**Committente:**

GRUPPO WASTEITALIA

**Località:**

Comune di Vado Ligure (SV)
Discarica per rifiuti non pericolosi in località Bossarino

**Progetto:**

# AMPLIAMENTO LATO EST
# PROGETTO DEFINITIVO

**Titolo elaborato:**

# RELAZIONE GEOTECNICA

**Numero elaborato:**

# R04

**Codice interno del documento:**

030-006R04E01

| Rev. | Data | Descrizione | Redatto | Controllato | Approvato |
|---|---|---|---|---|---|
| E01 | 05/08/2016 | Emissione | Maria Elena Lacapra | Stefano Veggi | Stefano Veggi |
| E02 | | | | | |
| E03 | | | | | |

**Progettista:**

Desmos
Ingegneria Ambiente Energia

**Timbro e firma:**

ORDINE INGEGNERI PROV. ALESSANDRIA
SETTORI CIVILE AMB. INDUSTR. – INFORM.
STEFANO VEGGI
INGEGNERE
N° A-1054
SEZIONE A

Desmos Ingegneria Ambiente Energia s.r.l.
Sede operativa: Via Pietrasanta, 12 – 20141 Milano  Sede legale: Viale Bianca Maria, 13 – 20122 Milano
E-mail: desmos-ing@desmos-ing.it  - E- mail certificata: desmos-ing@pec.it
P.I e C.F. : 09016150964

# S O M M A R I O

1. INTRODUZIONE ..... 4
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO ..... 5
2.1 Bibliografia ..... 5
2.2 Inquadramento normativo ..... 6
2.3 Codici di calcolo ..... 7
3. UBICAZIONE DELLA DISCARICA ..... 8
4. RISULTATI PIANO DI INDAGINE ..... 10
4.1 Indagini in sito ..... 10
4.1.1 Indagini geognostiche ..... 10
4.1.2 Indagini geofisiche ..... 14
4.1.3 Prove di carico su piastra ..... 15
4.1.4 Rilievo geomeccanico del substrato roccioso nella zona A ..... 15
4.2 Prove di laboratorio ..... 15
4.2.1 Prove di laboratorio sui rifiuti e sugli arginelli infrastrato ..... 15
4.2.2 Prove di laboratorio sull'ammasso roccioso ..... 19
5. PROFILO STRATIGRAFICO, LIVELLO DI FALDA E LIVELLO DI PERCOLATO ..... 21
5.1 Profilo stratigrafico ..... 21
5.2 Livello di falda ..... 26
5.3 Livello di percolato ..... 26
6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA ..... 28
6.1 Parametri geotecnici dei materiali ..... 29
6.1.1 Materiali geosintetici ..... 29
6.1.2 Rifiuti ..... 31
6.1.3 Substrato naturale ..... 40
6.2 Valori dei parametri geotecnici per le analisi ..... 40
7. CALCOLO DEI CEDIMENTI ..... 42
7.1 Cenni teorici ..... 43
7.1.1 Generalità ..... 43

7.1.2 Cedimenti primari ....45
7.1.3 Cedimenti secondari per viscosità e biodegradazione....47
7.2 Calcolo dei cedimenti....50
7.2.1 Calcolo delle quote di costruzione ....54
7.2.2 Cedimenti del piano di posa della barriera di fondo....56
7.2.3 Cedimenti del rilevato di contenimento ....57
7.2.4 Compatibilità della barriera di fondo dell'ampliamento con i cedimenti attesi ....58
7.2.5 Conclusioni....60
8. METODOLOGIA DI CALCOLO PER LE ANALISI DI STABILITÀ ....61
8.1 Analisi statiche....61
8.2 Analisi sismiche....62
8.3 Parametri caratterizzanti l'azione sismica....63
8.3.1 Definizione della pericolosità sismica....63
8.3.2 Accelerazione massima attesa....65
8.4 Parametri di progetto ....65
9. OPERE DI SOSTEGNO ....67
9.1 Terre Rinforzate ....67
9.1.1 Descrizione....67
9.1.2 Caratteristiche dei materiali....67
9.2 Opere di consolidamento al piede ....68
9.2.1 Il jet-grouting....68
9.2.2 Descrizione dell'intervento ....69
9.2.3 Caratterizzazione geotecnica materiale consolidato ....70
9.2.4 Dimensionamento della griglia di ripartizione e cedimento differenziale ....71
9.2.5 Tiranti di ancoraggio ....72
10. ANALISI DI STABILITÀ DELLA DISCARICA ....75
10.1 Sezioni di calcolo ....75
10.2 Risultati in condizioni statiche....78
10.3 Risultati in condizioni pseudostatiche ....78
11. ANALISI DI STABILITÀ DELLE TERRE RINFORZATE ....80
11.1.1 Tipologia di analisi eseguite....80

11.1.2 Risultati delle analisi ....80
11.2 Resistenza nominali dei geosintetici....82
12. STABILITÀ DELLA COPERTURA DEFINITIVA ....84
12.1 Stratigrafia del pacchetto di copertura ....84
12.2 Ipotesi di calcolo ....85
12.3 Caratteristiche dei materiali....86
12.3.1 Resistenza nominale dei geosintetici ....87
12.4 Analisi di stabilità in condizioni statiche ....87
12.5 Analisi di stabilità in condizioni sismiche....88

Allegati:

Allegato A: Prove di Laboratorio sui rifiuti

Allegato B: Analisi di stabilità della discarica

Allegato C: Analisi di stabilità delle terre rinforzate

Allegato D: Verifica di stabilità della copertura definitiva

# 1. INTRODUZIONE

La presente relazione esamina gli aspetti geotecnici del progetto definitivo per l'ampliamento in sinistra orografica della discarica per rifiuti speciali non pericolosi di Bossarino, nel comune di Vado Ligure (SV), in località omonima.

Il progetto prevede in particolare due principali fasi di ampliamento dell'impianto di discarica esistente e precisamente:

- nella prima fase si considera un ampliamento dell'impianto sull'area dell'attuale discarica, in corrispondenza del settore Sud Ovest (Lotto 1A),
- nella seconda fase si considera l'estensione dell'ampliamento sia sull'area dell'attuale discarica, a monte del Lotto 1A realizzato nella prima fase, sia all'esterno dell'attuale perimetro dell'impianto, in corrispondenza della vallecola presente a Est (Lotto 2).

La suddivisione in due fasi temporali e, conseguentemente in Lotti si propone al fine di ottimizzare la logistica di realizzazione dell'ampliamento, senza creare interruzioni nel conferimento dei rifiuti.

Nel presente documento saranno affrontate le seguenti tematiche geotecniche, inerenti la progettazione della discarica:

- caratterizzazione geotecnica dei rifiuti esistenti, dei rifiuti coinvolti nelle attività di ampliamento, delle interfacce nei sistemi di rivestimento e del terreno presente nell'area di ampliamento;
- verifiche di stabilità del fondo riprofilato e del corpo rifiuti (comprendenti quindi la stabilità dei rifiuti di ampliamento e la stabilità nei confronti dello scivolamento lungo le interfacce di impermeabilizzazione) alla luce della nuova configurazione morfologica) in condizioni statiche e sismiche;
- dimensionamento delle opere di sostegno (terre rinforzate e opere di consolidamento al piede);
- previsione dei cedimenti della discarica;
- verifiche di stabilità della copertura definitiva.

La relazione è stata predisposta in accordo con il D. M. delle Infrastrutture e dei Trasporti 14.01.2008, "Norme tecniche per le costruzioni" ed in particolare al paragrafo 6 (Progettazione Geotecnica) e 7 (Progettazione per azioni sismiche).

# 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

## 2.1 Bibliografia

1. BISHOP, W.A. (1955), *The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slope*. Geotechnique, vol. 5, n.1.
2. BRAY, J.D., AUGELLO, A.J., LEONARDS, G.A., REPETTO, P.C. AND BYRNE, R.J. (1993), *Seismic Stability Procedure for Solid Waste Landfills*. ASCE Journal of Geotechnical Engineering. Vol. 121 N. 2.
3. DIXON, N. e JONES, D.R.V. (2004), *Engineering Properties of Municipal Solid Waste*. Geotextiles and Geomembranes, Vol. 23, June 2005, pp. 205-233.
4. *EID H.T., STARK T.D., EVANS W.D., SHERRY P.E. (*2000*) SOLID WASTE FAILURE. I:* Waste and foundation properties. J. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 126(5), PP. 397-407.*
5. FASSETT, J., LEONARDS, G.A. e REPETTO, P.C. (1994), *Geotechnical Properties of Municipal Solid Waste and Their Use in Landfill Design*. Proc. Waste Tech '94, Solid Waste Association of North America, Silver Springs, Maryland, pp. 1-31.
6. FRATALOCCHI, E., PASQUALINI, E., PATACCHINI, C., STELLA, M. e VEGGI, S. (2003), *Stabilità delle discariche controllate per rifiuti solidi urbani*. Atti delle conferenze di Geotecnica di Torino, XIX ciclo.
7. GIROUD J.P., BONAPARTE R., BEECH & B.A. GROSS (1990), *Design of soil layer-geosynthetic systems overlying voids.* Geotextile and Geomembranes 9 (1990)
8. JANBU, N. (1973), *Slope stability computations*. In *The Embankment Dam Engineering Casagrande Volume*. John Wiley & Sons, pp. 47-86.
9. JESSBERGER, H.L. and KOCKEL, R. (1991), *Mechanical Properties of Waste Materials*. Atti del XV ciclo di Conferenze di Geotecnica del Politecnico di Torino (Italy).
10. JESSBERGER, H.L. and KOCKEL, R. (1993), *Determination and Assessment of the Mechanical Properties of Waste Materials*. Proc. 4th International Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, CISA. 167-177.
11. JESSBERGER, H.L. (1994), *Geotechnical Aspects of Landfill Design and Construction, Part. 2: Materials Parameters and Test Methods*. Institution of Civil Engineers Geotechnical Engineering Journal, 107, 105-113.

12. JONES, D.R.V., TAYLOR, D.P. e DIXON, N. (1997), *Shear Strenght of Waste and Its Use in Landfill Stability Analysis*. Proceedings Geonvironmental Engineering Conference, Yong, R.N., Thomas, H.R. (Eds.), Thomas Telford, 343-350.
13. KAVAZANJIAN, E. JR. (2001 *Mechanical Properties of Municipal Solid Waste*. Keynote Lecture, Proc Proc. 8th International Waste Management, and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 415-424
14. MARINOS P. AND HOEK E., "GSI: A GEOLOGICALLY FRIENDLY TOOL FOR ROCK MASS STRENGTH ESTIMATION", 2000.
15. MITCHELL, J.K., e MITCHELL, R.A. (1991), *Stability of Landfills*. Atti del XV ciclo di Conferenze di Geotecnica del Politecnico di Torino (Italy).
16. MITCHELL, J.K., SEED, R.B. e SEED, H.B. (1990), *Kettleman Hills Waste Landfill Slope Failure: Liner System Properties*. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 116(4), pp. 647-668.
17. MORGENSTERN, N.R., and PRICE, V.E. (1967), *A numerical method for solving the equations of stability of general slip surfaces*. Computer Journal, 9, 388-393.
18. PASQUALINI, E., ROCCATO, M. e SANI, D. (1993), *Shear Resistance at the Interfaces of Composite Liners*. Proc. 4th International Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy.
19. VEGGI, S. (1994), *Progettazione geotecnica di una discarica*. Atti "Caratterizzazione dei terreni e delle rocce per la realizzazione di infrastrutture: teorie, tecnologie ed esempi". Firenze. Ordine dei Geologi della Toscana.

## 2.2 Inquadramento normativo

Per la redazione del presente documento, oltre che alle indicazioni e prescrizioni della normativa italiana in materia e ove non in contrasto con essa, si è fatto riferimento a norme internazionali e a indicazioni e raccomandazioni contenute nella letteratura tecnica e scientifica internazionale, i cui riferimenti sono forniti nel seguito.

I riferimenti normativi ed i codici di calcolo utilizzati sono elencati di seguito.

1. D.M. LL.PP. 11 Marzo 1988, "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"

2. Decreto Legislativo n. 36 del 13 Gennaio 2003, “Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche per rifiuti”
3. Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 Marzo 2003, “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”
4. D.M. delle Infrastrutture e dei Trasporti 14 settembre 2005, “Norme Tecniche per le Costruzioni”
5. EN 1997 Eurocode 7 “Geotechnical Design – Part 1: General Rules”.
6. D. M. delle Infrastrutture e dei Trasporti 14.01.2008, “Norme tecniche per le costruzioni”;
7. Delibera della Giunta Regionale della Puglia n. 153 del 2 marzo 2004;
8. Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 617 del 2 febbraio 2009, “Istruzioni per l’applicazione delle ‘Norme tecniche per le costruzioni’ di cui al D.M. 14 gennaio 2008”;
9. BS 8006-1:2010 - Code of practice for strengthened/reinforced soils and other fills.

## 2.3 Codici di calcolo

1. Slope/W – GeoSlope (www.geo-slope)
2. MAC.ST.A.R.S W, versione 3.0, (Officine Maccaferri S.p.A.)

# 3. UBICAZIONE DELLA DISCARICA

La discarica di Bossarino è ubicata nel Comune di Vado Ligure in provincia di Savona ed è posta a circa 2,2 chilometri dal mare. Essa è tutta compresa in una piccola valle denominata *"valle del Rio Scuro"* incastonata nei primi contrafforti delle Alpi Marittime, con asse longitudinale NW-SE e pendenza verso la piana del torrente Segno nel quale il Rio Scuro confluisce.




*Figura 3-1Foto satellitare dell'area della discarica nella configurazione attuale*

L'area oggetto di studio si colloca ad est del confine orientale della discarica esistente, occupando la porzione di versante che costituisce in gran parte il bacino idrografico del ramo orientale del Rio Scuro; tale ramo, all'interno di quest'area, si biforca ulteriormente in due canali di terz'ordine e di lunghezza di poco superiore al centinaio di metri. L'area, partendo dal piede del versante in prossimità dell'autostrada Genova-Ventimiglia, si sviluppa a monte sino alla quota di 260 m.




*Figura 3-2: Vista aerea della discarica esistente di Bossarino e dell'area oggetto di studio per l'ampliamento (Lotto 2)*

# 4. RISULTATI PIANO DI INDAGINE

Nel presente paragrafo vengono riassunti i risultati delle indagini geotecniche in sito e in laboratorio eseguite nel periodo maggio-luglio 2016.

Per ulteriori dettagli si faccia riferimento ai seguenti documenti:

- Relazione Geologica contenuta nel presente progetto (030-006R03E01)
- Report dei indagini geognostiche realizzati – SINGEA (Allegato A alla Relazione Geologica 030-006R03E01)
- Report Indagini geofisiche – AKRON (Allegato B alla Relazione Geologica 030-006R03E01)
- Report delle prove di laboratorio sui rifiuti – ISMEGO (Allegato A alla presente relazione)
- Report delle prove di laboratorio su terreni – SGL (Allegato C alla Relazione Geologica 030-006R03E01)

## 4.1 Indagini in sito

### 4.1.1 Indagini geognostiche

Complessivamente sono stati eseguiti n° 11 sondaggi geognostici eseguiti nel maggio-luglio 2016 dall'impresa SINGEA.

Il report dei sondaggi geognostici realizzati è riportato nella Relazione Geologica 030-006R03E01-Allegato A mentre l'ubicazione delle indagini è riportata nell'elaborato grafico

*Zona A*

I sondaggi S1, S2, S3, S4 e S4bis sono stati eseguiti nella zona A, ovvero nella zona di ampliamento caratterizzata dalla presenza di soli materiali naturali.

I sondaggi S1, S2, S3, S4 e il sondaggio S4bis solo parzialmente, sono stati eseguiti con carotaggio a rotazione continua.

All'interno dei sondaggi S1 e S4 sono stati installati piezometri a tubo aperto, mente all'interno dei sondaggi S3 e S4 bis sono stati installati degli inclinometri.

*Zona B*

I sondaggi S6, S7, S8, S9, S10 e S12 sono stati eseguiti nella zona B, ovvero nella zona di ampliamento caratterizzata dalla presenza di rifiuti abbancati.

I sondaggi S6, S7, S8, S9, S10 sono stati eseguiti con carotaggio a rotazione.

Il sondaggio S12 è stato eseguito a distruzione di nucleo

All'interno dei sondaggi S9 e S12 sono stati installati piezometri a tubo aperto.

#### 4.1.1.1 *Prove di permeabilità Lefranc*

Durante l'esecuzione dei sondaggi si sono svolte 12 prove di permeabilità Lefranc nei sondaggi eseguiti nel corpo rifiuti (Zona A) e 6 prove di permeabilità Lefranc nei sondaggi eseguiti nel terreno (Zona B). I risultati delle prove sono riportati nell'Allegato n°4 dell'Allegato A della Relazione Geologica 030-006R03E01 e sono riassunti nelle tabelle di seguito:

| NOME SONDAGGIO | PROFONDITÀ PROVE [m] | PERMEABILITÀ CALCOLATA SULL'ABBASSAMENTO TOTALE [cm/s] |
|---|---|---|
| S5-1 | 5.30-6.00 | 3.42E-03 |
| S6-1 | 5.00-5.70 | 1.50E-02 |
| S8-1 | 4.00-4.70 | 5.28E-03 |
| S9-1 | 8.40-9.10 | 2.24E-04 |
| Media | | 8.06E-03 |

*Figura 4-1: Risultati prove di permeabilità Lefranc nei sondaggi eseguiti nel corpo rifiuti (Zona A) – strato superficiale*

| NOME SONDAGGIO | PROFONDITÀ PROVE [m] | PERMEABILITÀ CALCOLATA SULL'ABBASSAMENTO TOTALE [cm/s] |
|---|---|---|
| S5-2 | 13.00-13.70 | 3.24E-03 |
| S6-2 | 10.00-10.70 | 6.98E-03 |
| S7-2 | 9.00-9.70 | 7.35E-03 |
| S8-2 | 8.30-9.00 | 4.86E-03 |
| S8-3 | 15.20-15.70 | 9.52E-04 |
| S9-2 | 16.00-16.70 | 4.59E-04 |
| S10-1 | 17.30-18.00 | 2.60E-04 |
| Media | | 3.44E-03 |

*Figura 4-2: Risultati prove di permeabilità Lefranc nei sondaggi eseguiti nel corpo rifiuti (Zona A) – strato profondo*

| NOME SONDAGGIO | PROFONDITÀ PROVE [m] | PERMEABILITÀ CALCOLATA SULL'ABBASSAMENTO TOTALE [cm/s] |
|---|---|---|
| S1-1 | 1.50-2.00 | 1.52E-04 |
| S2-1 | 1.50-2.10 | 3.16E-05 |
| S4-1 | 3.00-3.50 | 4.26E-06 |
| Media | | 6.26E-05 |

*Figura 4-3: Risultati prove di permeabilità Lefranc nei sondaggi eseguiti nel terreno (Zona B) - strato superficiale*

| NOME SONDAGGIO | PROFONDITÀ PROVE [m] | PERMEABILITÀ CALCOLATA SULL'ABBASSAMENTO TOTALE [cm/s] |
|---|---|---|
| S1-2 | 22.00-22.60 | 6.22E-06 |
| S2-2 | 24.00-24.60 | 2.27E-06 |
| S4-2 | 22.50-23.00 | 8.84E-04 |
| Media | | 2.97E-04 |

*Figura 4-4: Risultati prove di permeabilità Lefranc nei sondaggi eseguiti nel terreno (Zona B) - strato profondo*

Dalla Figura 4-1 e dalla Figura 4-2 si può evidenziare che il valore medio della permeabilità misurata nei rifiuti è elevata, elemento che avvalora l'assenza di livelli di percolato sospesi come emerge inoltre dalla misura dei livelli nei piezometri.

Per quanto riguarda le permeabilità misurate nei terreni si rimanda a quanto riportato nella Relazione Geologica 030-006R03E01.

#### 4.1.1.2 *Prove S.P.T.*

Durante l'esecuzione dei sondaggi si sono inoltre eseguite delle prove S.P.T. (Standard Penetration Tests) a diverse profondità i cui risultati sono riportati nell'Allegato A alla Relazione Geologica 030-006R03E01.

Nella figura seguente si riporta una sintesi dei risultati.

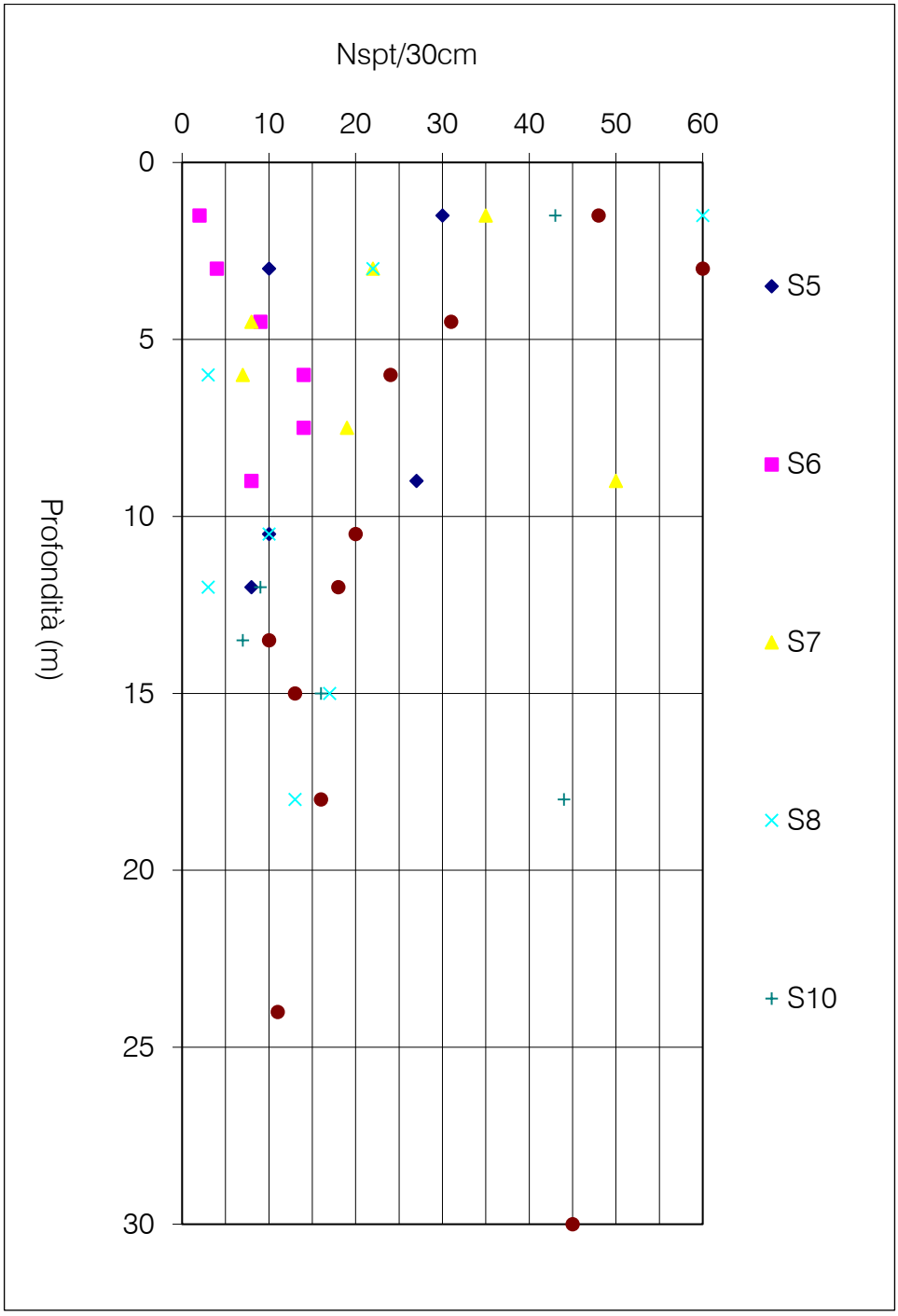



*Figura 4-5: Risultati delle prove SPT (Standard Penetration Test) nei sondaggi all'interno del corpo rifiuti*

Nelle tabelle seguenti si riportano i risultati delle prove di SPT eseguiti alle profondità a cui sono stati prelevati i campioni di rifiuto sui quali si sono svolte le prove di laboratorio e per i quali è riportata la caratterizzazione geotecnica risultante nell'Allegato A alla presente relazione:

| SONDAGGIO | PROF. CAMPIONE PROVA SUI RIFIUTI | $\phi'_{medio}$ | $c'_{medio}$ | PROF. CAMPIONE PROVA Nspt | Risultati Nspt | PROF. CAMPIONE PROVA Nspt | Risultati Nspt |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *m da p.c.* | *[°]* | *[kPa]* | *m da p.c.* | *n° colpi* | *m da p.c.* | *n° colpi* |
| S6 | 9-10 | 33.7 | 1.5 | 9 | 8 | 10 | a rifiuto* |
| S8 | 14-15 | 20.45 | 23.5 | 13.5 | a rifiuto* | 15 | 17 |
| S9 | 18-19 | 34.15 | 6 | 18 | 16 | - | |

*Figura 4-6: Risultati prove SPT a confronto con i risultati della caratterizzazione geotecnica emersa dalle prove di laboratorio sui rifiuti (prove di taglio diretto)*

| SONDAGGIO | PROF. CAMPIONE PROVA SUI RIFIUTI | $\phi'_{medio}$ | $c'_{medio}$ | PROF. CAMPIONE PROVA Nspt | Risultati Nspt | PROF. CAMPIONE PROVA Nspt | Risultati Nspt |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *m da p.c.* | *[°]* | *[kPa]* | *m da p.c.* | *n° colpi* | *m da p.c.* | *n° colpi* |
| S7 | 3-4 | 32 | 13 | 3 | 22 | 4.5 | 8 |
| S7 | 6-7 | 28 | 71 | 6 | 7 | 7.5 | 19 |
| S8 | 16-17 | 33 | 8 | 15 | 17 | 18 | 13 |

*Figura 4-7: Risultati prove SPT a confronto con i risultati della caratterizzazione geotecnica emersa dalle prove di laboratorio sui rifiuti (prove di compressione triassiale)*

*La prova va a rifiuto se il numero di colpi del primo avanzamento (N1) è maggiore di 50 prima dei 15 cm o se N2+N3 è maggiore di 100 colpi prima dei 30 cm di avanzamento.

#### 4.1.1.3 *Rilievo inclinometrico*

Il rilievo dei due sondaggi attrezzati a inclinometro (S3 e S4bis) è stato eseguito da SGL (Servizi Geotecnici Liguri) ed un report contenente i risultati è riportato nell'Allegato C1 alla Relazione Geologica 030-006R03E01.
Per commenti relativi ali risultati si rimanda alla Relazione Geologica citata.

### 4.1.2 Indagini geofisiche

L'indagine ha previsto l'esecuzione di n.16 profili di rilievo realizzati con tecnica sismica a rifrazione basata sulla velocità di propagazione delle onde di compressione.
Le linee di sismica a rifrazione sono state analizzate tramite elaborazione tomografica.
I risultati e la loro interpretazione sono riportati nell'Allegato B della Relazione Geologica 030-006R03E01.

### 4.1.3 Prove di carico su piastra

Nella zona B (rifiuti esistenti) sono state eseguite 6 prove di carico su piastra i cui risultati sono riassunti nella figura seguente:

| NOME SONDAGGIO | MODULO DI COMPRESSIONE ($M_E$) [kg/cm$^2$] | MODULO DI DEFORMAZIONE (E) [kg/cm$^2$] |
|---|---|---|
| **CP1** | 659.34 | 485.23 |
| **CP2** | 612.24 | 450.57 |
| **CP3** | 618.56 | 455.22 |
| **CP4** | 521.74 | 383.97 |
| **CP5** | 535.71 | 394.25 |
| **CP6** | 530.97 | 390.76 |
| **Media** | **579.76** | **426.67** |

*Figura 4-8: Risultati prove di carico su piastra*

Le prove sono state eseguite direttamente sui rifiuti presenti negli strati superficiali dopo aver rimosso la terra di copertura e/o la pavimentazione in corrispondenza dei sondaggi.
I risultati delle prove, eseguite da SINGEA, sono riportati nell'Allegato 5 dell'Allegato A alla Relazione Geologica 030-006R03E01.
I risultati delle prove eseguite evidenziano che i rifiuti hanno dei parametri di deformabilità elevati, ad indicare l'elevata compattazione e consolidazione dei rifiuti avvenuta nel tempo.

### 4.1.4 Rilievo geomeccanico del substrato roccioso nella zona A

Nella zona A (zona di materiali naturali), nell'ambito delle caratterizzazione geologica, lo Studio Progea ha eseguito un rilievo geomeccanico del substrato roccioso i cui risultati sono riportati nella Relazione Geologica 030-006R03E01.

## 4.2 Prove di laboratorio

### 4.2.1 Prove di laboratorio sui rifiuti e sugli arginelli infrastrato

Durante l'esecuzione dei sondaggi nella zona B sono stati prelevati dei campioni di rifiuti e di terreno di copertura ed eseguite le prove di laboratorio riassunte nella figura seguente:

| NOME SONDAGGIO | PROFONDITA' CAMPIONE [m] | TIPO DI CAMPIONE | PROVE DI LABORATORIO ESGUITE |
|---|---|---|---|
| S5 | 2-2.5 | Terreno infrastrato | Granulometria, Limiti di Atterberg |
| | 8.50-9 | Rifiuto | |
| S6 | 1-2 | Terreno infrastrato | Granulometria, Limiti di Atterberg |
| | 6-7 | Rifiuto | |
| | 9-10 | Rifiuto | Ricostruzione campione, Prova di taglio diretto (D=6 cm) |
| S7 | 0-3 | | Granulometria, Limiti di Atterberg |
| | 3-4 | Rifiuto | Ricostruzione campione, Prova di compressione triassiale (D=10 cm) |
| | 6-7 | Rifiuto | Ricostruzione campione, Prova di compressione triassiale (D=10 cm) |
| | 7-8 | Terreno infrastrato | Granulometria, Limiti di Atterberg |
| S8 | 0-3 | Terreno infrastrato | |
| | 6-7 | Terreno infrastrato | |
| | 7-8 | Rifiuto | Ricostruzione campione, Prova di compressione triassiale (D=10 cm) |
| | 14-15 | Terreno infrastrato | Ricostruzione campione, Prova di taglio (D=6 cm) |
| | 16-17 | Rifiuto | Prova di compressione triassiale (D=5 cm) |
| | 19-20 | Rifiuto | |
| S9 | 1-2 | Terreno infrastrato | Granulometria, Limiti di Atterberg |
| | 4-5 | Terreno infrastrato | Granulometria, Limiti di Atterberg |
| | 12-14 | Rifiuto | |
| | 16-17 | Rifiuto | |
| | 17-18 | Rifiuto | Ricostruzione campione, Prova di compressione triassiale (D=10 cm)* |
| | 18-19 | Rifiuto | Ricostruzione campione, Prova di taglio (D=6 cm) |
| | 21-22 | Terreno infrastrato | Granulometria, Limiti di Atterberg |
| S10 | 4-5 | Terreno infrastrato | Granulometria, Limiti di Atterberg |
| | 12-14 | Rifiuto | |
| | 15-16 | Rifiuto | Ricostruzione campione, Prova di compressione triassiale (D=5 cm)* |
| S12 | 12-13 | Rifiuto | |
| | 13-14 | Rifiuto | |

*Figura 4-9: Campioni prelevati e prove di laboratorio eseguite – zona A*

*Prove eseguite ma non rappresentative del materiale

I risultati di tutte le prove eseguite sono riportati in Allegato A1 alla presente relazione.

In Allegato A2 è invece riportata l'interpretazione delle prove di taglio e di compressione triassiale realizzate sui campioni indicati in Figura 4-9.

Da tali prove emerge la seguente caratterizzazione:

| $\phi'_{MEDIO}$ | $c'_{MEDIO}$ |
|---|---|
| *[°]* | *[kPa]* |
| 30 | 21 |

*Figura 4-10: Sintesi dei risultati delle prove di compressione triassiale eseguite sui campioni di rifiuto*

Ai fini della caratterizzazione sono stati inoltre eseguite delle analisi granulometriche e sono stati determinati i valori dei limiti di Atterberg dei campioni contenenti argilla del terreno di copertura, degli arginelli e di infrastrato.

Poiché il valore di $\phi'_R$ dipende principalmente dalla composizione mineralogica dell'argilla (Kenney, 1967), in letteratura sono state proposte diverse correlazioni empiriche, che possono servire da guida per la determinazione di un valore orientativo dell'angolo di attrito residuo e che sono illustrate in Figura 4-11 e Figura 4-12.

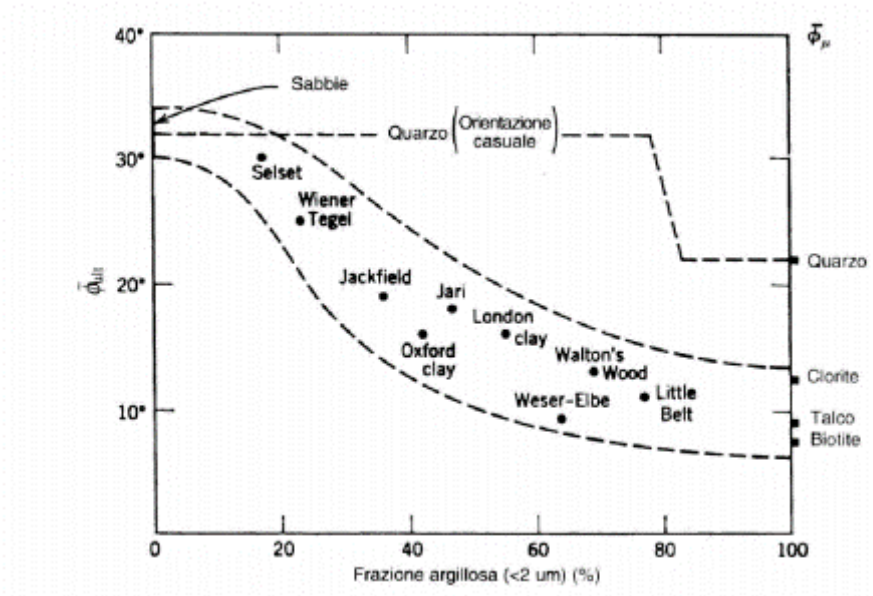



*Figura 4-11 Variazione di $\phi'_R$ con il contenuto di argilla (Skempton, 1964)*

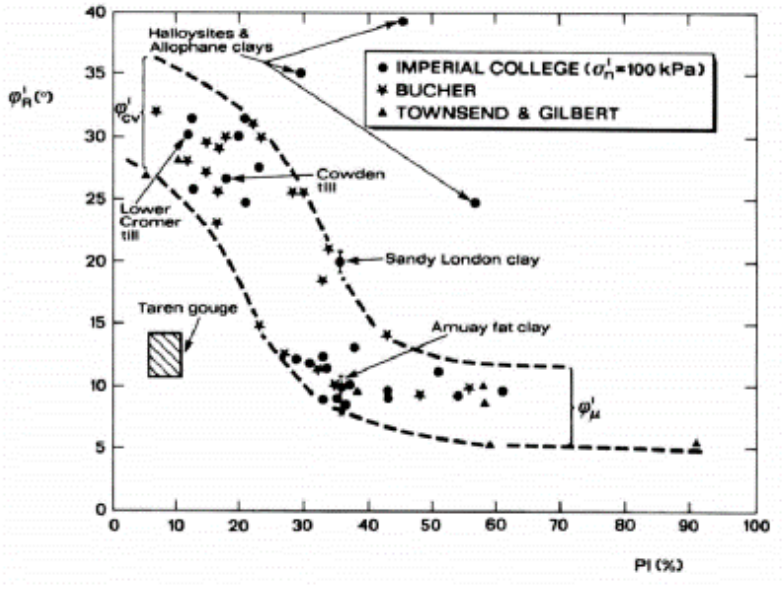



*Figura 4-12 Variazione di $\phi'_R$ con l'indice di plasticità (Lupini et al.,1981)*

Nelle tabelle seguenti (Figura 4-13 e Figura 4-14), si riportano i valori indicativi dell'angolo ottenuti attraverso le correlazioni empiriche tra i valori del contenuto di argilla e dell'indice di plasticità:

| NOME SONDAGGIO | PROFONDITÀ CAMPIONE | CONTENUTO DI ARGILLA | ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO | | INDICE DI PLASTICITÀ | ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | MIN. | MAX. | | MIN. | MAX. |
| | [m] | [%] | [°] | [°] | [%] | [°] | [°] |
| S5 | 2-2.5 | 12 | 27 | 34 | 14.1 | 24 | 34 |
| S6 | 1-2 | 3 | 30 | 34 | 8.6 | 26 | 36 |
| S7 | 0-3 | 11 | 32 | 34 | 9.6 | 26 | 36 |
| | 7-8 | 8 | 31 | 34 | 10.6 | 26 | 36 |
| S9 | 1-2 | 10 | 30 | 34 | 15.4 | 24 | 34 |
| | 4-5 | 7 | 29 | 34 | 9.4 | 26 | 37 |
| | 21-22 | 9 | 28 | 34 | 7.8 | 26 | 37 |
| S10 | 4-5 | 10 | 28 | 34 | 7 | 26 | 37 |

*Figura 4-13: Valutazione dell'angolo di attrito residuo dell'argilla (terre di copertura e arginelli infrastrato) in funzione del contenuto di argilla e dell'indice di plasticità*

| $\phi'_{RESIDUO\ MEDIO}$ |
|---|
| *[°]* |
| 31 |

*Figura 4-14: Angolo di attrito dell'argille delle terre di copertura e arginelli infrastrato*

Anche se parte di tale materiale, ed in particolare quello appartenente al terreno di copertura, verrà rimosso in fase di costruzione della nuova discarica, i dati ottenuti attraverso tale

caratterizzazione contribuiscono alla caratterizzazione totale del rifiuto poiché presenti come infrastrato e fanno parte del corpo rifiuti.

Il risultato complessivo della caratterizzazione geotecnica ottenuta dalle prove eseguite sui campioni di rifiuto e tenendo in considerazione quelle sull' argilla è il seguente:

| $\phi'_{MEDIO}$ | $c'_{MEDIO}$ |
|---|---|
| *[°]* | *[kPa]* |
| 30 | 10 |

*Figura 4-15: Sintesi dei risultati delle prove eseguite sui campioni di rifiuto e di argilla*

Inoltre, nel periodo luglio 2013 – aprile 2014 (successivamente alla redazione del Progetto della variante n. 3 rif SGI 07144-157R03E1) in occasione della progettazione dei tiranti e del rilevato è stata eseguita una prova di taglio diretto su un campione prelevato nel corpo rifiuti e ricostruito in laboratorio in una apparecchiatura di grandi dimensioni (diametro pari a 60 cm).

La prova, riportata in Allegato A3 ha portato ai seguenti risultati:

| $\phi'_{PICCO}$ | $c'_{PICCO}$ | $\phi'_{RESIDUO}$ | $c'_{RESIDUO}$ |
|---|---|---|---|
| *[°]* | *[kPa]* | *[°]* | *[kPa]* |
| 34 | 76.45 | 30 | 39.47 |

*Figura 4-16: Risultati della prova di taglio diretto eseguita nel dicembre 2013 su un campione prelevato nel corpo rifiuti*

La prova evidenzia come i valori dei parametri di resistenza a taglio dei rifiuti sono in linea con quelli ottenuti dall'interpretazione delle prove eseguite nel 2016.

In base ai risultati delle prove e ai dati di letteratura esistenti sulle caratteristiche fisiche e meccaniche dei rifiuti è stato possibile desumere la caratterizzazione geotecnica dei rifiuti esistenti riportata nel paragrafo 6.1.2.

### 4.2.2 Prove di laboratorio sull'ammasso roccioso

Per quanto riguarda l'ammasso roccioso sono stati prelevati dei campioni dai sondaggi realizzati nella zona B e sono state eseguite le prove di laboratorio riassunte nella seguente figura:

| NOME SONDAGGIO | PROFONDITÀ CAMPIONE [m] | TIPO DI PROVA |
|---|---|---|
| **S1** | 18,60-18,80 | Prova di compressione monoassiale |
| | 19,00-19,25 | Prova di compressione monoassiale |
| | 19,25-19,35 | Prova di taglio su giunto |
| | 20,70-20,90 | Prova di compressione monoassiale |
| **S2** | 7,00-7,30 | Prova di compressione monoassiale |
| **S3** | 7,80-8,00 | Prova di taglio su giunto |
| | 11,20-11,40 | Prova di taglio su giunto |
| | 12,10-12,40 | Prova di compressione monoassiale |
| **S4** | 23,80-23,90 | Prova di taglio su giunto |
| **S4bis** | 27,75-28,00 | Prova di compressione monoassiale |

*Figura 4-17: Prove di laboratorio eseguite sul substrato naturale*

Le prove sono state eseguite presso il laboratorio dello SGL (Servizi Geotecnici Liguri). Nell'Allegato C2 alla Relazione Geologica 030-006R03E01 viene riportata una sintesi dei risultati ottenuti ed i certificati delle prove.

Nella Figura 4-18 e nella Figura 4-19 si riportano i risultati della caratterizzazione ottenuta dalle prove:

| SONDAGGIO | PROFONDITÀ | DESCRIZIONE | PESO DI VOLUME NATURALE $\gamma_n$ | VALORE ROTTURA $\sigma_c$ | MODULO DI YOUNG TANGENTE E | COEFFICIENTE DI POISSON $\nu$ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *m* | | *[kN/m3]* | *[MPa]* | *[MPa]* | |
| S1 | 18,60-18,80 | Scisti di Gorra | 26.44 | 8.01 | 8740 | 0.25 |
| S1 | 19,00-19,25 | Scisti di Gorra | 25.90 | 16.68 | 6765 | 0.15 |
| S1 | 20,70-20,90 | Scisti di Gorra | 26.10 | 11.41 | 9360 | 0.10 |
| S2 | 7,00-7,30 | Scisti di Gorra | 27.19 | 21.99 | 16723 | 0.18 |
| S3 | 12,10-12,40 | Scisti di Gorra | 26.00 | 11.43 | 8741 | n.d. |
| S4bis | 27,75-28,00 | Scisti di Gorra | 26.08 | 62.07 | 24651 | 0.14 |

*Figura 4-18: Risultati delle prove di compressione monoassiale*

| SONDAGGIO | PROFONDITÀ | DESCRIZIONE | COESIONE c' | ANGOLO DI ATTRITO DI BASE $\Phi_{BASE}$ |
|---|---|---|---|---|
| | *m* | | *[kPa]* | [°] |
| S1 | 19,25-19,35 | Scisti di Gorra | 0 | 28.4 |
| S3 | 7,80-8,00 | Scisti di Gorra | 0 | 31.4 |
| S3 | 11,20-11,40 | Scisti di Gorra | 0 | 29.9 |
| S4 | 23,80-23,90 | Scisti di Gorra | 0 | 33.3 |

*Figura 4-19: Risultati delle prove di taglio su giunto*

In base ai risultati delle prove, al rilievo geomeccanico, ai risultati delle indagini geofisiche nonché alle indagini pregresse riassunti nella Relazione Geologica 030-006R03E01 è stato possibile desumere la caratterizzazione geotecnica riportata nel paragrafo 6.2.

# 5. PROFILO STRATIGRAFICO, LIVELLO DI FALDA E LIVELLO DI PERCOLATO

## 5.1 Profilo stratigrafico

Il profilo stratigrafico esistente è stato ricostruito in base alle indagini pregresse e ai risultati delle indagini eseguite. Per le verifiche di stabilità e per il calcolo dei cedimenti riportati nel presente documento, si è considerato il profilo stratigrafico esistente e quello di progetto schematizzandolo dall'alto verso il basso nel seguente modo:

*Zona A* (zona interessata dai rifiuti)

*PROFILO STRATIGRAFICO DI PROGETTO*

- Copertura della discarica
- Rifiuti di futura coltivazione
- Strato di impermeabilizzazione sul fondo e sulle pareti (ampliamento in oggetto)

*PROFILO STRATIGRAFICO ESISTENTE*

- Copertura attuale dei rifiuti (da rimuovere)
- Rifiuti esistenti
- Strato di impermeabilizzazione sul fondo e sulle pareti delle vecchia discarica
- Un livello costituito da argilloscisti molto alterati e parzialmente argillificati, avente spessore variabile tra 5,5 e 13,5 m. Tale materiale mantiene, tuttavia, le caratteristiche tessiturali della roccia intatta di origine. In parte costituenti la vecchia coltre Nella zona del piazzale dai sondaggi si rileva che è presente ancora della coltre o comunque materiale sciolto o di riporto molto alterato per uno spessore variabile fino a circa 10 metri.
- Un terzo livello costituito da argilloscisti quarzo-sericitici debolmente alterati o privi di alterazione.

*Zona B* (zona interessata da terreno naturale)

*PROFILO STRATIGRAFICO DI PROGETTO*

- Copertura della discarica
- Rifiuti di futura coltivazione
- Strato di impermeabilizzazione sul fondo e sulle pareti

*PROFILO STRATIGRAFICO ESISTENTE*

- Copertura detritica di spessore di circa 1 ,5 m. Tale materiale verrà interamente rimosso in fase di scavo.
- Un livello costituito da argilloscisti molto alterati e parzialmente argillificati, avente spessore variabile tra 5,5 e 13,5 m
  Tale materiale mantiene, tuttavia, le caratteristiche tessiturali della roccia intatta di origine.*
- Un livello costituito da argilloscisti quarzo-sericitici debolmente alterati o privi di alterazione

* Lo strato costituito da materiali rocciosi alterati è stato conservativamente mantenuto nella stratigrafia di progetto anche se, in fase di scavo, verranno rimossi i primi metri di terreno (spessori di scavo variabili tra 1-2 metri a circa 15 metri) e verrà quindi rimossa totalmente la coltre ed un percentuale consistente dello strato di substrato alterato.

Inoltre, il nuovo fondo della discarica sarà delimitato, sia nella zona A che nella zona B, da un rilevato in terre rinforzate realizzato con materiale selezionato proveniente dagli scavi di riprofilatura poggiante su un terreno consolidato. Per ulteriori dettagli sulla geometria dei rilevati si vedano gli elaborati grafici di progetto (030-006D17E01- Argine in progetto: planimetria e dettagli).

Nelle figure seguenti si riporta lo schema grafico delle sezioni:

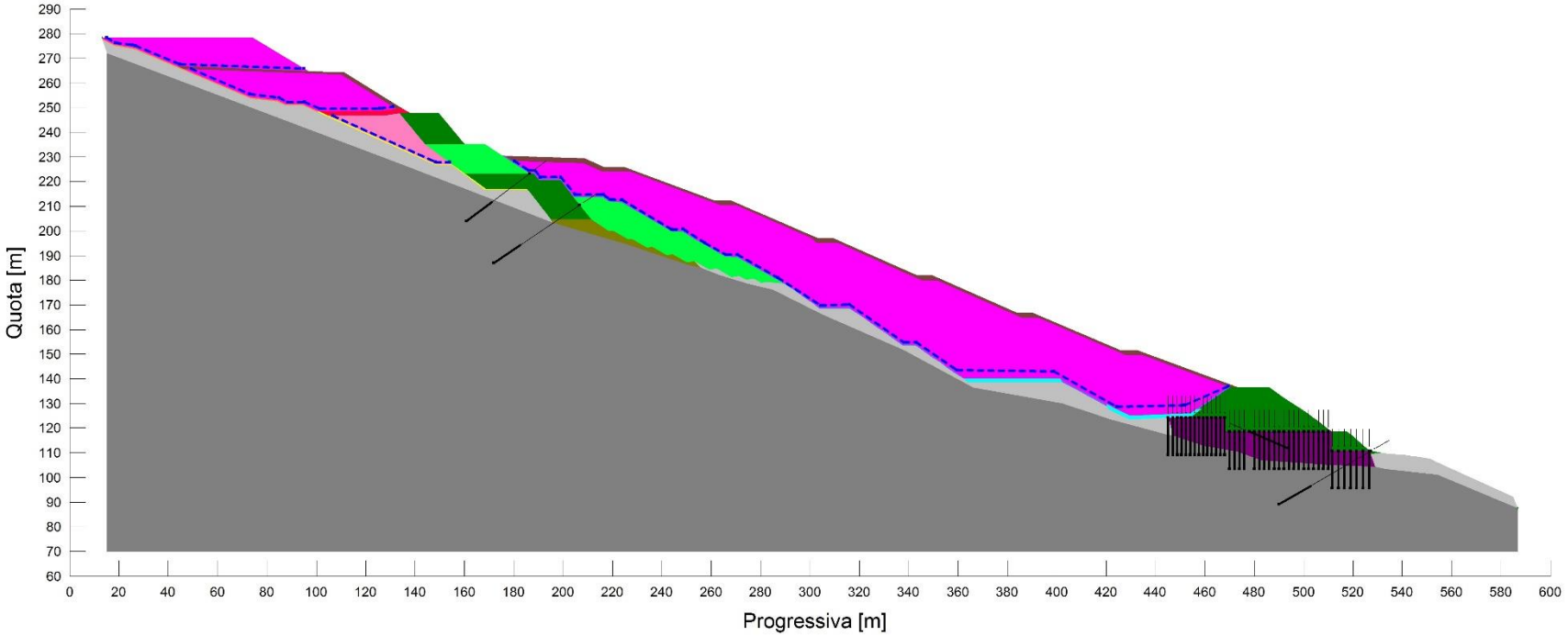



*Figura 5-1 Schema grafico sezione 3 - Zona A*

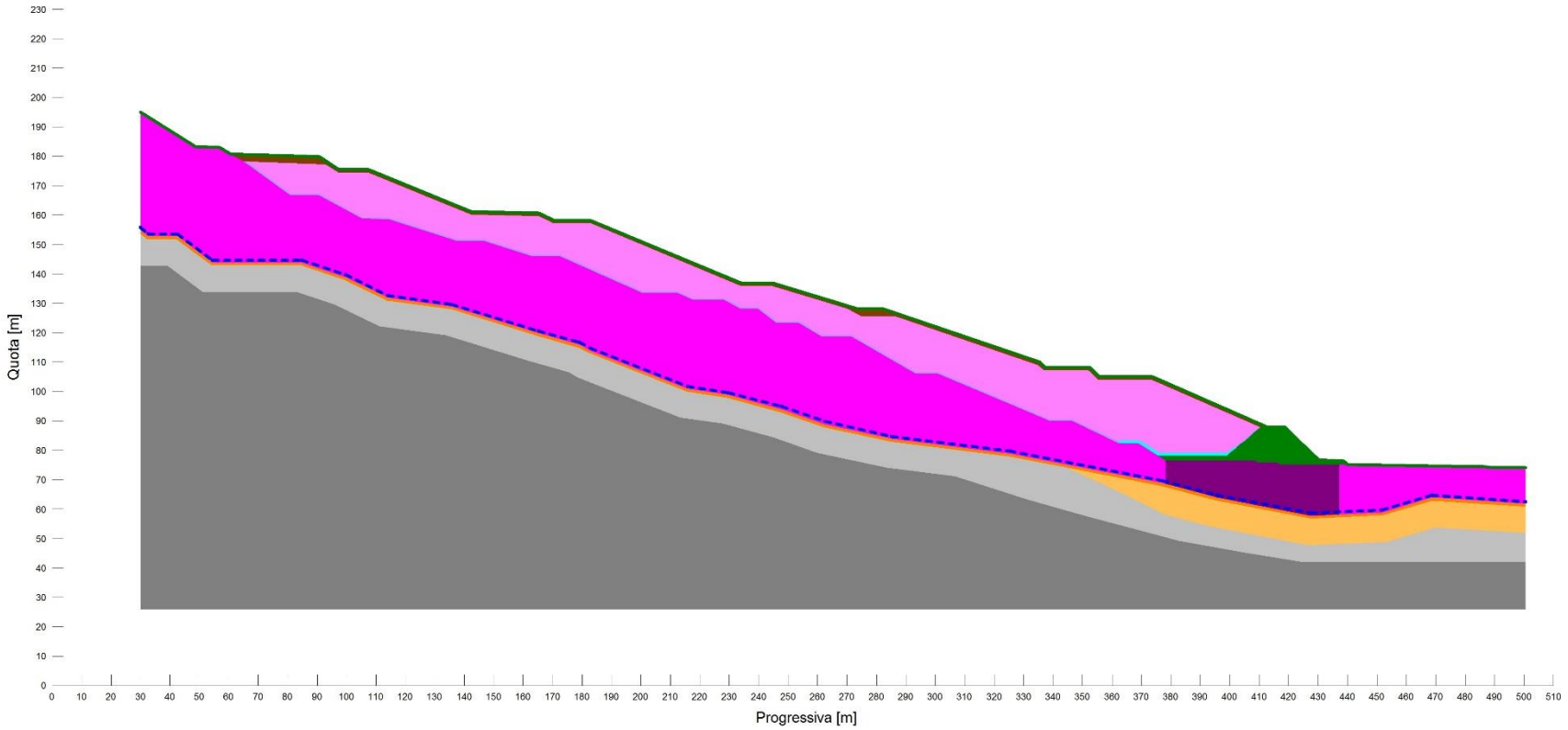



*Figura 5-2 Schema grafico sezione A6b - Zona A*

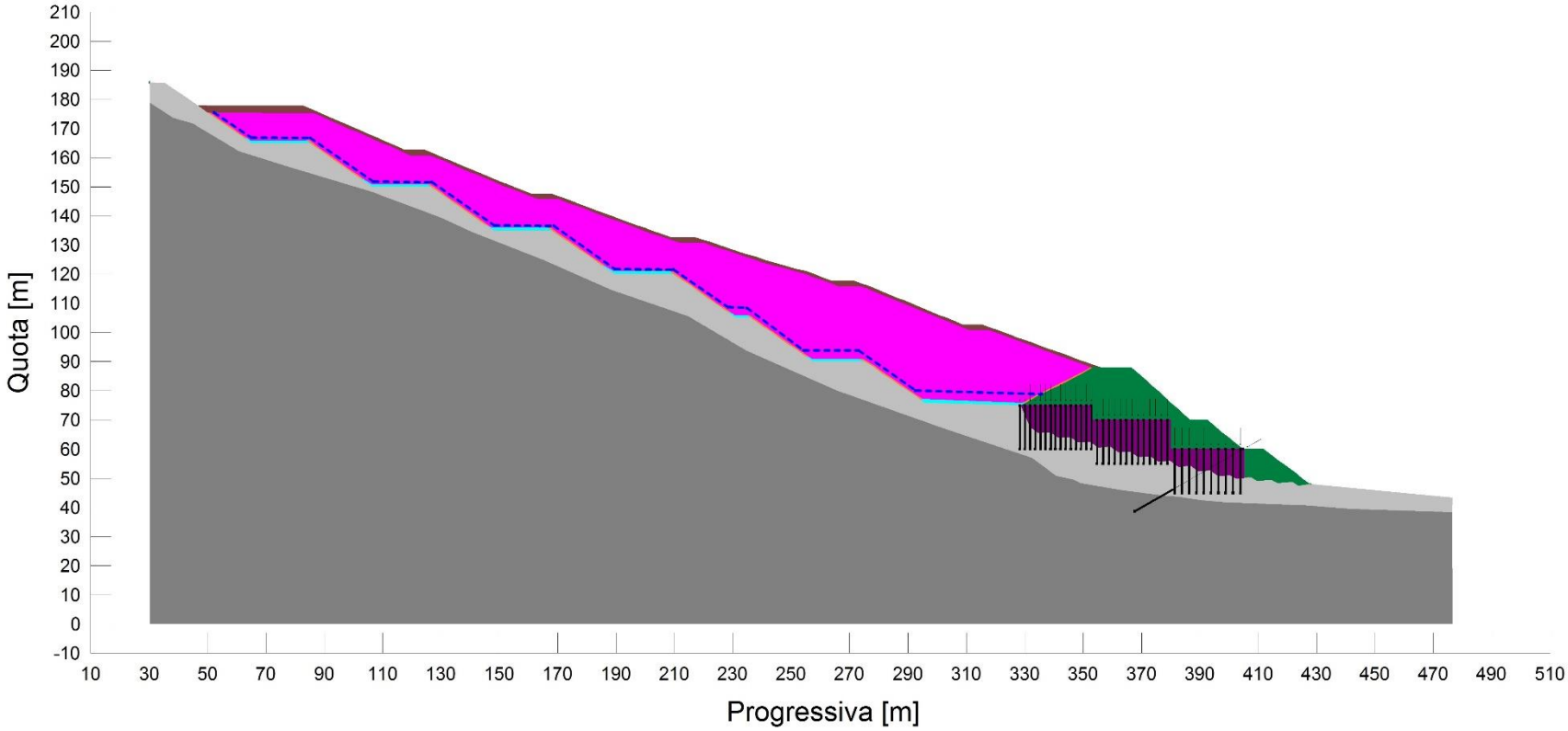



*Figura 5-3 Schema grafico sezione C1- Zona B*

## 5.2 Livello di falda

Per quanto riguarda la falda non è stata rilevata la presenza di un acquifero (come già noto dai progetti precedenti approvati) ma solo fenomeni di circolazione idrica limitata alle zone con coltre eluviale di potenza maggiore o ai primi metri dell'ammasso roccioso, quando interessato da discontinuità aperte.

## 5.3 Livello di percolato

Per quanto concerne il livello di percolato nei rifiuti esistenti nel Luglio 2016 sono state effettuate misurazioni nei piezometri installati nei sondaggi eseguiti nel corpo rifiuti durante la campagna di indagine S9 e S12). I risultati delle misurazioni sono riportate nella figura seguente:

| | Profondità fondo rifiuti | Profondità misurate | Spessore percolato |
|---|---|---|---|
| | | 27/06/2016 | 27/06/2016 |
| | *m da p.c.* | *m da testa pozzo* | *m* |
| S12 | 19 | 17.95 | 1.05 |
| S9 | 31 | 30.19 | 0.81 |
| | | **Media** | **0.9** |

*Figura 5-4 Misurazioni del livello del percolato nei piezometri installati nel corpo rifiuti*

I livelli di percolato misurati testimoniano un efficace drenaggio del corpo rifiuti avvalorato dalle prove di permeabilità condotte sui rifiuti stessi.

Nella Figura seguente si riporta una sezione in cui viene riportato il livello del percolato e il livello del fondo dei rifiuti esistenti:

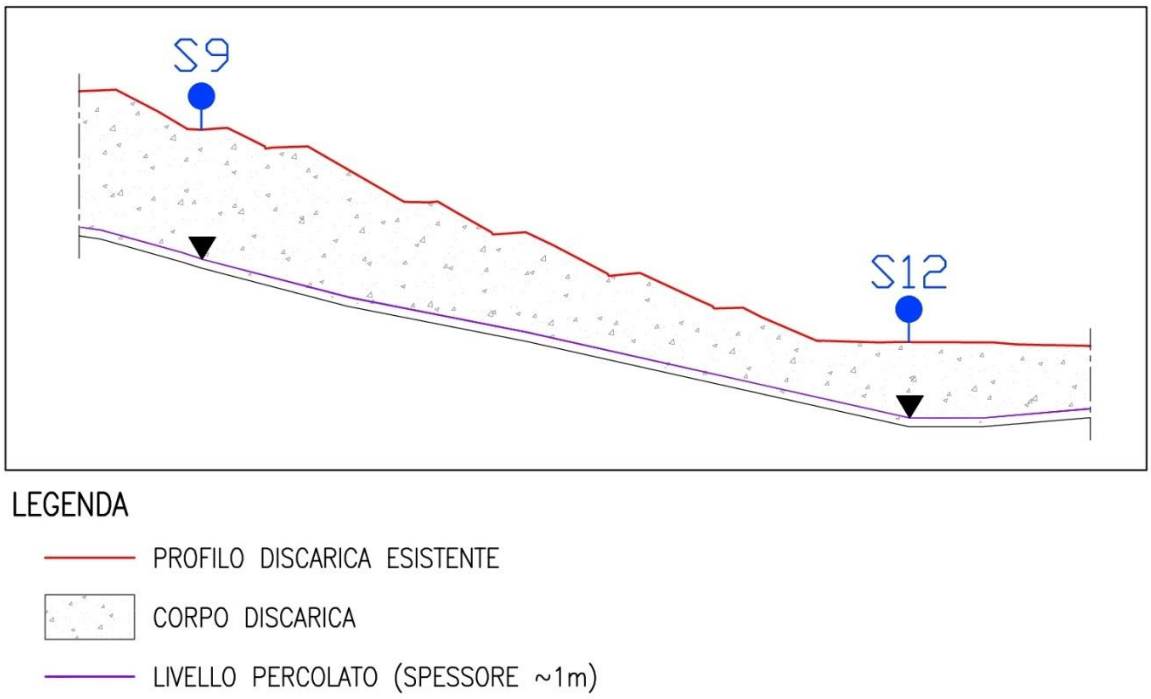



*Figura 5-5 Livello del percolato nei rifiuti esistenti*

In virtù di quanto esposto si possono fare le seguenti considerazioni:

*Zona A* (zona interessata dai rifiuti)

All'interno del corpo rifiuti si possono considerare i seguenti livelli di percolato:

- 3 m di battente di percolato sul fondo e 1m di battente sulle scarpate all'interno del corpo rifiuti di futura coltivazione.

  Tali livelli sono stati stimati conservativamente alla luce del sistema di estrazione/emungimento capillare del percolato previsto dal Progetto Definitivo (vedi Relazione Tecnica 030-006R02E01).

- 1 m di battente all'interno del corpo rifiuti esistente in virtù delle misurazioni del percolato effettuate allo stato attuale

*Zona B* (zona interessata da terreno naturale)

In questa zona, all'interno del corpo rifiuti di futura coltivazione, analogamente e per le stesse motivazioni della Zona A, si sono considerati 3 m di battente di percolato sul fondo

# 6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Il modello geotecnico utilizzato nelle analisi è stato definito sulla base della documentazione ad oggi disponibile per l'intera area di discarica.

La caratterizzazione è stata sviluppata facendo riferimento alle seguenti indagini pregresse:

1. Indagine geofisica (Studio Progea, 2011);
2. Sondaggi e prove di classificazione (Geo Service, 2006);
3. Prove di taglio su giunto (Servizi geotecnici liguri, 2011);

Inoltre si è fatto riferimento ai risultati delle indagini geotecniche in sito e in laboratorio eseguite nel periodo maggio-luglio 2016 i cui risultati sono esposti nel paragrafo 4:

1. Indagini in sito:
    a. Indagini geotecniche (Singea 2016);
    b. Indagini geofisiche (Singea, Akron 2016);
    c. Prove di carico su piastra (Singea 2016);
    d. Rilievo geomeccanico del substrato roccioso nella zona A (Studio Progea, 2016);
2. Prove di laboratorio
    a. Prove di classificazione geotecniche sui rifiuti (Ismgeo, 2016)
    b. Prove di geotecniche sui terreni (Servizi geotecnici liguri, 2016);

4. Indagine geofisica
5. Sondaggi e prove di classificazione (Singea, 2016);
6. Prove di taglio su giunto e prove di compressione monassiale (Servizi geotecnici liguri, 2016);
7. Prove di classificazione, di taglio diretto e prove di compressione triassiale sui rifiuti esistenti (Ismego, 2016)
8. Rilievo geomeccanico del substrato roccioso nella porzione di ampliamento (Studio Progea, 2016)

## 6.1 Parametri geotecnici dei materiali

Per quanto riguarda il corpo rifiuti ed i materiali utilizzati negli strati di impermeabilizzazione del fondo, delle pareti e nella copertura di riporta di seguito la trattazione relativa ai parametri geotecnici caratteristici dei materiali.

### 6.1.1 Materiali geosintetici

Nelle discariche i materiali geosintetici vengono posati tra due strati di materiali minerali, tra uno strato minerale ed un altro geosintetico o tra uno strato minerale ed i rifiuti, e svolgono funzione di impermeabilizzazione (geocomposito bentonitico, geomembrana in HDPE), di protezione di altri geosintetici (geotessili TNT), di separazione e filtrazione (geotessili TNT o T), di drenaggio (geocompositi drenanti).

Ai fini della analisi di stabilità svolte con i metodi dell'equilibrio limite, descritte in seguito, ciò che deve essere caratterizzato è l'interfaccia, ossia la superficie di contatto tra il geosintetico e lo strato, superiore e/o inferiore con il quale lo stesso viene a trovarsi a contatto; infatti, poiché il geosintetico costituisce una superficie di discontinuità ben definita, nella maggior parte dei casi è proprio tale superficie di discontinuità che governa il fattore di sicurezza nei confronti della rottura per instabilità gravitazionale (Mitchell et al., 1990).

La Figura 6-1 e la Figura 6-2 riportano il campo di variabilità dei parametri di resistenza a taglio per le interfacce geosintetico – terreno e geosintetico – geosintetico, desunti da prove di laboratorio condotte da vari autori e riportate in letteratura (Mitchell e Mitchell, 1991; Martin et al., 1984; Pasqualini et al., 1993; Manassero et al., 1996; Fratalocchi et al., 2003).

| **Interfaccia** | **Angolo di attrito (°)** | **Coesione [kPa]** |
|---|---|---|
| Geomembrana HDPE-Sabbia | 15 ÷ 28 | 0 |
| Geomembrana HDPE-Argilla | 5 ÷ 29 | 0 |
| Geotessile-Sabbia | 22 ÷ 44 | 0 |
| Gocomposito bentonitico-Sabbia | 20 ÷ 25 | 0 |
| Gocomposito bentonitico-Argilla | 14 ÷ 16 | 0 |
| Geomembrana HDPE a.m.-Ghiaia | 20 ÷ 25 | 0 |
| Geomembrana HDPE a.m.-Sabbia | 30 ÷ 43 | 0 |
| Geomembrana HDPE a.m.-Argilla compattata | 7 ÷ 35 | 20÷30 |
| Geotessile-Argilla | 15 ÷ 33 | 0 |

*Figura 6-1: Parametri di resistenza a taglio per interfacce geosintetico – terreno*

| Interfaccia | Angolo di attrito (°) | | | Coesione [kPa] |
|---|---|---|---|---|
| Georete-Geomembrana HDPE | 6 | ÷ | 10 | 0 |
| Geomembrana HDPE-Geotessile | 8 | ÷ | 18 | 0 |
| Geotessile-Georete | 10 | ÷ | 27 | 0 |
| Gocomposito bentonitico-Geomembrana HDPE a.m. | 10 | ÷ | 25 | 0 |
| Gocomposito bentonitico-Geomembrana HDPE | 8 | ÷ | 16 | 0 |
| Georete-Geomembrana HDPE a.m. | 10 | ÷ | 25 | 0 |
| Geotessile-Geomembrana HDPE a.m. | 14 | ÷ | 52 | 0 |
| Geocomposito bentonito (fra i geotessuti non collegati tra di loro e agugliati/cuciti) | 8 | ÷ | 25 | 8÷50 |

*Figura 6-2: Parametri di resistenza a taglio per interfacce geosintetico – geosintetico*

Nelle tabelle seguenti viene invece riportato il range di variabilità degli angoli di resistenza al taglio di picco (Figura 6-3) e residuo (Figura 6-4) per le interfacce geosintetico – terreno e geosintetico – geosintetico, desunti da prove di laboratorio condotte in casi reali e riportate nell'articolo *"Experiences about geosynthetics shear strength designing and testing"* (Veggi, S., Parla, P. and Fretti, G.L.)

| | Friction values (range) | Friction values (mean) |
|---|---|---|
| Smooth HDPE geomembrane – wowen geosynthetic clay liner | ϕ'=9.66÷13.5; c'=°1.86÷13.8 | ϕ'=7.9, c'=°11.6 |
| Smooth HDPE geomembrane – non wowen geosynthetic clay liner | ϕ'=8.0÷13.8; c'=0÷13.9 | ϕ'=8.6, c'=4.4 |
| Geotextile – Geonet | ϕ'=16.0÷18.0; c'=5.5÷7.0 | ϕ'=17.0, c'=6.3 |
| Smooth HDPE geomembrane – Compacted clay | ϕ'=14.6÷15.1; c'=0.7÷45.7 | ϕ'=14.8, c'=17.3 |
| Roughened geomembrane – Compacted clay | ϕ'=20.7÷36,0; c'=1.8÷32.7, | ϕ'=24.3, c'=13.4 |
| Geosynthetic clay liner – Compacted clay | ϕ'=16.78÷36.0, c'=0÷31.8 | ϕ'=24.3, c'=20.8 |

*Figura 6-3: Valori dell'Parametri di resistenza a taglio per interfacce geosintetico – geosintetico desunti da prove di taglio diretto - angolo di attrito di picco*

| | Friction values (range) | Friction values (mean) |
|---|---|---|
| Smooth HDPE geomembrane – wowen geosynthetic clay liner | ϕ'=7.9÷9.1; c'=°2.0÷11.6 | ϕ'=8.3, c'=°6.33 |
| Smooth HDPE geomembrane – non wowen geosynthetic clay liner | ϕ'=7.9÷13.1; c'=0÷8.4 | ϕ'=8.8, c'=2.2 |
| Geotextile – Geonet | ϕ'=13.2÷16.2; c'=3.4÷7.6 | ϕ'=15.0, c'=6.0 |
| Smooth HDPE geomembrane – Compacted clay | ϕ'=8.6÷13.0; c'=0÷17.3 | ϕ'=10.2, c'= 8.6 |
| Roughened geomembrane – Compacted clay | ϕ'=7.8÷10.8; c'=3.4÷13.4, | ϕ'=8.8, c'=9.4 |
| Geosynthetic clay liner – Compacted clay | ϕ'=14.6÷35.0, c'=0.2÷7.0 | ϕ'=18.2, c'=4.8 |

*Figura 6-4: Valori dell'Parametri di resistenza a taglio per interfacce geosintetico – geosintetico desunti da prove di taglio diretto - angolo di attrito residuo*

Per le analisi di stabilità si sceglieranno i valori dei parametri più conservativi fra quelli per le interfacce presenti nel pacchetto del rivestimento selezionati in relazione ai materiali impiegati o da impiegare nella costruzione. Per questi ultimi materiali i valori costituiranno un requisito prestazionale di accettazione da verificare preliminarmente all'impiego.

### 6.1.2 Rifiuti

La discarica esistente, come quella di progetto è classificata come discarica per rifiuti speciali non pericolosi sottocategoria: "discariche per rifiuti misti non pericolosi con elevato contenuto sia di rifiuti organici o biodegradabili che di rifiuti inorganici, con recupero di biogas".
La caratterizzazione dei rifiuti ai fini della presente relazione si basa sia sui risultati delle prove dirette effettuate (vedi paragrafo 4.2.1) sia sulle conoscenze e sulle esperienze derivate dalla letteratura tecnica più aggiornata del settore.
Si evidenzia che di fatto la discarica esistente, nelle diverse fasi autorizzative ha sempre ricevuto rifiuti che dal punto di vista del comportamento geotecnico possono essere considerati rifiuti assimilabili agli urbani.
Tale ipotesi è supportata dai sondaggi eseguiti nel corpo rifiuti, le cui stratigrafie evidenziano la presenza di rifiuti speciali assimilabili ai rifiuti solidi urbani (si veda l'Allegato 2 dell'Allegato A alla Relazione Geologica).
Per tale motivo e in assenza di riferimenti bibliografici specifici sui rifiuti speciali, oltre alla caratterizzazione ottenuta dalle prove sui rifiuti eseguite si riportano i dati di letteratura riguardanti i rifiuti soldi urbani.

In linea teorica e del tutto generale, sulla base del loro comportamento meccanico, i rifiuti possono essere distinti in:

- rifiuti assimilabili ai terreni;
- rifiuti non assimilabili ai terreni.

I rifiuti urbani e i rifiuti trattati appartengono alla seconda categoria, per la quale, quindi la caratterizzazione geotecnica è resa complicata da una serie di fattori tra cui:

- l'eterogeneità dei materiali conferiti, che è strettamente legata all'area di produzione, alle condizioni climatiche del sito ed alle modalità con cui si effettuano i pretrattamenti;
- la mancanza di procedure di prova standardizzate per la determinazione dei parametri di resistenza;

- la dipendenza delle proprietà, oltre che dalle tipologie di materiali di provenienza, dalle procedure seguite nella posa in opera e nella compattazione;
- la dipendenza delle proprietà dal tempo, a causa dei processi di degradazione legati sostanzialmente al contenuto organico e alle condizioni locali di temperatura e umidità.

Gli studi più numerosi presenti in letteratura riguardano in particolare i rifiuti solidi urbani, il cui comportamento meccanico è stato inizialmente investigato da Sowers (1973) il quale, nel suo contributo alla VIII ICSMFE, utilizza le convenzioni ed i parametri propri della meccanica dei terreni per descrivere le leggi tenso-deformative dei rifiuti solidi urbani.

Agli studi di Sowers sono seguiti una serie di lavori di ricerca di altri autori fino ai più recenti di Oweis e Khera (1990), Jessberger e Kockel (1991 e 1993), Del Greco e Oggeri (1993), Fassett et al. (1994), Manassero et al. (1996), Van Impe e Van Impe (1999) e Kavazanjian (2006) dai quali si possono sintetizzare le considerazioni esposte nel seguito, che sono derivate in parte sia campi prova in vera grandezza, sia da prove di laboratorio su campioni di grandi dimensioni.

Per quanto riguarda il peso di volume dei rifiuti, esso varia per ciascun impianto di smaltimento in funzione della loro composizione, ed è particolarmente sensibile alle modalità di compattazione; ad esempio, Fassett et al. (1994) riportano valori di $\gamma$ nell'intervallo da 3 a 9 kN/m$^3$ per rifiuti poco compattati, nell'intervallo da 5 a 8 kN/m$^3$ per rifiuti moderatamente compattati e nell'intervallo da 9 a 10 kN/m$^3$ per rifiuti ben compattati.

Prove in sito su larga scala riportate da diversi autori hanno in effetti evidenziato pesi di volume variabili da 5 fino ad oltre 18 kN/m$^3$ (Zekkos et al. 2005). In Figura 6-5 si riportano i valori ricavati in 11 impianti ubicati in varie parti del mondo, confrontati con il profilo suggerito da Kavazanjian et al. (1995), che rappresenta quindi, all'incirca, un limite inferiore.

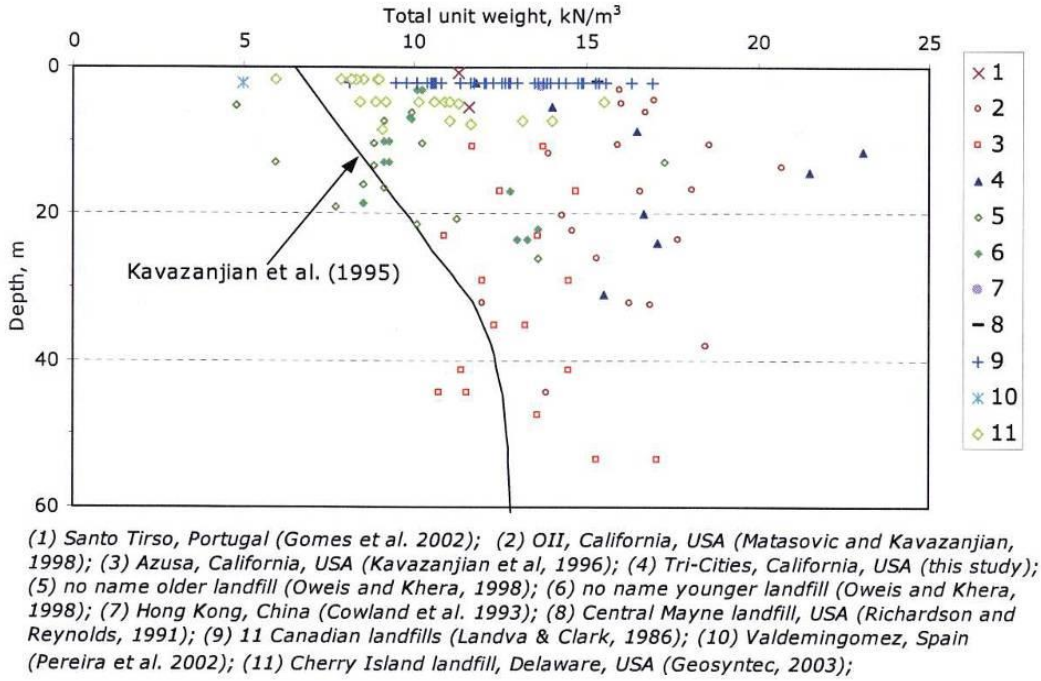



*Figura 6-5: Valori del peso di volume dei rifiuti solidi urbani da prove su grande scala (da Zekkos et al., 2005)*

Per quanto riguarda i valori dei parametri meccanici, in generale i tipici rifiuti urbani, se sottoposti a tensioni deviatoriche progressivamente incrementate, non manifestano un valore limite superiore di resistenza al taglio, ma si deformano anche fino al 50÷70% mobilitando resistenze al taglio sempre crescenti; per fissare un valore convenzionale di resistenza al taglio dei rifiuti si fa riferimento a deformazioni tangenziali dell'ordine del 20÷30% (Grisolia et al., 1995).

L'esecuzione di prove penetrometriche, sia statiche (CPT) sia dinamiche (SPT), può permettere la determinazione qualitativa delle proprietà meccaniche dei rifiuti; i valori di resistenza alla punta ($q_c$) variano da 200 a 800 2 t/m$^2$ nel caso di rifiuti compattati, e da 50 a 200 t/m$^2$ per rifiuti non compattati (Manassero e Pasqualini, 1993); per quanto concerne l'andamento di questi valori in profondità, essi non sembrano mostrare nel primo caso variazioni significative, mentre decrescono per i rifiuti non compattati.

Dall'analisi di alcune prove di resistenza al taglio diretto su campioni di grandi dimensioni di rifiuti scarsamente compattati, aventi un peso di volume di 0.4÷0.6 t/m$^3$, simulando le reali condizioni di carico esistenti in una discarica (pressioni verticali 3÷10 t/m$^2$), sono stati ricavati parametri medi di resistenza pari a:

c' = 2 t/m$^2$ (coesione drenata)

$\phi$' = 21÷22° (angolo di resistenza a taglio)

Per quanto riguarda i parametri di rifiuti non compattati in sito (dopo la fase di raccolta con compattatore mobile) si può fare riferimento ai seguenti valori (Landva e Clark, 1990):

c' = 2.3 t/m$^2$ (coesione drenata)

$\phi$' = 24° (angolo di resistenza a taglio)

Manassero et al. (1996), avendo osservato come i parametri di resistenza dei rifiuti dipendano, tra gli altri fattori, dalla pressione di confinamento, hanno suggerito di attribuire i valori dell'angolo di resistenza al taglio, $\phi$, e della coesione, c, sulla base della curva mostrata in Figura 6-6, in cui il piano ($\sigma$,$\tau$) viene diviso in tre zone:

- una zona A, corrispondente a bassi stati tensionali (0 kPa $\leq \sigma_V <$ 20 kPa), in cui la resistenza dei rifiuti è governata dalla coesione ($\phi$ = 0°, c $\cong$ 20 kPa);
- una zona B, corrispondente a valori moderati dello stato tensionale (20 kPa $\leq \sigma_V <$ 60 kPa), in cui il comportamento dei rifiuti è sostanzialmente attritivo ($\phi \cong$ 38°, c = 0 kPa);
- una zona C, corrispondente a valori di tensione più elevati ($\sigma_V \geq$ 60 kPa), in cui entrambi i parametri di resistenza al taglio vengono mobilitati ($\phi$=30°, c $\geq$ 20 kPa).

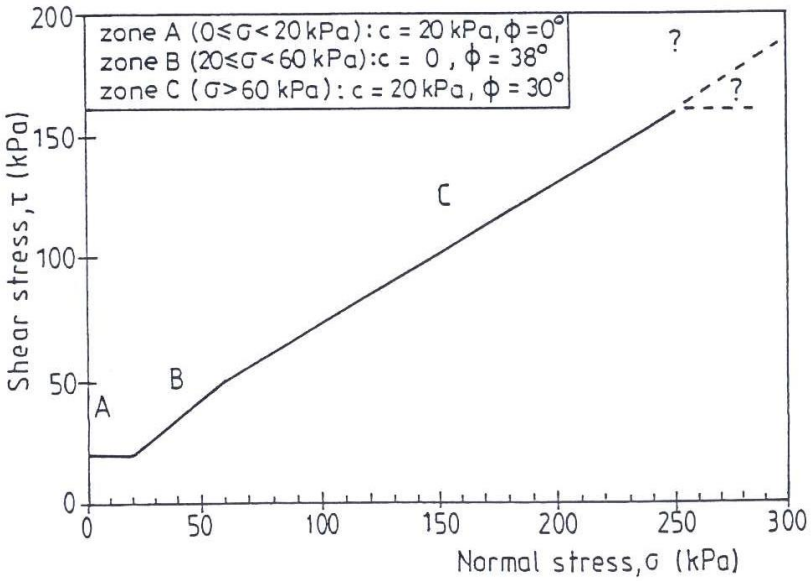



*Figura 6-6: Valori di riferimento dei parametri di resistenza dei rifiuti solidi urbani in funzione dello stato tensionale (da Manassero et al., 1996)*

Con un simile approccio, basato su dati riferiti a studi compiuti in Nord America, Kavazanjian (2001) propone di adottare i valori c' = 24 kPa e $\phi \cong 0°$ per livelli tensionali ridotti ($\sigma_N \leq 30$ kPa) e i valori c' = 0 kPa e $\phi \cong 33°$ per livelli tensionali più elevati.

A titolo indicativo, la Figura 6-7 presenta alcuni valori di resistenza a taglio dei rifiuti pubblicati in letteratura; appare evidente la grande dispersione di tali valori.

