Committente:

greenUp

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:

030-034R01

Rev.	Data	Descrizione	Redatto	Controllato	Approvato
E01	30.05.2015	Emissione	Andrea Lattanzi	Tatiana Terragni	Stefano Veggi
E02					
E03					
E04					
E05					

Progettista:

Desmos
Ingegneria Ambiente Energia

Timbro e firma:



Desmos Ingegneria Ambiente Energia s.r.l.
Uffici: Via Pietrasanta, 12 20141 Milano Tel. +39 02 36588750 Fax +39 02 36588751
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 – REA: MI 2063052

ISO 9001:2015
ISO 14001:2015
Reg. CH-51454

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 22
5.1 Profilo stratigrafico 22
5.2 Livello di falda 23
5.3 Livello di percolato 23
6. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA 26
6.1 Parametri geotecnici dei materiali 26
6.1.1 Materiali geosintetici 27
6.1.2 Rifiuti 29
6.1.3 Substrato naturale 42
6.2 Valori dei parametri geotecnici per le analisi 42
7. CALCOLO DEI CEDIMENTI 44
7.1 Cenni teorici 45
7.1.1 Generalità 45
7.1.2 Cedimenti primari 46

7.1.3 Cedimenti secondari per viscosità e biodegradazione 49
7.2 Calcolo dei cedimenti 51
7.2.1 Calcolo delle quote di costruzione 55
7.2.2 Cedimenti del piano di posa della barriera di fondo 57
7.2.3 Cedimenti del rilevato di contenimento 58
7.2.4 Compatibilità della barriera di fondo dell'ampliamento con i cedimenti attesi 60
7.2.5 Conclusioni 62
8. METODOLOGIA DI CALCOLO PER LE ANALISI DI STABILITÀ 63
8.1 Analisi statiche 63
8.2 Analisi sismiche 64
8.3 Parametri caratterizzanti l'azione sismica 65
8.3.1 Definizione della pericolosità sismica 65
8.3.2 Accelerazione massima attesa 67
8.4 Parametri di progetto 67
9. OPERE DI SOSTEGNO 69
9.1 Terre Rinforzate 69
9.1.1 Descrizione 69
9.1.2 Caratteristiche dei materiali 69
9.2 Opere di consolidamento al piede 70
9.2.1 Il jet-grouting 70
9.2.2 Dimensionamento della griglia di ripartizione e cedimento differenziale 73
9.2.3 Tiranti di ancoraggio 74
9.2.4 Palificata 76
10. ANALISI DI STABILITÀ DELLA DISCARICA 77
10.1 Sezioni di calcolo 77
10.2 Risultati in condizioni statiche 80
10.2.1 Fase 1 80
10.2.2 Fase 2 81
10.3 Risultati in condizioni pseudostatiche 82
10.3.1 Fase 1 82
10.3.2 Fase 2 83
11. ANALISI DI STABILITÀ DELLE TERRE RINFORZATE 85

11.1.1 Tipologia di analisi eseguite 85
11.1.2 Risultati delle analisi 85
11.2 Resistenza nominali dei geosintetici 87
12. STABILITÀ DELLA COPERTURA DEFINITIVA 89
12.1 Stratigrafia del pacchetto di copertura 89
12.2 Ipotesi di calcolo 90
12.3 Caratteristiche dei materiali 91
12.3.1 Resistenza nominale dei geosintetici 91
12.4 Analisi di stabilità in condizioni statiche 92
12.5 Analisi di stabilità in condizioni sismiche 92

Allegati:

Allegato A: Prove di Laboratorio sui rifiuti

Allegato B: Analisi di stabilità della discarica – Fase 1

Allegato C: Analisi di stabilità della discarica – Fase 2

Allegato D: Analisi di stabilità delle terre rinforzate – Fase 1

Allegato E: Analisi di stabilità delle terre rinforzate – Fase 2

Allegato F: 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:

- fase 1: ampliamento dell'impianto entro il perimetro dell'attuale discarica;
- fase 2: estensione dell'ampliamento alle aree esterne al perimetro dell'attuale discarica.

La suddivisione in due fasi temporali e, conseguentemente in Lotti si propone al fine di ottimizzare la logistica di realizzazione dell'ampliamento, in relazione alla presenza del vincolo sulle aree percorse dal fuoco esternamente al perimetro attualmente autorizzato dell'impianto e 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

[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.

[20] VEGGI, S., PARLA, P. AND FRETTI, G. (2015), Experiences about geosynthetics shear strength designing and testing; Geosynthetics 2015, February 15-18, Portland, Oregon

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.

[21] 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"

[22] Decreto Legislativo n. 36 del 13 Gennaio 2003, "Attuazione della direttiva 1999/31/CE relativa alle discariche per rifiuti"

[23] 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"

[24] D.M. delle Infrastrutture e dei Trasporti 14 settembre 2005, "Norme Tecniche per le Costruzioni"

[25] EN 1997 Eurocode 7 "Geotechnical Design – Part 1: General Rules".

[26] D. M. delle Infrastrutture e dei Trasporti 14.01.2008, "Norme tecniche per le costruzioni";

[27] Delibera della Giunta Regionale della Puglia n. 153 del 2 marzo 2004;

[28] 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";

[29] ISO/TR 20432:2007 "Guidelines for the determination of the long-term strength of geosynthetics for soil reinforcement"

2.3 Codici di calcolo

[30] Slope/W – GeoSlope (www.geo-slope)

[31] 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 3.1 Foto 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.

