimensioni dei campioni è stato stabilito il tipo di prove da fare.

Si riassumono di seguito in tabella gli esiti delle prove di laboratorio integrative.

<i>Prove di taglio</i>				
	BT1	BT3	BT6	BT8
C' (KPa)	146,8	125,0	124,2	121,5
Φ' (°)	23	23,5	21,4	20,8

dove:

C' = coesione intercetta

Φ' = angolo di attrito drenato

<i>Prove triassiali U.U. e C.I.U.</i>						
	T1-1	T1-4	T1-5	T2-3	T2-6	T8-2
CU (KPa)	366,9				414,2	
C (KPa)		46	82,1	60,2		105,5
Φ (°)		22,7	21,7	20,1		23
K (m/s)		5,9x10 <sup>-10</sup>		3,4x10 <sup>-10</sup>		4,9x10 <sup>-10</sup>

dove:

CU = coesione non drenata (U.U.)

C = coesione intercetta (C.I.U.)

$\Phi$  = angolo di resistenza al taglio

K = coefficiente permeabilità

### 9.3 Realizzazione prove in sito integrative 2014

Ad integrazione dei dati disponibili è stata sviluppata, su richiesta del progettista geotecnico e strutturale, una campagna geognostica integrativa mediante:

- esecuzione di n° 3 sondaggi a carotaggio continuo, profondi 40 m attrezzati per esecuzione Down-hole;
- esecuzione di n° 2 piezometri perforati a distruzione, profondi 20 m attrezzati con tubazione microfessurata atta alla verifica del substrato formazionale (FAAp e FAAp);
- esecuzione di n° 8 trincee esplorative per prelievo campioni da sottoporre a prove di laboratorio ed installazione piezometri;
- esecuzione di n° 8 prove di permeabilità in sito mediante il metodo Double Stage Boutwell Permeameter (T SB).

I 3 sondaggi per esecuzione Down-hole (S10/14, S11/14, S12/14) sono stati eseguiti mediante sonda perforatrice CMV mod. MK 900 D1, ad azionamento oleodinamico, installata su trattore cingolata.

Si riporta di seguito la descrizione di quanto rilevato nei 3 perfori:

#### ■ Sondaggio S10/14

Il sondaggio è stato eseguito nella zona terminale della vallecchia G4 in corrispondenza della zona interessata da substrato ascrivibile a FAAp, la dove verrà realizzata l'opera di contenimento di piede.

Come evidente dalla stratigrafia allegata, in superficie è presente limo argilloso di colore marrone chiaro fino a -4,00 m dal p.c.

Si passa poi ad argilla limosa di colore grigio con variegature marrone chiaro fino a -9,00 m dal p.c.

Il substrato (FAAp), costituito da argillite di colore grigio rilevato a -9,00 m, è stato indagato fino a -40,0 m dal p.c.

Non è stata rilevata presenza di falda.

#### ■ Sondaggio S11/14

Il sondaggio è stato eseguito nella parte centrale della vallecchia G4 in corrispondenza della zona interessata da substrato ascrivibile a FAAp.

Come evidente dalla stratigrafia allegata, in superficie è presente limo argilloso di colore grigio-marrone fino a -8,30 m dal p.c.; si passa poi ad argillite di colore grigio con variegature marroni, lievemente alterata fino a -10,00 m dal p.c.

Il substrato (FAAp), costituito da argillite di colore grigio con livelli centimetrici di sabbia addensata è stato indagato fino a -40,0 m dal p.c.

Non è stata rilevata presenza di falda.

#### ■ Sondaggio S12/14

Il sondaggio è stato eseguito nella zona apicale della vallecchia G4 in adiacenza alla strada comunale di crinale (strada comunale Ginestreto).

Come evidente dalla stratigrafia allegata in superficie è presente argilla limosa di colore marrone chiaro-grigio fino a -1,80 m dal p.c.

Il substrato (FAA<sub>p</sub>) è stato indagato da -1,80 m a -40,00 m dal p.c.

Non è stata rilevata presenza di falda.

I 3 sondaggi sono stati attrezzati mediante tubazione PVC spessore >3 mm, diametro 3'' cementata mediante miscela cemento-acqua-bentonite con tubo iniezione, al fine di consentire l'esecuzione delle prove Down-hole.

I 2 piezometri integrativi (S13/14 e S14/14) sono stati eseguiti rispettivamente a fianco del sondaggio S10/14 e S11/14, al fine di monitorare eventuali fenomeni di filtrazione entro il substrato.

A tal fine sono stati attrezzati mediante tubazione in PVC  $\Phi$  2'' cieca fino a -12,00 m dal p.c. e poi fino a fondo foro (20 m) con tubo in PVC  $\Phi$  2'' microfessurato protetto da tessuto non tessuto.

Il drenaggio è stato realizzato mediante ghiaietto calibrato da -12,0 m a -20,0 m; la cementazione è stata realizzata da p.c. fino a -12,0 m con miscela cemento-acqua-bentonite.

Si riepiloga di seguito esito dei monitoraggi eseguiti:

Piezo (n°)	Prof (m)	Tratto fenestrato (m)	Monit.	Controllo 09/06/14 (m)	Controllo 20/06/14 (m)	Controllo 01/07/14 (m)	Controllo 08/07/14 (m)	Controllo 15/07/14 (m)	Controllo 31/07/14 (m)
S13/14	20	12,0-20,0	Substrato (BOEp)	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto
S14/14	20	12,0-20,0	Substrato (BOEp)	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto

Controllo 18/08/14 (m)	Controllo 25/08/14 (m)	Controllo 01/09/14 (m)	Controllo 15/09/14 (m)	Controllo 01/10/14 (m)	Controllo 13/10/14 (m)	Controllo 27/10/14 (m)	Controllo 10/11/14 (m)	Controllo 18/11/14 (m)
asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto
asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto

Controllo 01/12/14 (m)	Controllo 10/12/14 (m)	Controllo 22/12/14 (m)	Controllo 13/01/15 (m)	Controllo 22/01/15 (m)	Controllo 30/01/15 (m)	Controllo 06/02/15 (m)	Controllo 13/02/15 (m)	Controllo 13/03/15 (m)
asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto
asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto

Le 8 prove di permeabilità sono state realizzate nel substrato messo in luce mediante esecuzione di 8 trincee eseguite con escavatore.

Le prove eseguite hanno dato il seguente esito:

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
K1 (m/s)	$7,9 \times 10^{-10}$	$6,5 \times 10^{-10}$	$9,5 \times 10^{-11}$	$6,6 \times 10^{-10}$	$2,6 \times 10^{-10}$	$5,0 \times 10^{-10}$	$3,2 \times 10^{-10}$	$3,8 \times 10^{-10}$
K2 (m/s)	$9,7 \times 10^{-10}$	$9,0 \times 10^{-10}$	$1,8 \times 10^{-10}$	$9,9 \times 10^{-10}$	$6,4 \times 10^{-10}$	$9,0 \times 10^{-10}$	$7,3 \times 10^{-10}$	$6,4 \times 10^{-10}$

dove:

K1 = coefficiente di permeabilità Fase 1

K2 = coefficiente di permeabilità Fase 2

#### 9.4 Campagna geofisica

Si riporta di seguito sintesi delle indagini geofisiche realizzate dal Dott. Geol. Francesco Stragapede (Soil Prospecting) per conto del Committente.

##### ● Down-Hole

Sono state eseguite n° 3 verticali identificate con le sigle S10/14, S11/14, S12/14 attrezzate con tubazione cementata per esecuzione prove Down-Hole.

L'indagine integrativa di tipo geofisico, è stata condotta attraverso prospezione sismica in foro, eseguita in corrispondenza di n.3 sondaggi geognostici specificatamente attrezzati, agibili con la strumentazione impiegata sino alla profondità rispettivamente di 38 m, 41 m e 41 m.

L'indagine è stata mirata a definire le caratteristiche tecniche e geometriche dei terreni nel sottosuolo, a supporto dello studio tecnico progettuale degli interventi di sistemazione della vallecchia, a definire la locale categoria di sottosuolo, ai sensi delle Ordinanze P.C.M. n.3274/03 e P.C.M. n.3362/04 e dell'Atto di indirizzo e coord. tec. regionale n.2131/07, ed a validare le analisi di Microzonazione Sismica, già sviluppate sulla base di rilievi di superficie a rifrazione con analisi MASW e Re.Mi. dei dati.

##### *Indagine sismica Down-Hole*

Il profilo sismo-stratigrafico derivato dall'analisi dei valori di velocità delle onde elastiche longitudinali o Prime e di taglio o Secondarie, nell'ambito della profondità di investigazione Down-Hole, consente di delineare lo scenario di seguito descritto.

I terreni più superficiali, riferibili a sedimenti di copertura, detritici ed eluvio-colluviali, sono qualificati da valori di velocità delle onde longitudinali mediamente inferiori a 500 m/sec e da valori delle velocità delle onde S di 150-200 m/sec.

I terreni di alterazione del substrato, presenti a maggiore profondità, sono qualificati da valori di velocità delle onde longitudinali dell'ordine di 800 m/sec e da valori di velocità delle onde seconde di 300-400 m/sec.

I termini meno alterati del substrato sono caratterizzati, per il maggiore spessore, da velocità delle onde longitudinali comprese tra 1400 m/sec e 2500 m/sec, talvolta anche superiori, e da velocità delle onde S variabili tra 600 m/sec e 700 m/sec. Alla maggiore profondità di investigazione i valori di velocità delle onde S risultano raggiungere valori di 750-850 m/sec, con locali incrementi sino a 950 m/sec.

##### *Note sulla categoria di suolo- D.M. 14.01.2008*

In riferimento alle restituzioni sulle verticali di riferimento delle velocità delle onde S, è stata verificata la "categoria di suolo" del sito in esame, in riferimento alle specifiche di cui al D.M. 14.01.2008, a seguire il D.M. 14.09.2005 già OPCM n.3274/03, assumendo quale quota di riferimento quella della testa delle tubazioni di completamento dei sondaggi

attrezzati.

Il valore della  $V_{s30}$  medio sulle verticali di controllo resta determinato attraverso la relazione generale

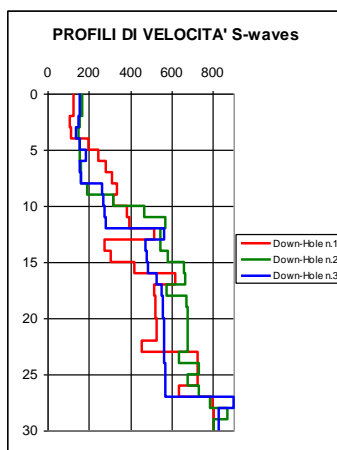
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove  $V_{s30}$  è la velocità sismica ponderata su 30 m delle onde trasversali

$h_i$  è lo spessore dell'orizzonte  $i$ esimo nei 30 m di riferimento

$V_i$  è la velocità delle onde S dell'orizzonte  $i$ esimo di spessore  $h_i$

L'andamento dei profili di velocità, nello spessore di 30 m dal piano di riferimento, di seguito illustrati



calcolano un valore di  $V_{s30}$  rispettivamente di 332 m/sec, 354 m/sec e 326 m/sec, con valore medio di **335 m/sec**, compatibile con terreni della **categoria** semplificata di **sottosuolo C**, di cui alla tabella §3.2.II del DM 14.01.08, rappresentata da depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a m 30 e caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità delle  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/sec e di 360 m/sec.

In riferimento alla quota ultima di progetto, che prevede l'allontanamento dei sedimenti di copertura e quelli di alterazione del substrato, il valore della  $V_{s30}$  risulta incrementarsi sensibilmente e permette di riclassificare la categoria di suolo in riferimento alla tabella §3.2.II del DM 14.01.08, riconducendo lo scenario di pericolosità sismica locale a quello riferibile alla **categoria di sottosuolo B**, rappresentata da rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a m 30 e caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/sec e di 800 m/sec.

## 10. Indagini di dettaglio per progetto discarica G3

Nel presente capitolo vengono descritte le prove in sito di tipo diretto, indiretto, geofisico e di laboratorio eseguite nel sedime specifico di intervento.

### 10.1 Indagine preliminare G3 - 2006

Su incarico della Sogliano Ambiente s.p.a. nel 2006 è stata realizzata nella vallecola G3 una campagna geognostica preliminare dall'Impresa SOGEO snc di Lugo (sondaggi a carotaggio continuo ed installazione di sistema di monitoraggio mediante piezometri) e dall'Impresa GEO LOG di Ravenna (prove penetrometriche statiche).

Sui campioni prelevati nelle verticali di prova, sono state realizzate prove di laboratorio a cura del Laboratorio Tecnogeo di Cattolica.

Lo scrivente ha curato la direzione lavori, e tutte le indagini geologiche a supporto.

La zona di indagine riguarda la vallecola denominata Ginestreto Tre (G3), posta a Est della vallecola Ginestreto 2 (G2) sede della discarica esaurita e recuperata ambientalmente, e ad Ovest della vallecola Ginestreto 4 (G4) sede della discarica in esercizio.

#### ● Sondaggi

La campagna geognostica di tipo diretto è stata spinta a significativa profondità mediante n° 1 sondaggio a carotaggio continuo (S1 - G3), che ha raggiunto la profondità di 25 m dal p.c. attuale.

La stratigrafia ricostruita dai testimoni di perforazione evidenzia quanto segue:

- i depositi detritici caotici (a<sub>2</sub>) sono costituiti da prevalenti limi argillosi di colore grigio-giallastro con lenti di sabbia limosa giallastra, e da argille grigie con variegature giallastre;
- i valori di pocket penetrometer e vane test evidenziano una variabilità di consistenza del deposito ( $P.P = 1.0 \text{ Kg/cm}^2$  -  $>6 \text{ kg/cm}^2$  e  $V.T = 0.50-1.90$ );
- il substrato (FAA<sub>p</sub>) è stato rilevato a 15.20 m dal p.c. ed è costituito da argilla debolmente marnosa di colore grigio, molto compatta, con veli sabbiosi.

Durante le fasi di perforazione non sono state rilevate nè perdite di acqua di circolazione, nè venute d'acqua.

#### ● Prove penetrometriche

Le prove penetrometriche statiche sono state eseguite, mediante penetrometro Pagani TG73 da 20 tonnellate di spinta massima, installato su autocarro Mercedes Unimog a trazione integrale, impiegando una punta di infissione meccanica tipo Begemann dotata di manicotto, procedendo secondo gli standard ISSMFE - Technical Committee on Penetration Testing (Orlando, USA 1988) e Cone Penetration Test (C.P.T.) - Internationale Reference Test Procedure.

I dati registrati riguardano la misura della resistenza alla penetrazione di punta ( $R_p$ ) e di resistenza all'attrito laterale locale ( $R_f$ ), in fase di avanzamento, per intervalli di 20 cm.

L'analisi dei dati forniti dalle prove in sito eseguite ha permesso di ricostruire la stratigrafia del sottosuolo in esame, anche mediante il confronto dei dati diretti ed indiretti disponibili.