Ai fini progettuali, si può ritenere che i parametri da assumere siano compresi negli intervalli individuati nel piano (c',$\phi$') in Figura 6-8 e in Figura 6-9.

| Fonte | Parametri di resistenza a taglio | | Note |
|---|---|---|---|
| | c' (kPa) | ϕ' (°) | |
| Jessberger (1994) | 7 | 38 | Ripreso da Gay et al. (1978) |
| Jessberger (1994) | 10 | 15 | Da back analysis |
| Jessberger (1994) | 10 | 17 | Da back analysis |
| Jessberger (1994) | 0 | 30 | Da osservazioni in sito |
| Jessberger (1994) | 0 | 40 | Da osservazioni in sito |
| Jessberger (1994) | 7 | 42 | Da prove di taglio semplice |
| Jessberger (1994) | 28 | 26.5 | Da prove di taglio semplice |
| Fassett et al. (1994) | 10 | 23 | Valori suggeriti dagli autori |
| Kolsh (1995) | 15 | 15 | Valori suggeriti dagli autori |
| Kolsh (1995) | 18 | 22 | Valori suggeriti dagli autori |
| Cowland et al. (1993) | 10 | 25 | Da back analysis |
| Del Greco e Oggeri (1993) | 15.7 | 21 | Da prove di taglio diretto |
| Del Greco e Oggeri (1993) | 23.5 | 22 | Da prove di taglio diretto |
| Landva e Clark (1986) | 19 | 42 | Da prove di taglio diretto |
| Landva e Clark (1986) | 16 | 38 | Da prove di taglio diretto |
| Landva e Clark (1986) | 16 | 33 | Da prove di taglio diretto |
| Landva e Clark (1986) | 23 | 24 | Da prove di taglio diretto |
| Landva e Clark (1986) | 10 | 33.6 | Da prove di taglio diretto |
| Golder Associates (1993) | 0 | 41 | Da prove di taglio diretto |

*Figura 6-7: Parametri di resistenza dei rifiuti pubblicati in letteratura (adattata da Jones et al., 1997)*

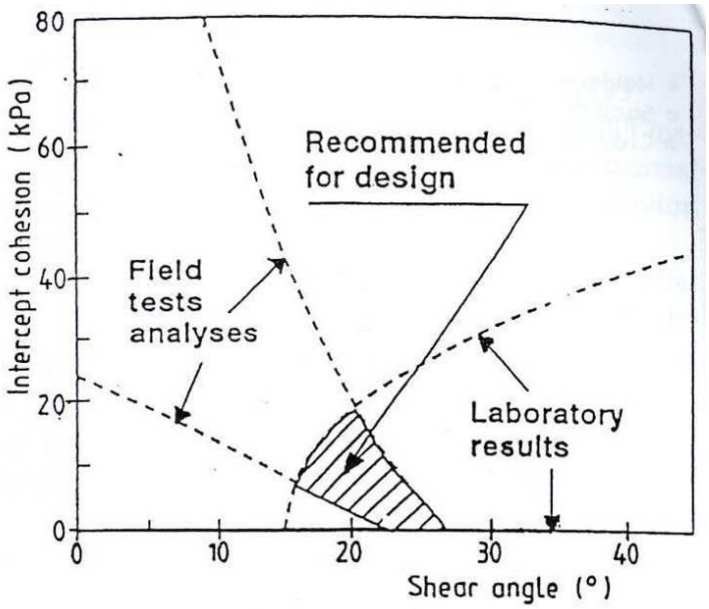



*Figura 6-8: Resistenza a taglio dei rifiuti solidi urbani, valori raccomandati ai fini progettuali (da Sanchez-Alciturri et al., 1993)*

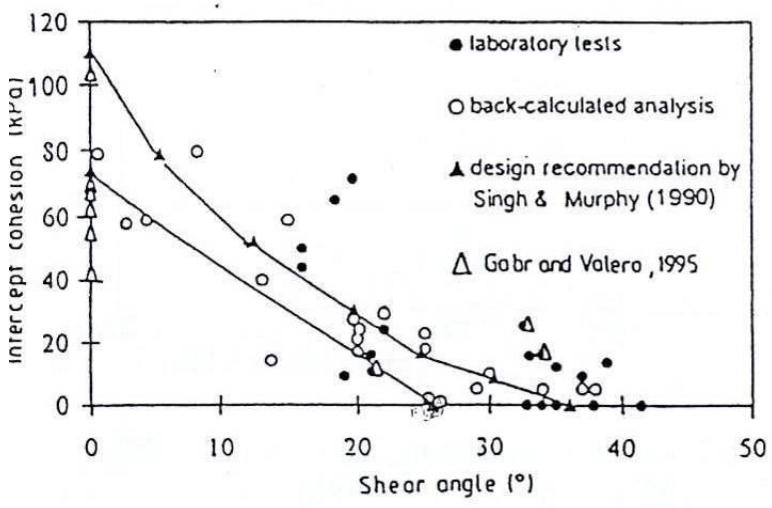



*Figura 6-9: Parametri di resistenza dei rifiuti solidi urbani stimata con vari metodi (da Manassero et al., 1996)*

Nelle seguenti Figura 6-10 e Figura 6-11 vengono riproposte le figure precedenti mettendole a confronto con i valori dei parametri di resistenza misurati durante le prove di laboratorio sui rifiuti (vedi paragrafo 4.2.1 e Allegato A).

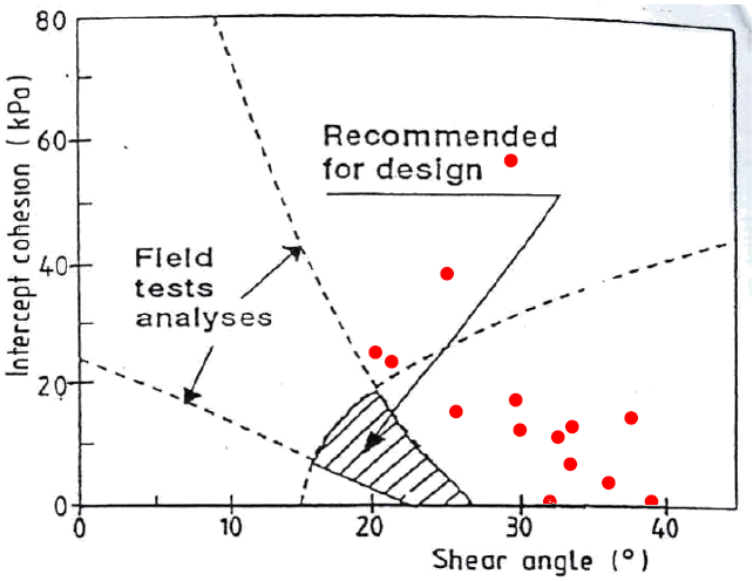



*Figura 6-10: Resistenza a taglio dei rifiuti solidi urbani, valori raccomandati ai fini progettuali (da Sanchez-Alciturri et al., 1993) a confronto con i dati sperimentali ottenuti dalle prove sui rifiuti (in rosso)*

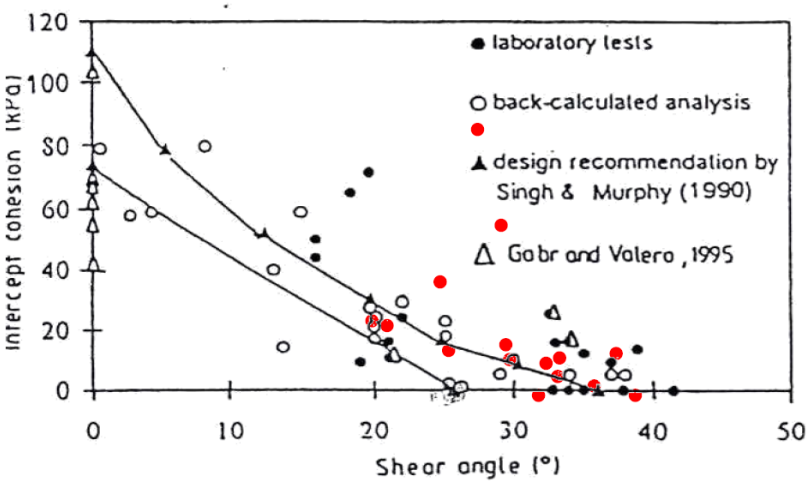



*Figura 6-11: Parametri di resistenza dei rifiuti solidi urbani stimata con vari metodi (da Manassero et al. 1996) a confronto con i dati sperimentali ottenuti dalle prove sui rifiuti (in rosso)*

Dal confronto emerge che i dati sperimentali sono in linea con quelli di letteratura.

Inoltre Infatti le esperienze più aggiornate e qualificate riportate nella letteratura tecnica internazionale (si veda ad es. Bray et al., 2009; Bray et al., 2011) evidenziano che la resistenza la taglio dei rifiuti è fortemente influenzata dalla presenza di materiali fibrosi all'interno di essi (strisce di plastica, residui metallici, pezzi di tessuto, cartoni, ecc.) i quali esercitano un'azione di rinforzo sui rifiuti paragonabile a quella prodotta dalle armature della terra rinforzata. L'effetto

è legato soprattutto alla presenza di materiali fibrosi di dimensioni uguali o superiori a 20 mm e diventa significativo quando la percentuale di questi ultimi raggiunge un valore del 20%-25%. Dimensioni e percentuali superiori a quelle sopra indicate non producono incrementi significativi nei risultati delle prove (Bray et al., 2011).

La Figura 6-12 tratta da Bray et al. 2009, che sintetizza i risultati di oltre 100 prove di taglio diretto eseguite su provini di grande diametro nonché dati desunti da analisi a ritroso sul comportamento di discariche reali, suggerisce i seguenti valori medi:

$\phi'_{MEDIO} = 35$ °

c'= 25 kPa

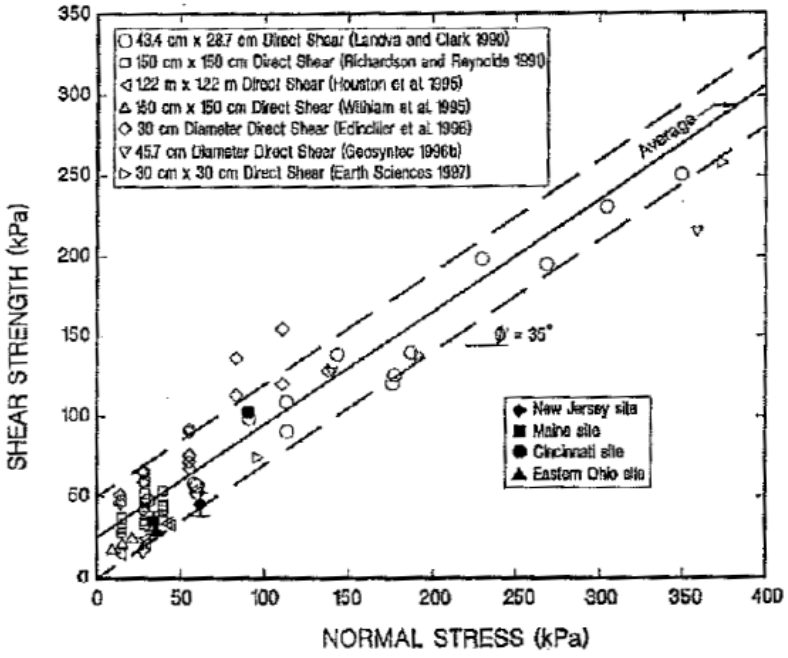



*Figura 6-12 Sintesi dei risultati di prove di taglio diretto sui rifiuti da provini di grande diametro e da back analysis di casi reali (da Bray et al., 2009)*

Per quanto riguarda la scelta finale dei parametri da utilizzare nelle analisi, per la quale si è tenuto conto sia dei dati sperimentali che dei dati di letteratura, si veda il seguente paragrafo 6.2.

### 6.1.3 Substrato naturale

La caratterizzazione geotecnica dei materiali facenti parte del substrato naturale (coltri, substrato roccioso alterato e integro), è stata desunta sulla base ai risultati delle indagini pregresse, su quelle eseguite nel corso delle indagini del 2016 (prove di laboratorio, rilievo geomeccanico, indagini geofisiche ai paragrafi 4.2.2, 4.1.4 e 4.1.2).
Per tale caratterizzazione si rimanda a quanto riportato nella Relazione Geologica 030-006R03E01.

## 6.2 Valori dei parametri geotecnici per le analisi

Nel seguito viene riportata una sintesi dei parametri geotecnici assegnati ai materiali basandosi su quanto riportato nei paragrafi precedenti (desunti dalle indagini e prove eseguite in sito e di laboratorio e da un confronto con parametri di letteratura disponibili). Ai fini della normativa, pertanto tali parametri sono da intendersi “caratteristici”.
Si segnala che per quanto riguarda il substrato naturale i valori assunti risultano del tutto comparabili con quanto riscontrabile in letteratura su formazioni e materiali ritenuti geotecnicamente simili.

| | PESO DI VOLUME TOTALE [kN/m$^3$] | COESIONE C [KPa] | ANGOLO DI ATTRITO [°] | MODULO DI YOUNG E [MPa] | COEFFICIENTI DI POISSON [m/s] |
|---|---|---|---|---|---|
| Substrato roccioso sano | 25 | 80 | 27 | 100 | |
| Substrato roccioso alterato | 24 | 50 | 24 | 40 | |
| Coltri | 19 | 0 | 28 | | |
| Rifiuti esistenti | 14 | 10 | 30 | 2 | 0,4 |
| Rifiuti ampliamento | 14 | 0 | 30 | 1,5 | |
| Rilevati | 18 | 0 | 28 | | |
| Rilevati rinforzati | 18 | 100 | 30 | | |
| Impermeabilizzazione parete vecchia discarica | 19 | 20 | 14 | | |
| Impermeabilizzazione parete ampliamento | 19 | 0 | 14 | | |
| Impermeabilizzazione del fondo | 19 | 10 | 10 | | |
| Impermeabilizzazione parete ampliamento di progetto | 19 | 0 | 22 | | |
| Impermeabilizzazione separazione | 19 | 0 | 27 | 1.5 | |
| Copertura definitiva | 18 | 0 | 36 | | |
| Rifiuti consolidati | 13 | 79* | 30 | | |
| Materiale consolidato | 24 | 113* | 28 | | |

*Figura 6-13: Parametri geotecnici dei materiali usati nelle analisi di stabilità e nei calcoli dei cedimenti*

*Per quanto riguarda la definizione dei valori caratteristici del materiale consolidato si veda il paragrafo 9.2.3.

# 7. CALCOLO DEI CEDIMENTI

La previsione dei cedimenti del corpo di una discarica assume un ruolo di fondamentale importanza nell'ambito della valutazione della stabilità della stessa e della sua evoluzione morfologica nel tempo.

Il comportamento tensio - deformativo dei materiali costituenti i rifiuti, infatti, estremamente variabile in relazione all'eterogeneità delle frazioni merceologiche in essi presenti, comporta significative deformazioni volumetriche che, differentemente dai terreni, sono apprezzabili su grande scala. Il rifiuto, infatti, è classificabile come un materiale fortemente deformabile ed altamente eterogeneo ed anisotropo.

L'interpretazione di tale fenomeno è oggetto, ad oggi, di numerosi studi e produzioni scientifiche e risulta particolarmente complessa a causa dell'imprecisione delle variabili in gioco e della limitata disponibilità di dati empirici di lungo termine in supporto.

Nei successivi paragrafi si riporterà una descrizione generale dei processi di generazione dei cedimenti che si ritiene entrino in gioco in un ammasso rifiuti durante l'intera vita della discarica, nel corso delle fasi di gestione operativa e post-operativa della stessa.

Si presenterà, inoltre, una descrizione della metodologia utilizzata dagli scriventi per la quantificazione dei cedimenti previsti per la discarica in oggetto in relazione alla nuova volumetria di rifiuti autorizzata per l'ampliamento in progetto. Tali valutazioni risulteranno funzionali, in termini progettuali, per definire orientativamente un profilo di costruzione del nuovo abbancamento compatibile con la configurazione finale autorizzata e recuperare pertanto, sin dalle fasi di coltivazione, la perdita di volumetria utile che ne deriverà in conseguenza all'abbassamento nel tempo del corpo rifiuti.

In linea generale, da dati di letteratura si può stimare che le previsioni dei cedimenti totali in una discarica possano raggiungere valori tra il 25 ed il 50% dello spessore iniziale dell'ammasso rifiuti.

A conferma di ciò il D.Lgs. 36/03 nell'Allegato 1 al termine del paragrafo 2.4.3 "Copertura superficiale finale" sottolinea, in relazione proprio alla funzionalità del capping, che:

"Poiché la degradazione dei rifiuti biodegradabili, incluse le componenti cellulosiche, comporta la trasformazione in biogas di circa un terzo della massa dei rifiuti, la valutazione degli assestamenti dovrà tenere conto di tali variazioni, soprattutto in funzione alla morfologia della copertura finale".

## 7.1 Cenni teorici

### 7.1.1 Generalità

La stima previsionale della distribuzione spazio-temporale dei cedimenti di un corpo rifiuti è un'operazione estremamente articolata a causa sia dell'eterogeneità dei materiali presenti che delle continue variazioni delle proprietà e delle caratteristiche dei materiali stessi nel tempo.

Il rifiuto, come noto, è un mezzo multifase caratterizzato da una fase solida, una fase liquida, costituita dal percolato, e da una fase gassosa, costituita dal biogas. Secondo quanto sostenuto da Sowers (1973), che per primo provò a fornire un quadro d'interpretazione di tale fenomeno, i meccanismi responsabili delle variazioni geometriche e volumetriche dell'ammasso possono essere sintetizzati in quattro componenti principali:

- *meccanico:* consolidazione (riduzione dell'indice dei vuoti);
- *erosione e trasporto:* migrazione delle parti più fini all'interno dei vuoti fra i materiali più grossolani ('ravelling');
- *reazioni fisico-chimiche:* corrosione, ossidazione, combustione;
- *decomposizione bio-chimica*.

Fra quelli elencati solo il primo è imputabile direttamente all'aumento del carico indotto dalla coltivazione della discarica e può essere analizzato, pertanto, in termini di sforzi e deformazioni. Diversi studi, in particolare, (Sowers, 1973; Yen & Scanlon, 1975; Park et al., 2002; Napoleoni, 2004; Mcdougall 2011) dimostrano come tale processo di consolidazione possa esaurirsi nel breve periodo.

Diversamente, gli altri meccanismi sopra elencati considerano deformazioni di lungo termine e risultano influenzati sia dall'altezza del cumulo dei rifiuti che dalle condizioni ambientali che si vengono a creare durante la coltivazione (composizione dei rifiuti, temperatura e condizioni meteorologiche, livello del percolato, produzione del biogas). Tali deformazioni, di tipo prevalentemente viscoso e degradativo, si possono sviluppare in condizioni di carico costante per svariati anni, durante i quali un ruolo molto importante è assunto dalla decomposizione della frazione organica.

Un ultimo aspetto da evidenziare sul tema della deformazione degli ammassi di rifiuti riguarda la disomogenea distribuzione spaziale dei cedimenti attribuibile, in generale, all'inevitabile disuniformità di caratteristiche dei rifiuti ed evidente in particolar modo tra le aree perimetrali e

le zone centrali di massimo abbancamento di una discarica. Nelle aree perimetrali, infatti, l'ammasso rifiuti ha uno spessore inferiore e risulta meno denso e più compressibile, poiché logisticamente più difficile da compattare e soggetto ad un carico di copertura minore rispetto al corpo centrale della discarica.

In linea generale, la curva di compressibilità di riferimento per i rifiuti solidi urbani (si ricorda che come esposto nel paragrafo 6.1.2 i rifiuti esistenti e di futura coltivazione possono essere assimilabili ai rifiuti solidi urbani) presenta l'andamento tipico mostrato nella seguente Figura 7-1.

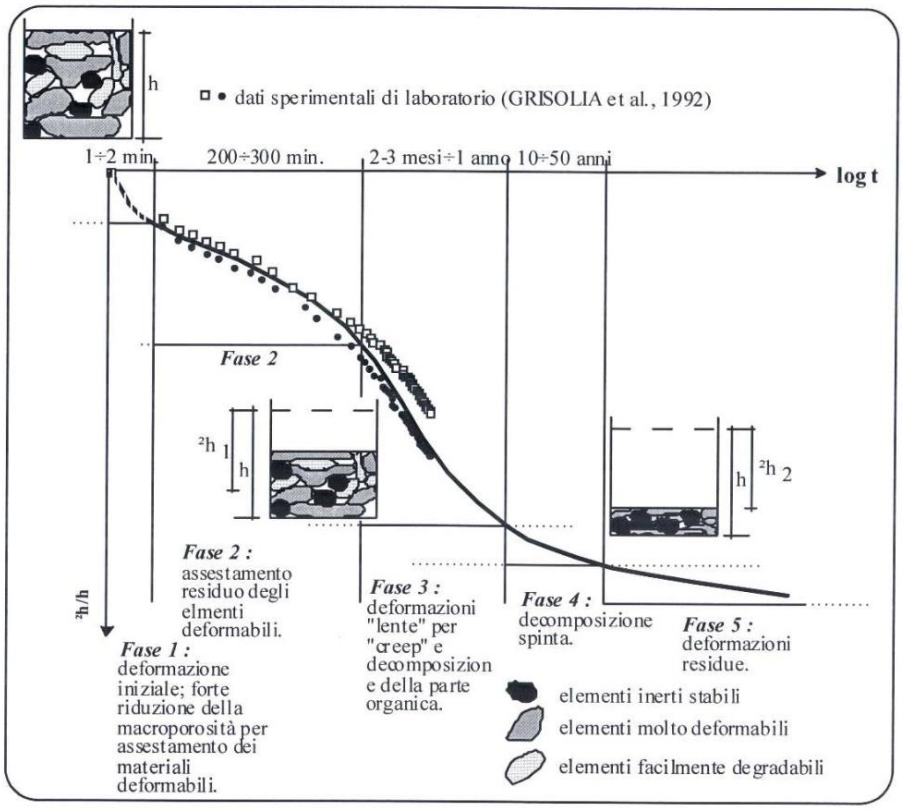



*Figura 7-1 Curva di compressibilità per i R.S.U. (Napoleoni, 2004)*

Sulla base di tali indicazioni, il comportamento deformativo degli ammassi di rifiuto abbancati in discarica può essere studiato considerando il cedimento assoluto come risultato di due contributi principali:

- cedimenti per variazioni dello stato tensionale;
- cedimenti per fenomeni viscosi e degradativi di breve e lungo termine.

Nei paragrafi successivi si riporterà una breve descrizione dei modelli di calcolo esistenti per la quantificazione di tali contributi.

### 7.1.2 Cedimenti primari

#### 7.1.2.1 *Cedimento per autocompattazione*

Il cedimento per autocompattazione avviene generalmente entro i primi mesi dalla deposizione ed è causato da un processo di compattazione sotto peso proprio. Nel caso dei rifiuti speciali, non sono disponibili in letteratura dati riguardanti l'entità di tali cedimenti, mentre è stato riscontrato sperimentalmente che, in ambito italiano, per i rifiuti solidi urbani il valore medio dei cedimenti per autocompattazione è nell'ordine del 4% dell'altezza.
Considerando che i rifiuti speciali dovrebbero contenere una componente organica (più comprimibile) in percentuale inferiore rispetto agli RSU, si può approssimativamente attribuire un cedimento di autocompattazione nell'ordine del 3% dell'altezza.

#### 7.1.2.2 *Cedimenti primari per variazioni dello stato tensionale indotto dalla deposizione dei rifiuti e della copertura*

La variazione di stato tensionale della discarica che determina i cedimenti di breve termine (pochi mesi) può essere determinata dai seguenti fenomeni:

- progressivo sviluppo in altezza della discarica;
- presenza di carichi esterni (quale la copertura definitiva);
- dissipazione delle pressioni interstiziali (in misura minore).

La componente di consolidazione primaria del cedimento totale può essere pertanto schematizzata come quella generata dall'applicazione di un carico monotonico e può essere valutata, in analogia con i terreni, mediante il modello geotecnico di elasticità lineare o edometrico/ logaritmico.
Tale deformazione è legata all'espulsione di acqua e dei gas dai vuoti presenti all'interno della struttura dei rifiuti e si manifesta generalmente subito dopo la posa del sovraccarico.
Adottando la teoria della consolidazione per i rifiuti, in analogia con un terreno normal-consolidato, il calcolo del cedimento dell'ammasso rifiuti effettuato con il metodo edometrico/ logaritmico ha la seguente espressione:

$$\delta_P = \sum_{i=1}^{n} \frac{\Delta\sigma_{zi} - \nu(\Delta\sigma_{yi} + \Delta\sigma_{xi})}{E_i} \Delta z_i \qquad (1.)$$

in cui:

$\delta_P$ : cedimento;

n : numero di suddivisione degli strati di rifiuto;

E : modulo di deformabilità degli strati sottostanti;

$\nu$ : coefficiente di Poisson;

$\Delta\sigma_{vo}$: incremento medio delle tensioni indotte della suddivisione i-esima di terreno;

$\Delta z_i$ : incremento medio delle tensioni normali verticali della suddivisione i-esima di terreno.

Come mostra la Figura 7-2 e la Figura 7-3 riportate di seguito, i valori di CR presenti in letteratura definiscono un campo di variazione piuttosto ampio in cui i valori minimi corrispondono a rifiuti caratterizzati da uno scarso contenuto di frazione organica ed elevato peso nell'unità di volume mentre i valori massimi permettono di caratterizzare rifiuti facilmente addensabili e di scarsa rigidezza. Tale classificazione, in particolare, è attribuita dagli autori all'ammasso di rifiuto in relazione alle frazioni merceologiche in esso presenti.

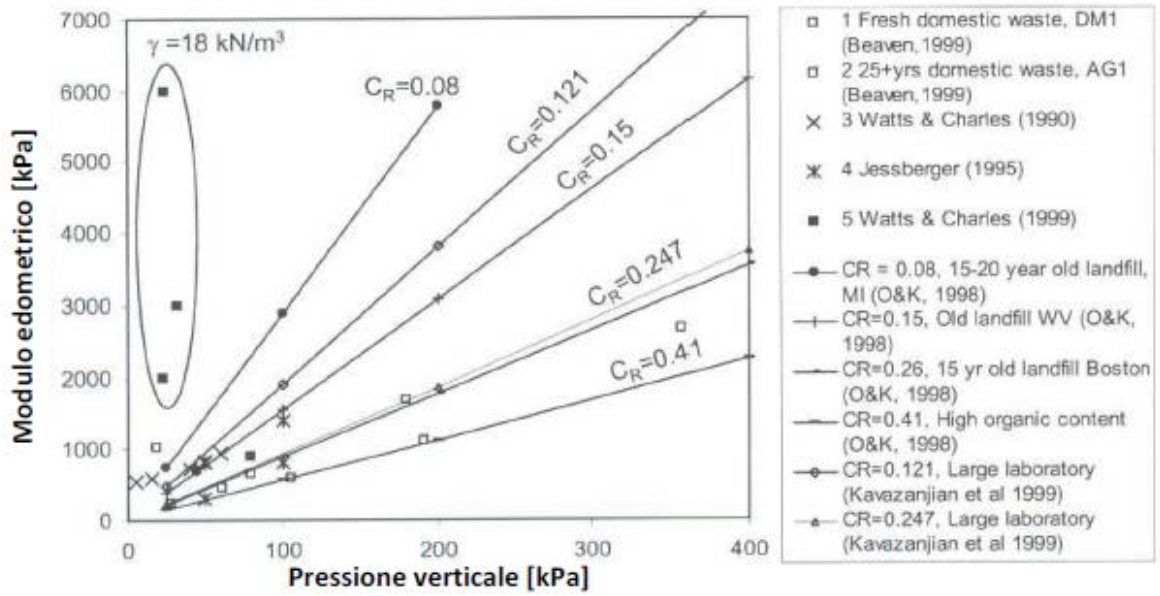



*Figura 7-2: Dati sperimentali del rapporto di compressione (Mc Dougall, 2011)*

| No. | Bibliografia | $C_R$ | $C_{\alpha\varepsilon 1\text{-}2}$ | Note | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Composizione | $e_0$ o $\gamma$ |
| 1 | Sowers (1973) | 0.1-0.41 | 0.02-0.07 | P: 20-40%; C: 0-15%; R1: 16-40%; R2: 11-31% | $e_0$ = 2-15 |
| 2 | Zoino (1974)[a] | 0.15-0.33 | 0.013-0.03 | - | - |
| 3 | Converse (1975)[a] | 0.25-0.3 | 0.07 | - | - |
| 4 | Rao et al. (1977) | 0.16-0.24 | 0.012-0.046 | - | - |
| 5 | Landva et al. (1984) | 0.2-0.5 | 0.0005-0.029 | - | - |
| 6 | Oweis e Khera (1986) | 0.08-0.22 | - | - | - |
| 7 | Bjarngard e Edgers (1990) | - | 0.004-0.04 | - | - |
| 8 | Fasset at al. (1994) | - | <0.1 | - | - |
| 9 | Wall e Zeiss (1995) | 0.21-0.25 | 0.033-0.056 | P: 21%; C: 17%; R1: 54.5%; R2: 7.5% | - |
| 10 | Gabr e Valero (1995) | 0.2-0.23 | 0.015-0.023 | P: 0%; C: 33%; R1: 47%; R2: 20% | $e_0$ = 1-3 |
| 11 | Boutwell e Fiore (1995) | 0.09-0.19 | 0.006-0.012 | - | - |
| 12 | Stulgis et al. (1995) | 0.16 | 0.02 | - | - |
| 13 | GeoSyntec (1996) | 0.35-0.55 | 0.10-0.18 | Da back-analysis della discarica di OII, USA | - |
| 14 | Green e Jamenjad (1997) | - | 0.01-0.08 | - | - |
| 15 | Oweis e Khera (1998) | - | 0.001-0.04 | - | - |
| 16 | Landva et al. (2000) | 0.17-0.24 | 0.01-0.016 | P: 0-6%; C: 24-66%; R1: 25-62%; R2: 0.8-6% | $\gamma$ = 7.6-10.4 |
| 17 | Quian et al. (2001) | 0.17-0.36 | 0.01-0.1 | - | - |
| 18 | Hossain et al. (2003) | 0.16-0.37 | 0.05-0.22 | - | $e_0$ = 2-2.8 |
| 19 | Liu Rong et al. (2003) | 0.13-0.46 | - | P: 25%; C: 8-47%; R1: 23-53%; R2: 0.8-12% | $e_0$ = 3.5-5 |
| 20 | Chen e Ke (2003) | 0.354 | - | P: 17-27%; C: 44-57%; R1: 20-23%; R2: 2-6.3% | $e_0$ = 3.8 |
| 21 | Chen et al. (2008) | 0.1-0.3 | - | P: 17-32%; C: 29-69%; R1: 12-35%; R2: 2-4% | $e_0$ = 1-4 |

Note: P – Organici; C – Ceneri e polveri; R1 – Plastica, carta, legno, tessuti, gomma, etc.; R2 – Metalli e vetro; $e_0$ – Indice dei vuoti iniziale; $\gamma$ - Peso dell'unità di volume [kN/m$^3$].
[a] da Wall e Zeiss (1995).

*Figura 7-3: Valori del coefficiente di deformazione primaria e secondaria da ricerche condotte su RSU in sito ed in laboratorio (Chen et al. 2008)*

Per quanto riguarda la scelta dei parametri deformativi ed in particolare di E (modulo di deformabilità degli strati sottostanti ovvero dello strato di rifiuti esistenti) si sono considerati i dati di letteratura e le prove in sito effettuate quali le prove di carico su piastra (vedi paragrafo 4.1.3).

Si specifica che le prove sono state fatte in aree di transito dove i rifiuti sono vecchi, soggetti a una compattazione dinamica. Pertanto per i calcoli si è considerato un valore del modulo di deformabilità inferiore a quello ottenuto dalle prove sperimentali e pari a 5 Mpa.

### 7.1.3 Cedimenti secondari per viscosità e biodegradazione

La generazione di deformazioni nell'ammasso rifiuti oltre che per fattori meccanici si sviluppa nel tempo per la nascita di fenomeni di viscosità dello scheletro solido (creep – deformazione lenta a carico costante) e di trasformazione della sostanza organica, la cui velocità dipende dall'interazione di più fattori come descritto in precedenza.

L'approccio proposto da Sowers (1973) per la stima di tali cedimenti fa riferimento ai modelli di calcolo utilizzati per la stima dei cedimenti secondari nei terreni naturali.

L'espressione utilizzata è riportata di seguito.

$$\delta_P = C_\alpha \cdot \log\left[\frac{t_2}{t_1}\right] \cdot H_i \qquad (2.)$$

in cui:

$\delta_P$ : cedimento;

$H_i$ : altezza dello strato di rifiuto;

$C\alpha$ : coefficiente di deformazione secondaria di prima o di seconda fase

$t_2$ e $t_1$: fasi temporali in cui si verificano i fenomeni deformativi, valutati a partire dalla fase di deposito del rifiuto.

#### 7.1.3.1 *Coefficiente di deformazione secondaria di prima fase*

Il primo processo di deformazione si sviluppa nei primi mesi subito dopo la messa in opera del materiale per una durata variabile tra 1 e 3/10 anni, in relazione alle caratteristiche del rifiuti (indice dei vuoti iniziale, contenuto di materiale degradabile, altezza dello strato, storia di carico, fattori ambientali) ed alle modalità di gestione della discarica, aspetti che influenzano fortemente i tempi di avvio della vera e propria fase successiva di biodegradazione.
In tale stadio, l'ammasso rifiuti subisce deformazioni per effetto del riorientamento dei solidi costituenti lo scheletro dell'ammasso in una configurazione più addensata; ciò è dovuto, in particolare, alla perdita graduale di rigidità delle particelle solide a causa del "creep", ovvero l'innesco di deformazioni sotto l'azione del sovraccarico costante costituito dai rifiuti stessi.
Il valore del coefficiente di deformazione secondaria di prima fase per i rifiuti futuri è stato considerato pari a 0,08, valore ricavato da stime prudenziali basate su valori sperimentali (vedi Figura 7-3);

#### 7.1.3.2 *Coefficiente di deformazione secondaria per biodegradazione*

La seconda fase di compressione secondaria per biodegradazione può protrarsi per un esteso lasso di tempo variabile in relazione alla velocità di decomposizione della sostanza organica ed all'età ed all'altezza del rifiuto abbancato. Come si può notare, il valore di tale

coefficiente Cα caratterizza una velocità di deformazione maggiore rispetto alla fase 1 e, in particolare, descrive un fenomeno che si sviluppa in maniera significativa nelle fasi iniziali fino a diminuire esponenzialmente per periodi di lungo termine fin oltre il termine di chiusura della fase di post gestione della discarica.

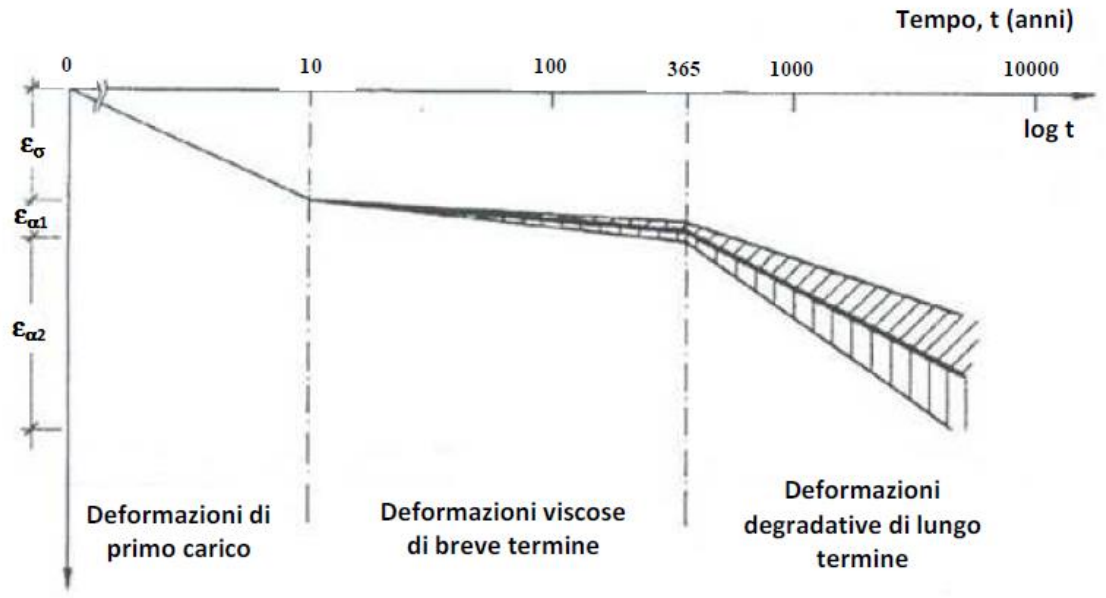



*Figura 7-4 Andamento dei cedimenti nel tempo*

Il cedimento sarà calcolato, a partire dalla fase di deposito iniziale dei rifiuti, da un tempo $t_2$ corrispondente alla fine del cedimento viscoso (fase1) ad un tempo $t_3$ in cui si ritiene possano considerarsi esauriti i fenomeni degradativi.

Per quanto riguarda i rifiuti presenti nella discarica esistente i cedimenti secondari, in virtù dell'età avanzata dei rifiuti (che sono stati conferiti in discarica dal 1999 al 2006), non sono stati distinti in cedimenti secondari di prima e di seconda fase ed è stato assegnato un unico coefficiente di deformazione secondaria pari a 0.0525.

Per quanto riguarda il nuovo corpo rifiuti invece il coefficiente di deformazione secondaria di seconda fase è stato stimato pari a 0.035 tenendo conto del fatto che parte dei cedimenti dovuti ai fenomeni biodegradativi sono già avvenuti nei primi 10 anni.

## 7.2 Calcolo dei cedimenti

La definizione dei cedimenti ha innanzitutto una funzione di carattere gestionale in quanto consente di definire la morfologia di costruzione della discarica in maniera tale che essa risulti funzionale in fase di costruzione e che rispetti la volumetria finale autorizzata a cedimenti avvenuti.

La quota di costruzione viene determinata a partire dalla quota finale (pari alla quota del capping meno lo spessore del capping) e aggiungendo tutti i cedimenti verticali che avvengono fino al momento scelto per verificare la congruenza tra le quote di progetto e le quote effettive, ovverosia al completamento della copertura definitiva e a 30 anni dal completamento (durata della di post- gestione). Il calcolo è di tipo iterativo in quanto i cedimenti dipendono dall'altezza iniziale dei rifiuti ovvero quella di costruzione che inizialmente non è nota.

I calcoli sono stati effettuati in 10 punti ritenuti significativi (punti sulle berme o sui piazzali).

La griglia dei punti considerati è riportata nella Figura seguente:

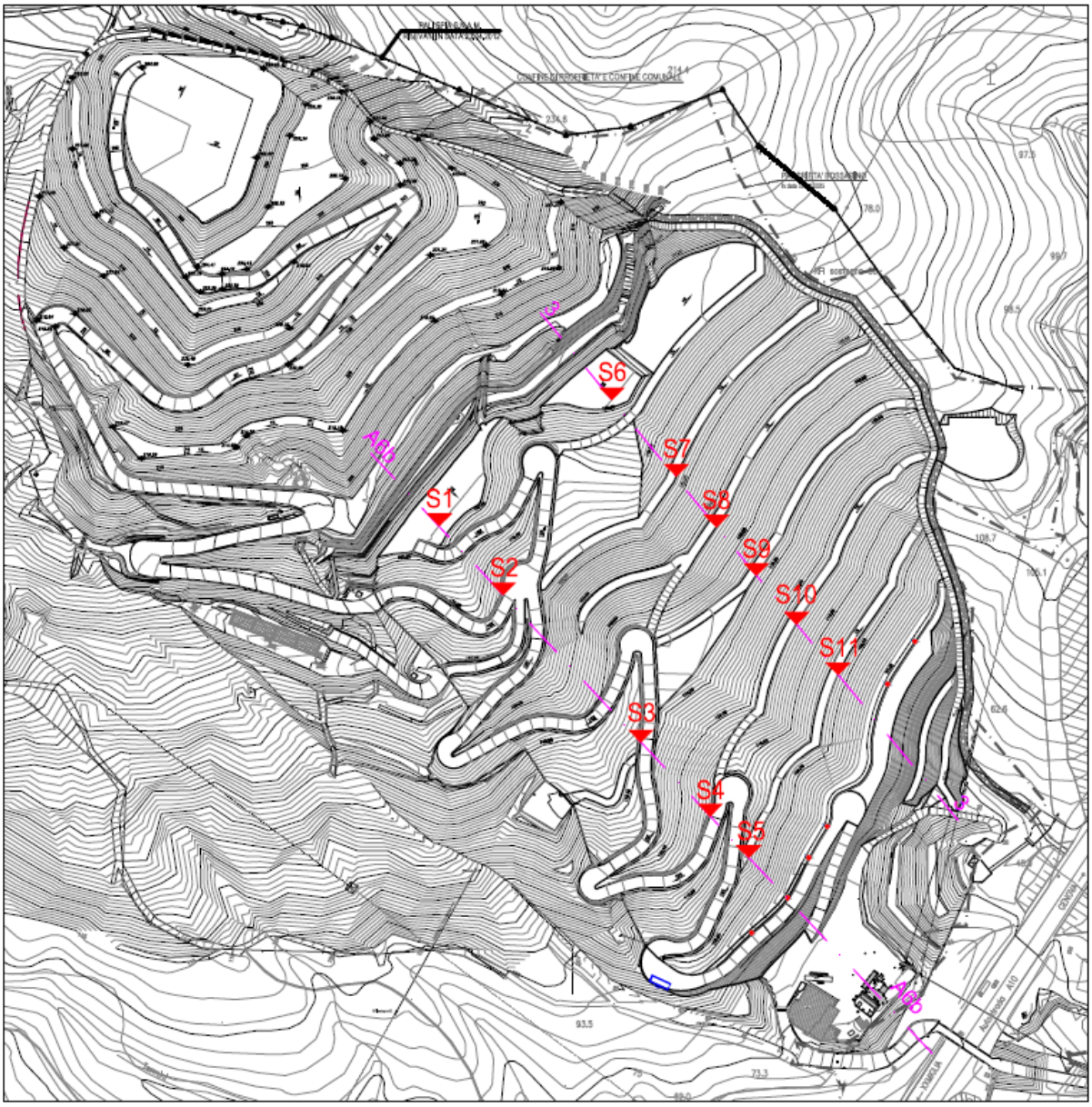



*Figura 7-5 Planimetria con ubicazione dei punti di calcolo dei cedimenti*

Nella Figura 7-6 vengono riportate le geometrie delle sezioni trasversali e longitudinali utilizzate per il calcolo dei cedimenti.

Nella Figura 7-7 si riporta la rappresentazione grafica del profilo dei cedimenti.

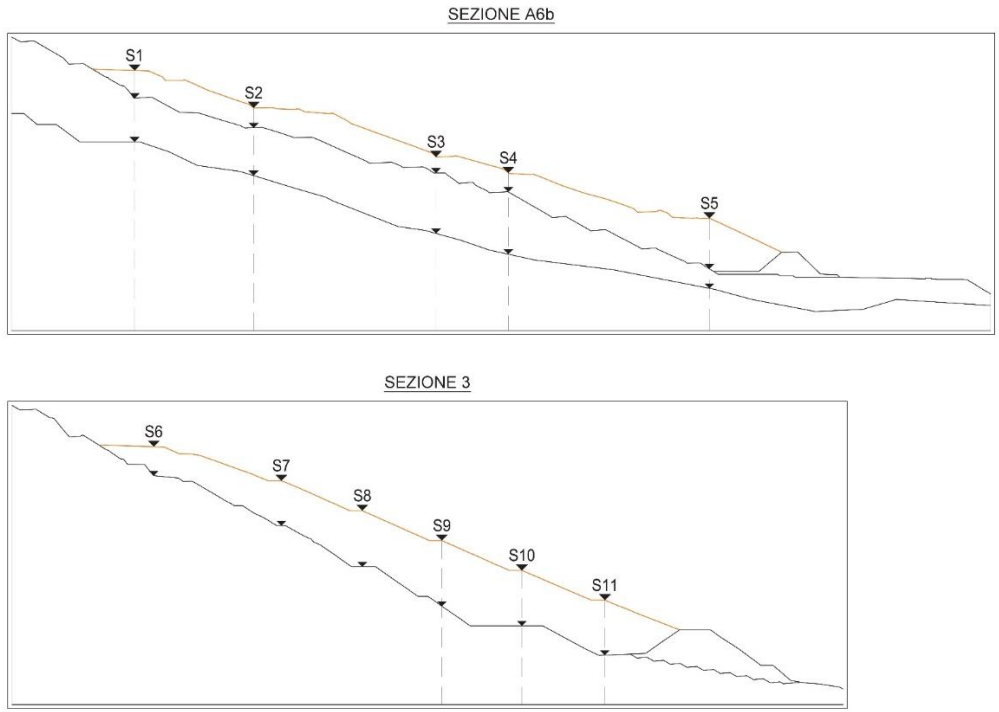



*Figura 7-6 Geometrie delle sezioni trasversali e longitudinali utilizzate per il calcolo dei cedimenti*

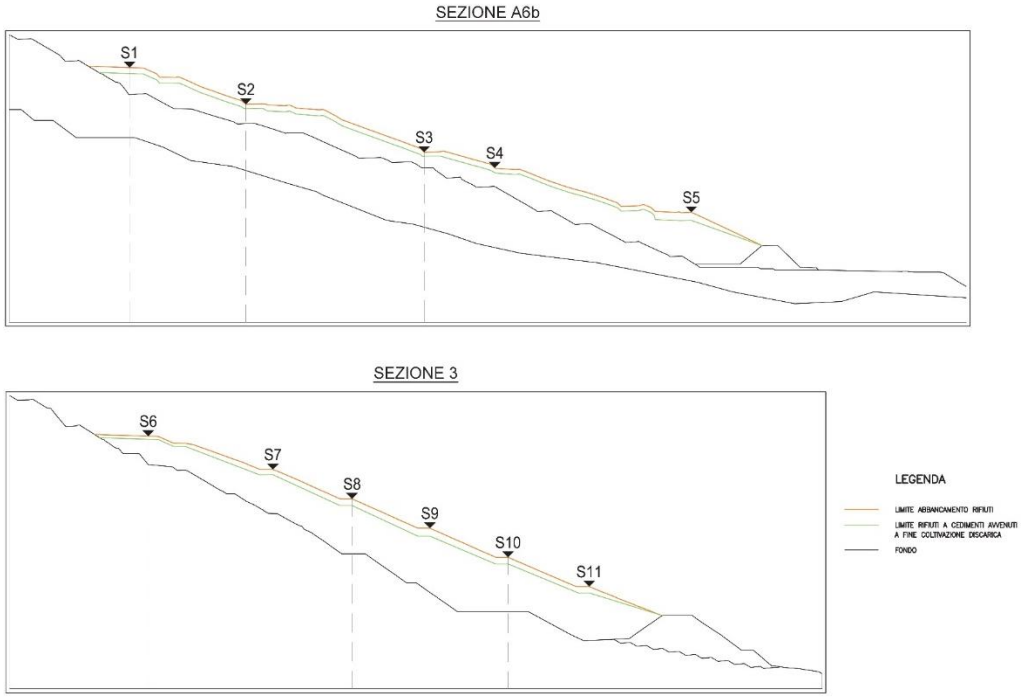



*Figura 7-7 Rappresentazione grafica del profilo dei cedimenti*

### 7.2.1 Calcolo delle quote di costruzione

Nella figura seguente è riportato lo schema di calcolo per la determinazione della quota finale dei rifiuti:

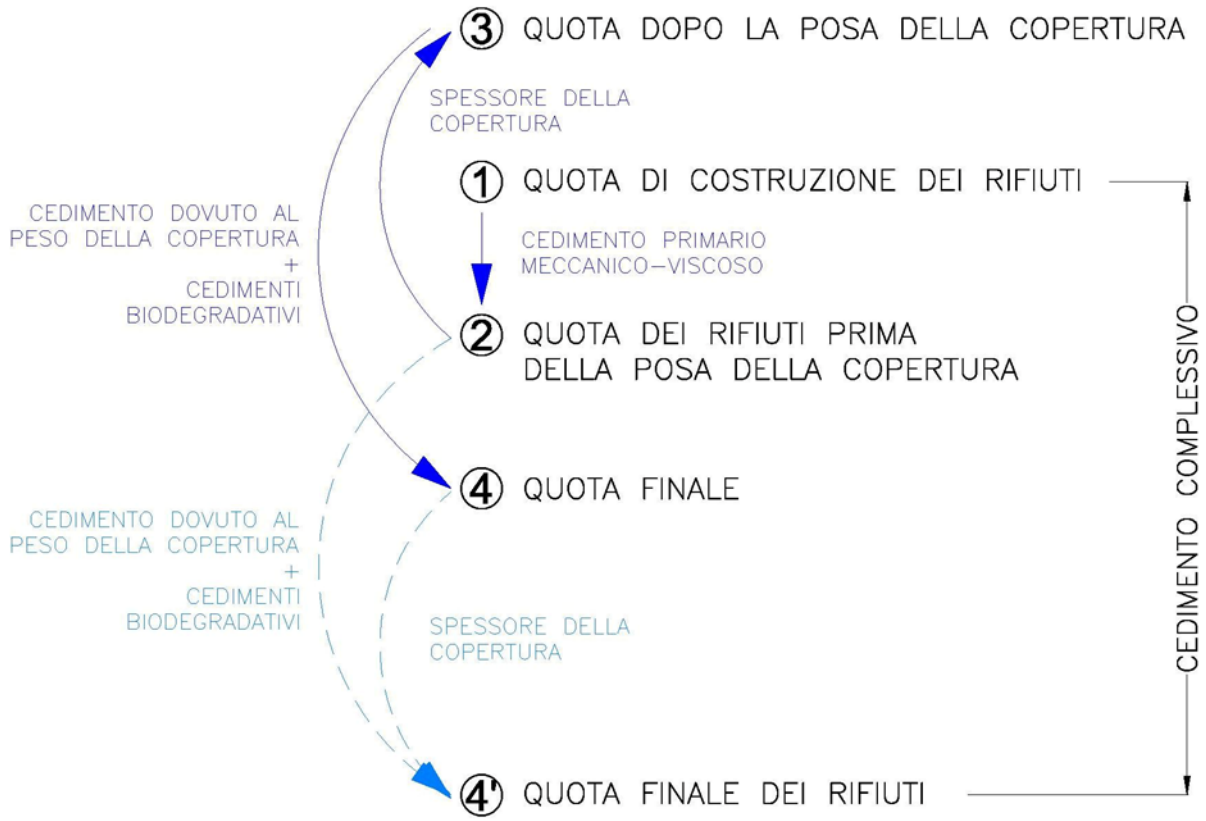



*Figura 7-8: Schema di calcolo del cedimento verticale*

Nella figura che segue invece vengono riportati i principali risultati dei calcoli effettuati per determinare le quote di finali della discarica a partire dalle quote di costruzione (ovverosia quelle corrispondenti alla volumetria autorizzata e riportate nella tavola Planimetria configurazione finale copertura definitiva, ns rif.: 030-006D08E01). In particolare le quote finali sono intese come quelle che si realizzino al completamento del capping.

In particolare i valori riportati nella figura hanno il seguente significato:

- Punto: stringa identificativa del punto. Si tratta di punti di controllo posti su strada e berme;
- Quota costr.: quota iniziale dei rifiuti corrispondente alla quota di progetto. Quest'ultima corrisponde alla quota nella configurazione finale (rif..: 030-006D08aE01) della copertura definitiva nel punto;

- Quota finale -1: quota dei rifiuti a cedimento avvenuto a fine coltivazione della nuova discarica;
- Quota finale -2: quota dei rifiuti a cedimento avvenuto dopo 30 anni di post-gestione della nuova discarica;
- $C_{VP}$: cedimento primario dei rifiuti vecchi dovuti alla variazione di stato tensionale a seguito della posa della nuova barriera di fondo, dei rifiuti nuovi e dalla copertura sui rifiuti nuovi. Descritto dall'equazione (1.);
- $C_{VS-1}$: cedimento secondario dei rifiuti esistenti a fine coltivazione della nuova discarica. Descritto dall'equazione (2.) e dai parametri al paragrafo 7.1.3;
- $C_{VS-2}$: cedimento secondario dei rifiuti esistenti i dopo 30 anni di post-gestione della nuova discarica. Descritto dall'equazione (2.) e dai parametri al paragrafo 7.1.3;
- $C_{NS-1}$: cedimento secondario dei rifiuti di futura coltivazione a fine coltivazione della nuova discarica. Descritto dall'equazione (2.) e dai parametri al paragrafo 7.1.3;
- $C_{NS-2}$: cedimento secondario dei rifiuti di futura coltivazione dopo 30 anni di post-gestione. Descritto dall'equazione (2.) e dai parametri al paragrafo 7.1.3
- $C_{VTOT-1}$: cedimento verticale complessivo a fine coltivazione dei rifiuti. Ottenuto dalla somma dei cedimenti precedenti;
- CVTOT-2: cedimento verticale complessivo dopo 30 anni di post-gestione. Ottenuto dalla somma dei cedimenti precedenti.

| PUNTO | QUOTA COSTR | QUOTA FINALE1 | QUOTA FINALE2 | $C_{VP}$ | $C_{VS-1}$ | $C_{VS-2}$ | $C_{NAUT}$ | $C_{NS-1}$ | $C_{NS-2}$ | $C_{NC}$ | $C_{TOT-1}$ | $C_{TOT-2}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *[m slm]* | *[m slm]* | *[m slm]* | *[m]* | *[m]* | *[m]* | *[m]* | *[m]* | *[m]* | *[m]* | *[m]* | *[m]* |
| S1 | 182.00 | 178.88 | 178.24 | 0.87 | 0.28 | 0.64 | 0.42 | 1.22 | 1.49 | 0.33 | 3.12 | 3.76 |
| S2 | 163.00 | 160.75 | 160.14 | 0.63 | 0.30 | 0.70 | 0.32 | 0.93 | 1.14 | 0.07 | 2.25 | 2.86 |
| S3 | 138.00 | 135.88 | 135.20 | 0.65 | 0.39 | 0.90 | 0.26 | 0.74 | 0.91 | 0.08 | 2.11 | 2.80 |
| S4 | 130.00 | 127.53 | 126.68 | 0.81 | 0.32 | 0.95 | 0.33 | 0.95 | 1.16 | 0.07 | 2.47 | 3.32 |
| S5 | 107.00 | 102.73 | 101.99 | 0.85 | 0.10 | 0.30 | 0.84 | 2.41 | 2.95 | 0.07 | 4.27 | 5.01 |
| S6 | 180.39* | 178.50 | 178.24 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.40 | 1.16 | 1.42 | 0.07 | 1.63 | 1.89 |
| S7 | 163.70 | 160.95 | 160.51 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.69 | 1.99 | 2.43 | 0.06 | 2.74 | 3.19 |
| S8 | 148.50 | 145.00 | 144.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.88 | 2.55 | 3.12 | 0.06 | 3.49 | 4.06 |
| S9 | 133.30 | 129.18 | 128.50 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 1.05 | 3.02 | 3.69 | 0.06 | 4.13 | 4.80 |
| S10 | 118.20 | 114.74 | 114.18 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.87 | 2.52 | 3.08 | 0.06 | 3.45 | 4.02 |
| S11 | 103.00 | 99.64 | 99.09 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.85 | 2.45 | 3.00 | 0.06 | 3.36 | 3.91 |

*Figura 7-9: Cedimenti*

*In questo caso la quota di costruzione è inferiore alla quota finale della copertura poiché il cedimento totale calcolato risulta inferiore allo spessore della copertura + 1 metro

Il cedimento verticale medio sui punti di controllo è pari 3 m, a fine coltivazione della nuova discarica e di 3,60 m dopo 30 anni di post-gestione della nuova discarica.

### 7.2.2 Cedimenti del piano di posa della barriera di fondo

Questi cedimenti sono stati calcolati per valutare le deformazioni del piano di posa della barriera di impermeabilizzazione del fondo della nuova discarica nell'area di ampliamento di progetto già interessata dalla presenza dei rifiuti dopo l'abbancamento dei nuovi rifiuti e verificare la loro compatibilità con i materiali utilizzati nella costruzione della barriera di fondo.
I cedimenti sono stati valutati sia a partire dalla costruzione della barriera fino alla fine della coltivazione della nuova discarica, sia a partire dalla costruzione della barriera fino ai 30 anni di post gestione.
Il calcolo è avvenuto sommando i cedimenti secondari del corpo rifiuti esistente ed i cedimenti primari a livello del piano di posa della barriera di fondo dovuti all'abbancamento dei nuovi rifiuti, e della barriera di fondo e della copertura
I risultati dei cedimenti calcolati sono riportati nella figura seguente:

| NOME VERTICALE | CEDIMENTI DEL PIANO DI POSA DELLA BARRIERA DI FONDO (VALUTATI A PARTIRE DALLA COSTRUZIONE DELLA BARRIERA FINO ALLA FINE DELLA COLTIVAZIONE DEI RIFIUTI) [m] | CEDIMENTI DEL PIANO DI POSA BARRIERA DI FONDO (VALUTATI A PARTIRE DALLA COSTRUZIONE DELLA BARRIERA FINO AI 30 ANNI DI POST GESTIONE) [m] |
|---|---|---|
| **S1** | 1.15 | 1.51 |
| **S2** | 0.93 | 1.33 |
| **S3** | 1.03 | 1.55 |
| **S4** | 1.12 | 1.76 |
| **S5** | 0.95 | 1.15 |

*Figura 7-10: Cedimenti del piano di posa della barriera di fondo sulla parte di ampliamento della discarica posta sulla discarica esistente (Lotti 1A e 1B)*

### 7.2.3 Cedimenti del rilevato di contenimento

Il rilevato poggia su un terreno rinforzato dalle colonne di jet-grouting (vedi paragrafo 9.2.2) e pertanto la valutazione dei cedimenti è stata fatta tenendo conto della presenza di queste ultime.

Il calcolo è stato effettuato utilizzando i risultati di un'analisi parametrica agli elementi finiti, eseguita da Balaam et al (1977), su pali granulari installati all'interno di un terreno cedevole secondo una disposizione regolare.

Nel caso in esame, il calcolo del cedimento del rilevato viene eseguito per la Fase 1, dove il rilevato posa su un substrato di rifiuti rinforzati con colonne di jet grouting.

**Fase 1)**

In questo caso si sono adoperate colonne di diametro D = 800 mm disposte a quinconce con i seguenti interassi:

tipo A: 1,75 m per un'estensione di 12,25 m

tipo B: 2,00 m per un'estensione di 12,00 m

tipo C: 2,50 m per un'estensione di 27,50 m

Pertanto l'interasse medio risulta di 2,21 m ed il diametro di influenza medio di ciascuna colonna risulta pari a:

$D_i = 1{,}05 \times 2{,}21 = 2{,}32$ m.

Ai fini del calcolo si è assunto per i rifiuti non rinforzati una comprimibilità a lungo termine caratterizzata dai seguenti parametri:

- modulo di Young drenato $E_t = 5$ MPa
- coefficiente di Poisson $\nu_t = 0{,}25$

Per quanto riguarda il materiale costituente le colonne di jet-grouting si è assunto un rapporto tra il modulo di Young $E_c$ e la resistenza a compressione semplice $\sigma_{Rc}$ desunto dai dati riportati in letteratura (Botto et al., 1988). Tali dati indicano, per una resistenza alla compressione semplice $\sigma_{Rc} = 4$ MPa, un intervallo cautelativo del modulo di Young: 500 MPa $\leq E_C \leq$ 1000 MPa. Si è pertanto assunto $E_C = 750$ MPa.

Inoltre il coefficiente di Poisson è stato stimato pari a $\nu_C = 0{,}28$.

I risultati degli studi parametrici anzidetti sono stati espressi attraverso il seguente fattore:

- fattore di riduzione dei cedimenti

  dove

$$\alpha_t = \frac{s_t}{s_0}$$

$s_t$ = cedimento del terreno trattato

$s_0$ = cedimento del terreno non trattato

In riferimento ai dati relativi all'intervento in esame:

$$\frac{D_i}{D_c} \cong 2{,}9$$

$$\frac{A_c}{A_i} = 0{,}12$$

$$\frac{E_c}{E_t} = 150$$

$$\nu_t = 0{,}3$$

L'intervento progettato riguarda la realizzazione di un rilevato realizzato con in terra rinforzata per il quale si può stimare un valore di $q_0$ non superiore a 17 ton/m$^2$ . Il corrispondente valore del cedimento sul terreno non trattato ($s_0$) può essere stimato pertanto dell'ordine di 480 mm.

A seguito del trattamento si otterrà invece:

- cedimenti alla base del rilevato: $s_t \cong 140$ mm

### 7.2.4 Compatibilità della barriera di fondo dell'ampliamento con i cedimenti attesi

Le valutazioni effettuate dei cedimenti sul piano di imposta della barriera di base dell'ampliamento consentono di effettuare una serie di considerazioni in merito alle soluzioni ingegneristiche da adottare per garantire la maggior efficacia in termini di separazione idraulica tra i rifiuti dell'ampliamento ed i vecchi rifiuti attualmente smaltiti.

Il sistema di separazione sarà costituito dai seguenti strati:

- Strato di regolazione
- Strato di impermeabilizzazione costituito da argilla sp. 1 m
- Geocomposito bentonitico
- Telo in HDPE
- Geotessile non tessuto da 1000 g/m$^2$
- Strato drenante sp. 0.5 m.

Come si evince dai dati calcolati nell'area di ampliamento situata in corrispondenza della discarica già esistente (S1-S5) si hanno cedimenti sensibili della base della barriera (dalla costruzione alla fine della gestione operativa).

Se si considerano tali cedimenti e quelli del rilevato non si tiene conto di eventuali cedimenti differenziali, di cui si dirà dopo, si ottiene un incremento del profilo di base della barriera di circa 0.60 cm che percentualmente è pari all'1% dello sviluppo iniziale come illustrato schematicamente nella figura seguente. Ossia i cedimenti generano un allungamento molto contenuto.

A questo incremento si deve aggiungere il cedimento differenziale locale che come calcolato nel paragrafo 9.2.4 porta ad un elongazione del 0,5 ‰.

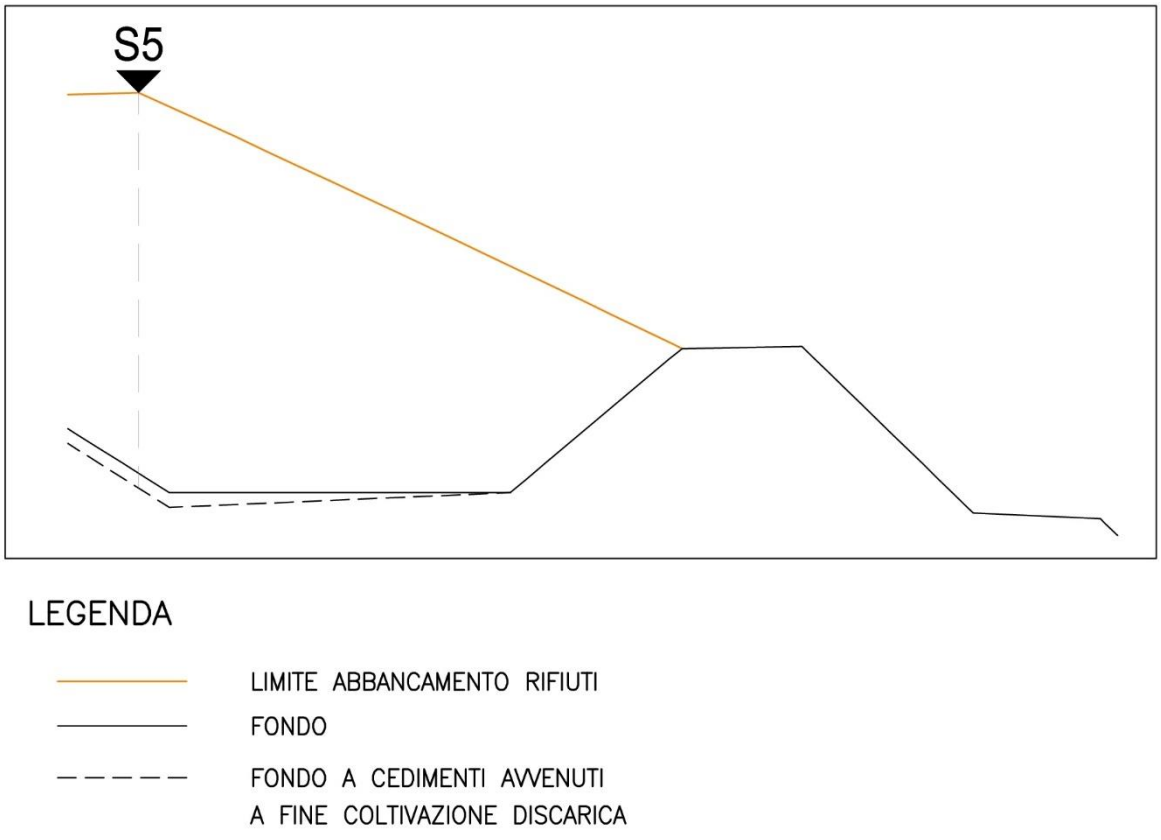



*Figura 7-11 Rappresentazione grafica del profilo dei cedimenti in corrispondenza del rilevato*

Nell'ipotesi di una uniformità di distribuzione dell'allungamento certamente i geosintetici, che vantano deformazioni a rottura ben superiori (HDPE deformazione a snervamento >10%, a rottura > 700 %, Geocomposito bentonitico deformazione al carico massimo di trazione > 50%, geotessili deformazione al carico massimo di trazione > 80%) sono in grado di sopperire a tali deformazioni. Ne consegue che per tali materiali non sussistono problemi in relazione ad allungamenti simili a quelli calcolati.

In ogni caso occorre sottolineare come si sia inserito, rispetto ad una barriera composita ordinaria (argilla + HDPE) prevista dal D. Lgs. 36/2003, il gecomposito bentonitico, proprio per rendere la barriera più performante e resistente a questo tipo di deformazioni indotte.
Deformazioni di estensione dell'ordine dell'1% possono generare invece fessure nello strato minerale che possono essere contrastate dalla capacità rigonfiante dell'argilla stessa.
La scelta del materiale minerale sarà effettuata in modo da privilegiare materiali con un elevato indice di plasticità (> di 20) e limite liquido > 30-40, che certamente consentono una maggiore "adattabilità del materiale posato".
Ciò consentirà quindi di aumentare la capacità di rigonfiamento dell'argilla e quindi di autosigillare le fessure nel caso di eventuali percolazioni.

### 7.2.5 Conclusioni

La stima dei cedimenti ha permesso di dimostrare che i cedimenti complessivi sono quasi sempre maggiori di 1 metro rispetto allo spessore della copertura e vengono quindi definite le quote finali di abbancamento dei rifiuti che risultano quindi pari alle quote di progetto della copertura. In un solo caso (S6) questo non si verifica e in tal caso le quote finali di abbancamento dei rifiuti dovranno essere inferiori a quelle della copertura come indicato negli elaborati grafici di progetto.
Inoltre la stima dei cedimenti della base della separazione tra vecchi rifiuti e nuovo abbancamento ha fornito valori compatibili con la funzionalità e con le resistenza di materiali, nonostante i risultati ottenuti siano da considerarsi conservativi.

# 8. METODOLOGIA DI CALCOLO PER LE ANALISI DI STABILITÀ

## 8.1 Analisi statiche

Le verifiche di sicurezza relative agli SLU sono rivolte a verificare la stabilità globale delle scarpate del futuro accumulo dei rifiuti da realizzare.

Le verifiche sono effettate con i consueti metodi all'equilibrio limite, che consistono nell'individuare diverse possibili superfici di scivolamento coinvolgenti uno o più materiali e nell'analizzare, per ciascuna di esse, l'equilibrio allo scivolamento del cuneo di materiali soprastanti, considerato come corpo rigido.

I vari metodi di calcolo dell'equilibrio limite disponibili in letteratura (Bishop, 1955; Janbu, 1973; Morgenstern e Price, 1965; Fellenius, 1927; etc.), si basano tutti sulle ipotesi seguenti:

- il coefficiente di sicurezza è definito come rapporto tra resistenza al taglio e sforzo di taglio mobilitato lungo la ipotetica superficie di scorrimento;
- il coefficiente di sicurezza (FS), che per la superficie corrispondente alla rottura è unitario, è costante in tutti i punti della superficie di scorrimento;
- la rottura avviene per il raggiungimento, contemporaneamente in tutti i punti della superficie di scorrimento, della resistenza limite.

Le analisi sono state condotte in condizioni di deformazione piane, con l'utilizzo di un programma di calcolo specifico per tale tipo di analisi (SLOPE/W, GEOSTUDIO 2007, versione 7.16, sviluppato dalla GEO-SLOPE International, Ltd).

Per le verifiche di sicurezza si è fatto riferimento alle prescrizioni fornite dalle NTC 2008 per i fronti di scavo ed opere in materiali sciolti (Cap. 6.8) assimilando il fattore parziale per le resistenze $\gamma_R$ delle NTC al coefficiente di sicurezza Fs ottenuto con il calcolo (Fs $\geq$ 1.1).

Le analisi di stabilità sono state effettuate adottando l'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R2) del D.M. 14.01.2008 per il quale i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dovranno essere fattorizzati secondo i coefficienti parziali riportati nelle seguenti tabelle:

| CARICHI | EFFETTO | COEFFICIENTI PARZIALI | (A2) GEO |
|---|---|---|---|
| Permanenti | Favorevole | $\gamma_{G1}$ | 1,0 |
| | Sfavorevole | | 1,0 |
| Permanenti non strutturali | Favorevole | $\gamma_{G2}$ | 0,0 |
| | favorevole | | 1,3 |
| Variabili | Favorevole | $\gamma_{G3}$ | 0,0 |
| | Sfavorevole | | 1,3 |

*Figura 8-1: Coefficienti parziali per le azioni o l'effetto delle azioni*

| PARAMETRO | GRANDEZZA | COEFFICIENTI PARZIALI | (M2) |
|---|---|---|---|
| Tangente dell'angolo di resistenza al taglio | tan $\phi$' | $\gamma_{\phi'}$ | 1,25 |
| Coesione efficacie | $c'_k$ | $\gamma_{c'}$ | 1,25 |
| Resistenza non drenate | $cu_k$ | $\gamma_{cu}$ | 1,40 |
| Peso dell'unità di volume | $\gamma$ | $\gamma_{\gamma}$ | 1,00 |

*Figura 8-2: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno*

Il rapporto tra resistenza al taglio e sforzo di taglio mobilitato, FS (indicato nelle NTC08 come $R_2$, coefficiente parziale per la resistenza del sistema geotecnico) deve risultare $\geq$ 1.1.

## 8.2 Analisi sismiche

Con riferimento alle analisi di stabilità rappresentative delle condizioni sismiche, queste sono effettuate con il metodo pseudo-statico, che consiste nel sostituire alle reali azioni dinamiche indotte dal sisma in ogni elemento di volume di terreno una forza di inerzia costante (F) valutata come segue:

a) componente orizzontale: $F_H = W*k_H$

ove:

W = peso del volume di terreno;

$k_H$ = coefficiente sismico orizzontale.

b) componente verticale: $F_V = W*k_v$

ove:

W = peso del volume di terreno;

$k_v$ = coefficiente sismico verticale.

A loro volta I coefficienti sismici sono valutati con le espressioni seguenti:

$k_H = \beta_s * a_{max}/g$;

$k_V = \pm 0.5 * k_H$;

ove:

$\beta_s$ = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{max}$ = accelerazione orizzontale massima al sito;

g = accelerazione di gravità.

## 8.3 Parametri caratterizzanti l'azione sismica

### 8.3.1 Definizione della pericolosità sismica

Come disposto dal D.M. 14.01.2008 (di seguito NTC), l'azione sismica di progetto, in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite per le opere, viene definita a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, definita quest'ultima in termini di accelerazione orizzontale massima attesa $a_g$ in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale. Ad $a_g$ sono associati i due parametri che definiscono lo spettro di risposta elastico nel sito:

- $F_o$ valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_c^*$ periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nell'allegato B alle NTC 2008 sono forniti i valori dei suddetti parametri ai nodi di una griglia di punti di coordinate geografiche prefissate: i valori per siti di coordinate geografiche intermedie a quelle dei nodi della griglia si ottengono per interpolazione lineare dei valori ai quattro nodi della griglia più prossimi (si veda lo schema in Figura 6.1, ottenuto con il software SPETTRI-NTC v. 1.0.3, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici).

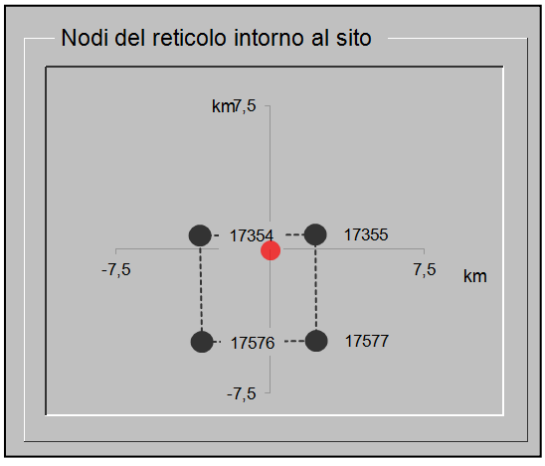


*Figura 6.8-3: Schema per la determinazione dei valori dei parametri di riferimento per il calcolo dell'azione sismica in punti che non coincidono con i nodi della griglia delle NTC 2008*

Per le verifiche di stabilità delle scarpate del futuro accumulo dei rifiuti da realizzare è stata assunta una vita nominale $V_N \geq 50$ anni e classe d'uso III (assimilando la discarica ad una industria *con attività pericolose per l'ambiente*). Il periodo di riferimento per il calcolo del tempo di ritorno da cui dipende l'azione sismica di progetto è:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

ove $C_U$ è il coefficiente d'uso.
Per strutture in classe d'uso III è $C_U = 1.5$ (Tab. 2.4.II delle NTC 2008) e, di conseguenza:

$$V_R = 50 \cdot 1.5 = 75 \text{ anni.}$$

Si ottengono quindi i valori dei periodi di ritorno di riferimento ($T_R$) per il calcolo delle azioni sismiche:

$T_R = 75$ anni per il futuro accumulo dei rifiuti.

L'elenco completo dei parametri che definiscono lo spettro di risposta elastico è riportato nella figura seguente.

| Analisi di stabilità | $T_R$ | $a_g$ | $F_o$ | $T_c^*$ |
|---|---|---|---|---|
| | [anni] | [g] | [-] | [s] |
| ampliamento | 75 | 0.067 | 2.625 | 0.316 |

*Figura 8-4: Valori dei parametri $a_g$, $F_o$ e $T^*_c$ per il sito di progetto*

Nel calcolo dell'azione sismica, l'effetto della risposta sismica locale viene preso in conto dal fattore dell'amplificazione stratigrafica $S_S$ e dal fattore dell'amplificazione topografica $S_T$, dipendenti rispettivamente dalla categoria di sottosuolo di riferimento per l'opera in progetto e dalla topografia.
Tenuto conto della configurazione dell'ampliamento della discarica, che prevede un abbancamento di rifiuti avente spessore medio di 15-20 metri, posto su un substrato roccioso, si è adottata la categoria di sottosuolo di progetto E.
La discarica e le scarpate sono assimilabili entrambe ad un pendio con inclinazione media maggiore di 15° nel suo asse longitudinale principale e pertanto la loro categoria topografica è classificabile come $T_2$ ed il coefficiente di amplificazione topografica è pari a 1.2. È comunque importante rilevare che le NTC, in accordo con l'Eurocodice 8, specificano che le categorie

topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate (non è questo il caso della morfologia del fondo della discarica), e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.
Il coefficiente di amplificazione stratigrafica $S_s$ è calcolato con le espressioni fornite nella figura 3.2.V delle NTC 2008 oppure adoperando il codice SPETTRI-NTC citato in precedenza.

### 8.3.2 Accelerazione massima attesa

Le accelerazioni massime attese al sito sono quindi calcolate come:

$a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g$

I valori di $S_s$·e $S_T$ ottenuti sono riportati nella figura seguente:

| Analisi di stabilità | $S_T$ | $S_S$ | $a_{max}$ |
|---|---|---|---|
| | [-] | [-] | [g] |
| ampliamento | 1.2 | 1.6 | 0.129 |

*Figura 8-5: Valori dei parametri $S_T$, $S_S$ e $a_{max}$ per il sito di progetto*

Nel caso in esame, tenuto conto del valore di $a_{max}$ e della categoria di sottosuolo, si ottiene un valore di $\beta_s$ pari a 0,20 (Tab. 7.11.I delle NTC 2008). Si perviene quindi ai seguenti valori dei coefficienti sismici:

| Analisi di stabilità | $K_H$ | $K_V$ | $\beta_s$ |
|---|---|---|---|
| | [-] | [-] | [-] |
| ampliamento | 0.026 | 0.013 | 0.20 |

*Figura 8-6: Valori dei coefficienti sismici*

## 8.4 Parametri di progetto

Ai valori dei parametri caratteristici dei materiali di cui al par. 0sono stati applicati i coefficienti parziali riduttivi previsti dalle NTC 2008 per le verifiche di sicurezza degli SLU di fronti di scavo e opere in terre sciolte, che fanno riferimento all'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R2).
I valori di progetto dei parametri geotecnici assegnati ai diversi materiali sono quelli sintetizzati nella Figura 6-13 accanto ai rispettivi valori caratteristici, riprodotti per semplicità di lettura nella Figura 8-7.

| Materiale | Parametri caratteristici | | | Parametri di progetto | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | γ | c' | ϕ' | γ | c' | ϕ' |
| | [kN/m³] | [kPa] | [°] | [kN/m³] | [kPa] | [°] |
| Substrato roccioso sano | 25 | 80 | 27 | 25 | 64 | 22.2 |
| Substrato roccioso alterato | 24 | 50 | 24 | 24 | 40 | 19.6 |
| Coltri | 19 | 0 | 28 | 19 | 0 | 23.0 |
| Rifiuti esistenti | 14 | 10 | 30 | 14 | 8 | 24.8 |
| Rifiuti ampliamento | 14 | 0 | 30 | 14 | 0 | 24.8 |
| Rilevati | 18 | 0 | 28 | 18 | 0 | 23.0 |
| Rilevati rinforzati | 18 | 100 | 30 | 18 | 80 | 24.8 |
| Impermeabilizzazione parete vecchia discarica | 19 | 20 | 14 | 19 | 16 | 11.3 |
| Impermeabilizzazione parete ampliamento | 19 | 0 | 14 | 19 | 0 | 11.3 |
| Impermeabilizzazione del fondo | 19 | 10 | 10 | 19 | 8 | 8 |
| Impermeabilizzazione parete ampliamento di progetto | 19 | 0 | 22 | 19 | 0 | 17.9 |
| Impermeabilizzazione separazione | 19 | 0 | 27 | 19 | 0 | 22.2 |
| Copertura definitiva | 18 | 0 | 36 | 18 | 0 | 30.2 |
| Rifiuti consolidati | 13 | 79* | 30 | 13 | 63.2 | 24.8 |
| Materiale consolidato | 24 | 113* | 28 | 24 | 90.4 | 23 |

*Figura 8-7: Valori caratteristici e di progetto per le analisi di stabilità*

*Per quanto riguarda la definizione dei valori caratteristici del materiale consolidato si veda il paragrafo 9.2.3.

# 9. OPERE DI SOSTEGNO

## 9.1 Terre Rinforzate

### 9.1.1 Descrizione

Nel ambito del progetto di ampliamento, poiché si ha la necessità di avere scarpate aventi notevole pendenza per i rilevati al piede, è previsto l'utilizzo di opere in terra rinforzata.
La tecnica del rinforzo con geosintetici consiste nella realizzazione di un terrapieno compattato di materiale di scavo al cui interno sono inseriti reti continue di geosintetici di elevate caratteristiche meccaniche e resistenza allo sfilamento.
In particolare sia nel Lotto 1A che nel Lotto 2 verranno realizzati degli argini verso valle (a delimitazione del nuovo fondo della discarica) realizzati con il materiale proveniente dagli scavi.
Per ulteriori dettagli sulle terre rinforzate si vedano gli l'elaborati grafici di progetto T030-006D16E01, Argine in progetto: planimetria e dettagli Fase 1 e 030-006D17E01, Argine in progetto: planimetria e dettagli Fase 2.

### 9.1.2 Caratteristiche dei materiali

Il terrapieno sarà realizzato con materiali granulari di granulometria controllata (A1 CNR UNI 10006); il materiale potrà provenire dagli scavi ma dovrà essere esente da coltre superficiale e avere bassa percentuale di frazione terrosa ed essere giudicato idoneo dalla D.L. in relazione a parametri geotecnici.

Nel corso dell'analisi si è considerato di utilizzare un terreno dalle seguenti caratteristiche geotecniche:

- Angolo di resistenza al taglio: $\phi'$ = 28°
- Peso di volume medio: $\gamma$ = 18 KN /m$^3$
- Coesione: c = 0 KN/m$^2$

La geogriglia prevista nell'intervento in esame è del tipo in filamenti in poliestere ad alto modulo (PET), ricoperta da un ulteriore strato protettivo in PVC.

Le caratteristiche meccaniche delle geogriglie previste sono rispettivamente:

- Carico a rottura nominale (*normal breaking load*) a breve termine:
  geogriglia NBL = 100 -200 - 350 kN/m;
- Carico a rottura di calcolo a lungo termine:
  geogriglia $f_k = \geq 55 – 110 - 215$ kN/m;
- Allungamento massimo a breve termine:
  geogriglia $\varepsilon_{max} =$ 12 %.

## 9.2 Opere di consolidamento al piede

### 9.2.1 Il jet-grouting

La tecnica del jet-grouting si basa sulla disgregazione idraulica del terreno e consiste nel proiettare, a pressione e velocità elevate, una miscela di acqua e cemento (eventualmente addittivato con bentonite) contro la parete di una perforazione di piccolo diametro (circa 10 cm) precedentemente eseguita. Il getto, eseguito in fase di risalita con un'apposita sonda, provoca la disgregazione della parete del foro ed il terreno rimosso tende a mescolarsi con il fluido proiettato dando luogo a colonne o pannelli che, una volta induriti, sono di elevata consistenza meccanica e bassa permeabilità.
Questa tecnica, adatta soprattutto alle formazioni naturali più facilmente "disgregabili", quali ghiaie, sabbie e limi, è piuttosto semplice, permette di operare con macchinari di dimensioni contenute ed in spazi ristretti.
Oltre al trattamento base (jet-grouting monofluido), descritto in precedenza, ne esistono di più sofisticati che permettono di aumentare il raggio di influenza. In particolare, il sistema bifluido prevede un getto d'aria anulare nell'intorno del getto della sospensione cementizia che ne aumenta l'efficacia, mentre il sistema trifluido prevede un getto d'aria protetto da un getto d'acqua anulare e, sottostante, quello di miscela cementizia.

*Parametri di iniezione*

Il sistema di iniezione monofluido è caratterizzato, in generale, da pressioni di iniezione della miscela cementizia di 30-60 MPa e velocità di fuoriuscita del liquido di 800-1000 km/h.

Per il sistema di iniezione bifuido, il campo delle pressioni di iniezione della miscela è lo stesso del trattamento monofluido, mentre per l'aria si impiegano pressioni di 0,7-1,5 MPa.
Nel caso del sistema trifuido le pressioni sono rispettivamente: 40-60 MPa per l'acqua, 0,7-1,5 MPa per l'aria e 2-10 MPa per la boiacca.
La scelta del tipo di trattamento (monofluido o bifluido) sarà effettuata mediante specifico campo prova da eseguirsi in sito.

*Caratteristiche delle miscele cementizie*

La miscela è caratterizzata da un rapporto cemento/acqua variabile tra 0,5 e 1,5 in funzione della natura del terreno, degli obiettivi dimensionali (diametro delle colonne) e di resistenza del terreno trattato.
La scelta di cemento di tipo normale (classe 325) o a rapido indurimento (classe 525) è determinata sia dal tipo di terreno sia dalle esigenze di rapidità di maturazione.

*Diametro delle colonne di terreno trattato*

I diametri delle colonne ottenibili sono funzione della tecnica utilizzata, dei parametri di iniezione e della granulometria del terreno trattato. In ogni caso, si va dai 400-900 mm per il trattamento monofase ai 650-2000 mm per il trifase.

Le permeabilità ottenibili con il trattamento di jet-grouting, con riferimento all'efficienza globale sull'area trattata, sono dell'ordine dei $10^{-7}$-$10^{-8}$ m/s nel caso di trattamenti con interassi molto ravvicinati, eseguiti molto accuratamente ed in garanzie di qualità, all'interno di formazioni ghiaiose e sabbiose.

### 9.2.2 Descrizione dell'intervento

In corrispondenza del piede, è prevista la presenza di un intervento di consolidamento al fine di garantire la stabilità dell'intero ampliamento. Tale trattamento di consolidamento è mirato a migliorare le caratteristiche meccaniche dei rifiuti (Fase 1) e dei terreni (Fase 2) per garantire cedimenti trascurabili del rilevato e migliore stabilità del corpo rifiuti.
Per le aree dove il trattamento di consolidamento interesserà il corpo dei rifiuti esistenti (area di piazzale esistente), verranno eseguite colonne di Jet-grouting (vedi Tavola 030-006 D17a Argine in progetto – Lotto 1 (Fase 1).

Per le aree dove il trattamento di consolidamento interesserà il terreno naturale degli argini (Lotto 2) si prevede di eseguire delle colonne di jet-grouting nel materiale sciolto con successiva riperforazione della colonna ed esecuzione di micropali che si spingeranno nel substrato roccioso alterato (la coltre in fase di scavo viene totalmente rimossa) . In tale area inoltre le colonne di jet-grouting verranno inoltre armate in modo da connettersi al substrato roccioso sano. Sono anche previsti a livello della 1° berma del rilevato due allineamenti di colonne di jet-grouting riperforate per l'esecuzione di micropali e collegate, in testa, tramite una trave di ripartizione tirantata

Il trattamento previsto sarà del tipo monofluido o bifluido e dovrà fornire colonne di diametro reso minimale ≥800 mm con resistenza a compressione semplice media >4 MPa.