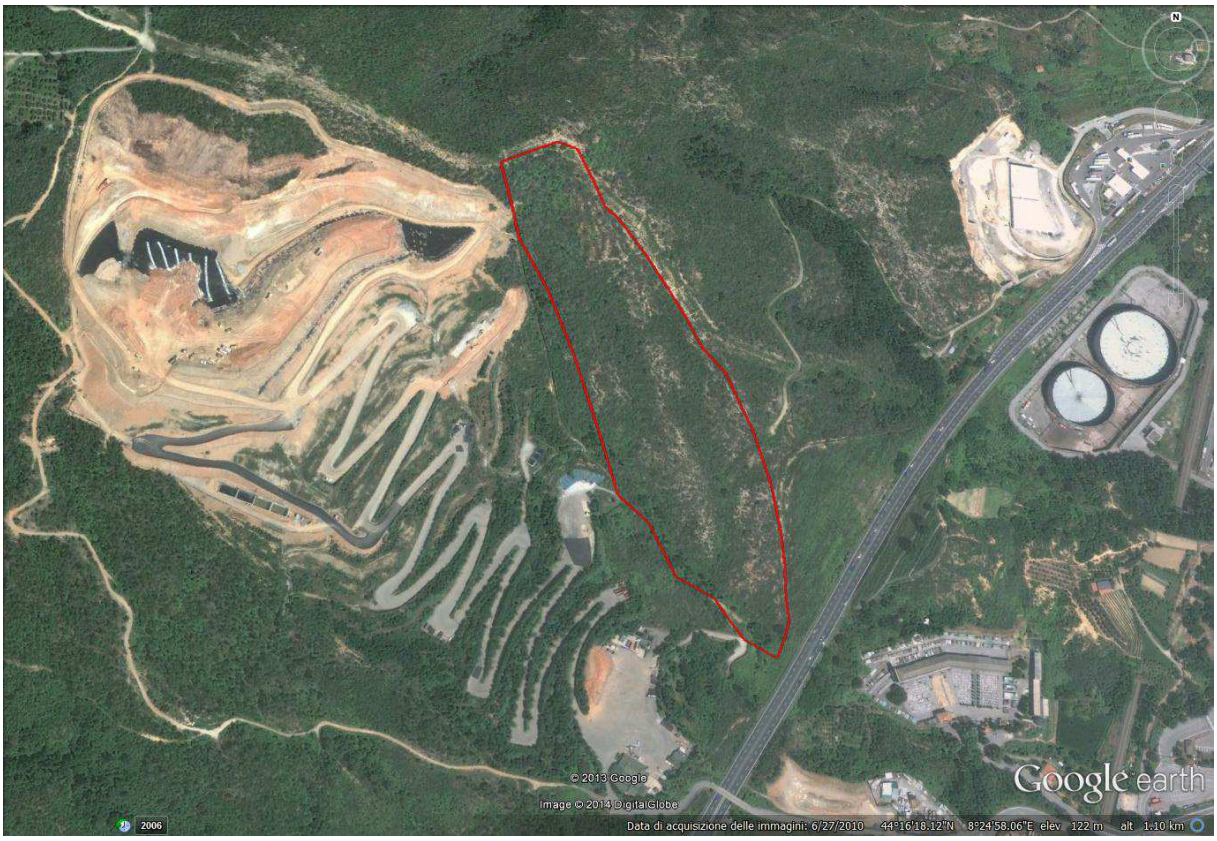


Figura 3.2: Vista aerea della discarica esistente di Bossarino e dell'area oggetto di studio per l'ampliamento (Lotto 2)

4. RISULTATI PIANO DI INDAGINE

Nel presente paragrafo vengono riassunti per completezza 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 (030-034R03E01)
- Report delle indagini geognostiche realizzate – SINGEA (Allegato A alla Relazione Geologica 030-034R03E01)
- Report Indagini geofisiche – AKRON (Allegato B alla Relazione Geologica 030-034R03E01)
- 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 030-034R03E01)

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 030-034R03E01-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 030-034R03E01 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 030-034R03E01.

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 030-034R03E01.

Nella figura seguente si riporta una sintesi dei risultati.