L'interpretazione litologica delle prove penetrometriche è effettuata in base al rapporto  $F = q_c / f_s$  tra la resistenza alla punta e la resistenza laterale del penetrometro e utilizzando la



metodologia di Begemann (1965 - A.G.I. 1977):

Interpretazione litologica di Begemann (1965)

<b>F= qc/fs</b>	<b>Natura litologica</b>	<b>Proprietà</b>
F<15	Torbe ed argille organiche	Coesive
15<F≤30	Limi ed argille	Coesive
30<F≤60	Limi sabbiosi e sabbie limose	Granulari
F>60	Sabbie e sabbie con ghiaia	Granulari

Le prove eseguite evidenziano quanto segue:

- il deposito detritico ha spessore variabile da un minimo di 4.60 m (CPT 3) ad un massimo di 13.80 m (CPT 5);
- il deposito detritico caotico mostra valori estremamente variabili di  $R_p$  e  $R_f$  con livelli più o meno addensati;
- sono presenti locali fenomeni di filtrazione nelle zone marcatamente sabbiose del deposito;
- l'interpretazione litologica delle prove effettuate in base al rapporto  $qc/fs$  utilizzando la metodologia di Begemann evidenzia che il deposito è costituito da prevalenti limi e argille con locali livelletti limo-sabbiosi.

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva con la profondità del substrato riscontrata nelle otto verticali di prova.

<b>Prova n°</b>	<b>Profondità substrato da p.c. (m)</b>
CPT 1	12.40
CPT 2	7.00
CPT 3	4.60
CPT 4	10.80
CPT 5	13.80
CPT 6	7.60
CPT 7	9.00
CPT 8	11.40

● Prove di permeabilità in foro

Nel foro di sondaggio S1 sono state realizzate delle prove di permeabilità a carico variabile con il metodo di Lefranc alle seguenti profondità:

<b>Sondaggio n°</b>	<b>Profondità prova (m)</b>	<b>Litotipo interessato</b>
S1	23.0-24.0	Substrato integro

La prova eseguita evidenzia che nel substrato non si rilevano assorbimenti di acqua. I litotipi interessati possono quindi considerarsi impermeabili.

● Prove di laboratorio.

Sui campioni prelevati nella verticale di prova sono state realizzate delle prove dal laboratorio Tecnogeo di Cattolica.

Le prove eseguite sono state mirate al riconoscimento dei litotipi interessati, alla valutazione della loro permeabilità, ed alla caratterizzazione geotecnica e sono state sviluppate mediante le seguenti determinazioni:

- caratteristiche fisico meccaniche
- analisi granulometriche
- prove di permeabilità
- prove di taglio

Le prove eseguite evidenziano quanto segue:

#### *Coperture detritiche*

I campioni analizzati sono stati prelevati come segue:

Sondaggio n°	Campione n°	Profondità (m)
S1	C.I. 1	4.40-5.00
S1	C.I. 2	8.60-9.20

Le principali caratteristiche riscontrate sono così riassumibili

Proprietà indice		
	Campione CI 1	Campione CI 2
W (%)	14.8	21.8
$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.08	2.05
$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.81	1.68
$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.68	2.73
e	0.481	0.625
S (%)	82	95

dove:

W = contenuto in acqua

$\gamma$  = peso di volume umido

$\gamma_d$  = peso di volume secco

$\gamma_s$  = peso specifico reale

e = indice dei vuoti

S = grado di saturazione

Granulometria		
	Campione CI 1	Campione CI 2
Ghiaia (%)	0	0
Sabbia (%)	48	11
Limo (%)	40	58
Argilla (%)	12	31

Compressione		
	Campione CI 1	Campione CI 2
pocket penetrometer (kg/cm <sup>2</sup> )	q >5	q = 2.5-3.0
vane test (kg/cm <sup>2</sup> )	Cu = 2.0	Cu = 1.30

dove

$C_u$  = coesione non drenata

Prove di taglio		
	Campione CI 1	Campione CI 2
$C'$ (kg/cmq)	0.10	0.18
$\Phi'$ (°)	29	23

dove:

$C'$  = coesione drenata

$\Phi'$  = angolo di attrito drenato

*Formazione (FAAap)*

I campioni analizzati sono stati prelevati come segue:

Sondaggio n°	Campione n°	Profondità (m)
S1	CD 1	16.50-16.80
S1	CD 2	23.00-23.30

Le principali caratteristiche riscontrate sono così riassumibili

Proprietà indice		
	Campione CD 1	Campione CD 2
W (%)	15.4	14.9
$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.19	2.20
$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.90	1.92
$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.73	2.75
e	0.437	0.432
S (%)	96	95

dove:

W = contenuto in acqua

$\gamma$  = peso di volume umido

$\gamma_d$  = peso di volume secco

$\gamma_s$  = peso specifico reale

e = indice dei vuoti

S = grado di saturazione

Granulometria		
	Campione CD 1	Campione CD 2
Ghiaia (%)	0	0
Sabbia (%)	0	1
Limo (%)	52	50
Argilla (%)	48	49

Permeabilità		
	Campione CD 1	Campione CD 2
K (cm/sec)	$2 \cdot 10^{-9}$	$2.3 \cdot 10^{-9}$

Compressione		
	Campione CD 1	Campione CD 2
pocket penetrometer (kg/cm <sup>2</sup> )	q > 5.0	q > 5.0
vane test (kg/cm <sup>2</sup> )	Cu > 2.0	Cu > 2.0

dove Cu= coesione non drenata

Prove di taglio		
	Campione CD 1	Campione CD 2
C' (kg/cm <sup>2</sup> )	0.90	0.77
Φ' (°)	20	21

dove:

C' = coesione drenata

Φ' = angolo di attrito drenato

Sulla base delle prove di laboratorio eseguite si rileva che:

- i terreni detritici di copertura (frana) hanno un comportamento prevalentemente coesivo (limo con argilla), ma localmente possono avere una componente sabbiosa prevalente là dove sono stati inglobate parti arenacee e sabbiose del FAAp (campione CI1);
- i terreni del substrato hanno un comportamento prevalentemente coesivo (limi argillosi);
- le coperture detritiche hanno media consistenza;
- il substrato è da compatto a molto compatto;
- il substrato è impermeabile.

#### ● Permeabilità

Per passare ad una classificazione del terreno secondo i valori di K rilevati, e quindi definire la classe di permeabilità litologica di ogni litotipo, si è fatto riferimento allo schema di classificazione di Casagrande e Fadum (1940) ed ai conseguenti coefficienti di permeabilità (K) espressi in cm/s, differenziando condizioni di permeabilità buona ( $K > 10^{-4}$  cm/s), scarsa ( $K$  tra  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$  cm/s) e praticamente nulla ( $K < 10^{-6}$  cm/s).

Le prove di laboratorio e le prove di permeabilità in foro evidenziano che tutti i materiali prelevati ed analizzati hanno un comportamento prevalentemente coesivo (limi argillosi e argille) ed evidenziano una permeabilità nulla ( $K \leq 10^{-8} \div 10^{-9}$  cm/sec).

#### ● Sistema di monitoraggio

La verticale di prova (Sondaggi S1) è stata attrezzata con piezometro a tubo aperto tipo "Norton" in PVC ad alta resistenza tipo "Sireg  $\phi$  3" con manto drenante in ghiaietto.

A fine perforazione, visto l'utilizzo di acqua per l'esecuzione dei sondaggi, si è provveduto al prosciugamento dei fori che risultavano praticamente colmi visti i terreni indagati (argille).

Si è di seguito provveduto alla esecuzione di una serie di controlli mediante freatimetro al fine di valutare la presenza di falda.

Le verifiche eseguite sono così riassumibili:

Piezometro	Fine perforazione	Controllo 29/09/06	Controllo 03/10/06	Controllo 09/10/06	Controllo 13/10/06
S1	13/09/2006	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto

### 10.2 Indagine preliminare G3 – 2008

Su incarico della Sogliano Ambiente s.p.a. nel Settembre 2008 è stata realizzata nella vallecchia G3 una ulteriore campagna geognostica preliminare dall'Impresa SOGEO snc di Lugo (sondaggi a carotaggio continuo ed installazione di sistema di monitoraggio mediante piezometri ed inclinometri) e dall'Impresa GEO LOG di Ravenna (prove penetrometriche statiche).

Sui campioni prelevati nelle verticali di prova, sono state realizzate prove di laboratorio a cura del Laboratorio Tecnogeo di Cattolica.

Lo scrivente ha curato la direzione lavori, e tutte le indagini geologiche a supporto.

#### ● Sondaggi

La campagna geognostica di tipo diretto è stata spinta a significativa profondità mediante n° 4 sondaggi a carotaggio continuo, identificati con le sigle S1, S2, S3, S4 che hanno raggiunto rispettivamente la profondità di 20 m, 30 m, 30 m e 20 m dal p.c. attuale.

La stratigrafia ricostruita dai testimoni di perforazione evidenzia quanto segue:

- i depositi detritici caotici ( $a_2$ ) sono costituiti da prevalenti limi argillosi di colore grigio-marrone-giallastro con lenti di sabbia limosa giallastra, e da argille grigie con variegature giallastre;
- i valori di pocket penetrometer e vane test evidenziano una variabilità di consistenza del deposito ( $P.P = 1.0 \text{ Kg/cm}^2 - >6 \text{ kg/cm}^2$  e  $V.T = 0.50-1.90$ );
- il substrato integro ( $FAA_p$ ) è stato rilevato nei sondaggi S2, S3, S4 a profondità variabile tra 7.50 m e 9.00 m dal p.c. ed è costituito da argilla debolmente marnosa di colore grigio, molto compatta, con veli sabbiosi;
- il substrato integro ( $FAA_{ap}$ ) è stato individuato nel sondaggio S1 a profondità di 6.00 m dal p.c. ed è costituito da argilla marnosa di colore grigio molto consistente.

Durante le fasi di perforazione non sono state rilevate nè perdite di acqua di circolazione, nè venute d'acqua.

#### ● Prove penetrometriche

Le prove penetrometriche statiche sono state eseguite nel maggio 2008, mediante penetrometro Pagani TG73 da 20 tonnellate di spinta massima.

Le prove eseguite evidenziano quanto segue:

- le CPT 1, 2, 3, 4, 9, 11, 12, 13, 14, 15 e 16 hanno interessato il deposito detritico di frana;
- le CPT 5, 6, 7, 8, 10 hanno interessato il deposito detritico di alterazione formazionale;
- il deposito detritico ha spessore variabile da un minimo di 2.20 m (CPT 9) ad un massimo di 17.80 m (CPT 2);
- il deposito detritico caotico mostra valori estremamente variabili di  $R_p$  e  $R_f$  con livelli più o meno addensati;
- sono presenti locali fenomeni di filtrazione nelle zone marcatamente sabbiose del deposito;

- l'interpretazione litologica delle prove effettuate in base al rapporto  $q_c/f_s$  utilizzando la metodologia di Begemann evidenzia che il deposito è costituito da prevalenti limi e argille con locali livelletti limo-sabbiosi.

Si riporta di seguito la tabella riassuntiva con la profondità del substrato riscontrata nelle otto verticali di prova.

Prova n°	Profondità substrato da p.c. (m)
CPT 1	10.80
CPT 2	17.80
CPT 3	16.40
CPT 4	16.00
CPT 5	4.00
CPT 6	4.00
CPT 7	11.60
CPT 8	6.40
CPT 9	2.20
CPT 10	1.40
CPT 11	5.00
CPT 12	4.80
CPT 13	6.80
CPT 14	3.60
CPT 15	3.80
CPT 16	14.00

● Prove di laboratorio.

Sui campioni prelevati nelle verticali di prova (sondaggi) sono state realizzate prove mirate al riconoscimento dei litotipi interessati, alla valutazione della loro permeabilità, ed alla caratterizzazione geotecnica e sono state sviluppate mediante le seguenti determinazioni:

- caratteristiche fisico meccaniche
- analisi granulometriche
- prove di permeabilità
- prove di taglio

Le prove eseguite evidenziano quanto segue:

*Coperture detritiche*

I campioni analizzati sono stati prelevati come segue:

Sondaggio n°	Campione n°	Profondità m
S1	CI1	2.50-3.00
S1	CI2	5.00-5.50
S2	CI1	2.40-2.70
S3	CI1	4.00-4.50
S3	CI2	8.00-8.50
S4	CI1	2.50-3.10
S4	CI2	6.00-6.50

Le principali caratteristiche riscontrate sono così riassumibili

Proprietà indice							
	Campione S1-CI1	Campione S1-CI2	Campione S2-CI1	Campione S3-CI1	Campione S3-CI2	Campione S4-CI1	Campione S4-CI2
W (%)	21.4	17.5	15.0	19.0	19.7	21.5	19.1
$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.00	2.03	2.09	2.00	2.03	2.01	2.05
$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.65	1.73	1.81	1.68	1.70	1.65	1.73
$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.72	2.68	2.70	2.68	2.67	2.69	2.69
e	0.648	0.549	0.492	0.595	0.571	0.630	0.555
S (%)	90	85	82	86	92	92	92

dove:

W = contenuto in acqua

$\gamma$  = peso di volume umido

$\gamma_d$  = peso di volume secco

$\gamma_s$  = peso specifico reale

e = indice dei vuoti

S = grado di saturazione

Granulometria							
	Campione S1-CI1	Campione S1-CI2	Campione S2-CI1	Campione S3-CI1	Campione S3-CI2	Campione S4-CI1	Campione S4-CI2
Ghiaia (%)	0	0	0	0	0	0	0
Sabbia (%)	3	49	21	23	43	24	26
Limo (%)	64	38	45	53	45	50	53
Argilla (%)	33	13	34	24	12	26	21

Compressione							
	Campione S1-CI1	Campione S1-CI2	Campione S2-CI1	Campione S3-CI1	Campione S3-CI2	Campione S4-CI1	Campione S4-CI2
pocket penetrometer (kg/cm <sup>q</sup> )	3.0-3.5	2.0-2.5	>5.0	1.5-2.0	3.0-3.5	2.0-2.5	3.0-3.5
vane test (kg/cm <sup>q</sup> )	1.30	0.75	>2.0	0.70	1.25	0.80	1.00

dove

Cu = coesione non drenata

Prove di taglio			
	Campione S2-CI1	Campione S3-CI2	Campione S4-CI1
C' (kg/cm <sup>q</sup> )	0.36	0.05	0.19
$\Phi'$ (°)	25	31	27

dove:

C' = coesione drenata

$\Phi'$  = angolo di attrito drenato

Prova triassiale U.U. (non consolidata-non drenata)			
	Campione S1-CI2	Campione S3-CI2	Campione S4-CI2
$\Phi_{uu}$ (°)	0	0	0
C <sub>uu</sub> (kg/cm <sup>q</sup> )	0.66	1.50	0.87

dove:

$\Phi_{uu}$  = angolo di attrito

C<sub>uu</sub> = coesione

### Formazione (FAAap e FAAp)

I campioni analizzati sono stati prelevati come segue:

Sondaggio n°	Campione n°	Profondità m	Formazione
S1	CD1	15.00-15.30	FAAap
S1	CD2	19.50-19.80	FAAp
S2	CD1	7.00-7.40	FAAp
S2	CD2	17.40-17.80	FAAp
S3	CD1	14.00-14.40	FAAp
S3	CD2	22.00-22.50	FAAp
S4	CD1	10.50-11.00	FAAp
S4	CD2	15.50-15.90	FAAp