Le maglie da realizzarsi variano come indicato nelle seguenti tavole di progetto:

030-006D17aE01_Argine Fase_1

030-006D17bE01_Argine Fase2

### 9.2.3 Caratterizzazione geotecnica materiale consolidato

Per quanto riguarda il materiale del rilevato e i rifiuti sono previsti interventi di consolidamento con l'utilizzo della metodologia del jet-grouting che prevede la realizzazione di interventi colonnari volti a migliorare i parametri del terreno. Per il calcolo dei parametri da considerare nella analisi di stabilità si è considerato uno strato equivalente in base alla percentuale di materiale effettivamente trattato in un $m^3$. In particolare, è stata definita una coesione equivalente del terreno ipotizzando di mediare su tutto il volume il valore della coesione non drenata corrispondente alla resistenza a compressione non confinata di una colonna di jet-grouting realizzata mentre gli altri parametri sono stati lasciati invariati.

Le colonne di jet-grouting previste hanno diametro minimo di 800 mm e sono disposte a quinconce con i seguenti interassi:

tipo A: 1,75 x 1,52 m

tipo B: 2 x 1,73 m

tipo C: 2,5 x 2,17 m

In base a queste ipotesi si ottiene che per ogni metro cubo di terreno, la percentuale trattata con jet-grouting è varia tra il 9 e il 19% circa.

Ipotizzando, cautelativamente, che la resistenza a compressione non confinata della colonna di jet-grouting realizzata in un limo sabbioso sia di 4 ÷ 5 MPa, il corrispondente valore della

coesione equivalente (c), abbattendo cautelativamente la resistenza a 1/5, è di circa 490 kPa. Facendo una media pesata in base al volume della coesione equivalente ottenibile nella zona trattata con jet-grouting e della coesione del materiale non trattato, si ottengono i seguenti risultati:

Zona A – Caratterizzazione rifiuti consolidati

tipo A) $c' = 19\% \times (490) + 81\% \times 10 = 101$ kPa.

tipo B) $c' = 15\% \times (490) + 85\% \times 10 = 82$ kPa.

tipo C) $c' = 9\% \times (490) + 91\% \times 10 = 53$ kPa.

Per il calcolo di stabilità vengono quindi assegnati i seguenti parametri per i rifiuti consolidati:

- peso di volume $\gamma =$ 13 kN/m$^3$
- angolo di attrito $\phi' =$ 30 °
- coesione $c' =$ 79 kPa

Zona B – Terreni consolidati

tipo A) $c' = 19\% \times (490) + 81\% \times 50 = 134$ kPa.

tipo B) $c' = 15\% \times (490) + 85\% \times 50 = 116$ kPa.

tipo C) $c' = 9\% \times (490) + 91\% \times 50 = 90$ kPa.

Per il calcolo di stabilità vengono quindi assegnati i seguenti parametri per il terreno consolidato:

- peso di volume $\gamma =$ 25 kN/m$^3$
- angolo di attrito $\phi' =$ 28 °
- coesione $c' =$ 113 kPa

### 9.2.4 Dimensionamento della griglia di ripartizione e cedimento differenziale

Nella zona di ampliamento interessata dai rifiuti esistenti (Lotto 1A), nell'argine di terre rinforzate verranno inserite due geogriglie di ripartizione con resistenza pari a 350 kN/m ciascuna al di sopra della paratia di jet grouting come indicato nell'elaborato grafico 030-006D01E01 Argine in progetto: Planimetria e dettagli Fase 1.

Le geogriglie sono state dimensionate applicando il metodo proposto da GIROUD J.P., BONAPARTE R., BEECH & B.A. GROSS (1990) che permette di calcolare la resistenza a trazione a partire dal cedimento ammissibile e dalla distanza tra una colonna e l'altra.
È stato considerato un cedimento differenziale massimo teorico ritenuto ammissibile tra una colonna e l'altra di 2.5 cm. A fronte di tale cedimento, è stata calcolata la resistenza a trazione della griglia necessaria per limitare i cedimenti totali.
La resistenza minima a breve termine così ottenuta è risultata pari a 211 kN/m, e ipotizzando un fattore di sicurezza pari a 1,5, si è ottenuta una resistenza minima a lungo termine di 330 kN/m per ciascuna geogriglia di ripartizione.

### 9.2.5 Tiranti di ancoraggio

Lo scopo dei tiranti di ancoraggio è quello di ridurre le sollecitazioni indotte dalla realizzazione delle terre rinforzate.
Nel Lotto 2, sulla 1ª berma del rilevato a piede, è stato quindi predisposto il posizionamento di un tirante ogni 3 m. I tiranti, ancorati ad una trave di ripartizione realizzata sulla testa di due file di colonne armate di jet-grouting, avranno le seguenti caratteristiche:

- 5 trefoli (A = 1,39 cm2/trefolo);
- inclinazione rispetto all'orizzontale 30°;
- lunghezza libera 28 m;
- bulbo di ancoraggio 15 m;
- massimo carico di esercizio 75 kN;
- pretensionamento 30-50% del massimo carico di esercizio.

Per il dimensionamento di dettaglio dei tiranti si rimanda al progetto esecutivo.

#### 9.2.5.1 *Resistenza di progetto dell'ancoraggio*

La resistenza di progetto $R_{ad}$ viene calcolata applicando i coefficienti parziali di Tabella 4 per le opere definitive, al valore caratteristico della resistenza $R_{ak}$ il quale è stimato a partire dai valori rappresentativi dei parametri geotecnici con la seguente espressione:

$$R_{ak} = \mathrm{Min}\left\{\frac{(R_{a,cal})_{medio}}{\xi_{a3}}; \frac{(R_{a,cal})_{min}}{\xi_{a4}}\right\}$$

dove:

$(R_{a,cal})_{medio}$ = resistenza di calcolo media ottenuta utilizzando le verticali di indagine disponibili;

$(R_{a,cal})_{min}$ = resistenza di calcolo minima ottenuta utilizzando le verticali di indagine disponibili;

$\xi_{a3}$, $\xi_{a4}$ = coefficienti che tengono conto della variabilità orizzontale del terreno di fondazione (Tabella 5).

| N verticali indagate | 1 | 2 | 3 | 4 | ≥5 |
|---|---|---|---|---|---|
| $\xi_{a3}$ | 1.80 | 1.75 | 1.70 | 1.65 | 1.60 |
| $\xi_{a4}$ | 1.80 | 1.70 | 1.65 | 1.60 | 1.55 |

*Figura 9-1 Coefficienti per il calcolo della resistenza caratteristica Rak per i tiranti (Tab. 6.6.III, NTC 2008)*

Il valore della resistenza di calcolo Ra,cal dell'ancoraggio è stato valutato con riferimento alla teoria di Bustamante e Doix (1985):

$$R_{a,cal} = \pi \cdot d_{perf} \cdot \alpha \cdot q_s \cdot L = 1960 \text{ kN}$$

con:

$d_{perf}$ = 160 mm;

un valore dell'aderenza media tra bulbo di fondazione e terreno pari a $q_s$ = 250 KPa;

un coefficiente $\alpha$ assunto pari ad 1,2;

una lunghezza di fondazione $L_{ancoraggio}$=15 m.

Tenendo conto dei coefficienti di Figura 9-1 (assunti nel caso in esame pari ad 1.8) e dei fattori parziali di Figura 9-2:

| Tipologia ancoraggi | Coefficiente $\gamma_r$ | Valore |
|---|---|---|
| Temporanei | $\gamma_{Ra,t}$ | 1.1 |
| Permanenti | $\gamma_{Ra,p}$ | 1.2 |

*Figura 9-2 Coefficienti parziali sulle resistenze (R3) per le verifiche allo sfilamento degli ancoraggi (Tab. 6.6.III, NTC 2008)*

per le opere definitive, si ottiene un valore della resistenza di progetto della fondazione dei tiranti in esame pari a:

$R_{a,d} = 908$ kN

Nei tiranti il cui tratto libero è realizzato con trefoli in acciaio armonico si deve verificare che la resistenza caratteristica $N_{stru}$ al limite di snervamento del tratto libero sia sempre maggiore della resistenza caratteristica a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio ($R_{a,k}$). Considerando per l'acciaio armonico per trefoli un valore di $f_{pyk} = 1570$ MPa e l'area del trefolo pari a 139 $mm^2$, risulta:

- Tirante a 5 trefoli:
- $N_{stru} = 1091$ kN $> 1089$ kN

pertanto la verifica è da ritenersi soddisfatta.

# 10. ANALISI DI STABILITÀ DELLA DISCARICA

Le verifiche del futuro accumulo dei rifiuti sono condotte in accordo alle indicazioni e alle prescrizioni fornite nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), adottando ipotesi e metodologie di calcolo ad esse conformi.

In particolare, oltre alle consuete verifiche di sicurezza previste per le opere di materiali sciolti e fronti di scavo (par. 6.8 delle NTC), come previsto nello specifico per le discariche (par. 6.11.1.4 delle NTC) sono state valutate anche le condizioni di stabilità lungo superfici di scorrimento che comprendono le interfacce tra i diversi materiali utilizzati.

## 10.1 Sezioni di calcolo

La configurazione di calcolo prevede l'abbancamento di rifiuti avente spessore medio di 15-20 metri contrastato al piede da un rilevato in terre rinforzate poggiante su un terreno consolidato. L'abbancamento di rifiuti viene posto su substrati diversi per le tre sezioni considerate, come riportato di seguito:

- Un substrato roccioso per la sezione C1;
- I rifiuti già abbancati per la sezione A6b;
- Un rilevato a monte e un substrato roccioso per la sezione 3.

Nelle Figure 1-2-3 dell'Allegato B alla presente relazione sono riportate le geometrie delle sezioni considerate per le verifiche di stabilità.

Le verifiche di stabilità sono state svolte considerando:

- il versante naturale riprofilato con un angolo di 35 gradi
- l'abbancamento dei rifiuti riprofilato con un angolo di 30 gradi
- la costruzione di due rilevati in terra rinforzata
- Il consolidamento dei materiali sottostanti il rilevato

In aggiunta al consolidamento del terreno, si prevede di mettere in sicurezza localmente alcune aree tramite l'utilizzo di:

1. soil nailing - Si tratta di una tecnica di rinforzo realizzata dall'alto verso il basso per il sostegno, temporaneo o permanente, di scavi e per la stabilizzazione dei pendii tramite la messa in opera di chiodi e un rivestimento leggero di spritz-beton o rete in acciaio

leggera. Per il sito in esame si è ipotizzato un intervento avente maglia 2X2 con bulloni di 6 m;

2. paratia di colonne di jet-grouting armate – si tratta di un tecnica di rinforzo realizzata con colonne di jet grouting collegate con trave di collegamento sommitale tirantata. Le colonne di jet grouting vengono armate con micropali che proseguono in profondità oltre la base delle colonne. Nell'ambito delle analisi di stabilità si sono considerati i tiranti mentre si è trascurata, conservativamente, la rigidezza complessiva della paratia armata e si è considerato il semplice consolidamento complessivo del materiale.

   Per quanto riguarda i micropali realizzati all'interno delle colonne di jet grouting, per le analisi di stabilità è stata considerata la massima sollecitazione di taglio sopportabile dalla sezione di armatura del micropaolo. Il valore di forza taglio inserito nella analisi è stato desunto da un'analisi strutturale del micropalo tenendo conto delle condizioni di lavoro.

Nella Figura seguente si riporta l'ubicazione delle sezioni considerate per le analisi di stabilità.

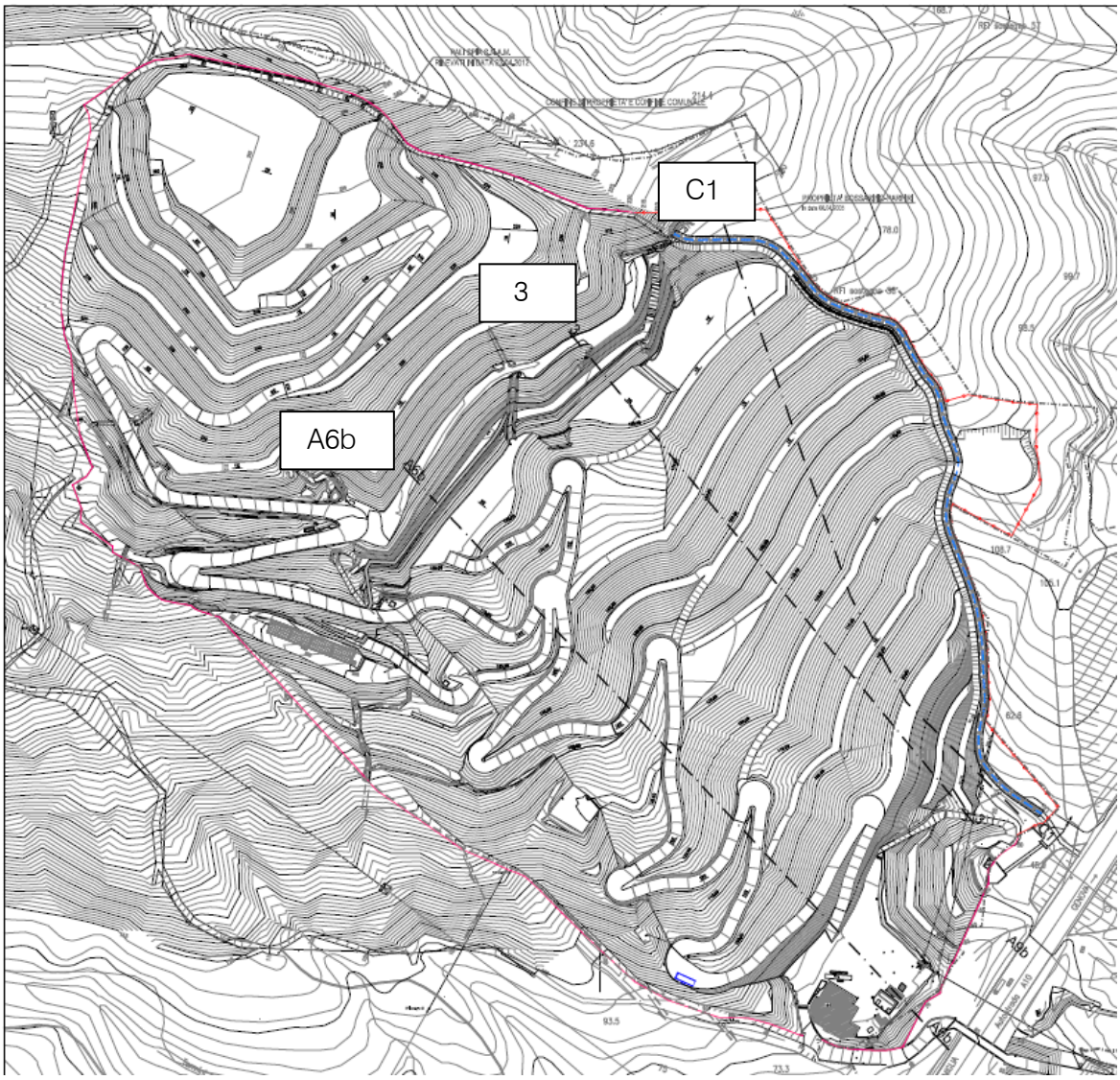



*Figura 10-1*: Ubicazioni delle sezioni considerate nelle analisi

## 10.2 Risultati in condizioni statiche

Le verifiche di stabilità globale dell'ampliamento della discarica in progetto sono state eseguite utilizzando il software Slope/W ver.2007 e facendo riferimento agli usuali metodi dell'equilibrio limite globale (nello specifico, il metodo proposto da Bishop). Tali verifiche, hanno mostrato la compatibilità delle opere con i requisiti di legge (D. Lgs. 36/2003 e NTC 2008).

Le condizioni più critiche per la stabilità della discarica si hanno al termine della coltivazione, dopo la posa del pacchetto di copertura superficiale, quando risulta massimo il carico gravante sulla scarpata.

La stabilità è stata valutata con riferimento alle seguenti configurazioni:

- per la situazione limite di scivolamento dell'insieme discarica – terreno di fondazione
- per la situazione limite di scorrimento sull'interfaccia di impermeabilizzazione di fondo.

I risultati delle analisi sono riportati in Allegato B e sono riassunti nelle tabelle seguenti:

| SEZIONE | FS MIN | FIGURA ALLEGATO B | FS MIN | FIGURA ALLEGATO B |
|---|---|---|---|---|
| Sezione 3 | 1.182 | Figura 4a | 1.372 | Figura 4b |
| Sezione A6b | 1.677 | Figura 5a | 1.814 | Figura 5b |
| Sezione C1 | 1.285 | Figura 6a | 1.409 | Figura 6b |

*Figura 10-2: Risultati delle analisi di stabilità in condizioni statiche – superfici di rottura circolari*

| SEZIONE | FS MIN | FIGURA ALLEGATO B | FS MIN | FIGURA ALLEGATO B |
|---|---|---|---|---|
| Sezione 3 | 1.53 | Figura 7a | 1.55 | Figura 7b |
| Sezione A6b | 1.886 | Figura 8a | 1.978 | Figura 8b |
| Sezione C1 | 1.626 | Figura 9a | 1.782 | Figura 9b |
| Sezione C1 | 1.854 | Figura 9c | | |

*Figura 10-3: Risultati delle analisi di stabilità in condizioni statiche - superfici di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione*

## 10.3 Risultati in condizioni pseudostatiche

Anche per quanto riguarda le condizioni pseudostatiche si sono valutate le seguenti configurazioni:

- la situazione limite di scivolamento dell'insieme discarica – terreno di fondazione
- la situazione limite di scorrimento sull'interfaccia di impermeabilizzazione di fondo.

I risultati delle analisi sono riassunti nelle tabelle seguenti:

| SEZIONE | FS MIN | FIGURA ALLEGATO B | FS MIN | FIGURA ALLEGATO B |
|---|---|---|---|---|
| Sezione 3 | 1.116 | Figura 10a | 1.275 | Figura 10b |
| Sezione A6b | 1.532 | Figura 11a | 1.654 | Figura 11b |
| Sezione C1 | 1.188 | Figura 12a | 1.298 | Figura 12b |

*Figura 10-4: Risultati delle analisi di stabilità in condizioni pseudostatiche - superfici di rottura circolari*

| SEZIONE | FS MIN | FIGURA ALLEGATO B | FS MIN | FIGURA ALLEGATO B |
|---|---|---|---|---|
| Sezione 3 | 1.420 | Figura 13a | 1.434 | Figura 13b |
| Sezione A6b | 1.715 | Figura 14a | 1.793 | Figura 14b |
| Sezione C1 | 1.495 | Figura 15a | 1.631 | Figura 15b |
| Sezione C1 | 1.700 | Figura 15c | | |

*Figura 10-5: Risultati delle analisi di stabilità in condizioni pseudostatiche - superfici di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione*

# 11. ANALISI DI STABILITÀ DELLE TERRE RINFORZATE

## 11.1.1 Tipologia di analisi eseguite

Oltre alle verifiche di stabilità globale, che considerano le terre rinforzate come un unico blocco caratterizzato esclusivamente con un peso di volume, un angolo di resistenza al taglio e una coesione, sono state eseguite delle verifiche di stabilità interna e allo scorrimento, che introducono quindi il contributo effettivo degli elementi di rinforzo strutturali nei confronti di superfici di rottura passanti nel corpo delle terre rinforzate.

Tali verifiche sono state eseguite con lo scopo di dimensionare i rinforzi in modo che, con le geometrie e i carichi di progetto, siano garantiti i valori dei fattori di sicurezza richiesti dalla normativa vigente in tema di stabilità.

Le analisi sono state eseguite tramite l'ausilio del programma di calcolo MAC.ST.A.R.S W, versione 3.0, realizzato dalle Officine Maccaferri S.p.A. e specifico per le verifiche di stabilità delle terre rinforzate.

La caratteristiche dei parametri geotecnici dei vari strati sono quelli riportati nel paragrafo 8.4.

Per quanto riguarda le sezioni di calcolo si sono considerate le sezioni C1 e A6, utilizzate anche nel calcolo delle stabilità globali e interessate dalla presenza del rilevato in terre rinforzate corrispondenti alle due fasi:

- sezione C1 (Fase 2);
- sezione A6b (Fase 1)

Nelle Figure 1 e 2 dell'Allegato C alla presente relazione sono riportate le geometrie delle sezioni considerate per le verifiche di stabilità.

## 11.1.2 Risultati delle analisi

Le verifiche sono state condotte per ciascuno dei blocchi che formano l'opera, sia in condizioni statiche, sia in condizioni pseudo-statiche in accordo con quanto previsto dal DM 14 gennaio 2008.

L'approccio utilizzato per il dimensionamento è stato quello di attribuire i coefficienti di sicurezza parziali ai parametri caratteristici del terreno ($\gamma$ e $\phi$'), ipotizzare l'utilizzo di un particolare tipo di geogriglie (in termini di resistenza di progetto) e di verificare che le resistenze

globali offerte fossero comunque maggiori delle sollecitazioni, con un coefficiente conforme alla norma stessa.
La scelta dei coefficienti di sicurezza parziali delle resistenze del terreno è stata effettuata sulla base della normativa italiana; per ciò che concerne invece l'utilizzo di coefficienti di sicurezza per i rinforzi si rimanda al paragrafo seguente.

Le analisi sono state eseguite nei confronti di stati limite ultimi (SLU) secondo l'Approccio 1, combinazione 2 (A2+M2+R2) del D.M. 14.01.2008, per il quale i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dovranno essere fattorizzati secondo i coefficienti parziali riportati in Figura 8-1 e in Figura 8-2.

In condizioni statiche, dovrà essere quindi che il rapporto tra resistenza al taglio e sforzo di taglio mobilitato sia $\geq$ 1.1 (R2, coefficiente parziale per le verifiche di sicurezza di opera di materiali sciolti e di fronti di scavo).
In condizioni pseudostatiche, invece, si è utilizzato lo stesso metodo di calcolo pseudo-statico presentato nel paragrafo 8.2 fattorizzando le resistenze caratteristiche dei materiali ancora secondo la Figura 8-2 e verificando che il rapporto tra resistenza al taglio e sforzo di taglio mobilitato sia $\geq$ 1.1.

I risultati delle analisi eseguite per le verifiche globali, per le verifiche interne dei blocchi di terra rinforzata e per le verifiche di scorrimento sono interamente riportati in C e vengono riassunti nelle tabelle seguenti:

| SEZIONE | CONDIZIONI | FS | FIGURA ALLEGATO C |
|---|---|---|---|
| Sezione A6b | Statiche | 1.210 | Figura 3 |
| Sezione A6b | Pseudostatiche | 1.121 | Figura 4 |
| Sezione C1 | Statiche | 1.370 | Figura 5 |
| Sezione C1 | Pseudostatiche | 1.255 | Figura 6 |

*Figura 11-1: Sintesi dei fattori di sicurezza minimi ottenuti per le analisi di stabilità globali – condizioni statiche e condizioni pseudostatiche*

| SEZIONE | BLOCCO | CONDIZIONI | FS | FIGURA |
|---|---|---|---|---|
| Sezione A6b | Blocco 3 | Statiche | 1.607 | Figura 7 |
| Sezione A6b | Blocco 3 | Pseudostatiche | 1.497 | Figura 8 |
| Sezione C1 | Blocco 2 | Statiche | 1.439 | Figura 9 |
| Sezione C1 | Blocco 2 | Pseudostatiche | 1.313 | Figura 10 |
| Sezione C1 | Blocco 3 | Statiche | 1.244 | Figura 11 |
| Sezione C1 | Blocco 3 | Pseudostatiche | 1.150 | Figura 12 |
| Sezione C1 | Blocco 4 | Statiche | 1.481 | Figura 13 |
| Sezione C1 | Blocco 4 | Pseudostatiche | 1.338 | Figura 14 |

*Figura 11-2: Sintesi dei fattori di sicurezza minimi ottenuti per le analisi di stabilità interne– condizioni statiche e condizioni pseudostatiche*

| SEZIONE | BLOCCO | CONDIZIONI | FS | FIGURA |
|---|---|---|---|---|
| Sezione A6b | Blocco 3 | Statiche | 1.210 | Figura 15 |
| Sezione A6b | Blocco 3 | Pseudostatiche | 1.123 | Figura 16 |
| Sezione C1 | Blocco 2 | Statiche | 1.273 | Figura 17 |
| Sezione C1 | Blocco 2 | Pseudostatiche | 1.111 | Figura 18 |
| Sezione C1 | Blocco 3 | Statiche | 2.902 | Figura 19 |
| Sezione C1 | Blocco 3 | Pseudostatiche | 2.361 | Figura 20 |
| Sezione C1 | Blocco 4 | Statiche | 1.482 | Figura 21 |
| Sezione C1 | Blocco 4 | Pseudostatiche | 1.118 | Figura 22 |

*Figura 11-3: Sintesi dei fattori di sicurezza minimi ottenuti per le verifiche di scorrimento – condizioni statiche e condizioni pseudostatiche*

## 11.2 Resistenza nominali dei geosintetici

La normativa italiana non fa nessun riferimento a fattori parziali da applicare alle resistenze dei rinforzi; tuttavia cautelativamente, si è deciso di assumere i fattori di sicurezza per i rilevati rinforzati previsti dalla BS8006:1995 con le seguenti considerazioni.

La norma, ai fini della determinazione dell'effettiva resistenza di esercizio di un geosintetico, prevede di utilizzare i seguenti fattori di sicurezza:

- $F_{creep}$ coefficiente che tiene globalmente in conto della resistenza a lungo termine della geogriglia; nel caso in esame è stato assunto uguale all'unità poiché le terre rinforzate saranno soggette agli sforzi ipotizzati nelle verifiche solo per un intervallo di tempo molto ridotto che esclude fenomeni di creep; infatti, l'opera rappresenta la spalla di appoggio di un banco di rifiuti e i blocchi saranno realizzati in avanzamento con la coltivazione dei rifiuti stessi (ovvero poco prima del loro abbancamento), motivi per cui il paramento rimarrà "a vista" solo per un breve periodo;

- $f_{m1}$ coefficiente che tiene in conto delle caratteristiche intrinseche del materiale e che si suddivide in due ulteriori coefficienti:
    - coefficiente per le imperfezioni del processo produttivo;
    - coefficiente per i fenomeni di creep.

  Nel caso in esame si è posto uguale ad 1.1 avendo tenuto in conto solo delle imperfezioni dovute al processo produttivo ed escludendo, per le medesime considerazioni esplicate nel punto precedente, i fenomeni di creep;
- $f_{m2}$ coefficiente che tiene in conto dei fattori esterni e che si suddivide in due ulteriori coefficienti:
    - coefficiente per il danneggiamento della griglia in fase di installazione;
    - coefficiente per i fenomeni di aggressione chimica e degrado ambientale.

  Nel caso in esame si è posto uguale ad 1.1 avendo tenuto in conto solo danneggiamento della griglia in fase di esecuzione ed escludendo la possibilità di un significativo attacco chimico, posto che i blocchi saranno separati dai rifiuti tramite il pacchetto di impermeabilizzazione dell'ampliamento.

La resistenza nominale della geogriglia sarà dunque determinata tramite la seguente espressione:

$$T_{nominale} = \frac{T_{progetto} \cdot f_{m1} \cdot f_{m2}}{F_{creep}}$$

dove la $T_{progetto}$ rappresenta la resistenza utilizzata nel codice di calcolo pari a 100 e 200 kN/m.

Sostituendo i valori citati si ottiene che, per garantire i coefficienti di sicurezza ottenuti dalle verifiche di stabilità riportate in Allegato C, la resistenza nominale delle geogriglie dovrà essere:

$T_{nominale} = 55*1,77 \approx = \mathbf{100}$ kN/m

$T_{nominale} = 110*1,77 \approx = \mathbf{200}$ kN/m

# 12. STABILITÀ DELLA COPERTURA DEFINITIVA

## 12.1 Stratigrafia del pacchetto di copertura

Il pacchetto di copertura definitiva proposto è stato progettato in modo tale da garantire la stabilità dello stesso rispetto a fenomeni di scivolamento lungo le interfacce tra i geosintetici e tra i geosintetici e il materiale minerale.

Sono state individuate tre diverse stratigrafie in ragione della tipologia di aree:

- superficie sommitale;
- superfici inclinate;
- berme di raccordo tra le superfici inclinate.

In particolare sulla sommità è prevista la seguente sequenza di materiali:

- strato di terreno vegetale, di spessore pari a 1,00 m con una percentuale organica in grado di accogliere la vegetazione finale;
- geotessuto di protezione del dreno da eventuali intasamenti;
- strato di drenaggio delle acque di infiltrazione dello spessore di almeno 50 cm;
- geotessuto non tessuto di protezione del dreno;
- strato di argilla compattata ($k \leq 10^{-6}$ cm/s) avente lo spessore 50 cm;
- geotessuto non tessuto di protezione del dreno;
- dreno di raccolta del biogas dello spessore di circa 50 cm;

Lo spessore complessivo della copertura è pertanto di 2,50 m.

Per le superfici inclinate, date le difficoltà di posa dovute alla pendenza, si propone la sostituzione dei materiali minerali con materiali artificiali a dare la seguente sequenza:

- strato di terreno vegetale, di spessore pari a 1,00 m con una percentuale organica in grado di accogliere la vegetazione finale. Lo strato complessivo sarà rinforzato con due geogriglie da 240 kN/m;
- geocomposito drenante di intercettazione delle acque di infiltrazione;
- geocomposito bentonitico coesionato meccanicamente di spessore minimo pari a 0,5 cm con permeabilità $k \leq 5 \times 10^{-9}$ cm/s;
- geocomposito drenante per il biogas.

Lo spessore complessivo della copertura è di 1,00 m.

Per le berme interposte tra le superfici inclinate, la sequenza di materiali è la seguente:

- strato di terreno vegetale, di spessore pari a 1,00 m con una percentuale organica in grado di accogliere la vegetazione finale;
- geotessuto di protezione del dreno da eventuali intasamenti;
- strato di drenaggio delle acque di infiltrazione dello spessore di almeno 50 cm;
- geotessuto non tessuto di protezione del dreno;
- strato di argilla compattata ($k \leq 10^{-6}$ cm/s) avente lo spessore 50 cm;
- geotessuto non tessuto di protezione del dreno;
- dreno di raccolta del biogas dello spessore di circa 50 cm;

Lo spessore complessivo della copertura è pertanto di 2,00 m.

## 12.2 Ipotesi di calcolo

Le problematiche relative alla stabilità delle coperture sono legate ai possibili scivolamenti lungo le interfacce dei geosintetici a causa delle sollecitazioni indotte dal peso del terreno vegetale sovrastante.

I possibili scivolamenti sono localizzati lungo le scarpate e riguardano soltanto l'interazione tra il terreno vegetale e le geogriglie di rinforzo.

Tale considerazione è frutto delle assunzioni fatte per il calcolo, ovverosia che:

- l'attrito interno del terreno di copertura e l'attrito all'interfaccia tra il terreno di copertura e le geogriglie siano tali da garantire il trasferimento di tutta la sollecitazione di taglio alle geogriglie (e non ai geosintetici sottostanti);
- le geogriglie abbiano caratteristiche di resistenza tali da sopportare la sollecitazione.

L'approccio utilizzato sia per i dimensionamenti in condizioni statiche che per quelli in condizioni sismiche, in conformità a quanto previsto dalle norme tecniche per le costruzioni, è stato quello attribuire dei coefficienti di sicurezza parziali ai parametri caratteristici del terreno ($\gamma$ e $\phi$'), di resistenza delle interfacce e a trazione dei materiali e di verificare che le resistenze offerte fossero comunque maggiori delle sollecitazioni.

La scelta dei coefficienti di sicurezza parziali, per quanto concerne la fattorizzazione delle resistenze del terreno, è stata effettuata sulla base della normativa italiana (NTC08) mentre, per

la riduzione delle resistenze delle geogriglie, poiché le NTC08 non danno specifiche indicazioni su coefficienti parziali da adottare su queste tipologie di materiali, è stata fatta in accordo con la normativa inglese (BS 8006).

## 12.3 Caratteristiche dei materiali

Le valutazioni circa la stabilità delle coperture sono, come detto, legate all'interazione tra il terreno vegetale e le geogriglie di rinforzo.

### Terreno vegetale

Il terreno vegetale che verrà utilizzato a completamento della copertura definitiva ed in grado di accogliere la vegetazione finale è dovrà avere i seguenti parametri caratteristici minimi:

- $\gamma$ = 18 kN/m$^3$ (peso di volume)
- $\varphi'$ = 39° (angolo di attrito)

Si precisa che i 50 cm più superficiali saranno costituiti da uno strato di terreno naturale, con una percentuale organica in grado di accogliere la vegetazione finale, i restanti 50 cm potranno essere costituiti da una miscela di biostabilizzato e terreno. Il quantitativo di biostabilizzato (sempre entro il 50%) e le caratteristiche del terreno saranno scelte in maniera tale da ottenere le caratteristiche geotecniche minime indicate. Lo strato complessivo sarà rinforzato con due geogriglie da 400 kN/m. L'angolo di 39 ° tiene conto del rinforzo dovuto all'apparato radicale del terreno vegetale.

### Geogriglie di rinforzo

La determinazione delle caratteristiche del geosintetico di contatto con il terreno vegetale è stata effettuata, come detto, in modo tale che le sollecitazioni non si trasferiscano ai geocompositi sottostanti per i quali quindi non saranno necessari particolari requisiti di resistenza.

Sulla base delle considerazioni appena esposte, si può affermare che le geogriglie di rinforzo del terreno vegetale dovranno avere le seguenti caratteristiche:

- garantire un angolo di interazione con il terreno vegetale minimo di 39°;
- garantire una resistenza a trazione di 400 kN/m.

### 12.3.1 Resistenza nominale dei geosintetici

La normativa italiana non fa nessun riferimento a fattori parziali da applicare alle resistenze dei rinforzi; tuttavia cautelativamente, si è deciso di assumere i fattori di sicurezza per i rilevati rinforzati previsti dalla BS8006:1995 con le seguenti considerazioni.
La norma, ai fini della determinazione dell'effettiva resistenza di esercizio di un geosintetico, prevede di utilizzare i seguenti fattori di sicurezza:

- $F_{creep}$ coefficiente che tiene globalmente in conto della resistenza a lungo termine della geogriglia;
- $f_{m1}$ coefficiente che tiene in conto delle caratteristiche intrinseche del materiale e che si suddivide in due ulteriori coefficienti:
  - coefficiente per le imperfezioni del processo produttivo;
  - coefficiente per i fenomeni di creep.
- $f_{m2}$ coefficiente che tiene in conto dei fattori esterni e che si suddivide in due ulteriori coefficienti:
  - coefficiente per il danneggiamento della griglia in fase di installazione;
  - coefficiente per i fenomeni di aggressione chimica e degrado ambientale.

La resistenza nominale della geogriglia sarà dunque determinata tramite la seguente espressione:

$$T_{nominale} = \frac{T_{progetto} \cdot f_{m1} \cdot f_{m2}}{F_{creep}}$$

dove la $T_{progetto}$ rappresenta la resistenza utilizzata nel codice di calcolo.
I valori adottati per i coefficienti sono riportati in Allegato D.

## 12.4 Analisi di stabilità in condizioni statiche

La verifica è stata eseguita tramite l'approssimazione a pendio indefinito. Sulla base dei calcoli effettuati, il cui dettaglio è riportato in Allegato D1, è stato stabilito che, affinché sia rispettato l'equilibrio della copertura, il terreno vegetale deve avere un angolo di attrito interno di 39° e che il geosintetico/geogriglia a contatto con il terreno suddetto debba avere un angolo di interfaccia di almeno 36° ed una resistenza caratteristica a rottura di almeno 400 kN/m. Tale valore di resistenza tiene già in conto del coefficiente di sicurezza sui rinforzi così come definito

nel par. 12.3.1, tenendo in conto anche dei fenomeni dovuti al creep, alla luce della vita nominale del pacchetto di copertura.

## 12.5 Analisi di stabilità in condizioni sismiche

Analogamente al caso statico, la stabilità della copertura può essere verificata con la soluzione valida per il pendio indefinito. Come presentato in dettaglio nell'Allegato D2, i coefficienti parziali per le resistenze al taglio dei materiali sono i medesimi delle condizioni statiche in accordo alle NTC08, solo il coefficiente parziale di resistenza a trazione delle geogriglie è variato in accordo con la normativa inglese (BS 8006) per tenere conto del fatto che gli eventi sismici hanno breve durata e pertanto la rottura non dipende da fenomeni di creep.

Con i valori di progetto dei vari parametri di resistenza dei materiali interessati si ottengono valori del fattore di sicurezza maggiori dell'unità.

Desmos
Ingegneria Ambiente Energia

# Allegato A:
# Prove di Laboratorio sui rifiuti
# Report e interpretazione

# Allegato A1:
# Report prove sui rifiuti - ISMGEO

Istituto
Sperimentale
Modelli
GEOtecnici

Via Pastrengo, 9 – 24068 Seriate (Bg)
Tel: 035 303120
E-mail: ismgeo@ismgeo.it
Internet: www.ismgeo.it

*Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C*

# Discarica di Bossarino Vado Ligure (SV)

## PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

**Prog. L001;Doc. RAT 108/2016**

| | | |
|---|---|---|
| Redatto da: | Andrea Saccenti | 25/07/2016 |
| Rivisto e Approvato da: | Andrea Saccenti | |

## LISTA DI DISTRIBUZIONE

| Nominativo | Riferimento |
|---|---|
| Committente: WASTE ITALIA | Ing. Giorgo Prato (WASTE Italia)<br>Ing. Maria Elena Lacapra (DESMOS s.r.l.) |

## STORIA DELLE MODIFICHE

| Data | Versione | Descrizione cambiamenti | Riferimento |
|---|---|---|---|
| Luglio 2016 | 00 | Prima versione | |
| | | | |
| | | | |

## Documenti in ingresso

[1] Ordine WASTE ITALIA num. 16000382 OC del 05/07/16

INDICE


1. PREMESSA ..... 4

2. ATTIVITÀ DI LABORATORIO ..... 4
2.1. Campioni esaminati ..... 4
2.2. Programma di prova ..... 4
2.3. Tipi di prove eseguite ..... 4
2.4. Prove di classificazione ..... 4
2.4.1. Determinazione dei Limiti di liquidità e di plasticità (LLP) ..... 4
2.4.2. Analisi Granulometrica (Gr) ..... 4
2.5. Prove meccaniche ..... 5
2.5.1. Prova di taglio diretto consolidata anisotropicamente drenata (DS CK0D) ..... 5
2.5.2. Prova triassiale consolidata isotropicamente drenata (Tx CID) ..... 5

3. TABELLE ..... 7


## ELENCO TABELLE


Tab. 1– Elenco dei campioni disponibili e delle prove su di essi eseguite.


## Allegato A – Certificati prove di laboratorio

# 1. PREMESSA

L'IsmGeo S.r.l. di Seriate ha eseguito, su incarico di WASTE ITALIA [1] una campagna di prove geotecniche di laboratorio su campioni prelevati presso la Discarica di Bossarino a Vado Ligure (SV).
Il presente rapporto contiene la descrizione del programma di prova adottato, le modalità di prova ed i relativi certificati.

# 2. ATTIVITÀ DI LABORATORIO

## 2.1. Campioni esaminati

Gli elenchi dei campioni ricevuti e delle prove eseguite sono riportati in tabella 1.

## 2.2. Programma di prova

Tutte le prove sono state condotte nel rispetto delle procedure tecniche interne, redatte sulla base delle raccomandazioni AGI e ASTM, tenendo conto degli sviluppi dello stato dell'arte.
Ogni prova è stata identificata con i seguenti termini:

| | |
|---|---|
| Committente: | WASTE ITALIA |
| Cantiere: | BOSSARINO |
| Sondaggio: | Codice di identificazione del sondaggio |
| Campione: | Codice di identificazione del campione |
| Profondità: | Profondità di prelievo da piano campagna del materiale sottoposto a prova |
| Prova: | Codice della prova (sigla di identificazione e numero d'ordine progressivo). |

Le sigle adottate per l'identificazione delle prove sono indicate tra parentesi nel testo seguente e sono riportate sul certificato di prova relativo.

## 2.3. Tipi di prove eseguite

Sulla base del programma di prova, della natura e delle caratteristiche dei materiali, sono state eseguite le seguenti prove:

- Apertura e descrizione geotecnica (Dc)
- Analisi granulometrica (Gr)
- Determinazione dei limiti di plasticità e di liquidità (LLP)
- Prova di taglio anulare consolidata anisotropicamente drenata (RS CK0D)
- Prova di triassiale consolidata isotropicamente drenata (TX CID)

## 2.4. Prove di classificazione

### 2.4.1. Determinazione dei Limiti di liquidità e di plasticità (LLP)

Per la definizione del limite di liquidità è stato impiegato il Cucchiaio di Casagrande eseguendo tre determinazioni e definendo per interpolazione il contenuto d'acqua corrispondente alla chiusura del solco dopo 25 colpi; per il limite di plasticità il contenuto d'acqua è stato determinato su cilindretti di terreno rullati a mano fino alla comparsa delle screpolature in corrispondenza di un diametro degli stessi di 3 mm. La prova è stata condotta sul materiale preventivamente setacciato al vaglio n. 40 ASTM (0.425 mm). I risultati sono presentati sul certificato "Caratteristiche Generali del Campione"

### 2.4.2. Analisi Granulometrica (Gr)

La determinazione della curva granulometrica è stata eseguita per vagliatura del materiale trattenuto al vaglio n.200 ASTM e per sedimentazione del passante allo stesso vaglio. Il materiale è stato preparato per via umida, cioè suddividendo trattenuto e passante al suddetto vaglio mediante lavaggio. Per la vagliatura

sono stati impiegati vagli tarati della serie ASTM; per la sedimentazione, cilindri graduati e densimetri tarati; quale antiflocculante è stata impiegata una soluzione di sodio esametafosfato (40 g/l). Sul certificato "Analisi granulometrica" sono presentati la curva granulometrica e alcuni parametri significativi da essa desunti.

## 2.5. Prove meccaniche

### 2.5.1. Prova di taglio diretto consolidata anisotropicamente drenata (DS CK0D)

Attrezzatura - La prova di taglio diretto è stata eseguita con il classico apparecchio di Casagrande costituito da una struttura scatolare in grado di contenere il provino e di scorrere secondo un piano mediano generando il taglio nel terreno. La cella contenente la scatola di Casagrande con il provino viene colmata d'acqua per simulare la naturale situazione sotto falda; pietre porose e carta filtro consentono il drenaggio del terreno durante la prova. La pressione verticale di consolidazione è fornita da pesi, mentre la forza necessaria a produrre lo scorrimento è generata da un motore elettrico fornito di selettore di velocità.
Strumentazione - Le grandezze di prova vengono misurate e registrate grazie all'impiego dei seguenti strumenti:

- trasduttori di spostamento avente fondo scala di 10 mm, classe di accuratezza migliore di 0.3% del fondo scala
- cella di carico avente fondo scala 5 kN, accuratezza migliore di 0.1% del fondo scala
- condizionatore di segnale avente tensione di uscita 5 Vac e frequenza 5 kHz, classe di accuratezza migliore di 0.1% del valore di uscita
- personal computer dotato di programma di acquisizione.

Modalità di della prova - La prova è stata realizzata impiegando un provino di sezione quadrata avente lato di 6 cm e altezza di 2 cm. Dopo la fase di saturazione e consolidazione a deformazione laterale impedita alle tensioni verticali previste, è stata iniziata la fase di rottura ad una velocità di deformazione controllata tale da consentire la dissipazione dell'eccesso di pressioni interstiziali generate durante l'applicazione dello sforzo di taglio. Come base per la scelta della velocità è stato utilizzato il tempo di consolidazione ($t_{100}$) rilevato per l'ultimo incremento di pressione verticale applicata (Bishop et al., 1957).
Dopo l'esecuzione di 3 cicli veloci, per una deformazione totale di circa 24 mm, si è provveduto all'esecuzione del ciclo n°5, utilizzato per la misura della resistenza residua del provino.
Certificazione - I risultati delle prove sono presentati nel certificato "PROVA DI TAGLIO DIRETTO", costituito da 4 fogli e riportato in Allegato A.

### 2.5.2. Prova triassiale consolidata isotropicamente drenata (Tx CID)

Modalità di prova - Le modalità di prova adottate per l'assemblaggio e la saturazione del provino sono state diverse a seconda che la preparazione dello stesso sia avvenuta per mezzo di fustellazione da campione indisturbato o per mezzo di ricostruzione da materiale incoerente.
Nel primo caso il provino è stato alloggiato tra il ripartitore di carico superiore e quello inferiore della cella triassiale interponendo tra di esso ed i ripartitori pietre porose e dischi di carta filtro; un foglio di carta filtro nella classica forma di griglia è stato inoltre posizionato tra provino e membrana impermeabile per consentire una migliore distribuzione delle pressioni interstiziali e quindi agevolare la fase di consolidazione. Il provino è stato successivamente posto in saturazione applicando una contro - pressione sotto una pressione efficace isotropa tale da non consentirne il rigonfiamento.
Nel secondo caso il provino, ricostruito direttamente all'interno della cella, è stato inizialmente sottoposto ad una leggera depressione (20 KPa) in modo tale che le successive operazioni di assemblaggio della cella non alterassero le sue caratteristiche. Dopo il posizionamento del cilindro in plexiglass e l'immissione del fluido di confinamento, la depressione è stata gradualmente sostituita da un'equivalente pressione in cella.

Nel caso di un valore troppo basso, la saturazione è stata prolungata per un ulteriore periodo di tempo, in qualche caso aumentando ancora la contro - pressione, fino al raggiungimento di un soddisfacente valore di B. Dopo di ciò il provino è stato portato, in più steps, alla tensione finale efficace di consolidazione.
Durante la saturazione e la consolidazione isotropa sono state misurate le variazioni di volume e di altezza del provino; tali valori hanno consentito di calcolare le dimensioni fisiche del campione prima della fase di rottura. Esse sono state utilizzate come base per il calcolo degli sforzi e delle deformazioni durante tale fase.

Fase di rottura - La rottura in compressione per carico è stata condotta a velocità di deformazione controllata e tale da non generare la crescita di pressioni interstiziali nel campione.
Per la scelta della velocità di deformazione è stato utilizzato il tempo di consolidazione rilevato per l'ultimo incremento di carico (Bishop et al., 1957); in ogni caso la velocità adottata è stata inferiore a quella teoricamente applicabile. Durante la rottura si è proceduto al monitoraggio ed alla registrazione del carico deviatorico applicato, della deformazione verticale e della variazione di volume. I dati registrati sono stati successivamente trasferiti ad un computer per le elaborazioni.

Certificazione t - s - Per ogni prova sono presentati 2 certificati:

- "PROVA TRIASSIALE CID - TABELLA VALORI" raccoglie alcuni dati generali relativi al provino nella fase iniziale, al termine della consolidazione ed in fase di rottura. Per quest' ultima, sono stati riportati i valori di t, s', deformazione assiale $\varepsilon_a$, calcolati in corrispondenza di $t_{max}$, $(t / s')_{max}$ e deformazione assiale massima.
- "PROVA TRIASSIALE CID - PRIMO FOGLIO" riporta il percorso di sollecitazione sul piano $t = (\sigma_a - \sigma_r)/2$ e $s' = (\sigma_a' + \sigma_r')/2$ in termini di tensioni efficaci ;
- "PROVA TRIASSIALE CID - SECONDO FOGLIO" presenta l'andamento della curva incremento dello sforzo $t = (\sigma_a - \sigma_r)/2$ in funzione della deformazione assiale $\varepsilon_a$ e della variazione volumetriche $\varepsilon_v$ in funzione della deformazione assiale $\varepsilon_a$.

# 3. TABELLE

1

| NOME SONDAGGIO | PROFONDITA ' CAMPIONE | RIMANEGGIATO (R) o RIFIUTO (RIF) | Granulometrie | Limiti di Atterberg | Triassiale D=10 cm | ricostruzione | Triassiale D=5 cm | Taglio diretto L=6x6 cm | ricostruzione |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | |
| S5 | 2-2.5 | CR1 | 1 | 1 | | | | | |
| | 8.50-9 | CRIF1 | | | | | | | |
| S6 | 1-2 | CR1 | 1 | 1 | | | | | |
| | 6-7 | CRIF2 | | | | | | | |
| | 9-10 | CRIF3 | | | | | | 3 | 3 |
| S7 | 0-3 | CR1 | 1 | 1 | | | | | |
| | 3-4 | CRIF2 | | | 3 | 3 | | | |
| | 6-7 | CRIF3 | | | 3 | 3 | | | |
| | 7-8 | CR4 | 1 | 1 | | | | | |
| S8 | 0-3 | CR1 | | | | | | | |
| | 6-7 | CR2 | | | | | | | |
| | 7-8 | CRIF3 | | | | | | | |
| | 14-15 | CR4 | | | | | | 3 | 3 |
| | 16-17 | CRIF5 | | | | | 3 | | |
| | 19-20 | CRIF6 | | | | | | | |
| S9 | 1-2 | CR1 | 1 | 1 | | | | | |
| | 4-5 | CR2 | 1 | 1 | | | | | |
| | 12-13 | CRIF3 | | | | | | | |
| | 13-14 | | | | | | | | |
| | 16-17 | CRIF4 | | | | | | | |
| | 17-18 | CRIF5 | | | 3* | 3* | | | |
| | 18-19 | CRIF6 | | | | | | 3 | 3 |
| | 21-22 | CR7 | 1 | 1 | | | | | |
| S10 | 4-5 | CR1 | 1 | 1 | | | | | |
| | 12-13 | CRIF2 | | | | | | | |
| | 13-14 | | | | | | | | |
| | 15-16 | CRIF3 | | | | | 2* | | |
| S12 | 12-13 | CRIF1 | | | | | | | |
| | 13-14 | CRIF2 | | | | | | | |
| | | tot prove | 8 | 8 | 9 | 9 | 5 | 9 | 9 |

* PROVE ESEGUITE MA NON RAPPRESENTATIVR DEL MATARIELE

Tab. 1a – Elenco dei campioni disponibili e delle prove su di essi eseguite

# Allegato A
# Certificati di prova

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 290388 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DESCRIZIONE CAMPIONE RIMANEGGIATO E CARATTERISTICHE GENERALI

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

*N° verbale accettazione:* 024/2016
*N° certificato di prova:* 024/16/A/001

| | |
|---|---|
| ***Committente:*** | WASTEITALIA |
| ***Cantiere:*** | BOSSARINO |
| ***Sondaggio:*** | S5 |
| ***Campione:*** | CR1 |
| ***Profondità prelievo [m]:*** | 2.00 - 2.50 |
| ***Prova:*** | Dc |
| ***Data fine descrizione:*** | 11/07/2016 |

### *Dati Generali di Campionamento*

Data prelievo:
Attrezzatura sondaggio Rotazione
Attrezzatura prelievo: -
Modalità prelievo: -

### *Dati Generali del Campione*

Data arrivo in laboratorio: 07/06/2016
Data estrusione campione: -
Condizioni contenitore: -

Tipo contenitore: -
Forma campione -
Dimensioni Campione: Φ= - cm L= - cm
Classe del terreno: 1

### *Descrizione*

*(Normativa di riferimento: AGI 1977)*
**Ghiaia con sabbia limosa argillosa**

### *Risultati caratteristiche generali*

| Prova | Risultato della prova | *Normativa di riferimento* | *N° certificato di prova* |
|---|---|---|---|
| Limite liquido (%) | 40.4 | *ASTM D4318/95* | |
| Limite plastico (%) | 26.3 | *ASTM D4318/95* | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| Gr 1 | - | *ASTM D422/90* | |

***Note:***
-

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) Tel. 035 303120 - fax 035 290388 Email: ismgeo@ismgeo.it

# ANALISI GRANULOMETRICA

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D422/90
Classificazione di riferimento: AGI 1977
N° certificato di prova: 024/16/A/002
N° verbale di accettazione: 024/2016

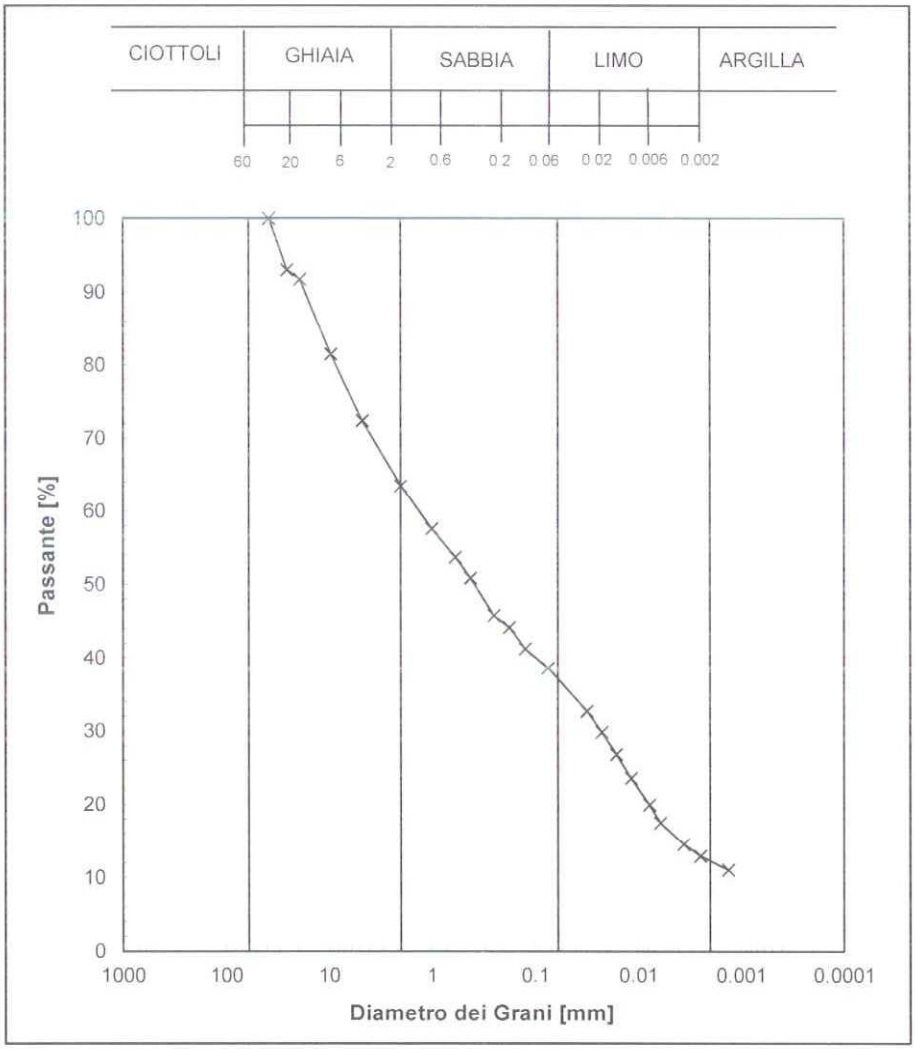
| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S5 |
| **Campione:** | CR1 |
| **Profondità prelievo [m]:** | 2 - 2.5 |
| **Prova:** | GR1 |
| **Data prova:** | 13/06/2016 |

**Vagliatura**

| Diametro vaglio [mm] | Massa tratt. [g] | Massa tratt. [%] |
|---|---|---|
| | - | - |
| | - | - |
| 38.1 | 0 | 0 |
| 25.4 | 93.2 | 7.0 |
| 19.1 | 16.3 | 1.2 |
| 9.53 | 137.0 | 10.3 |
| 4.75 | 121.7 | 9.1 |
| 2 | 118.4 | 8.9 |
| 1 | 78.9 | 5.9 |
| 0.59 | 51.5 | 3.9 |
| 0.42 | 38.4 | 2.9 |
| 0.25 | 67.6 | 5.1 |
| 0.177 | 21.6 | 1.6 |
| 0.125 | 38.9 | 2.9 |
| 0.075 | 35.2 | 2.6 |

**Aerometria**

| Tempo [min] | Temp. [°C] | Lettura [-] |
|---|---|---|
| 2 | 22.2 | 1.0211 |
| 4 | 22.2 | 1.0195 |
| 8 | 22.2 | 1.0178 |
| 16 | 22.2 | 1.0160 |
| 38 | 22.2 | 1.0140 |
| 64 | 22.2 | 1.0126 |
| 185 | 22.5 | 1.0109 |
| 385 | 23.5 | 1.0098 |
| 1375 | 23.6 | 1.0087 |




**Curva granulom.**

| Diametro [mm] | Passante [%] |
|---|---|
| 3.81.E+01 | 100.0 |
| 2.54.E+01 | 93.0 |
| 1.91.E+01 | 91.8 |
| 9.53.E+00 | 81.5 |
| 4.75.E+00 | 72.4 |
| 2.00.E+00 | 63.5 |
| 1.00.E+00 | 57.6 |
| 5.90.E-01 | 53.7 |
| 4.20.E-01 | 50.9 |
| 2.50.E-01 | 45.8 |
| 1.77.E-01 | 44.2 |
| 1.25.E-01 | 41.3 |
| 7.50.E-02 | 38.6 |
| 3.14.E-02 | 32.7 |
| 2.26.E-02 | 29.8 |
| 1.63.E-02 | 26.8 |
| 1.17.E-02 | 23.6 |
| 7.77.E-03 | 20.0 |
| 6.07.E-03 | 17.5 |
| 3.61.E-03 | 14.6 |
| 2.50.E-03 | 13.0 |
| 1.33.E-03 | 11.0 |
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |

| Prova | Simbolo | Profondità da m | Profondità a m | Massa secca materiale [g] | Metodo preparazione materiale | % < 0.075mm | % CIOTTOLI | % GHIAIA | % SABBIA | % LIMO | % ARGILLA | Massa materiale aerometria [g] | L max [mm] | $D_{60}$ [mm] | $D_{50}$ [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GR1 | x | 2.00 | 2.50 | 1333.8 | VIA UMIDA | **39** | **-** | **36** | **26** | **25** | **12** | 34 | 63 | 1.3.E+00 | 3.8.E-01 |

NOTE:

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg)
Tel. 035 303120 - Fax 035 303120
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DETERMINAZIONE LIMITI DI ATTERBERG

Concessione Ministeriale Decreto n°55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| | |
|---|---|
| Sperimentatore: | Diaby |
| Direttore: | Saccenti |
| Data emissione: | 11/07/2016 |
| Rev. | 0 |

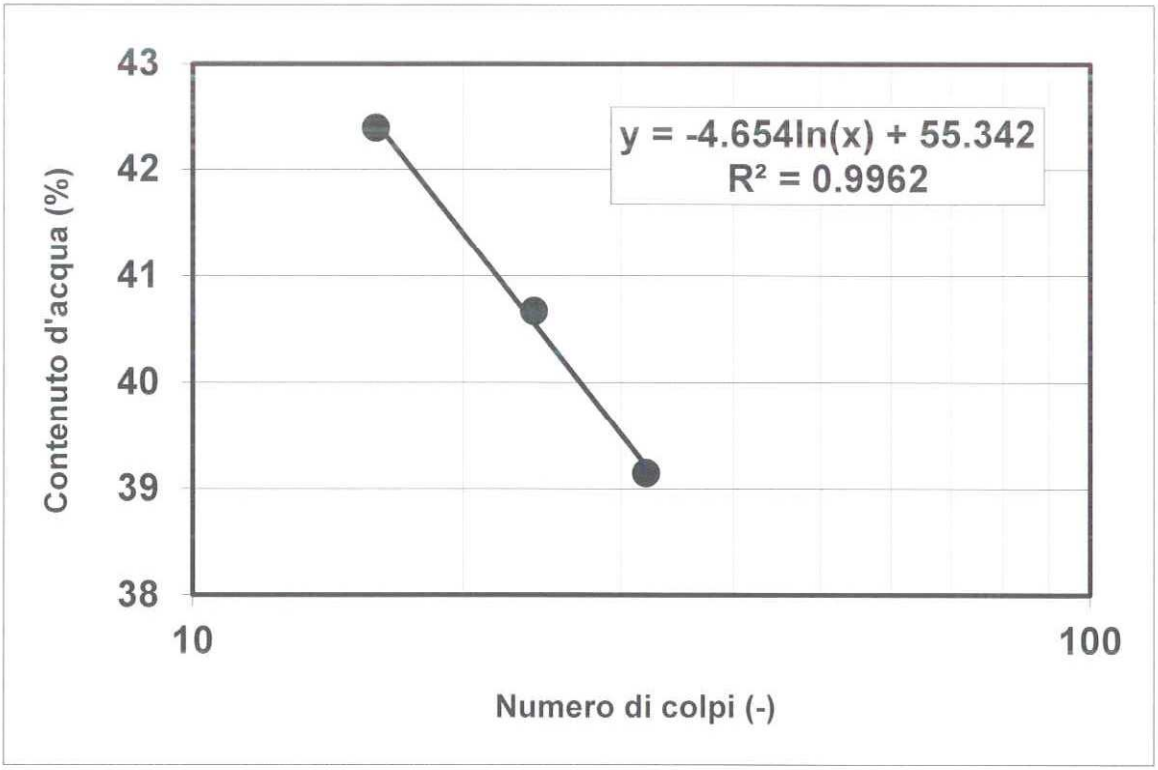
| | |
|---|---|
| *Committente:* | WASTEITALIA |
| *Cantiere:* | BOSSARINO |
| *Sondaggio:* | S5 |
| *Campione:* | CR1 |
| *Profondità prova [m]:* | 2.00 - 2.50 |
| *Prova:* | LLP1 |
| *Data prova:* | 16/06/2016 |

*Normativa di riferimento: ASTM D4318*
*N° certificato di prova:* 024/16/A/003
*N° verbale di accettazione: 024/2016*

| Limite Liquido | | | |
|---|---|---|---|
| | prova 1 | prova 2 | prova 3 |
| numero colpi | 32 | 24 | 16 |
| massa tara (g) | 2.16 | 2.18 | 2.15 |
| massa umido + tara (g) | 50.04 | 60.36 | 52.77 |
| massa secco + tara (g) | 36.57 | 43.54 | 37.7 |
| umidità (%) | 39.15 | 40.67 | 42.39 |

| Limite Plastico | | |
|---|---|---|
| massa tara (g) | 22.2 | 22.26 |
| massa umido + tara (g) | 37.97 | 42.06 |
| massa secco + tara (g) | 34.68 | 37.95 |
| umidità (%) | 26.36 | 26.20 |

| | |
|---|---|
| **Limite Liquido LL (%)** | **40.4** |
| **Limite Plastico LP (%)** | **26.3** |
| **Indice Plastico IP(%)** | **14.1** |




Note:

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 290388 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DESCRIZIONE CAMPIONE RIMANEGGIATO E CARATTERISTICHE GENERALI

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

*N° verbale accettazione:* 024/2016
*N° certificato di prova:* 024/16/A/004

| | |
|---|---|
| ***Committente:*** | WASTEITALIA |
| ***Cantiere:*** | BOSSARINO |
| ***Sondaggio:*** | S6 |
| ***Campione:*** | CR1 |
| ***Profondità prelievo [m]:*** | 1.00 - 2.00 |
| ***Prova:*** | Dc |
| ***Data fine descrizione:*** | 11/07/2016 |

### *Dati Generali di Campionamento*

Data prelievo:
Attrezzatura sondaggio Rotazione
Attrezzatura prelievo: -
Modalità prelievo: -

### *Dati Generali del Campione*

Data arrivo in laboratorio: 07/06/2016
Data estrusione campione: -
Condizioni contenitore: -

Tipo contenitore: -
Forma campione -
Dimensioni Campione: Φ= - cm L= - cm
Classe del terreno: 1

### *Descrizione*

*(Normativa di riferimento: AGI 1977)*
**Ghiaia con limo con sabbia con tracce di argilla**

### *Risultati caratteristiche generali*

| Prova | Risultato della prova | *Normativa di riferimento* | *N° certificato di prova* |
|---|---|---|---|
| Limite liquido (%) | 34.1 | *ASTM D4318/95* | |
| Limite plastico (%) | 25.4 | *ASTM D4318/95* | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| Gr 1 | - | *ASTM D422/90* | |

***Note:***
-

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) Tel. 035 303120 - fax 035 290388 Email: ismgeo@ismgeo.it

# ANALISI GRANULOMETRICA

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D422/90
Classificazione di riferimento: AGI 1977
N° certificato di prova: 024/16/A/005
N° verbale di accettazione: 024/2016

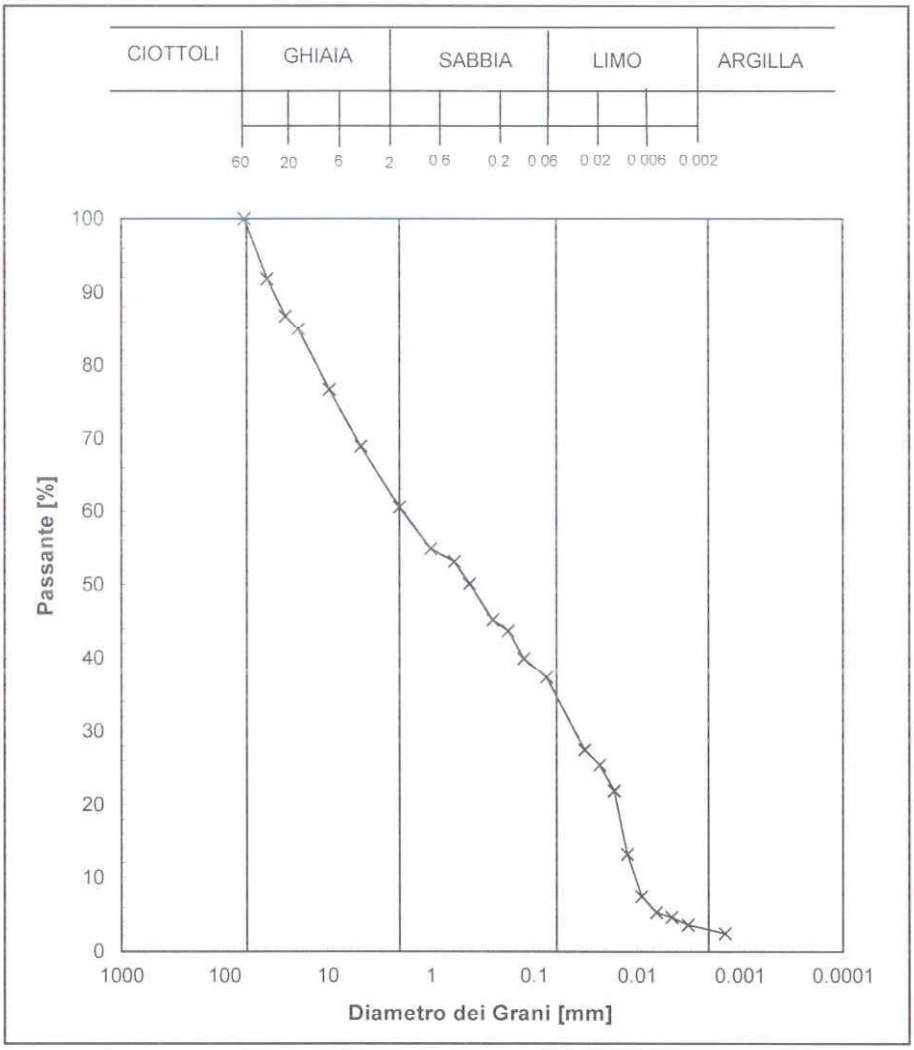
| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S6 |
| **Campione:** | CR1 |
| **Profondità prelievo [m]:** | 1 - 2 |
| **Prova:** | GR1 |
| **Data prova:** | 10/06/2016 |

**Vagliatura**

| Diametro vaglio [mm] | Massa tratt. [g] | Massa tratt. [%] |
|---|---|---|
| | - | - |
| 63.5 | 0 | 0 |
| 38.1 | 224.1 | 8.1 |
| 25.4 | 140.3 | 5.1 |
| 19.1 | 48.5 | 1.8 |
| 9.53 | 229.4 | 8.3 |
| 4.75 | 213.3 | 7.7 |
| 2 | 233.1 | 8.5 |
| 1 | 155.3 | 5.6 |
| 0.59 | 48.0 | 1.7 |
| 0.42 | 82.9 | 3.0 |
| 0.25 | 135.2 | 4.9 |
| 0.177 | 40.3 | 1.5 |
| 0.125 | 104.9 | 3.8 |
| 0.075 | 71.4 | 2.6 |

**Aerometria**

| Tempo [min] | Temp. [°C] | Lettura [-] |
|---|---|---|
| 2 | 22.6 | 1.0194 |
| 4 | 22.6 | 1.0182 |
| 8 | 22.6 | 1.0161 |
| 16 | 22.6 | 1.0109 |
| 32 | 22.6 | 1.0075 |
| 64 | 22.2 | 1.0063 |
| 128 | 22.2 | 1.0059 |
| 266 | 22.6 | 1.0052 |
| 1425 | 22.2 | 1.0046 |




**Curva granulom.**

| Diametro [mm] | Passante [%] |
|---|---|
| 6.35.E+01 | 100.0 |
| 3.81.E+01 | 91.9 |
| 2.54.E+01 | 86.8 |
| 1.91.E+01 | 85.0 |
| 9.53.E+00 | 76.7 |
| 4.75.E+00 | 69.0 |
| 2.00.E+00 | 60.5 |
| 1.00.E+00 | 54.9 |
| 5.90.E-01 | 53.1 |
| 4.20.E-01 | 50.1 |
| 2.50.E-01 | 45.2 |
| 1.77.E-01 | 43.8 |
| 1.25.E-01 | 40.0 |
| 7.50.E-02 | 37.4 |
| 3.20.E-02 | 27.5 |
| 2.29.E-02 | 25.5 |
| 1.66.E-02 | 21.9 |
| 1.23.E-02 | 13.2 |
| 8.98.E-03 | 7.5 |
| 6.45.E-03 | 5.3 |
| 4.58.E-03 | 4.6 |
| 3.18.E-03 | 3.6 |
| 1.39.E-03 | 2.5 |
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |

| Prova | Simbolo | Profondità da m | Profondità a m | Massa secca materiale [g] | Metodo preparazione materiale | % < 0.075mm | % CIOTTOLI | % GHIAIA | % SABBIA | % LIMO | % ARGILLA | Massa materiale aerometria [g] | L max [mm] | $D_{60}$ [mm] | $D_{50}$ [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GR1 | x | 1.00 | 2.00 | 2756.4 | VIA UMIDA | **37** | **1** | **39** | **26** | **32** | **3** | 35 | 66 | 1.9.E+00 | 4.1.E-01 |

NOTE:

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg)
Tel. 035 303120 - Fax 035 303120
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DETERMINAZIONE LIMITI DI ATTERBERG

Concessione Ministeriale Decreto n°55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| | |
|---|---|
| Sperimentatore: | Diaby |
| Direttore: | Saccenti |
| Data emissione: | 11/07/2016 |
| Rev. | 0 |

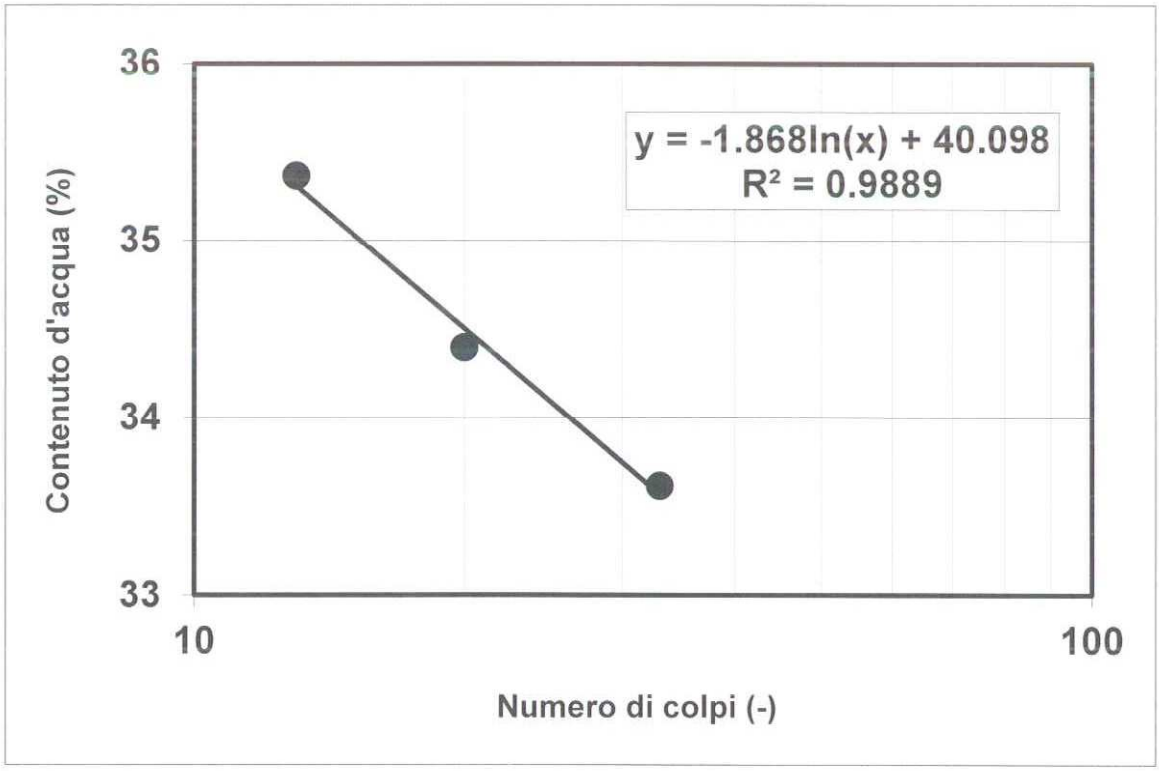
*Normativa di riferimento: ASTM D4318*
*N° certificato di prova:* 024/16/A/006
*N° verbale di accettazione: 024/2016*

| | |
|---|---|
| *Committente:* | WASTEITALIA |
| *Cantiere:* | BOSSARINO |
| *Sondaggio:* | S6 |
| *Campione:* | CR1 |
| *Profondità prova [m]:* | 1.00 - 2.00 |
| *Prova:* | LLP1 |
| *Data prova:* | 16/06/2016 |

| Limite Liquido | prova 1 | prova 2 | prova 3 |
|---|---|---|---|
| numero colpi | 33 | 20 | 13 |
| massa tara (g) | 2.17 | 2.18 | 2.16 |
| massa umido + tara (g) | 60.24 | 61.57 | 52.8 |
| massa secco + tara (g) | 45.63 | 46.37 | 39.57 |
| umidità (%) | 33.62 | 34.40 | 35.36 |

| Limite Plastico | | |
|---|---|---|
| massa tara (g) | 22.28 | 22.43 |
| massa umido + tara (g) | 37.54 | 36.1 |
| massa secco + tara (g) | 34.43 | 33.34 |
| umidità (%) | 25.60 | 25.30 |

| | |
|---|---|
| **Limite Liquido LL (%)** | **34.1** |
| **Limite Plastico LP (%)** | **25.4** |
| **Indice Plastico IP(%)** | **8.6** |




Note:

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 290388 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DESCRIZIONE CAMPIONE RIMANEGGIATO E CARATTERISTICHE GENERALI

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Saccenti |

*N° verbale accettazione:* 024/2016
*N° certificato di prova:* 024/16/A/007

| | |
|---|---|
| ***Committente:*** | WASTEITALIA |
| ***Cantiere:*** | BOSSARINO |
| ***Sondaggio:*** | S6 |
| ***Campione:*** | CRIF3 |
| ***Profondità prelievo [m]:*** | 9.00 - 10.00 |
| ***Prova:*** | Dc |
| ***Data fine descrizione:*** | 11/07/2016 |

### *Dati Generali di Campionamento*

Data prelievo:
Attrezzatura sondaggio: Rotazione
Attrezzatura prelievo: -
Modalità prelievo: -

### *Dati Generali del Campione*

Data arrivo in laboratorio: 07/06/2016
Data estrusione campione: -
Condizioni contenitore: -

Tipo contenitore: -
Forma campione -
Dimensioni Campione: Φ= - cm L= - cm
Classe del terreno: 1

### *Descrizione*

*(Normativa di riferimento: AGI 1977)*
**Rifiuti**

### *Risultati caratteristiche generali*

| Prova | Risultato della prova | *Normativa di riferimento* | *N° certificato di prova* |
|---|---|---|---|
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |

***Note:***
**Eseguita prova di taglio diretto**

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 303120 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

# PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma $\tau / \sigma$

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

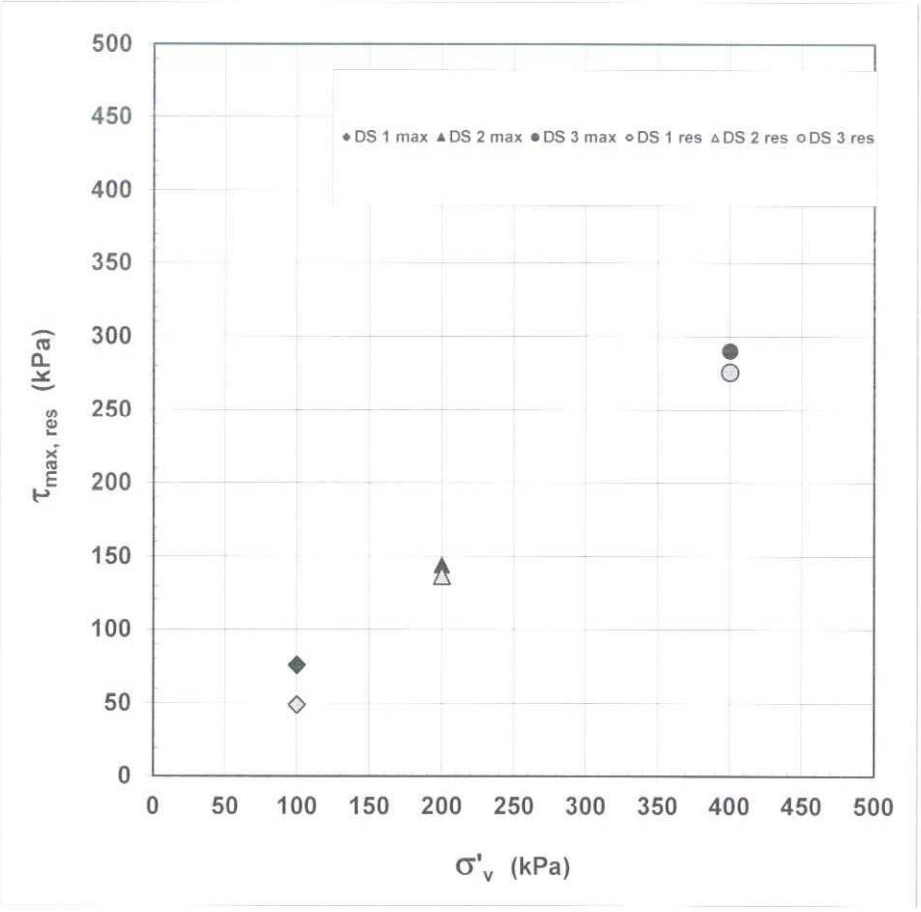
| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D3080/11
N° certificato di prova: 024/16/A/008
N° verbale di accettazione: 024/2016

| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S6 |
| **Campione:** | CRIF3 |
| **Profondità prova [m]:** | 9.00 - 10.00 |
| **Prova:** | DS CK0D |
| **Provino:** | 1 2 3 |
| **Data prova:** | 09/06/2016 |

## Dati generali dei provini

| Provino | Profondità | Dati iniziali | | | | | Dati a fine consolidazione | | | | | Valori di picco | | | Valori residui | | Rottura | | Metodo di preparazione - tipo di materiale |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A | H | $\gamma$ | w | $\gamma_d$ | $\sigma'_v$ | H | $\varepsilon_v$ | $\gamma_d$ | dfc | $\tau_{max}$ | $\delta_h$ | $\varepsilon_v$ | $\tau$ | $\delta_h$ | v | dfr | |
| - | m | $cm^2$ | mm | $kN/m^3$ | % | $kN/m^3$ | kPa | mm | % | $kN/m^3$ | h | kPa | mm | % | kPa | mm | mm/m | ore | - |
| 1 | 9.50 | 36.0 | 20.0 | 19.69 | 15.3 | 17.1 | 100 | 19.5 | 2.43 | 17.50 | 4 | 76 | 6.05 | 0.12 | 49 | 38.6 | 0.007 | 16 | Provini ricostruiti mediante compattazione umida all'umidità naturale, con taglio al vaglio con apertura 2 mm. |
| 2 | 9.50 | 36.0 | 20.0 | 19.67 | 15.3 | 17.1 | 200 | 19.2 | 3.82 | 17.74 | 4 | 144 | 5.10 | 0.57 | 137 | 38.0 | 0.007 | 16 | |
| 3 | 9.50 | 36.0 | 20.0 | 19.15 | 15.3 | 16.6 | 400 | 18.9 | 5.56 | 17.59 | 4 | 290 | 6.89 | 1.88 | 276 | 38.3 | 0.007 | 18 | |




**Legenda:**

A = area del provino
H = altezza del provino
$\gamma$ = peso di volume umido
w = contenuto d'acqua
$\gamma_d$ = peso di volume secco
$\sigma'$ = tensione efficace
$\varepsilon$ = deformazioni
$\tau$ = sforzo di taglio
$\delta$ = spostamento
v = velocità di rottura
dfc = durata consolidazione

Subscritto 'h' = orizzontale
Subscritto 'v' = verticale
Subscritto 'max' = MASSIMO
Subscritto 'res' = RESIDUO

Note: Tra il ciclo 1 ed il ciclo 5 sono stati eseguiti 3 cicli di taglio / ritorno per una deformazione totale di 24 mm

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 303120 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

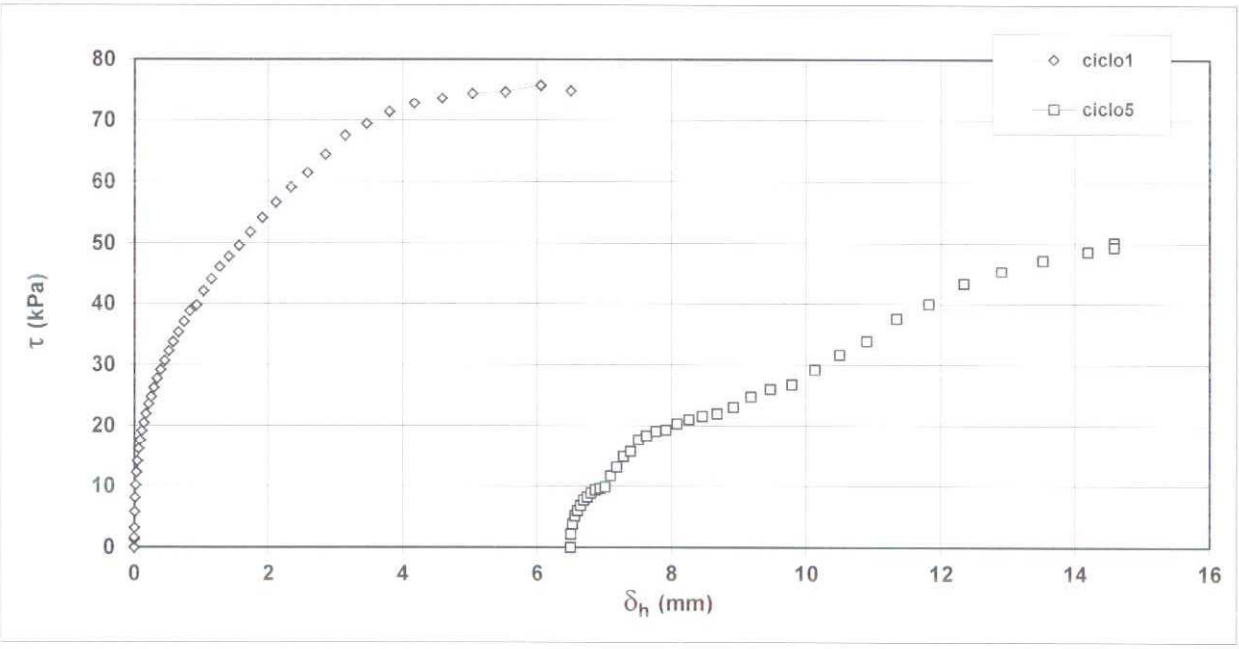
# PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma $\tau / \sigma$