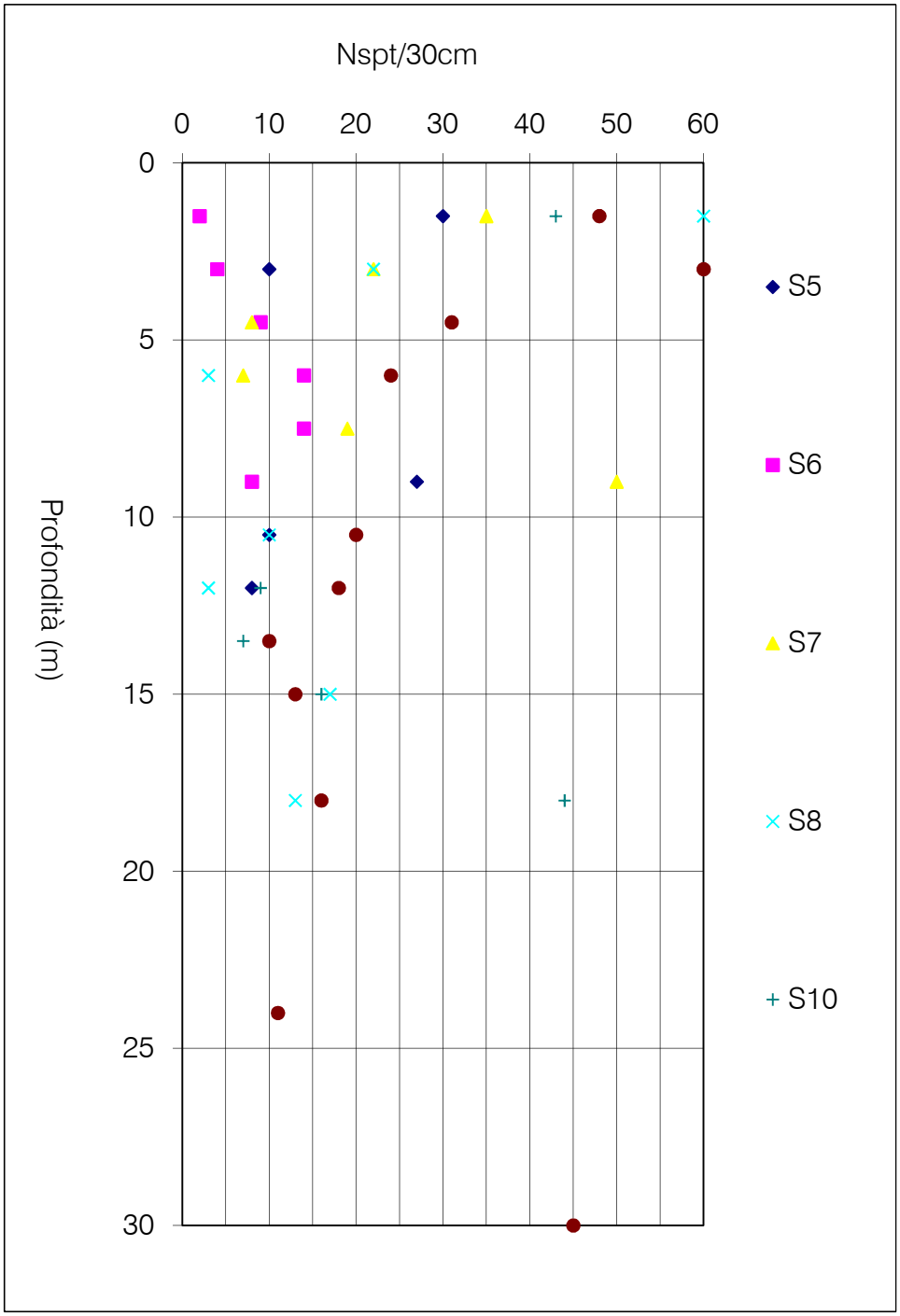


Figura 4.5: Risultati delle prove SPT (Standard Penetration Test) nei sondaggi all'interno del corpo rifiuti

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 m da p.c.	ϕ'_{MEDIO} [°]	C'_{MEDIO} [kPa]	PROF. CAMPIONE PROVA NSPT m da p.c.	RISULTATI NSPT n° colpi	PROF. CAMPIONE PROVA NSPT m da p.c.	RISULTATI NSPT 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	-	

*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.

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 m da p.c.	ϕ'_{MEDIO} [°]	C'_{MEDIO} [kPa]	PROF. CAMPIONE PROVA NSPT m da p.c.	RISULTATI NSPT n° colpi	PROF. CAMPIONE PROVA NSPT m da p.c.	RISULTATI NSPT 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)

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 030-034R03E01.

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 030-034R03E01.

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 030-034R03E01.
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 della caratterizzazione geologica, lo Studio Progea ha eseguito un rilievo geomeccanico del substrato roccioso i cui risultati sono riportati nella Relazione Geologica 030-034R03E01.

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 ESEGUITE
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	

*Prove eseguite ma non rappresentative del materiale

Figura 4.9: Campioni prelevati e prove di laboratorio eseguite – zona A

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:

ϕ'_{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 ϕ'_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 in Figura 4.12.

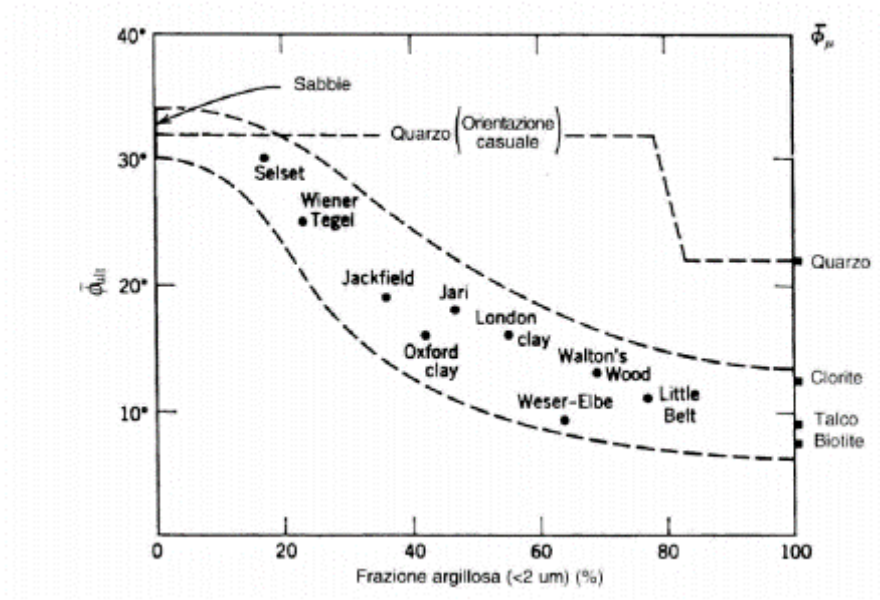


Figura 4.11 Variazione di ϕ'_R con il contenuto di argilla (Skempton, 1964)