Le principali caratteristiche riscontrate sono così riassumibili

Proprietà indice								
	Campione S1-CD1	Campione S1-CD2	Campione S2-CD1	Campione S2-CD2	Campione S3-CD1	Campione S3-CD2	Campione S4-CD1	Campione S4-CD2
W (%)	14.2	16.5	14.7	14.0	13.7	10.8	12.1	11.5
$\gamma$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.05	2.13	2.11	2.12	2.15	2.11	2.09	2.05
$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	1.79	1.82	1.84	1.86	1.89	1.90	1.86	1.84
$\gamma_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	2.74	2.72	2.71	2.73	2.69	2.70	2.68	2.67
e	0.531	0.495	0.473	0.468	0.423	0.421	0.441	0.451
S (%)	73	91	84	82	87	69	74	68

dove:

W = contenuto in acqua

$\gamma$  = peso di volume umido

$\gamma_d$  = peso di volume secco

$\gamma_s$  = peso specifico reale

e = indice dei vuoti

S = grado di saturazione

Granulometria								
	Campione S1-CD1	Campione S1-CD2	Campione S2-CD1	Campione S2-CD2	Campione S3-CD1	Campione S3-CD2	Campione S4-CD1	Campione S4-CD2
Ghiaia (%)	0	0	0	0	0	0	0	0
Sabbia (%)	0	0	12	4	22	24	50	53
Limo (%)	53	56	56	60	54	50	36	33
Argilla (%)	47	44	32	36	24	26	14	14

Compressione								
	Campione S1-CD1	Campione S1-CD2	Campione S2-CD1	Campione S2-CD2	Campione S3-CD1	Campione S3-CD2	Campione S4-CD1	Campione S4-CD2
pocket penetrometer (kg/cm <sup>q</sup> )	>5.0	>5.0	>5.0	>5.0	>5.0	>5.0	>5.0	>5.0
vane test (kg/cm <sup>q</sup> )	>2.0	>2.0	>2.0	>2.0	>2.0	>2.0	>2.0	>2.0



Prove di taglio			
	Campione S1-CD2	Campione S3-CD1	Campione S4-CD1
$C'$ (kg/cmq)	0.33	0.37	0.30
$\Phi'$ (°)	21	29	31

dove:

$C'$  = coesione drenata

$\Phi'$  = angolo di attrito drenato

Prova triassiale U.U. (non consolidata-non drenata) e CD (consolidata-drenata)				
	Campione S1-CD1	Campione S2-CD2	Campione S3-CD2	Campione S4-CD2
$\Phi_{uu}$ (°)	0	0	0	
$C_{uu}$ (kg/cmq)	1.82	3.25	7.50	
$\Phi_{CD}$				31
$C_{CD}$				0.23

dove:

$\Phi_{uu}$  = angolo attrito

$C_{uu}$  = coesione

$\Phi_{CD}$  = angolo attrito

$C_{CD}$  = coesione

Sulla base delle prove di laboratorio eseguite si rileva che:

- i terreni detritici di copertura (frana) hanno un comportamento prevalentemente coesivo (limo con argilla), ma localmente possono avere una componente sabbiosa prevalente là dove sono stati inglobate parti arenacee e sabbiose del FAAp (campione CI1);
- i terreni del substrato hanno un comportamento prevalentemente coesivo (limi argillosi);
- le coperture detritiche hanno media consistenza;
- il substrato è da compatto a molto compatto;
- il substrato è impermeabile (vedi prove edometriche).

### 10.3 Campagna geognostica 2021

Su incarico della Sogliano Ambiente s.p.a. nel Maggio 2021 è stata realizzata nella vallecchia G3 una campagna geognostica dall'Impresa SOGEO s.n.c. di Lugo (sondaggi a carotaggio continuo ed installazione di sistema di monitoraggio mediante piezometri e tubazioni per esecuzione Down Hole). Sui campioni prelevati nelle verticali di prova, sono state realizzate prove di laboratorio a cura del Laboratorio Orazi di Pesaro.

Il Geol. Francesco Stragapede ha eseguito l'indagine geofisica; il Geol. Maurizio Moroni ha eseguito indagine penetrometrica.

Lo scrivente ha curato la direzione lavori, e tutte le indagini geologiche a supporto.

Le elaborazioni grafiche e tecniche sono riportate negli Elab 18,19,20,21,22 e 23.

#### ● Sondaggi

La campagna geognostica di tipo diretto è stata spinta a significativa profondità mediante n° 6 sondaggi a carotaggio continuo (S1, S2, S3, S4, S5 e S6), che hanno raggiunto la profondità rispettivamente di 30 m, 30 m, 25 m, 20 m, 20 m e 20 m dal p.c. attuale.

Per questi è stata impiegata sonda perforatrice CMV mod. MK 900 D1, ad azionamento oleodinamico, installata su trattoria cingolata.

I sondaggi geognostici a carotaggio continuo sono stati eseguiti impiegando il carotiere semplice del diametro 101 mm, utilizzando rivestimento pesante diametro  $\Phi$  127 mm. La perforazione è stata eseguita mediante rotazione a secco e con circolazione diretta di acqua.

Durante l'esecuzione delle perforazioni si è provveduto al prelievo di campioni da sottoporre a prove di laboratorio, all'esame delle carote ed alla conseguente ricostruzione della colonna stratigrafica. Inoltre, laddove è stato possibile, sono state condotte prove penetrometriche sui testimoni di perforazione a componente fine, impiegando pocket penetrometer ST 308 e vane test tipo Geonor H60.

La stratigrafia ricostruita dai testimoni di perforazione evidenzia quanto segue:

- i depositi detritici caotici sono costituiti da prevalenti limi e limi argillosi di colore grigio-giallastro con lenti di sabbia limosa giallastra e livelletti limo-sabbiosi, e da argille grigie con variegature giallastre;
- i valori di pocket penetrometer e vane test evidenziano una variabilità di consistenza del deposito (P.P = 1.0 Kg/cm<sup>2</sup> - 3,5 kg/cm<sup>2</sup> e V.T = 0.40 ÷ 1,90);
- il substrato è stato rilevato rispettivamente a 11,20 m, 17,60 m, 7,70 m, 5,70 m, 2,50 m e 1,80 m dal p.c. ed è costituito da argilla debolmente marnosa di colore grigio e grigio scuro, molto consistente, con veli e livelli sabbiosi o arenacei centimetrici.

Durante le fasi di perforazione non sono state rilevate né perdite di acqua di circolazione, né venute d'acqua.

#### ● Prove di permeabilità in foro

Le prove di assorbimento in foro di sondaggio, come prescritto nelle linee guida per le discariche controllate per rifiuti solidi urbani, sono mirate principalmente a definire la permeabilità in sito della Formazione.

Nei fori di sondaggio sono state realizzate delle prove di permeabilità a carico variabile con il metodo di Lefranc.

Le prove sono state eseguite alle seguenti profondità:

Sondaggio n°	Profondità prova (m)	Litotipo interessato	Coeff. Permeabilità K (m/sec)
S1/21	14,50-15,50	Substrato integro	3,18*10 <sup>-9</sup>
S2/21	20,50 - 21,00	Substrato integro	1,43*10 <sup>-9</sup>
S3/21	10,20-11,20	Substrato integro	2,94*10 <sup>-9</sup>
S4/21	8,50-9,00	Substrato integro	2,67*10 <sup>-9</sup>
S5/21	4,50-6,00	Substrato integro	3,35*10 <sup>-9</sup>
S6/21	10,00-10,50	Substrato integro	4,62*10 <sup>-9</sup>

Le prove eseguite evidenziano che nel substrato non si rilevano assorbimenti significativi di acqua.

I litotipi interessati possono quindi considerarsi impermeabili.

#### ● Piezometri

I sondaggi S1, S3, S4, S5 e S6 sono stati eseguiti anche al fine di monitorare eventuali fenomeni di filtrazione entro il substrato.

A tal fine sono stati attrezzati mediante tubazione in PVC  $\Phi$  3'' cieca fino alla quota cementata e poi fino a fondo foro con tubo in PVC  $\Phi$  3'' microfessurato protetto da tessuto non tessuto.

La cementazione è stata realizzata nella parte superficiale con miscela cemento-acqua-bentonite e poi nella parte profonda con bentonite.

Per i dettagli in merito agli schemi esecutivi dei singoli piezometri si rimanda alle schede tecniche riportate in Elab19.

Si riepiloga di seguito esisto dei monitoraggio eseguiti:

Piezo (n°)	Prof (m)	Tratto fenestrato (m)	Monit.	Controllo 17/05/21 (m)	Controllo 24/05/21 (m)	Controllo 31/05/21 (m)	Controllo 07/06/21 (m)	Controllo 14/06/21 (m)	Controllo 21/06/21 (m)
S1	30	21-30	Substrato	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto
S3	27	18-27	Substrato	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto
S4	20	11-20	Substrato	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto
S5	20	11-20	Substrato	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto
S6	20	11-20	Substrato	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto	asciutto

- Prove di permeabilità in sito

Le prove di permeabilità sono state realizzate nel substrato messo in luce mediante esecuzione di trincee eseguite con escavatore.

Come illustrato nel notiziario dell'Ordine dei Geologi del Lazio n° 29 dell'Ottobre 2011 (Giovanni Caprioni; Fabio Garbin; Quintilio Napoleoni; Maurizio Scarapazzi; Luigi Tramonti) la conducibilità idraulica è spesso misurata con prove di laboratorio su provini di piccole dimensioni estratti dalle barriere, ma l'esperienza ha dimostrato come la conducibilità in sito è sostanzialmente un parametro più affidabile in quanto le prove testano la macrostruttura del terreno influenzando volumi nettamente maggiori.

La permeabilità in sito su terreni a bassa permeabilità può essere ottenuta con diversi metodi. Lo studio condotto nel lavoro citato mostra come l'uso del Double Stage Boutwell Permeameter (TSB) rappresenta, ad oggi, la migliore tecnologia per una valida caratterizzazione della permeabilità delle barriere e una semplice valutazione dell'efficacia delle tecniche costruttive.

L'efficacia del metodo risiede nella possibilità di modificare nel corso della prova la geometria dell'area di assorbimento, ciò consente di studiare il comportamento della barriera rispetto sia alla filtrazione verticale sia alla filtrazione orizzontale (vedi figura seguente).

Tutti i test in sito sono ovviamente influenzati dall'anisotropia del terreno e, come è noto, se il flusso orizzontale non è impedito, l'effetto è di incrementare da 2 a 5 ordini di grandezza il valore reale di  $K_v$ .

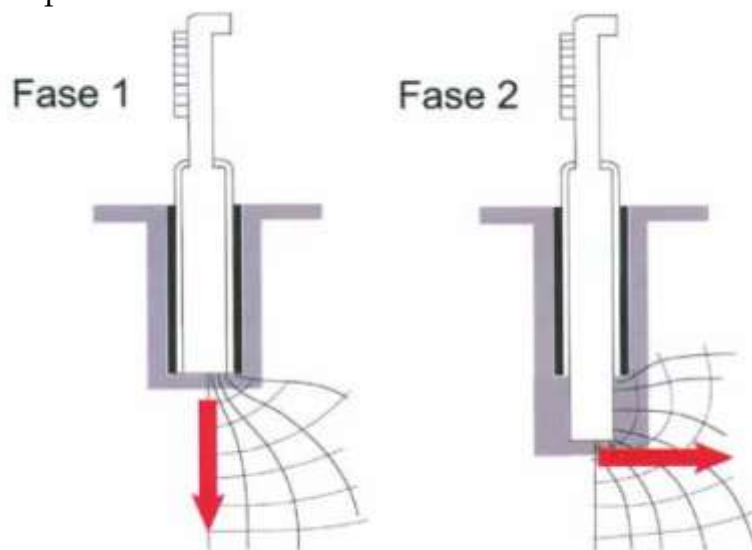
Per questa ragione, grazie alla possibilità di variare la geometria di filtrazione, la prova TSB può essere utilizzata per terreni naturali o compattati che hanno una conducibilità idraulica uguale o minore a  $1 \times 10^{-6}$  m/s, assumendo una filtrazione tridimensionale nella quale sia la conducibilità verticale che orizzontale sono determinate separatamente.

Si può dimostrare come questi valori ottenuti siano rispettivamente il valore massimo possibile della permeabilità in direzione verticale e il valore minimo possibile della permeabilità in direzione orizzontale (Boutwell, 1992).

I valori reali sono poi ottenuti mediante un modello analitico abbastanza complesso (Boutwell, 1992).

La prova TSB è standardizzata attraverso la norma ASTM 6391 "Standard Test Method for Field Measurement of Hydraulic Conductivity of Porous Materials Using Two Stages of Infiltration from a Borehole".

Boutwell e Derick (1986) affermano che l'affidabilità dei risultati e i valori di permeabilità determinati con questa prova sono paragonabili a quelli eseguiti in laboratorio su campioni di ottima qualità, ma più rappresentativi in quanto eseguiti su un volume 100 volte maggiore di un provino triassiale.



La figura sopra riportata illustra la geometria di filtrazione nelle due fasi di prove.

Teoricamente K1 rappresenta il valore massimo possibile per la permeabilità verticale, mentre K2 il valore minimo per la permeabilità orizzontale.

Le prove eseguite hanno dato il seguente esito:

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
K1 (m/s)	$6,5 \cdot 10^{-11}$	$4,7 \cdot 10^{-11}$	$4,9 \cdot 10^{-11}$	$9,2 \cdot 10^{-11}$	$6,8 \cdot 10^{-11}$	$8,3 \cdot 10^{-11}$	$5,5 \cdot 10^{-11}$	$7,3 \cdot 10^{-11}$
K2 (m/s)	$1,1 \cdot 10^{-10}$	$1,2 \cdot 10^{-10}$	$9,8 \cdot 10^{-11}$	$3,1 \cdot 10^{-10}$	$1,3 \cdot 10^{-10}$	$1,9 \cdot 10^{-10}$	$9,6 \cdot 10^{-11}$	$1,8 \cdot 10^{-10}$
Formazione	FAAap	FAAap	FAAap	FAAap	FAAap	FAAap	FAAap	FAAap

dove:

K1 = coefficiente di permeabilità Fase 1

K2 = coefficiente di permeabilità Fase 2

Le prove eseguite evidenziano che nel substrato non si rilevano assorbimenti significativi di acqua. I litotipi interessati possono quindi considerarsi impermeabili.

#### ● Prove di filtrazione

Visti gli esiti delle prove di permeabilità in foro (Lefranch), ed in sito (Boutwell) che sono prove puntuali su limitati tratti di substrato, al fine di avere conferme in merito alla permeabilità d'insieme della Formazione, con particolare riferimento alla litofacies arenaceo pelitica (FAAap), è stata sviluppata una campagna geognostica integrativa mediante:

- esecuzione di n° 3 sondaggi profondi 15 m (S7), e 10 m (S8 e S9);
- installazione di tubi piezometrici;
- esecuzione prove di permeabilità stratigrafica su tutto il perforo.

Si riportano di seguito gli esiti di tale verifica integrativa.