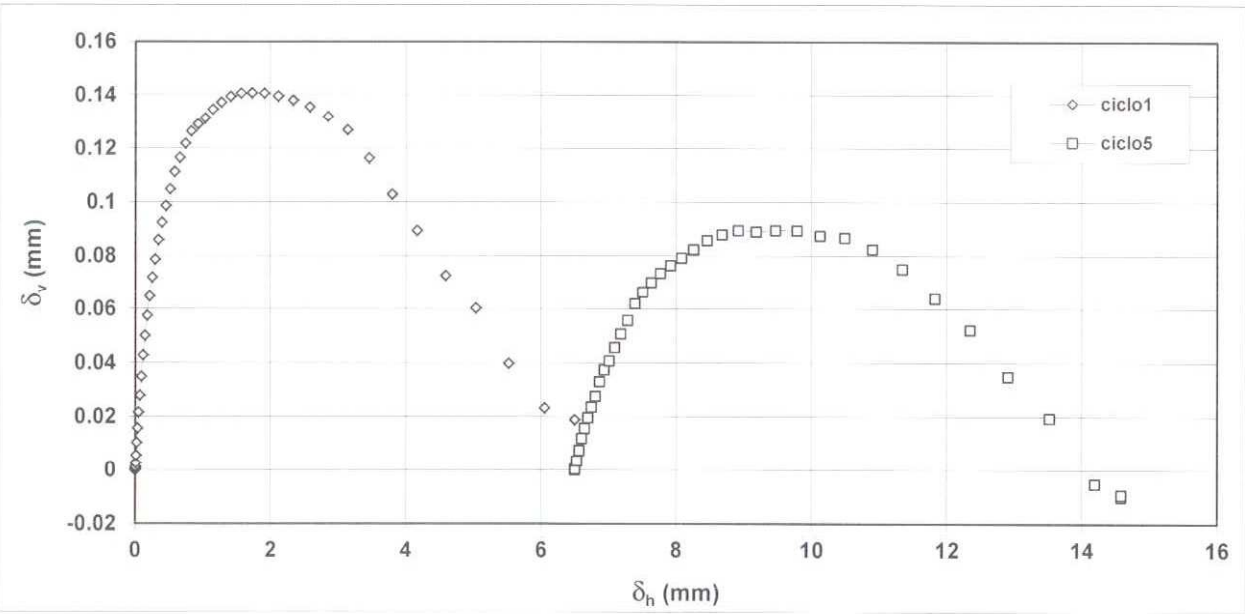
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D3080/11

| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S6 |
| **Campione:** | CRIF3 |
| **Profondità prova [m]:** | 9.00 - 10.00 |
| **Prova:** | DS CK0D |
| **Provino:** | 1 |
| **Data prova:** | 09/06/2016 |




Note:

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 303120 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

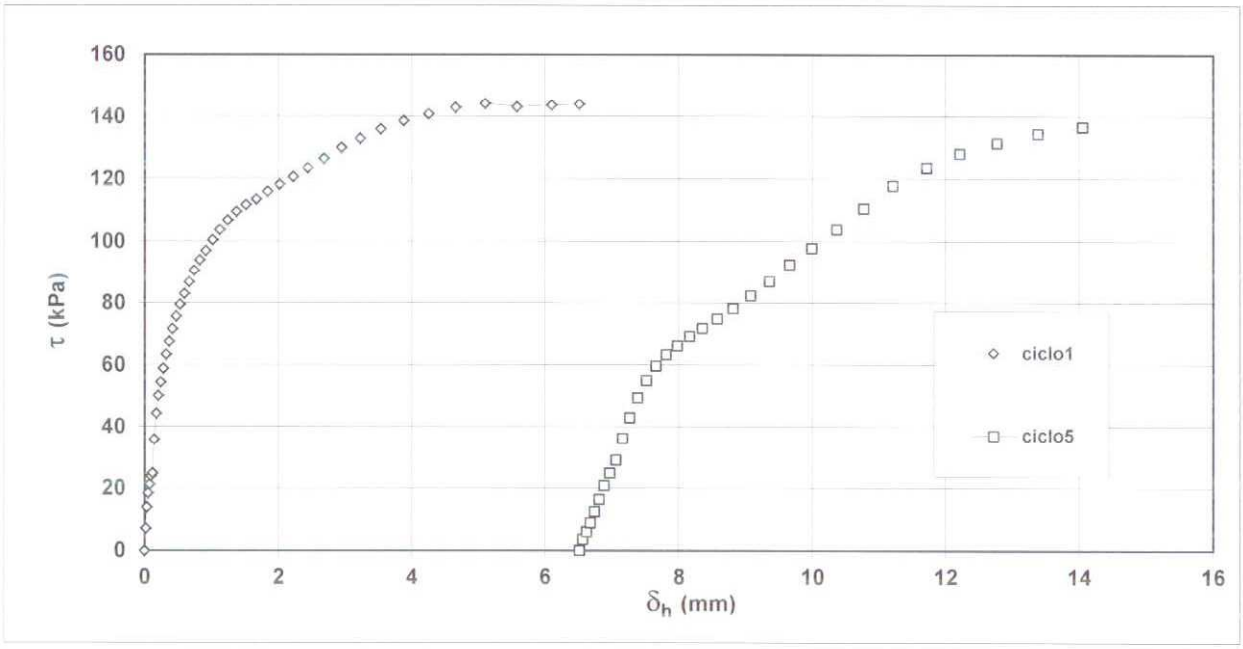
# PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma $\tau / \sigma$

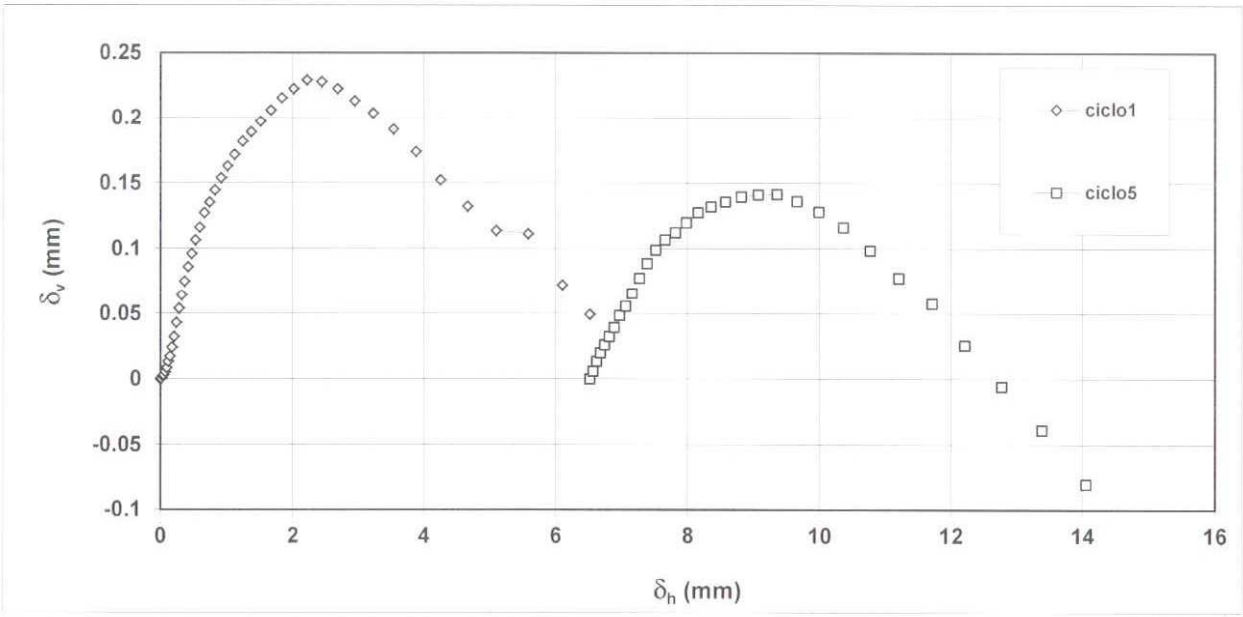
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angaloni | Sacconi |

Normativa di riferimento: ASTM D3080/11

| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S6 |
| **Campione:** | CRIF3 |
| **Profondità prova [m]:** | 9.00 - 10.00 |
| **Prova:** | DS CK0D |
| **Provino:** | 2 |
| **Data prova:** | 09/06/2016 |




Note:

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 303120 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

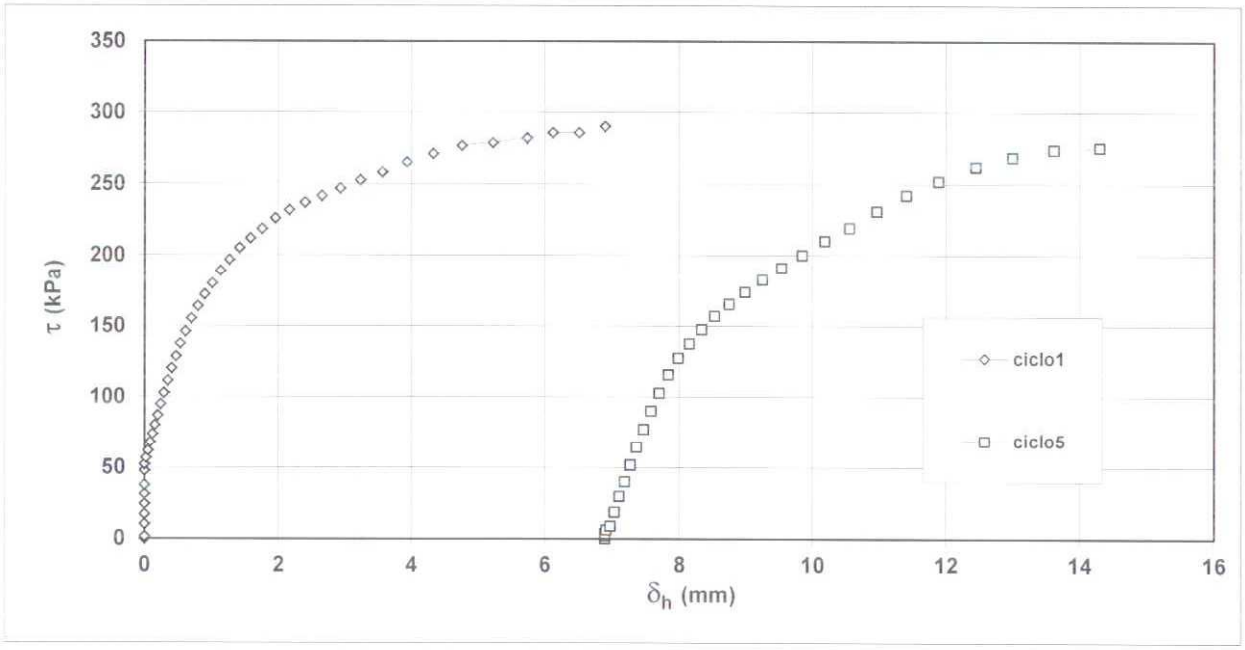
# PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma $\tau / \sigma$

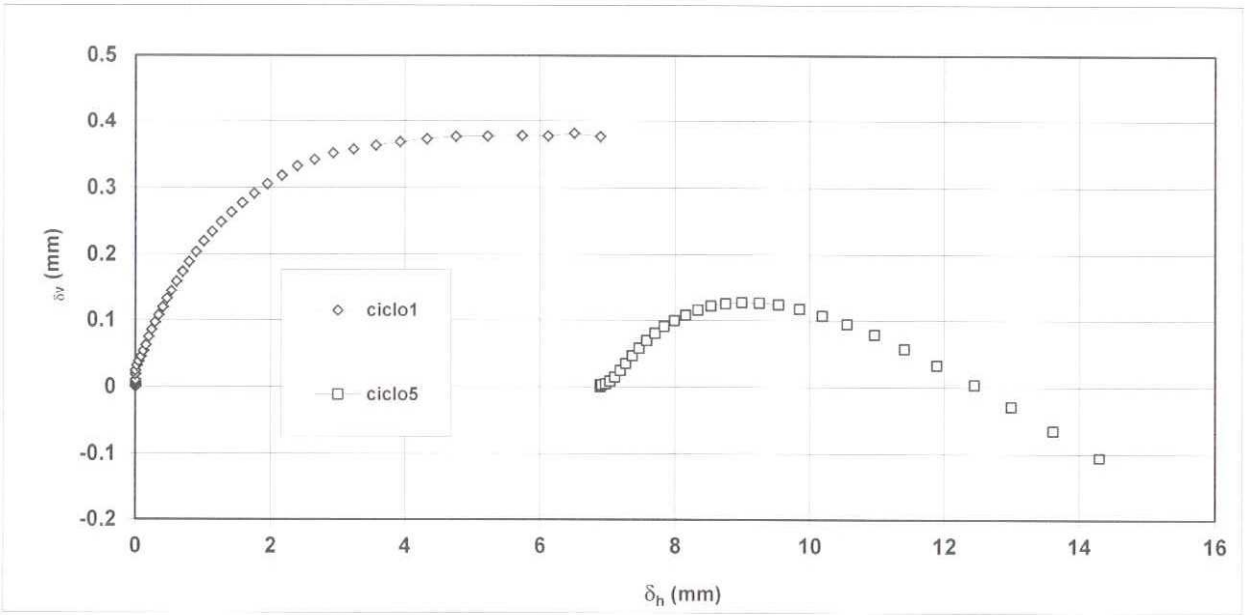
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D3080/11

| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S6 |
| **Campione:** | CRIF3 |
| **Profondità prova [m]:** | 9.00 - 10.00 |
| **Prova:** | DS CK0D |
| **Provino:** | 3 |
| **Data prova:** | 09/06/2016 |




Note:

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 290388 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DESCRIZIONE CAMPIONE RIMANEGGIATO E CARATTERISTICHE GENERALI

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angelini | Saccenti |

*N° verbale accettazione:* 024/2016
*N° certificato di prova:* 024/16/4/009

| | |
|---|---|
| ***Committente:*** | WASTEITALIA |
| ***Cantiere:*** | BOSSARINO |
| ***Sondaggio:*** | S7 |
| ***Campione:*** | CR1 |
| ***Profondità prelievo [m]:*** | 0.00 - 3.00 |
| ***Prova:*** | Dc |
| ***Data fine descrizione:*** | 11/07/2016 |

### *Dati Generali di Campionamento*

Data prelievo:
Attrezzatura sondaggio Rotazione
Attrezzatura prelievo: -
Modalità prelievo: -

### *Dati Generali del Campione*

Data arrivo in laboratorio: 07/06/2016
Data estrusione campione: -
Condizioni contenitore: -

Tipo contenitore: -
Forma campione -
Dimensioni Campione: Φ= - cm L= - cm
Classe del terreno: 1

### *Descrizione*

*(Normativa di riferimento: AGI 1977)*
**Sabbia con ghiaia con limo argillosa**

### *Risultati caratteristiche generali*

| Prova | Risultato della prova | *Normativa di riferimento* | *N° certificato di prova* |
|---|---|---|---|
| Limite liquido (%) | 32.9 | *ASTM D4318/95* | |
| Limite plastico (%) | 23.3 | *ASTM D4318/95* | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| Gr 1 | - | *ASTM D422/90* | |

***Note:***
-

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) Tel. 035 303120 - fax 035 290388 Email: ismgeo@ismgeo.it

# ANALISI GRANULOMETRICA

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D422/90
Classificazione di riferimento: AGI 1977
N° certificato di prova: 024/16/A/010
N° verbale di accettazione: 024/2016

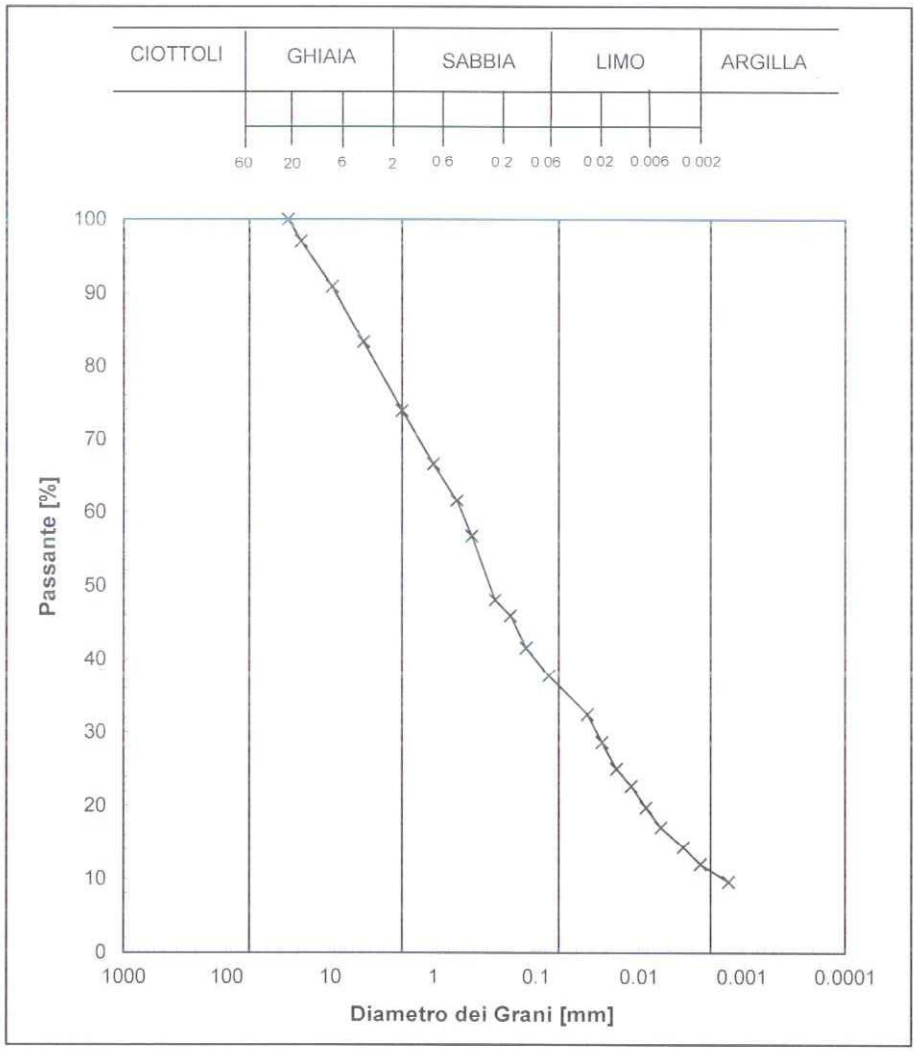
| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S7 |
| **Campione:** | CR1 |
| **Profondità prelievo [m]:** | 0 - 3 |
| **Prova:** | GR1 |
| **Data prova:** | 13/06/2016 |

**Vagliatura**

| Diametro vaglio [mm] | Massa tratt. [g] | Massa tratt. [%] |
|---|---|---|
| | - | - |
| | - | - |
| | - | - |
| 25.4 | 0 | 0 |
| 19.1 | 34.4 | 2.9 |
| 9.53 | 72.8 | 6.2 |
| 4.75 | 89.6 | 7.6 |
| 2 | 111.6 | 9.4 |
| 1 | 85.6 | 7.2 |
| 0.59 | 60.0 | 5.1 |
| 0.42 | 57.6 | 4.9 |
| 0.25 | 102.6 | 8.7 |
| 0.177 | 25.4 | 2.1 |
| 0.125 | 51.8 | 4.4 |
| 0.075 | 45.5 | 3.8 |

**Aerometria**

| Tempo [min] | Temp. [°C] | Lettura [-] |
|---|---|---|
| 2 | 22.2 | 1.0210 |
| 4 | 22.2 | 1.0189 |
| 8 | 22.2 | 1.0169 |
| 16 | 22.2 | 1.0156 |
| 32 | 22.2 | 1.0140 |
| 64 | 22.2 | 1.0125 |
| 180 | 22.5 | 1.0109 |
| 380 | 23.5 | 1.0094 |
| 1370 | 23.4 | 1.0081 |




**Curva granulom.**

| Diametro [mm] | Passante [%] |
|---|---|
| 2.54.E+01 | 100.0 |
| 1.91.E+01 | 97.1 |
| 9.53.E+00 | 90.9 |
| 4.75.E+00 | 83.4 |
| 2.00.E+00 | 73.9 |
| 1.00.E+00 | 66.7 |
| 5.90.E-01 | 61.6 |
| 4.20.E-01 | 56.8 |
| 2.50.E-01 | 48.1 |
| 1.77.E-01 | 45.9 |
| 1.25.E-01 | 41.6 |
| 7.50.E-02 | 37.7 |
| 3.16.E-02 | 32.4 |
| 2.29.E-02 | 28.7 |
| 1.65.E-02 | 25.0 |
| 1.18.E-02 | 22.7 |
| 8.50.E-03 | 19.8 |
| 6.10.E-03 | 17.1 |
| 3.68.E-03 | 14.3 |
| 2.53.E-03 | 12.0 |
| 1.35.E-03 | 9.6 |
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |

| Prova | Simbolo | Profondità da m | Profondità a m | Massa secca materiale [g] | Metodo preparazione materiale | % < 0.075mm | % CIOTTOLI | % GHIAIA | % SABBIA | % LIMO | % ARGILLA | Massa materiale aerometria [g] | L max [mm] | $D_{60}$ [mm] | $D_{50}$ [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GR1 | x | 0.00 | 3.00 | 1183.4 | VIA UMIDA | **38** | - | **26** | **38** | **25** | **11** | 33 | 34 | 5.3.E-01 | 2.8.E-01 |

NOTE:

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg)
Tel. 035 303120 - Fax 035 303120
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DETERMINAZIONE LIMITI DI ATTERBERG

Concessione Ministeriale Decreto n°55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| | |
|---|---|
| Sperimentatore: | Diaby |
| Direttore: | Saccenti |
| Data emissione: | 11/07/2016 |
| Rev. | 0 |

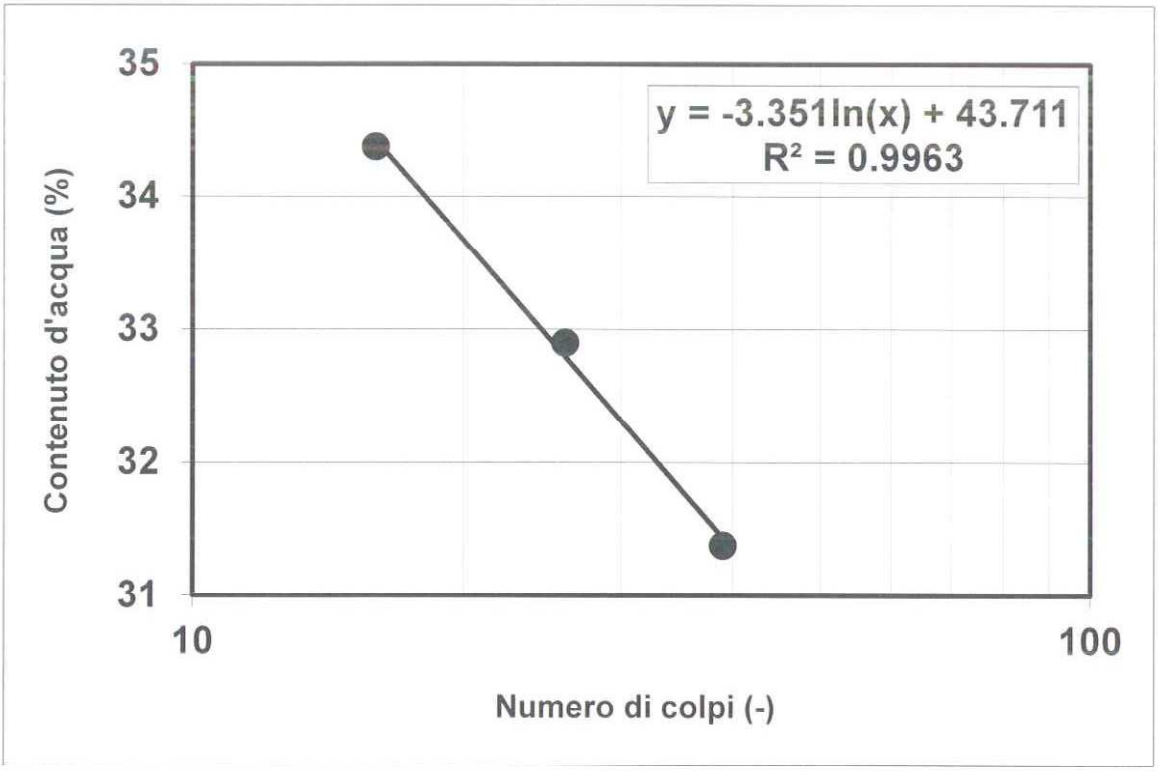
Normativa di riferimento: ASTM D4318
N° certificato di prova: 024/16/A/011
N° verbale di accettazione: 024/2016

| | |
|---|---|
| *Committente:* | WASTEITALIA |
| *Cantiere:* | BOSSARINO |
| *Sondaggio:* | S7 |
| *Campione:* | CR1 |
| *Profondità prova [m]:* | 0.00 - 3.00 |
| *Prova:* | LLP1 |
| *Data prova:* | 16/06/2016 |

| Limite Liquido | prova 1 | prova 2 | prova 3 |
|---|---|---|---|
| numero colpi | 39 | 26 | 16 |
| massa tara (g) | 2.17 | 2.16 | 2.19 |
| massa umido + tara (g) | 59.03 | 60.21 | 62.12 |
| massa secco + tara (g) | 45.45 | 45.84 | 46.79 |
| umidità (%) | 31.38 | 32.90 | 34.37 |

| Limite Plastico | | |
|---|---|---|
| massa tara (g) | 22.3 | 22.34 |
| massa umido + tara (g) | 39.84 | 43.15 |
| massa secco + tara (g) | 36.51 | 39.23 |
| umidità (%) | 23.43 | 23.21 |

| | |
|---|---|
| **Limite Liquido LL (%)** | **32.9** |
| **Limite Plastico LP (%)** | **23.3** |
| **Indice Plastico IP(%)** | **9.6** |




Note:

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 290388 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DESCRIZIONE CAMPIONE RIMANEGGIATO E CARATTERISTICHE GENERALI

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Saccenti |

*N° verbale accettazione:* 024/2016
*N° certificato di prova:* 024/16/A/012

| | |
|---|---|
| ***Committente:*** | WASTEITALIA |
| ***Cantiere:*** | BOSSARINO |
| ***Sondaggio:*** | S7 |
| ***Campione:*** | CRIF2 |
| ***Profondità prelievo [m]:*** | 3.00 - 4.00 |
| ***Prova:*** | Dc |
| ***Data fine descrizione:*** | 11/07/2016 |

### *Dati Generali di Campionamento*

Data prelievo:
Attrezzatura sondaggio: Rotazione
Attrezzatura prelievo: -
Modalità prelievo: -

### *Dati Generali del Campione*

Data arrivo in laboratorio: 07/06/2016
Data estrusione campione: -
Condizioni contenitore: -

Tipo contenitore: -
Forma campione -
Dimensioni Campione: Φ= - cm L= - cm
Classe del terreno: 1

### *Descrizione*

*(Normativa di riferimento: AGI 1977)*
**Rifiuti**

### *Risultati caratteristiche generali*

| Prova | Risultato della prova | *Normativa di riferimento* | *N° certificato di prova* |
|---|---|---|---|
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |

***Note:***
**Eseguita prova triassiale consolidata drenata**

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 303120 - Email:
ismgeo@ismgeo.it

# PROVA TRIASSIALE CID - Primo foglio: dati generali e diagramma t - s'

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

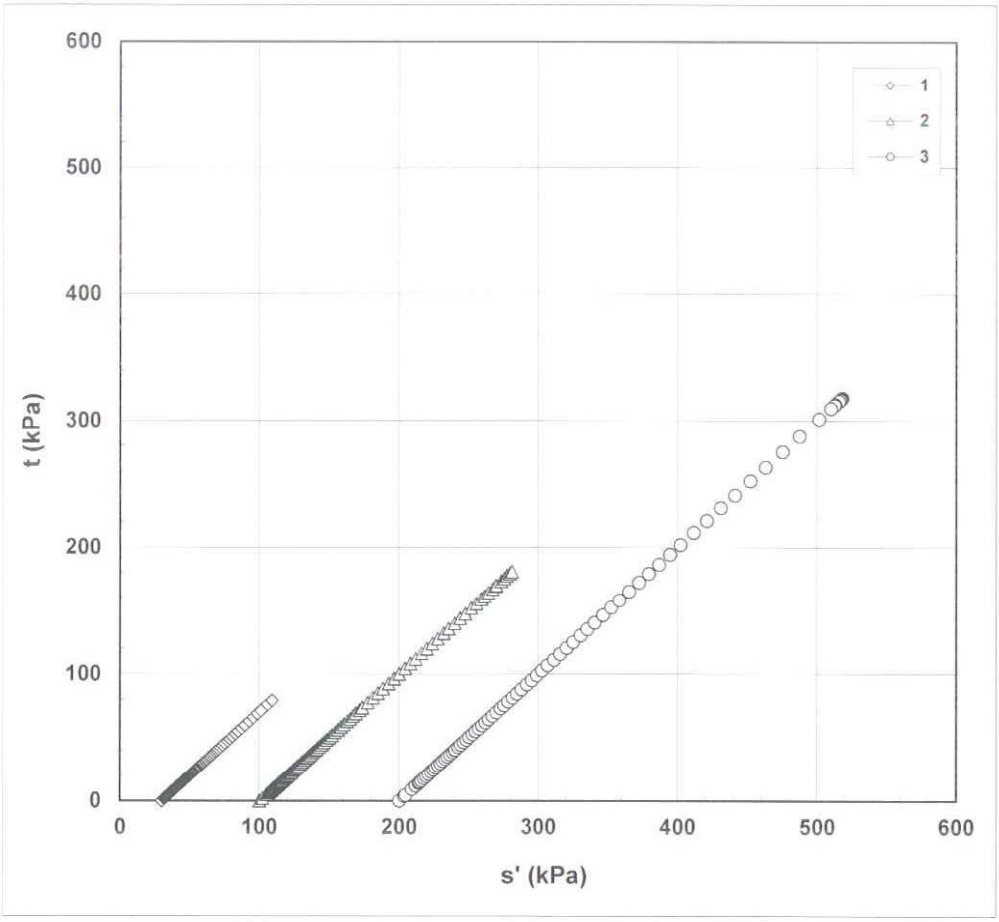
| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D4767/95
N° certificato di prova: 024/16/A/013
N° verbale di accettazione: 024/2016

| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S7 |
| **Campione:** | CRIF2 |
| **Profondità prova [m]:** | 3m - 4m |
| **Prova:** | Tx CID |
| **Provino:** | 1 2 3 |
| **Data prova:** | 08/06/2016 |

## Dati generali dei provini

| Provino | Profondità | Dati iniziali | | | | | Dati a fine consolidazione | | | | | | | | | Dati a rottura | | | | Metodo di preparazione - tipo di materiale |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | D | H | $\gamma$ | w | e | $\sigma'_a$ | $\sigma'_r$ | K | B.P. | B | $\varepsilon_a$ | $\varepsilon_v$ | e | DFC | v | t | s' | $\varepsilon_a$ | |
| - | m | mm | mm | kN/m$^3$ | % | - | kPa | kPa | - | kPa | - | % | % | - | g | mm/m | kPa | kPa | % | - |
| 1 | 3.50 | 100.0 | 200.0 | 15.00 | - | - | 30 | 30 | 1.00 | 200 | 0.87 | 0.4 | 1.1 | - | | 0.200 | 79 | 109 | 21.1 | |
| 2 | 3.50 | 100.0 | 200.0 | 15.00 | - | - | 100 | 100 | 1.00 | 200 | 0.93 | 1.3 | 3.8 | - | | 0.200 | 181 | 281 | 19.1 | |
| 3 | 3.50 | 100.0 | 200.0 | 15.00 | - | - | 200 | 200 | 1.00 | 200 | 0.70 | 8.3 | 16.9 | - | | 0.300 | 318 | 518 | 18.2 | ricostruito |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |




**Legenda:**

D = diametro del provino
H = altezza del provino
$\gamma$ = peso di volume umido
w = contenuto d'acqua
e = indice dei vuoti
$\sigma$, $\sigma'$ =tensioni totali ed efficaci
$K = \sigma'_r / \sigma'_a$ a fine consolidazione
B.P. = back pressure
B = coefficiente di Skempton
$\varepsilon$ = deformazioni
$t = (\sigma_a - \sigma_r) / 2$
$s' = (\sigma'_a + \sigma'_r) / 2$
V = volume del provino
DFC = durata consolidazione
v = velocità delle pressa
Subscritto 'a' = assiale
Subscritto 'r' = radiale
Subscritto 'v' = volumetrico

**Note:** Criterio di rottura = t max

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 303120 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

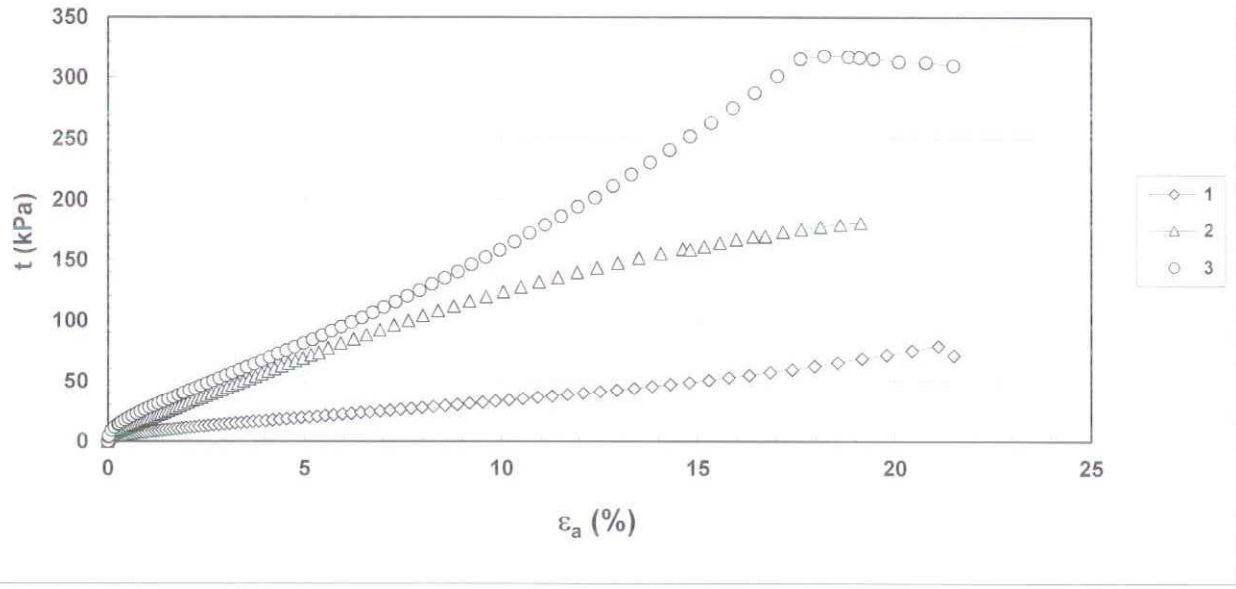
# PROVA TRIASSIALE CID - Secondo foglio: diagrammi $t - \varepsilon_a$ e $\varepsilon_v - \varepsilon_a$

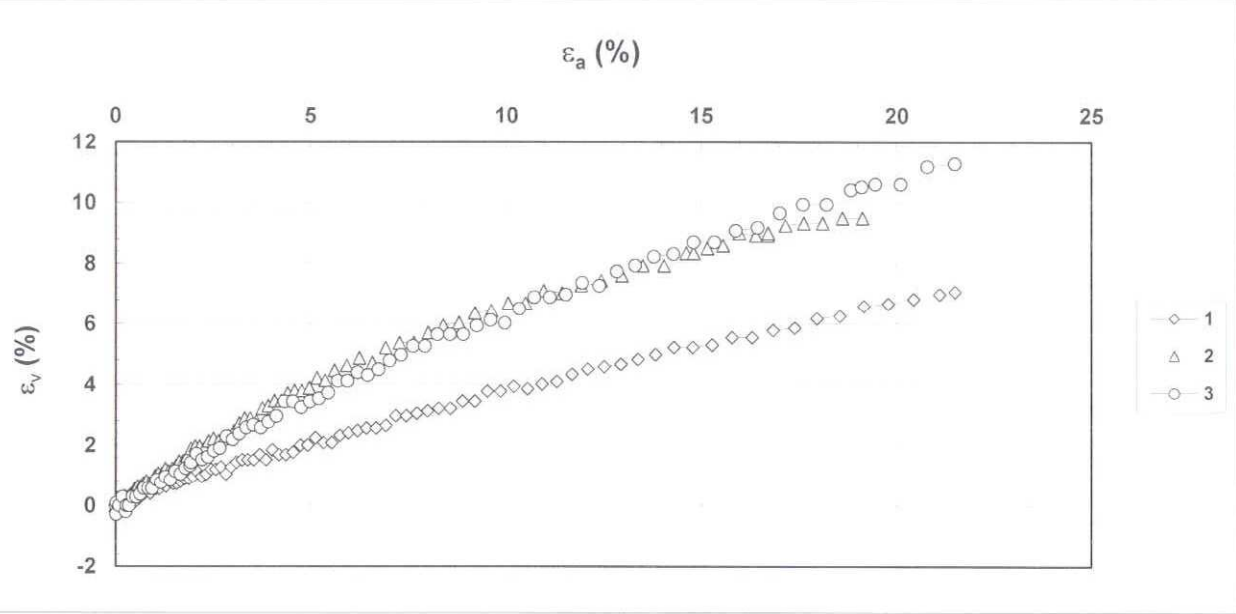
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D4767/95

| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S7 |
| **Campione:** | CRIF2 |
| **Profondità prova [m]:** | 3m - 4m |
| **Prova:** | Tx CID |
| **Provino:** | 1 2 3 |
| **Data prova:** | 08/06/2016 |



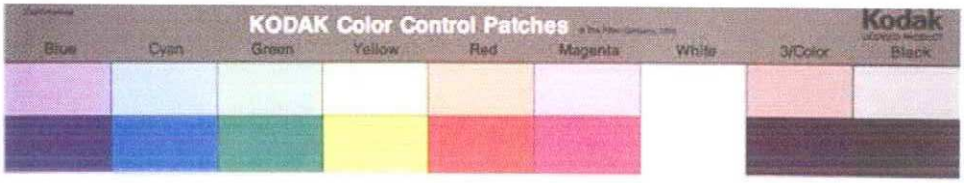




**Note:** Criterio di rottura = t max

Ricerca sperimentale, modellazione fisica, prove di laboratorio ed in sito
Concessione Ministeriale Decreto Nr. 55126 del 12/07/06 Settori A, B e C

| Rev | data emiss. | eseguito da | elaborato da |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Sirtoli |

| | |
|---|---|
| *Committente:* | WASTEITALIA |
| *Cantiere:* | BOSSARINO |
| *Sondaggio:* | S7 |
| *Campione:* | CRIF2-TXCID1 |
| *Profondità [m]:* | 3.00 – 4.00 |
| *Data prova:* | 11/07/2016 |







NOTE: provino post-rottura

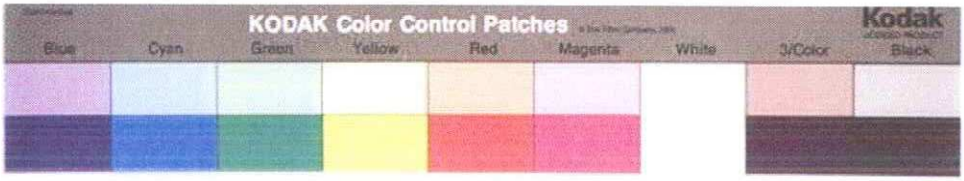


Istituto Sperimentale Modelli GEOtecnici
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) - ☎ tel. 035 303120 - 🖷 fax 035 303120 ✉ Email: ismgeo@ismgeo.it

Ricerca sperimentale, modellazione fisica, prove di laboratorio ed in sito
Concessione Ministeriale Decreto Nr. 55126 del 12/07/06 Settori A, B e C

| Rev | data emiss. | eseguito da | elaborato da |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Sirtoli |

| | |
|---|---|
| *Committente:* | WASTEITALIA |
| *Cantiere:* | BOSSARINO |
| *Sondaggio:* | S7 |
| *Campione:* | CRIF2-TXCID2 |
| *Profondità [m]:* | 3.00 – 4.00 |
| *Data prova:* | 11/07/2016 |







NOTE: provino post-rottura

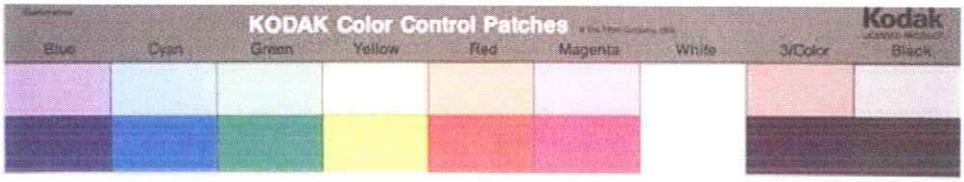


Istituto Sperimentale Modelli GEOtecnici
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) - ☎ tel. 035 303120 - 🖷 fax 035 303120 ✉ Email: ismgeo@ismgeo.it

Ricerca sperimentale, modellazione fisica, prove di laboratorio ed in sito
Concessione Ministeriale Decreto Nr. 55126 del 12/07/06 Settori A, B e C

| Rev | data emiss. | eseguito da | elaborato da |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Sirtoli |

| | |
|---|---|
| *Committente:* | WASTEITALIA |
| *Cantiere:* | BOSSARINO |
| *Sondaggio:* | S7 |
| *Campione:* | CRIF2-TXCID3 |
| *Profondità [m]:* | 3.00 – 4.00 |
| *Data prova:* | 11/07/2016 |







NOTE: provino post-rottura



Istituto Sperimentale Modelli GEOtecnici
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) - ☎ tel. 035 303120 - 🖷 fax 035 303120 ✉ Email: ismgeo@ismgeo.it

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 290388 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DESCRIZIONE CAMPIONE RIMANEGGIATO E CARATTERISTICHE GENERALI

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Saccenti |

N° verbale accettazione: 024/2016
N° certificato di prova: 024/16/A/014

| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S7 |
| **Campione:** | CRIF3 |
| **Profondità prelievo [m]:** | 6.00 - 7.00 |
| **Prova:** | Dc |
| **Data fine descrizione:** | 11/07/2016 |

### Dati Generali di Campionamento

Data prelievo:
Attrezzatura sondaggio: Rotazione
Attrezzatura prelievo: -
Modalità prelievo: -

### Dati Generali del Campione

Data arrivo in laboratorio: 07/06/2016
Data estrusione campione: -
Condizioni contenitore: -

Tipo contenitore: -
Forma campione -
Dimensioni Campione: Φ= - cm L= - cm
Classe del terreno: 1

### Descrizione

*(Normativa di riferimento: AGI 1977)*
**Rifiuti**

### Risultati caratteristiche generali

| Prova | Risultato della prova | *Normativa di riferimento* | *N° certificato di prova* |
|---|---|---|---|
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |

**Note:**
Eseguita prova triassiale consolidata drenata

Ricerca sperimentale, modellazione fisica, prove di laboratorio ed in sito
Concessione Ministeriale Decreto Nr. 55126 del 12/07/06 Settori A, B e C

| Rev | data emiss. | eseguito da | elaborato da |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Sirtoli |

| | |
|---|---|
| *Committente:* | WASTEITALIA |
| *Cantiere:* | BOSSARINO |
| *Sondaggio:* | S7 |
| *Campione:* | CRIF3-TXCID1 |
| *Profondità [m]:* | 6.00 – 7.00 |
| *Data prova:* | 11/07/2016 |







NOTE: provino pre-rottura



Istituto Sperimentale Modelli GEOtecnici
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) - ☎ tel. 035 303120 - 🖷 fax 035 303120 ✉ Email: ismgeo@ismgeo.it

Ricerca sperimentale, modellazione fisica, prove di laboratorio ed in sito
Concessione Ministeriale Decreto Nr. 55126 del 12/07/06 Settori A, B e C

| Rev | data emiss. | eseguito da | elaborato da |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Sirtoli |

| | |
|---|---|
| *Committente:* | WASTEITALIA |
| *Cantiere:* | BOSSARINO |
| *Sondaggio:* | S7 |
| *Campione:* | CRIF3-TXCID2 |
| *Profondità [m]:* | 6.00 – 7.00 |
| *Data prova:* | 11/07/2016 |







NOTE: provino pre-rottura

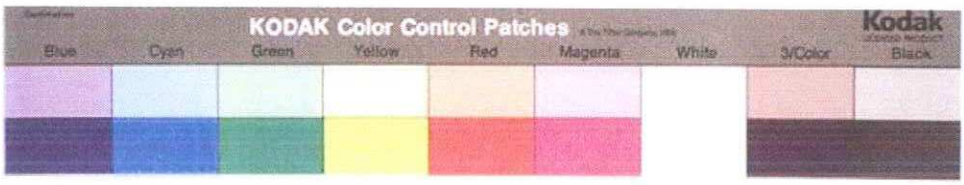


Istituto Sperimentale Modelli GEOtecnici
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) - ☎ tel. 035 303120 - 🖷 fax 035 303120 ✉ Email: ismgeo@ismgeo.it

# RIPRESA FOTOGRAFICA

| Rev | data emiss. | eseguito da | elaborato da |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Sirtoli |

| | |
|---|---|
| *Committente:* | WASTEITALIA |
| *Cantiere:* | BOSSARINO |
| *Sondaggio:* | S7 |
| *Campione:* | CRIF3-TXCID3 |
| *Profondità [m]:* | 6.00 – 7.00 |
| *Data prova:* | 11/07/2016 |







NOTE: provino pre-rottura



Istituto Sperimentale Modelli GEOtecnici
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) - ☎ tel. 035 303120 - 🖷 fax 035 303120 ✉ Email: ismgeo@ismgeo.it

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 303120 - Email:
ismgeo@ismgeo.it

# PROVA TRIASSIALE CID - Primo foglio: dati generali e diagramma t - s'

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

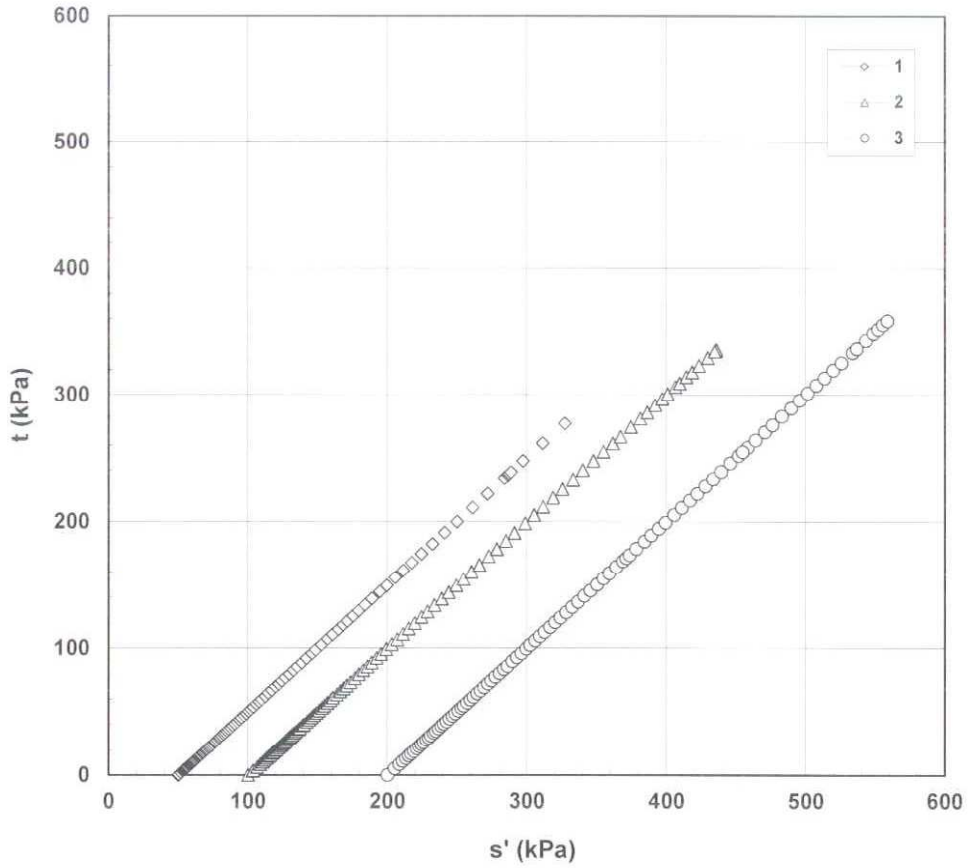
| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Saccenti |

*Normativa di riferimento:* ASTM D4767/95
*N° certificato di prova:* E24/16/7/015
*N° verbale di accettazione:* 024/2016

| | |
|---|---|
| ***Committente:*** | WASTEITALIA |
| ***Cantiere:*** | BOSSARINO |
| ***Sondaggio:*** | S7 |
| ***Campione:*** | CRIF3 |
| ***Profondità prova [m]:*** | 6m - 7m |
| ***Prova:*** | Tx CID |
| ***Provino:*** | 1 2 3 |
| ***Data prova:*** | 13/06/2016 |

## *Dati generali dei provini*

| Provino | Profondità | Dati iniziali | | | | | Dati a fine consolidazione | | | | | | | | | Dati a rottura | | | | Metodo di preparazione - tipo di materiale |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | D | H | $\gamma$ | w | e | $\sigma'_a$ | $\sigma'_r$ | K | B.P. | B | $\varepsilon_a$ | $\varepsilon_v$ | e | DFC | v | t | s' | $\varepsilon_a$ | |
| - | m | mm | mm | kN/m$^3$ | % | - | kPa | kPa | - | kPa | - | % | % | - | g | mm/m | kPa | kPa | % | - |
| 1 | 6.50 | 100.0 | 180.0 | 16.66 | - | - | 50 | 50 | 1.00 | 200 | 0.89 | 1.5 | 3.5 | - | | 0.200 | 277 | 327 | 27.7 | |
| 2 | 6.50 | 100.0 | 180.0 | 16.66 | - | - | 100 | 100 | 1.00 | 200 | 0.91 | 1.0 | 9.5 | - | | 0.200 | 336 | 436 | 26.5 | |
| 3 | 6.50 | 100.0 | 180.0 | 16.66 | - | - | 200 | 200 | 1.00 | 200 | 0.00 | 4.0 | 8.0 | - | | 0.200 | 359 | 559 | 27.3 | ricostruito |




***Legenda:***

D = diametro del provino
H = altezza del provino
$\gamma$ = peso di volume umido
w = contenuto d'acqua
e = indice dei vuoti
$\sigma$, $\sigma'$ =tensioni totali ed efficaci
K = $\sigma'_r$ / $\sigma'_a$ a fine consolidazione
B.P. = back pressure
B = coefficiente di Skempton
$\varepsilon$ = deformazioni
t = $(\sigma_a - \sigma_r) / 2$
s' = $(\sigma'_a + \sigma'_r) / 2$
V = volume del provino
DFC = durata consolidazione
v = velocità delle pressa
Subscritto 'a' = assiale
Subscritto 'r' = radiale
Subscritto 'v' = volumetrico

**Note:** *Criterio di rottura = t max*

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 303120 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

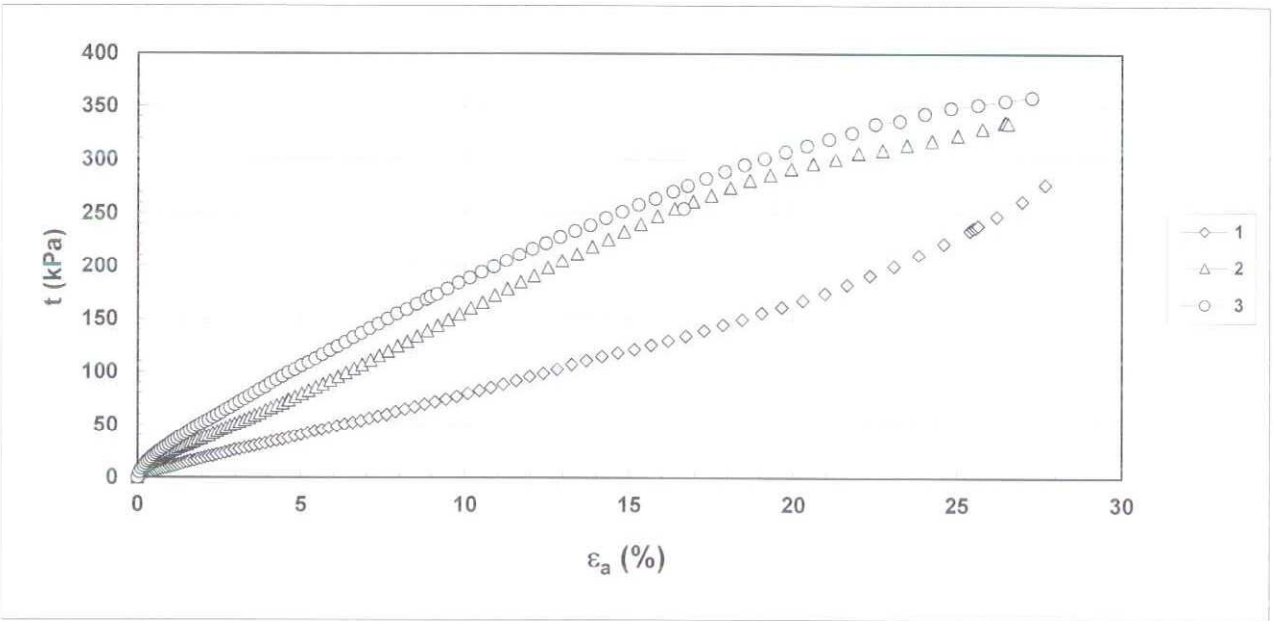
# PROVA TRIASSIALE CID - Secondo foglio: diagrammi $t - \varepsilon_a$ e $\varepsilon_v - \varepsilon_a$

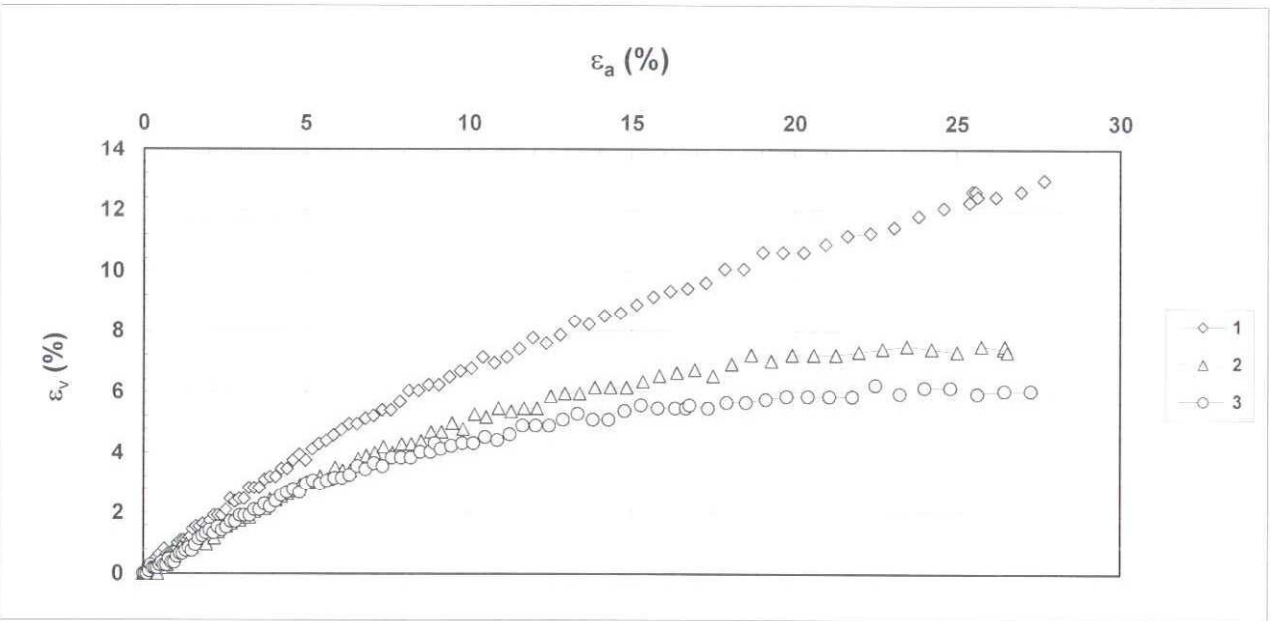
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D4767/95

| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S7 |
| **Campione:** | CRIF3 |
| **Profondità prova [m]:** | 6m - 7m |
| **Prova:** | Tx CID |
| **Provino:** | 1 2 3 |
| **Data prova:** | 13/06/2016 |




**Note:** Criterio di rottura = t max

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 290388 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DESCRIZIONE CAMPIONE RIMANEGGIATO E CARATTERISTICHE GENERALI

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

*N° verbale accettazione:* 024/2016
*N° certificato di prova:* 024/16A/016

| | |
|---|---|
| ***Committente:*** | WASTEITALIA |
| ***Cantiere:*** | BOSSARINO |
| ***Sondaggio:*** | S7 |
| ***Campione:*** | CR4 |
| ***Profondità prelievo [m]:*** | 7.00 - 8.00 |
| ***Prova:*** | Dc |
| ***Data fine descrizione:*** | 11/07/2016 |

### *Dati Generali di Campionamento*

Data prelievo:
Attrezzatura sondaggio: Rotazione
Attrezzatura prelievo: -
Modalità prelievo: -

### *Dati Generali del Campione*

Data arrivo in laboratorio: 07/06/2016
Data estrusione campione: -
Condizioni contenitore: -

Tipo contenitore: -
Forma campione -
Dimensioni Campione: Φ= - cm L= - cm
Classe del terreno: 1

### *Descrizione*

*(Normativa di riferimento: AGI 1977)*

**Ghiaia con sabbia con qualche ciottolo debolmente argillosa**

### *Risultati caratteristiche generali*

| Prova | Risultato della prova | *Normativa di riferimento* | *N° certificato di prova* |
|---|---|---|---|
| Limite liquido (%) | 34.9 | *ASTM D4318/95* | |
| Limite plastico (%) | 24.3 | *ASTM D4318/95* | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| Gr 1 | - | *ASTM D422/90* | |

***Note:***

-

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) Tel. 035 303120 - fax 035 290388 Email: ismgeo@ismgeo.it

# ANALISI GRANULOMETRICA

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D422/90
Classificazione di riferimento: AGI 1977
N° certificato di prova: 024/16/A/017
N° verbale di accettazione: 024/2016

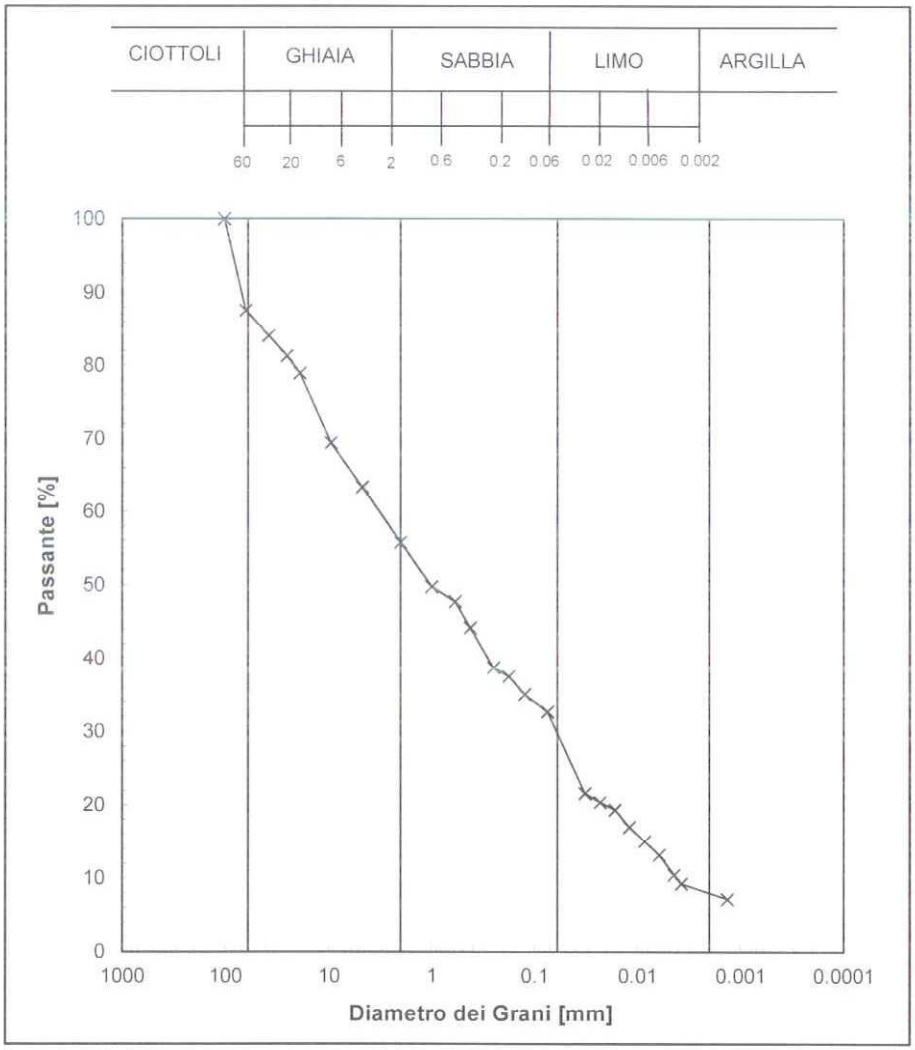
| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S7 |
| **Campione:** | CR4 |
| **Profondità prelievo [m]:** | 7 - 8 |
| **Prova:** | GR1 |
| **Data prova:** | 10/06/2016 |

**Vagliatura**

| Diametro vaglio [mm] | Massa tratt. [g] | Massa tratt. [%] |
|---|---|---|
| 101.6 | 0 | 0 |
| 63.5 | 301.1 | 12.4 |
| 38.1 | 85.5 | 3.5 |
| 25.4 | 67.6 | 2.8 |
| 19.1 | 57.3 | 2.4 |
| 9.53 | 230.1 | 9.5 |
| 4.75 | 147.9 | 6.1 |
| 2 | 184.7 | 7.6 |
| 1 | 145.2 | 6.0 |
| 0.59 | 49.1 | 2.0 |
| 0.42 | 86.7 | 3.6 |
| 0.25 | 132.1 | 5.4 |
| 0.177 | 30.6 | 1.3 |
| 0.125 | 60.1 | 2.5 |
| 0.075 | 56.2 | 2.3 |

**Aerometria**

| Tempo [min] | Temp. [°C] | Lettura [-] |
|---|---|---|
| 2 | 22.9 | 1.0173 |
| 4 | 22.9 | 1.0165 |
| 8 | 22.9 | 1.0158 |
| 16 | 22.6 | 1.0143 |
| 32 | 22.6 | 1.0130 |
| 64 | 22.3 | 1.0118 |
| 128 | 22.2 | 1.0100 |
| 178 | 22.7 | 1.0091 |
| 1435 | 22.2 | 1.0078 |




**Curva granulom.**

| Diametro [mm] | Passante [%] |
|---|---|
| 1.02.E+02 | 100.0 |
| 6.35.E+01 | 87.6 |
| 3.81.E+01 | 84.1 |
| 2.54.E+01 | 81.3 |
| 1.91.E+01 | 78.9 |
| 9.53.E+00 | 69.5 |
| 4.75.E+00 | 63.4 |
| 2.00.E+00 | 55.8 |
| 1.00.E+00 | 49.8 |
| 5.90.E-01 | 47.7 |
| 4.20.E-01 | 44.2 |
| 2.50.E-01 | 38.7 |
| 1.77.E-01 | 37.5 |
| 1.25.E-01 | 35.0 |
| 7.50.E-02 | 32.7 |
| 3.26.E-02 | 21.6 |
| 2.32.E-02 | 20.4 |
| 1.65.E-02 | 19.4 |
| 1.19.E-02 | 17.0 |
| 8.53.E-03 | 15.1 |
| 6.13.E-03 | 13.2 |
| 4.41.E-03 | 10.5 |
| 3.75.E-03 | 9.3 |
| 1.34.E-03 | 7.2 |
| - | - |
| - | - |
| - | - |

| Prova | Simbolo | Profondità da m | Profondità a m | Massa secca materiale [g] | Metodo preparazione materiale | % < 0.075mm | % CIOTTOLI | % GHIAIA | % SABBIA | % LIMO | % ARGILLA | Massa materiale aerometria [g] | L max [mm] | $D_{60}$ [mm] | $D_{50}$ [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GR1 | x | 7.00 | 8.00 | 2427.6 | VIA UMIDA | **33** | **13** | **31** | **26** | **22** | **8** | 35 | 115 | 3.2.E+00 | 1.0.E+00 |

NOTE:

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg)
Tel. 035 303120 - Fax 035 303120
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DETERMINAZIONE LIMITI DI ATTERBERG

Concessione Ministeriale Decreto n°55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| | |
|---|---|
| Sperimentatore: | Diaby |
| Direttore: | Saccenti |
| Data emissione: | 11/07/2016 |
| Rev. | 0 |

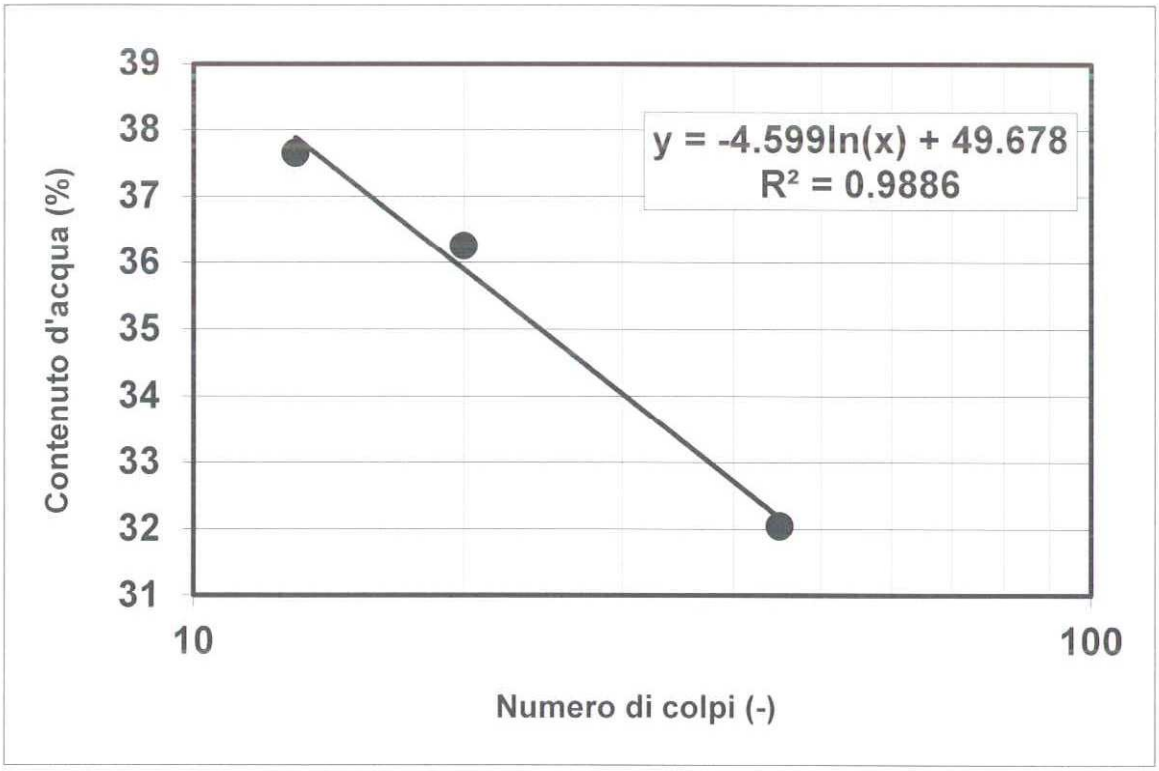
| | |
|---|---|
| *Committente:* | WASTEITALIA |
| *Cantiere:* | BOSSARINO |
| *Sondaggio:* | S7 |
| *Campione:* | CR4 |
| *Profondità prova [m]:* | 7.00 - 8.00 |
| *Prova:* | LLP1 |
| *Data prova:* | 16/06/2016 |

*Normativa di riferimento: ASTM D4318*
*N° certificato di prova:* 024/16/A/018
*N° verbale di accettazione: 024/2016*

| Limite Liquido | | | |
|---|---|---|---|
| | prova 1 | prova 2 | prova 3 |
| numero colpi | 13 | 20 | 45 |
| massa tara (g) | 2.16 | 2.17 | 2.17 |
| massa umido + tara (g) | 55.72 | 61.1 | 45.68 |
| massa secco + tara (g) | 41.07 | 45.42 | 35.12 |
| umidità (%) | 37.65 | 36.25 | 32.05 |

| Limite Plastico | | |
|---|---|---|
| massa tara (g) | 2.16 | 2.16 |
| massa umido + tara (g) | 14.96 | 17.47 |
| massa secco + tara (g) | 12.46 | 14.48 |
| umidità (%) | 24.27 | 24.27 |

| | |
|---|---|
| **Limite Liquido LL (%)** | **34.9** |
| **Limite Plastico LP (%)** | **24.3** |
| **Indice Plastico IP(%)** | **10.6** |




Note:

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 290388 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DESCRIZIONE CAMPIONE RIMANEGGIATO E CARATTERISTICHE GENERALI

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Saccenti |

*N° verbale accettazione:* 024/2016
*N° certificato di prova:* 024/16/A/019

| | |
|---|---|
| ***Committente:*** | WASTEITALIA |
| ***Cantiere:*** | BOSSARINO |
| ***Sondaggio:*** | S8 |
| ***Campione:*** | CR4 |
| ***Profondità prelievo [m]:*** | 14.00 - 15.00 |
| ***Prova:*** | Dc |
| ***Data fine descrizione:*** | 11/07/2016 |

### *Dati Generali di Campionamento*

Data prelievo:
Attrezzatura sondaggio: Rotazione
Attrezzatura prelievo: -
Modalità prelievo: -

### *Dati Generali del Campione*

Data arrivo in laboratorio: 07/06/2016
Data estrusione campione: -
Condizioni contenitore: -

Tipo contenitore: -
Forma campione -
Dimensioni Campione: Φ= - cm L= - cm
Classe del terreno: 1

### *Descrizione*

*(Normativa di riferimento: AGI 1977)*
**Rifiuti**

### *Risultati caratteristiche generali*

| Prova | Risultato della prova | *Normativa di riferimento* | *N° certificato di prova* |
|---|---|---|---|
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |

### *Note:*

**Eseguita prova di taglio diretto**

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 303120 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

# PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma $\tau / \sigma$

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

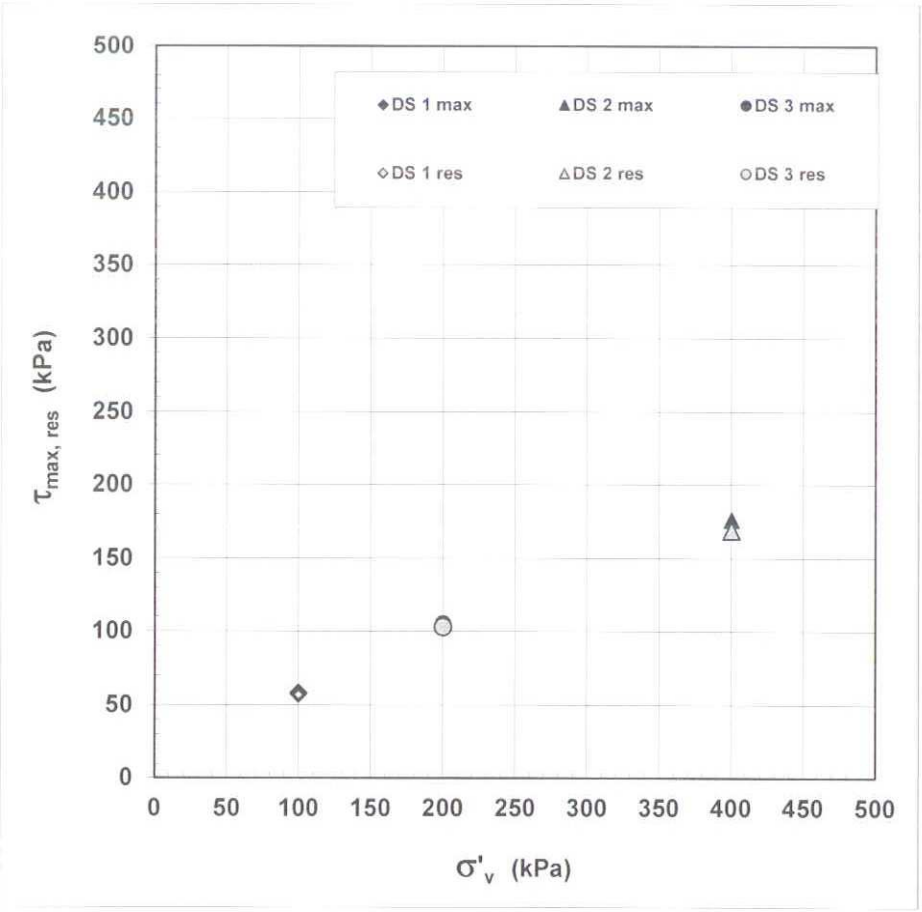
| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angelon | Sacchi |

Normativa di riferimento: ASTM D3080/11
N° certificato di prova: 024/16/A/020
N° verbale di accettazione: 024/2016

| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S8 |
| **Campione:** | CR4 |
| **Profondità prova [m]:** | 14.00 - 15.00 |
| **Prova:** | DS CK0D |
| **Provino:** | 1 2 3 |
| **Data prova:** | 09/06/2016 |

## Dati generali dei provini

| Provino | Profondità | Dati iniziali | | | | | Dati a fine consolidazione | | | | | Valori di picco | | | Valori residui | | Rottura | | Metodo di preparazione - tipo di materiale |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A | H | $\gamma$ | w | $\gamma_d$ | $\sigma'_v$ | H | $\varepsilon_v$ | $\gamma_d$ | dfc | $\tau_{max}$ | $\delta_h$ | $\varepsilon_v$ | $\tau$ | $\delta_h$ | v | dfr | |
| - | m | $cm^2$ | mm | $kN/m^3$ | % | $kN/m^3$ | kPa | mm | % | $kN/m^3$ | h | kPa | mm | % | kPa | mm | mm/m | ore | - |
| 1 | 14.50 | 36.0 | 20.0 | 15.67 | 18.0 | 13.3 | 100 | 17.5 | 12.30 | 15.15 | 4 | 58 | 8.66 | 3.99 | 57 | 40.8 | 0.006 | 27 | Provini ricostruiti mediante compattazione umida all'umidità naturale, con taglio al vaglio con apertura 2 mm. |
| 2 | 14.50 | 36.0 | 20.0 | 15.67 | 18.0 | 13.3 | 400 | 15.7 | 21.38 | 16.90 | 4 | 176 | 3.84 | 1.92 | 169 | 38.6 | 0.006 | 18 | |
| 3 | 14.50 | 36.0 | 20.0 | 15.67 | 18.0 | 13.3 | 200 | 17.0 | 14.99 | 15.63 | 4 | 105 | 4.73 | 1.48 | 103 | 38.6 | 0.006 | 21 | |




**Legenda:**

A = area del provino
H = altezza del provino
$\gamma$ = peso di volume umido
w = contenuto d'acqua
$\gamma_d$ = peso di volume secco
$\sigma'$ = tensione efficace
$\varepsilon$ = deformazioni
$\tau$ = sforzo di taglio
$\delta$ = spostamento
v = velocità di rottura
dfc = durata consolidazione

Subscritto 'h' = orizzontale
Subscritto 'v' = verticale
Subscritto 'max' = MASSIMO
Subscritto 'res' = RESIDUO

**Note:** Tra il ciclo 1 ed il ciclo 5 sono stati eseguiti 3 cicli di taglio / ritorno per una deformazione totale di 24 mm

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 303120 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

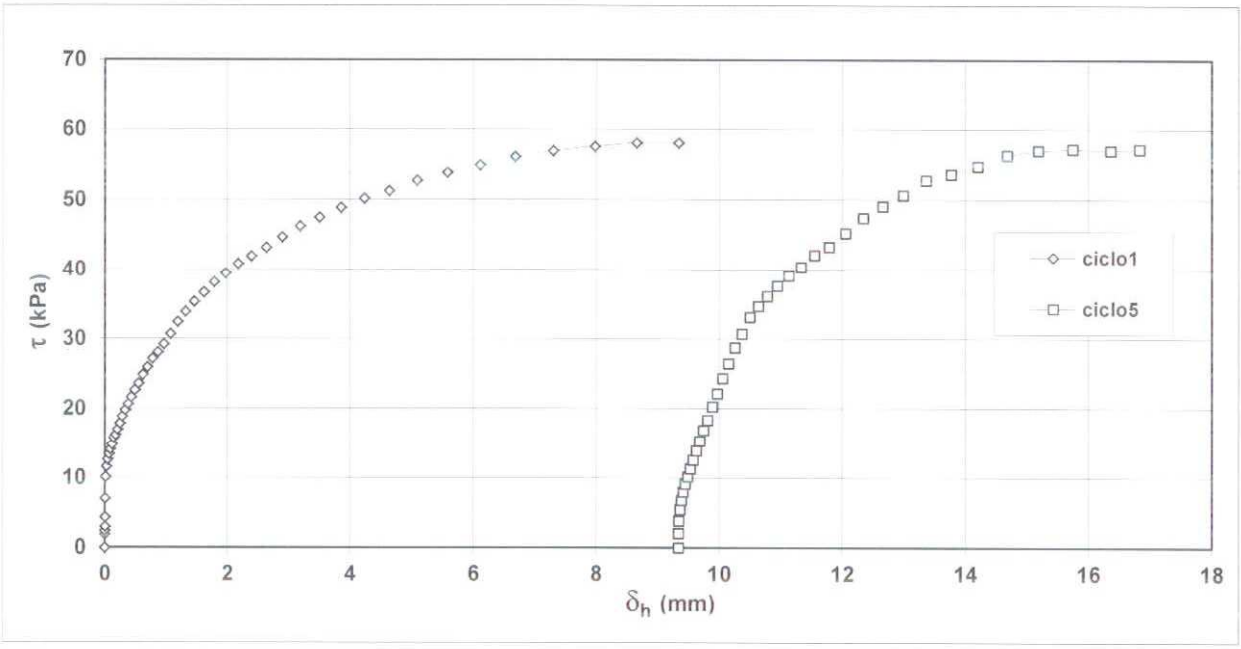
# PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma $\tau / \sigma$

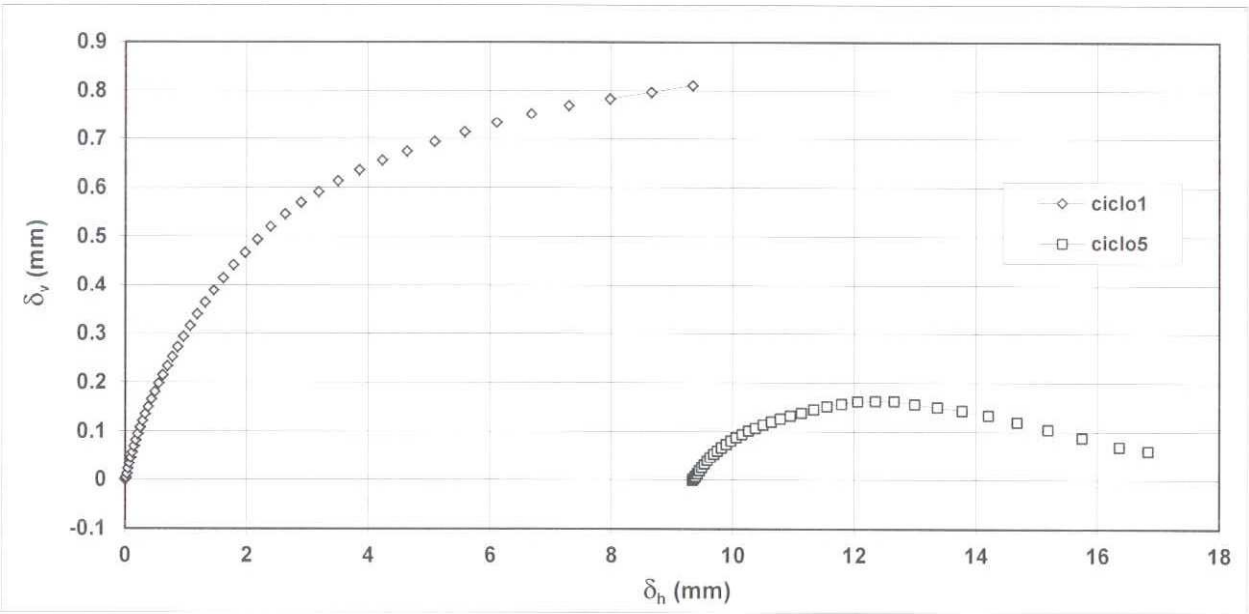
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D3080/11

| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S8 |
| **Campione:** | CR4 |
| **Profondità prova [m]:** | 14.00 - 15.00 |
| **Prova:** | DS CK0D |
| **Provino:** | 1 |
| **Data prova:** | 09/06/2016 |




Note:

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 303120 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

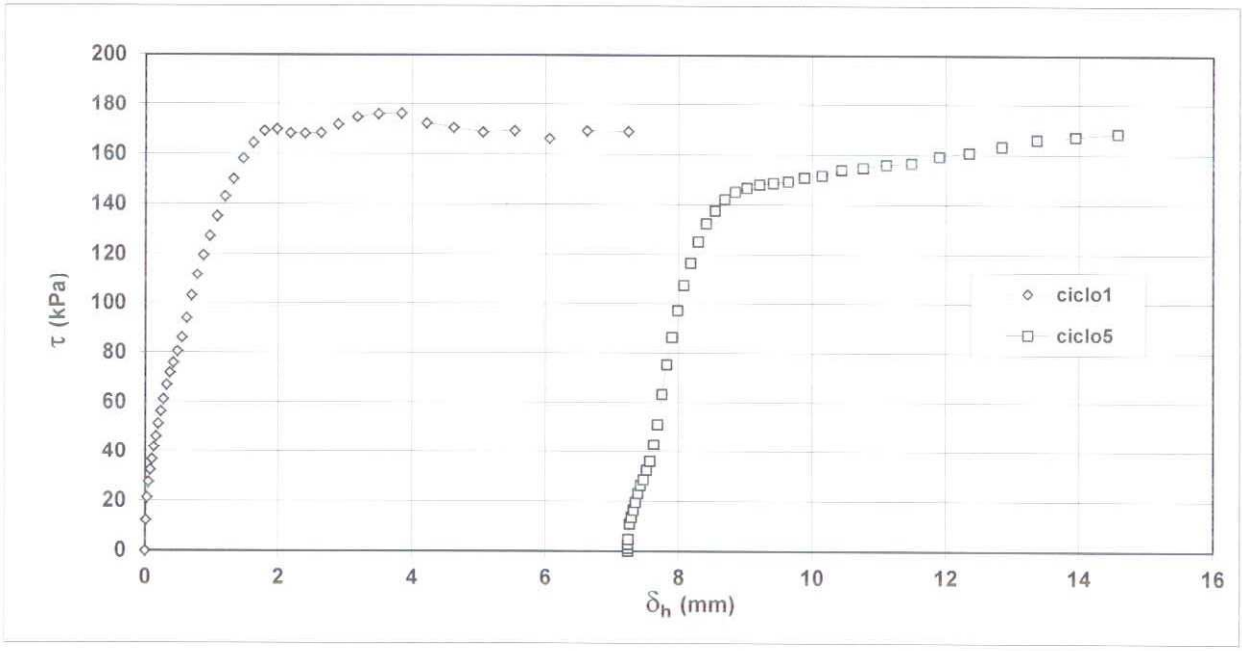
# PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma $\tau / \sigma$