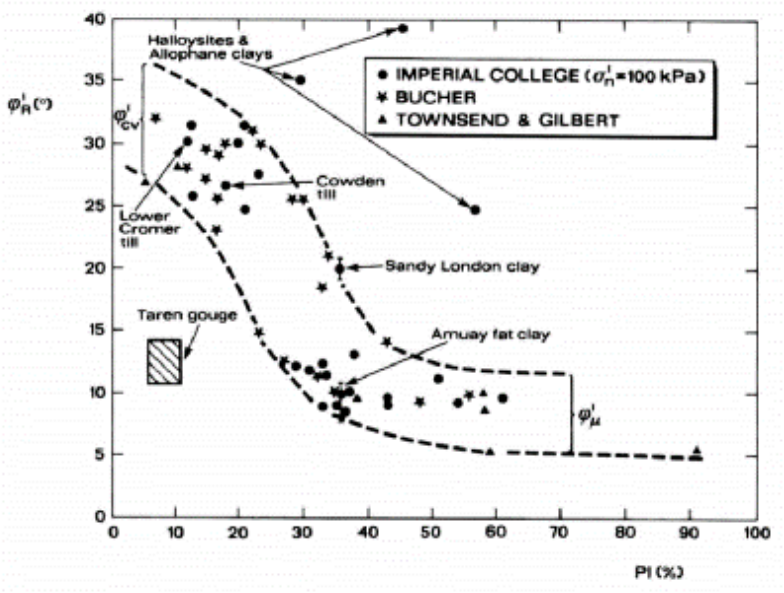


Figura 4.12 Variazione di ϕ'_R con l'indice di plasticità (Lupini et al.,1981)

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 [m]	CONTENUTO DI ARGILLA [%]	ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO MIN. [°]	ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO MAX. [°]	INDICE DI PLASTICITÀ [%]	ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO MIN. [°]	ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO MAX. [°]
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:

ϕ'_{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:

ϕ'_{PICCO} [°]	c'_{PICCO} [kPa]	$\phi'_{RESIDUO}$ [°]	$c'_{RESIDUO}$ [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 D alla Relazione Geologica 030-034R03E01 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 m da p.c.	DESCRIZIONE	PESO DI VOLUME NATURALE γ_N [kN/m^3]	VALORE ROTTURA σ_c [MPa]	MODULO DI YOUNG TANGENTE E [MPa]	COEFFICIENTE DI POISSON ν
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 m	DESCRIZIONE	COESIONE c' [kPa]	ANGOLO DI ATTRITO DI BASE Φ_{BASE} [°]
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 030-034R03E01 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 della 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 rilevati in terre rinforzate realizzati 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 (030-034D24E01, 030-034D25E01, 030-034D26E01).

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:

SONDAGGIO	PROFONDITÀ FONDO RIFIUTI m da p.c.	PROFONDITÀ MISURATE 27/06/2016 m da testa pozzo	SPESSORE PERCOLATO 27/06/2016 m
S12	19	17.95	1.05
S9	31	30.19	0.81
		Media	0.9

Figura 5.1 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:

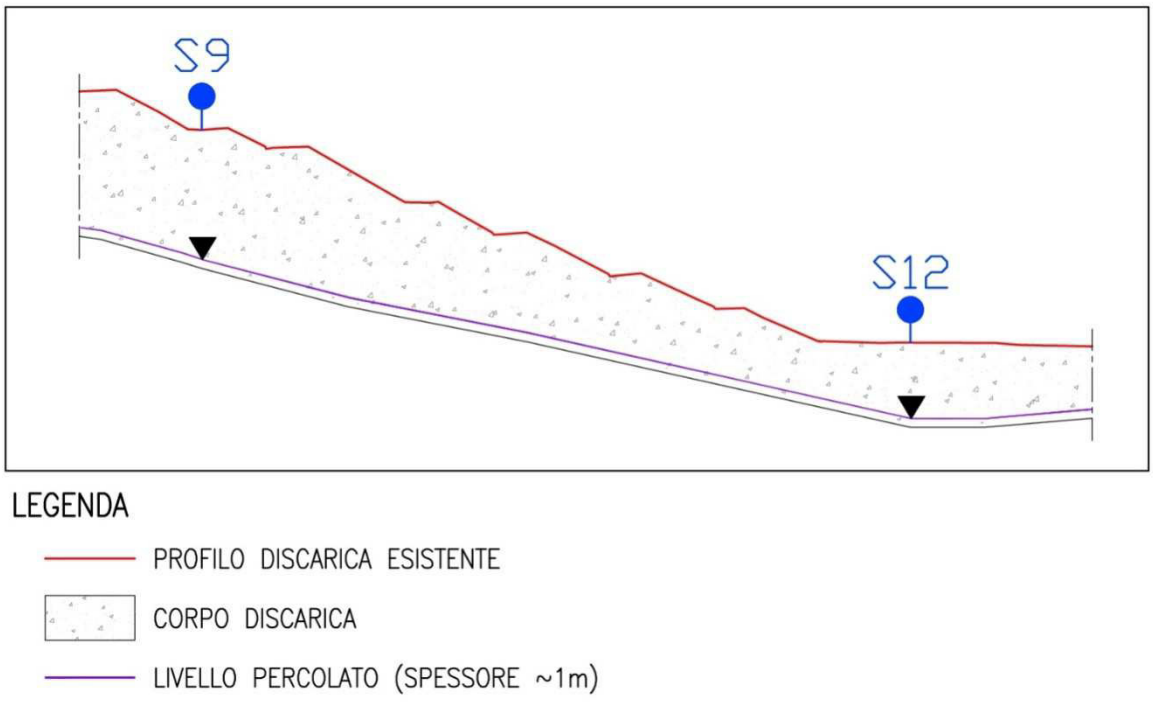


Figura 5.2 Livello del percolato nei rifiuti esistenti

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 030-034R02E01).