I 3 sondaggi a carotaggio continuo identificati con le sigle S7, S8 e S9 hanno evidenziato quanto segue:

- presenza di coperture detritiche di alterazione nel sondaggio S7 e ridottissimi riporti legati alla viabilità nei sondaggi S8 e S9;
- il substrato è costituito da alternanza di livelli pelitici e arenaceo siltosi (FAAap).

Nelle stratigrafie sono riportati i principali livelli arenaceo-siltitici.

Le caratteristiche geometriche dei piezometri sono:

- diametro del tratto rivestito (d), sempre pari a 3";
- diametro del sondaggio (D), sempre pari a 101 mm;
- lunghezza del tratto non rivestito (L), pari a 9 m per S7 e a 7 m per S8 e S9;
- lunghezza totale del sondaggio, pari a 15 m per S7 e a 10 m per S8 e S9.

Una volta completati i piezometri come da schema allegato si è proceduto mediante:

- riempimento del tubo piezometrico con acqua fino a bocca tubo appena completata installazione;
- rabbocco con acqua fino a bocca foro il giorno seguente al fine di stabilizzare il sistema.

I controlli di seguito sono stati eseguiti dal Laboratorio Orazi mediante 3 serie di misure, ognuna delle quali iniziata con l'immissione d'acqua in quantità tale da riempire il piezometro completamente fino all'estremità superiore (bocca tubo).

Per i piezometri S7 e S8 l'altezza della colonna d'acqua iniziale (H0) è circa 30 cm maggiore della lunghezza del relativo sondaggio in quanto l'estremità superiore del piezometro si trova più in alto del piano campagna, mentre per il piezometro S9 l'estremità superiore è sostanzialmente coincidente con il piano campagna, come visibile dalle fotografie riportate nell'elaborato curato dal Laboratorio geomeccanico Orazi.

Dal rapporto di prova si desume che per ogni piezometro, i dati sperimentali delle 3 serie di misure sono sostanzialmente sovrapponibili e mostrano pertanto lo stesso andamento.

La velocità di abbassamento risulta molto diversa nei tre piezometri:

- in S7 il livello dell'acqua è al limite del tratto rivestito dopo 2 ore circa dal riempimento;
- in S8 il livello dell'acqua rimane nel tratto rivestito dopo più di 6 giorni dal riempimento;
- in S9 il livello dell'acqua è al limite del tratto rivestito dopo 24 ore circa dal riempimento.

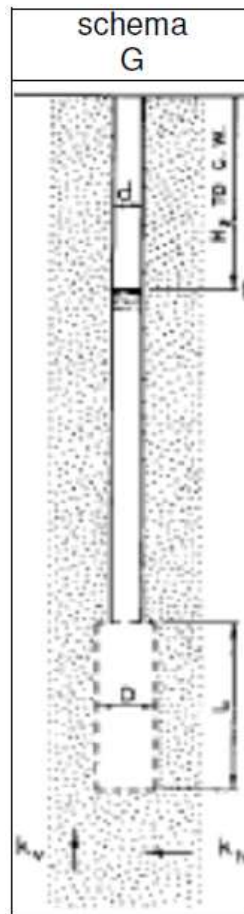
Nel caso dei piezometri S7 e S9 si osserva una tendenza del livello dell'acqua a stabilizzarsi nel tempo:

- in S7 il livello dopo più di 6 giorni dal riempimento è a circa 8,1 m di profondità;
- in S9 il livello dopo più di 6 giorni dal riempimento è a circa 4,6 m di profondità.

Il calcolo del coefficiente di permeabilità (k) è stato determinato attraverso il metodo BASIC TIME LAG (Hvorslev, 1951), considerando lo schema G riportato a lato ed utilizzando la seguente equazione:

$$k_h = \frac{d^2 \ln\left(\frac{2mL}{D}\right)}{8LT}$$

- dove  $d$ ,  $D$  e  $L$  sono le caratteristiche geometriche del piezometro;
- $m$  è il coefficiente di anisotropia;
- $T$  è il BASIC TIME LAG corrispondente al tempo  $p_e$  per  $H/H_0=0,37$



Il valore del coefficiente di permeabilità è da considerarsi più approssimato rispetto all'approssimazione intrinseca del metodo di calcolo in quanto:

- l'assunzione di terreno omogeneo non è rappresentativa del caso in questione (il terreno è fortemente stratificato);
- il valore del coefficiente di anisotropia è stato ipotizzato (valore pari a 5 come da media dei risultati ottenuti dalle prove Boutwell eseguite però solo sull'argilla);
- la condizione di  $H/H_0=0,37$  è stata ottenuta per interpolazione in quanto non è possibile da raggiungere con i dati sperimentali data la lunghezza elevata del tratto non rivestito del sondaggio;
- il livello di base dell'acqua (non rilevato) è stato ipotizzato a fondo foro.

Si riporta di seguito tabella riepilogativa:

piezometro	$d$ [m]	$D$ [m]	$L$ [m]	$T$ [min]	$m$	$k_h$ [m/s]
S7	0,0762	0,152	9,0	383	5	2E-08
S8	0,0762	0,152	7,0	23557	5	4E-10
S9	0,0762	0,152	7,0	3821	5	3E-09

● Prove di laboratorio

Sui campioni prelevati nelle verticali di prova (sondaggi) sono state realizzate prove mirate al riconoscimento dei litotipi interessati, alla valutazione della loro permeabilità, ed alla caratterizzazione geotecnica e sono state sviluppate mediante le seguenti determinazioni:

- caratteristiche fisico meccaniche
- analisi granulometriche
- prove di permeabilità
- prove di taglio
- prove edometriche

Si riportano di seguito le tabelle relative ai campioni analizzati sia per le coperture detritiche, sia per il substrato:

*Coperture detritiche*

Sondaggio n°	Campione n°	Profondità m
S1	CI1	2,50-3,00
S2	CI1	2,20-2,70
S3	CI1	2,00-2,50
S5	CI1	2,00-2,50
S6	CI1	1,50-1,80

*Formazione (FAAap e FAAp)*

Sondaggio n°	Campione n°	Profondità m	Formazione
S1	CR2	11,60-12,00	FAAap
S1	CR3	17,60-18,00	FAAap
S1	CR4	23,00-23,40	FAAap
S1	CR5	25,70-25,90	FAAap
S2	CR2	17,30-17,50	FAAap
S2	CR3	21,00-21,30	FAAap
S2	CR4	28,70-29,00	FAAap
S3	CR2	9,00-9,30	FAAp
S3	CR3	15,70-16,00	FAAp
S3	CR4	18,70-19,00	FAAp
S3	CR5	21,50-21,80	FAAp
S4	CR2	10,60-11,00	FAAp
S4	CR3	15,50-15,70	FAAp
S4	CR4	18,60-19,00	FAAp
S5	CR1	3,80-4,20	FAAp
S5	CR2	8,40-8,80	FAAp
S5	CR3	11,10-11,50	FAAp
S5	CR4	18,50-18,80	FAAp
S6	CR1	3,30-3,60	FAAap
S6	CR3	9,00-9,30	FAAap
S6	CR4	15,50-15,80	FAAap
S6	CR5	19,00-19,40	FAAap

Si riporta di seguito tabella con evidenziate le varie prove eseguite nei singoli campioni

sondaggio	campione	profondità (m)		caratteristiche volumetriche	limite liquido e plastico	granulometria	permeabilità	taglio diretto	compressione ELL	triassiale UU	triassiale CIU	edometrica	sostanza organica - carbonati - solfati	taglio anulare (residuo)	triassiale CID
S1	CI1	2,50	3,00	X	X	X		0,5/1/2							
S1	CR1	7,20	7,60												
S1	CR2	11,60	12,00							1/2/3					
S1	CR3	17,60	18,00	X	X	X	4						X	2/4/6	
S1	CR4	23,00	23,40	X			5	2/4/6				X			
S1	CR5	25,70	25,90	X								X			
S2	CI1	2,20	2,70	X		X			X						
S2	CR1	11,80	12,00											1/2/3	
S2	CR2	17,30	17,50				4	2/4/6							
S2	CR3	21,00	21,30	X	X	X					2/4/6				
S2	CR4	28,70	29,00	X								X	X		
S3	CI1	2,00	2,50	X		X		0,5/1/2	X						
S3	CR1	4,00	4,40												
S3	CR2	9,00	9,30				2	1/2/3							
S3	CR3	15,70	16,00	X							2/3/4			2/3/4	
S3	CR4	18,70	19,00							2/4/6					
S3	CR5	21,50	21,80	X	X	X	5								
S4	CR1	7,60	7,80												
S4	CR2	10,60	11,00	X	X	X	2						X		1/2/3
S4	CR3	15,50	15,70				3								
S4	CR4	18,60	19,00	X	X						2/4/6				
S5	CI1	2,00	2,50	X	X	X			X						
S5	CR1	3,80	4,20							0,5/1/1,5					
S5	CR2	8,40	8,80	X		X		1/2/3							
S5	CR3	11,10	11,50	X	X						1/2/3				
S5	CR4	18,50	18,80				4	2/4/6							
S6	CI1	1,50	1,80	X					X						
S6	CR1	3,30	3,60	X		X		0,5/1/2							
S6	CR2	5,50	5,70												
S6	CR3	9,00	9,30	X	X	X	2								
S6	CR4	15,50	15,80												2/3/4
S6	CR5	19,00	19,40	X	X	X	4			2/4/6					
TOTALE				19	10	12	10	8	4	4	4	3	3	3	2

NOTA: Per le prove di permeabilità, taglio diretto e triassiali sono riportati nella casella i carichi di consolidazione/contenimento in kgf

Rimandando allo specifico Elaborato 20 dove sono riportati i certificati di laboratorio curati da Laboratorio Orazi di seguito si allegano tabelle riepilogative delle principali caratteristiche riscontrate



CAMPIONE		S1 CI1	S1 CR1	S1 CR2	S1 CR3	S1 CR4	S1 CR5	S2 CI1	S2 CR1	S2 CR2	S2 CR3	S2 CR4	S3 CI1	S3 CR1	S3 CR2	S3 CR3	S3 CR4
contenuto in acqua	%	21,9	-	16,3	17,4	17,3	18,0	17,4	-	17,8	18,1	18,2	20,7	-	17,9	17,7	14,6
massa volumica	Mg/m <sup>3</sup>	2,03	-	2,18	2,14	2,17	2,15	2,13	-	2,14	2,13	2,12	2,08	-	2,13	2,15	2,19
massa volumica secca	Mg/m <sup>3</sup>	1,67	-	1,87	1,82	1,85	1,82	1,81	-	1,82	1,80	1,79	1,72	-	1,81	1,83	1,91
massa volumica granuli solidi	Mg/m <sup>3</sup>	2,73	-	-	2,72	2,75	2,76	2,73	-	-	2,74	2,75	2,74	-	-	2,72	-
indice dei vuoti	-	0,639	-	-	0,492	0,487	0,515	0,505	-	-	0,519	0,533	0,590	-	-	0,489	-
grado di saturazione	-	0,94	-	-	0,96	0,98	0,97	0,94	-	-	0,96	0,94	0,96	-	-	0,98	-
carbonati	%	-	-	-	19	-	-	-	-	-	-	22	-	-	-	-	-
sostanza organica	%	-	-	-	2,1	-	-	-	-	-	-	1,8	-	-	-	-	-
solati	%	-	-	-	0,093	-	-	-	-	-	-	0,067	-	-	-	-	-
ghiaia	%	0,0	-	-	0,0	-	-	0,0	-	-	0,0	-	0,0	-	-	-	-
sabbia	%	8,0	-	-	6,8	-	-	5,7	-	-	2,1	-	5,9	-	-	-	-
limo	%	62,6	-	-	59,6	-	-	66,0	-	-	58,7	-	58,3	-	-	-	-
argilla	%	29,4	-	-	33,6	-	-	28,3	-	-	39,2	-	35,8	-	-	-	-
limite liquido	%	51,2	-	-	55,0	-	-	-	-	-	63,5	-	-	-	-	-	-
indice di plasticità	%	26,7	-	-	32,9	-	-	-	-	-	39,9	-	-	-	-	-	-
resistenza non drenata	kPa	-	-	413	-	-	-	169	-	-	-	-	232	-	-	-	464
coesione	kPa	18,2	-	-	-	105	-	-	-	81,7	81,4	-	26,6	-	52,7	74,5	-
angolo di resistenza al taglio	°	25,5	-	-	-	20,6	-	-	-	19,9	20,8	-	24,8	-	24,3	22,4	-
coesione residua	kPa	-	-	-	3,0	-	-	-	3,7	-	-	-	-	-	-	2,2	-
angolo di resistenza al taglio residuo	°	-	-	-	11,7	-	-	-	12,1	-	-	-	-	-	-	11,6	-
coefficiente di permeabilità	m/s	-	-	-	6,5	2,2	-	-	-	7,6	-	-	-	-	1,2	-	-
		-	-	-	E-11	E-11	-	-	-	E-11	-	-	-	-	E-10	-	-
modulo edometrico	100/200 kPa	MPa	-	-	-	34,5	23,3	-	-	-	-	15,6	-	-	-	-	-
	200/400 kPa	MPa	-	-	-	22,2	12,3	-	-	-	-	8,4	-	-	-	-	-

CAMPIONE		S3 CR5	S4 CR1	S4 CR2	S4 CR3	S4 CR4	S5 CI1	S5 CR1	S5 CR2	S5 CR3	S5 CR4	S6 CI1	S6 CR1	S6 CR2	S6 CR3	S6 CR4	S6 CR5
contenuto in acqua	%	16,3	-	17,3	16,0	18,4	17,8	17,1	17,1	12,7	15,8	15,5	17,4	-	17,4	15,4	15,7
massa volumica	Mg/m <sup>3</sup>	2,16	-	2,15	2,14	2,13	2,14	2,15	2,17	2,16	2,13	2,18	2,12	-	2,14	2,21	2,18
massa volumica secca	Mg/m <sup>3</sup>	1,86	-	1,83	1,84	1,80	1,82	1,84	1,85	1,92	1,84	1,89	1,81	-	1,82	1,92	1,88
massa volumica granuli solidi	Mg/m <sup>3</sup>	2,73	-	2,74	-	2,75	2,71	-	2,72	2,68	-	2,76	2,75	-	2,74	-	2,75
indice dei vuoti	-	0,470	-	0,495	-	0,529	0,492	-	0,468	0,398	-	0,462	0,523	-	0,503	-	0,460
grado di saturazione	-	0,95	-	0,96	-	0,96	0,98	-	0,99	0,85	-	0,93	0,92	-	0,95	-	0,94
carbonati	%	-	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
sostanza organica	%	-	-	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
solati	%	-	-	0,097	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ghiaia	%	0,0	-	0,0	-	-	0,0	-	0,0	-	-	-	0,0	-	0,0	-	0,0
sabbia	%	5,6	-	1,7	-	-	6,5	-	8,1	-	-	-	7,7	-	4,7	-	5,5
limo	%	64,2	-	59,0	-	-	63,6	-	57,0	-	-	-	62,8	-	59,1	-	62,4
argilla	%	30,2	-	39,3	-	-	29,9	-	34,9	-	-	-	29,5	-	36,2	-	32,1
limite liquido	%	42,2	-	63,4	-	34,1	47,6	-	-	28,8	-	-	-	-	51,3	-	51,0
indice di plasticità	%	23,7	-	38,7	-	14,9	24,3	-	-	NP	-	-	-	-	30,7	-	27,3
resistenza non drenata	kPa	-	-	-	-	-	244	387	-	-	-	269	-	-	-	-	435
coesione	kPa	-	-	92,5	-	95,8	-	-	61,3	17,8	71,6	-	30,6	-	-	118	-
angolo di resistenza al taglio	°	-	-	23,8	-	20,7	-	-	21,5	28,3	19,9	-	23,2	-	-	21,3	-
coefficiente di permeabilità	m/s	4,3	-	1,1	8,1	-	-	-	-	-	8,7	-	-	-	1,3	-	8,2
		E-11	-	E-10	E-11	-	-	-	-	-	E-11	-	-	-	E-10	-	E-11

Sulla base delle prove di laboratorio eseguite si rileva che:

- i terreni detritici di copertura (frana) hanno un comportamento prevalentemente coesivo (limo con argilla), ma localmente possono avere una componente sabbiosa prevalente là dove sono stati inglobate parti arenacee e sabbiose del FAAp;
- i terreni del substrato hanno un comportamento prevalentemente coesivo (limi argillosi);
- le coperture detritiche hanno media consistenza;
- il substrato è da compatto a molto compatto;
- il substrato è impermeabile (vedi prove edometriche, prove di permeabilità e prove triassiali).