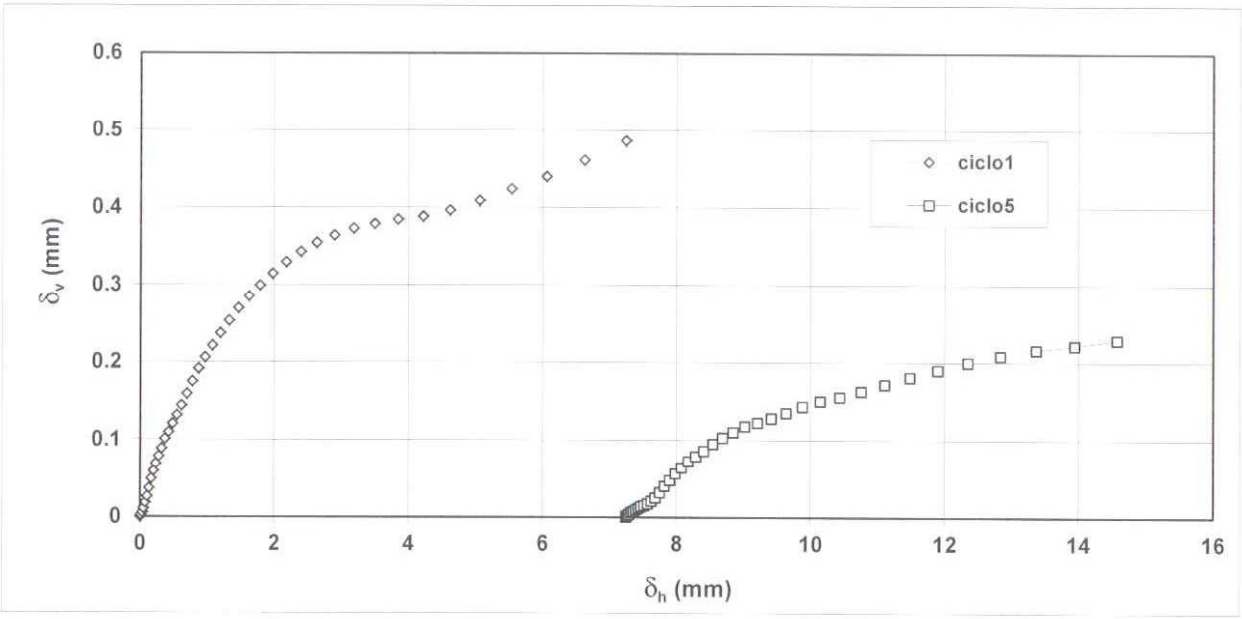
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D3080/11

| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S8 |
| **Campione:** | CR4 |
| **Profondità prova [m]:** | 14.00 - 15.00 |
| **Prova:** | DS CK0D |
| **Provino:** | 2 |
| **Data prova:** | 09/06/2016 |




Note:

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 303120 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

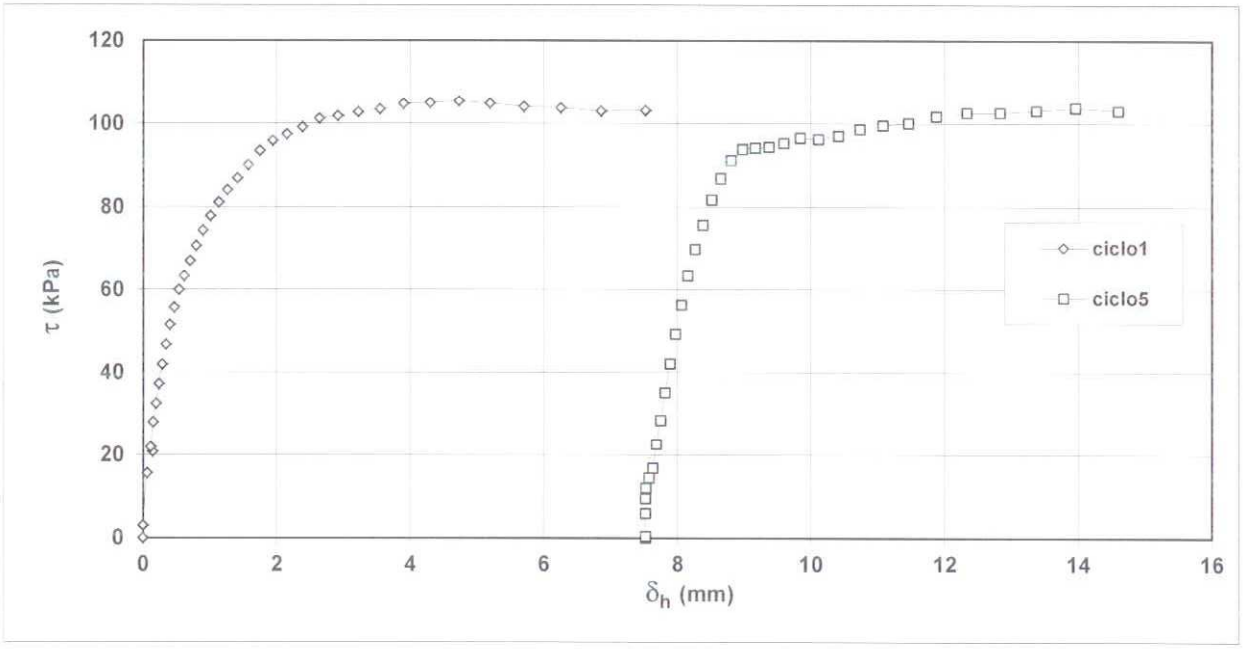
# PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma $\tau / \sigma$

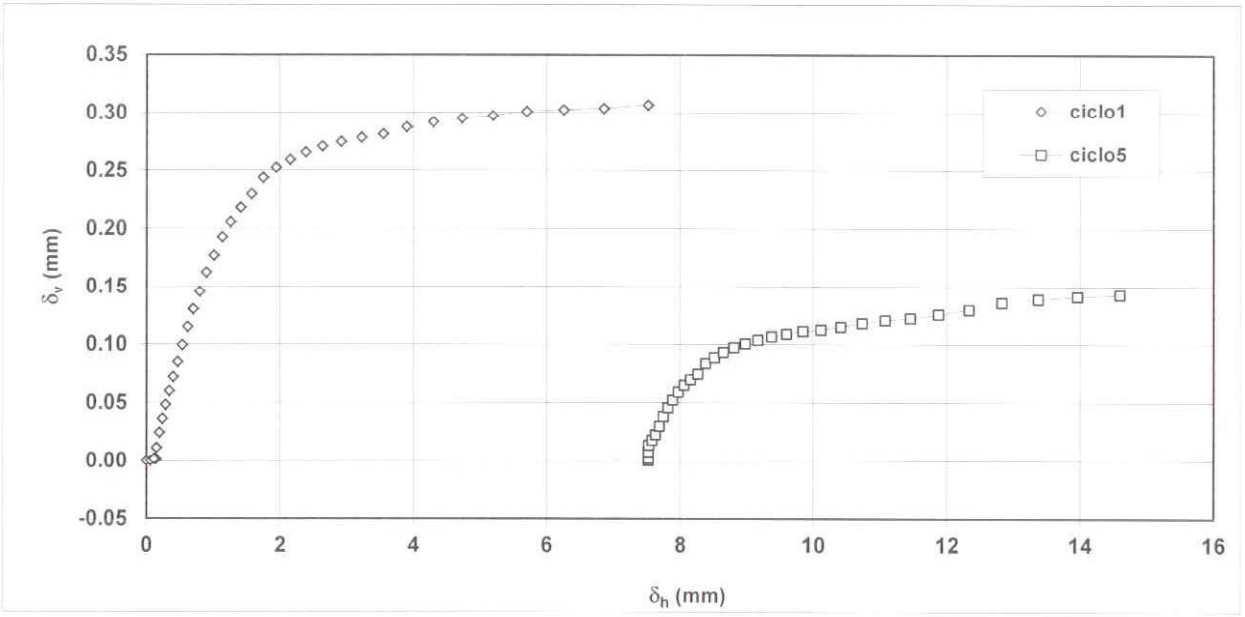
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D3080/11

| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S8 |
| **Campione:** | CR4 |
| **Profondità prova [m]:** | 14.00 - 15.00 |
| **Prova:** | DS CK0D |
| **Provino:** | 3 |
| **Data prova:** | 09/06/2016 |




Note:

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 290388 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DESCRIZIONE CAMPIONE RIMANEGGIATO E CARATTERISTICHE GENERALI

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Sacchetti |

*N° verbale accettazione:* 024/2016
*N° certificato di prova:* 024/16/A/02

| | |
|---|---|
| ***Committente:*** | WASTEITALIA |
| ***Cantiere:*** | BOSSARINO |
| ***Sondaggio:*** | S8 |
| ***Campione:*** | CRIF5 |
| ***Profondità prelievo [m]:*** | 16.00 - 17.00 |
| ***Prova:*** | Dc |
| ***Data fine descrizione:*** | 11/07/2016 |

### *Dati Generali di Campionamento*

Data prelievo:
Attrezzatura sondaggio: Rotazione
Attrezzatura prelievo: -
Modalità prelievo: -

### *Dati Generali del Campione*

Data arrivo in laboratorio: 07/06/2016
Data estrusione campione: -
Condizioni contenitore: -

Tipo contenitore: -
Forma campione -
Dimensioni Campione: Φ= - cm L= - cm
Classe del terreno: 1

### *Descrizione*

*(Normativa di riferimento: AGI 1977)*
**Rifiuti**

### *Risultati caratteristiche generali*

| Prova | Risultato della prova | *Normativa di riferimento* | *N° certificato di prova* |
|---|---|---|---|
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |

***Note:***
**Eseguita prova triassiale consolidata drenata**

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 303120 - Email:
ismgeo@ismgeo.it

# PROVA TRIASSIALE CID - Primo foglio: dati generali e diagramma t - s'

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

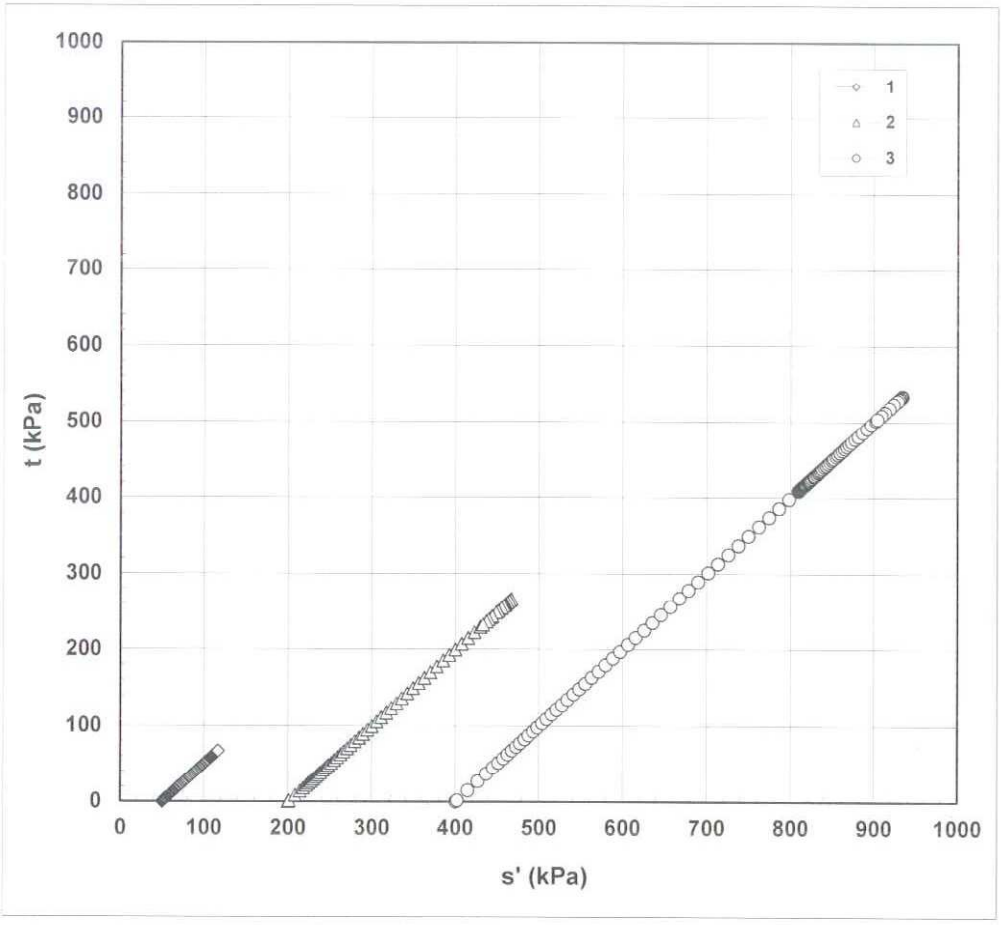
| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D4767/95
N° certificato di prova: 024/16/A/022
N° verbale di accettazione: 024/2016

| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S8 |
| **Campione:** | CRIF5 |
| **Profondità prova [m]:** | 16m - 17m |
| **Prova:** | Tx CID |
| **Provino:** | 1 2 3 |
| **Data prova:** | 09/06/2016 |

## Dati generali dei provini

| Provino | Profondità | Dati iniziali | | | | | Dati a fine consolidazione | | | | | | | | | Dati a rottura | | | | Metodo di preparazione - tipo di materiale |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | D | H | $\gamma$ | w | e | $\sigma'_a$ | $\sigma'_r$ | K | B.P. | B | $\varepsilon_a$ | $\varepsilon_v$ | e | DFC | v | t | s' | $\varepsilon_a$ | |
| - | m | mm | mm | kN/m$^3$ | % | - | kPa | kPa | - | kPa | - | % | % | - | g | mm/m | kPa | kPa | % | - |
| 1 | 16.50 | 50.0 | 100.1 | 13.86 | - | - | 50 | 50 | 1.00 | 300 | 0.98 | 0.2 | 1.0 | - | | 0.020 | 67 | 117 | 19.2 | |
| 2 | 16.50 | 50.0 | 99.7 | 13.92 | - | - | 200 | 200 | 1.00 | 200 | 0.93 | 1.1 | 4.5 | - | | 0.020 | 267 | 467 | 15 | |
| 3 | 16.50 | 50.0 | 99.0 | 13.86 | - | - | 400 | 400 | 1.00 | 200 | 0.98 | 3.7 | 9.5 | - | | 0.020 | 534 | 934 | 24.0 | ricostruito |




**Legenda:**

D = diametro del provino
H = altezza del provino
$\gamma$ = peso di volume umido
w = contenuto d'acqua
e = indice dei vuoti
$\sigma$, $\sigma'$ =tensioni totali ed efficaci
K = $\sigma'_r$ / $\sigma'_a$ a fine consolidazione
B.P. = back pressure
B = coefficiente di Skempton
$\varepsilon$ = deformazioni
t = ($\sigma_a$ - $\sigma_r$) / 2
s' = ($\sigma'_a$ + $\sigma'_r$) / 2
V = volume del provino
DFC = durata consolidazione
v = velocità delle pressa
Subscritto 'a' = assiale
Subscritto 'r' = radiale
Subscritto 'v' = volumetrico

**Note:** Criterio di rottura = t max

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 303120 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

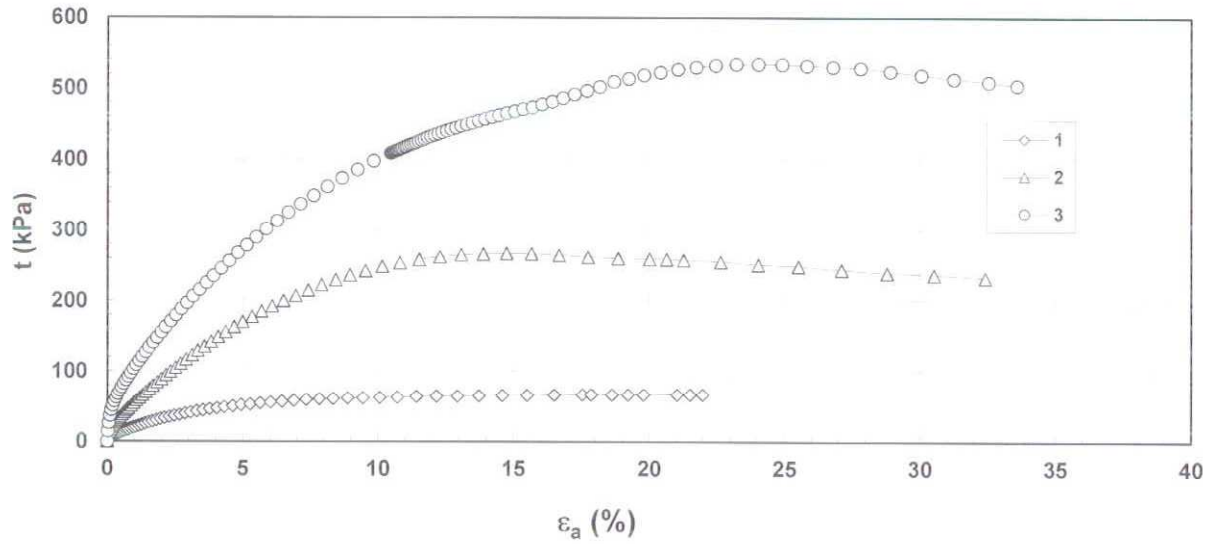
# PROVA TRIASSIALE CID - Secondo foglio: diagrammi $t - \varepsilon_a$ e $\varepsilon_v - \varepsilon_a$

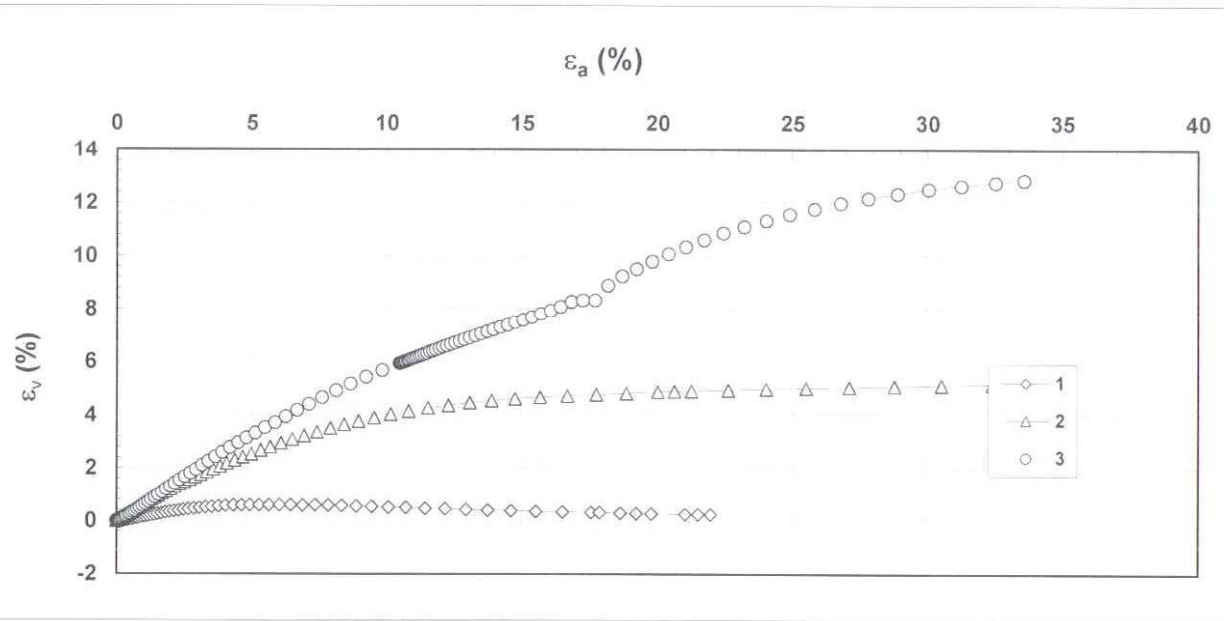
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D4767/95

| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S8 |
| **Campione:** | CRIF5 |
| **Profondità prova [m]:** | 16m - 17m |
| **Prova:** | Tx CID |
| **Provino:** | 1 2 3 |
| **Data prova:** | 09/06/2016 |



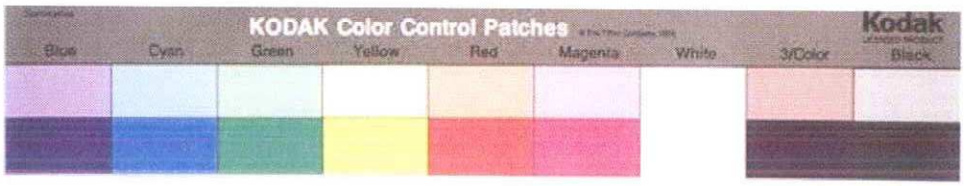




**Note:** Criterio di rottura = t max

Ricerca sperimentale, modellazione fisica, prove di laboratorio ed in sito
Concessione Ministeriale Decreto Nr. 55126 del 12/07/06 Settori A, B e C

| Rev | data emiss. | eseguito da | elaborato da |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Sirtoli |

| | |
|---|---|
| *Committente:* | WASTEITALIA |
| *Cantiere:* | BOSSARINO |
| *Sondaggio:* | S8 |
| *Campione:* | CRIF5-TXCID1 |
| *Profondità [m]:* | 16.00 – 17.00 |
| *Data prova:* | 11/07/2016 |







NOTE: provino post-rottura

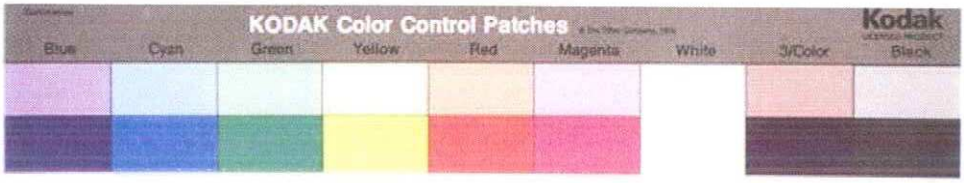


Istituto Sperimentale Modelli GEOtecnici
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) - ☎ tel. 035 303120 - 🖷 fax 035 303120 ✉ Email: ismgeo@ismgeo.it

Ricerca sperimentale, modellazione fisica, prove di laboratorio ed in sito
Concessione Ministeriale Decreto Nr. 55126 del 12/07/06 Settori A, B e C

| Rev | data emiss. | eseguito da | elaborato da |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Sirtoli |

| | |
|---|---|
| *Committente:* | WASTEITALIA |
| *Cantiere:* | BOSSARINO |
| *Sondaggio:* | S8 |
| *Campione:* | CRIF5-TXCID2 |
| *Profondità [m]:* | 16.00 – 17.00 |
| *Data prova:* | 11/07/2016 |







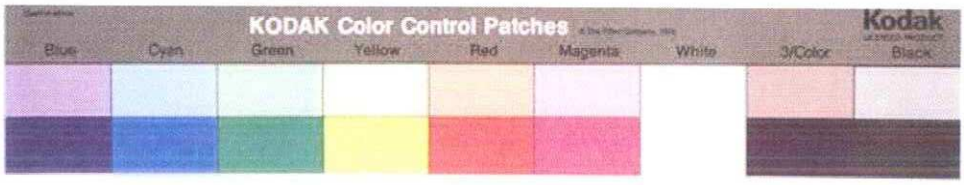
NOTE: provino post-rottura



Istituto Sperimentale Modelli GEOtecnici
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) - ☎ tel. 035 303120 - 🖷 fax 035 303120 ✉ Email: ismgeo@ismgeo.it

| Rev | data emiss. | eseguito da | elaborato da |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Sirtoli |

| | |
|---|---|
| *Committente:* | WASTEITALIA |
| *Cantiere:* | BOSSARINO |
| *Sondaggio:* | S8 |
| *Campione:* | CRIF5-TXCID3 |
| *Profondità [m]:* | 16.00 – 17.00 |
| *Data prova:* | 11/07/2016 |







NOTE: provino post-rottura



Istituto Sperimentale Modelli GEOtecnici
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) - tel. 035 303120 - fax 035 303120 Email: ismgeo@ismgeo.it

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 290388 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DESCRIZIONE CAMPIONE RIMANEGGIATO E CARATTERISTICHE GENERALI

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

*N° verbale accettazione:* 024/2016
*N° certificato di prova:* 024/16/A/023

| | |
|---|---|
| ***Committente:*** | WASTEITALIA |
| ***Cantiere:*** | BOSSARINO |
| ***Sondaggio:*** | S9 |
| ***Campione:*** | CR1 |
| ***Profondità prelievo [m]:*** | 1.00 - 2.00 |
| ***Prova:*** | Dc |
| ***Data fine descrizione:*** | 11/07/2016 |

### *Dati Generali di Campionamento*

Data prelievo:
Attrezzatura sondaggio Rotazione
Attrezzatura prelievo: -
Modalità prelievo: -

### *Dati Generali del Campione*

Data arrivo in laboratorio: 07/06/2016
Data estrusione campione: -
Condizioni contenitore: -

Tipo contenitore: -
Forma campione -
Dimensioni Campione: Φ= - cm L= - cm
Classe del terreno: 1

### *Descrizione*

*(Normativa di riferimento: AGI 1977)*
**Ghiaia sabbiosa limosa argillosa**

### *Risultati caratteristiche generali*

| Prova | Risultato della prova | *Normativa di riferimento* | *N° certificato di prova* |
|---|---|---|---|
| Limite liquido (%) | 38.6 | *ASTM D4318/95* | |
| Limite plastico (%) | 23.2 | *ASTM D4318/95* | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| Gr 1 | - | *ASTM D422/90* | |

***Note:***
-

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) Tel. 035 303120 - fax 035 290388 Email: ismgeo@ismgeo.it

# ANALISI GRANULOMETRICA

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D422/90
Classificazione di riferimento: AGI 1977
N° certificato di prova: 024/16/A/024
N° verbale di accettazione: 024/2016

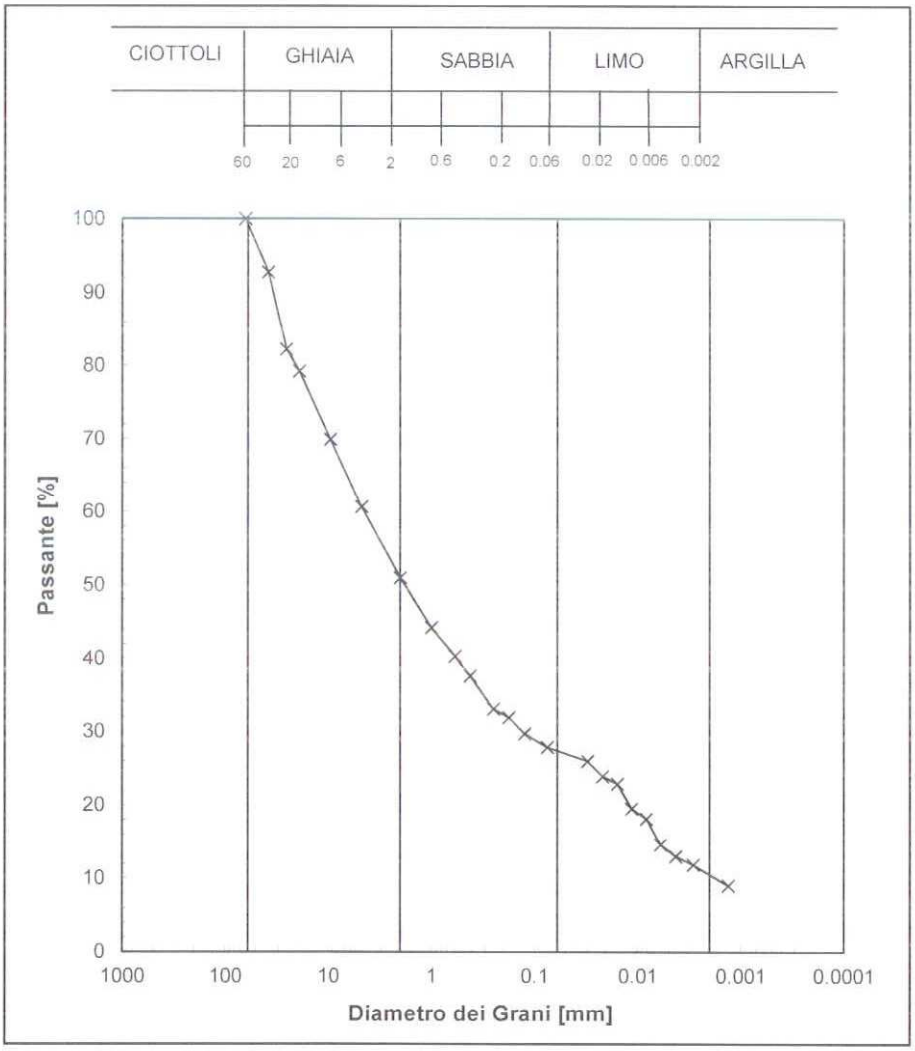
| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S9 |
| **Campione:** | CR1 |
| **Profondità prelievo [m]:** | 1 - 2 |
| **Prova:** | GR1 |
| **Data prova:** | 13/06/2016 |

**Vagliatura**

| Diametro vaglio [mm] | Massa tratt. [g] | Massa tratt. [%] |
|---|---|---|
| | - | - |
| 63.5 | 0 | 0 |
| 38.1 | 201.6 | 7.2 |
| 25.4 | 295.5 | 10.6 |
| 19.1 | 83.3 | 3.0 |
| 9.53 | 261.0 | 9.3 |
| 4.75 | 258.9 | 9.3 |
| 2 | 269.2 | 9.6 |
| 1 | 190.0 | 6.8 |
| 0.59 | 107.5 | 3.8 |
| 0.42 | 79.0 | 2.8 |
| 0.25 | 124.8 | 4.5 |
| 0.177 | 32.5 | 1.2 |
| 0.125 | 61.5 | 2.2 |
| 0.075 | 50.8 | 1.8 |

**Aerometria**

| Tempo [min] | Temp. [°C] | Lettura [-] |
|---|---|---|
| 2 | 22.9 | 1.0230 |
| 4 | 22.9 | 1.0214 |
| 8 | 22.9 | 1.0206 |
| 16 | 22.8 | 1.0180 |
| 32 | 22.5 | 1.0170 |
| 64 | 22.2 | 1.0143 |
| 128 | 22.5 | 1.0130 |
| 282 | 22.8 | 1.0120 |
| 1440 | 22.0 | 1.0100 |




**Curva granulom.**

| Diametro [mm] | Passante [%] |
|---|---|
| 6.35.E+01 | 100.0 |
| 3.81.E+01 | 92.8 |
| 2.54.E+01 | 82.2 |
| 1.91.E+01 | 79.2 |
| 9.53.E+00 | 69.9 |
| 4.75.E+00 | 60.6 |
| 2.00.E+00 | 51.0 |
| 1.00.E+00 | 44.2 |
| 5.90.E-01 | 40.4 |
| 4.20.E-01 | 37.5 |
| 2.50.E-01 | 33.1 |
| 1.77.E-01 | 31.9 |
| 1.25.E-01 | 29.7 |
| 7.50.E-02 | 27.9 |
| 3.05.E-02 | 26.0 |
| 2.20.E-02 | 23.9 |
| 1.57.E-02 | 22.9 |
| 1.14.E-02 | 19.5 |
| 8.21.E-03 | 18.1 |
| 5.99.E-03 | 14.6 |
| 4.27.E-03 | 13.0 |
| 2.89.E-03 | 11.8 |
| 1.32.E-03 | 9.0 |
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |

| Prova | Simbolo | Profondità da m | Profondità a m | Massa secca materiale [g] | Metodo preparazione materiale | % < 0.075mm | % CIOTTOLI | % GHIAIA | % SABBIA | % LIMO | % ARGILLA | Massa materiale aerometria [g] | L max [mm] | $D_{60}$ [mm] | $D_{50}$ [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GR1 | x | 1.00 | 2.00 | 2795.0 | VIA UMIDA | **28** | **1** | **48** | **24** | **17** | **10** | 34 | - | 4.5.E+00 | 1.8.E+00 |

NOTE:

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg)
Tel. 035 303120 - Fax 035 303120
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DETERMINAZIONE LIMITI DI ATTERBERG

Concessione Ministeriale Decreto n°55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| | |
|---|---|
| Sperimentatore: | Diaby |
| Direttore: | Saccenti |
| Data emissione: | 11/07/2016 |
| Rev. | 0 |

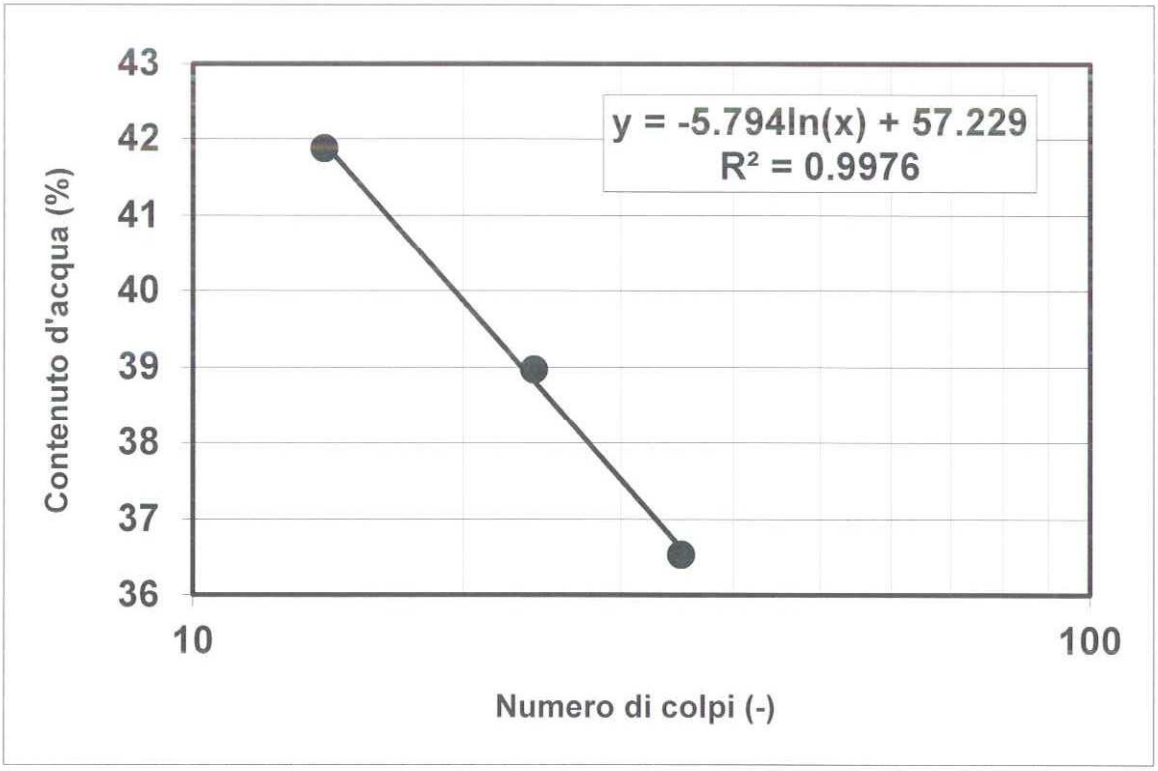
| | |
|---|---|
| *Committente:* | WASTEITALIA |
| *Cantiere:* | BOSSARINO |
| *Sondaggio:* | S9 |
| *Campione:* | CR1 |
| *Profondità prova [m]:* | 1.00 - 2.00 |
| *Prova:* | LLP1 |
| *Data prova:* | 16/06/2016 |

*Normativa di riferimento: ASTM D4318*
*N° certificato di prova:* 024/16/A/025
*N° verbale di accettazione: 024/2016*

| Limite Liquido | | | |
|---|---|---|---|
| | prova 1 | prova 2 | prova 3 |
| numero colpi | 35 | 24 | 14 |
| massa tara (g) | 2.16 | 2.16 | 2.16 |
| massa umido + tara (g) | 62.21 | 58.33 | 56.03 |
| massa secco + tara (g) | 46.14 | 42.58 | 40.13 |
| umidità (%) | 36.54 | 38.97 | 41.88 |

| Limite Plastico | | |
|---|---|---|
| massa tara (g) | 2.18 | 2.17 |
| massa umido + tara (g) | 16.13 | 18.29 |
| massa secco + tara (g) | 13.49 | 15.27 |
| umidità (%) | 23.34 | 23.05 |

| | |
|---|---|
| **Limite Liquido LL (%)** | **38.6** |
| **Limite Plastico LP (%)** | **23.2** |
| **Indice Plastico IP(%)** | **15.4** |




Note:

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 290388 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DESCRIZIONE CAMPIONE RIMANEGGIATO E CARATTERISTICHE GENERALI

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

*N° verbale accettazione:* 024/2016
*N° certificato di prova:* 024/16/A/026

| | |
|---|---|
| ***Committente:*** | WASTEITALIA |
| ***Cantiere:*** | BOSSARINO |
| ***Sondaggio:*** | S9 |
| ***Campione:*** | CR2 |
| ***Profondità prelievo [m]:*** | 4.00 - 5.00 |
| ***Prova:*** | Dc |
| ***Data fine descrizione:*** | 11/07/2016 |

### *Dati Generali di Campionamento*

Data prelievo:
Attrezzatura sondaggio: Rotazione
Attrezzatura prelievo: -
Modalità prelievo: -

### *Dati Generali del Campione*

Data arrivo in laboratorio: 07/06/2016
Data estrusione campione: -
Condizioni contenitore: -

Tipo contenitore: -
Forma campione -
Dimensioni Campione: Φ= - cm L= - cm
Classe del terreno: 1

### *Descrizione*

*(Normativa di riferimento: AGI 1977)*

**Ghiaia con sabbia limosa debolmente argillosa con rari ciottoli**

### *Risultati caratteristiche generali*

| Prova | Risultato della prova | *Normativa di riferimento* | *N° certificato di prova* |
|---|---|---|---|
| Limite liquido (%) | 34.2 | *ASTM D4318/95* | |
| Limite plastico (%) | 24.9 | *ASTM D4318/95* | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| Gr 1 | - | *ASTM D422/90* | |

### *Note:*

-

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) Tel. 035 303120 - fax 035 290388 Email: ismgeo@ismgeo.it

# ANALISI GRANULOMETRICA

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccani |

Normativa di riferimento: ASTM D422/90
Classificazione di riferimento: AGI 1977
N° certificato di prova: 024/16/A/027
N° verbale di accettazione: 024/2016

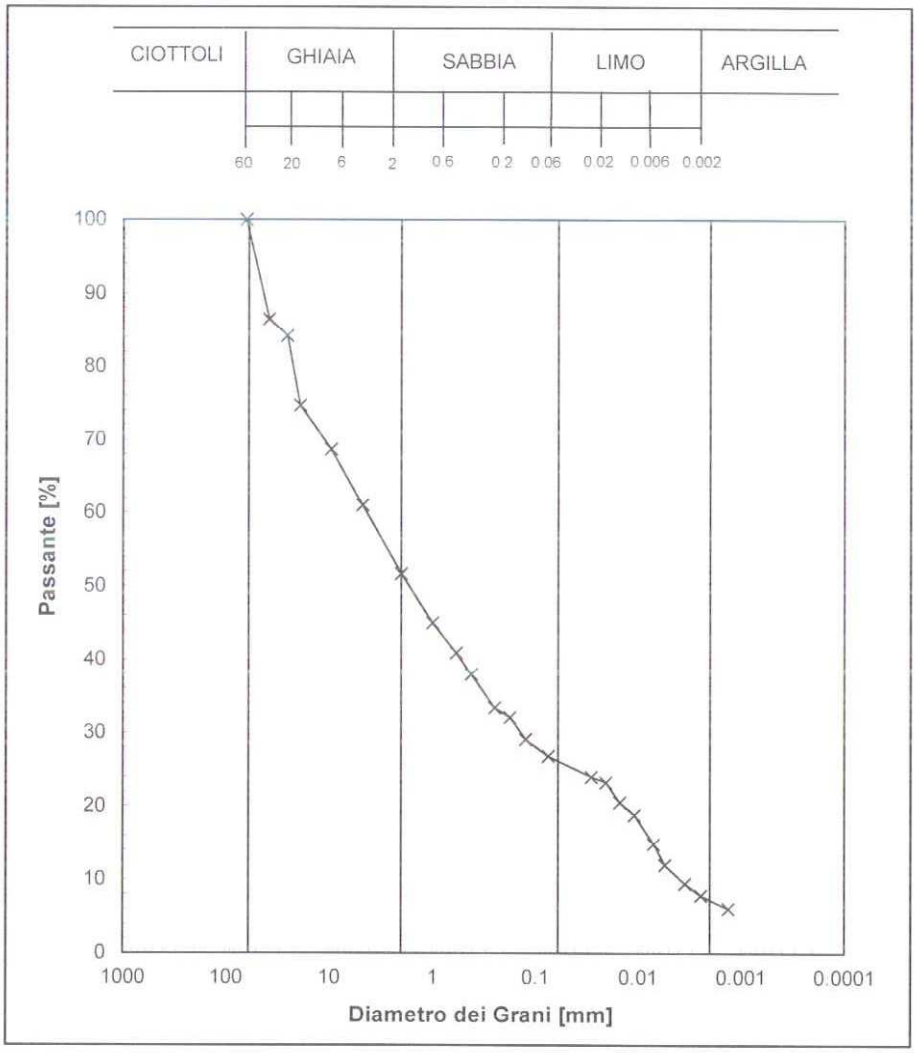
| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S9 |
| **Campione:** | CR2 |
| **Profondità prelievo [m]:** | 4 - 5 |
| **Prova:** | GR1 |
| **Data prova:** | 13/06/2016 |

**Vagliatura**

| Diametro vaglio [mm] | Massa tratt. [g] | Massa tratt. [%] |
|---|---|---|
| | - | - |
| 63.5 | 0 | 0 |
| 38.1 | 190.4 | 13.5 |
| 25.4 | 32.6 | 2.3 |
| 19.1 | 134.4 | 9.5 |
| 9.53 | 84.3 | 6.0 |
| 4.75 | 108.3 | 7.7 |
| 2 | 132.6 | 9.4 |
| 1 | 94.0 | 6.7 |
| 0.59 | 57.0 | 4.0 |
| 0.42 | 42.2 | 3.0 |
| 0.25 | 64.6 | 4.6 |
| 0.177 | 18.4 | 1.3 |
| 0.125 | 42.3 | 3.0 |
| 0.075 | 32.0 | 2.3 |

**Aerometria**

| Tempo [min] | Temp. [°C] | Lettura [-] |
|---|---|---|
| 2 | 22.3 | 1.0287 |
| 4 | 22.3 | 1.0279 |
| 8 | 22.3 | 1.0250 |
| 16 | 22.3 | 1.0232 |
| 42 | 22.2 | 1.0189 |
| 74 | 22.2 | 1.0158 |
| 190 | 22.5 | 1.0130 |
| 390 | 23.6 | 1.0110 |
| 1380 | 23.6 | 1.0091 |




**Curva granulom.**

| Diametro [mm] | Passante [%] |
|---|---|
| 6.35.E+01 | 100.0 |
| 3.81.E+01 | 86.5 |
| 2.54.E+01 | 84.2 |
| 1.91.E+01 | 74.7 |
| 9.53.E+00 | 68.7 |
| 4.75.E+00 | 61.0 |
| 2.00.E+00 | 51.6 |
| 1.00.E+00 | 45.0 |
| 5.90.E-01 | 40.9 |
| 4.20.E-01 | 38.0 |
| 2.50.E-01 | 33.4 |
| 1.77.E-01 | 32.1 |
| 1.25.E-01 | 29.1 |
| 7.50.E-02 | 26.8 |
| 2.86.E-02 | 24.0 |
| 2.05.E-02 | 23.3 |
| 1.50.E-02 | 20.6 |
| 1.09.E-02 | 18.9 |
| 7.05.E-03 | 14.9 |
| 5.49.E-03 | 12.0 |
| 3.51.E-03 | 9.4 |
| 2.46.E-03 | 7.8 |
| 1.33.E-03 | 6.0 |
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |

| Prova | Simbolo | Profondità da m | Profondità a m | Massa secca materiale [g] | Metodo preparazione materiale | % < 0.075mm | % CIOTTOLI | % GHIAIA | % SABBIA | % LIMO | % ARGILLA | Massa materiale aerometria [g] | L max [mm] | $D_{60}$ [mm] | $D_{50}$ [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GR1 | x | 4.00 | 5.00 | 1411.5 | VIA UMIDA | **27** | **1** | **47** | **25** | **19** | **7** | 46 | 95 | 4.3.E+00 | 1.7.E+00 |

NOTE:

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg)
Tel. 035 303120 - Fax 035 303120
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DETERMINAZIONE LIMITI DI ATTERBERG

Concessione Ministeriale Decreto n°55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| | |
|---|---|
| Sperimentatore: | Diaby |
| Direttore: | Saccenti |
| Data emissione: | 11/07/2016 |
| Rev. | 0 |

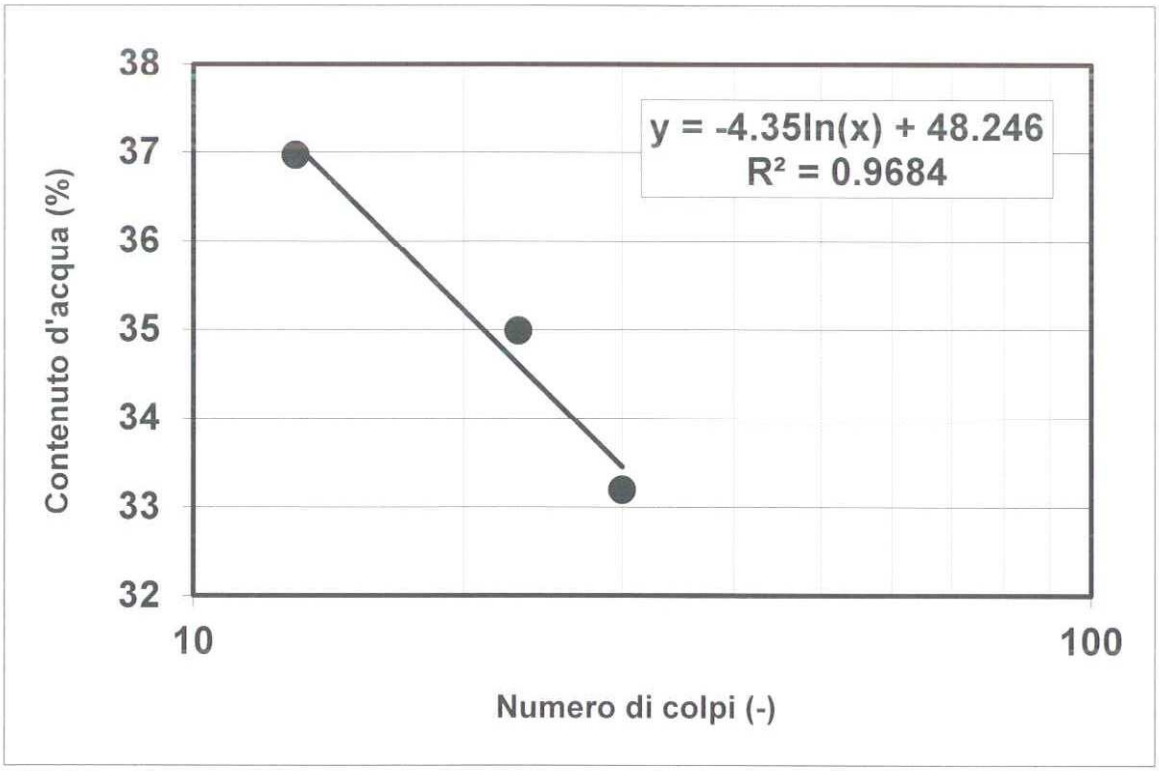
| | |
|---|---|
| *Committente:* | WASTEITALIA |
| *Cantiere:* | BOSSARINO |
| *Sondaggio:* | S9 |
| *Campione:* | CR2 |
| *Profondità prova [m]:* | 4.00 - 5.00 |
| *Prova:* | LLP1 |
| *Data prova:* | 16/06/2016 |

*Normativa di riferimento: ASTM D4318*
*N° certificato di prova:* 022/16/A/028
*N° verbale di accettazione: 024/2016*

| Limite Liquido | prova 1 | prova 2 | prova 3 |
|---|---|---|---|
| numero colpi | 13 | 23 | 30 |
| massa tara (g) | 2.14 | 2.16 | 2.15 |
| massa umido + tara (g) | 65.94 | 48.69 | 59.09 |
| massa secco + tara (g) | 48.72 | 36.63 | 44.9 |
| umidità (%) | 36.97 | 34.99 | 33.19 |

| Limite Plastico | | |
|---|---|---|
| massa tara (g) | 2.18 | 2.19 |
| massa umido + tara (g) | 18.06 | 20.22 |
| massa secco + tara (g) | 14.91 | 16.61 |
| umidità (%) | 24.74 | 25.03 |

| | |
|---|---|
| **Limite Liquido LL (%)** | **34.2** |
| **Limite Plastico LP (%)** | **24.9** |
| **Indice Plastico IP(%)** | **9.4** |




Note:

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 290388 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DESCRIZIONE CAMPIONE RIMANEGGIATO E CARATTERISTICHE GENERALI

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Saccenti |

*N° verbale accettazione:* 024/2016
*N° certificato di prova:* 024/16/A/D29

| | |
|---|---|
| ***Committente:*** | WASTEITALIA |
| ***Cantiere:*** | BOSSARINO |
| ***Sondaggio:*** | S9 |
| ***Campione:*** | CRIF5 |
| ***Profondità prelievo [m]:*** | 17.00 - 18.00 |
| ***Prova:*** | Dc |
| ***Data fine descrizione:*** | 11/07/2016 |

### *Dati Generali di Campionamento*

Data prelievo:
Attrezzatura sondaggio: Rotazione
Attrezzatura prelievo: -
Modalità prelievo: -

### *Dati Generali del Campione*

Data arrivo in laboratorio: 07/06/2016
Data estrusione campione: -
Condizioni contenitore: -

Tipo contenitore: -
Forma campione -
Dimensioni Campione: Φ= - cm L= - cm
Classe del terreno: 1

### *Descrizione*

*(Normativa di riferimento: AGI 1977)*
Rifiuti

### *Risultati caratteristiche generali*

| Prova | Risultato della prova | *Normativa di riferimento* | *N° certificato di prova* |
|---|---|---|---|
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |

### *Note:*

Eseguita prova triassiale consolidata drenata non rappresentativa del materiale

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 290388 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DESCRIZIONE CAMPIONE RIMANEGGIATO E CARATTERISTICHE GENERALI

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Saccenti |

*N° verbale accettazione:* 024/2016
*N° certificato di prova:* 024/16/A/031

| | |
|---|---|
| ***Committente:*** | WASTEITALIA |
| ***Cantiere:*** | BOSSARINO |
| ***Sondaggio:*** | S9 |
| ***Campione:*** | CRIF6 |
| ***Profondità prelievo [m]:*** | 18.00 - 19.00 |
| ***Prova:*** | Dc |
| ***Data fine descrizione:*** | 11/07/2016 |

### *Dati Generali di Campionamento*

Data prelievo:
Attrezzatura sondaggio: Rotazione
Attrezzatura prelievo: -
Modalità prelievo: -

### *Dati Generali del Campione*

Data arrivo in laboratorio: 07/06/2016
Data estrusione campione: -
Condizioni contenitore: -

Tipo contenitore: -
Forma campione -
Dimensioni Campione: Φ= - cm L= - cm
Classe del terreno: 1

### *Descrizione*

*(Normativa di riferimento: AGI 1977)*
**Rifiuti**

### *Risultati caratteristiche generali*

| Prova | Risultato della prova | *Normativa di riferimento* | *N° certificato di prova* |
|---|---|---|---|
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |

### *Note:*

**Eseguita prova di taglio diretto**

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 303120 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

# PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma $\tau / \sigma$

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

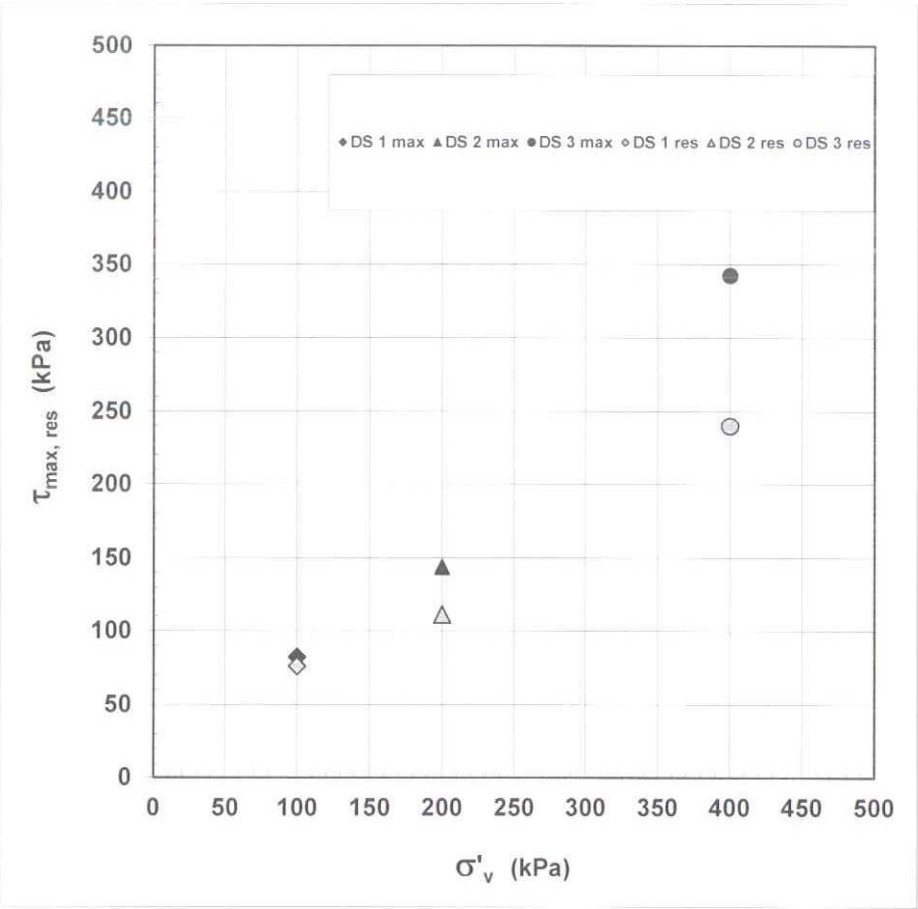
| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angaleni | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D3080/11
N° certificato di prova: D24/16/7/032
N° verbale di accettazione: 024/2016

| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S9 |
| **Campione:** | CRIF6 |
| **Profondità prova [m]:** | 18.00 - 19.00 |
| **Prova:** | DS CK0D |
| **Provino:** | 1 2 3 |
| **Data prova:** | 14/06/2016 |

## Dati generali dei provini

| Provino | Profondità | Dati iniziali | | | | | Dati a fine consolidazione | | | | | Valori di picco | | | Valori residui | | Rottura | | Metodo di preparazione - tipo di materiale |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | A | H | $\gamma$ | w | $\gamma_d$ | $\sigma'_v$ | H | $\varepsilon_v$ | $\gamma_d$ | dfc | $\tau_{max}$ | $\delta_h$ | $\varepsilon_v$ | $\tau$ | $\delta_h$ | v | dfr | |
| - | m | $cm^2$ | mm | $kN/m^3$ | % | $kN/m^3$ | kPa | mm | % | $kN/m^3$ | h | kPa | mm | % | kPa | mm | mm/m | ore | - |
| 1 | 18.50 | 36.0 | 20.0 | 14.26 | 39.6 | 10.2 | 100 | 18.8 | 5.91 | 10.86 | 4 | 82 | 7.13 | 0.74 | 76 | 40.2 | 0.007 | 18 | Provini ricostruiti mediante compattazione umida all'umidità naturale, con taglio al vaglio con apertura 2 mm. |
| 2 | 18.50 | 36.0 | 20.0 | 15.07 | 39.6 | 10.8 | 200 | 18.6 | 6.83 | 11.59 | 4 | 144 | 7.74 | 2.61 | 111 | 38.8 | 0.007 | 18 | |
| 3 | 18.50 | 36.0 | 20.0 | 15.72 | 39.6 | 11.3 | 400 | 17.8 | 10.78 | 12.63 | 4 | 343 | 8.15 | 2.54 | 240 | 39.3 | 0.007 | 18 | |




**Legenda:**

A = area del provino
H = altezza del provino
$\gamma$ = peso di volume umido
w = contenuto d'acqua
$\gamma_d$ = peso di volume secco
$\sigma'$ = tensione efficace
$\varepsilon$ = deformazioni
$\tau$ = sforzo di taglio
$\delta$ = spostamento
v = velocità di rottura
dfc = durata consolidazione

Subscritto 'h' = orizzontale
Subscritto 'v' = verticale
Subscritto 'max' = MASSIMO
Subscritto 'res' = RESIDUO

**Note:** Tra il ciclo 1 ed il ciclo 5 sono stati eseguiti 3 cicli di taglio / ritorno per una deformazione totale di 24 mm

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 303120 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

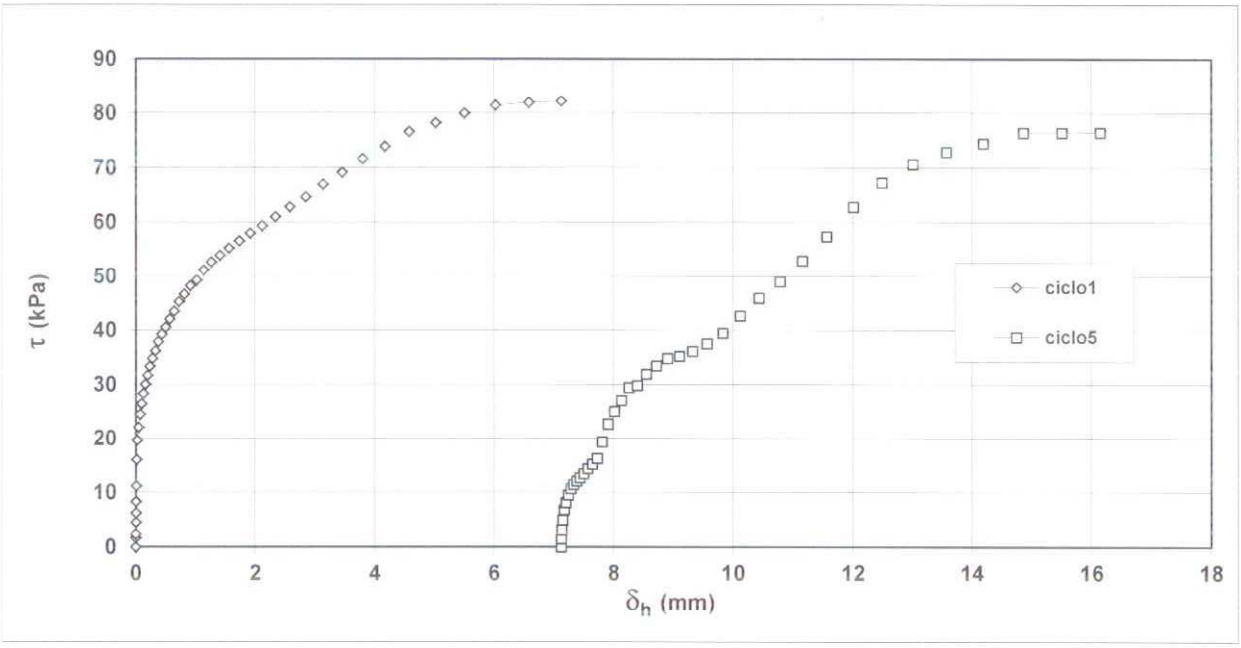
# PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma $\tau / \sigma$

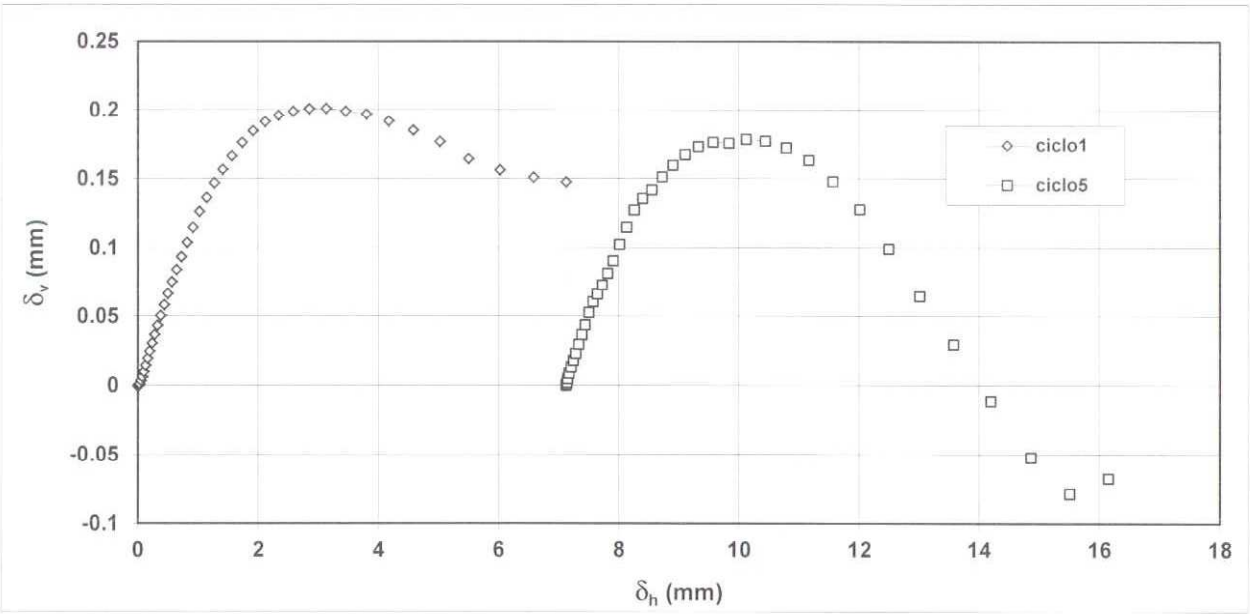
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angelon | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D3080/11

| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S9 |
| **Campione:** | CRIF6 |
| **Profondità prova [m]:** | 18.00 - 19.00 |
| **Prova:** | DS CK0D |
| **Provino:** | 1 |
| **Data prova:** | 14/06/2016 |




Note:

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 303120 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

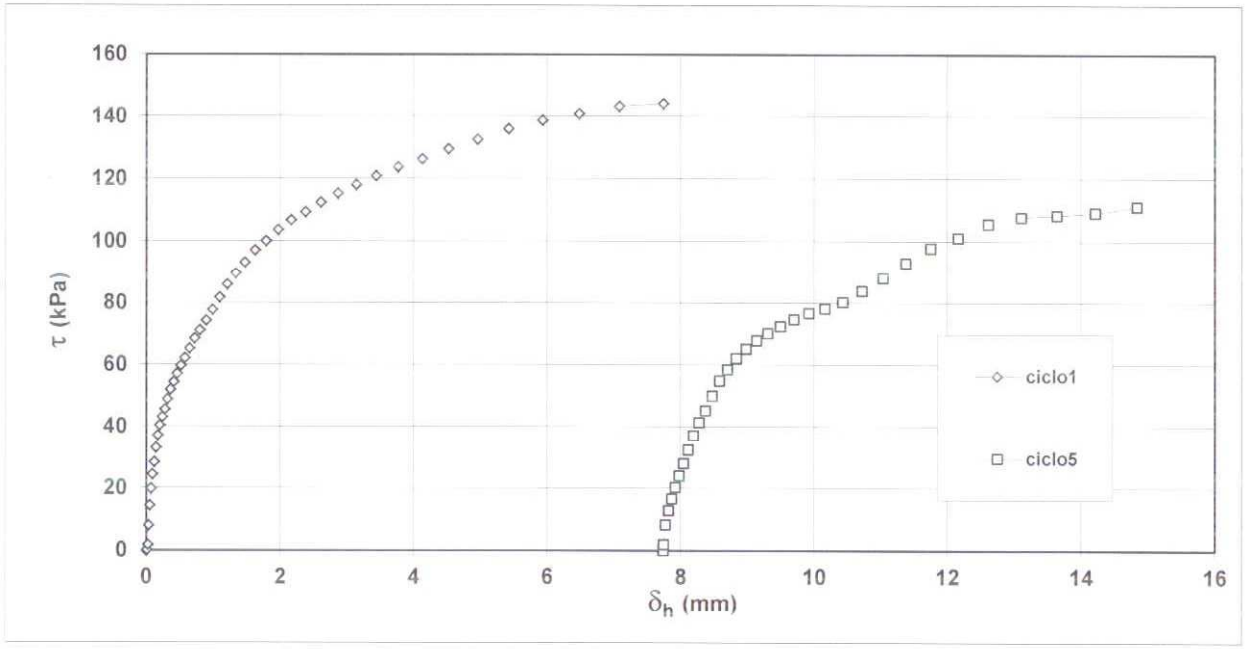
# PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma $\tau / \sigma$

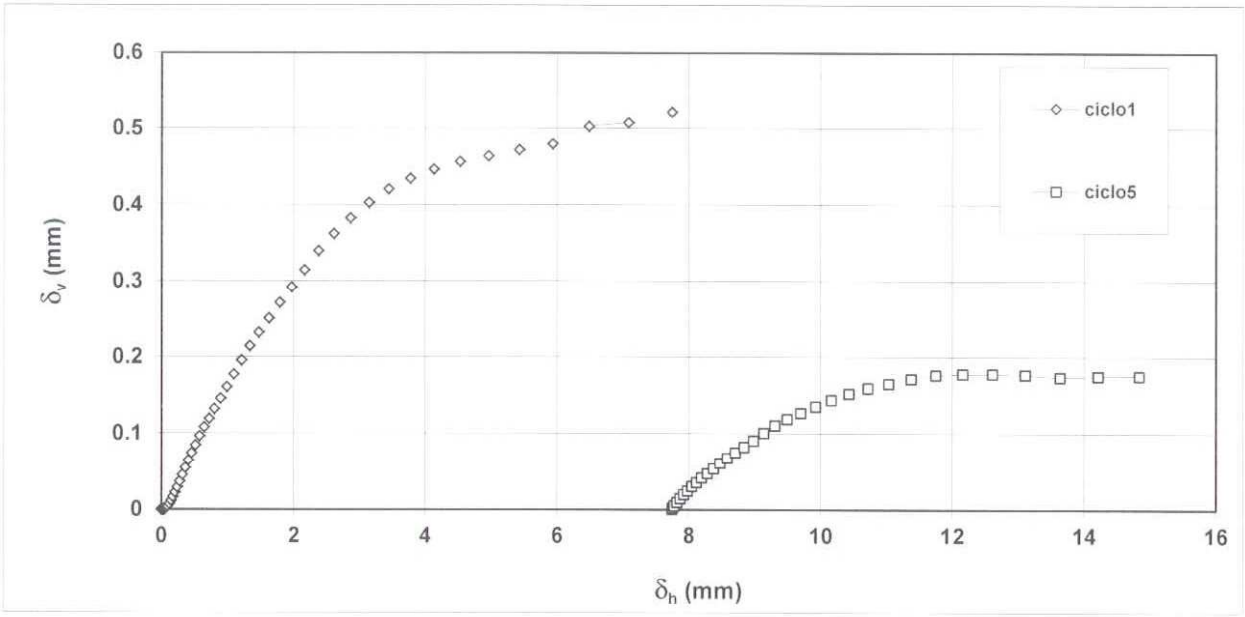
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D3080/11

| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S9 |
| **Campione:** | CRIF6 |
| **Profondità prova [m]:** | 18.00 - 19.00 |
| **Prova:** | DS CK0D |
| **Provino:** | 2 |
| **Data prova:** | 14/06/2016 |




Note:

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 303120 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

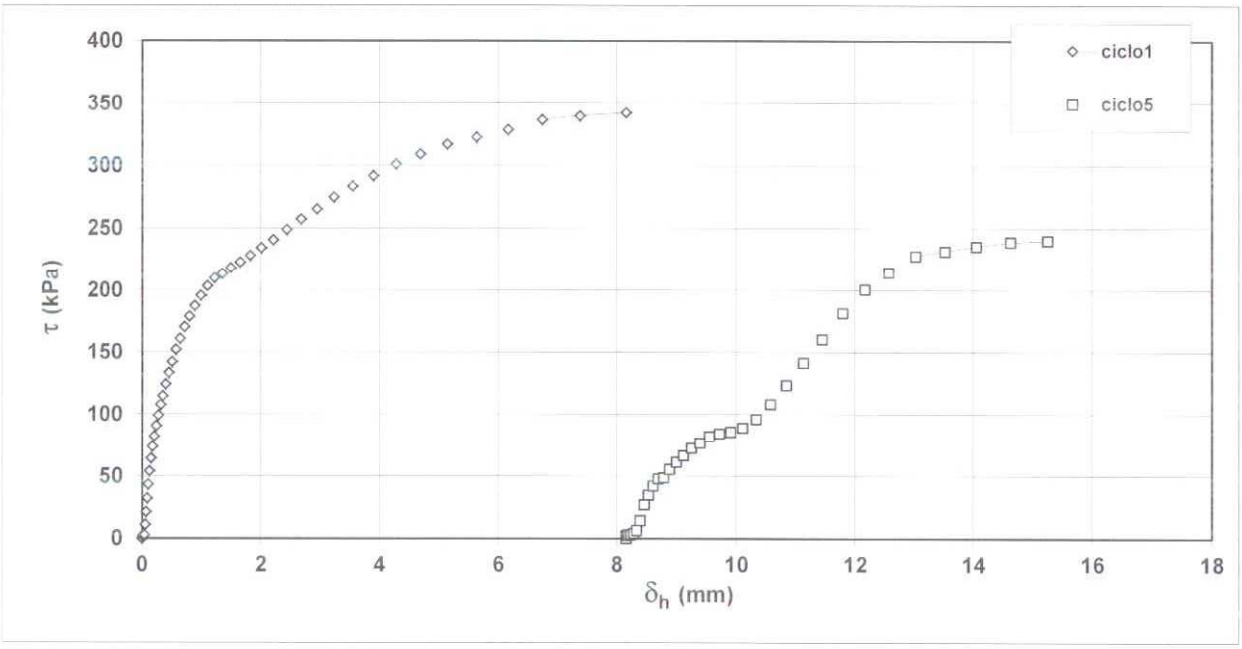
# PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma $\tau / \sigma$

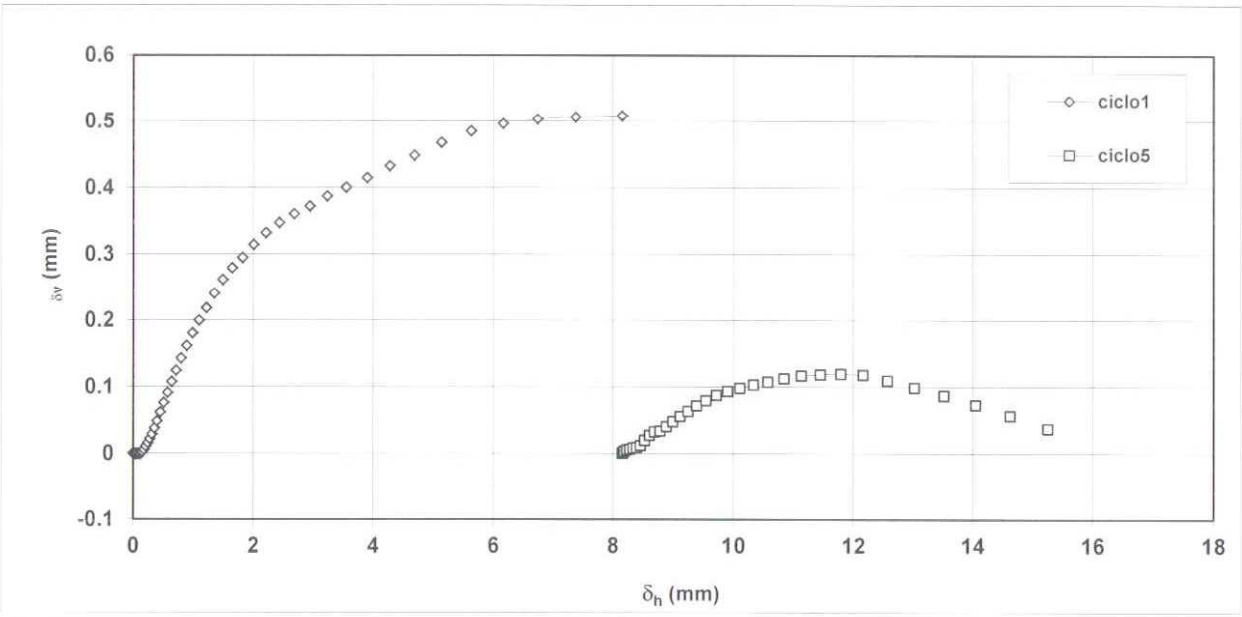
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D3080/11

| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S9 |
| **Campione:** | CRIF6 |
| **Profondità prova [m]:** | 18.00 - 19.00 |
| **Prova:** | DS CK0D |
| **Provino:** | 3 |
| **Data prova:** | 14/06/2016 |




Note:

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 290388 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DESCRIZIONE CAMPIONE RIMANEGGIATO E CARATTERISTICHE GENERALI

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

*N° verbale accettazione:* 024/2016
*N° certificato di prova:* 026/16/A/033

| | |
|---|---|
| ***Committente:*** | WASTEITALIA |
| ***Cantiere:*** | BOSSARINO |
| ***Sondaggio:*** | S9 |
| ***Campione:*** | CR7 |
| ***Profondità prelievo [m]:*** | 21.00 - 22.00 |
| ***Prova:*** | Dc |
| ***Data fine descrizione:*** | 11/07/2016 |

### *Dati Generali di Campionamento*

Data prelievo:
Attrezzatura sondaggio: Rotazione
Attrezzatura prelievo: -
Modalità prelievo: -

### *Dati Generali del Campione*

Data arrivo in laboratorio: 07/06/2016
Data estrusione campione: -
Condizioni contenitore: -

Tipo contenitore: -
Forma campione -
Dimensioni Campione: Φ= - cm L= - cm
Classe del terreno: 1

### *Descrizione*

*(Normativa di riferimento: AGI 1977)*
**Sabbia con limo con ghiaia debolmente argillosa**

### *Risultati caratteristiche generali*

| Prova | Risultato della prova | *Normativa di riferimento* | *N° certificato di prova* |
|---|---|---|---|
| Limite liquido (%) | 29.7 | *ASTM D4318/95* | |
| Limite plastico (%) | 21.9 | *ASTM D4318/95* | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| Gr 1 | - | *ASTM D422/90* | |

***Note:***
-

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) Tel. 035 303120 - fax 035 290388 Email: ismgeo@ismgeo.it

# ANALISI GRANULOMETRICA

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D422/90
Classificazione di riferimento: AGI 1977
N° certificato di prova: 24/16/A/034
N° verbale di accettazione: 024/2016

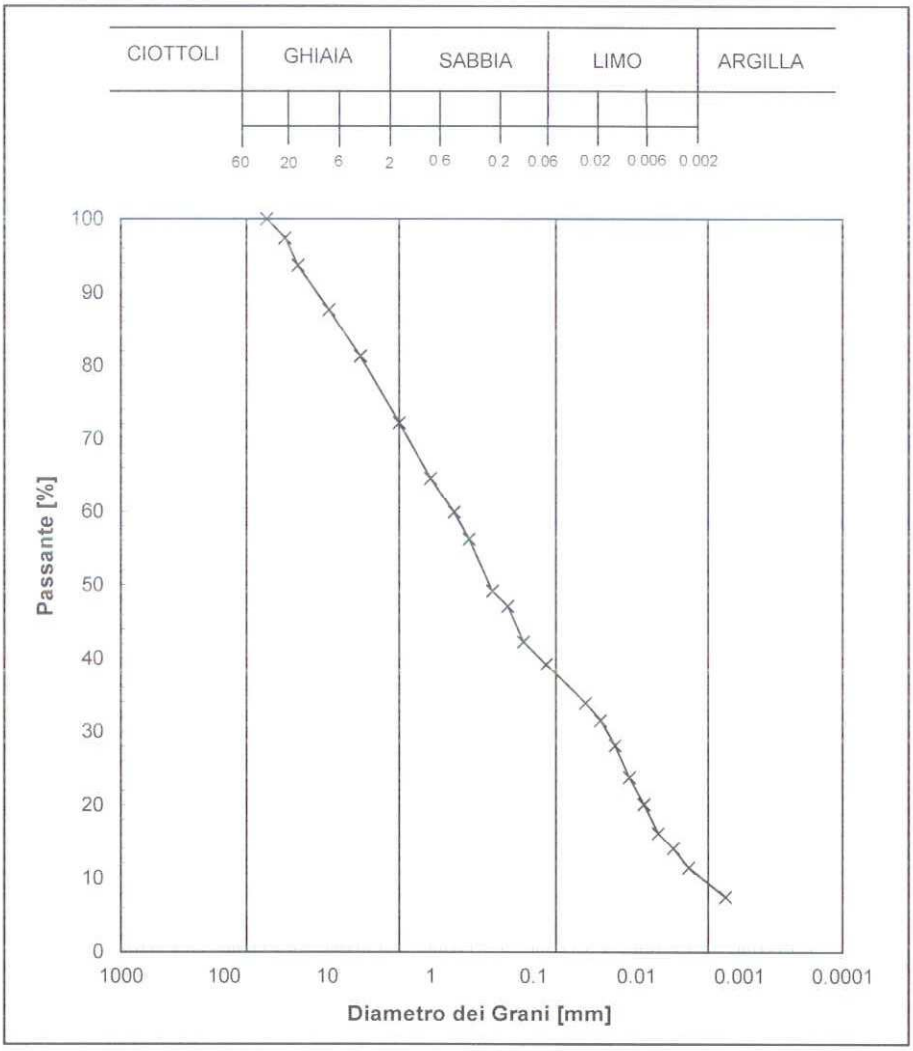
| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S9 |
| **Campione:** | CR7 |
| **Profondità prelievo [m]:** | 21 - 22 |
| **Prova:** | GR1 |
| **Data prova:** | 10/06/2016 |

**Vagliatura**

| Diametro vaglio [mm] | Massa tratt. [g] | Massa tratt. [%] |
|---|---|---|
| | - | - |
| | - | - |
| 38.1 | 0 | 0 |
| 25.4 | 48.7 | 2.5 |
| 19.1 | 71.9 | 3.7 |
| 9.53 | 115.7 | 6.0 |
| 4.75 | 123.0 | 6.4 |
| 2 | 174.9 | 9.1 |
| 1 | 145.5 | 7.6 |
| 0.59 | 90.6 | 4.7 |
| 0.42 | 70.6 | 3.7 |
| 0.25 | 135.5 | 7.0 |
| 0.177 | 39.4 | 2.0 |
| 0.125 | 92.9 | 4.8 |
| 0.075 | 59.1 | 3.1 |

**Aerometria**

| Tempo [min] | Temp. [°C] | Lettura [-] |
|---|---|---|
| 2 | 22.9 | 1.0216 |
| 4 | 22.9 | 1.0203 |
| 8 | 22.9 | 1.0184 |
| 16 | 22.8 | 1.0160 |
| 32 | 22.6 | 1.0140 |
| 64 | 22.1 | 1.0119 |
| 128 | 22.2 | 1.0107 |
| 260 | 22.8 | 1.0091 |
| 1420 | 22.2 | 1.0070 |




**Curva granulom.**

| Diametro [mm] | Passante [%] |
|---|---|
| 3.81.E+01 | 100.0 |
| 2.54.E+01 | 97.5 |
| 1.91.E+01 | 93.7 |
| 9.53.E+00 | 87.7 |
| 4.75.E+00 | 81.3 |
| 2.00.E+00 | 72.2 |
| 1.00.E+00 | 64.6 |
| 5.90.E-01 | 59.9 |
| 4.20.E-01 | 56.2 |
| 2.50.E-01 | 49.2 |
| 1.77.E-01 | 47.1 |
| 1.25.E-01 | 42.3 |
| 7.50.E-02 | 39.2 |
| 3.09.E-02 | 33.9 |
| 2.22.E-02 | 31.6 |
| 1.60.E-02 | 28.1 |
| 1.16.E-02 | 23.8 |
| 8.42.E-03 | 20.2 |
| 6.12.E-03 | 16.2 |
| 4.37.E-03 | 14.1 |
| 3.08.E-03 | 11.5 |
| 1.36.E-03 | 7.5 |
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |

| Prova | Simbolo | Profondità da m | Profondità a m | Massa secca materiale [g] | Metodo preparazione materiale | % < 0.075mm | % CIOTTOLI | % GHIAIA | % SABBIA | % LIMO | % ARGILLA | Massa materiale aerometria [g] | L max [mm] | $D_{60}$ [mm] | $D_{50}$ [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GR1 | x | 21.00 | 22.00 | 1921.8 | VIA UMIDA | **39** | - | **28** | **34** | **29** | **9** | 35 | 62 | 6.0.E-01 | 2.7.E-01 |

NOTE:

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg)
Tel. 035 303120 - Fax 035 303120
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DETERMINAZIONE LIMITI DI ATTERBERG

Concessione Ministeriale Decreto n°55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| | |
|---|---|
| Sperimentatore: | Diaby |
| Direttore: | Saccenti |
| Data emissione: | 11/07/2016 |
| Rev. | 0 |

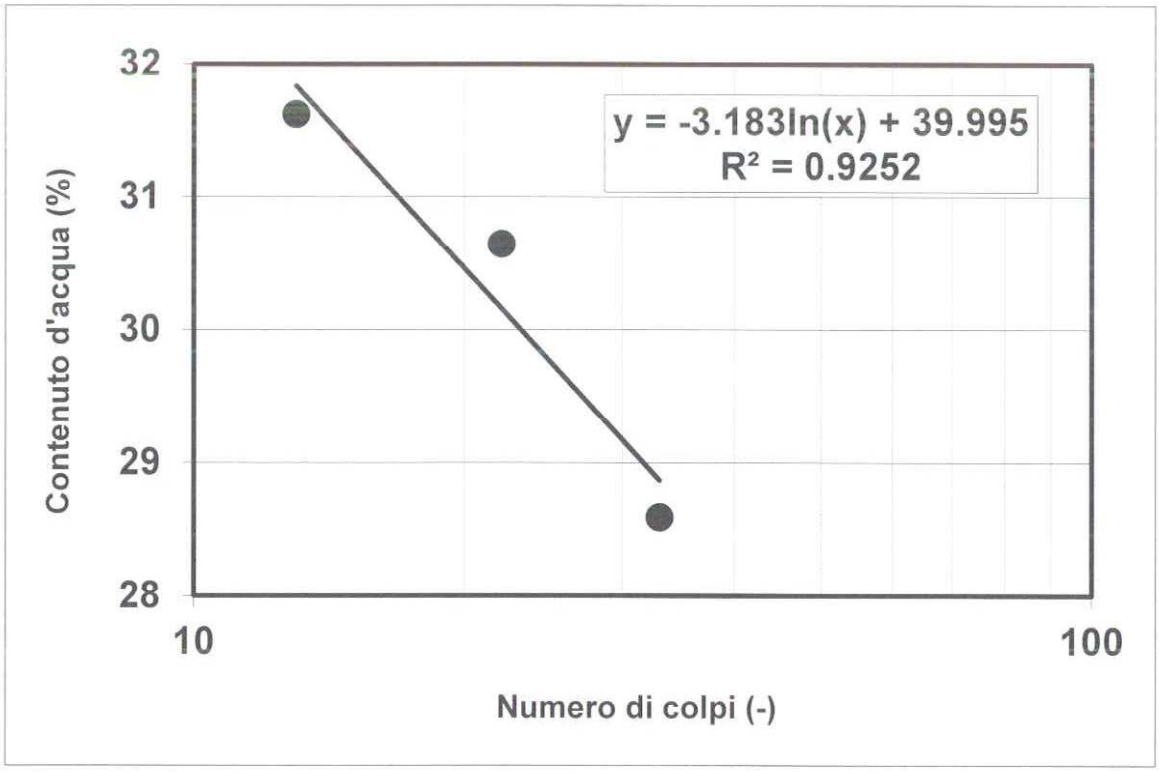
*Normativa di riferimento: ASTM D4318*
*N° certificato di prova:* 024/16/A/035
*N° verbale di accettazione: 024/2016*

| | |
|---|---|
| ***Committente:*** | WASTEITALIA |
| ***Cantiere:*** | BOSSARINO |
| ***Sondaggio:*** | S9 |
| ***Campione:*** | CR7 |
| ***Profondità prova [m]:*** | 21.00 - 22.00 |
| ***Prova:*** | LLP1 |
| ***Data prova:*** | 16/06/2016 |

| Limite Liquido | prova 1 | prova 2 | prova 3 |
|---|---|---|---|
| numero colpi | 13 | 22 | 33 |
| massa tara (g) | 2.15 | 2.18 | 2.15 |
| massa umido + tara (g) | 64.09 | 61.27 | 57.65 |
| massa secco + tara (g) | 49.21 | 47.41 | 45.31 |
| umidità (%) | 31.62 | 30.64 | 28.59 |

| Limite Plastico | | |
|---|---|---|
| massa tara (g) | 2.2 | 2.18 |
| massa umido + tara (g) | 17.74 | 21.76 |
| massa secco + tara (g) | 14.94 | 18.25 |
| umidità (%) | 21.98 | 21.84 |

| | |
|---|---|
| **Limite Liquido LL (%)** | **29.7** |
| **Limite Plastico LP (%)** | **21.9** |
| **Indice Plastico IP(%)** | **7.8** |