- 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
Geocomposito bentonitico – sabbia	20-25	0
Geocomposito 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	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 in HDPE	6-10	0
Geomembrana in HDPE – geotessile	8-18	0
Geotessile – georete	10-27	0
Geocomposito bentonitico – geomembrana in HDPE a.m.	10-25	0
Geocomposito bentonitico – geomembrana in HDPE	8-16	0
Georete – geomembrana in HDPE a.m.	10-25	0
Geotessile – geomembrana in HDPE a.m.	14-52	0
Geocomposito bentonitico (tra i geotessuti non collegati tra di loro e agugliati/ cuciti)	8-25	0

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. (2015))

	FRICTION VALUES (RANGE)	FRICTION VALUES (MEAN)
Smooth HDPE geomembrane – wowen geosynthetic clay liner	$\phi'=9.66\div13.5$; $c'=°1.86\div13.8$	$\phi'=7.9$, $c'=°11.6$
Smooth HDPE geomembrane – non wowen geosynthetic clay liner	$\phi'=8.0\div13.8$; $c'=0\div13.9$	$\phi'=8.6$, $c'=4.4$
Geotextile – Geonet	$\phi'=16.0\div18.0$; $c'=5.5\div7.0$	$\phi'=17.0$, $c'=6.3$
Smooth HDPE geomembrane – Compacted clay	$\phi'=14.6\div15.1$; $c'=0.7\div45.7$	$\phi'=14.8$, $c'=17.3$
Roughened geomembrane – Compacted clay	$\phi'=20.7\div36,0$; $c'=1.8\div32.7$,	$\phi'=24.3$, $c'=13.4$
Geosynthetic clay liner – Compacted clay	$\phi'=16.78\div36.0$, $c'=0\div31.8$	$\phi'=24.3$, $c'=20.8$

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	$\phi'=7.9\div9.1$; $c'=°2.0\div11.6$	$\phi'=8.3$, $c'=°6.33$
Smooth HDPE geomembrane – non wowen geosynthetic clay liner	$\phi'=7.9\div13.1$; $c'=0\div8.4$	$\phi'=8.8$, $c'=2.2$
Geotextile – Geonet	$\phi'=13.2\div16.2$; $c'=3.4\div7.6$	$\phi'=15.0$, $c'=6.0$
Smooth HDPE geomembrane – Compacted clay	$\phi'=8.6\div13.0$; $c'=0\div17.3$	$\phi'=10.2$, $c'=8.6$
Roughened geomembrane – Compacted clay	$\phi'=7.8\div10.8$; $c'=3.4\div13.4$,	$\phi'=8.8$, $c'=9.4$
Geosynthetic clay liner – Compacted clay	$\phi'=14.6\div35.0$, $c'=0.2\div7.0$	$\phi'=18.2$, $c'=4.8$

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.

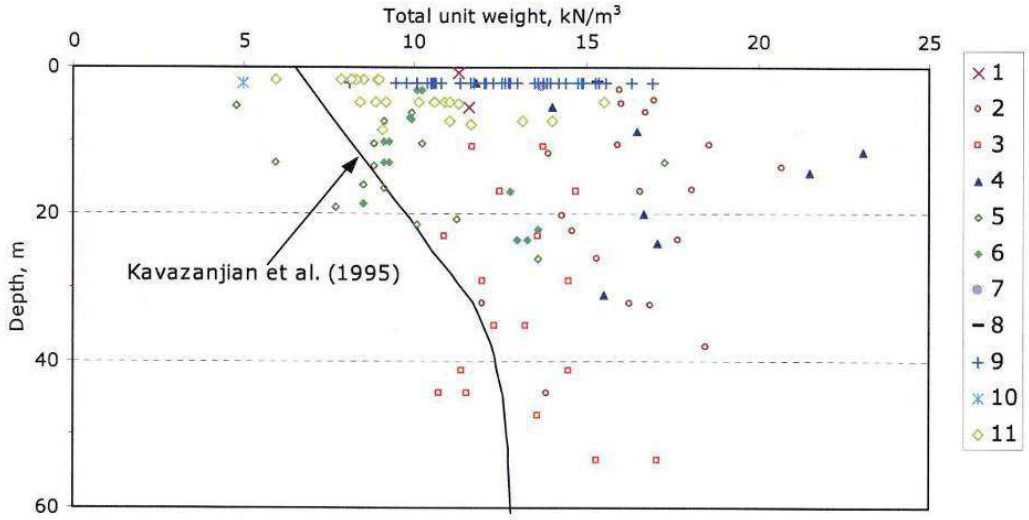
Gli studi più numerosi presenti in letteratura riguardano in particolare i rifiuti solidi urbani, il cui comportamento meccanico è stato inizialmente investigato da Sowers (1973) il quale, nel suo contributo alla VIII ICSMFE, utilizza le convenzioni ed i parametri propri della meccanica dei terreni per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