- Indagine penetrometrica

Le prove penetrometriche sono state eseguite nella parte alta della vallecchia G3 mediante penetrometro Pagani da 20 tonnellate di spinta massima.

Le prove hanno evidenziato quanto segue:

- il deposito detritico ha spessore variabile tra 4,40 m (CPT9) e 10,20 m (CPT3);
- il deposito detritico caotico mostra valori estremamente variabili di  $R_p$  e  $R_f$  con livelli più o meno addensati;
- l'interpretazione litologica evidenzia che il deposito è costituito da prevalenti limi e argille con locali livelletti e/o lenti limo sabbiose.

Si riporta di seguito tabella riassuntiva con la profondità del substrato riscontrata nelle verticali di prova:

Prova n°	Profondità substrato da p.c. (m)	Formazione
CPT1	7,0	FAAp
CPT2	8,0	FAAp
CPT3	10,2	FAAp
CPT4	7,6	FAAp
CPT5	5,0	FAAp
CPT6	5,8	FAAp
CPT7	8,0	FAAp
CPT8	6,4	FAAp
CPT9	4,4	FAAp

- Campagna geofisica

Si riporta di seguito sintesi delle indagini geofisiche realizzate dal Dott. Geol. Francesco Stragapede per conto del Committente.

Per i necessari approfondimenti in merito si rimanda alle specifiche relazioni (Elab.18 e Elab.22).

#### Indagine geofisica

L'indagine geognostica di tipo geofisico è stata condotta attraverso rilievi microsismici a rifrazione in onde longitudinali  $P_{waves}$ , a cui è stato associato rilievo ed elaborazione MASW (Multichannels Analysis Surface Waves) e ReMi™ (Refraction Microtremor analysis) dei dati, impiegando le medesime direttrici geofoniche.

L'indagine è stata sviluppata su n.5 direttrici, mediante n.9 stendimenti geofonici della lunghezza variabile tra 52 m e 68 m ciascuno, per una lunghezza complessiva di 486 m,

disposti trasversalmente al versante in sinistra orografica del Rio Morsano, lungo la vallecola contraddistinta con la denominazione di G-3.

Il rilievo è stato sviluppato al fine di definire lo spessore dei suoli e delle coperture, ed individuare la generale quota di soggiacenza del substrato formazionale, e verificare il profilo di rigidità dei terreni nel sottosuolo, al fine di supportare la redazione di un modello sismostratigrafico di dettaglio per l'analisi di risposta locale.

#### *indagine microsismica a rifrazione*

L'interpretazione, condotta mediante tecnica di tipo tomografico, consente di verificare, lo spessore dei suoli e delle coperture e determinare la quota di soggiacenza del substrato formazionale.

I rilievi hanno inoltre consentito di acquisire dati necessari a guidare correttamente l'elaborazione dei dati mediante tecniche di analisi spettrale nel dominio delle frequenze MASW e ReMi™, per la definizione del profilo sismo-stratigrafico caratteristico di sito.

Le sezioni geofisiche evidenziano la presenza di coperture e spessori di intensa alterazione del substrato per spessori mediamente compresi tra 3 m e 6 m, con un incremento lungo il profilo sismico n.2 (basi sismiche n.4 e n.5), individuate nella zona medio bassa della vallecola, dove si raggiungono i m 8 di spessore.

I minori spessori delle coperture si rilevano nella zona medio alta, in corrispondenza dei profili n.4 (base sismica n.8) e n.5 (base sismica n.9), dove si registrano sedimenti poco addensati per spessori medi di m 3.

I terreni di copertura presentano velocità delle onde longitudinali di 300-500 m/sec, spessori che sfumano tuttavia ai terreni di alterazione del substrato formazionale, immediatamente sottoposti.

Tali ultimi terreni, riferibili a sedimenti argilloso marnosi e sabbiosi, della porzione più alterata del substrato formazionale, presentano velocità delle onde longitudinali dell'ordine di 600-900 m/sec, evidenziando medio basse qualità elastiche.

Il substrato formazionale intensamente alterato presenta spessori medi di 3-5 m e sottende terreni caratterizzati da maggiore tenacia e più elevata velocità delle onde longitudinali di 1200-1800 m/sec da profondità di 8-10 m dal piano di prova.

Il substrato di maggiore tenacia si intercetta da profondità di 15-20 m dal piano di prova, quota dalla quale si registrano velocità delle onde longitudinali di 2200-2600 m/sec.

#### *Indagine microsismica Multichannels Analysis Surface Waves*

L'interpretazione MASW condotta con softwares votati (WinMASW, Geogiga, SeisImages e Masw-Vitantonio, WinMasw-Eliosoft) è stata intesa a determinare la sismostratigrafia in onde S del sito, accertando eventuali e locali inversioni di velocità e calcolando il valore equivalente, per la definizione della locale categoria di suolo e dello scenario di pericolosità sismica di riferimento per le verifiche strutturali delle opere.

I profili di rigidità, relativi alle restituzioni lungo le direttrici geofoniche di rilevamento, evidenziano la presenza, nell'immediato sottosuolo, di terreni di copertura e porzione intensamente alterata del substrato formazionale, caratterizzati da velocità delle onde di taglio dell'ordine di 150-240 m/sec, dello spessore medio di 5-9 m.

I terreni immediatamente sottoposti, riferibili alla porzione detensionata del substrato formazionale, qualificata da velocità delle onde longitudinali di 1200-1800 m/sec, sono caratterizzati da velocità delle onde di taglio di 280-350 m/sec, valore registrato sino a profondità media di 12-18 m dal piano di prova.

Oltre tale profondità i terreni del substrato formazionale sono caratterizzati da velocità medie delle onde di taglio di 400-500 m/sec, sino a profondità di 25-35 m dal piano di prova, dove si registrano incrementi di rigidità e valori di velocità delle onde di taglio di 650-750 m/sec, crescenti con un gradiente medio di 50 m/sec / m 10.

#### *Rilievo Re.Mi.<sup>TM</sup> (Refraction Microtremor analysis)*

L'interpretazione dei "microtremori" ed è stata condotta con softwares votati (SeisImages e WinMasw-Eliosoft, Geogiga e Geopsy): i profili di rigidità hanno determinato restituzioni di adeguata risoluzione, validando i risultati dell'analisi MASW e risolvendo a maggiore profondità le caratteristiche elastiche dei terreni, consentendo di verificare l'effettiva quota di soggiacenza del substrato rigido di riferimento, come definito ai sensi del § 3.2.2 del D.M. 17.01.2018.

#### *Rilievo dei microtremori*

L'elaborazione dei dati è stata condotta impiegando programmi votati (Jsesame, Geopsy), attraverso la quale si è ricercato il valore di picco relativo del rapporto delle componenti spettrali vibrazionali orizzontali e verticale del rumore ambientale H / V sulla postazione di rilievo.

L'analisi accerta la presenza di un gradiente di rigidità, individuato da un picco del rapporto delle componenti vibrazionali del suolo tra 2.5-3.0 Hz e 5.0 Hz, valore che si riferisce al gradiente di rigidità tra coperture con substrato formazionale intensamente alterato e substrato detensionato più tenace, soluzione di continuità interposta tra terreni più superficiali con velocità delle onde di taglio di 400-500 m/sec e quelli sottoposti con velocità delle onde di taglio 650-700 m/sec.

Gli ulteriori gradienti a minore profondità non presentano sempre variazioni repentine i velocità e consistono spesso in passaggi relativamente sfrumati, dove non si riesce a rilevare alcuna chiara soluzione di continuità geofisica.

#### *Profili di rigidità e note sulla categoria di suolo – D.M. 17.01.2018*

In riferimento alle elaborazioni MASW e ReMi<sup>TM</sup> è verificata la "categoria di suolo" del sito in esame, determinando il valore della velocità delle onde S equivalente dei litotipi relativa alla profondità di 30 m, assumendo quale quota di riferimento quella del p.d.p., ovvero la profondità di intercetta del bedrock geofisico, dove intercettato entro i 30 m di profondità e qualificato da velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/sec, in riferimento alle specifiche di cui al § 3.2.2 del D.M. 17.01.2018, secondo la relazione

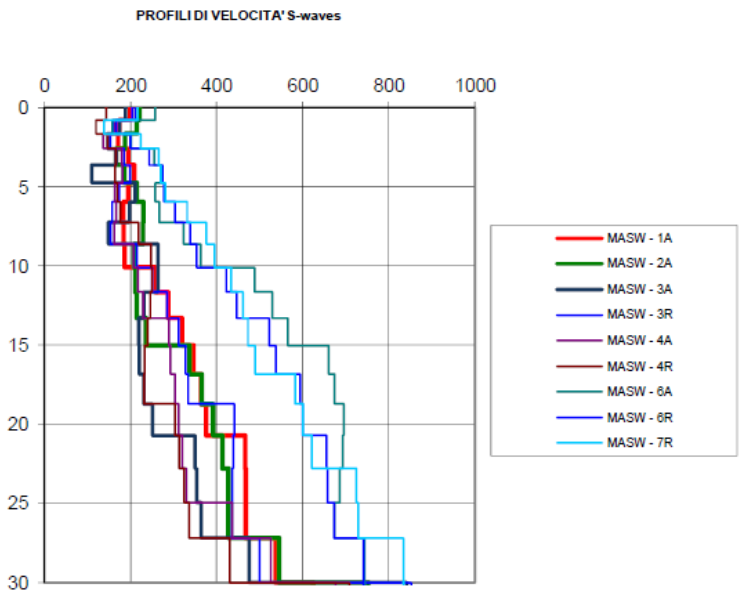
$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove **V<sub>S,H</sub>** è la velocità sismica ponderata delle onde trasversali sulla profondità H  
**h<sub>i</sub>** è lo spessore dell'orizzonte iesimo sotteso al substrato di riferimento  
**V<sub>i</sub>** è la velocità delle onde S dell'orizzonte iesimo di spessore h  
**N** è il numero degli strati  
**H** è la profondità del substrato geofisico, qui posto pari a m 30, non avendo intercettato in detta profondità terreni costituiti da roccia o terreno molto rigido con Vs non inferiore a 800 m/sec

I profili di rigidità relativi alle restituzioni MASW e ReMi™ sulle direttrici di rilevamento, verificano la seguente situazione

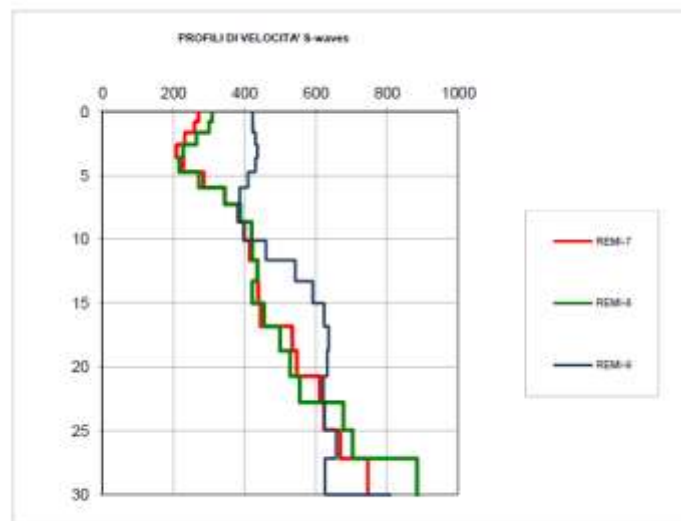
	MASW - 1A	MASW - 2A	MASW - 3A	MASW - 3R	MASW - 4A	MASW - 4R	MASW - 6A	MASW - 6R	MASW - 7R
Depth(m)	S-velocity(m/s)	S-velocity(m/s)	S-velocity(m/s)	S-velocity(m/s)	S-velocity(m/s)	S-velocity(m/s)	S-velocity(m/s)	S-velocity(m/s)	S-velocity(m/s)
0.00	200	221	189	203	211	143	258	212	217
0.78	174	214	174	159	165	120	157	167	138
1.64	172	188	147	153	136	146	201	199	224
2.59	195	167	166	185	180	166	255	243	266
3.62	209	185	110	199	182	165	273	274	270
4.75	194	215	211	174	164	170	258	277	281
5.96	183	230	198	158	166	176	267	304	332
7.25	184	229	148	154	162	219	323	338	377
8.63	186	208	264	215	207	249	364	354	395
10.10	258	211	264	250	217	250	488	422	435
11.65	288	215	231	285	230	246	530	447	462
13.29	320	236	219	312	289	240	567	522	473
15.02	347	337	221	329	293	233	660	538	490
16.83	364	365	232	335	303	231	675	594	582
18.73	376	393	251	441	311	303	695	600	602
20.71	466	414	350	439	321	314	693	656	621
22.78	468	427	354	436	329	325	686	658	725
24.94	468	428	364	435	437	337	675	673	730
27.19	537	546	476	500	526	431	744	742	834
30.00	624	752	843	852	677	708	744	742	834
Vs30	284	279	234	270	248	235	427	412	420

tabellazione dei valori di velocità dei profili di rigidità determinati attraverso l’analisi MASW dei dati



profili di rigidità determinati attraverso l’analisi MASW dei dati

Depth(m)	REMI-7 S-velocity(m/s)	REMI-8 S-velocity(m/s)	REMI-9 S-velocity(m/s)
0.00	270	309	422
0.78	260	300	423
1.64	231	265	430
2.59	209	228	436
3.62	228	217	430
4.75	286	271	410
5.96	346	344	386
7.25	382	388	382
8.63	400	419	397
10.10	415	422	460
11.65	436	436	542
13.29	439	422	592
15.02	445	455	624
16.83	534	500	637
18.73	547	528	632
20.71	612	556	621
22.78	623	678	625
24.94	670	704	658
27.19	746	885	626
30.00	746	885	808
Vs30	416	427	520



valori di velocità e profili di rigidità determinati attraverso l'analisi ReMi<sup>TM</sup> dei dati

Le situazioni registrate evidenziano che lungo il profilo n.3 ed i profili n.4 e n.5 gli spessori delle coperture al substrato formazionale alterato risultano più esigui e le caratteristiche elastiche del substrato evidenziano qualità più elevate.