Note:

Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 290388 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DESCRIZIONE CAMPIONE RIMANEGGIATO E CARATTERISTICHE GENERALI

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angeloni | Sacsenti |

*N° verbale accettazione:* 024/2016
*N° certificato di prova:* 024/16/A/036

| | |
|---|---|
| ***Committente:*** | WASTEITALIA |
| ***Cantiere:*** | BOSSARINO |
| ***Sondaggio:*** | S10 |
| ***Campione:*** | CR1 |
| ***Profondità prelievo [m]:*** | 4.00 - 5.00 |
| ***Prova:*** | Dc |
| ***Data fine descrizione:*** | 11/07/2016 |

### *Dati Generali di Campionamento*

Data prelievo:
Attrezzatura sondaggio Rotazione
Attrezzatura prelievo: -
Modalità prelievo: -

### *Dati Generali del Campione*

Data arrivo in laboratorio: 07/06/2016
Data estrusione campione: -
Condizioni contenitore: -

Tipo contenitore: -
Forma campione -
Dimensioni Campione: Φ= - cm L= - cm
Classe del terreno: 1

### *Descrizione*

*(Normativa di riferimento: AGI 1977)*
**Ghiaia con sabbia con limo argillosa**

### *Risultati caratteristiche generali*

| Prova | Risultato della prova | *Normativa di riferimento* | *N° certificato di prova* |
|---|---|---|---|
| Limite liquido (%) | 30.2 | *ASTM D4318/95* | |
| Limite plastico (%) | 22.6 | *ASTM D4318/95* | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| Gr 1 | - | *ASTM D422/90* | |

***Note:***
-

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) Tel. 035 303120 - fax 035 290388 Email: ismgeo@ismgeo.it

# ANALISI GRANULOMETRICA

Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Angelon | Saccenti |

Normativa di riferimento: ASTM D422/90
Classificazione di riferimento: AGI 1977
N° certificato di prova: 024/16/A/037
N° verbale di accettazione: 024/2016

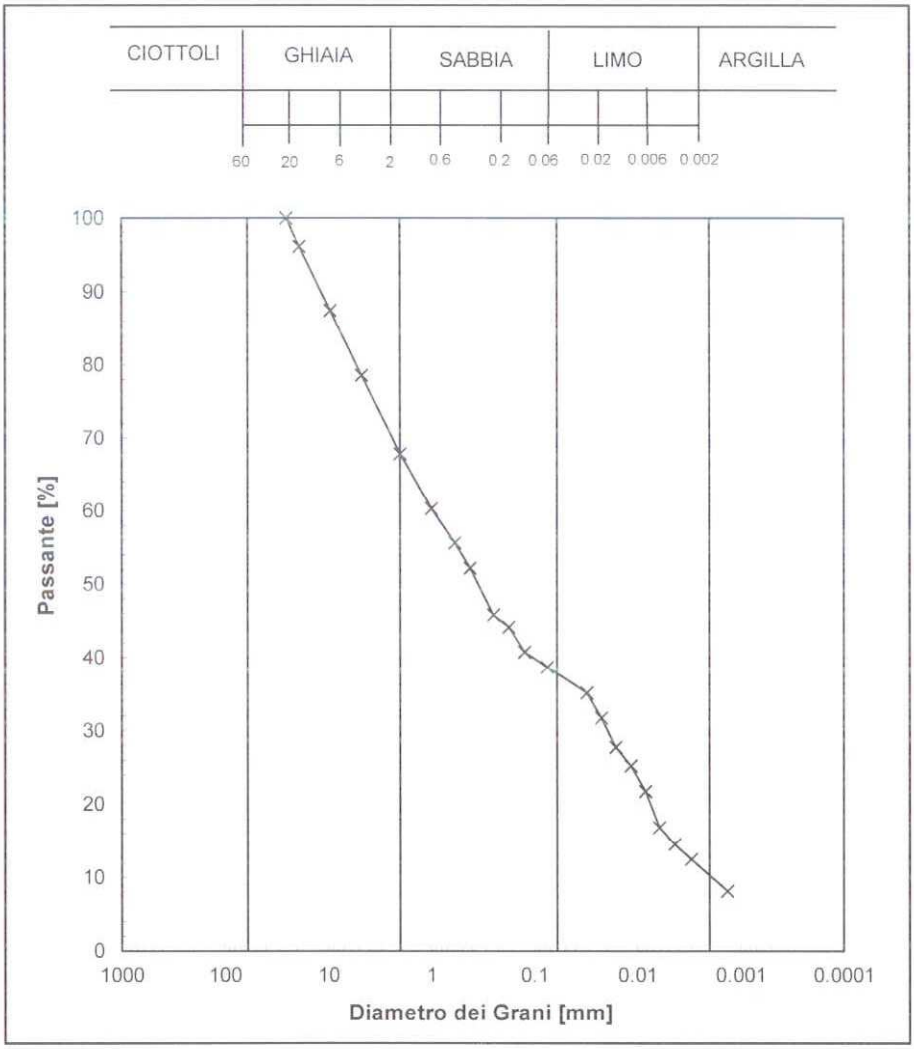
| | |
|---|---|
| **Committente:** | WASTEITALIA |
| **Cantiere:** | BOSSARINO |
| **Sondaggio:** | S10 |
| **Campione:** | CR1 |
| **Profondità prelievo [m]:** | 4 - 5 |
| **Prova:** | GR1 |
| **Data prova:** | 10/06/2016 |

**Vagliatura**

| Diametro vaglio [mm] | Massa tratt. [g] | Massa tratt. [%] |
|---|---|---|
| | - | - |
| | - | - |
| | - | - |
| 25.4 | 0 | 0 |
| 19.1 | 100.1 | 3.9 |
| 9.53 | 225.4 | 8.7 |
| 4.75 | 231.1 | 8.9 |
| 2 | 279.1 | 10.7 |
| 1 | 195.1 | 7.5 |
| 0.59 | 121.5 | 4.7 |
| 0.42 | 89.6 | 3.5 |
| 0.25 | 165.3 | 6.4 |
| 0.177 | 43.6 | 1.7 |
| 0.125 | 87.7 | 3.4 |
| 0.075 | 53.9 | 2.1 |

**Aerometria**

| Tempo [min] | Temp. [°C] | Lettura [-] |
|---|---|---|
| 2 | 22.9 | 1.0222 |
| 4 | 22.9 | 1.0203 |
| 8 | 22.9 | 1.0181 |
| 16 | 22.9 | 1.0167 |
| 32 | 22.8 | 1.0148 |
| 64 | 22.2 | 1.0122 |
| 128 | 22.3 | 1.0109 |
| 272 | 22.7 | 1.0097 |
| 1430 | 22.2 | 1.0074 |




**Curva granulom.**

| Diametro [mm] | Passante [%] |
|---|---|
| 2.54.E+01 | 100.0 |
| 1.91.E+01 | 96.1 |
| 9.53.E+00 | 87.5 |
| 4.75.E+00 | 78.6 |
| 2.00.E+00 | 67.8 |
| 1.00.E+00 | 60.3 |
| 5.90.E-01 | 55.6 |
| 4.20.E-01 | 52.2 |
| 2.50.E-01 | 45.8 |
| 1.77.E-01 | 44.2 |
| 1.25.E-01 | 40.8 |
| 7.50.E-02 | 38.7 |
| 3.08.E-02 | 35.2 |
| 2.23.E-02 | 31.7 |
| 1.61.E-02 | 27.8 |
| 1.16.E-02 | 25.2 |
| 8.35.E-03 | 21.8 |
| 6.11.E-03 | 16.8 |
| 4.37.E-03 | 14.5 |
| 3.01.E-03 | 12.5 |
| 1.35.E-03 | 8.1 |
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |

| Prova | Simbolo | Profondità da m | Profondità a m | Massa secca materiale [g] | Metodo preparazione materiale | % < 0.075mm | % CIOTTOLI | % GHIAIA | % SABBIA | % LIMO | % ARGILLA | Massa materiale aerometria [g] | L max [mm] | $D_{60}$ [mm] | $D_{50}$ [mm] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| GR1 | x | 4.00 | 5.00 | 2597.6 | VIA UMIDA | **39** | - | **32** | **30** | **28** | **10** | 34 | 32 | 9.6.E-01 | 3.5.E-01 |

NOTE:

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg)
Tel. 035 303120 - Fax 035 303120
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DETERMINAZIONE LIMITI DI ATTERBERG

Concessione Ministeriale Decreto n°55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

| | |
|---|---|
| Sperimentatore: | Diaby |
| Direttore: | Saccenti |
| Data emissione: | 11/07/2016 |
| Rev. | 0 |

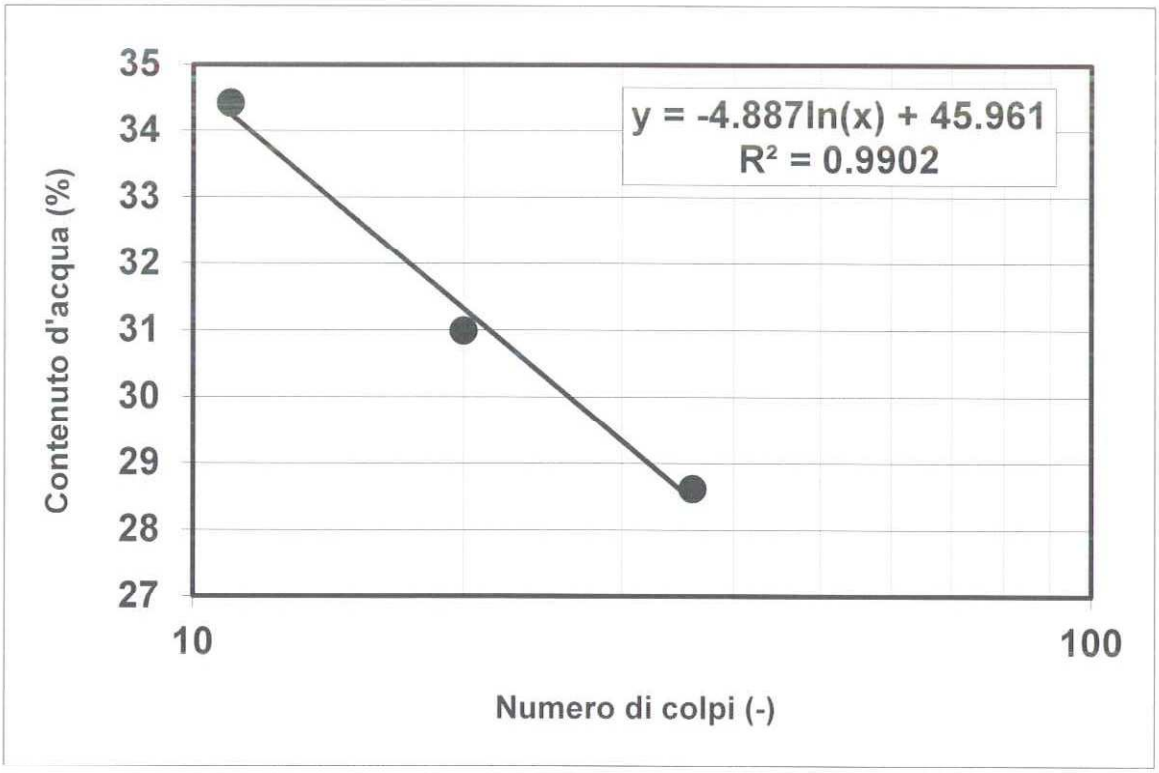
| | |
|---|---|
| *Committente:* | WASTEITALIA |
| *Cantiere:* | BOSSARINO |
| *Sondaggio:* | S10 |
| *Campione:* | CR1 |
| *Profondità prova [m]:* | 4.00 - 5.00 |
| *Prova:* | LLP1 |
| *Data prova:* | 16/06/2016 |

*Normativa di riferimento: ASTM D4318*
*N° certificato di prova:* 024/16/A/038
*N° verbale di accettazione: 024/2016*

| Limite Liquido | | | |
|---|---|---|---|
| | prova 1 | prova 2 | prova 3 |
| numero colpi | 11 | 20 | 36 |
| massa tara (g) | 2.2 | 2.17 | 2.15 |
| massa umido + tara (g) | 58.53 | 53.15 | 60.67 |
| massa secco + tara (g) | 44.11 | 41.09 | 47.65 |
| umidità (%) | 34.41 | 30.99 | 28.62 |

| Limite Plastico | | |
|---|---|---|
| massa tara (g) | 2.17 | 2.15 |
| massa umido + tara (g) | 17.22 | 19.69 |
| massa secco + tara (g) | 14.45 | 16.46 |
| umidità (%) | 22.56 | 22.57 |

| | |
|---|---|
| **Limite Liquido LL (%)** | **30.2** |
| **Limite Plastico LP (%)** | **22.6** |
| **Indice Plastico IP(%)** | **7.7** |




Note:

ISMGEO
Via Pastrengo, 9 - 24068 Seriate (Bg) -
tel. 035 303120 - fax 035 290388 -
Email: ismgeo@ismgeo.it

# DESCRIZIONE CAMPIONE RIMANEGGIATO E CARATTERISTICHE GENERALI

*Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C*

| rev. | data emiss. | sperimentatore | direttore |
|---|---|---|---|
| 0 | 11/07/2016 | Sirtoli | Saccenti |

*N° verbale accettazione:* 024/2016
*N° certificato di prova:* 024/16/A/039

| | |
|---|---|
| ***Committente:*** | WASTEITALIA |
| ***Cantiere:*** | BOSSARINO |
| ***Sondaggio:*** | S10 |
| ***Campione:*** | CRIF3 |
| ***Profondità prelievo [m]:*** | 15.50 - 15.90 |
| ***Prova:*** | Dc |
| ***Data fine descrizione:*** | 11/07/2016 |

### *Dati Generali di Campionamento*

Data prelievo:
Attrezzatura sondaggio: Rotazione
Attrezzatura prelievo: -
Modalità prelievo: -

### *Dati Generali del Campione*

Data arrivo in laboratorio: 07/06/2016
Data estrusione campione: -
Condizioni contenitore: -

Tipo contenitore: -
Forma campione -
Dimensioni Campione: Φ= - cm L= - cm
Classe del terreno: 1

### *Descrizione*

*(Normativa di riferimento: AGI 1977)*
**Rifiuti**

### *Risultati caratteristiche generali*

| Prova | Risultato della prova | *Normativa di riferimento* | *N° certificato di prova* |
|---|---|---|---|
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |
| - | - | - | |

### *Note:*

**Eseguita prova triassiale consolidata drenata non rappresentativa del materiale**

# Allegato A2:
# Interpretazione prove sui rifiuti

Di seguito si riporta l'interpretazione delle prove eseguite sui rifiuti/arginelli ed in particolare:

PROVE DI TAGLIO DIRETTO

| | picco | residuo |
|---|---|---|
| | [°] | [°] |
| $\phi'_A$ | 36.13 | 26.10 |
| $\phi'_B$ | 35.18 | 34.41 |
| $\phi'_C$ | 35.66 | 34.61 |
| $\phi'_{MEDIO}$ | **35.66** | **31.71** |

| | |
|---|---|
| $c'_{PICCO}$ | 3 |
| $c'_{RESIDUO}$ | 0 |

*Tabella 1- Interpretazione prova di compressione triassiale S6 C-RIF3 - rifiuto*

| | picco | residuo |
|---|---|---|
| | [°] | [°] |
| $\phi'_A$ | 19.54 | 18.26 |
| $\phi'_B$ | 22.42 | 21.55 |
| $\phi'_C$ | 20.99 | 19.93 |
| $\phi'_{MEDIO}$ | 20.99 | 19.91 |

| | |
|---|---|
| $c'_{PICCO}$ | 22.5 |
| $c'_{RESIDUO}$ | 24 |

*Tabella 2- Interpretazione prova di compressione triassiale S8 C-R4 -arginello*

| | picco | residuo |
|---|---|---|
| | [°] | [°] |
| $\phi'_A$ | 39.35 | 32.82 |
| $\phi'_B$ | 35.75 | 26.45 |
| $\phi'_C$ | 40.61 | 29.74 |
| $\phi'_{MEDIO}$ | **38.57** | **29.67** |

| | |
|---|---|
| $c'_{PICCO}$ | 0 |
| $c'_{RESIDUO}$ | 11.5 |

*Tabella 3- Interpretazione prova di compressione triassiale S9 C-RIF6 -rifiuto*

| SONDAGGIO | PROF. CAMPIONE | $\phi'_{picco}$ | $c'_{PICCO}$ | $\phi'_{residuo}$ | $c'_{RESIDUO}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| | *m da p.c.* | *[°]* | *[kPa]* | *[°]* | *[kPa]* |
| S6 | 9-10 | 35.7 | 3 | 31.7 | 0 |
| S8 | 14-15 | 21.0 | 23 | 19.9 | 24 |
| S9 | 18-19 | 38.6 | 0 | 29.7 | 12 |
| **MEDIA** | | **31.7** | **9** | **27.1** | **12** |

*Tabella 4 Sintesi dei risultati delle prove di taglio eseguite sui campioni di rifiuto/arginelli di coltivazione*

PROVE DI COMPRESSIONE TRIASSIALE

| ε | t | s' | ϕ' | c' |
|---|---|---|---|---|
| *[%]* | *[kPa]* | *[kPa]* | *[°]* | *[kPa]* |
| 10 | 33.6 | 63.6 | 25.4 | 14 |
| 10 | 123.3 | 223.3 | | |
| 10 | 158.8 | 358.8 | | |
| 15 | 49.8 | 79.8 | 33.2 | 12 |
| 15 | 160.1 | 260.1 | | |
| 15 | 256.2 | 456.2 | | |
| 20 | 72.9 | 102.9 | 37.2 | 13 |
| 20 | 181.0 | 281.0 | | |

*Tabella 5- Interpretazione prova di compressione triassiale S7 C-RIF2-rifiuto*

| e | t | s' | ϕ' | c' |
|---|---|---|---|---|
| *[%]* | *[kPa]* | *[kPa]* | *[°]* | *[kPa]* |
| 10 | 79.0 | 129.0 | 24.74 | 37 |
| 10 | 157.5 | 257.5 | | |
| 10 | 187.1 | 387.1 | | |
| 15 | 120.5 | 170.5 | 29.06 | 55 |
| 15 | 235.3 | 335.3 | | |
| 15 | 254.5 | 454.5 | | |
| 20 | 164.7 | 214.7 | 27.39 | 86 |
| 20 | 292.3 | 392.3 | | |
| 20 | 264.7 | 464.7 | | |

*Tabella 6- Interpretazione prova di compressione triassiale S7 C-RIF2-rifiuto*

| e | t | s' | ϕ' | c' |
|---|---|---|---|---|
| *[%]* | *[kPa]* | *[kPa]* | *[°]* | *[kPa]* |
| 10 | 62.6 | 112.6 | 29.39 | 16 |
| 10 | 247.0 | 447.0 | | |
| 10 | 400.7 | 800.7 | | |
| 15 | 65.6 | 115.6 | 32.24 | 10 |
| 15 | 266.6 | 466.6 | | |
| 15 | 467.0 | 867.0 | | |
| 20 | 66.8 | 116.8 | 33.08 | 6 |
| 20 | 259.3 | 459.3 | | |
| 20 | 488.2 | 888.2 | | |

*Tabella 7- Interpretazione prova di compressione triassiale S8 C-RIF5-rifiuto*

| SONDAGGIO | PROF. CAMPIONE | 10 % strain | | 15 % strain | | 20 % strain | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ϕ' | c' | ϕ' | c' | ϕ' | c' |
| | *m da p.c.* | *[°]* | *[kPa]* | *[°]* | *[kPa]* | *[°]* | *[kPa]* |
| S7 | 3-4 | 25.4 | 14 | 33.2 | 12 | 37.2 | 13 |
| S7 | 6-7 | 24.7 | 37 | 29.1 | 55 | 27.4 | 86 |
| S8 | 16-17 | 29.4 | 16 | 32.2 | 10 | 33.1 | 6 |
| **MEDIA** | | **26.5** | **22** | **31.5** | **26** | **32.6** | **35** |

*Tabella 8 Sintesi dei risultati delle prove di compressione triassiale eseguite sui campioni di rifiuto*

Nella tabella seguente di riportano i parametri medi caratteristici ottenuti dalle prove di taglio e di compressione triassiale dei rifiuti

| $\phi'_{MEDIO}$ | $c'_{MEDIO}$ |
|---|---|
| *[°]* | *[kPa]* |
| 30 | 21 |

*Tabella 9 Sintesi dei risultati delle prove di compressione triassiale eseguite sui campioni di rifiuto*

# Allegato A3:
# Prova di taglio su rifiuti - 2013

**elletipi s.r.l.**
Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA
P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387
sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE INTEGRATO CERTIFICATO DA DNV
UNI EN ISO 9001/2000
UNI EN ISO 14001

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 9199 del 10/10/2011, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC e 7619/STC

# PROVA DI TAGLIO DIRETTO (norma ASTM D 3080)

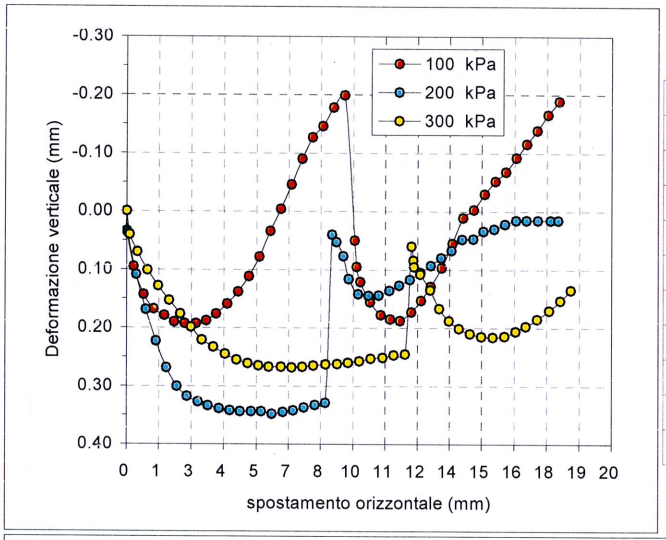
| | | | |
|---|---|---|---|
| COMMITTENTE: | BOSSARINO Srl - loc. Bossarino - Vado Ligure (SV) | | |
| CANTIERE: | loc. Bossarino - Vado Ligure (SV) | | |
| CAMPIONE: | G13AB RA1 14.00-14.60 | | |
| COMMESSA: | 12543/13 | DURATA PROVE: | 25/11 - 20/12/13 |
| VERBALE ACC.: | 262/13 | DATA CONSEGNA: | 15/11/13 |
| GEO - CERT. n°: | G137618 | rev.00 del: | 20/12/13 |

Il campione è stato conservato in vasca umidostatica

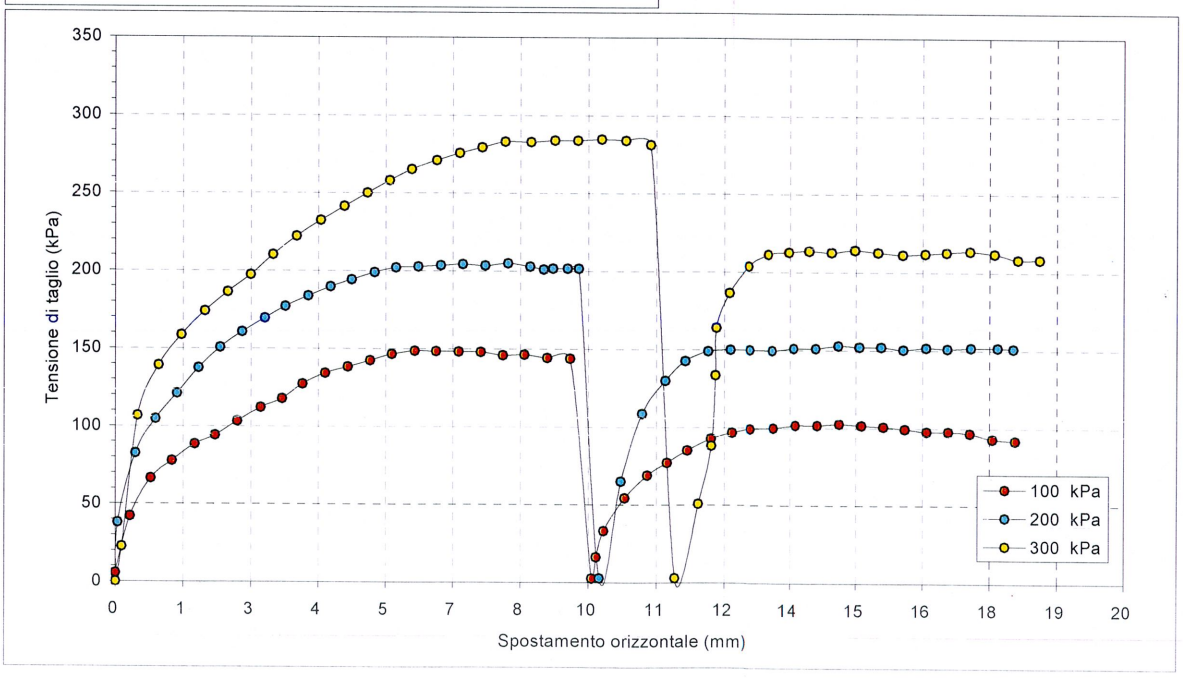
CODICI STRUMENTAZIONE: calibro 12; bilancia 480; trasduttori LVDT 540, 540, 543, 544; SG 539, 542.

| | |
|---|---|
| Macchina: | CONTROLS T206 Electronic/T207 Digital |
| Prova: | CONSOLIDATA DRENATA (provino ricostituito) |
| Dimensioni provino: | ϕ x h = 60 x 30 mm |
| Velocità prova: | 0,004 mm/min |

NATURA DEL CAMPIONE: rifiuto composto da argilla limosa con plastica, geotessuto, cenere, fil di ferro e legno




| | PROVINO 1 | PROVINO 2 | PROVINO 3 |
|---|---|---|---|
| σv (kPa) | 100 | 200 | 300 |
| W ini (%) | 55.3 | 55.3 | 55.3 |
| γ ini (Mg/m$^3$) | 1.59 | 1.59 | 1.59 |
| γd ini (Mg/m$^3$) | 1.02 | 1.03 | 1.03 |
| S ini (%) | 94 | 95 | 95 |
| W fin (%) | 55.3 | 48.9 | 45.2 |
| γ fin (Mg/m$^3$) | 1.65 | 1.69 | 1.72 |
| γd fin (Mg/m$^3$) | 1.06 | 1.14 | 1.18 |
| S fin (%) | 100 | 100 | 100 |
| G (Mg/m$^3$) | 2.560 | | |
| H fine cons (mn | 29.087 | 28.830 | 28.662 |




Il Direttore del Laboratorio terre:
dott. geol. (dottore di ricerca) Gianluca Ferioli

Lo Sperimentatore:
dott. Luciano Rossi

**elletipi s.r.l.**
Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA
P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387
sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE INTEGRATO CERTIFICATO DA DNV
UNI EN ISO 9001/2000
UNI EN ISO 14001

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 9199 del 10/10/2011, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC e 7619/STC

# PROVA DI TAGLIO DIRETTO (norma ASTM D 3080)

| | | | |
|---|---|---|---|
| COMMITTENTE: | BOSSARINO Srl - loc. Bossarino - Vado Ligure (SV) | | |
| CANTIERE: | loc. Bossarino - Vado Ligure (SV) | | |
| CAMPIONE: | G13AB RA1 14.00-14.60 | | |
| COMMESSA: | 12543/13 | DURATA PROVE: | 25/11 - 20/12/13 |
| VERBALE ACC.: | 262/13 | DATA CONSEGNA: | 15/11/13 |
| GEO - CERT. n°: | G137618 | rev.00 del: | 20/12/13 |

| PROVINO 1 | 100 | kPa | PROVINO 2 | 200 | kPa | PROVINO 3 | 300 | kPa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Def.or. (mm) | Tensione (kPa) | Def.ver. (mm) | Def.or. (mm) | Tensione (kPa) | Def.ver. (mm) | Def.or. (mm) | Tensione (kPa) | Def.ver. (mm) |
| 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 0.001 | 5.482 | 0.034 | 0.043 | 37.988 | 0.037 | 0.125 | 22.635 | 0.040 |
| 0.294 | 42.088 | 0.095 | 0.398 | 82.482 | 0.109 | 0.446 | 106.775 | 0.070 |
| 0.713 | 66.491 | 0.143 | 0.807 | 104.716 | 0.169 | 0.874 | 138.995 | 0.101 |
| 1.141 | 77.703 | 0.168 | 1.239 | 121.110 | 0.223 | 1.330 | 158.553 | 0.128 |
| 1.595 | 88.490 | 0.179 | 1.672 | 137.504 | 0.269 | 1.798 | 174.044 | 0.153 |
| 2.005 | 94.255 | 0.190 | 2.110 | 150.644 | 0.301 | 2.258 | 186.352 | 0.176 |
| 2.449 | 103.274 | 0.193 | 2.545 | 160.634 | 0.318 | 2.715 | 197.458 | 0.199 |
| 2.923 | 112.009 | 0.193 | 3.007 | 169.420 | 0.327 | 3.168 | 210.226 | 0.221 |
| 3.356 | 117.810 | 0.188 | 3.418 | 177.105 | 0.334 | 3.645 | 222.286 | 0.233 |
| 3.770 | 127.111 | 0.176 | 3.880 | 183.739 | 0.339 | 4.139 | 232.436 | 0.245 |
| 4.230 | 134.114 | 0.159 | 4.334 | 189.682 | 0.342 | 4.614 | 241.491 | 0.255 |
| 4.687 | 138.217 | 0.138 | 4.764 | 194.293 | 0.344 | 5.078 | 250.085 | 0.261 |
| 5.138 | 142.355 | 0.112 | 5.224 | 198.904 | 0.344 | 5.534 | 258.149 | 0.265 |
| 5.576 | 146.458 | 0.078 | 5.660 | 202.003 | 0.344 | 5.979 | 265.328 | 0.267 |
| 6.043 | 148.474 | 0.034 | 6.111 | 202.618 | 0.348 | 6.490 | 270.916 | 0.267 |
| 6.477 | 148.403 | -0.004 | 6.571 | 203.591 | 0.345 | 6.949 | 275.691 | 0.268 |
| 6.934 | 148.191 | -0.046 | 7.017 | 204.283 | 0.342 | 7.402 | 279.440 | 0.267 |
| 7.377 | 147.908 | -0.090 | 7.467 | 203.438 | 0.337 | 7.869 | 283.154 | 0.265 |
| 7.824 | 145.856 | -0.127 | 7.923 | 204.872 | 0.333 | 8.387 | 282.941 | 0.263 |
| 8.257 | 146.245 | -0.146 | 8.370 | 202.925 | 0.329 | 8.867 | 284.002 | 0.262 |
| 8.714 | 144.300 | -0.178 | 8.642 | 201.081 | 0.040 | 9.323 | 284.002 | 0.260 |
| 9.176 | 143.805 | -0.199 | 8.830 | 201.593 | 0.053 | 9.803 | 284.710 | 0.257 |
| 9.600 | 2.759 | 0.050 | 9.120 | 201.593 | 0.077 | 10.288 | 284.002 | 0.253 |
| 9.691 | 16.340 | 0.095 | 9.348 | 201.593 | 0.116 | 10.782 | 281.173 | 0.251 |
| 9.842 | 33.246 | 0.121 | 9.752 | 2.869 | 0.142 | 11.259 | 3.112 | 0.247 |
| 10.259 | 54.466 | 0.156 | 10.184 | 64.961 | 0.145 | 11.731 | 50.929 | 0.245 |
| 10.712 | 68.967 | 0.178 | 10.610 | 108.609 | 0.144 | 12.000 | 88.278 | 0.060 |
| 11.110 | 77.102 | 0.185 | 11.074 | 129.921 | 0.136 | 12.082 | 133.548 | 0.084 |
| 11.518 | 85.236 | 0.188 | 11.480 | 142.627 | 0.127 | 12.102 | 164.106 | 0.095 |
| 11.994 | 92.663 | 0.173 | 11.936 | 148.979 | 0.117 | 12.371 | 186.458 | 0.108 |
| 12.417 | 96.554 | 0.153 | 12.389 | 150.004 | 0.105 | 12.794 | 203.718 | 0.135 |
| 12.830 | 99.030 | 0.129 | 12.818 | 150.004 | 0.093 | 13.186 | 211.357 | 0.167 |
| 13.296 | 99.737 | 0.097 | 13.270 | 149.594 | 0.080 | 13.602 | 212.772 | 0.188 |
| 13.742 | 101.505 | 0.055 | 13.703 | 151.028 | 0.067 | 14.026 | 213.621 | 0.201 |
| 14.191 | 101.505 | 0.011 | 14.155 | 151.028 | 0.048 | 14.491 | 212.772 | 0.210 |
| 14.641 | 102.566 | -0.003 | 14.619 | 152.873 | 0.047 | 14.965 | 214.187 | 0.215 |
| 15.102 | 101.505 | -0.030 | 15.052 | 152.053 | 0.034 | 15.440 | 212.772 | 0.216 |
| 15.546 | 100.798 | -0.052 | 15.501 | 152.053 | 0.030 | 15.939 | 211.272 | 0.214 |
| 15.985 | 99.383 | -0.068 | 15.954 | 150.414 | 0.022 | 16.397 | 211.923 | 0.206 |
| 16.427 | 97.615 | -0.092 | 16.416 | 151.643 | 0.015 | 16.829 | 212.772 | 0.197 |
| 16.872 | 97.615 | -0.116 | 16.850 | 151.028 | 0.015 | 17.307 | 213.621 | 0.185 |
| 17.308 | 96.554 | -0.139 | 17.330 | 151.643 | 0.015 | 17.808 | 211.923 | 0.170 |
| 17.765 | 93.017 | -0.166 | 17.870 | 151.643 | 0.015 | 18.275 | 208.245 | 0.153 |
| 18.223 | 91.956 | -0.189 | 18.190 | 151.028 | 0.015 | 18.714 | 208.140 | 0.135 |

Il Direttore del Laboratorio terre:
dott. geol. (dottore di ricerca) Gianluca Ferioli

Lo Sperimentatore:
dott. Luciano Rossi

**elletipi s.r.l.**
Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA
P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387
sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE INTEGRATO CERTIFICATO DA DNV
UNI EN ISO 9001/2000
UNI EN ISO 14001

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 9199 del 10/10/2011, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC e 7619/STC

# PROVA DI TAGLIO DIRETTO (norma ASTM D 3080)

| | | | |
|---|---|---|---|
| COMMITTENTE: | BOSSARINO Srl - loc. Bossarino - Vado Ligure (SV) | | |
| CANTIERE: | loc. Bossarino - Vado Ligure (SV) | | |
| CAMPIONE: | G13AB RA1 14.00-14.60 | | |
| COMMESSA: | 12543/13 | DURATA PROVE: | 25/11 - 20/12/13 |
| VERBALE ACC.: | 262/13 | DATA CONSEGNA: | 15/11/13 |
| GEO - CERT. n°: | G137618 | rev.00 del: | 20/12/13 |

**Consolidazione Provino 1**

**100 kPa**

| Tempo (min) | Dh (mm) |
|---|---|
| H0 | 0.000 |
| 0.08 | 0.019 |
| 0.14 | 0.036 |
| 0.23 | 0.073 |
| 0.39 | 0.118 |
| 1.08 | 0.232 |
| 1.81 | 0.312 |
| 5.05 | 0.482 |
| 8.44 | 0.559 |
| 14.09 | 0.610 |
| 39.29 | 0.692 |
| 65.61 | 0.734 |
| 109.58 | 0.770 |
| 182.98 | 0.802 |
| 305.58 | 0.831 |
| 510.33 | 0.852 |
| 852.27 | 0.891 |
| 1423.30 | 0.913 |

**Consolidazione Provino 2**

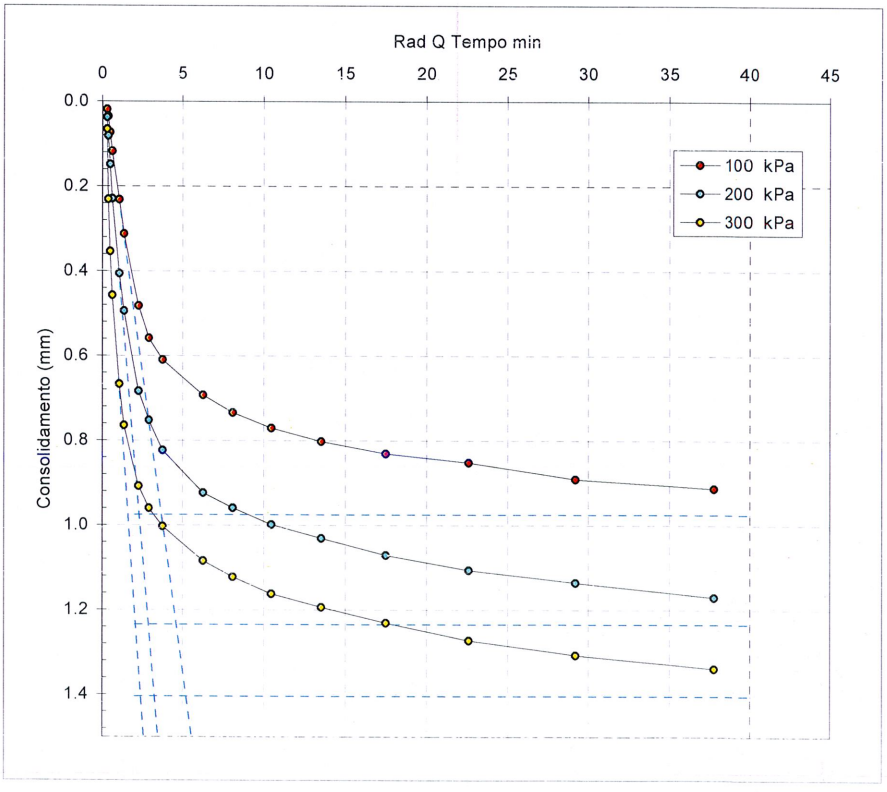
**200 kPa**

| Tempo (min) | Dh (mm) |
|---|---|
| H0 | 0.000 |
| 0.08 | 0.038 |
| 0.14 | 0.082 |
| 0.23 | 0.149 |
| 0.39 | 0.229 |
| 1.08 | 0.406 |
| 1.81 | 0.494 |
| 5.05 | 0.684 |
| 8.44 | 0.752 |
| 14.09 | 0.824 |
| 39.29 | 0.923 |
| 65.61 | 0.959 |
| 109.58 | 0.998 |
| 182.98 | 1.031 |
| 305.58 | 1.071 |
| 510.33 | 1.106 |
| 852.27 | 1.136 |
| 1423.30 | 1.170 |

**Consolidazione Provino 3**

**300 kPa**

| Tempo (min) | Dh (mm) |
|---|---|
| H0 | 0.000 |
| 0.08 | 0.066 |
| 0.14 | 0.231 |
| 0.23 | 0.354 |
| 0.39 | 0.457 |
| 1.08 | 0.667 |
| 1.81 | 0.765 |
| 5.05 | 0.908 |
| 8.44 | 0.960 |
| 14.09 | 1.003 |
| 39.29 | 1.085 |
| 65.61 | 1.122 |
| 109.58 | 1.162 |
| 182.98 | 1.194 |
| 305.58 | 1.231 |
| 510.33 | 1.272 |
| 852.27 | 1.307 |
| 1423.30 | 1.338 |




$t_{100}$ min
(Bishop ed Henkel)

Provino 1

13.5

Provino 2

8.2

Provino 3

5.7

Il Direttore del Laboratorio terre:
dott. geol. Gianluca Ferioli

Lo Sperimentatore:
dott. Luciano Rossi

**elletipi s.r.l.**
Sede legale, operativa, amm.va: via Zucchini, 69 - 44100 FERRARA
P.IVA e Codice Fiscale n.00174600387
sito: www.elletipi.it - email: info@elletipi.it
Laboratorio aut. dal Ministero Infrastrutture e Trasporti P.C.S. LL.PP. S.T.C. in base al D.P.R. n. 380/01 art. 59 circ. n. 349/99 Dec. n° 53362 del 06/05/2005

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE INTEGRATO CERTIFICATO DA DNV
UNI EN ISO 9001/2000
UNI EN ISO 14001

# PROVA DI TAGLIO DIRETTO (norma ASTM D 3080)

| | | | |
|---|---|---|---|
| COMMITTENTE: | BOSSARINO Srl - loc. Bossarino - Vado Ligure (SV) | | |
| CANTIERE: | loc. Bossarino - Vado Ligure (SV) | | |
| CAMPIONE: | G13AB RA1 14.00-14.60 | | |
| COMMESSA: | 12543/13 | DURATA PROVE: | 0 |
| VERBALE ACC.: | 262/13 | DATA CONSEGNA: | 0 |

***Il presente elaborato non è parte del certificato di prova cui è allegato, è solo un'interpreazione soggettiva dei risultati di prova.***

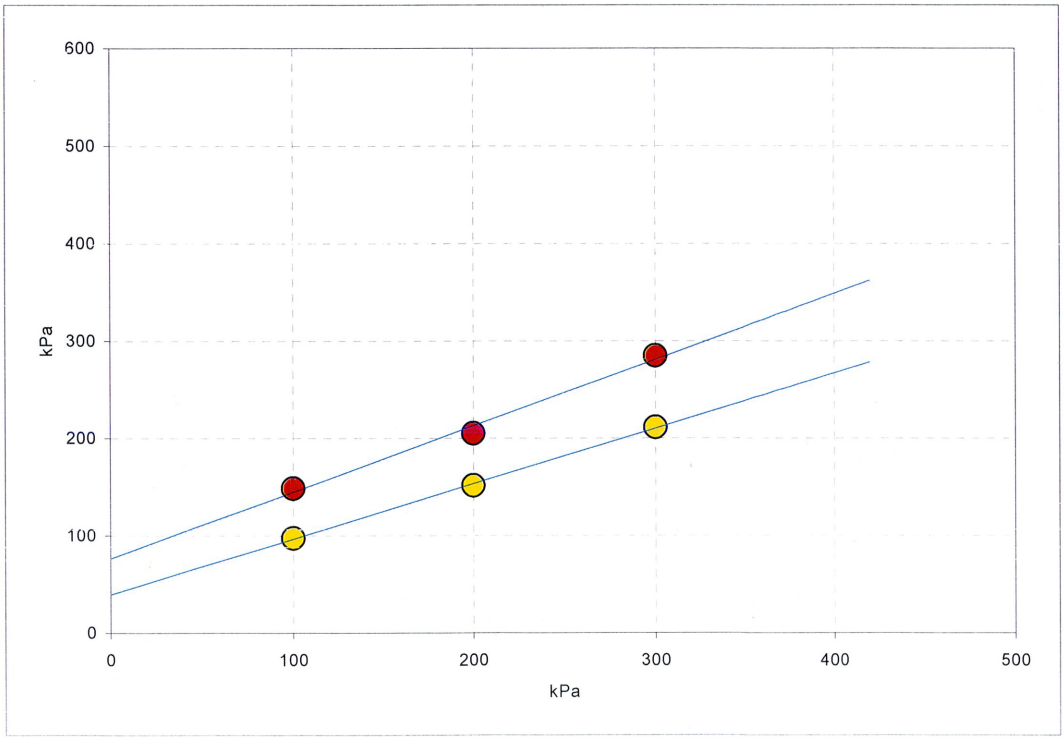
| | PROVINO 1 | PROVINO 2 | PROVINO 3 |
|---|---|---|---|
| Pressione verticale (kPa) | **100** | **200** | **300** |
| Tensione di taglio PICCO (kPa) | **148.47** | **204.87** | **284.71** |
| Tensione di taglio RESIDUO (kPa) | **97.31** | **151.44** | **211.13** |

**VALORI DI PICCO**

**Coesione:** **76.45 kPa** **Angolo di attrito:** **34°**

**VALORI RESIDUI**

**Coesione:** **39.47 kPa** **Angolo di attrito:** **30°**



# Allegato B:
# Analisi di stabilità della discarica

# Sezioni considerate per le analisi di stabilità

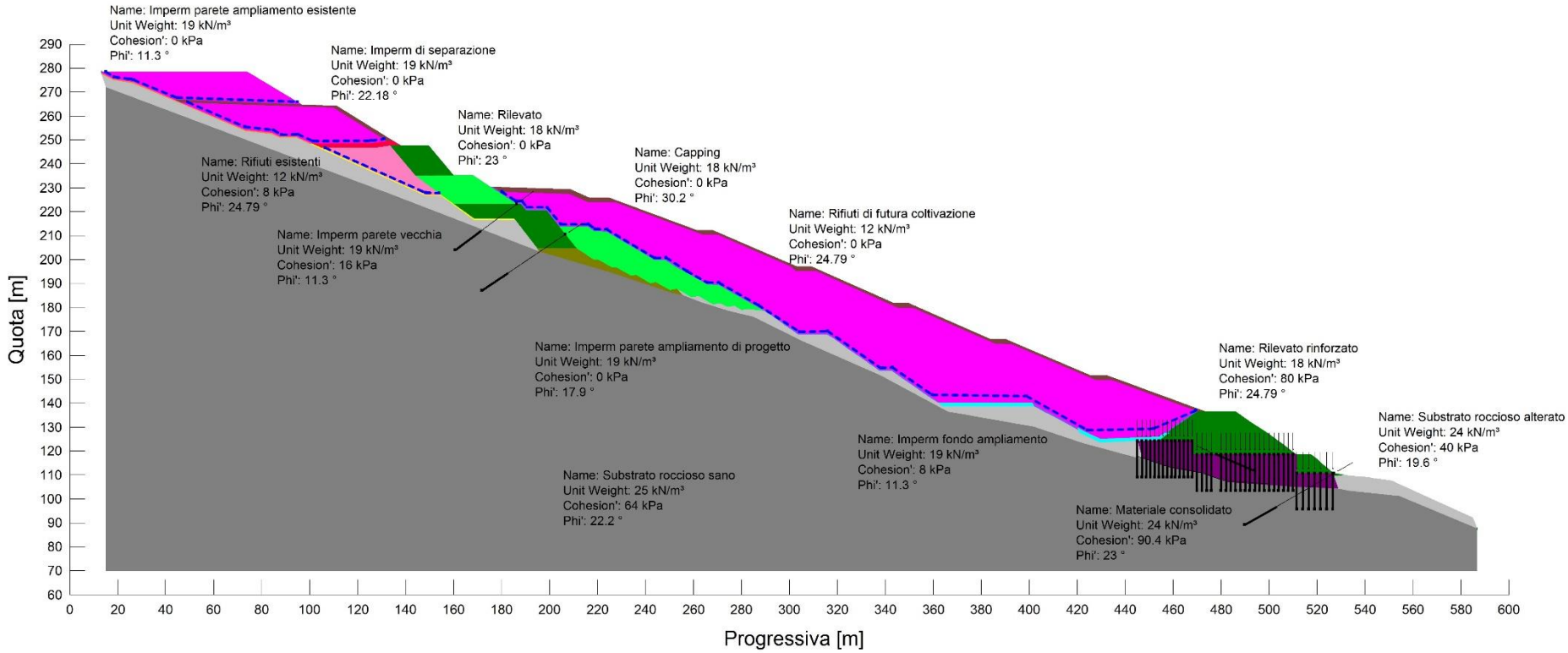



*Figura 1: Sezione 3-3*

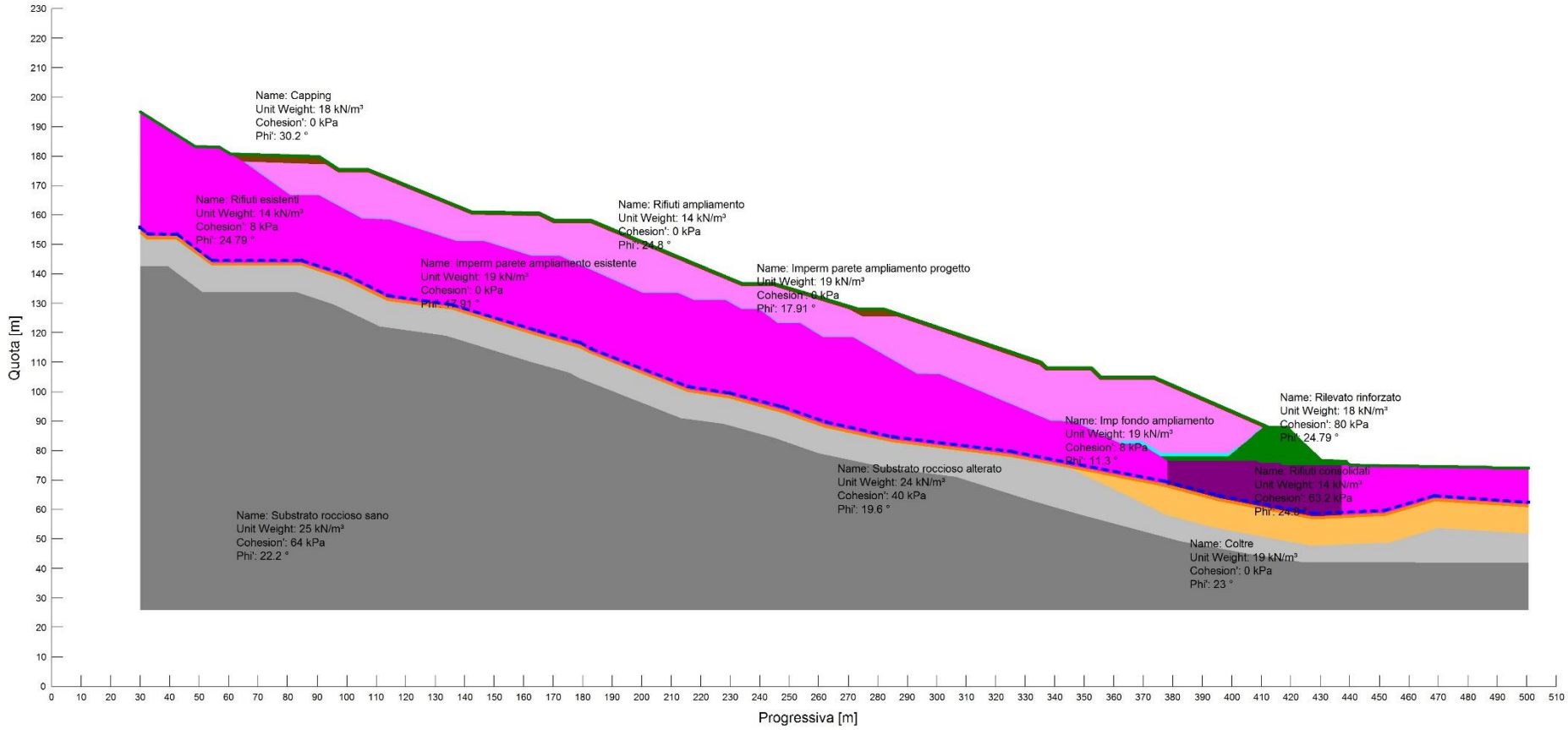



*Figura-2: Sezione A6b-A6b*

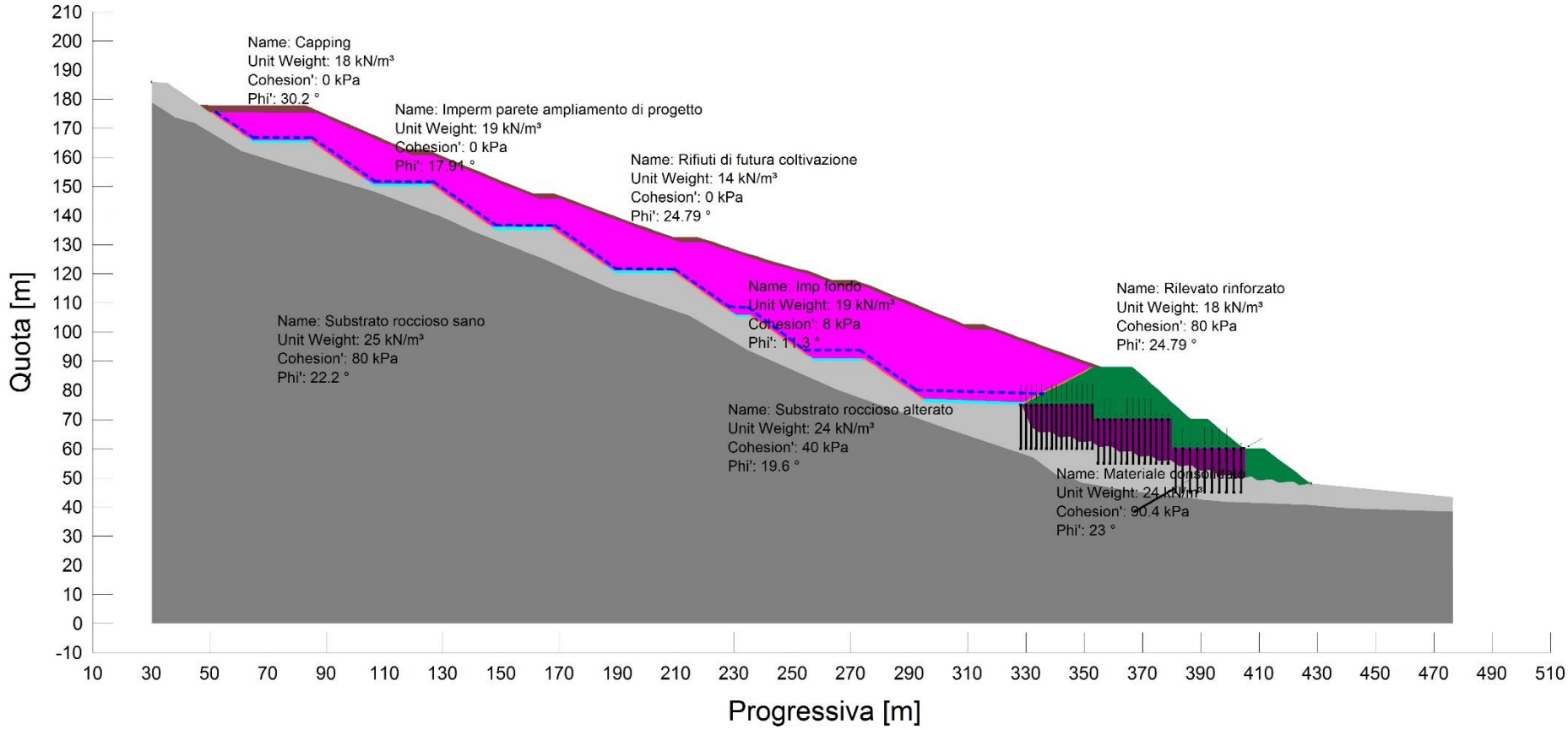



*Figura 3: Sezione C1-C1*

Desmos
Ingegneria Ambiente Energia

# Analisi di stabilità della discarica in condizioni statiche

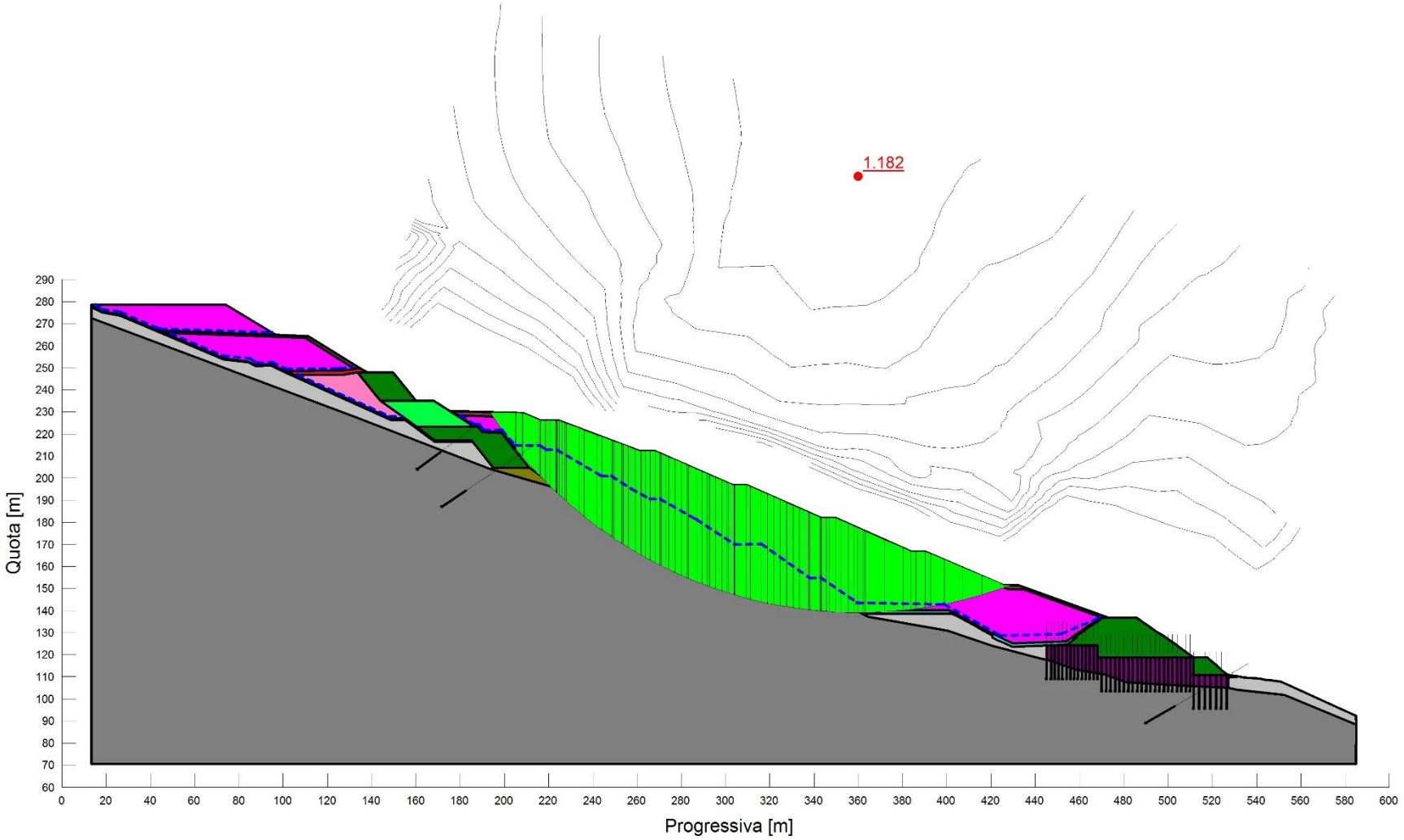



*Figura 4a: Sezione 3-3 -Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=1.182*

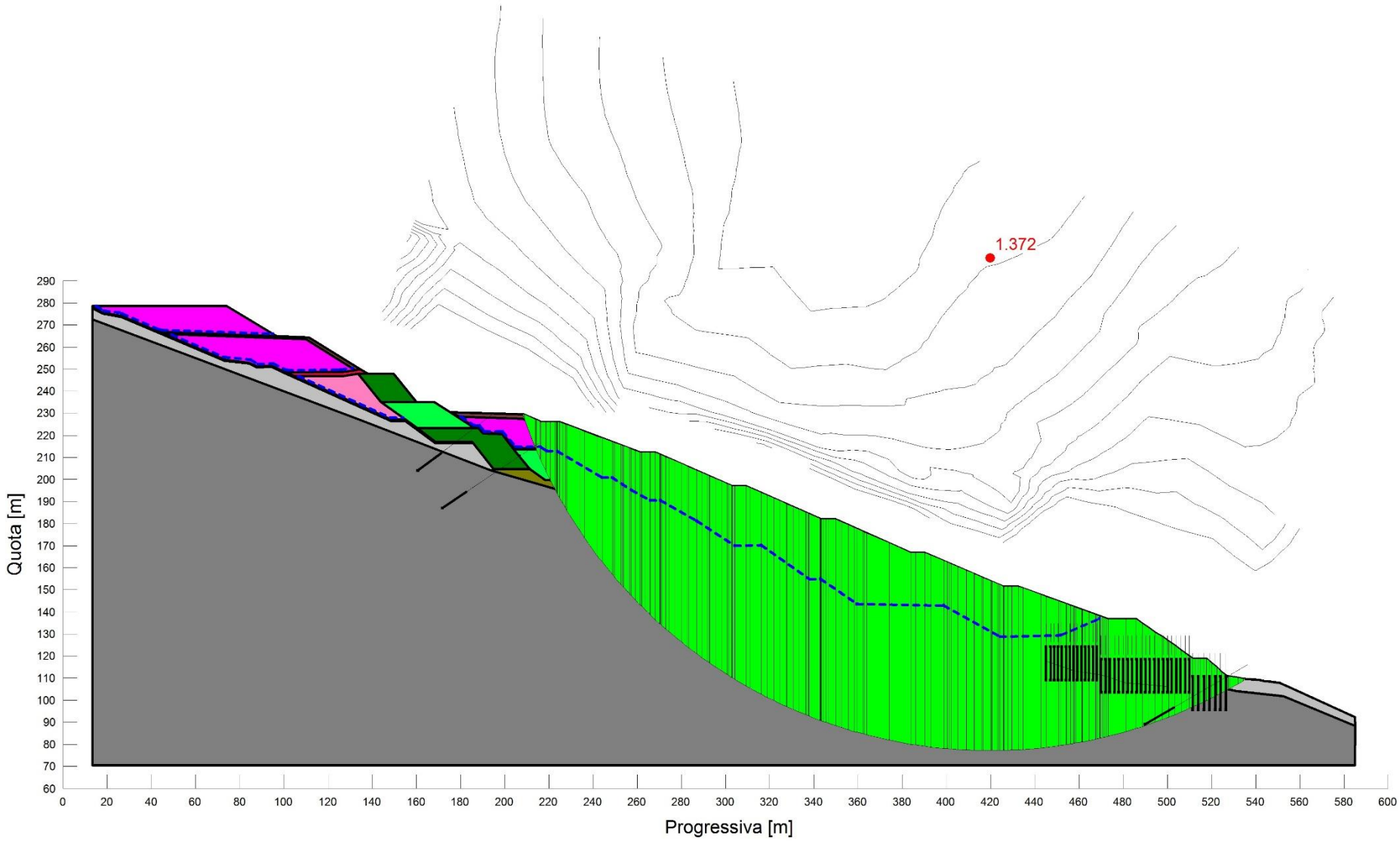



*Figura 4b: Sezione 3-3 -Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=1.372*

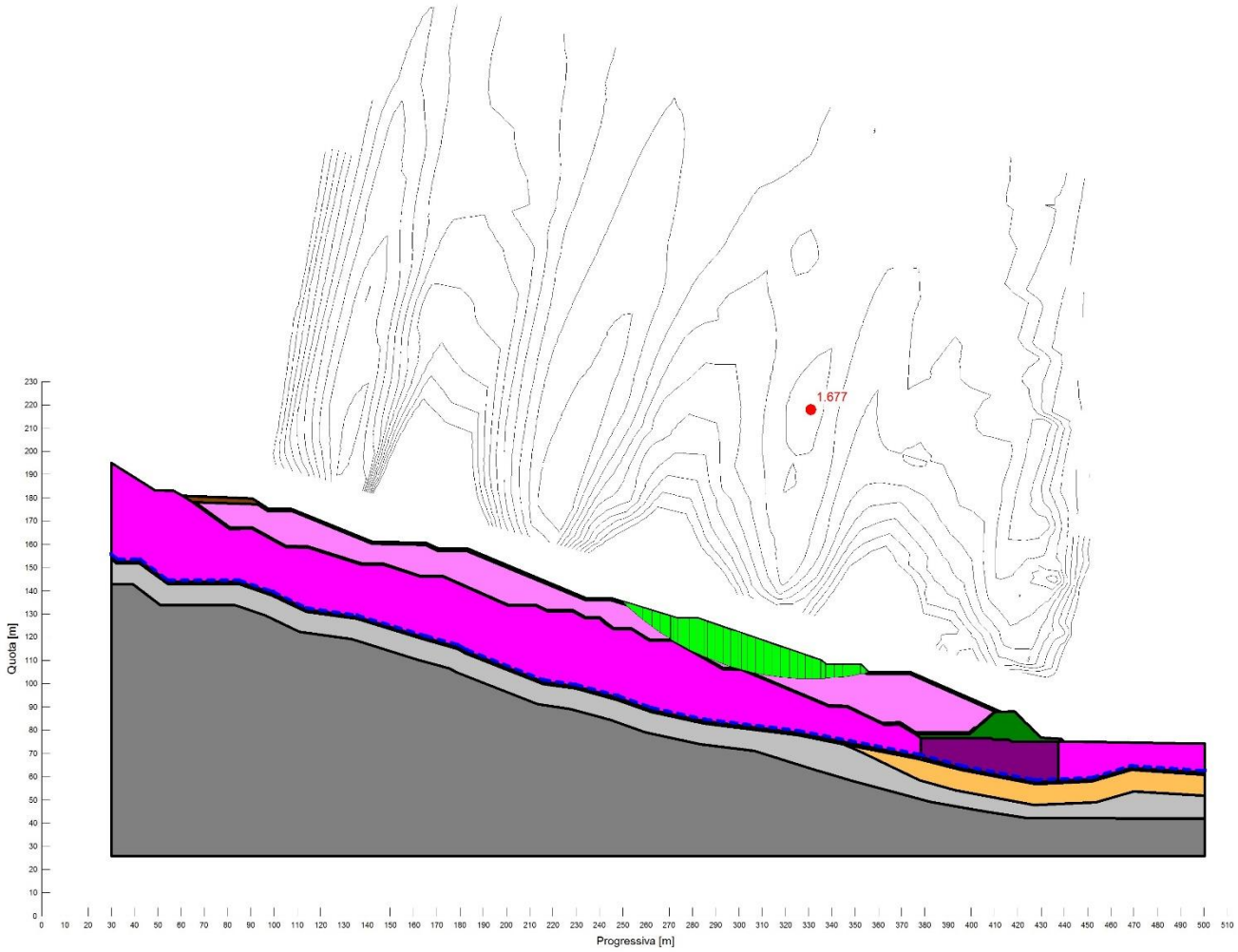



*Figura 5a: Sezione A6b-A6b - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=1.677*

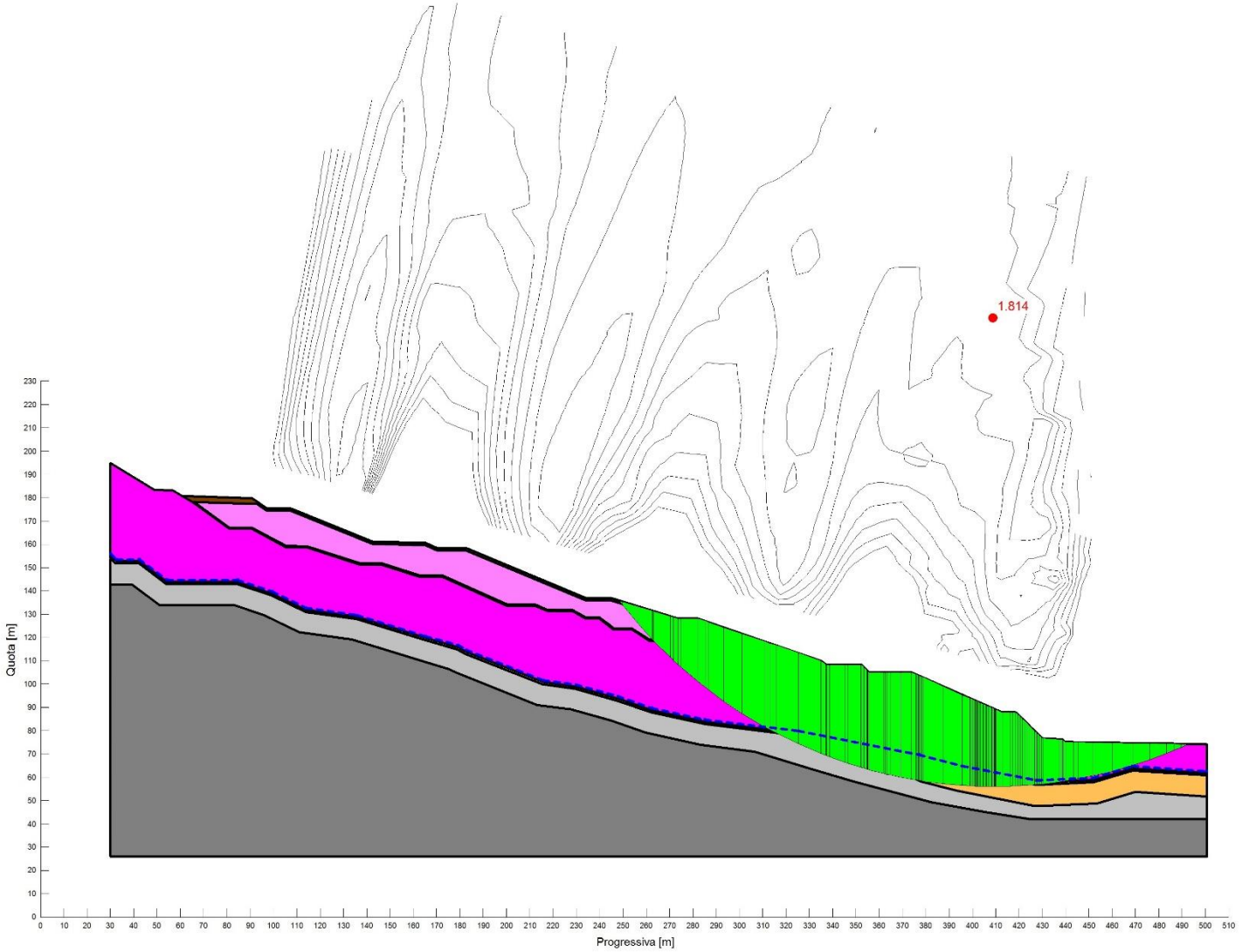



*Figura 5b: Sezione A6b-A6b - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=1.814*

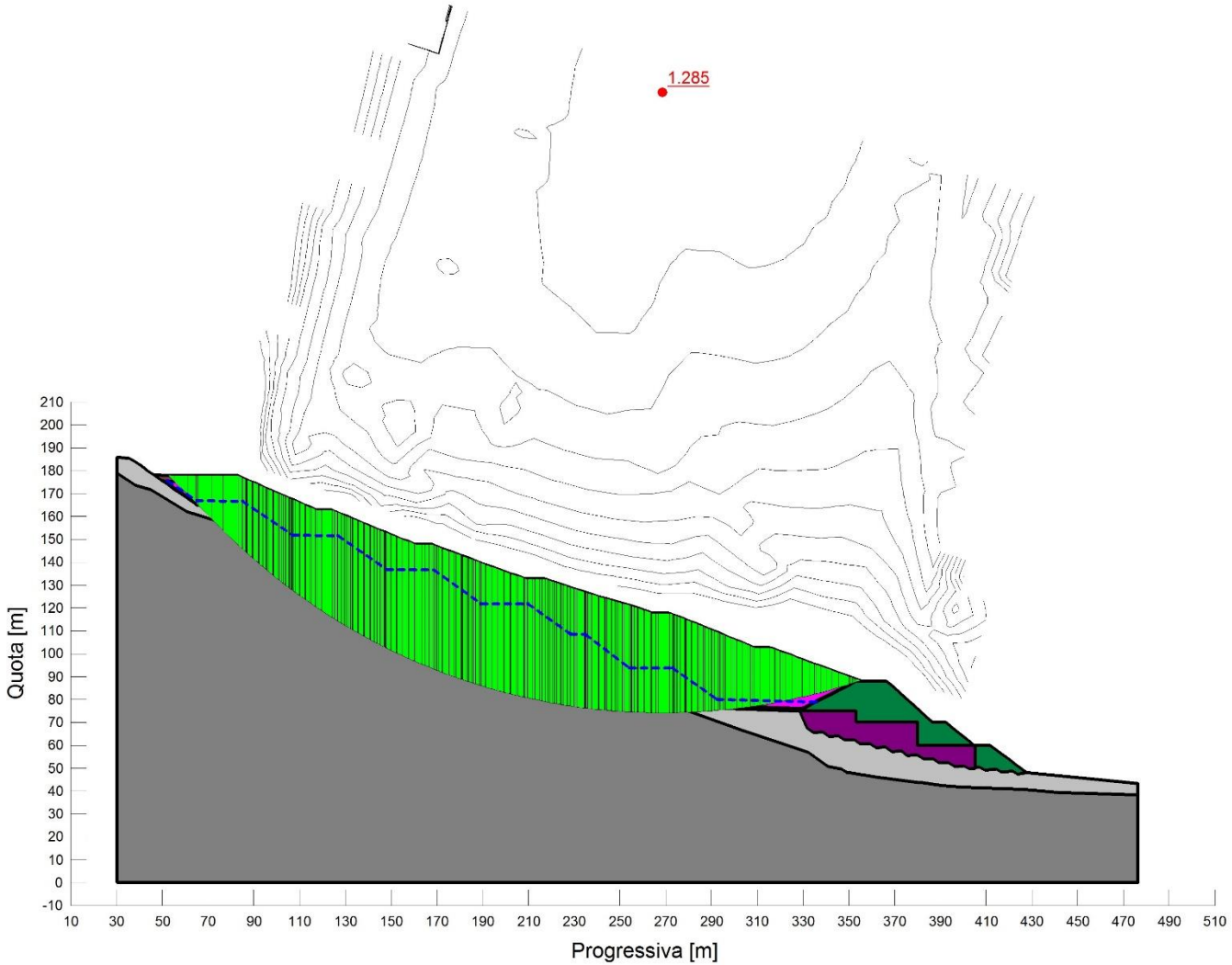



*Figura 6a: Sezione C1-C1 - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=1.285*

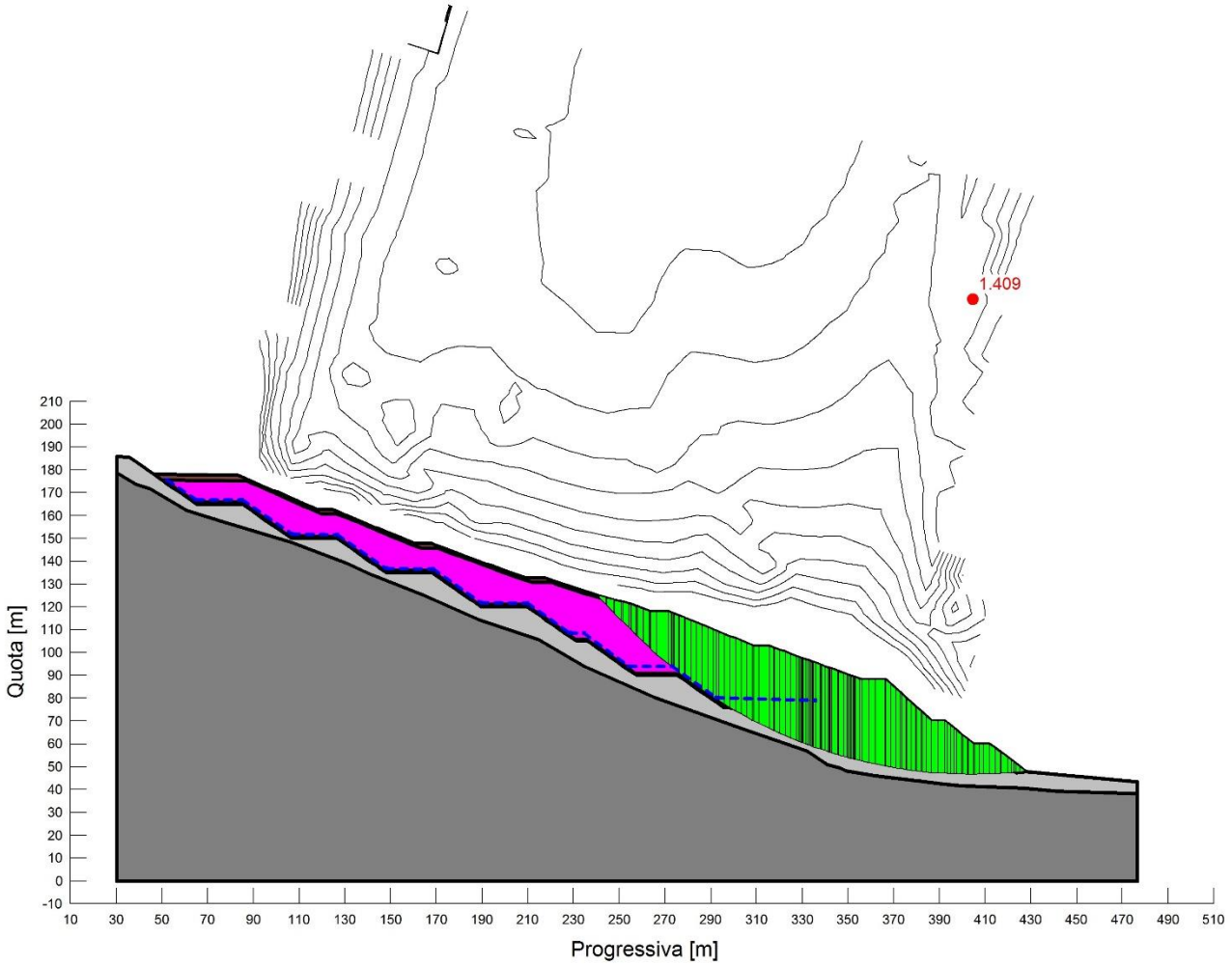



*Figura 6b: Sezione C1-C1 - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=1.409*

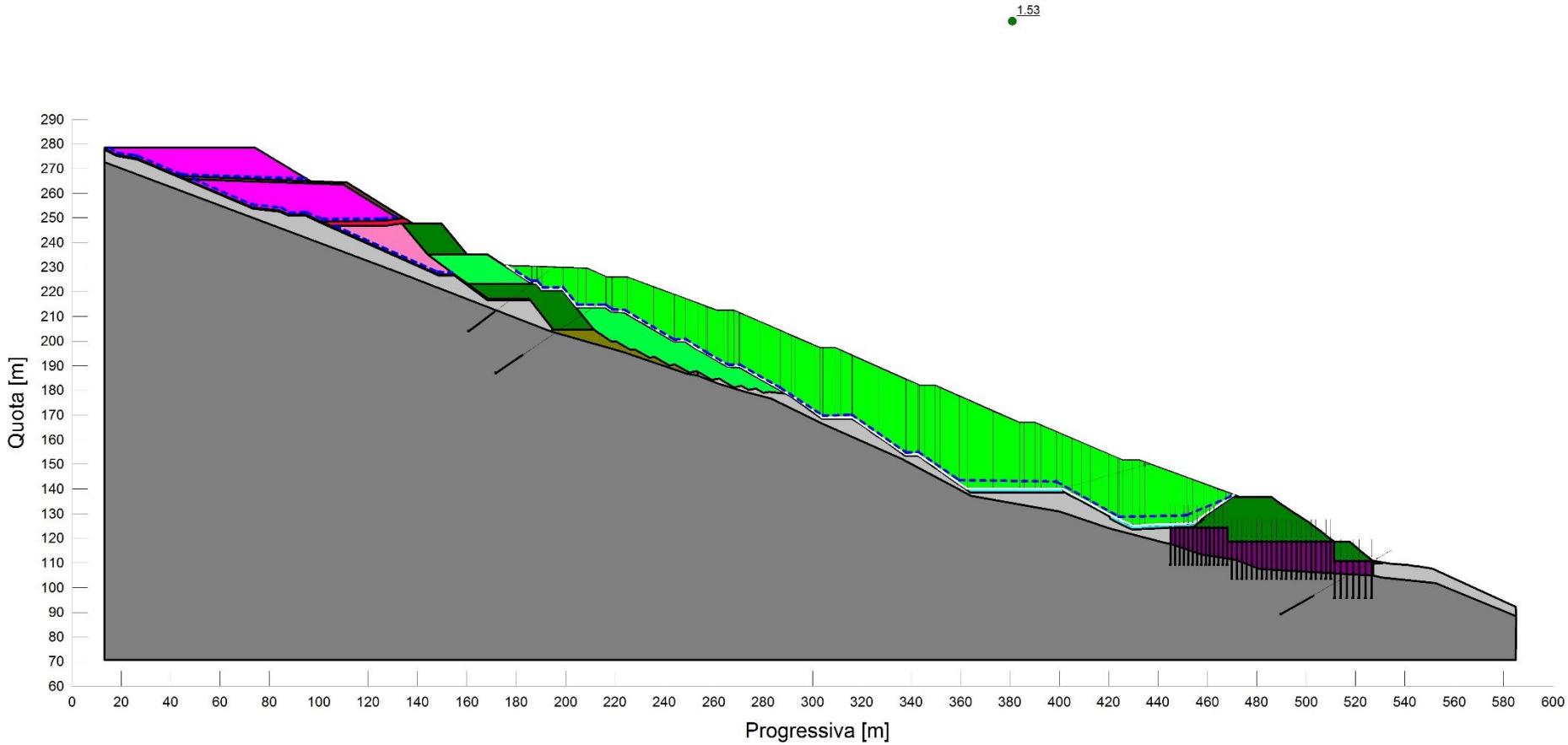



*Figura 7a: Sezione 3-3 -Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.53*