(1) Santo Tirso, Portugal (Gomes et al. 2002); (2) OII, California, USA (Matasovic and Kavazanjian, 1998); (3) Azusa, California, USA (Kavazanjian et al, 1996); (4) Tri-Cities, California, USA (this study); (5) no name older landfill (Oweis and Khera, 1998); (6) no name younger landfill (Oweis and Khera, 1998); (7) Hong Kong, China (Cowland et al. 1993); (8) Central Mayne landfill, USA (Richardson and Reynolds, 1991); (9) 11 Canadian landfills (Landva & Clark, 1986); (10) Valdemingomez, Spain (Pereira et al. 2002); (11) Cherry Island landfill, Delaware, USA (Geosyntec, 2003);

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)

ϕ' = 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)

ϕ' = 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, ϕ, e della coesione, c, sulla base della curva mostrata in Figura 6.6, in cui il piano (σ,τ) viene diviso in tre zone:

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

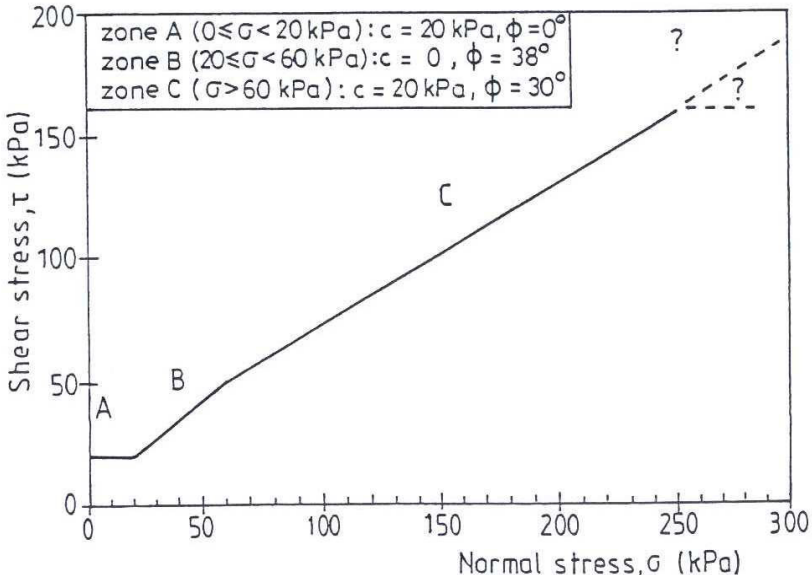


Figura 6.6: Valori di riferimento dei parametri di resistenza dei rifiuti solidi urbani in funzione dello stato tensionale (da Manassero et al., 1996)

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',ϕ') 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)

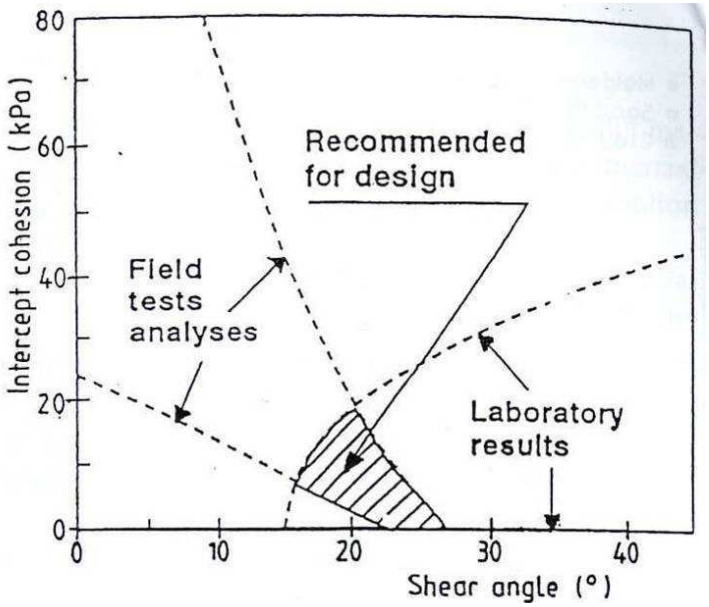


Figura 6.8: Resistenza a taglio dei rifiuti solidi urbani, valori raccomandati ai fini progettuali (da Sanchez-Alciturri et al., 1993)

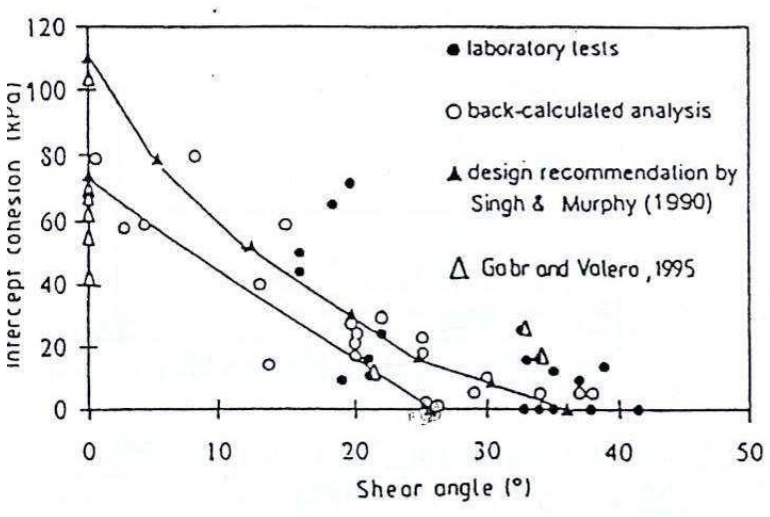


Figura 6.9: Parametri di resistenza dei rifiuti solidi urbani stimata con vari metodi (da Manassero et al., 1996)

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).