I valori di velocità sulla profondità di 30 m, lungo i profili n.1 e n.2 risultano variabili tra 234 m/sec e 284 m/sec, valori che definiscono uno scenario di risposta sismica locale interpretato secondo l'abaco di cui alla tab.3.2.II del D.M. 17.01.2018 riconducibile a quello della categoria di sottosuolo "C", rappresentata da depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

I valori di velocità sulla profondità di 30 m, lungo i profili n.3, n.4 e n.5 risultano variabili tra 412 m/sec e 520 m/sec, valori che definiscono uno scenario di risposta sismica locale interpretato secondo l'abaco di cui alla tab.3.2.II del D.M. 17.01.2018 riconducibile a quello della categoria di sottosuolo "B", rappresentata da rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

### Down-Hole

E' stata eseguita n° 1 verticale identificata con la sigla S2 attrezzata con tubazione cementata per esecuzione prove Down-Hole.

Si riporta di seguito sintesi degli esiti di prova dettagliatamente descritti nella relazione del Geol. F. Stragapede (Elab 22).

Il profilo sismo-stratigrafico derivato dall'analisi dei valori di velocità delle onde elastiche longitudinali o Prime e di taglio o Seconde, nell'ambito della profondità di investigazione Down-Hole di 30 m dal piano di prova, consente di delineare lo scenario di seguito descritto.

- i terreni più superficiali, costituiti da argille limose e sabbiose, da poco a mediamente tenaci, presentano velocità delle onde di taglio di 120-150 m/sec, sino alla

profondità di 7 m dal p.d.p., e sono qualificati da velocità delle onde longitudinali medie di 400-600 m/sec.

- i terreni tra le profondità di 7 m e di 13 m, costituiti da tipologie litologiche argilloso marnose del locale substrato formazionale, limitatamente alla porzione più alterata, presentano valori di velocità delle onde di taglio di 220-250 m/sec e velocità delle onde longitudinali di 1200-1400 m/sec.

- i terreni tra le profondità di 13 m e di 18 m, costituiti da tipologie litologiche argilloso marnose corrispondenti a quelle dell'orizzonte superiore, sono qualificati da omologhi valori di velocità delle onde longitudinali di 1200-1400 m/sec e valori di velocità delle onde di taglio poco superiori, con valori dell'ordine di 250-300 m/sec.

- da 18 m di profondità dal p.d.p. i sedimenti nel sottosuolo, caratterizzati sempre da litotipi argilloso marnosi, sono qualificati valori di rigidità sismica più elevati, con valori di velocità delle onde di taglio di 320-350 m/sec e con valori di velocità delle onde longitudinali di 1400-1800 m/sec; da profondità di 25 m si registra un ulteriore incremento di velocità con valori delle onde di taglio di 380-420 m/sec e velocità delle onde longitudinali che raggiungono valori di 2400 m/sec.

In riferimento alla restituzione delle velocità delle onde di taglio, viene verificata direttamente la "categoria di suolo" del sito in esame, determinando il valore della velocità delle onde S equivalente dei litotipi del sottosuolo, nella profondità di 30 m dal p.d.p., non avendo intercettato in questa profondità il substrato rigido di riferimento, caratterizzato da velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/sec, in riferimento alle specifiche di cui al § 3.2.2 del D.M. 17.01.2018. Il valore equivalente di velocità, necessario alla definizione dello scenario di risposta sismica locale semplificato, è determinato conservativamente alla quota del piano campagna, che sarà necessario ricondurre, per le dovute valutazioni del caso e laddove differente, a quella effettiva "di progettazione".

Il valore della velocità equivalente di riferimento per la determinazione dello scenario sismico di riferimento progettuale viene determinata attraverso la relazione

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

dove **V<sub>S,H</sub>** è la velocità sismica ponderata delle onde trasversali sulla profondità H

**h<sub>i</sub>** è lo spessore dell'orizzonte iesimo sotteso al substrato di riferimento

**V<sub>i</sub>** è la velocità delle onde S dell'orizzonte iesimo di spessore h

**N** è il numero degli strati

**H** è la profondità del substrato definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido con V<sub>s</sub> non inferiore a 800 m/sec

L'andamento del profilo di velocità, in assenza di un substrato rigido nella profondità di investigazione con V<sub>s</sub>>800 m/sec e superiore a 30 m, determina una velocità equivalente di 238 m/sec. Lo scenario di pericolosità sismica, come definito dalle categorie semplificate di sottosuolo viene pertanto ricondotto in prima istanza alla **categoria di sottosuolo "C"**, rappresentata da depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

In riferimento alla quota ultima di progetto, che prevede l'allontanamento dei sedimenti di copertura e quelli di alterazione del substrato, il valore della  $V_{s30}$  risulta incrementarsi sensibilmente e permette di riclassificare la categoria di suolo in riferimento alla tabella §3.2.II del DM 14.01.08, riconducendo lo scenario di pericolosità sismica locale a quello riferibile alla **categoria di sottosuolo B**, rappresentata da rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m e caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/sec e di 800 m/sec.

## **11. Sezioni geologiche**

Il modello geologico della zona di studio è stato ricostruito sulla base delle prove in sito e dei rilevamenti di superficie e restituito graficamente mediante carte geologiche generali (Elab. 3) e di dettaglio (Elab. 9) e mediante sezioni geologiche generali e specifiche per la vallecchia interessata dal progetto (G3).

### 11.1 Sezioni geologiche generali area discariche

Nella zona identificata come di pertinenza delle discariche sono state ricostruite n°4 sezioni generali dello stato attuale atte a ricostruire il modello geologico generale dell'area (Elab.8).

Le sezioni sono state ricostruite sui profili topografici forniti dal Committente e restituite in scala 1:2.000 come di seguito:

- Sezione 22' → asse vallecchia G3
- Sezione 11' → asse vallecchia G4
- Sezione 33' e 44' → perpendicolari a sviluppo vallecchie G3 e G4

### 11.2 Sezioni geologiche vallecchia G3

Nella zona specifica di intervento sono state ricostruite sezioni di dettaglio di stato attuale (Elab.13, Elab.14 e Elab.15) e di stato modificato (Elab.25, Elab.26 e Elab.27).

Le sezioni sono state ricostruite sui profili di stato attuale di rilievo topografico e sui profili di stato modificato di progetto forniti dal Committente, e restituite in scala 1:1.000, e sono state sviluppate sia longitudinalmente sia perpendicolarmente allo sviluppo della vallecchia G3.



## 12. Sintesi parametri geotecnici

Al fine di dare un quadro riepilogativo al progettista geotecnico e strutturale è stato riassunto in tabelle l'insieme delle prove di laboratorio disponibili

Dove:

Cu= coesione non drenata

C' = coesione drenata

$\Phi'$  = angolo di attrito interno drenato

Y= peso di volume umido

Yd= peso di volume secco

Ys= peso specifico reale

### 12.1 Coperture detritiche (frana) - Vallecola G3

Anno	Sond. (n°)	Camp. (n°)	Prof. (m)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Cuu (Kg/cm <sup>2</sup> )	C' (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\Phi'$ °	Y (g/cm <sup>3</sup> )	Yd (g/cm <sup>3</sup> )	Ys (g/cm <sup>3</sup> )
2006	S1/G3	CI1	4.40-5.00	2.00		0.10	29	2.08	1.81	2.68
2006	S1/G3	CI2	8.60-9.20	1.30		0.18	23	2.05	1.68	2.73
2008	S1/G3	CI1	2.50-3.00	1.30				2.00	1.65	2.72
2008	S1/G3	CI2	5.00-5.50	0.75	0.66			2.03	1.73	2.68
2008	S2/G3	CI1	2.40-2.70	>2.0		0.36	25	2.09	1.81	2.70
2008	S3/G3	CI1	4.00-4.50	0.70		0.05	31	2.00	1.68	2.68
2008	S3/G3	CI2	8.00-8.50	1.25	1.50			2.03	1.70	2.67
2008	S4/G3	CI1	2.50-3.10	0.80	0.87	0.19	27	2.01	1.65	2.69
2008	S4/G3	CI2	6.00-6.50	1.00				2.05	1.73	2.69
2021	S1/G3	CI1	2.50-3.00			0.182	25.5	2.03	1.67	2.73
2021	S2/G3	CI1	2.20-2.70	1.69				2.13	1.81	2.73
2021	S3/G3	CI1	2.00-2.50	2.32		0.266	24.8	2.08	1.72	2.74
2021	S5/G3	CI1	2.00-2.50	2.44				2.14	1.82	2.71
2021	S6/G3	CI1	1.50-1.80	2.69				2.18	1.89	2.76

## 12.2 Substrato (FAAp)

Anno	S (n°)	C (n°)	Prof. (m)	Perm. (cm/s)	Cu (Kg/cmq)	Cuu (Kg/cmq)	C' (Kg/cmq)	Φ' °	Y (g/cmc)	Yd (g/cmc)	Ys (g/cmc)
2008	S1/G3	CD2	19.50-19.80		>2		0.33	21	2.13	1.82	2.72
2008	S2/G3	CD1	7.00-7.40		>2				2.11	1.84	2.71
2008	S2/G3	CD2	17.40-17.80		>2	3.25			2.12	1.86	2.73
2008	S3/G3	CD1	14.00-14.40		>2		0.37	29	2.15	1.89	2.69
2008	S3/G3	CD2	22.00-22.50		>2	7.50			2.11	1.90	2.70
2008	S4/G3	CD1	10.50-11.00		>2		0.30	31	2.09	1.86	2.68
2008	S4/G3	CD2	15.50-15.90		>2				2.05	1.84	2.67
2006	S1/G4	CD1	17.30-17.70	3.8*10 <sup>-9</sup>	3.12		0.55	21	2.17	1.88	2.74
2006	S2/G4	CD1	15.00-15.40	2.3*10 <sup>-9</sup>	2.18		0.63	23	2.15	1.86	2.73
2006	S3/G4	CD1	14.00-14.40	6.9*10 <sup>-7</sup>	>2		0.05	30	2.08	1.85	2.68
2007	S4/G4	CD0	14.00-14.30	1.2*10 <sup>-9</sup>	>2		1.45	23	2.21	1.93	2.72
2007	S4/G4	CD1	16.50-16.80	1.52*10 <sup>-9</sup>	>2		1.12	22	2.15	1.86	2.73
2007	S4/G4	CD2	19.00-19.40	1.01*10 <sup>-9</sup>	>2				2.18	1.89	2.74
2007	S4/G4	CD3	21.00-21.40		>2		1.65	23	2.20	1.93	2.73
2007	S4/G4	CD4	23.00-23.30		>2		1.80	24	2.21	1.94	2.72
2007	S4/G4	CD5	25.00-25.40		>2		1.50	24	2.19	1.92	2.71
2007	S4/G4	CD6	27.00-27.30		>2		1.75	25	2.16	1.88	2.71
2007	S4/G4	CD7	29.00-29.40		>2		1.88	23	2.22	1.96	2.73
2007	S5/G4	CD1	3.20-3.60		>2		1.90	22	2.18	1.93	2.74
2007	S5/G4	CD2	5.00-5.40		>2		1.70	24	2.20	1.94	2.72
2007	S5/G4	CD3	8.00-8.40		>2		1.85	23	2.20	1.94	2.73
2014	S7/14	C1	7.10-7.50	8.1*10 <sup>-11</sup>			0.42	21.1	2.15	1.84	2.71
2014	S7/14	C2	13.0-13.40	9.1*10 <sup>-11</sup>	2.56				2.09	1.85	2.73
2014	S8/14	C1	3.40-3.80	1.0*10 <sup>-10</sup>	2.65		0.52	22.2	2.09	1.84	2.74
2014	S8/14	C2	8.00-8.40	7.8*10 <sup>-11</sup>	2.16				2.04	1.76	2.71
2014	S8/14	C3	12.20-12.50	3.7*10 <sup>-11</sup>			0.46	20.0	2.03	1.79	2.78
2014	S9/14	C1	2.10-2.40	1.2*10 <sup>-10</sup>	3.17		0.58	22.1	2.05	1.77	2.74
2014	S9/14	C2	9.60-10.00	4.9*10 <sup>-11</sup>					2.04	1.71	2.78
2014	S9/14	C3	11.50-11.80	6.1*10 <sup>-11</sup>			0.20	24.2	2.00	1.65	2.77
2014	T1	1			3,67				2.10	1.74	
2014	T1	4		5,9*10 <sup>-10</sup> (m/s)			0,46	22,7	2.17	1.84	
2014	T1	5					0,82	21,7	2.19	1.87	
2014	T2	3		3.4*10 <sup>-10</sup> (m/s)			0,60	20,1	2.20	1.89	
2014	T2	6				4,14			2.21	1.90	
2014	T8	2		4.9*10 <sup>-10</sup> (m/s)			1,05	23	2.20	1.89	
2014	T1	/					1,47	23	2.22	1.90	
2014	T8	/					1,22	20,8	2.19	1.85	
2021	S3/G3	CR2	9.00-9.30	1.2*10 <sup>-10</sup> (m/s)			0.527	24.3	2.13	1.81	
2021	S3/G3	CR3	15.70-16.00				0.745	22.4	2.15	1.83	2.72
2021	S3/G3	CR4	18.70-19.00			4.64			2.19	1.91	
2021	S3/G3	CR5	21.50-21.80	4.3*10 <sup>-11</sup> (m/s)					2.16	1.86	2.73
2021	S4/G3	CR2	10.60-11.00	1.1*10 <sup>-10</sup> (m/s)			0.925	23.8	2.15	1.83	2.74
2021	S4/G3	CR3	15.50-15.70	8.1*10 <sup>-11</sup> (m/s)					2.14	1.84	
2021	S4/G3	CR4	18.60-19.00				0.958	20.7	2.13	1.80	2.75
2021	S5/G3	CR1	3.80-4.20			3.87			2.15	1.84	
2021	S5/G3	CR2	8.40-8.80				0.613	21.5	2.17	1.85	2.72
2021	S5/G3	CR3	11.10-11.50				0.178	28.3	2.16	1.92	2.68
2021	S5/G3	CR4	18.50-18.80	8.7*10 <sup>-11</sup> (m/s)			0.716	19.9	2.13	1.84	