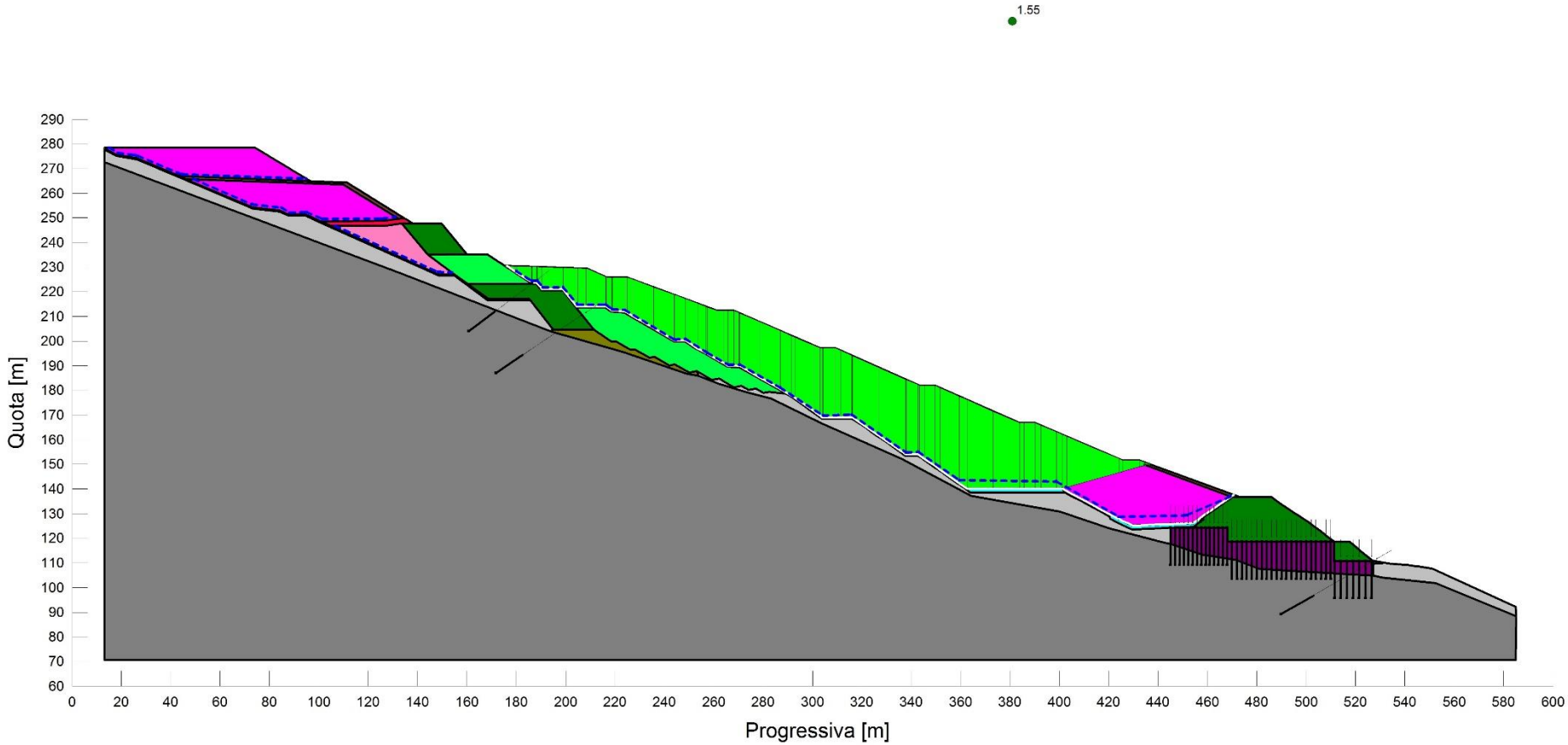



*Figura 7b: Sezione 3-3 -Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.55*

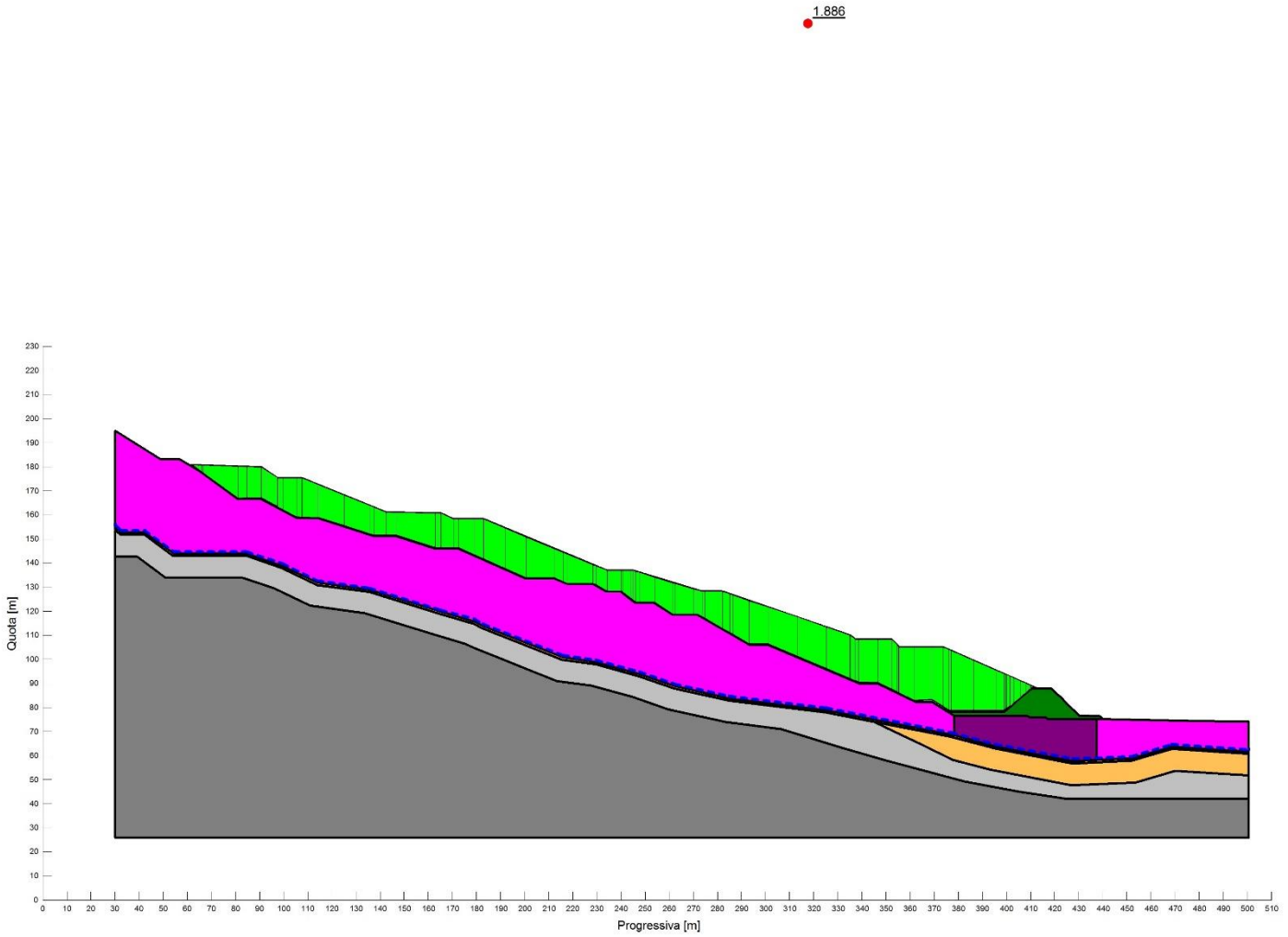



*Figura 8a: Sezione A6b-A6b - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.886*

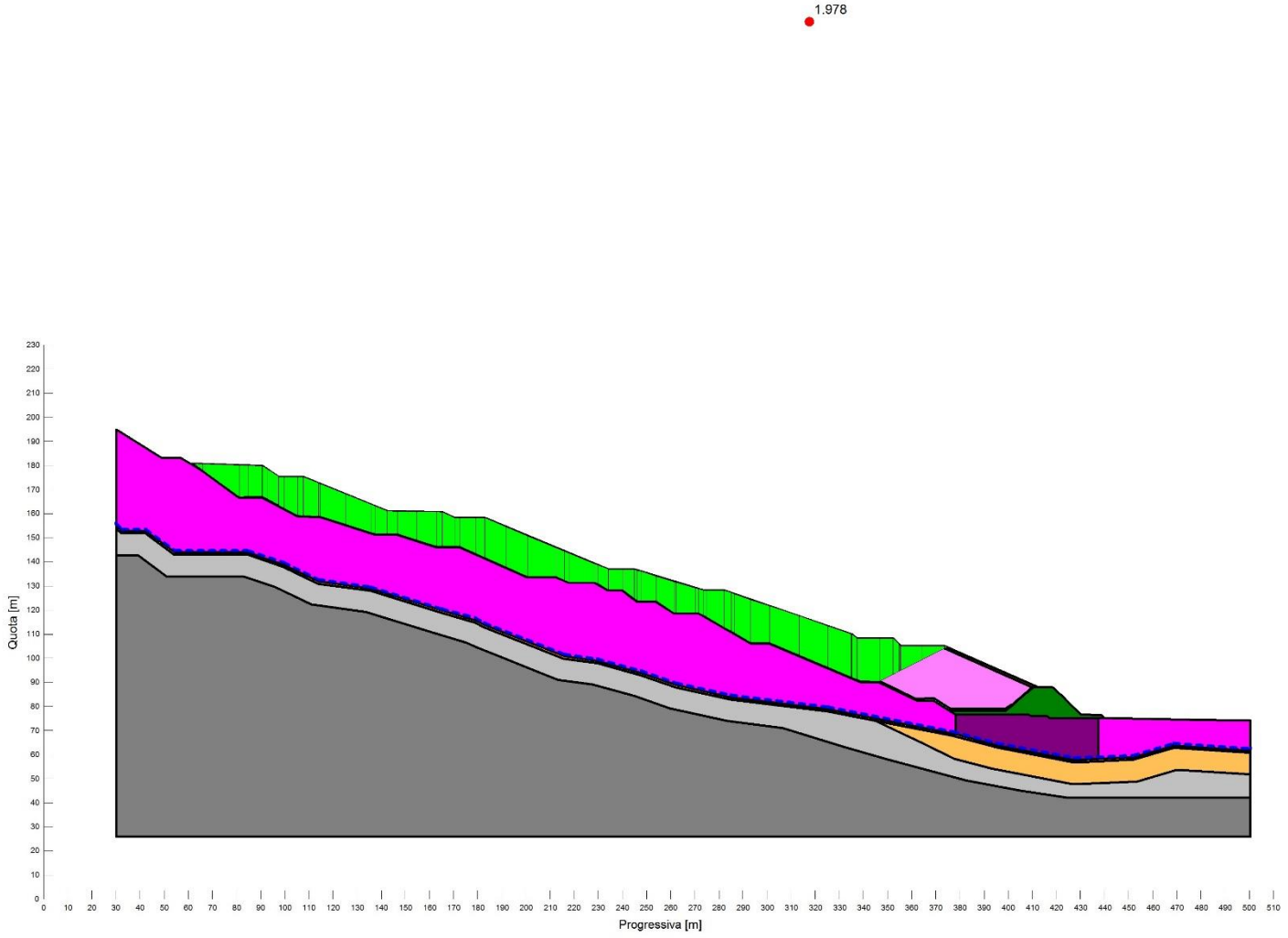



*Figura 8b: Sezione A6b-A6b - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.978*

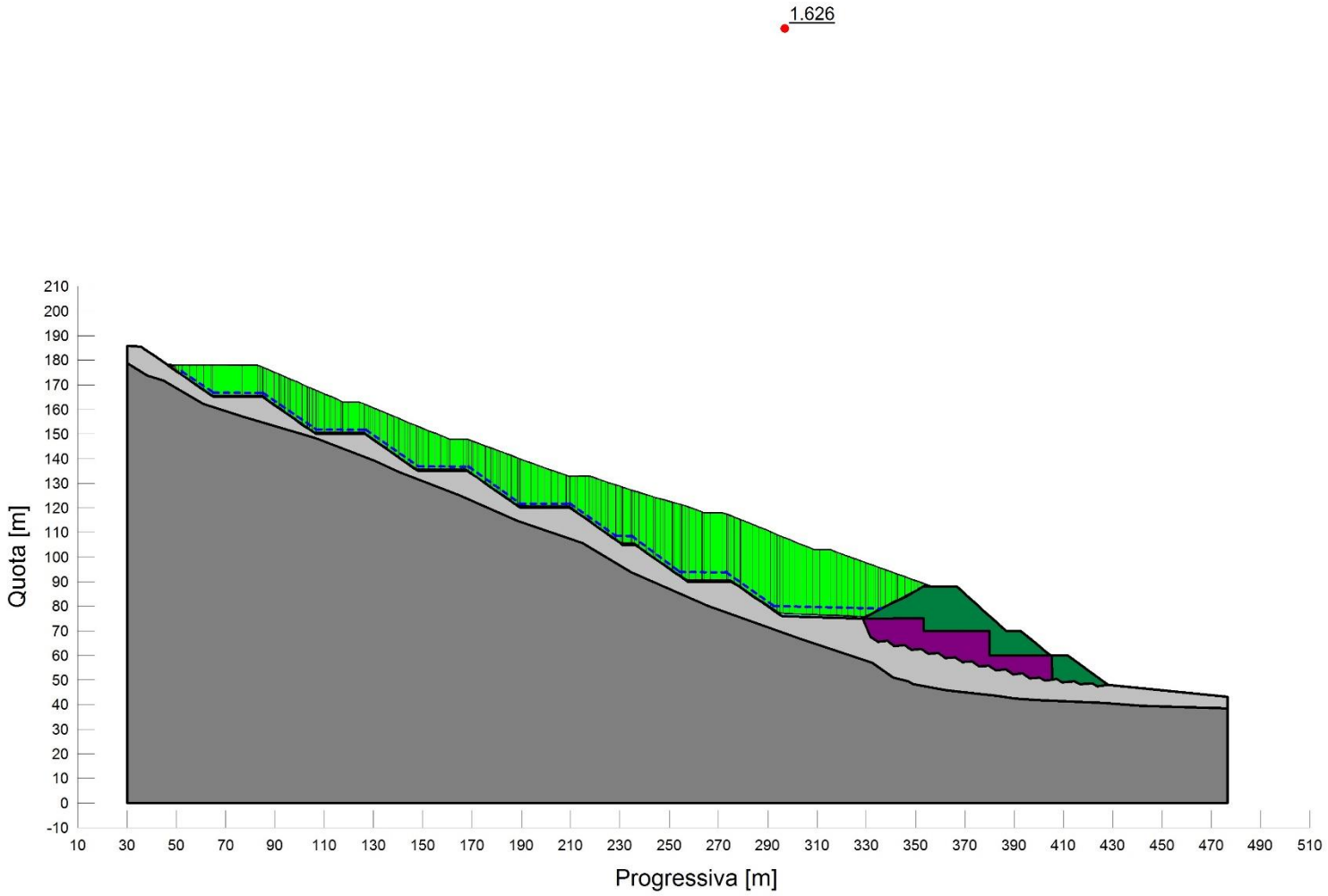



*Figura 9a: Sezione C1-C1 - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.626*

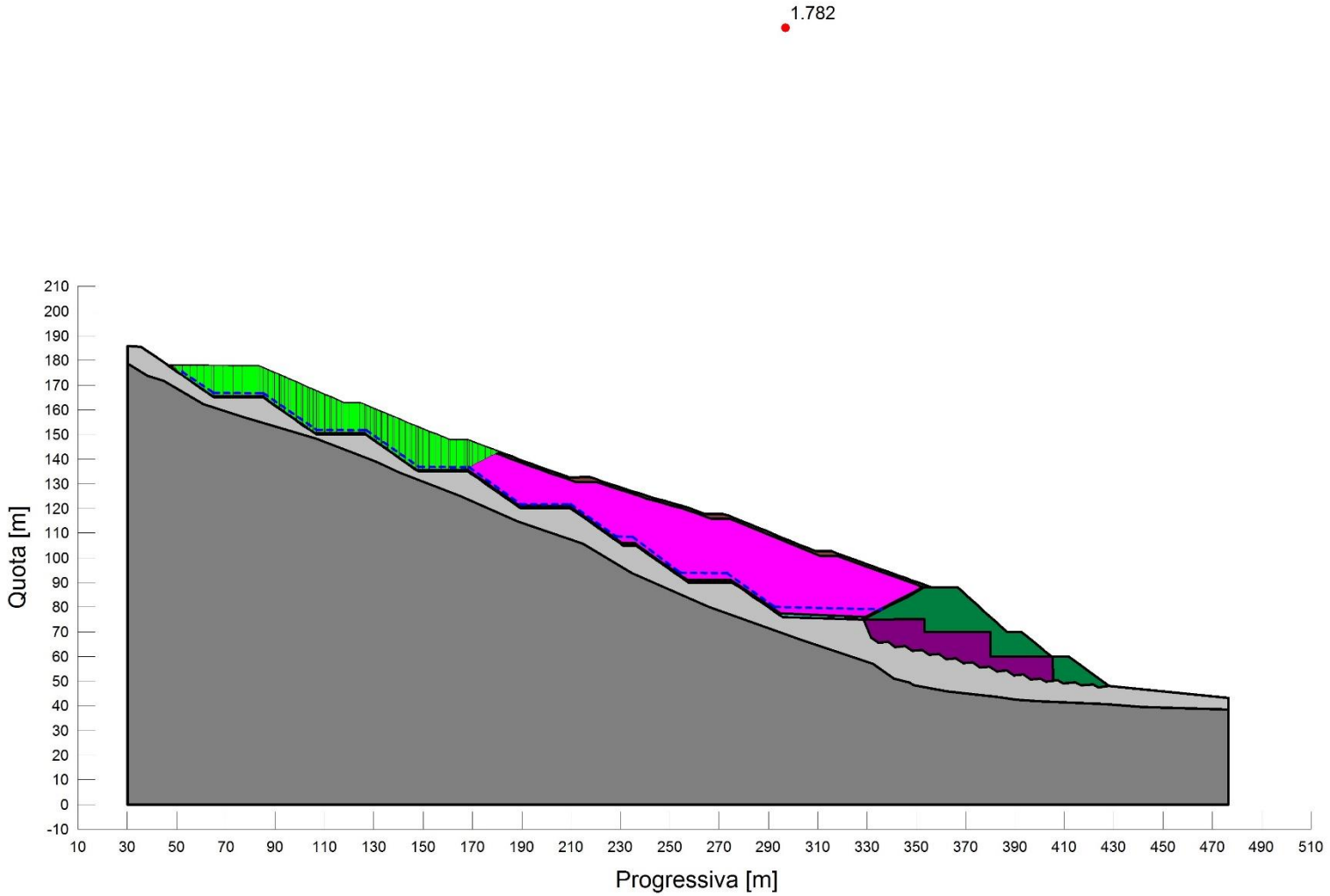



*Figura 9b: Sezione C1-C1 - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.782*

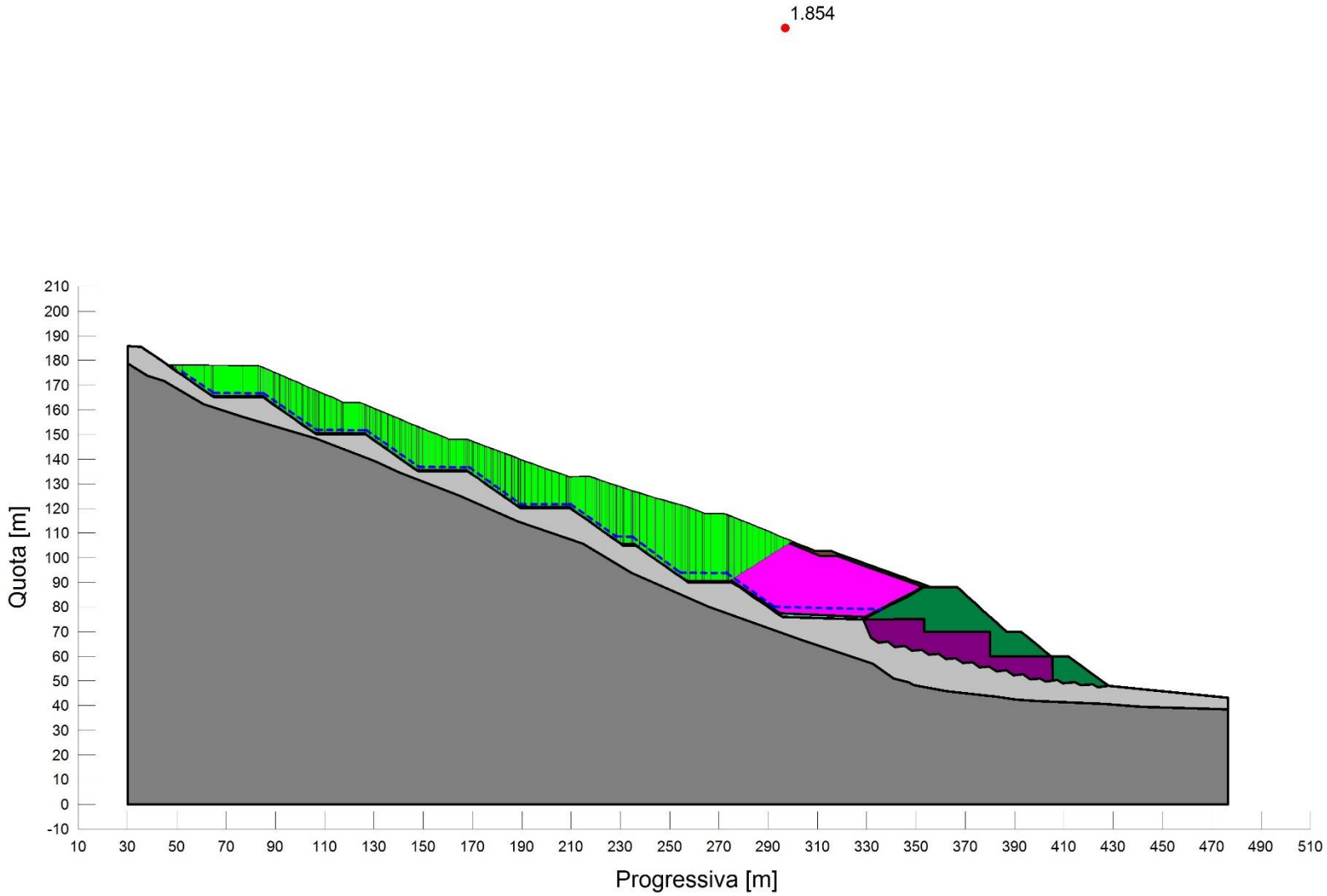



*Figura 9c: Sezione C1-C1 - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.854*

# Analisi di stabilità della discarica in condizioni pseudostatiche

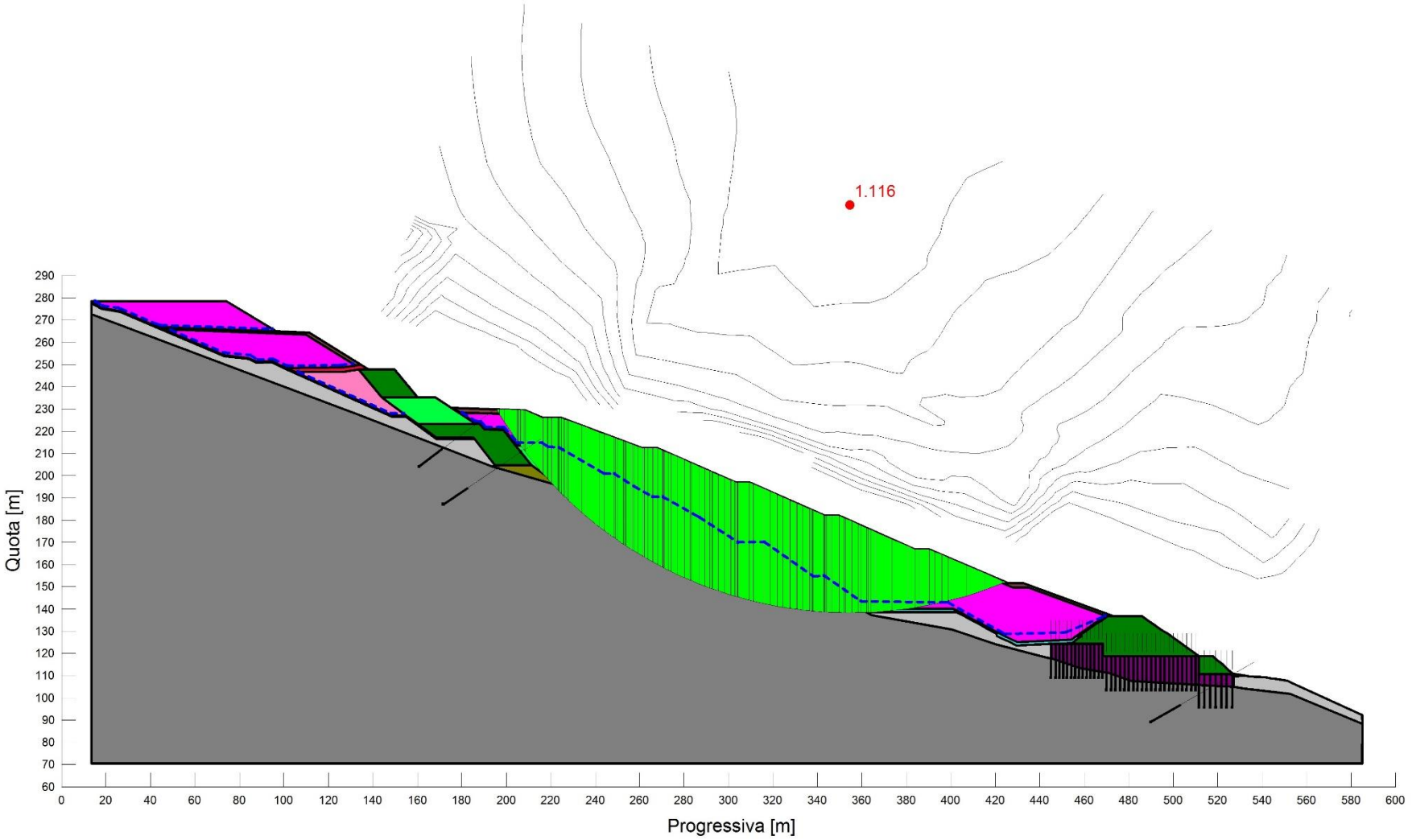



*Figura 10a: Sezione 3-3 - Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche e con la presenza del percolato – FS=1.116*

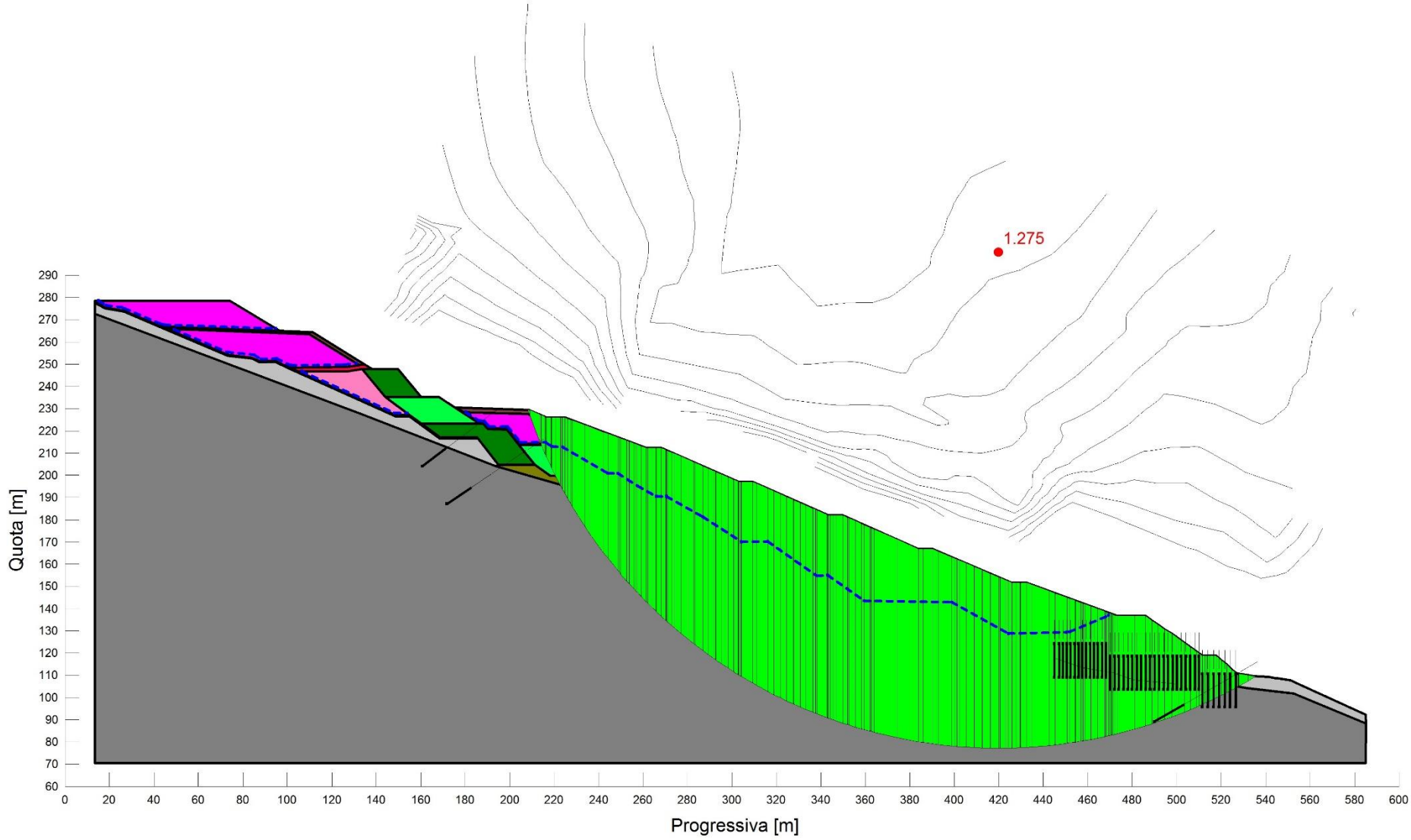



*Figura 10b: Sezione 3-3 - Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche– FS=1.275*

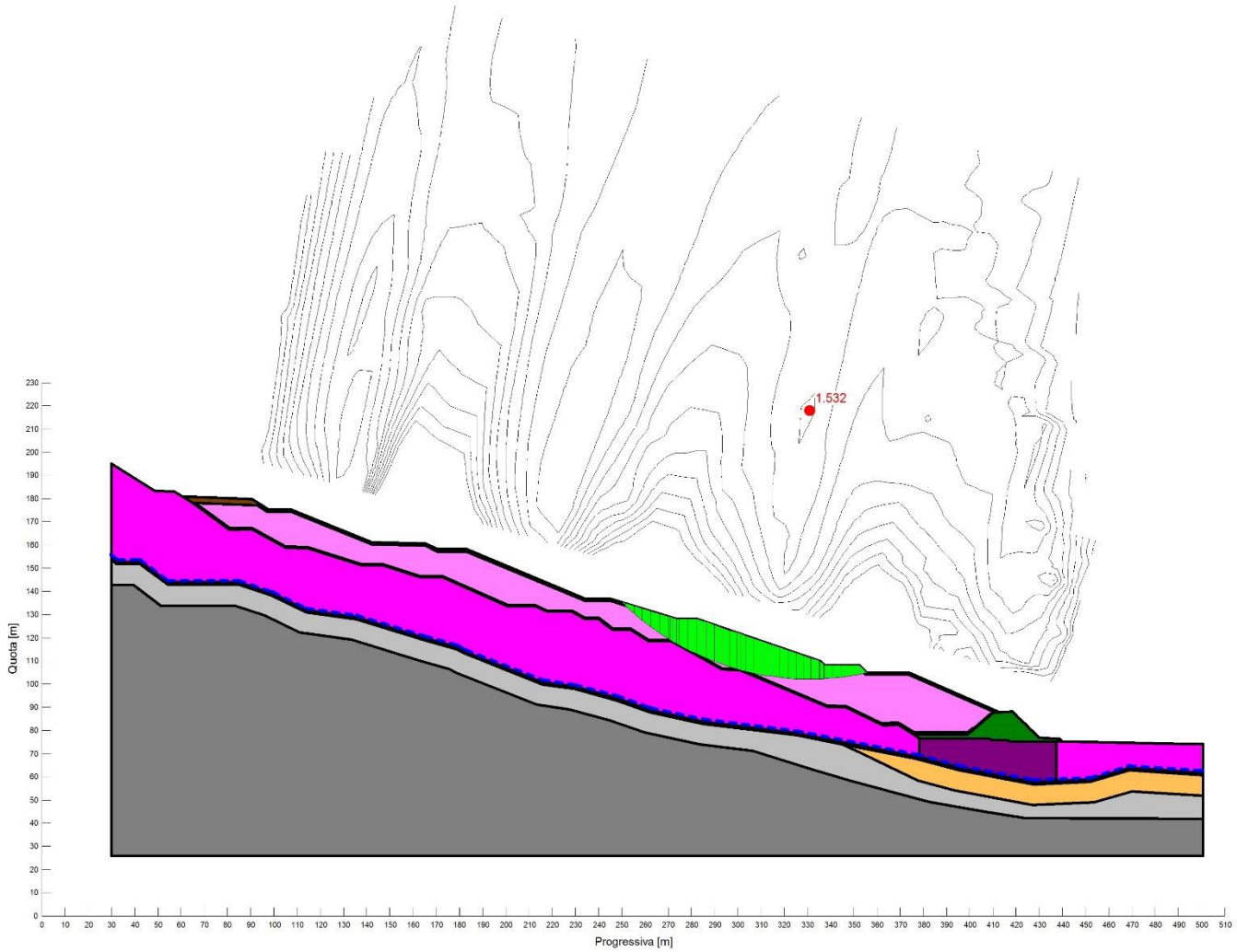



*Figura 11a: Sezione A6b-A6b Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche– FS=1.532*

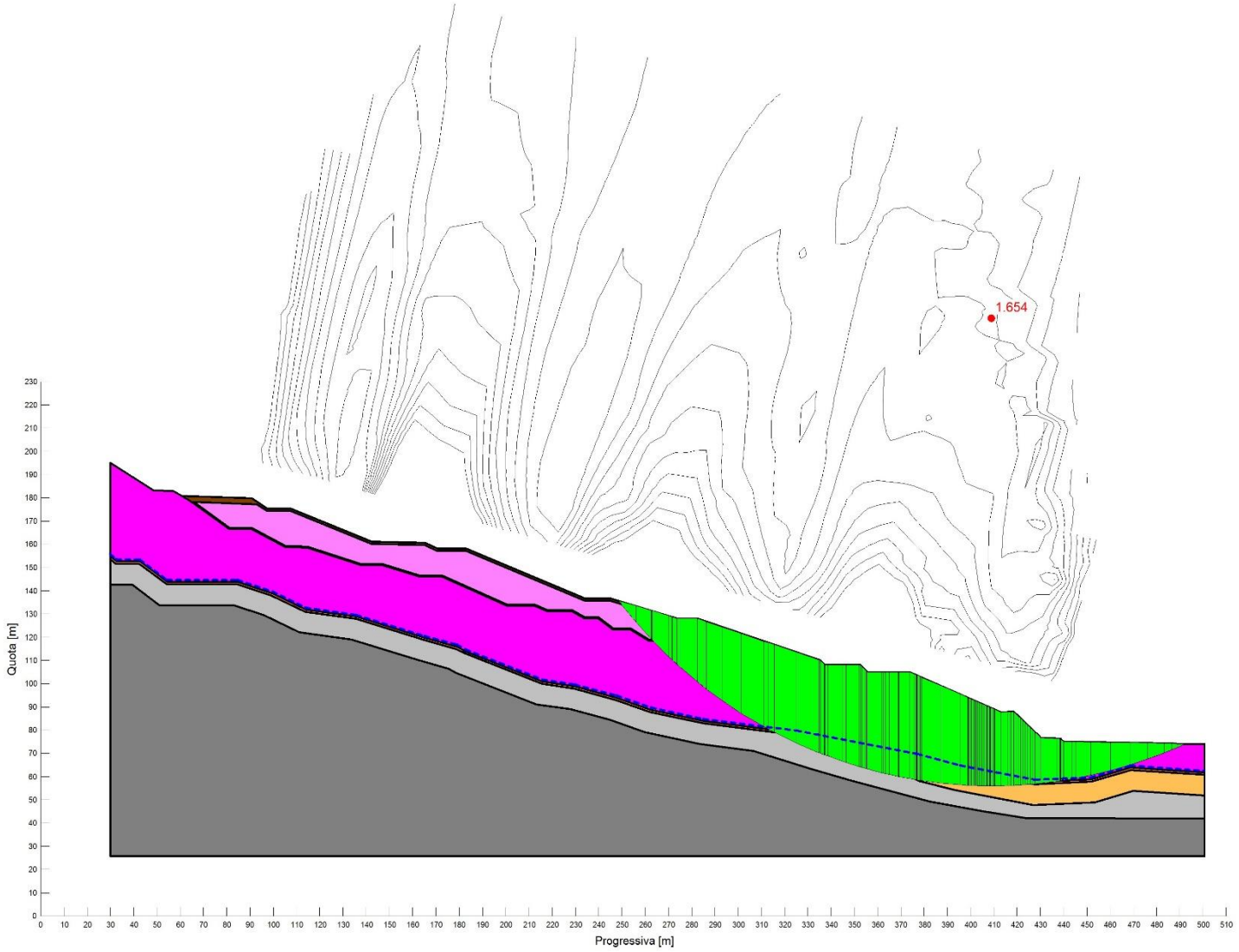



*Figura 11b: Sezione A6b-A6b Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche– FS=1.654*

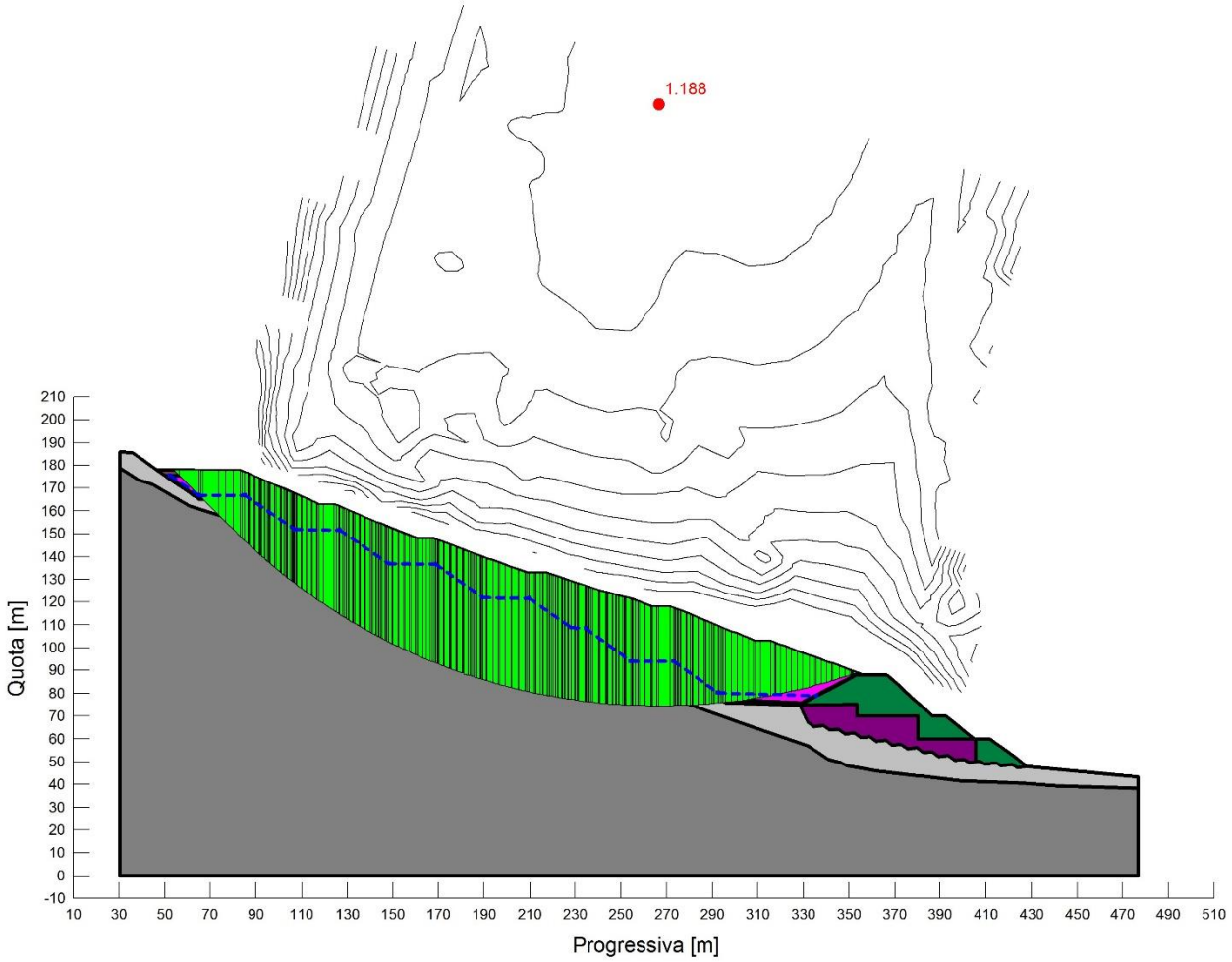



*Figura 12a Sezione C1-C1 Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche – FS=1.188*

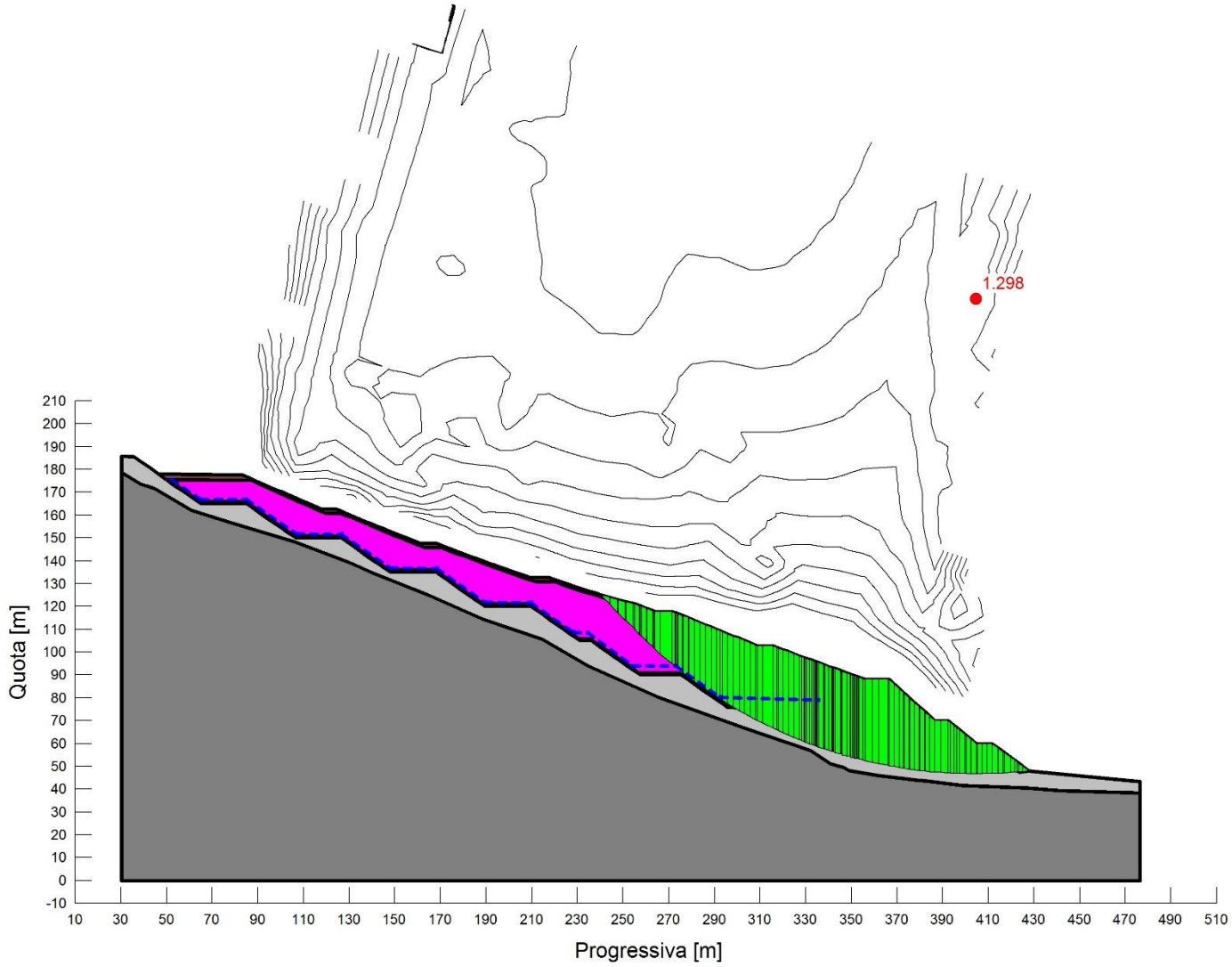



*Figura 12b Sezione C1-C1 Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche – FS=1.298*

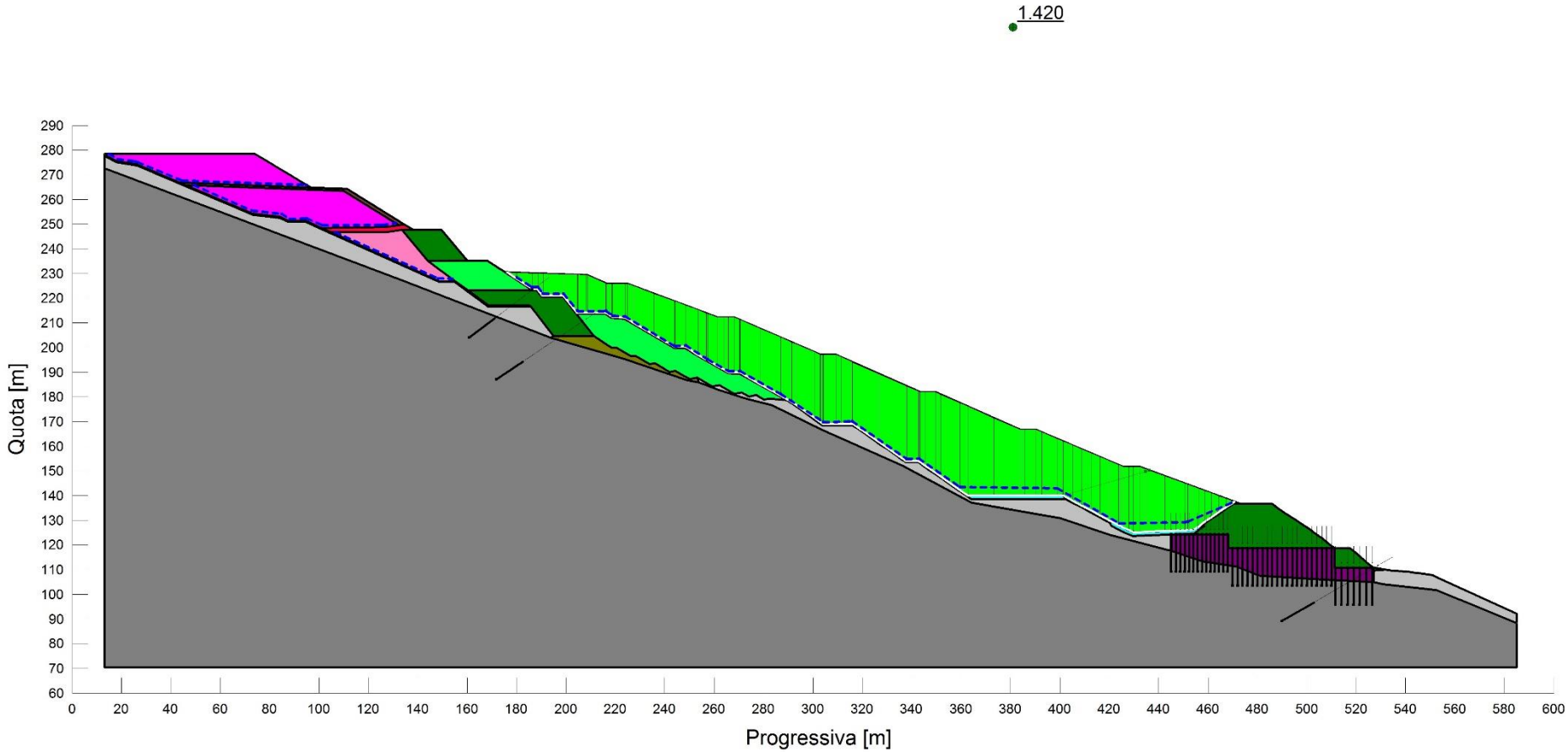



*Figura 13a: Sezione 3-3 Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.420*

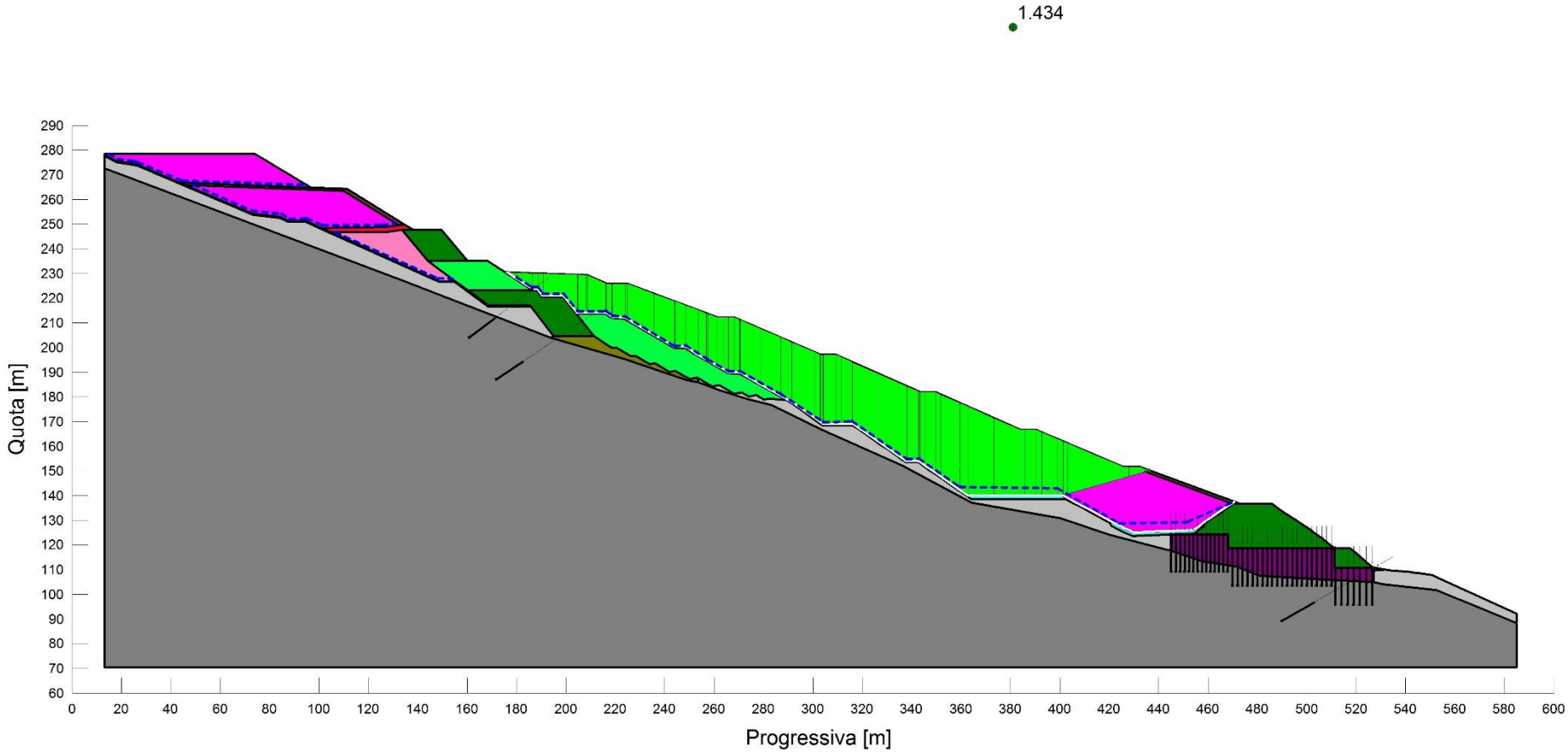



*Figura 13b: Sezione 3-3 Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.434*

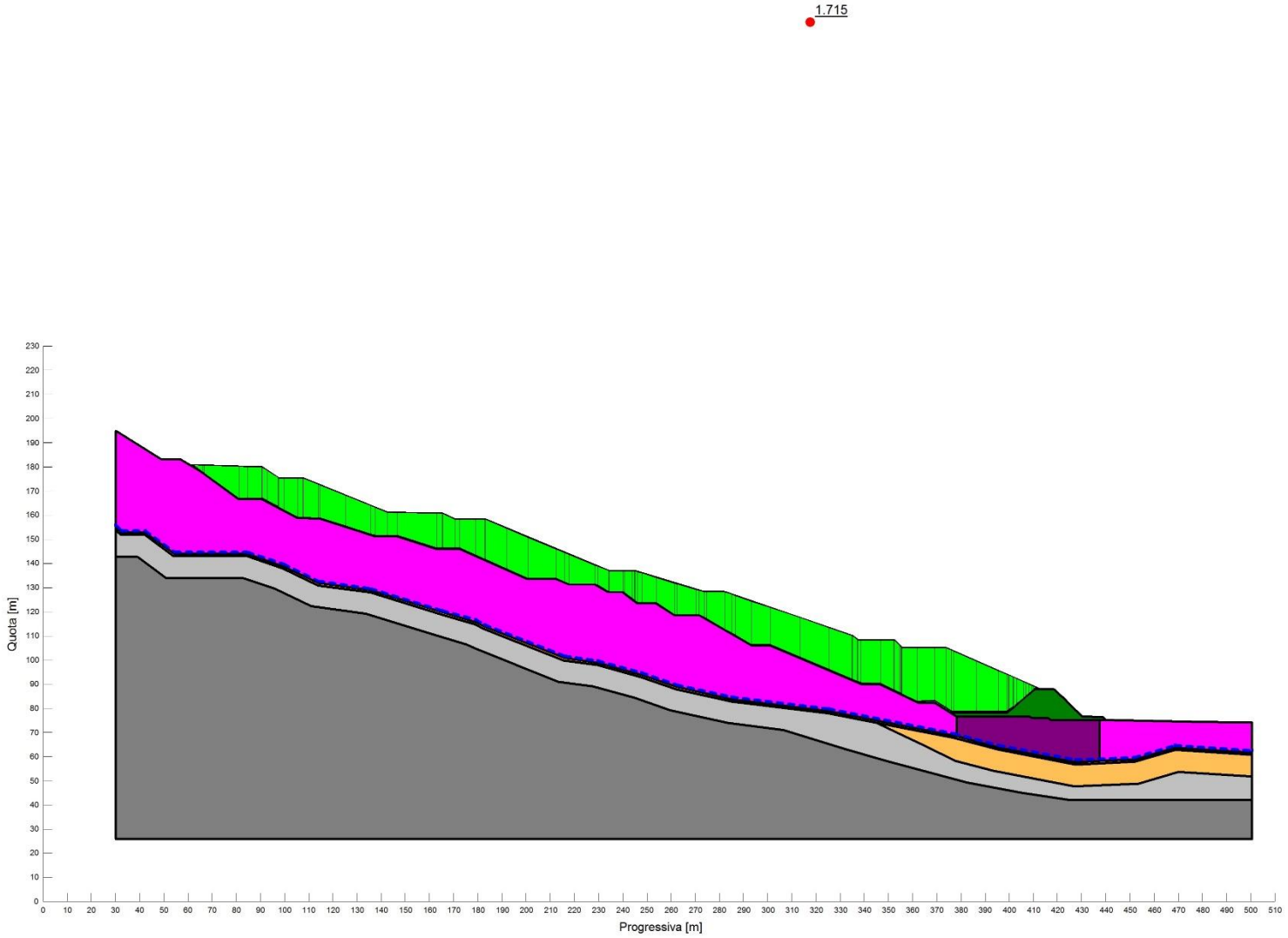



*Figura 14a: Sezione A6b-A6b Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.715*

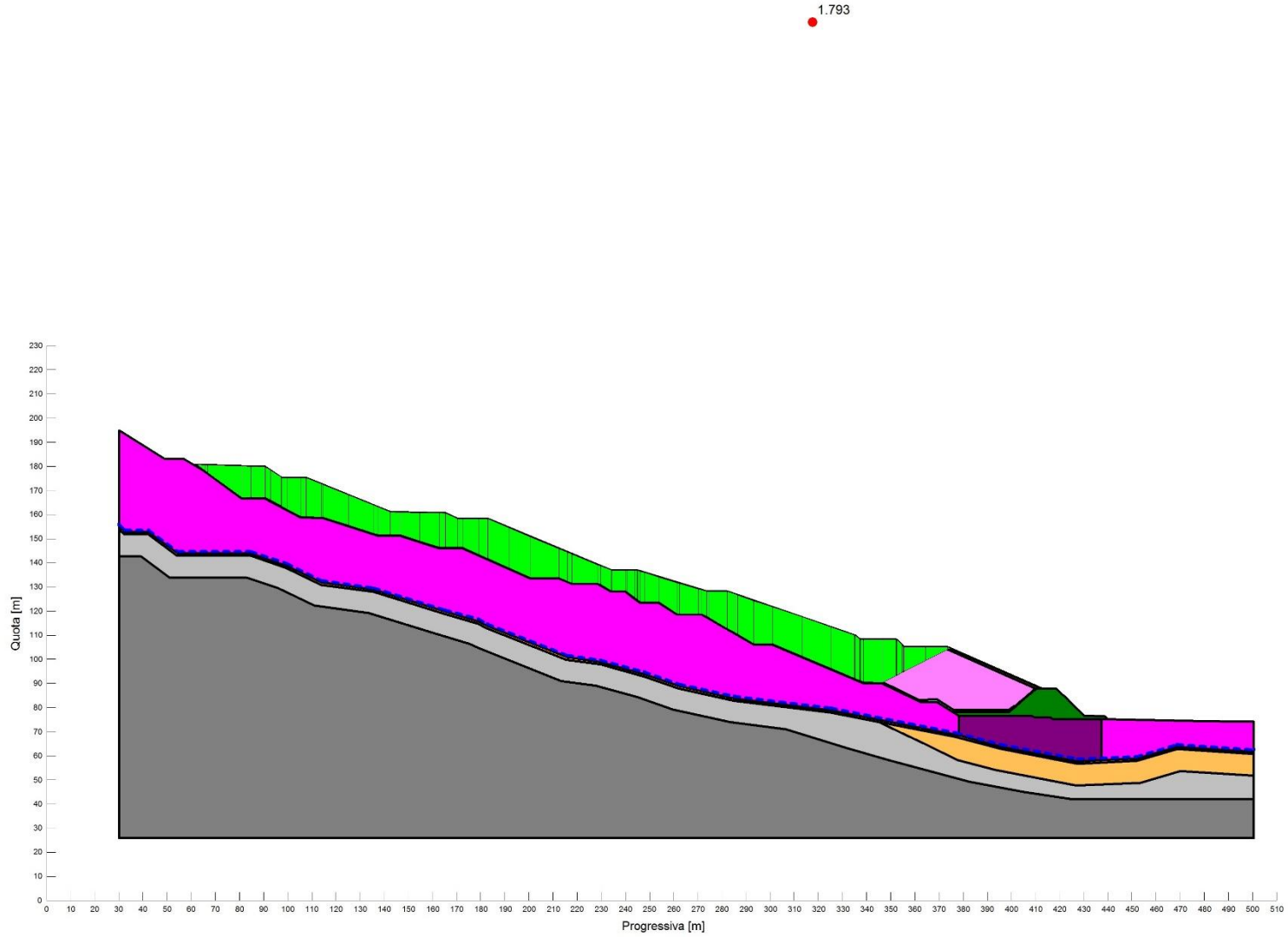



*Figura 14b: Sezione A6b-A6b Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.793*

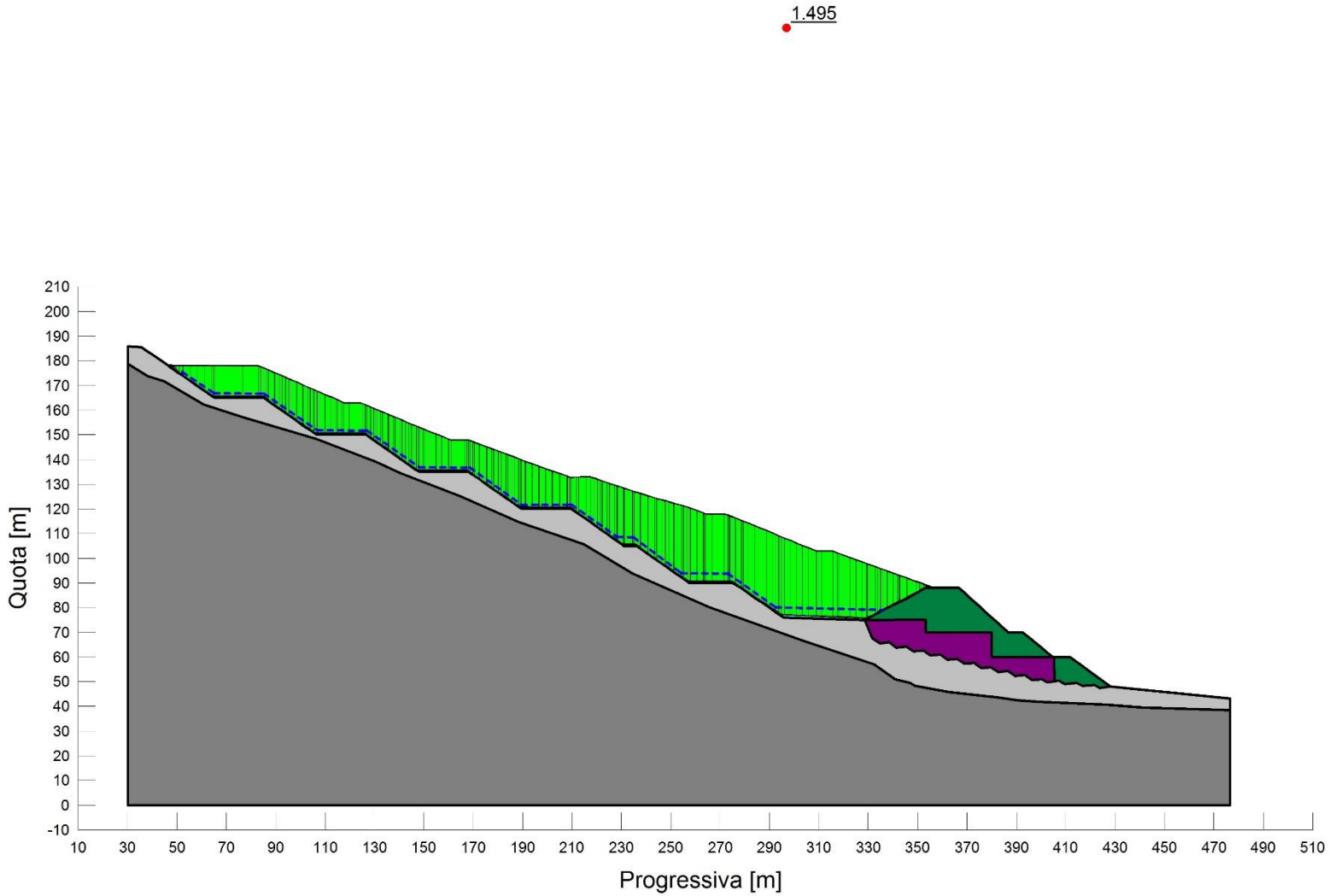



*Figura 15a: Sezione trasversale C1-C1 Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.495*

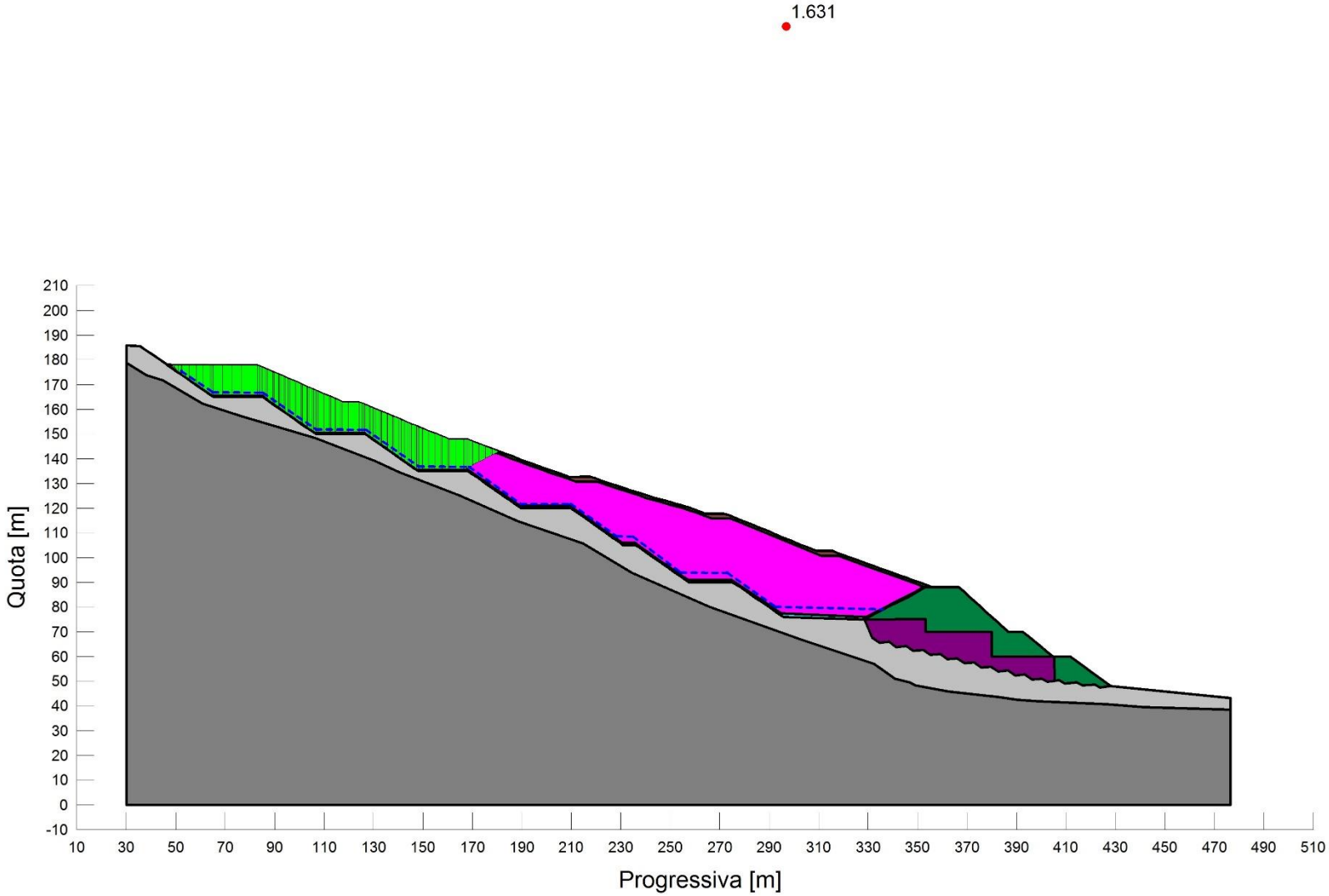



*Figura 15b: Sezione trasversale C1-C1 Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.631*

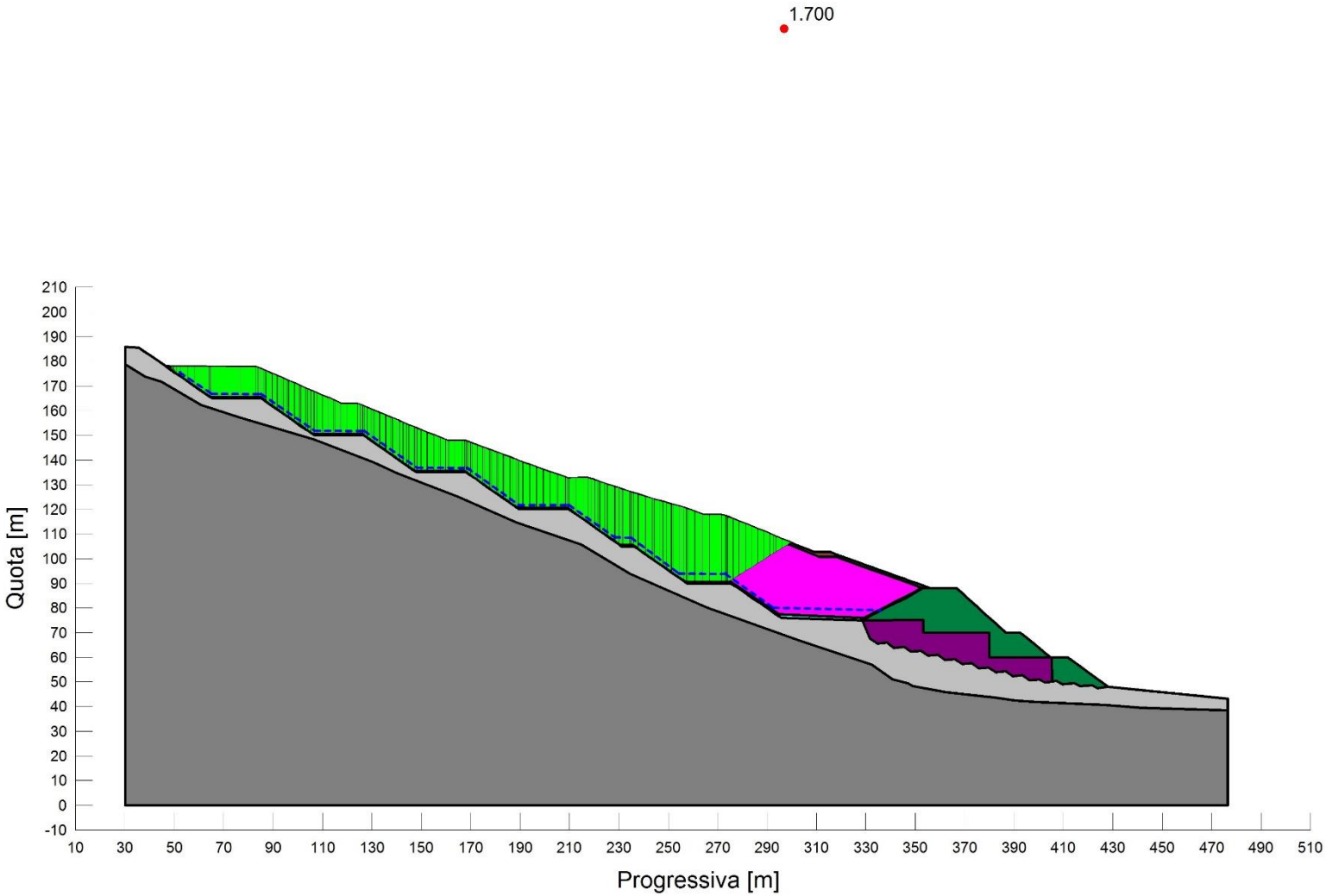



*Figura 15b: Sezione trasversale C1-C1 Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.700*

# Allegato C:
# Analisi di stabilità delle terre rinforzate

# Sezioni considerate per le analisi di stabilità

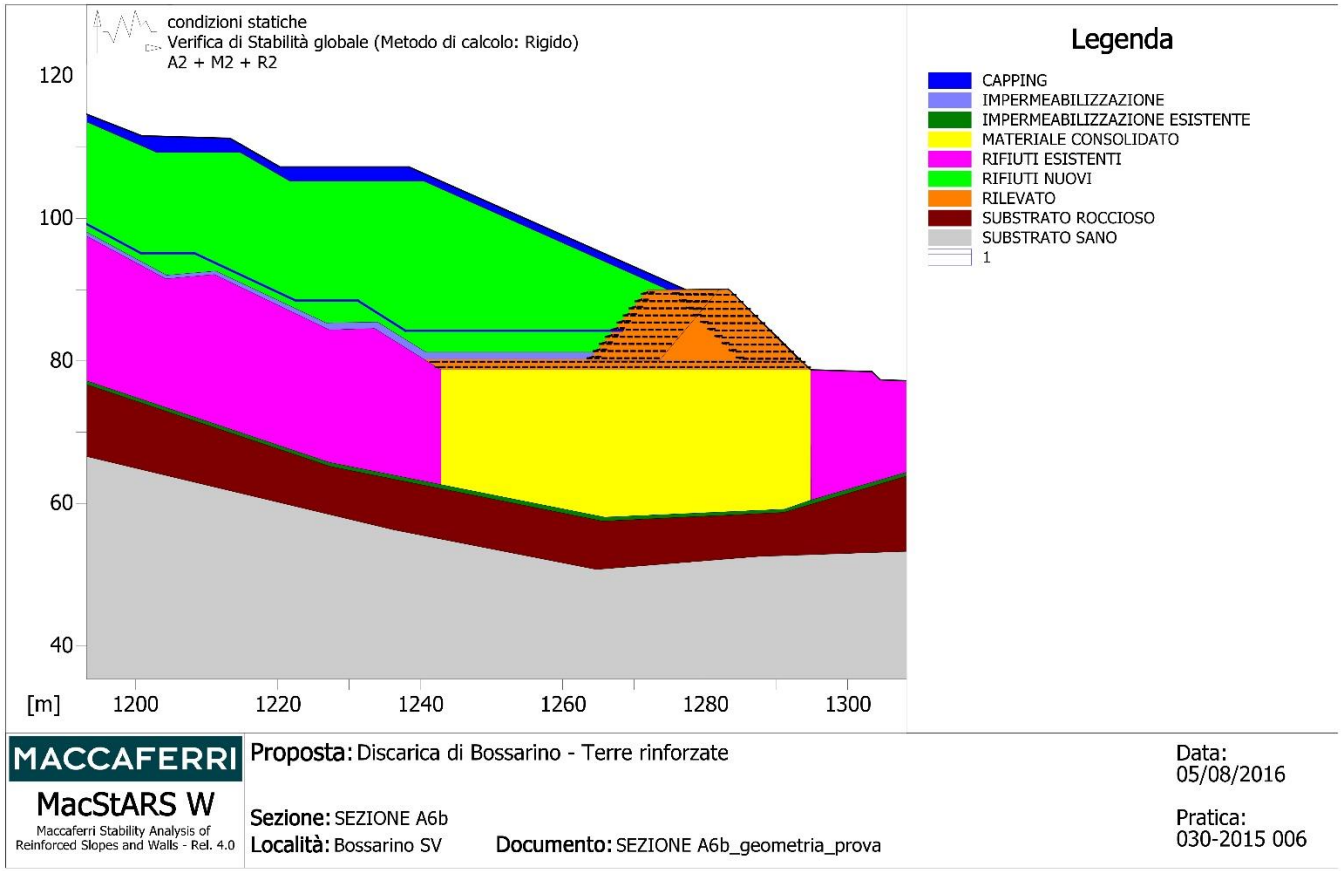



*Figura-1: Sezione A6b-A6b*

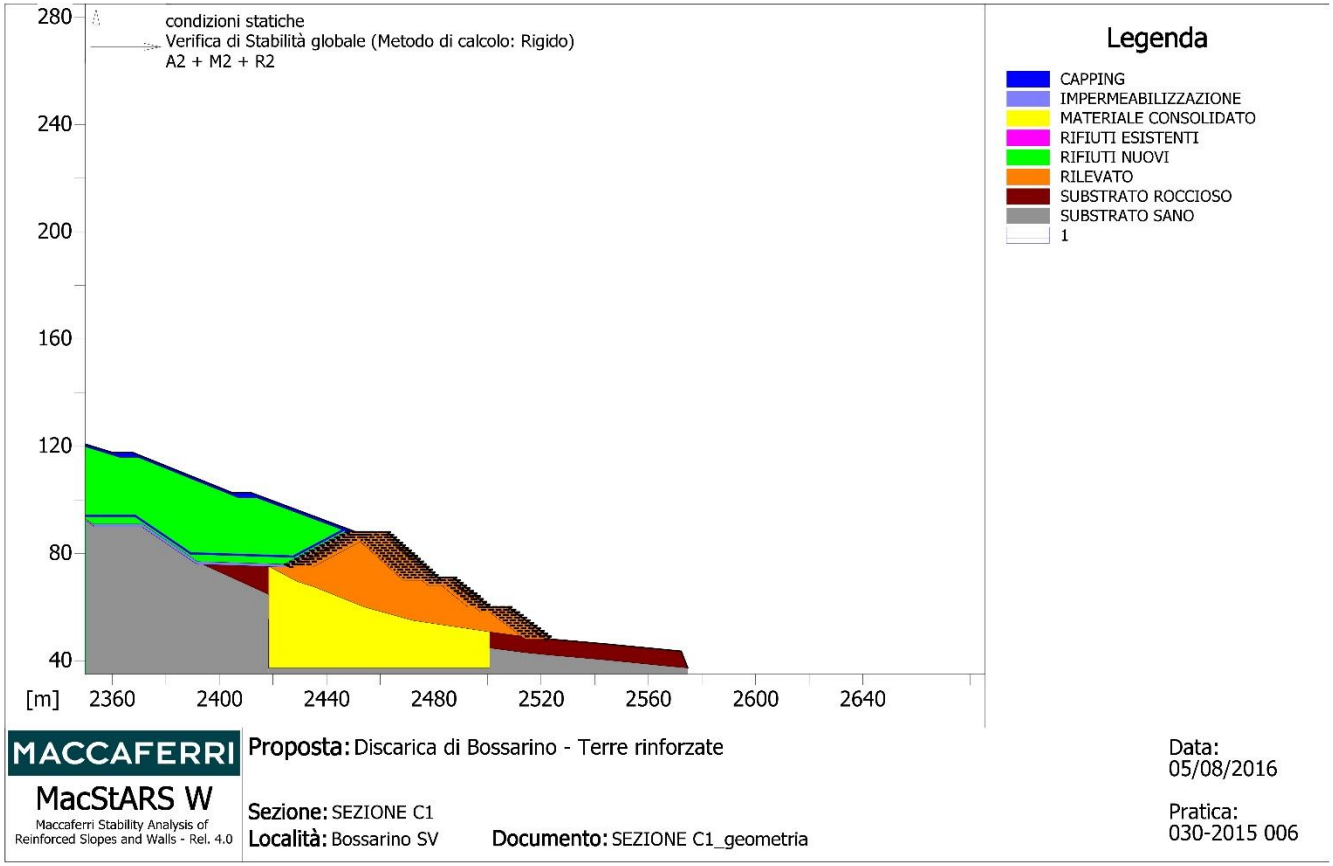



*Figura 2: Sezione C1-C1*

* La geometria delle terre rinforzate della sezione C1 è stata conservativamente semplificata nelle modellizzazione con MAC STAR

Desmos
Ingegneria Ambiente Energia

# Analisi di stabilità globale

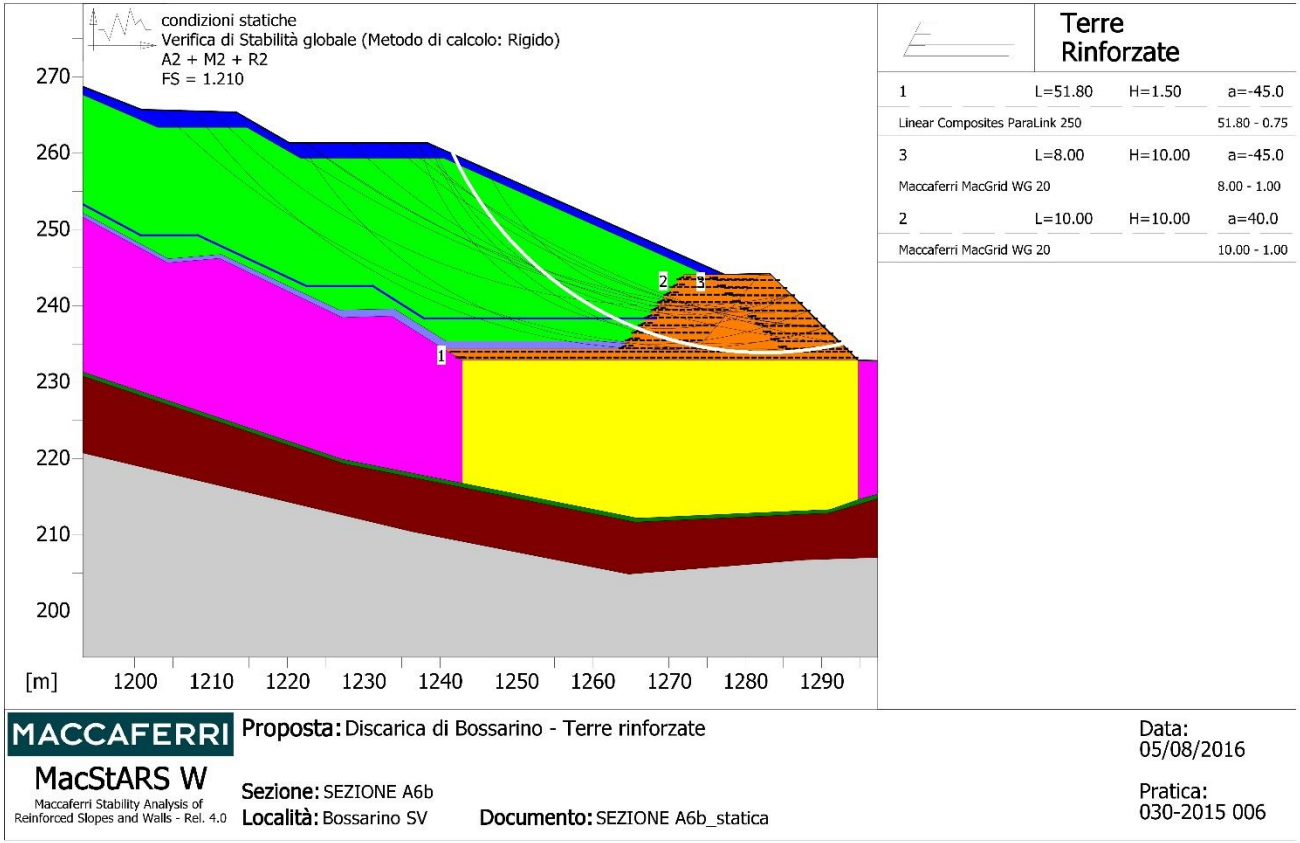



*Figura-3: Sezione A6b-A6b – Analisi di stabilità globale in condizioni statiche FS=1.210*

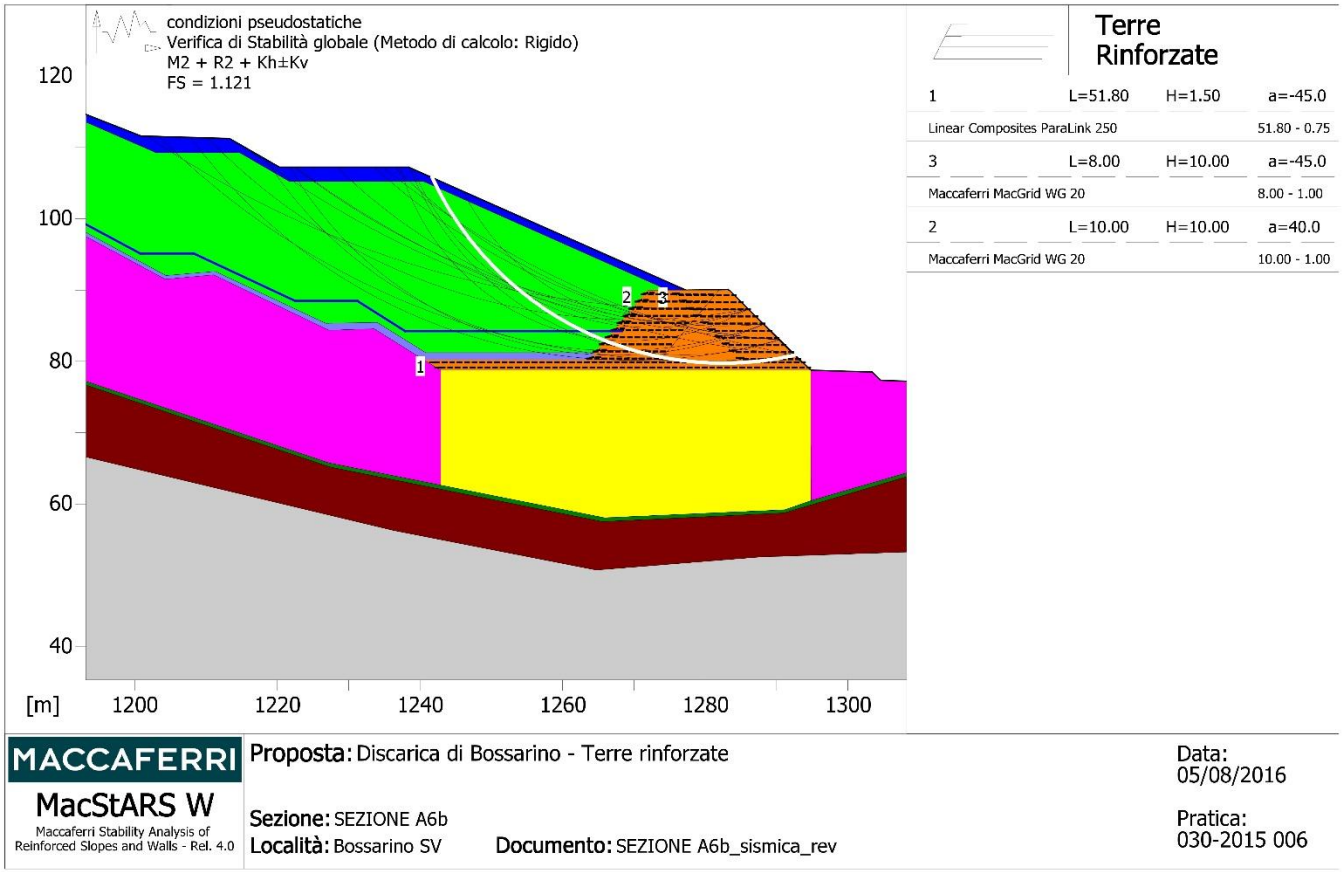



*Figura-4: Sezione A6b-A6b – Analisi di stabilità globale in condizioni pseudostatiche FS=1.121*