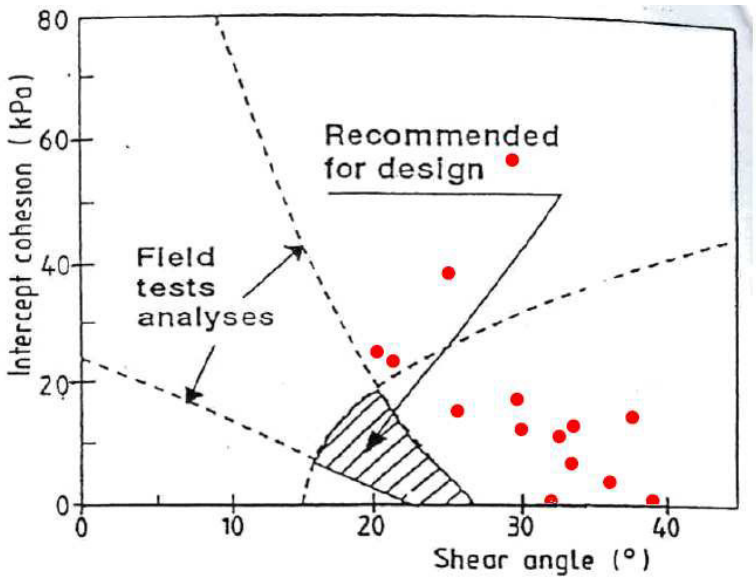


Figura 6.10: Resistenza a taglio dei rifiuti solidi urbani, valori raccomandati ai fini progettuali (da Sanchez-Alciturri et al., 1993) a confronto con i dati sperimentali ottenuti dalle prove sui rifiuti (in rosso)

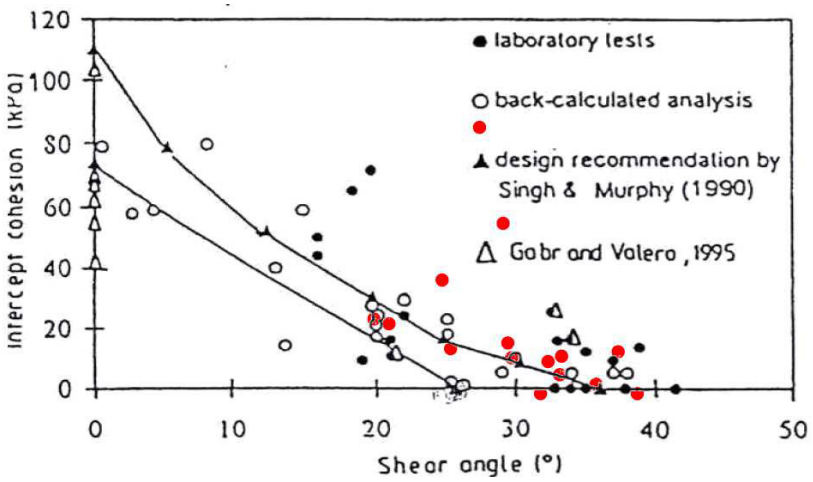


Figura 6.11: Parametri di resistenza dei rifiuti solidi urbani stimata con vari metodi (da Manassero et al. 1996) a confronto con i dati sperimentali ottenuti dalle prove sui rifiuti (in rosso)

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:

c' = 25 kPa (coesione drenata)

ϕ' = 35 (angolo di resistenza a taglio medio)

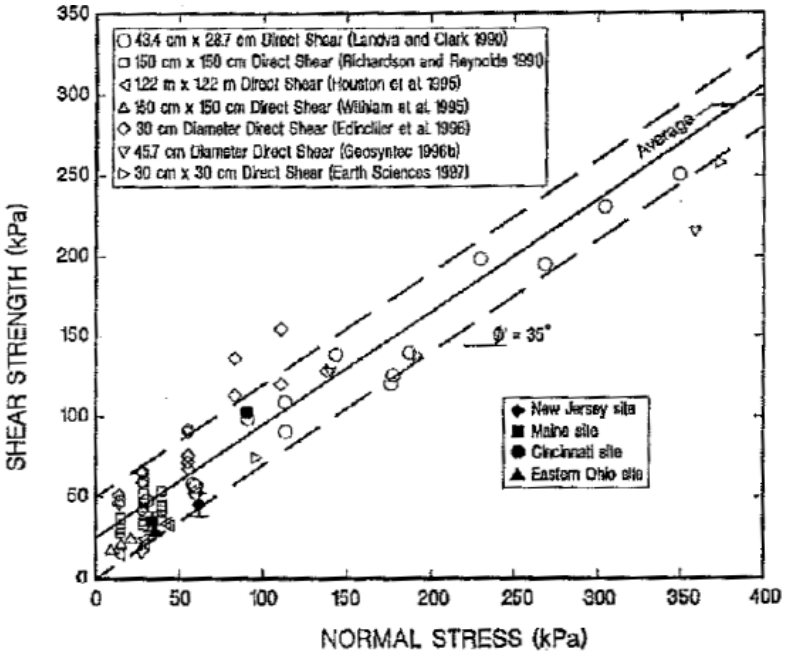


Figura 6.12 Sintesi dei risultati di prove di taglio diretto sui rifiuti da provini di grande diametro e da back analysis di casi reali (da Bray et al., 2009)

Per quel che riguarda nello specifico i rifiuti della discarica in esame, innanzitutto sono stati raccolti ed elaborati i dati relativi ai rifiuti conferiti alla discarica di Bossarino dall'1/09/2014 al 31/08/2016.