### 12.3 Substrato (FAAap)

Anno	Sond. (n°)	Camp. (n°)	Prof. (m)	Perm. (cm/s)	Cu (Kg/cmq)	Cuu (Kg/cmq)	C' (Kg/cmq)	Φ' °	Y (g/cmc)	Yd (g/cmc)	Ys (g/cmc)
2006	S1/G3	CD1	16.50-16.80	2*10 <sup>-9</sup>	>2	1.82	0.90	20	2.19	1.90	2.73
2006	S1/G3	CD2	23.00-23.30	2.3*10 <sup>-9</sup>	>2		0.77	21	2.20	1.92	2.75
2008	S1/G3	CD1	15.00-15.30		>2				2.05	1.79	2.74
2002	S5i/G2	CD1	3.00-3.30				0.00	30	1.92	1.53	2.70
2002	S6i/G2	CD1	4.00-4.30				0.05	33	1.90	1.49	2.71
2002	S2i/G2	CD1	7.50-7.70				0.00	32	1.87	1.53	2.69
2003	T1/G2	1	-3.00				1.12	39,8			
2003	T2/G2	2	-1.50				1.58	37,9			
2003	T3/G2	3	-2.00				1.24	26,9			
2007	S2-07/G2	CD1	2.50-3.10	4.02*10 <sup>-9</sup>	>2		0.75	27	2.26	2.08	2.70
2007	S2-07/G2	CD2	3.40-4.00		>2		0.70	26	2.23	2.04	2.71
2007	S2-07/G2	CD5	6.60-7.00	4.89*10 <sup>-9</sup>	>2				2.28	2.11	2.69
2007	S2-07/G2	CD7	9.60-10.00		>2		0.55	26	2.21	2.04	2.70
2007	S2-07/G2	CD8	10.60-11.00		>2		0.65	26	2.20	2.02	2.69
2007	S2-07/G2	CD9	12.60-13.00	1.89*10 <sup>-9</sup>	>2				2.28	2.08	2.70
2007	S2-07/G2	CD10	14.00-14.35	2.29*10 <sup>-9</sup>	>2				2.29	2.13	2.68
2014	T3						1,25	23,5	2.25	1.95	
2014	T6						1,24	21,4	2.26	1.98	
2014	T1	1				3,67			2.11	1.74	
2014	T1	4		5.9*10 <sup>-10</sup> (m/s)			0,46	22,7	2.17	1.84	
2014	T1	5					0,82	21,7	2.19	1.87	
2021	S1/G3	CR2	11.60-12.00			4.13			2.18	1.87	
2021	S1/G3	CR3	17.60-18.00	6.5*10 <sup>-11</sup> (m/s)					2.14	1.82	2.72
2021	S1/G3	CR4	23.00-23.40	2.2*10 <sup>-11</sup> (m/s)			1.05	20.6	2.17	1.85	2.75
2021	S1/G3	CR5	25.70-25.90						2.15	1.82	2.76
2021	S2/G3	CR2	17.30-17.50	7.6*10 <sup>-11</sup> (m/s)			0.817	19.9	2.14	1.82	
2021	S2/G3	CR3	21.00-21.30				0.814	20.8	2.13	1.80	2.74
2021	S2/G3	CR4	28.70-29.00						2.12	1.79	2.75
2021	S6/G3	CR1	3.30-3.60				0.306	23.2	2.12	1.81	2.75
2021	S6/G3	CR3	9.00-9.30	1.3*10 <sup>-10</sup> (m/s)					2.14	1.82	2.74
2021	S6/G3	CR4	15.50-15.80				1.18	21.3	2.21	1.92	
2021	S6/G3	CR5	19.00-19.40	8.2*10 <sup>-11</sup> (m/s)		4.35			2.18	1.88	2.75

### 13. Verifiche di stabilità

Una volta definito il modello geotecnico e sismico di calcolo sulla base dei rilievi e delle prove in sito, per la valutazione delle opere progettuali idonee, dovranno essere realizzate le verifiche di stabilità inerenti le scarpate in scavo, le scarpate in riporto, gli argini di contenimento, il corpo discarica, la viabilità di accesso, ecc.

Tali verifiche saranno realizzate dal progettista geotecnico e strutturale incaricato nel rispetto delle normative vigenti.

## 14. Considerazioni sulla sismicità

### 14.1 Note Generali

L'Emilia Romagna è storicamente interessata da una sismicità "media" che caratterizza soprattutto la Romagna dove, in passato, sono avvenuti i terremoti più forti.

La provincia di Forlì-Cesena è ad alta sismicità, ed in particolare nella sua parte collinare e montana sono frequenti gli eventi sismici significativi registrati negli anni.

La sismicità della zona, dal punto di vista generale, è legata al sistema di grandi faglie inverse che interessano la Formazione Marnoso Arenacea.

Le profondità ipocentrali riscontrate sono in genere inferiori a 10 Km, con sollecitazioni superficiali a carico della copertura sedimentaria.

### 14.2 Storia sismica del Comune di Sogliano al Rubicone

Al fine di inquadrare dal punto di vista della sismicità storica l'area in esame, si riporta di seguito un breve riepilogo delle osservazioni macrosismiche di terremoti al di sopra della soglia del danno che hanno interessato storicamente il Comune di Sogliano al Rubicone. Nello specifico, le informazioni riportate di seguito derivano dalla consultazione del DBMI15 il database macrosismico utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 (consultabile on-line al sito <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>).

Nella tabella seguente sono riportati gli eventi di maggiore intensità verificatisi a Sogliano al Rubicone, indicando per ciascuno di essi, oltre agli effetti provocati al sito, espressi come Intensità (MCS), quando si è verificato, il numero di località coinvolte (NMDP), l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io), e la magnitudo momento (Mw).

### Sogliano al Rubicone

PlaceID	IT_42200
Coordinate (lat, lon)	44.005, 12.300
Comune (ISTAT 2015)	Sogliano al Rubicone
Provincia	Forlì-Cesena
Regione	Emilia-Romagna
Numero di eventi riportati	38

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
4	1897	12	18	07	24	2	Alta Valtiberina	132	7	5.09
NF	1898	01	16	13	10		Romagna settentrionale	110	6	4.59
3	1899	07	08	22	56	5	Bagno di Romagna	37	4	4.02
NF	1909	08	25	00	22		Crete Senesi	259	7-8	5.34
4-5	1911	02	19	07	18	3	Forlivese	181	7	5.26

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
3	1913	07	21	22	35		Appennino romagnolo	43	5-6	4.79
4	1915	01	13	06	52	4	Marsica	104 1	11	7.08
6	1916	08	16	07	06	1	Riminese	257	8	5.82
3	1917	04	26	09	35	5	Alta Valtiberina	134	9- 10	5.99
6-7	1919	06	29	15	06	1	Mugello	565	10	6.38
3	1924	01	02	08	55	1	Senigallia	76	7-8	5.48
3	1952	07	04	20	35	1	Appennino forlivese	64	7	4.94
F	1952	12	02	06	13	2	Appennino forlivese	53	5	4.42
4-5	1953	12	14	07	11	0	Appennino forlivese	48	5-6	4.70
NF	1969	08	09	09	20	5	Appennino tosco-romagnolo	33	5	4.20
NF	1970	09	26	16	42	2	Cesenate	18	4-5	3.93
4	1985	11	24	06	54	0	Appennino forlivese	29	5-6	4.29
NF	1986	12	06	17	07	1	Ferrarese	604	6	4.43
3-4	1993	11	07	23	21	1	Cesenate	36	4-5	3.95
NF	1993	11	09	13	46	2	Cesenate	28	4-5	3.93
3	1995	12	27	23	44	2	Forlivese	37	5	3.97
4	1997	09	26	00	33	1	Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
5	1997	09	26	09	40	2	Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
2	1997	10	02	19	38	0	Alta Valtiberina	55		4.42
NF	1997	10	14	15	23	1	Valnerina	786		5.62
2-3	1998	04	05	15	52	2	Appennino umbro-marchigiano	395		4.78
4	1999	01	25	22	45	5	Appennino forlivese	97	5	4.36
3	2000	05	06	22	07	0	Faentino	85	5	4.08
3	2000	05	08	12	29	5	Faentino	126	5	4.67

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
NF	2000	05	10	16	52	1	Faentino	151	5-6	4.82
4-5	2000	08	01	02	34	3	Montefeltro	84	5-6	4.27
3	2001	11	26	00	56	5	Casentino	211	5-6	4.63
3-4	2002	02	21	14	36		Casentino	43	5	4.09
5	2003	01	26	19	57	0	Appennino forlivese	35	6	4.66
4	2003	01	26	20	15	0	Appennino forlivese	63	5-6	4.50
3-4	2003	01	29	23	50	1	Appennino forlivese	71	4-5	4.06
3-4	2003	12	07	10	20	3	Forlivese	165	5	4.18
NF	2006	10	21	07	04	1	Anconetano	287	5	4.21

*DEFINIZIONI DELLE SIGLE UTILIZZATE NELLA TABELLA*

<b>Intensità [MCS]</b>	Intensità macrosismica espressa in scala MCS. Alcuni effetti non sono esprimibili con la scala MCS per cui vengono utilizzati dei codici alternativi (si veda la relativa tabella)
<b>Data</b>	Data del terremoto
<b>Area epicentrale</b>	Area epicentrale, area geografica in cui sono stati riscontrati gli effetti maggiori del terremoto
<b>NMDP</b>	Numero di punti, numero di osservazioni macrosismiche disponibili per il terremoto
<b>Io</b>	Intensità macrosismica epicentrale, da CPTI15, espressa in scala MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg [dettagli]
<b>Mw</b>	Magnitudo momento, da CPTI15

*CODICI ALTERNATIVI MCS UTILIZZATI NELLA TABELLA 5*

Codice	Descrizione
<b>RS</b>	Registrazione strumentale. Osservazioni scartate
<b>NR</b>	Non riportato (Not Reported). Osservazioni scartate
<b>W</b>	Onde anomale, tsunami (sea Waves). Oss. scartate
<b>E</b>	Effetti ambientali (Environmental effects). Oss. scartate
<b>G</b>	Indicazione generica di danno a un sito
<b>NF</b>	Non percepito (Not Felt)
<b>NC</b>	Non classificato (Not Classified)
<b>SF</b>	Percepito leggermente (Slightly Felt)
<b>F</b>	Percepito (Felt)
<b>HF</b>	Percepito distintamente (Highly Felt)
<b>SD</b>	Danno leggero (Slight Damage)
<b>D</b>	Danno (Damage)
<b>HD</b>	Danno grave (Heavy Damage)

Si riporta infine di seguito grafico con i maggiori terremoti storici che hanno colpito Sogliano al Rubicone



#### 14.3 Classificazione sismica del Comune di Sogliano al Rubicone

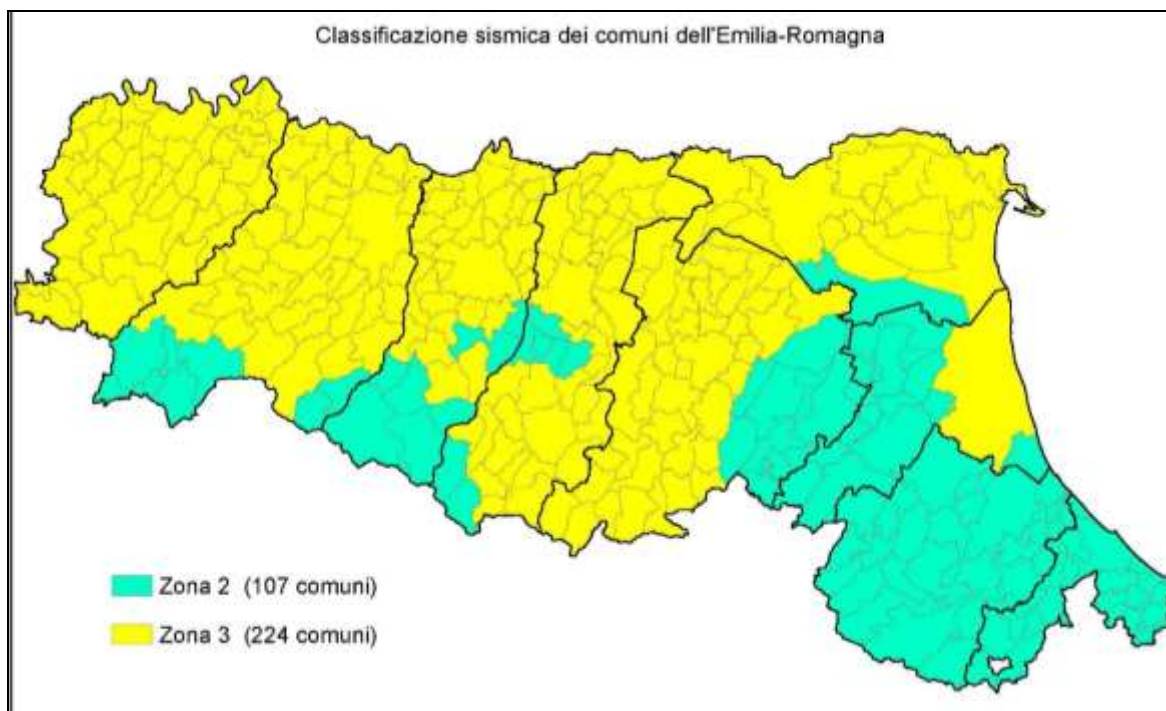
Il territorio del Comune di Sogliano al Rubicone è classificato sismico di seconda categoria [(S=9) dal 1983], in base alla classificazione nazionale dei Comuni italiani stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n. 3274 del 20 marzo 2003, che ha confermato quella precedente proposta nel 1998. I Comuni sismici italiani sono pertanto distinti in 4 zone (tabella n. 4). Le prime 3 [zone con sismicità alta (S=12), media (S=9) e bassa (S=6)] erano già state definite dalla Legge 64/74. La zona 4 è invece di nuova introduzione. A ciascuna di queste zone è stato assegnato uno specifico valore dell'accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni. Ad ogni area del territorio nazionale è stato assegnato un proprio livello di pericolosità sismica.