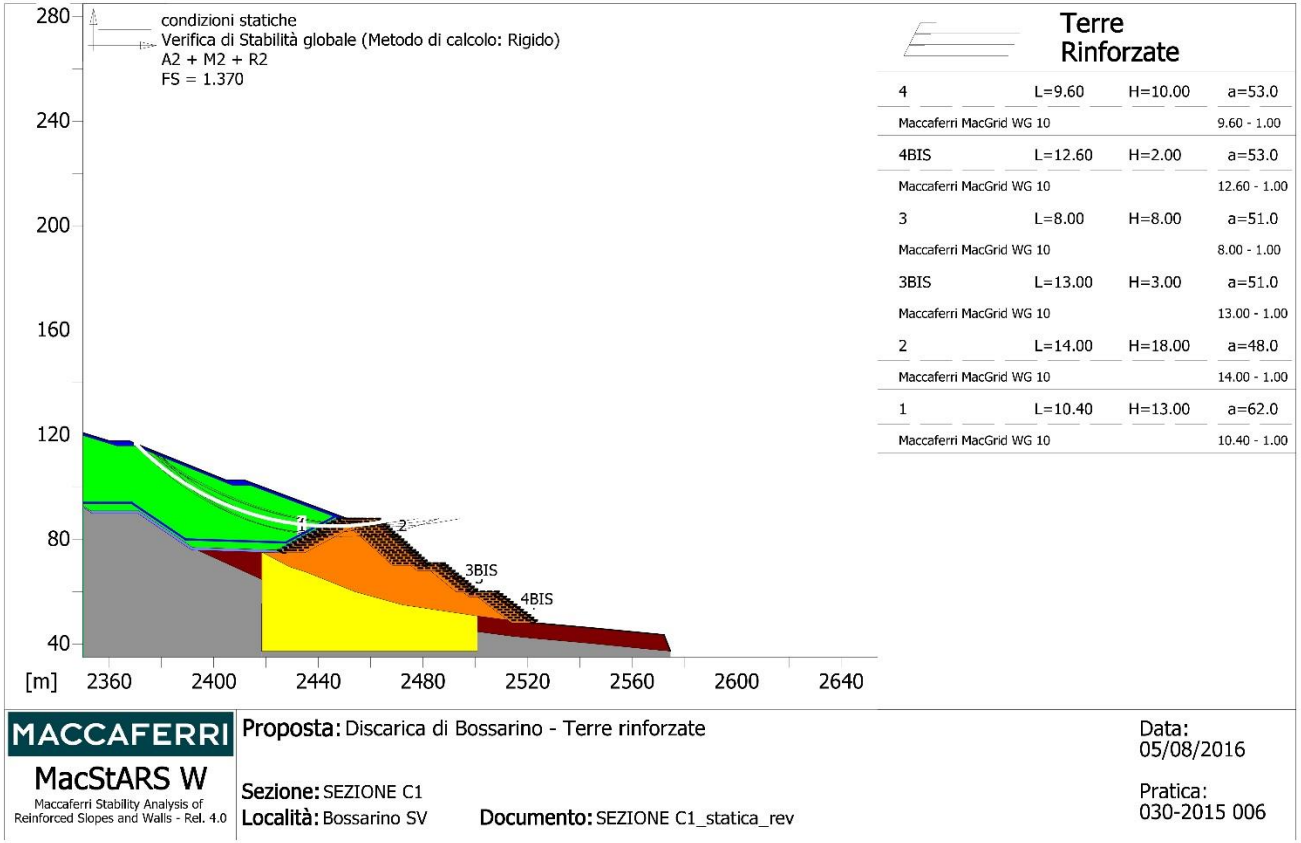



*Figura 5: Sezione C1-C1 - Analisi di stabilità globale in condizioni statiche FS=1.370*

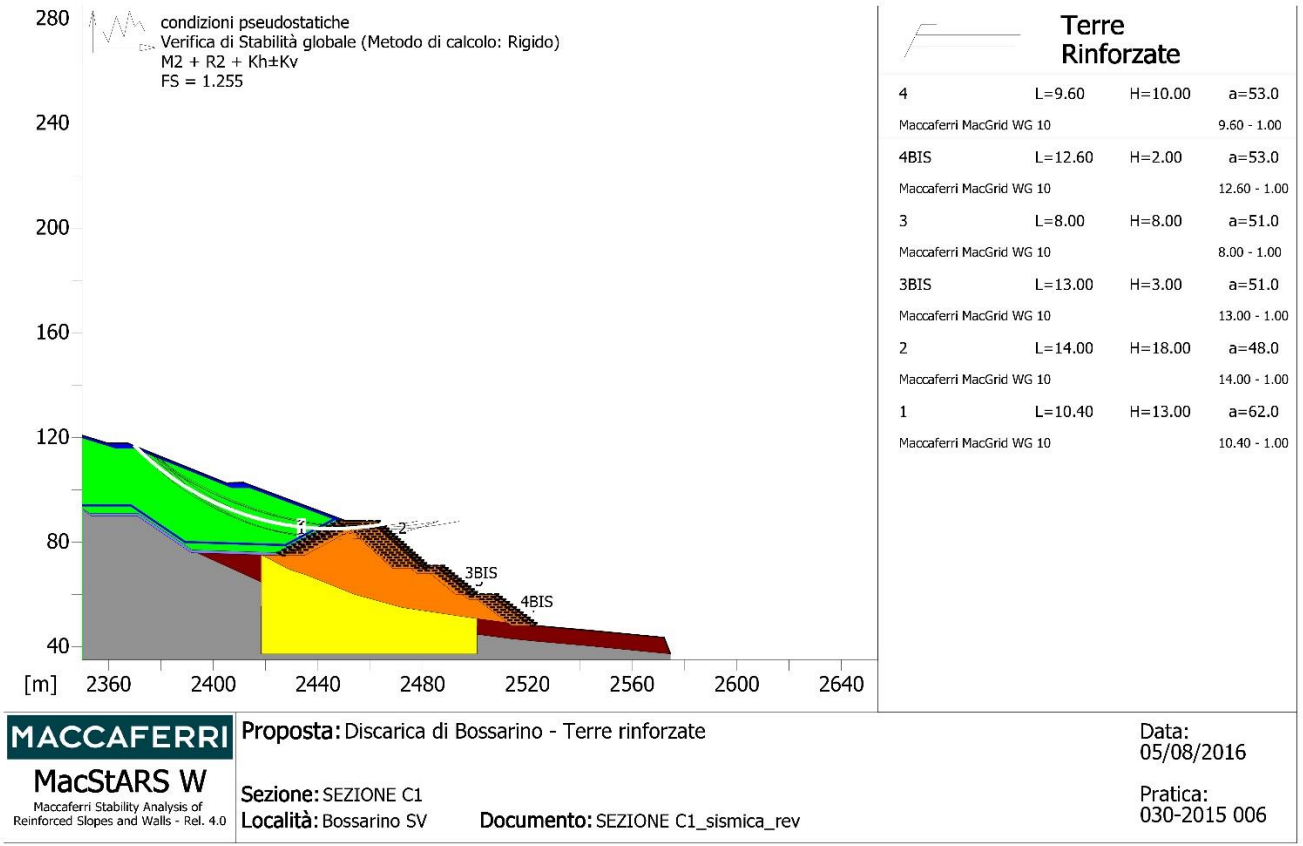



*Figura 6: Sezione C1-C1 - Analisi di stabilità globale in condizioni pseudostatiche FS=1.255*

Desmos
Ingegneria Ambiente Energia

# Analisi di stabilità interna

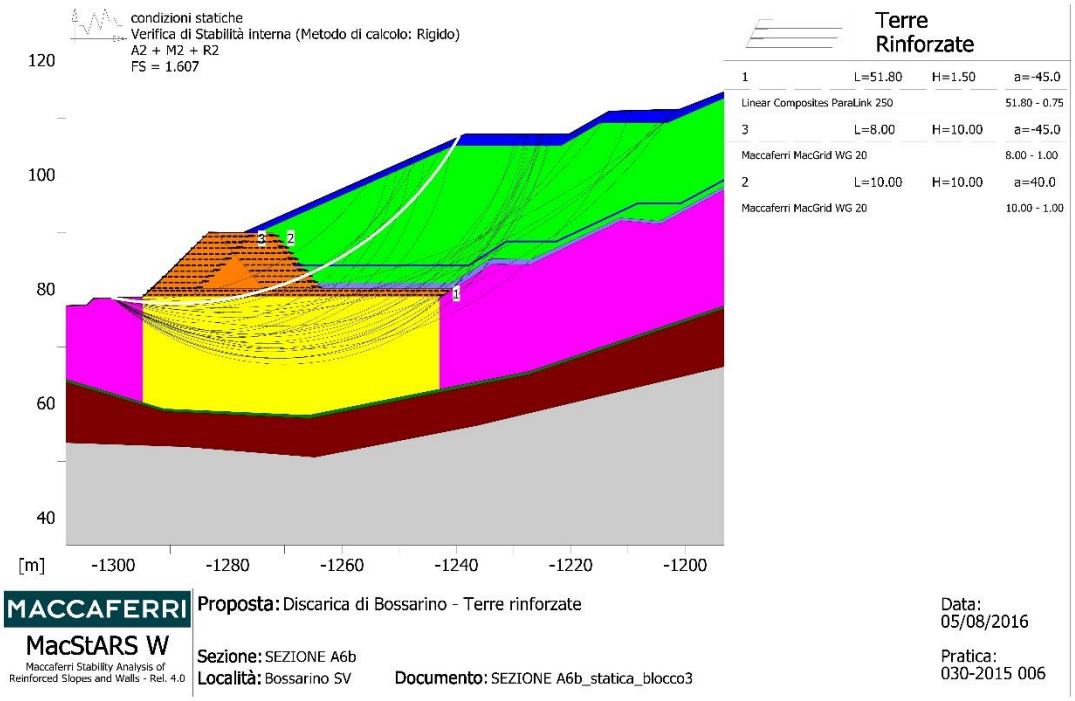



*Figura-7: Sezione A6b-A6b – Analisi di stabilità interna in condizioni statiche –Blocco 3 - FS=1.607*

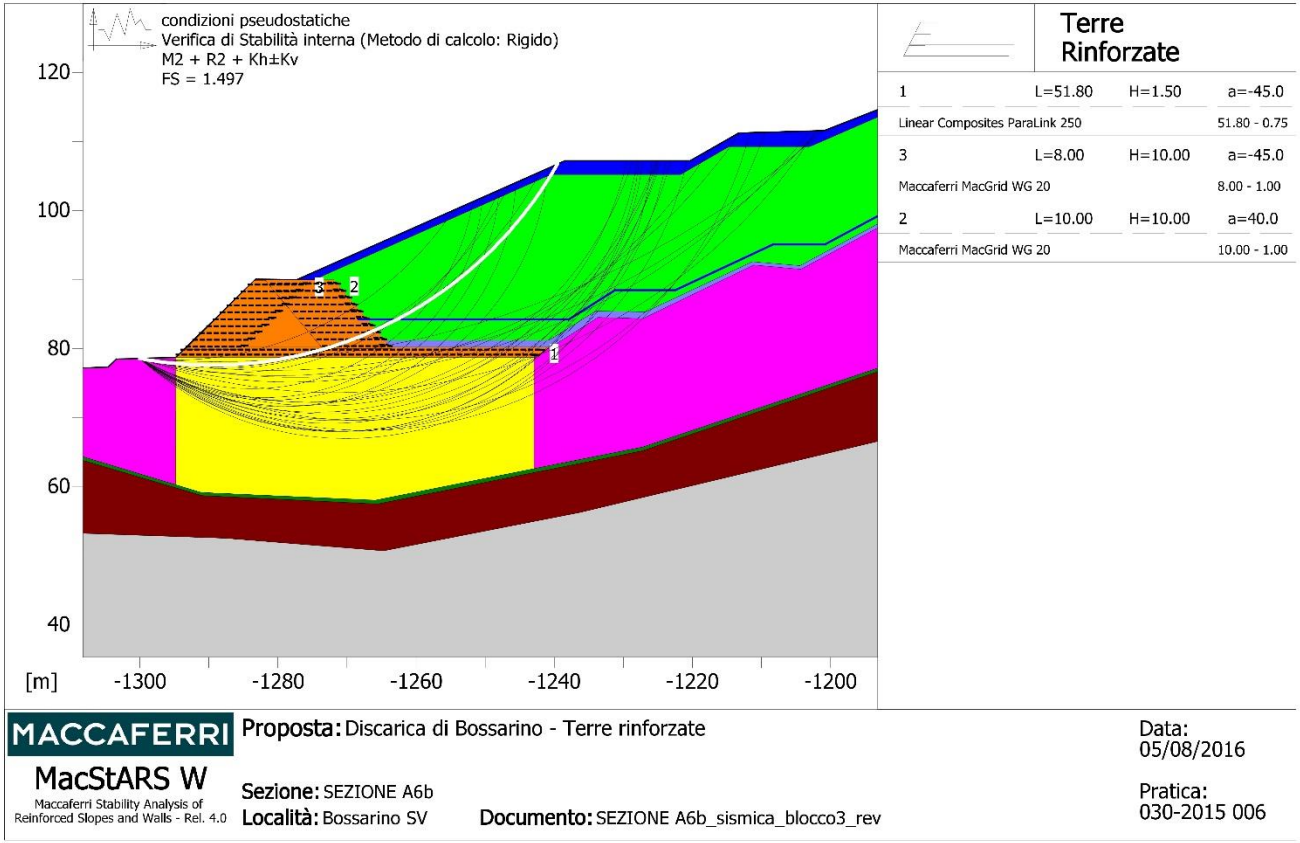



*Figura-8: Sezione A6b-A6b – Analisi di stabilità interna in condizioni pseudostatiche – Blocco 3- FS=1.497*

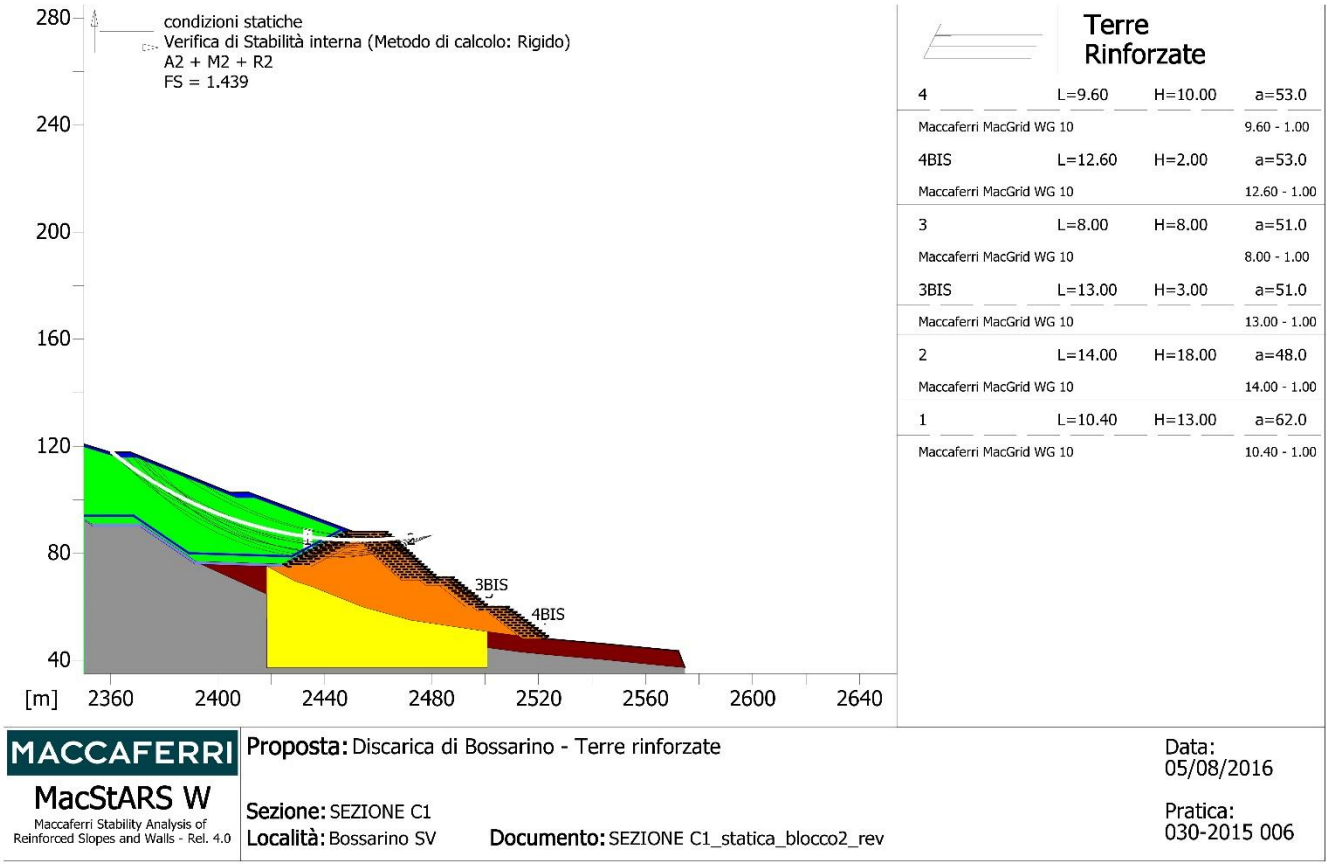



*Figura 9: Sezione C1-C1 - Analisi di stabilità interna in condizioni statiche – Blocco 2 -FS=1.439*

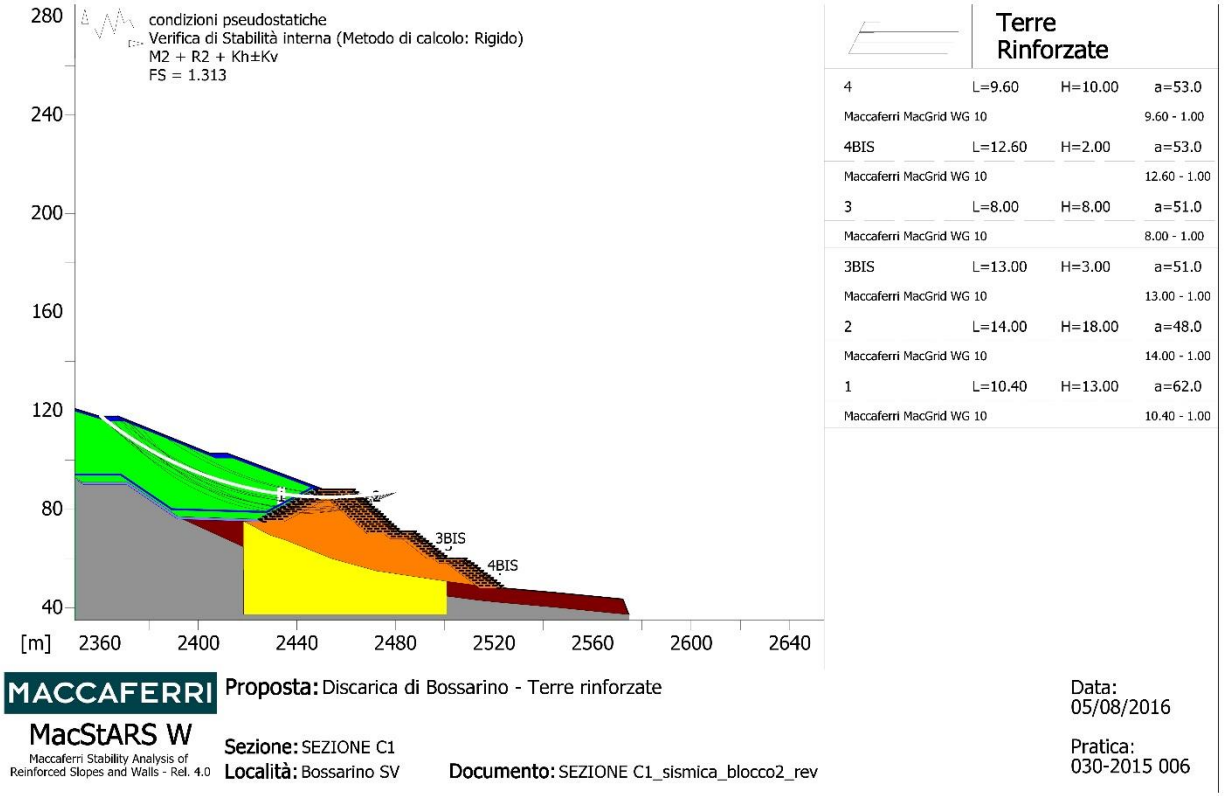



*Figura 10: Sezione C1-C1 - Analisi di stabilità interna in condizioni pseudostatiche – Blocco 2 - FS=1.313*

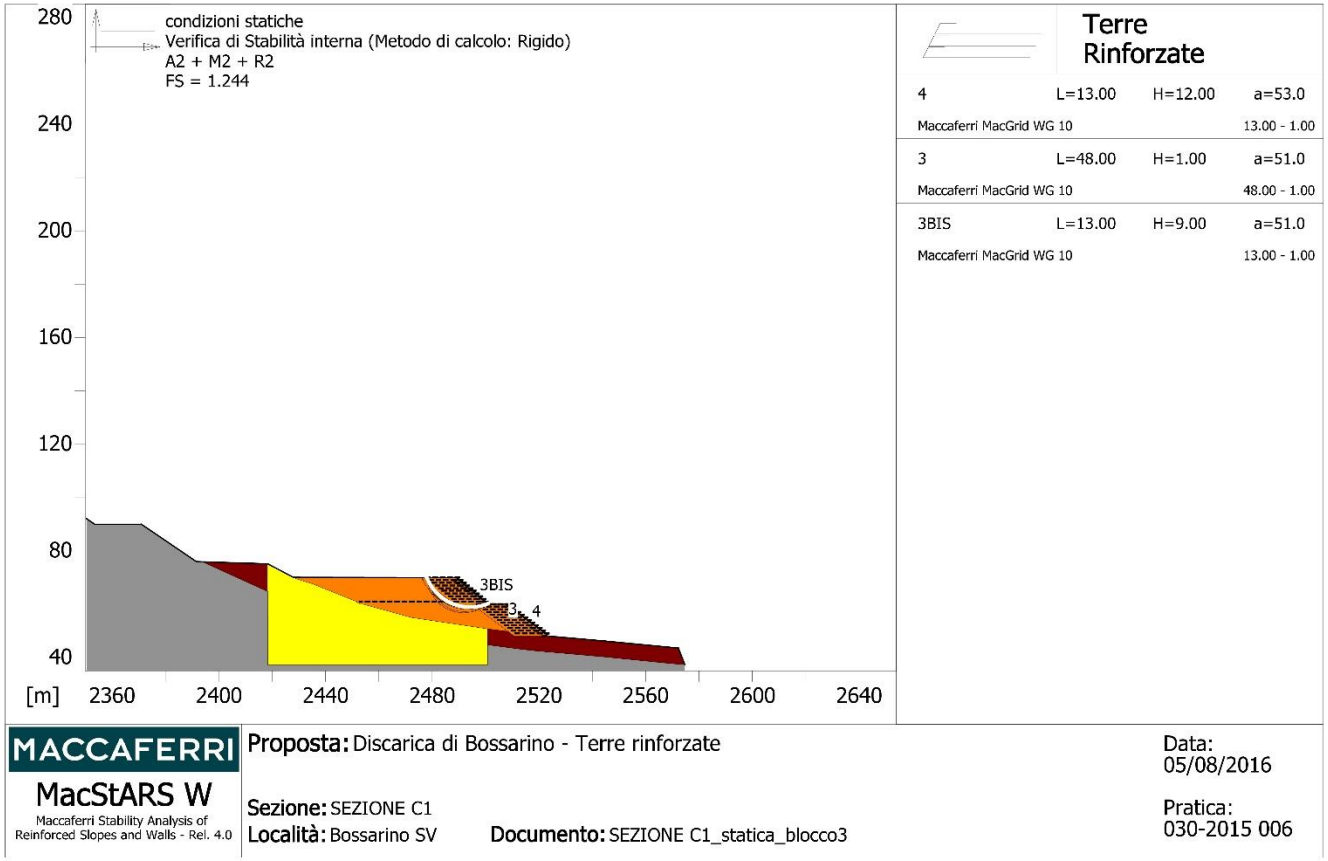



*Figura 11: Sezione C1-C1 - Analisi di stabilità interna in condizioni statiche – Blocco 3 -FS=1.244*

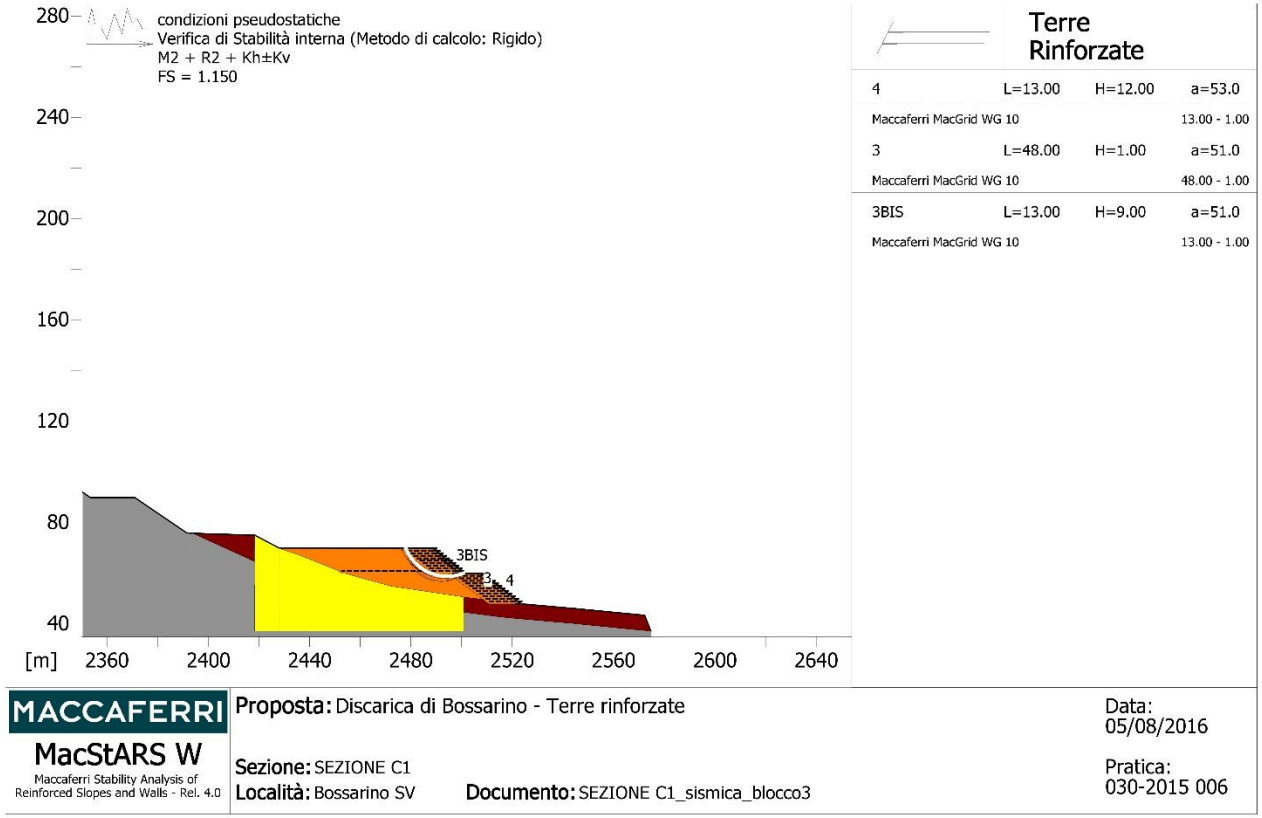



*Figura 12: Sezione C1-C1 - Analisi di stabilità interna in condizioni pseudostatiche – Blocco 3 - FS=1.150*

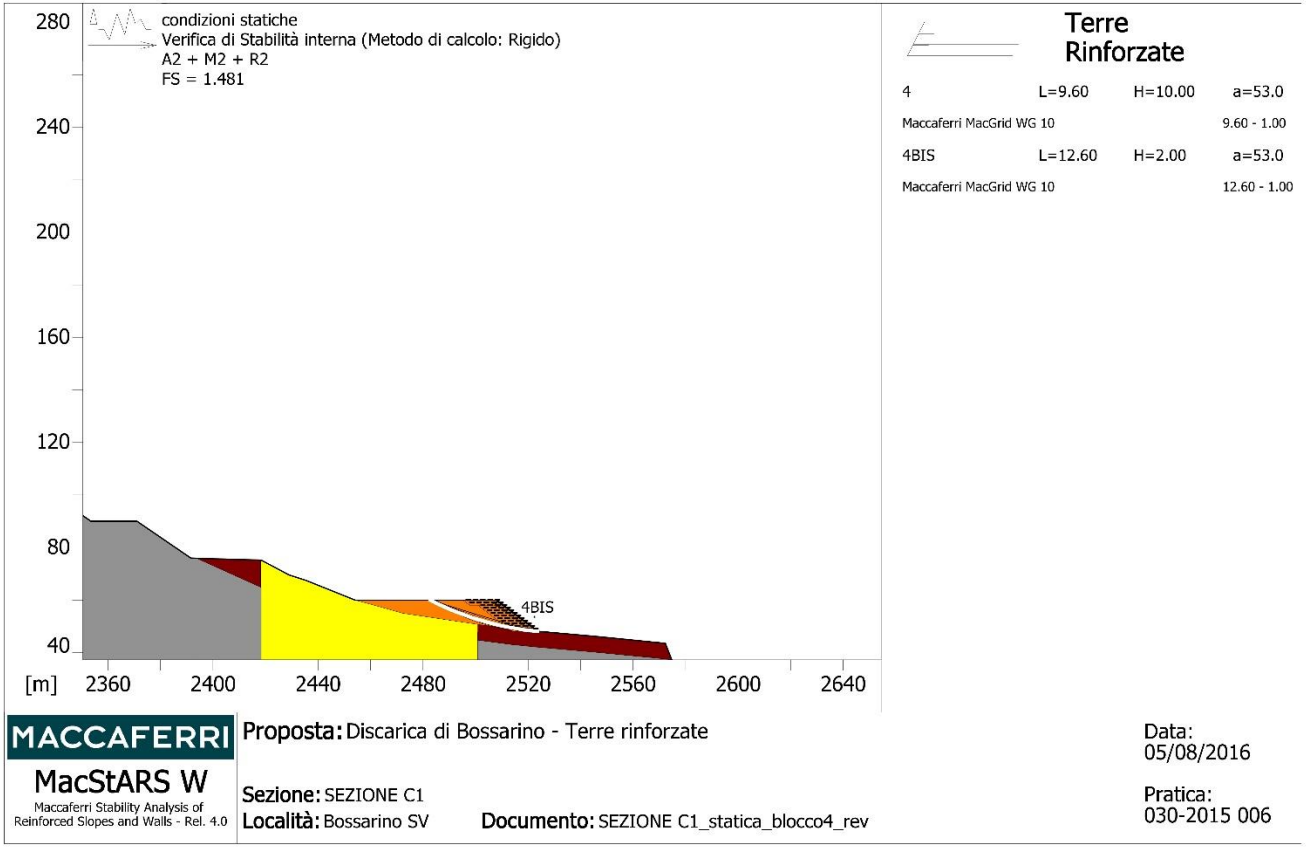



*Figura 13: Sezione C1-C1 - Analisi di stabilità interna in condizioni statiche – Blocco 4 -FS=1.481*

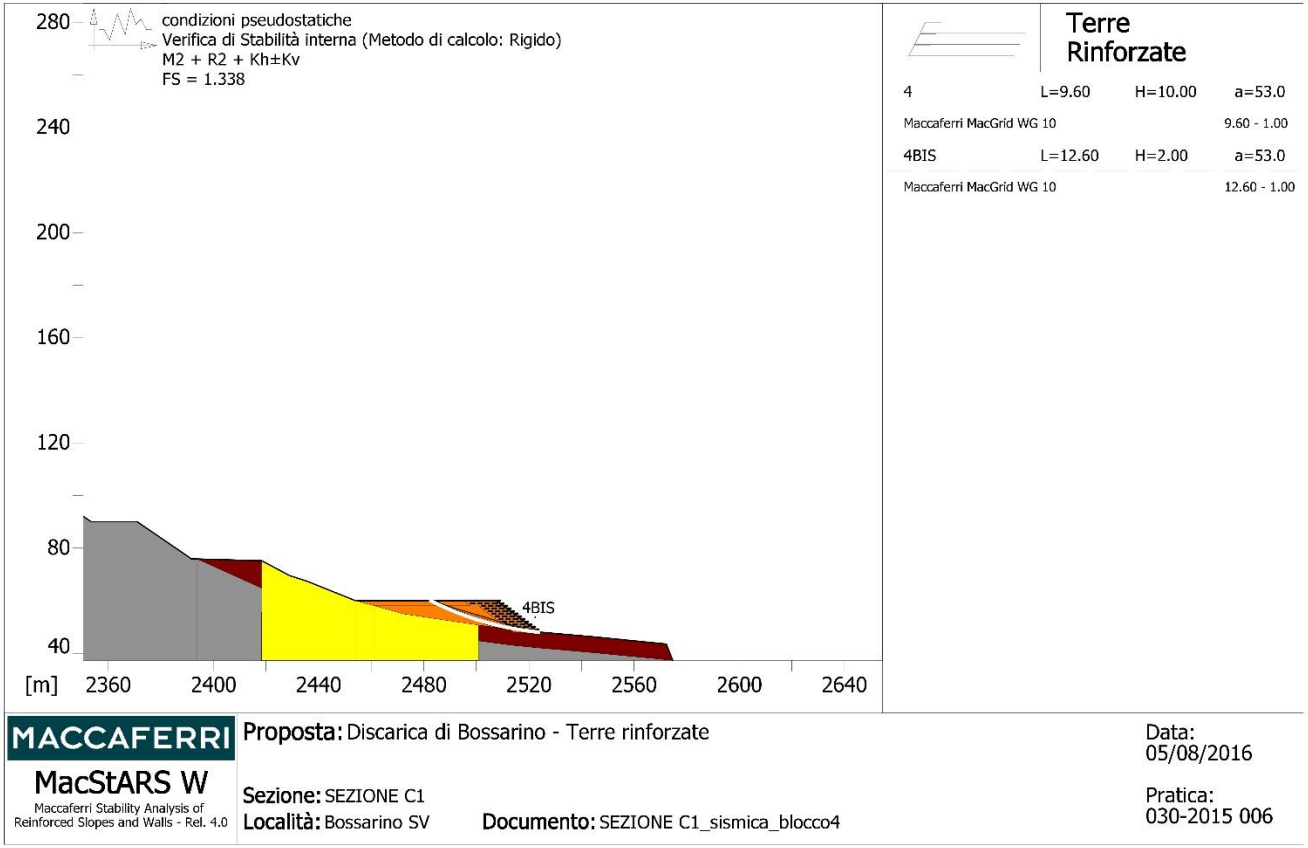



*Figura 14: Sezione C1-C1 - Analisi di stabilità interna in condizioni pseudostatiche – Blocco 4 - FS=1.338*

# Verifiche di scorrimento

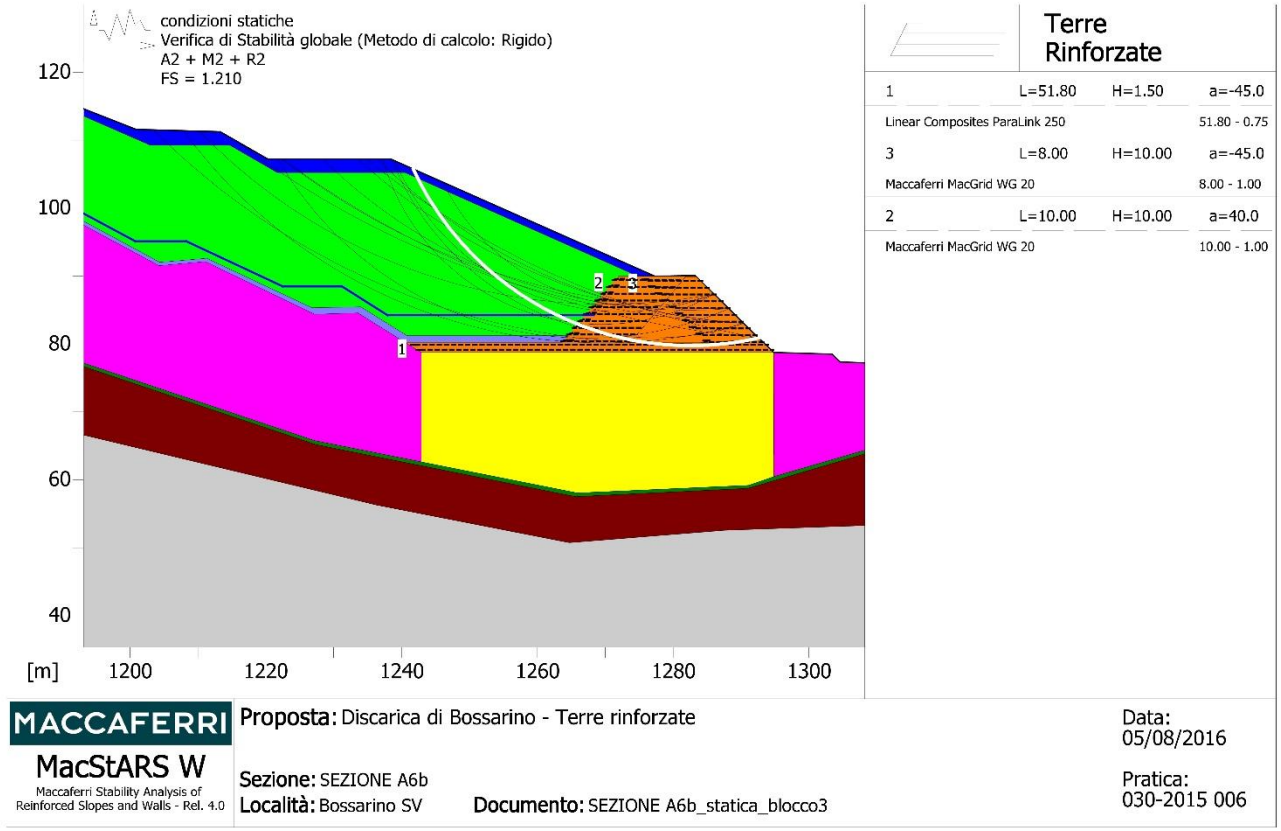



*Figura-15: Sezione A6b-A6b – Verifica di scorrimento in condizioni statiche –Blocco 3 - FS=1.210*

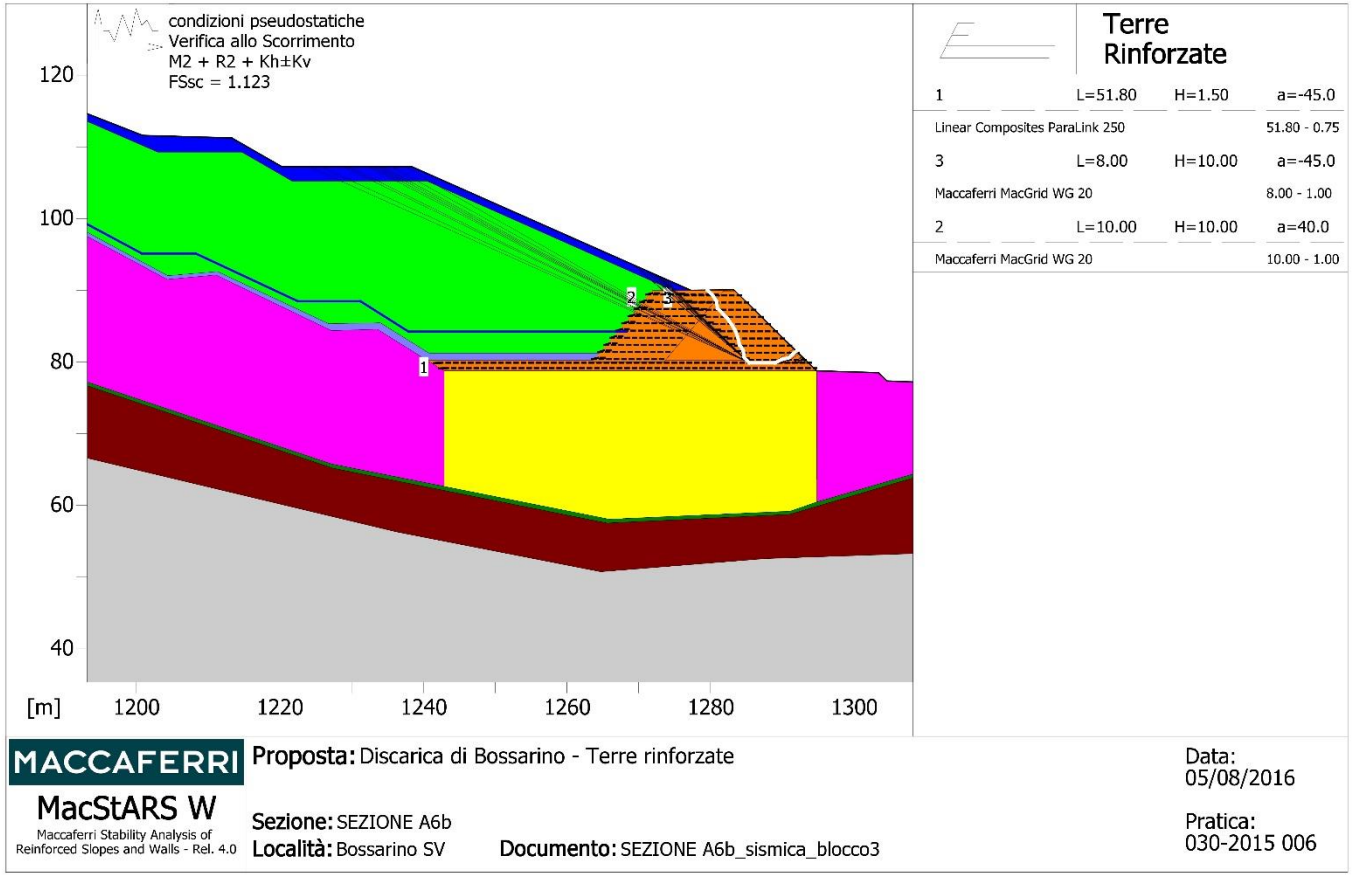



*Figura-16: Sezione A6b-A6b – Verifica di scorrimento in condizioni pseudostatiche – Blocco 3- FS=1.123*

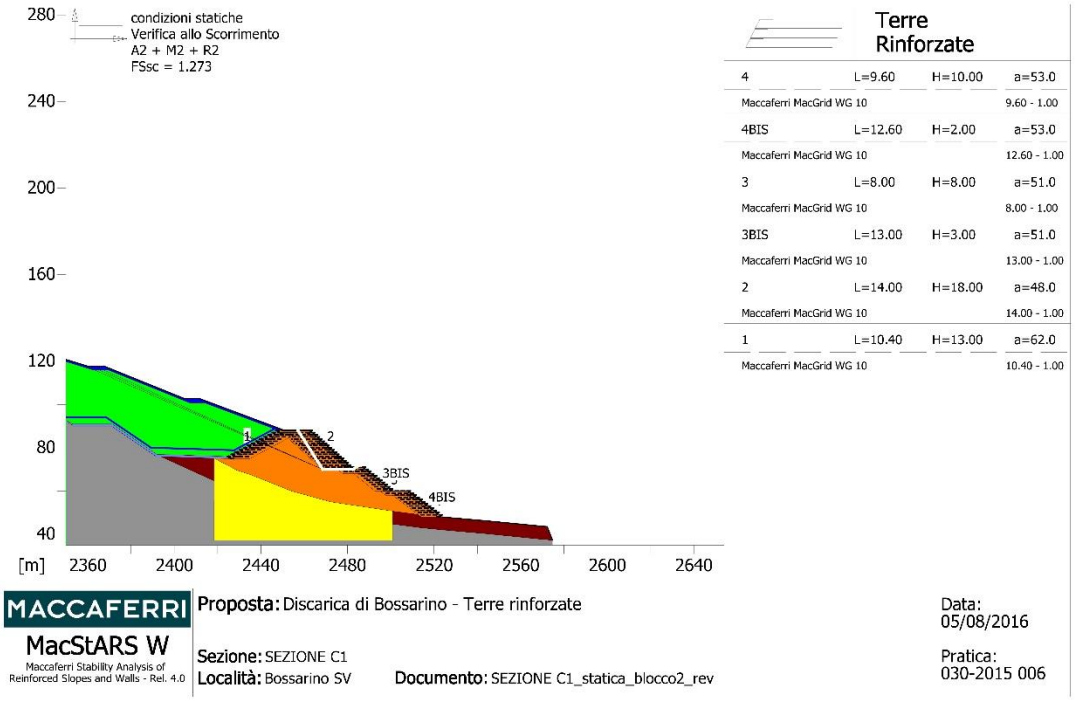



*Figura 17: Sezione C1-C1 - Verifica di scorrimento in condizioni statiche – Blocco 2 -FS=1.273*

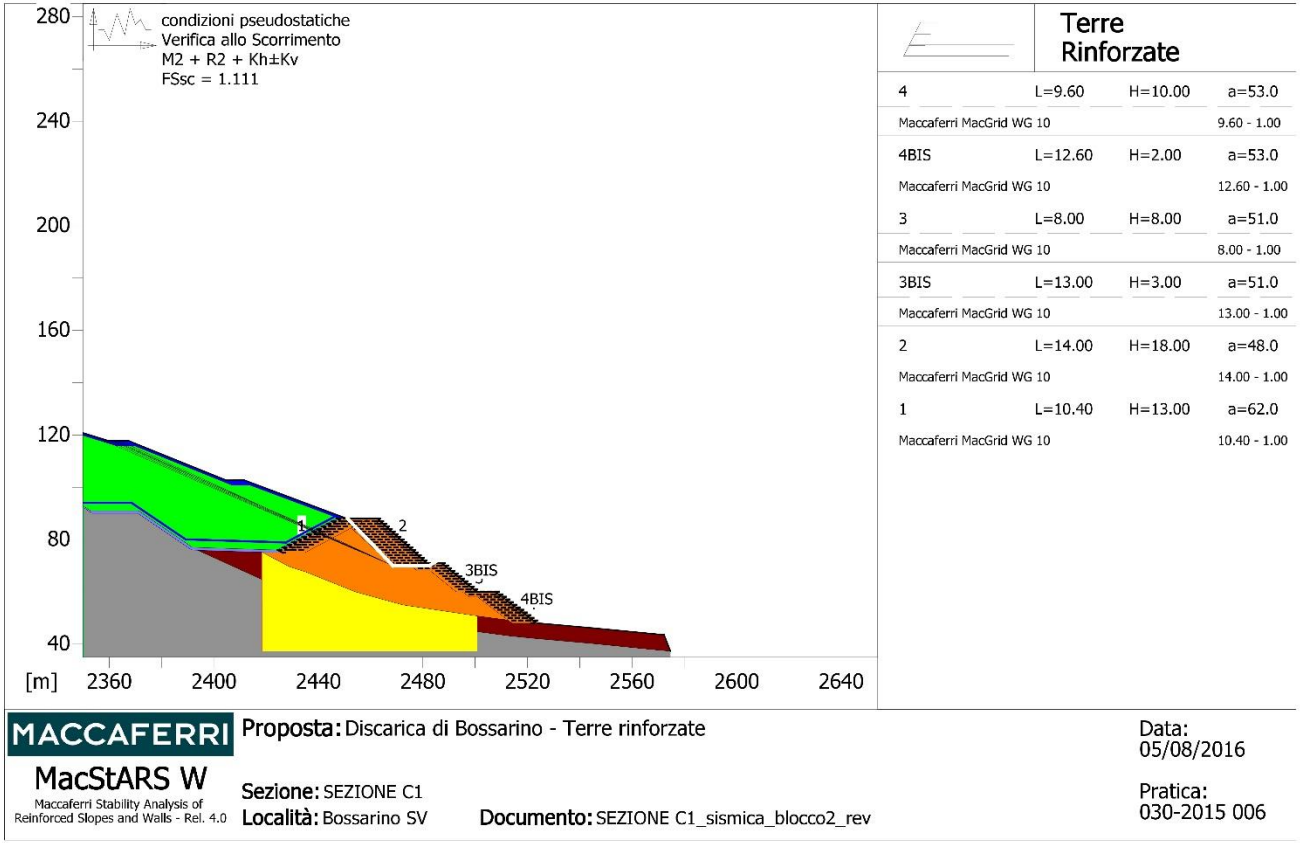



*Figura 18: Sezione C1-C1 - Verifica di scorrimento in condizioni pseudostatiche – Blocco 2 - FS=1.111*

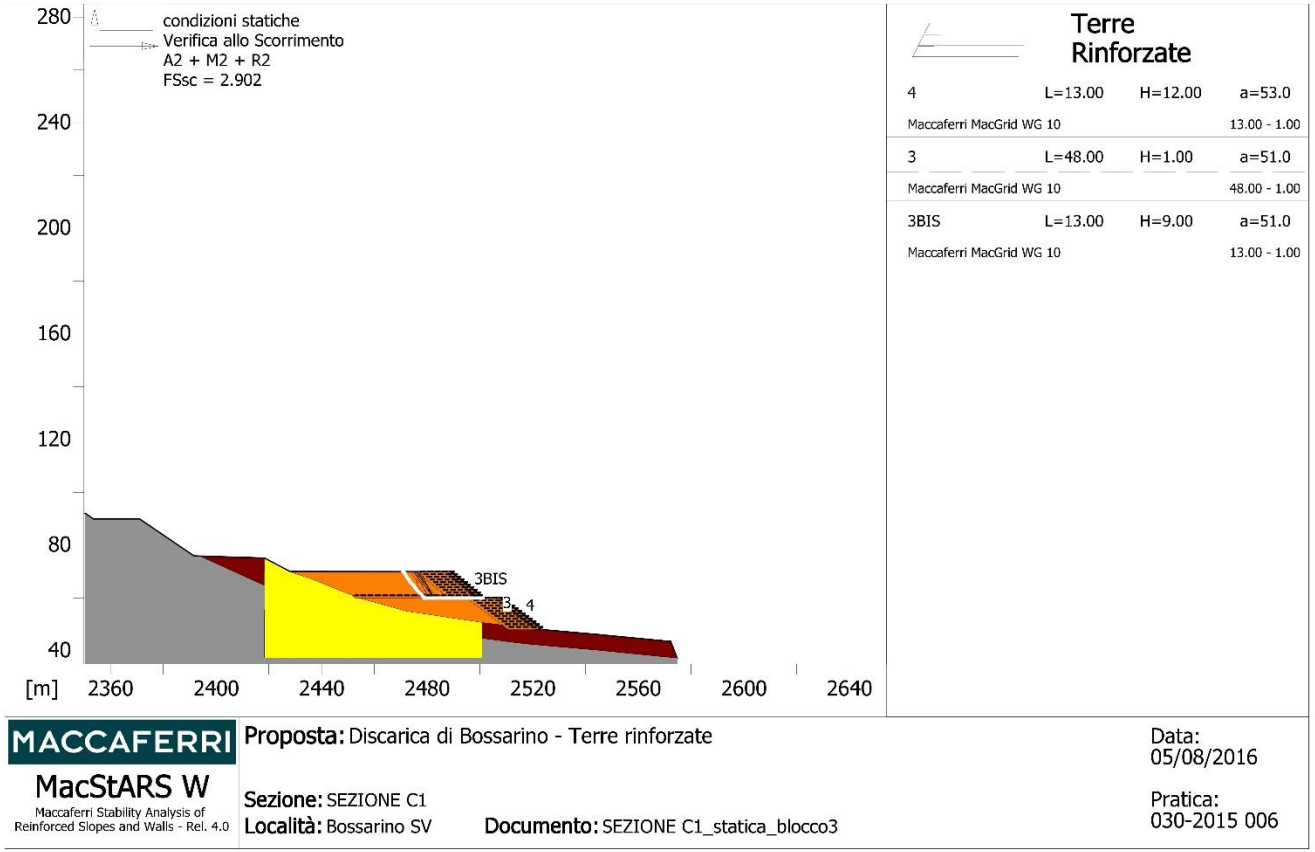



*Figura 19: Sezione C1-C1 - Verifica di scorrimento in condizioni statiche – Blocco 3 -FS=2.902*

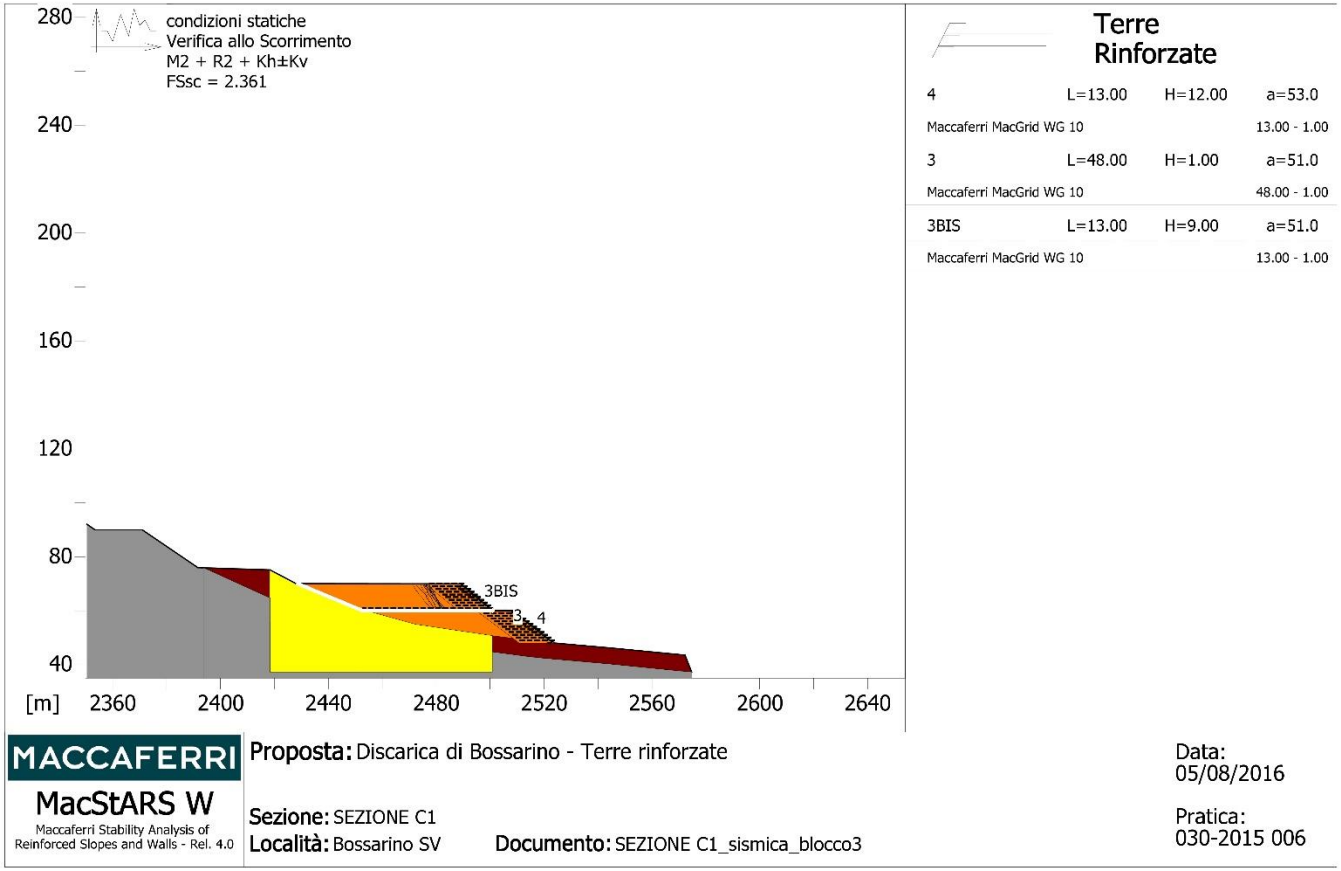



*Figura 20: Sezione C1-C1 - Verifica di scorrimento in condizioni pseudostatiche – Blocco 3 - FS=2.361*

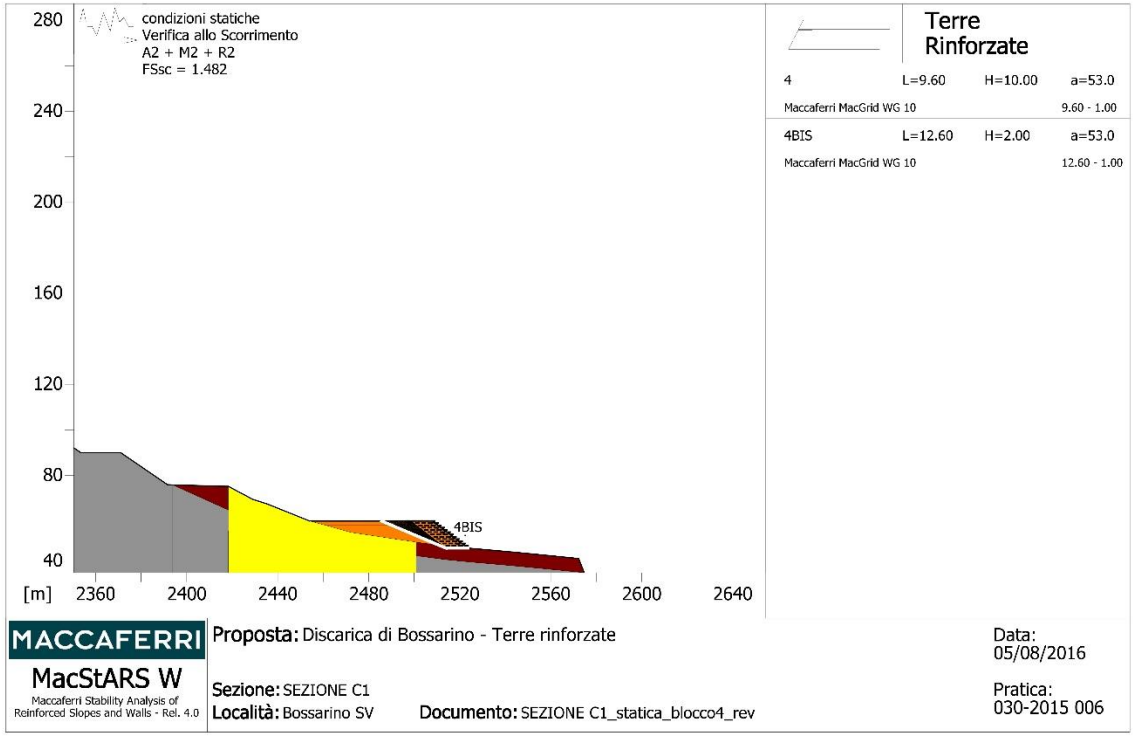



*Figura 21: Sezione C1-C1 - Verifica di scorrimento in condizioni statiche – Blocco 4 -FS=1.482*

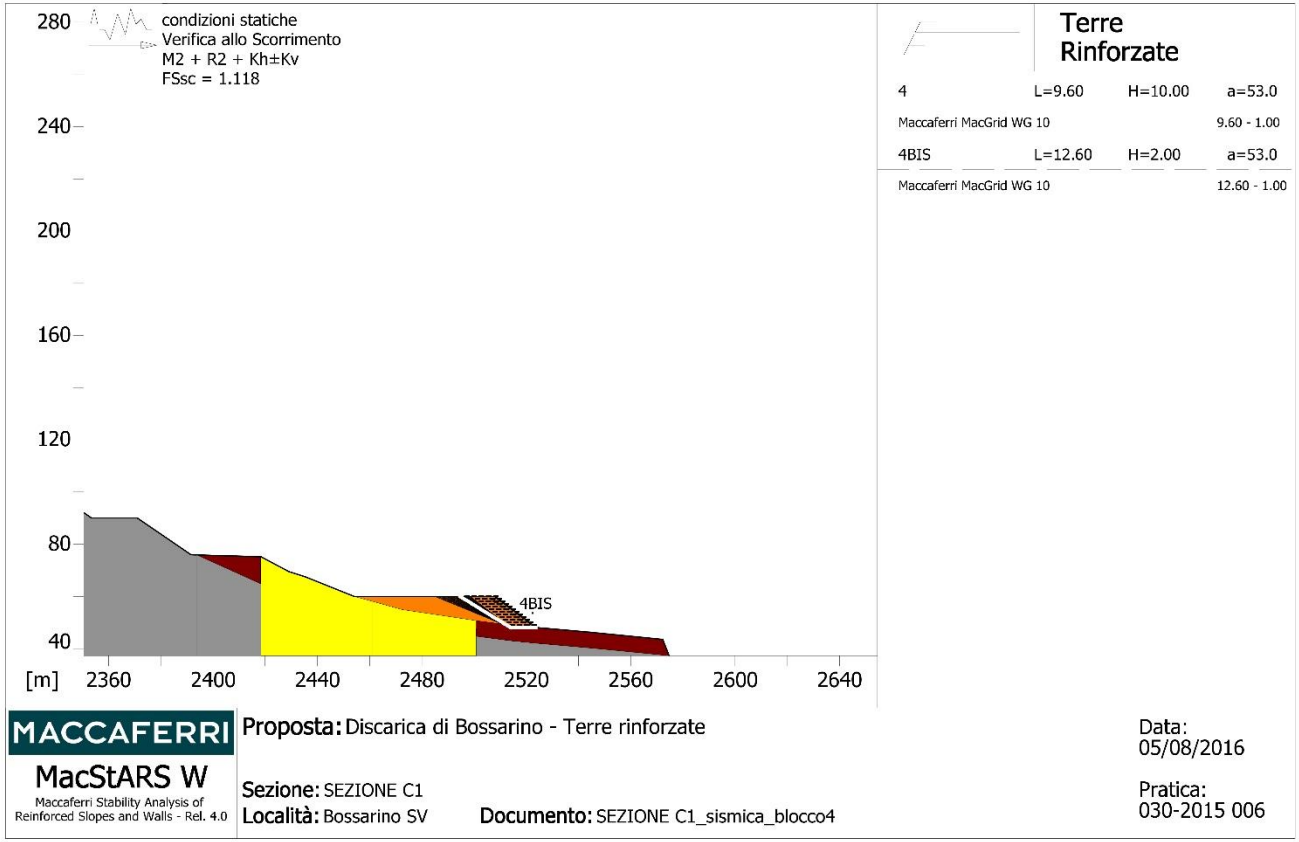
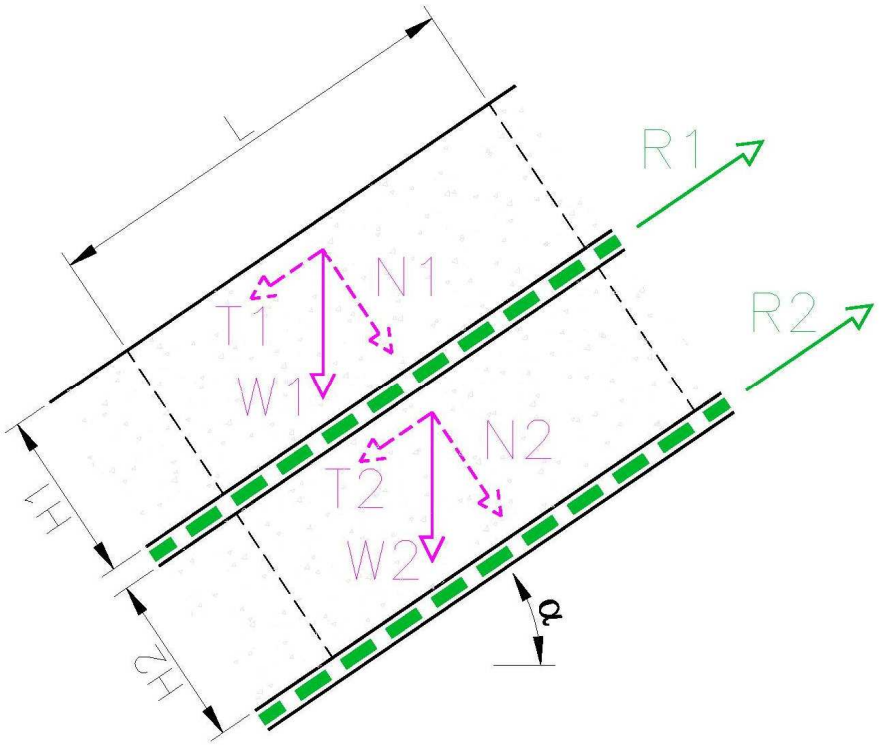



*Figura 22: Sezione C1-C1 - Verifica di scorrimento in condizioni pseudostatiche – Blocco 4 - FS=1.118*

# Allegato D1:

# Verifica di stabilità
# del pacchetto di copertura

# CASO STATICO




ipotesi: l'elemento di rinforzo assorbe tutta la sollecitazione tangenziale
per allo strato sottostante si trasmettono solo le sollecitazioni normali

$$N_1 = W_1 \cos \alpha$$
$$T_1 = W_1 sen \alpha$$

$$N_2 = N_1 + W_2 \cos \alpha = (W_1 + W_2) \cos \alpha$$
$$T_2 = W_2 sen \alpha$$

# STRATO 1

## DATI

### Geometria del versante

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\alpha$ | 30 | ° | pendenza del versante |
| h | 25.00 | m | altezza del versante |
| L | 50.00 | m | lunghezza del versante |
| H1 | 0.50 | m | spessore del terreno vegetale |

### Caratteristiche del terreno vegetale materiali

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\phi$ | 39 | ° | angolo d'attrito interno |
| $\gamma$ | 18 | kN/m3 | peso specifico del vegetale |

### Caratteristiche del geosintetico di interfaccia

| | | | |
|---|---|---|---|
| RC1 | 400.00 | kN/m | resistenza caratteristica a trazione |
| $\delta$ | 39 | ° | angolo d'attrito di interfaccia (pull-out su singola faccia) |

## CALCOLO DELLA SOLLECITAZIONE

| | | | |
|---|---|---|---|
| W1 | 450.00 | kN/m | peso del terreno |
| N1 | 389.71 | kN/m | componente ortogonale al pendio |
| T1 | 225.00 | kN/m | componente parallela al pendio |

## VERIFICA DI STABILITA' INTERNA DEL TERRENO VEGETALE

$\gamma_m$ 1.25 coeff di sicurezza parziale (NTC 14.01.08, tabella 6.2.II, colonna M2)

$$N\frac{tg\phi}{\gamma_m}\Big/T \geq 1.1$$ condizione verificata

| | | |
|---|---|---|
| N tg$\phi$/$\gamma_m$ | 252.47 | kN/m |
| T | 225.00 | kN/m |
| R2 | 1.12 | |

## VERIFICA DI STABILITA' ALL'INTERFACCIA GEOSINTETICO-TERRENO

$\gamma_m$ 1.25 coeff di sicurezza parziale (NTC 14.01.08, tabella 6.2.II, colonna M2)

$$N\frac{tg\phi}{\gamma_m}\Big/T \geq 1.1$$ condizione verificata

| | | |
|---|---|---|
| N tg$\delta$/$\gamma_m$ | 252.47 | |
| T | 225.00 | |
| R2 | 1.12 | |

## VERIFICA DELLA RESISTENZA A TRAZIONE DEL GEOSINTETICO

$\gamma_m$ 1.770 coefficiente parziale sul materiale (BS8006:1995)

$$\frac{RC}{\gamma_m} \geq T$$ condizione verificata

| | | |
|---|---|---|
| RC/$\gamma_m$ | **225.95** | kN/m |
| T | 225.00 | kN/m |

# STRATO 2

## DATI

### Geometria del versante

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\alpha$ | 30 | ° | pendenza del versante |
| h | 25.00 | m | altezza del versante |
| L | 50.00 | m | lunghezza del versante |
| H2 | 0.50 | m | spessore del terreno vegetale |

### Caratteristiche del terreno vegetale materiali

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\phi$ | 39 | ° | angolo d'attrito interno |
| $\gamma$ | 18 | kN/m3 | peso specifico del vegetale |

### Caratteristiche del geosintetico di interfaccia

| | | | |
|---|---|---|---|
| RC2 | 400.00 | kN/m | resistenza caratteristica a trazione |
| $\delta$ | 38 | ° | angolo d'attrito di interfaccia (pull-out su singola faccia) |

## CALCOLO DELLA SOLLECITAZIONE

| | | | |
|---|---|---|---|
| W2 | 450.00 | kN/m | peso del terreno |
| N2 | 779.42 | kN/m | componente ortogonale al pendio |
| T2 | 225.00 | kN/m | componente parallela al pendio |

## VERIFICA DI STABILITA' INTERNA DEL TERRENO VEGETALE

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\gamma_m$ | 1.25 | | coeff di sicurezza parziale (NTC 14.01.08, tabella 6.2.II, colonna M2) |

$$N\frac{tg\phi}{\gamma_m}\Big/T \geq 1.1$$

condizione verificata

| | | |
|---|---|---|
| N $tg\phi/\gamma_m$ | 504.93 | kN/m |
| T | 225.00 | kN/m |
| R2 | 2.24 | |

## VERIFICA DI STABILITA' ALL'INTERFACCIA GEOSINTETICO-TERRENO

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\gamma_m$ | 1.25 | | coeff di sicurezza parziale (NTC 14.01.08, tabella 6.2.II, colonna M2) |

$$N\frac{tg\phi}{\gamma_m}\Big/T \geq 1.1$$

condizione verificata

| | | |
|---|---|---|
| N $tg\delta/\gamma_m$ | 487.16 | |
| T | 225.00 | |
| R2 | 2.17 | |

## VERIFICA DELLA RESISTENZA A TRAZIONE DEL GEOSINTETICO

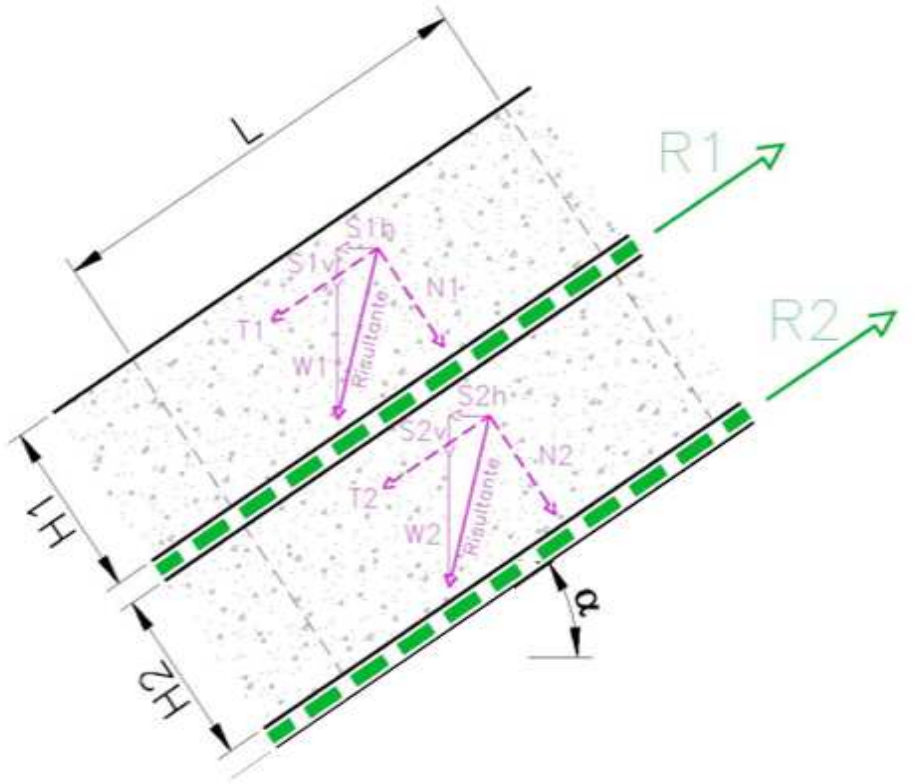
| | | | |
|---|---|---|---|
| $\gamma_m$ | 1.770 | | coefficiente parziale sul materiale (BS8006:1995) |

$$\frac{RC}{\gamma_m} \geq T$$

condizione verificata

| | | |
|---|---|---|
| RC/$\gamma_m$ | 225.95 | kN/m |
| T | 225.00 | kN/m |

# CASO SISMICO




ipotesi: l'elemento di rinforzo assorbe tutta la sollecitazione tangenziale
per allo strato sottostante si trasmettono solo le sollecitazioni normali

$$N_1 = W_1 \cos\alpha + S_{1V} \cos\alpha - S_{1H} sen\alpha$$
$$T_1 = W_1 sen\alpha + S_{1V} sen\alpha + S_{1H} \cos\alpha$$

$$N_2 = N_1 + W_2 \cos\alpha + S_{2V} \cos\alpha - S_{2H} sen\alpha =$$
$$= (W_1 + W_2 + S_{1V} + S_{2V})\cos\alpha - (S_{1H} + S_{2H})sen\alpha$$
$$T_2 = W_2 sen\alpha + S_{2V} sen\alpha + S_{2H} \cos\alpha$$

# STRATO 1

## DATI

### Geometria del versante

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\alpha$ | 30 | ° | pendenza del versante |
| h | 25.00 | m | altezza del versante |
| L | 50.00 | m | lunghezza del versante |
| H1 | 0.50 | m | spessore del terreno vegetale |

### Caratteristiche del terreno vegetale materiali

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\phi$ | 39 | ° | angolo d'attrito interno |
| $\gamma$ | 18 | kN/m3 | peso specifico del vegetale |

### Caratteristiche del geosintetico di interfaccia

| | | | |
|---|---|---|---|
| RC1 | 350.00 | kN/m | resistenza caratteristica a trazione |
| $\delta$ | 39 | ° | angolo d'attrito di interfaccia (pull-out su singola faccia) |

## CALCOLO DELLA SOLLECITAZIONE

### Peso del terreno

| | | | |
|---|---|---|---|
| W1 | 450.00 | kN/m | peso del terreno |

### Sollecitazione sismica

| caso | 1 | 2 | |
|---|---|---|---|
| $a_H$ | 0.0260 | 0.0260 | g |
| $a_V$ | 0.0130 | -0.0130 | g |
| $S1_H$ | 11.70 | 11.70 | kN/m |
| $S1_V$ | 5.85 | -5.85 | kN/m |

### Componenti

| caso | 1 | 2 | |
|---|---|---|---|
| N1 | 388.93 | 378.80 | kN/m |
| T1 | 238.06 | 232.21 | kN/m |

## VERIFICA DI STABILITA' INTERNA DEL TERRENO VEGETALE

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\gamma_m$ | 1.25 | | coeff di sicurezza parziale (NTC 14.01.08, tabella 6.2.II, colonna M2) |

| caso | 1 | 2 | |
|---|---|---|---|
| condizione | verificata | verificata | $N \frac{tg\ \phi}{\gamma_m} \geq T$ |
| N tg$\phi$/$\gamma_m$ | 252.0 | 245.4 | kN/m |
| T | 238.1 | 232.2 | kN/m |
| R2 | 1.06 | 1.06 | |

## VERIFICA DI STABILITA' ALL'INTERFACCIA GEOSINTETICO-TERRENO

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\gamma_m$ | 1.25 | | coeff di sicurezza parziale (NTC 14.01.08, tabella 6.2.II, colonna M2) |

| caso | 1 | 2 | |
|---|---|---|---|
| condizione | verificata | verificata | $N \frac{tg\ \delta}{\gamma_m} \geq T$ |
| N tg$\delta$/$\gamma_m$ | 252.0 | 245.4 | kN/m |
| T | 238.1 | 232.2 | kN/m |
| R2 | 1.06 | 1.06 | |

## VERIFICA DELLA RESISTENZA A TRAZIONE DEL GEOSINTETICO

| | | |
|---|---|---|
| $\gamma_m$ | 1.250 | coefficiente parziale sul materiale (BS8006:1995) |

| caso | 1 | 2 | |
|---|---|---|---|
| condizione | verificata | verificata | $\frac{RC}{\gamma_m} \geq T$ |
| RC/$\gamma_m$ | 280.0 | 280.0 | kN/m |
| T | 238.1 | 232.2 | kN/m |

# STRATO 2

## DATI

### Geometria del versante

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\alpha$ | 25 | ° | pendenza del versante |
| h | 23.00 | m | altezza del versante |
| L | 54.42 | m | lunghezza del versante |
| H2 | 0.50 | m | spessore del terreno vegetale |

### Caratteristiche dello strato drenante

| | | | |
|---|---|---|---|
| $\phi$ | 38 | ° | angolo d'attrito interno |
| $\gamma$ | 19 | kN/m3 | peso specifico del vegetale |

### Caratteristiche del geosintetico di interfaccia

| | | | |
|---|---|---|---|
| RC2 | 350 | kN/m | resistenza caratteristica a trazione |
| $\delta$ | 38 | ° | angolo d'attrito di interfaccia (pull-out su singola faccia) |

## CALCOLO DELLA SOLLECITAZIONE

### Peso del terreno

| | | | |
|---|---|---|---|
| W2 | 517.02 | kN/m | peso del terreno |

### Sollecitazione sismica

| caso | 1 | 2 | |
|---|---|---|---|
| $a_H$ | 0.0260 | 0.0260 | g |
| $a_V$ | 0.0130 | -0.0130 | g |
| $S2_H$ | 13.44 | 13.44 | kN/m |
| $S2_V$ | 6.72 | -6.72 | kN/m |

### Componenti

| caso | 1 | 2 | |
|---|---|---|---|
| N2 | 857.91 | 835.60 | kN/m |
| T2 | 233.52 | 227.84 | kN/m |

## VERIFICA DI STABILITA' INTERNA DEL TERRENO VEGETALE

| | | |
|---|---|---|
| $\gamma_m$ | 1.25 | coeff di sicurezza parziale (NTC 14.01.08, tabella 6.2.II, colonna M2) |

| caso | 1 | 2 | |
|---|---|---|---|
| condizione | verificata | verificata | $N \frac{tg\ \phi}{\gamma_m} \geq T$ |
| N tg$\phi$/$\gamma_m$ | 536.2 | 522.3 | kN/m |
| T | 233.5 | 227.8 | kN/m |
| R2 | 2.30 | 2.29 | |

## VERIFICA DI STABILITA' ALL'INTERFACCIA GEOSINTETICO-TERRENO

| | | |
|---|---|---|
| $\gamma_m$ | 1.25 | coeff di sicurezza parziale (NTC 14.01.08, tabella 6.2.II, colonna M2) |

| caso | 1 | 2 | |
|---|---|---|---|
| condizione | verificata | verificata | $N \frac{tg\ \delta}{\gamma_m} \geq T$ |
| N tg$\delta$/$\gamma_m$ | 536.2 | 522.3 | kN/m |
| T | 233.5 | 227.8 | kN/m |
| R2 | 2.30 | 2.29 | |

## VERIFICA DELLA RESISTENZA A TRAZIONE DEL GEOSINTETICO

| | | |
|---|---|---|
| $\gamma_m$ | 1.250 | coefficiente parziale sul materiale (BS8006:1995) |

| caso | 1 | 2 | |
|---|---|---|---|
| condizione | verificata | verificata | $\frac{RC}{\gamma_m} \geq T$ |
| RC/$\gamma_m$ | 280.0 | 280.0 | kN/m |
| T | 233.5 | 227.8 | kN/m |

# Allegato D2:

# Calcolo dei coefficienti parziali per la resistenza a trazione secondo il BS 8006

## COEFFICIENTI PARZIALI SUI RINFORZI - CASO STATICO

(BS8006:1995 annex A)

Fm 1.770 coefficiente parziale sul materiale

### Coefficiente collegato alle caratteristiche intrinseche dei rinforzi (f1)

f1 1.606 coef collegato alle caratteristiche intrinseche dei rinforzi

f11 1.134 coeff che tiene conto delle caratteristiche del prodotto alla fonte e dei controlli in fase produttiva

f111 1.080 coeff che tiene conto della variazione delle caratteristiche dei materiali associate al processo produttivo

m 400 resistenza caratteristica a trazione (percentile 95%)

s 18 deviazione std

f112 1.050 coeff che tiene conto della variabilità delle caratteristiche dei materiali dovuta all'accuratezza dei controlli

f12 1.416 coeff che tiene conto dell'estrapolazione dei risultati delle prove dal prodotto finito alla durata della vita dell'opera

f121 1.000 coeff che tiene conto dell'accuratezza delle prove di creep in laboratorio (=1 se qualità certificata)

f122 1.416 coeff che tiene conto dei criteri adottati per la estrapolazione delle prove di creep dalla durata delle prove di laboratorio alla vita dell'opera

td 30 durata della vita di progetto dell'opera

tt 1.15 durata della prova (min $10^4$ ore)

### Coefficiente collegato agli effetti di sito (f2)

f2 1.103 coeff collegato agli effetti di sito

f21 1.050 coeff che tiene conto dei danni da installazione

f22 1.050 coeff che tiene conto degli effetti ambientali

## COEFFICIENTI PARZIALI SUI RINFORZI - CASO SISMICO

(BS8006:1995 annex A)

Fm 1.250 coefficiente parziale sul materiale

### Coefficiente collegato alle caratteristiche intrinseche dei rinforzi (f1)

f1 1.134 coef collegato alle caratteristiche intrinseche dei rinforzi

f11 1.134 coeff che tiene conto delle caratteristiche del prodotto alla fonte e dei controlli in fase produttiva

f111 1.080 coeff che tiene conto della variazione delle caratteristiche dei materiali associate al processo produttivo

m 400 resistenza caratteristica a trazione (percentile 95%)

s 18 deviazione std

f112 1.050 coeff che tiene conto della variabilità delle caratteristiche dei materiali dovuta all'accuratezza dei controlli

f12 1.000 coeff che tiene conto dell'estrapolazione dei risultati delle prove dal prodotto finito alla durata della vita dell'opera

f121 1.000 coeff che tiene conto dell'accuratezza delle prove di creep in laboratorio (=1 se qualità certificata)

f122 1.000 coeff che tiene conto dei criteri adottati per la estrapolazione delle prove di creep dalla durata delle prove di laboratorio alla vita dell'opera

td 12 durata della vita di progetto dell'opera

tt 1.14 durata della prova

### Coefficiente collegato agli effetti di sito (f2)

f2 1.103 coeff collegato agli effetti di sito

f21 1.050 coeff che tiene conto dei danni da installazione

f22 1.050 coeff che tiene conto degli effetti ambientali