**Zone sismiche e massimi valori di  $a_g$**

ZONA	VALORI MASSIMI DI $a_g$
1	$>0,25$
<b>2</b>	<b><math>0,15 \div 0,25</math></b>
3	$0,05 \div 0,15$
4	$<0,05$

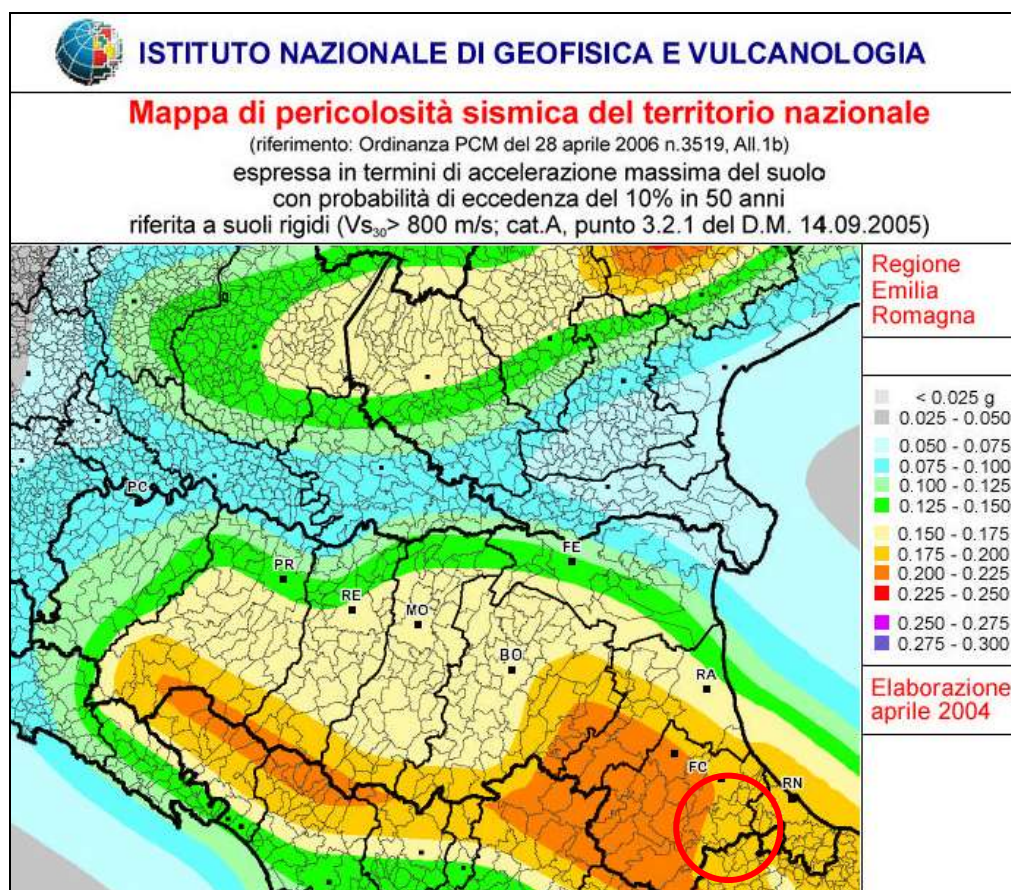
Il Comune di Sogliano al Rubicone, in base alla Classificazione sismica della Regione Emilia-Romagna, appartiene alla zona 2 (figura seguente).





#### 14.4 Zonizzazione sismica

Nella mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale, redatta a cura dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (figura seguente) la pericolosità di ciascuna zona è espressa in termini di accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi contraddistinti da  $V_{s30} > 800$  m/s.





In questa mappa il territorio in esame ricade in un'area caratterizzata da un'accelerazione sismica orizzontale massima  $a_g$  pari a 0,175-0,200 g.

#### 14.5 Magnitudine di progetto

Nella Zonazione sismogenetica **ZS9** dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, l'area in oggetto ricade nella zona "Medio-Marchigiana/Abruzzese 918" con  $M_w$  max (magnitudo momento massima) di **6,37**. Nel *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS)* dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Version 3.2.0, l'area in esame è situata tra la zona "ITCS001: Castel San Pietro Terme-Meldola" con  $M_w$  max (magnitudo momento massima) di **5,8**, la zona "ITCS039: Riminese onshore" con  $M_w$  max (magnitudo momento massima) di **5,9** e la zona "ITCS027: Bore-Montefeltro-Fabriano-Laga" con  $M_w$  max (magnitudo momento massima) di **6,2**.

L'insieme dei dati disponibili porta pertanto a ritenere che, nel caso del territorio in esame, sia cautelativo utilizzare, nei calcoli, una magnitudo pari a **6,37** (ZS9).

### 15. NTC 2018 (D.M. 17/01/2018)

#### ■ Azione sismica (3.2 NTC 2018)

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" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento  $V_R$ , come definito nel § 2.4. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , 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;

$T^*_C$  valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per i valori di  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T^*_C$ , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

■ Categoria di sottosuolo (3.2.2 NTC 2018)

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità VS per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2.

I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

$h_i$  spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$  velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{S,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

**Tab. 3.2.II** – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

<b>Categoria</b>	<b>Caratteristiche della superficie topografica</b>
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
<b>E</b>	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle presenti norme.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Dalle indagini geofisiche eseguite nel sedime di studio si ricava che l'andamento del profilo di velocità, in assenza di un substrato rigido nella profondità di investigazione con  $V_s > 800$  m/sec e superiore a 30 m, determina una velocità equivalente di 238 m/sec. Lo scenario di pericolosità sismica, come definito dalle categorie semplificate di sottosuolo viene pertanto ricondotto in prima istanza alla **categoria di sottosuolo "C"**, rappresentata da depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

In riferimento alla quota ultima di progetto, che prevede attestazione della scarica nel substrato con totale allontanamento dei sedimenti di copertura e quelli di alterazione del substrato, il valore della  $V_{s30}$  risulta incrementarsi sensibilmente e permette di riclassificare la categoria di suolo in riferimento alla tabella §3.2.II del DM 14.01.08, riconducendo lo scenario di pericolosità sismica locale a quello riferibile alla **categoria di sottosuolo B**, rappresentata da rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m e caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/sec e di 800 m/sec.

#### ■ Condizioni topografiche (3.2.2 NTC 2018)

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

**Tab. 3.2.III** - *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Nel nostro caso i rilievi topografici disponibili consentono di definire la categoria topografica come T2.

## **16. Risposta sismica locale (RSL)**

Al fine della definizione dell'azione sismica di progetto, vista l'opera in progetto, e gli esiti dell'indagine geofisica, si è ritenuto, a scopo indicativo per il progettista geotecnico e strutturale, realizzare specifico approfondimento mediante analisi della risposta sismica locale (RSL) di cui al § 7 del D.M.17.01.2018.

Per i necessari approfondimenti in merito si rimanda allo specifico Elaborato 22 curato dal Geol. F. Stragapede.

## **17. Consigli operativi**

In corrispondenza degli affioramenti di natura argillosa e marnoso-argillosa, la scarsa consistenza e l'impermeabilità dei terreni ha dato luogo allo sviluppo di un reticolo idrografico ed ha fornito all'area in esame la caratteristica morfologica collinare con pendii scarsamente acclivi modellati dagli agenti atmosferici e dalle lavorazioni agrarie, localmente interrotta da profonde incisioni variegate con formazione di forme calanchive.

I calanchi in evoluzione si sviluppano su terreni marnoso-argillosi alterati, con pendenze medio-alte e locali fenomeni di erosione concentrata, ruscellamento e movimenti gravitativi corticali per fluidificazione indotta dalle precipitazioni meteoriche. A partire dal coronamento dei bacini calanchivi, si realizza l'intercalare di incisioni più o meno ampie e pronunciate, mentre sul fondo delle forme concave si accumulano depositi detritici prodotti dall'erosione delle pendici superiori, che stagionalmente subiscono evoluzioni più o meno marcate a seconda dell'intensità e durata delle precipitazioni.

In particolare alla luce del rilevamento di superficie, delle indagini in sito consultate e delle indagini in sito e di laboratorio eseguite si rileva che l'area interessata dalle opere di progetto risulta per la maggior parte interessata da terreni formazionali (FAA<sub>p</sub> e FAA<sub>ap</sub>) con locali coltri di copertura derivanti da fenomeni evolutivi. Nelle zone sommitali della vallecchia G3, le osservazioni di campagna consentono di rilevare locali

zone che, in corrispondenza dei principali periodi piovosi, hanno subito movimenti corticali del detrito di copertura. Tali movimenti risultano di scarso significato essendo concentrati nella parte alta della vallecola là dove gli spessori alterati e decompressi sono di scarsa entità.

Peraltro la pendice poi in prossimità del crinale di Ginestreto evidenzia una minore pendenza ed i campi hanno un uso a prato pascolo-seminativo.

Nella parte terminale della vallecola G3, in corrispondenza dell'attuale strada di accesso alle discariche si rileva presenza di materiale detritico. Tale materiale risulta derivato da pregressi fenomeni di evoluzione della soprastante vallecola.

A seguito di quanto precedentemente esposto si ritiene opportuno segnalare ai progettisti ed al consulente geotecnico una serie di consigli operativi derivanti da pure osservazioni di carattere geologico, al fine di ottenere, previa verifica di tipo geotecnico ed ingegneristico, opere funzionali e durature nel tempo.

### 1) Corpo discarica

La Discarica sarà realizzata su roccia argilloso-marnosa (substrato) con elevate capacità portanti, preventivamente decorticata dai detriti superficiali di alterazione e coltri di frana, al fine di giungere a minimi assestamenti sotto il carico indotto in modo graduale dai rifiuti stoccati progressivamente durante la coltivazione della discarica e garantire la stabilità della pendice in coltivazione.

Tale attestazione su substrato impermeabile, che costituisce barriera naturale, garantirà inoltre da fenomeni di filtrazione in profondità. Ad ogni buon conto dovrà prevedersi anche l'installazione di una ulteriore barriera di fondo artificiale, costituita da teli di geomembrana di impermeabilizzazione.

### 2) Argine di contenimento

Al piede della discarica verrà realizzato un argine in argilla compattata additivata con calce, atto a delimitare la stessa. Visto lo stato del materiale detritico, ampiamente documentato da prove in sito e di laboratorio, si consiglia la realizzazione di opere strutturali profonde (pali) di stabilizzazione che consentano l'incastro dell'opera di contenimento su terreni formazionali tenaci e di opere di bonifica con totale asportazione del materiale detritico che limitino eventuali cedimenti indotti dal realizzando argine.

I terreni del rilevato andranno opportunamente costipati al fine di imprimere agli stessi un buon grado di addensamento, che consenta loro di mantenere angoli di scarpa congrui con la geometria di progetto.

Per quanto riguarda l'esecuzione dell'argine si consiglia quanto segue:

- eseguire il lavoro in periodo stagionale asciutto;
- provvedere alla preventiva decorticazione dello strato vegetale e detritico superficiale nelle zone soggette a riporto;
- provvedere alla bonifica e alla gradonatura in contropendenza delle zone interessate da riporto al fine di consentire un adeguato incastro sul sottostante terreno;
- il costipamento del materiale di riempimento deve essere eseguito sul materiale disteso in strati successivi di spessore non superiore a 30 - 40 cm;
- il costipamento va eseguito su ogni strato successivo passando più volte sulla superficie con adeguati mezzi di compattazione;
- realizzare il rilevato provvedendo al raggiungimento di un addensamento del 95% della prova Proctor modificata;

- convogliare le acque meteoriche nel sottostante reticolo idrografico di scolo esistente, provvedendo alla realizzazione di opere di protezione che evitino indesiderati fenomeni di erosione lineare su pendici mediamente acclivi;
- realizzare sul lato del rilevato rivolto verso il corpo discarica una adeguata barriera impermeabile.

### 3) Opere di protezione zona di monte

Per quanto riguarda la pendice di monte delimitante l'area di intervento che risulta costituita da litotipi formazionali tenaci in affioramento e/o con ridotte coperture di alterazione formazionale, si consiglia quanto segue:

- provvedere all'asportazione delle coperture detritiche;
- provvedere alla risagomatura superficiale delle pendici mediante la gradonatura di quelle maggiormente acclivi e/o di significativo sviluppo lineare;
- eseguire opere antiersive, di regimazione idrica e smaltimento;

### 4) Opere sui fianchi

In corrispondenza dei fianchi della vallecchia G3 come evidente dalla carta geologica e sezioni sono presenti ridottissime coperture di alterazione.

Tali coperture se scalzate al piede per la realizzazione della discarica potrebbero dare origine a movimenti gravitativi corticali.

Al fine di evitare problemi di stagionali franamenti delle coltri detritiche in direzione dell'area discarica si raccomanda di asportare le medesime mediante scavo e provvedere alla risagomatura superficiale delle pendici mediante la gradonatura di quelle maggiormente acclivi e/o di significativo sviluppo lineare.

Inoltre è necessario realizzare idoneo sistema di raccolta e smaltimento acque.

### 5) Scavi e riporti

Per la realizzazione degli scavi si consiglia quanto segue:

- eseguire il lavoro in periodo stagionale asciutto;
- realizzare la completa asportazione delle coltri detritiche e poggiare la geomembrana di impermeabilizzazione della discarica su litotipi tenaci formazionali;
- provvedere all'allontanamento della risulta a scadenti caratteristiche geotecniche;
- provvedere alla risagomatura superficiale delle pendici prevedendo la gradonatura di quelle maggiormente acclivi e/o di significativo sviluppo;
- allo scopo di evitare alterazione dei parametri geomeccanici dei terreni a causa delle acque meteoriche, si raccomanda la puntuale e meticolosa regimazione delle acque meteoriche mediante adeguata rete di fossi di scolo a monte della zona oggetto di futura coltivazione.

Per la realizzazione dei riporti si consiglia quanto segue:

- eseguire il lavoro in periodo stagionale asciutto;
- il costipamento del materiale di riempimento deve essere eseguito sul materiale disteso in strati successivi di spessore non superiore a 30 - 40 cm;
- il costipamento va eseguito su ogni strato successivo passando più volte sulla superficie con adeguati mezzi di compattazione.

## 18. Conclusioni

Il presente studio geologico, realizzato nell'ambito dello studio di impatto ambientale e come supporto al progetto per la realizzazione della discarica per rifiuti speciali non pericolosi denominata "Ginestreto 3", in Località Ginestreto-Vallecola G3 in Comune di Sogliano al Rubicone (FC), ha precisato la situazione geologica, geomorfologica e idrogeologica della zona e ha consentito di caratterizzare dal punto di vista geofisico, geotecnico e sismico i terreni interessati.

In riferimento ai risultati delle campagne geognostiche, delle risultanze dei dati disponibili, e seguenti rilevamenti geologici e geomorfologici di dettaglio, si rileva che l'intervento di progetto determinerà modificazioni morfologiche, di regimazione acque, di impermeabilizzazione e consolidamento che miglioreranno lo stato di fatto rilevato, impedendo l'evoluzione di tipo calanchivo della vallecola mediante gli interventi da realizzare nella parte sommitale e sui fianchi di G3.

Inoltre la discarica sarà poggiata su litotipi ascrivibili alla formazione tenace (substrato) con buone capacità portanti, mediante totale asportazione delle coperture di versante e di alterazione.

L'opera di contenimento al piede (briglia in argilla additivata con calce e opera di rinforzo interna - pali) così come meglio esposto nella relazione geotecnica supportata da calcoli e verifiche di stabilità a cura del progettista geotecnico e strutturale, garantirà la stabilità sia del terreno sia del rifiuto da stoccare in discarica.

Per quanto sopra esposto si ritiene che l'opera sia compatibile con le caratteristiche idro-geo-morfologiche locali e che gli impatti ambientali prodotti siano ammissibili e mitigabili mediante una corretta gestione dell'impianto e con un idoneo progetto di recupero ambientale e relativa gestione post-esercizio.

Concludendo, in riferimento a quanto osservato ed alle risultanze della campagna geognostica di primo riferimento, se il progettista strutturale e geotecnico non ravvede la necessità o opportunità di integrare i dati acquisiti con ulteriori prove e/o diverse tecniche di prospezione, si rileva che l'intervento di progetto risulta fattibile dal punto di vista geologico, e condizionato, per quanto riguarda la progettazione esecutiva strutturale, dalle caratteristiche tecniche dei terreni nel sottosuolo.

Valutazioni e considerazioni geotecniche sono rimandate allo studio geotecnico di supporto alla fase di progettazione esecutiva strutturale, fase nella quale dovranno essere svolte, in riferimento alle geometrie di fondazione ed alle azioni agenti sul suolo ed alle prestazioni richieste alla struttura, le verifiche del caso (relazione geotecnica ai sensi D.M. 17/01/2018).