Nella Figura 6.13 si mostra la distribuzione dei codici CER dei rifiuti in base alla percentuale di peso sul totale.

Ai fini della costruzione del grafico, sono stati considerati i codici CER dei rifiuti più rappresentativi, considerando come tali quelli che raggiungono almeno l'1% del peso rispetto al peso totale. I rifiuti con codici CER aventi percentuali inferiori all'1%, sono stati raggruppati nella voce "altro".

Dal grafico si evince come la percentuale maggiore (circa il 67 %) sia composta dai rifiuti aventi codice *CER 191212 Altri rifiuti (compresi materiali misti) prodotti dal trattamento meccanico di rifiuti, diversi da quelli di cui alla voce 19 12 11.*

Ci sono poi il 12% di rifiuti aventi *CODICE CER 190805 fanghi prodotti dal trattamento delle acque reflue urbane (categoria 190800 rifiuti prodotti dagli impianti per il trattamento delle acque reflue, non specificati altrimenti)* e il 3% con *CODICE CER 191204 plastica e gomma (categoria 191200 rifiuti prodotti dal trattamento meccanico dei rifiuti (ad esempio selezione, triturazione, compattazione, riduzione in pellet) non specificati altrimenti).*

Nel grafico seguente è riportato l'elenco dei restanti codici CER dei rifiuti che raggiungono almeno l'1% del peso rispetto al peso totale.



Figura 6.13 Codici CER dei rifiuti conferiti alla discarica di Bossarino dall'1/09/2014 al 31/08/2016

Durante l'esecuzione dei sondaggi previsti dal Piano di Indagine eseguiti per il progetto di ampliamento in esame **sono stati prelevati dei campioni di rifiuti** per essere sottoposti a numerose prove geotecniche di laboratorio.

I tipi di rifiuto analizzati e i risultati della caratterizzazione eseguita sono dettagliati al precedente capitolo 4.

Tali rifiuti, che hanno caratteristiche compatibili con quelle dei rifiuti conferiti nel biennio 2014-2016, appena illustrati, hanno portato alla seguente caratterizzazione geotecnica dei parametri di resistenza:

$\phi' = 30°$ e $c' = 21$ kPa.

Per definire i parametri geotecnici da utilizzare nelle analisi di stabilità è stata considerata anche la presenza del terreno di copertura, degli arginelli e di infrastrato.

Questo ha portato ad una caratterizzazione finale pari a:

$\phi' = 30°$ e $c' = 10$ kPa.

I parametri utilizzata poi nelle analisi di stabilità sono stati i seguenti:

$\phi' = 30°$ e $c' = 0$ kPa.

E' stata infatti conservativamente trascurata la coesione effettiva riscontrata nelle prove.

Si evidenzia che tali parametri, ottenuti dalla caratterizzazione eseguita sui rifiuti esistenti in discarica, verranno considerati *prestazionali*, ovvero i parametri minimi che i rifiuti dovranno avere una volta deposti.

Il rispetto dei parametri prestazionali sarà garantito dalle procedure proposte che vengono illustrate nel Piano di sorveglianza e controllo (rif.: 030-034-R07E01).

6.1.2.1 *Fotografie dei rifiuti appartenenti a codici CER differenti*

Nel presente paragrafo si riporta la documentazione fotografica di alcune tipologie di rifiuti rappresentative tra quelle conferite a Bossarino.



Codice CER 191212 Produttore RMB8



Codice CER 191212 Produttore Gespo



Codice CER 191212 Produttore Magifer



Codice CER 191212 Produttore Metal Milv



Codice CER 191212 Produttore Raffmetal

Figura 6.14 Foto di rifiuti con Codice CER 191212 da diversi produttori



Codice CER 191004 Produttore Borgotti



Codice CER 191004 Rottami Verona



Codice CER 191204 Produttore Dentis



Codice CER 191204 Produttore RMB



Codice CER 190805 Produttore Cordar Valsesia

Figura 6.15 Foto di rifiuti con Codice CER 191004, 191204 e 190805 da diversi produttori

Come si può notare dalle immagini riportate, si tratta di rifiuti che hanno una loro struttura e consistenza con uno scheletro significativo.

6.1.2.2 *Procedure di controllo per la verifica dei parametri geotecnici dei rifiuti da conferire*

Per le procedure di controllo per la verifica dei parametri geotecnici dei rifiuti da conferire si faccia riferimento allo specifico capitolo del piano di sorveglianza e controllo (rif.: 030-034R09E01)

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 (030-034R03E01).

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		

* Il materiale impiegato è lo stesso dei “Rilevati”. Il valore di coesione è stato introdotto per tenere conto della presenza dei geosintetici di rinforzo, le cui effettive caratteristiche di resistenza vengono determinate al capitolo 11

**Per quanto riguarda la definizione dei valori caratteristici del materiale consolidato si veda il paragrafo 9.2.1.2.

Figura 6.16: Parametri geotecnici dei materiali usati nelle analisi di stabilità e nei calcoli dei cedimenti

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.

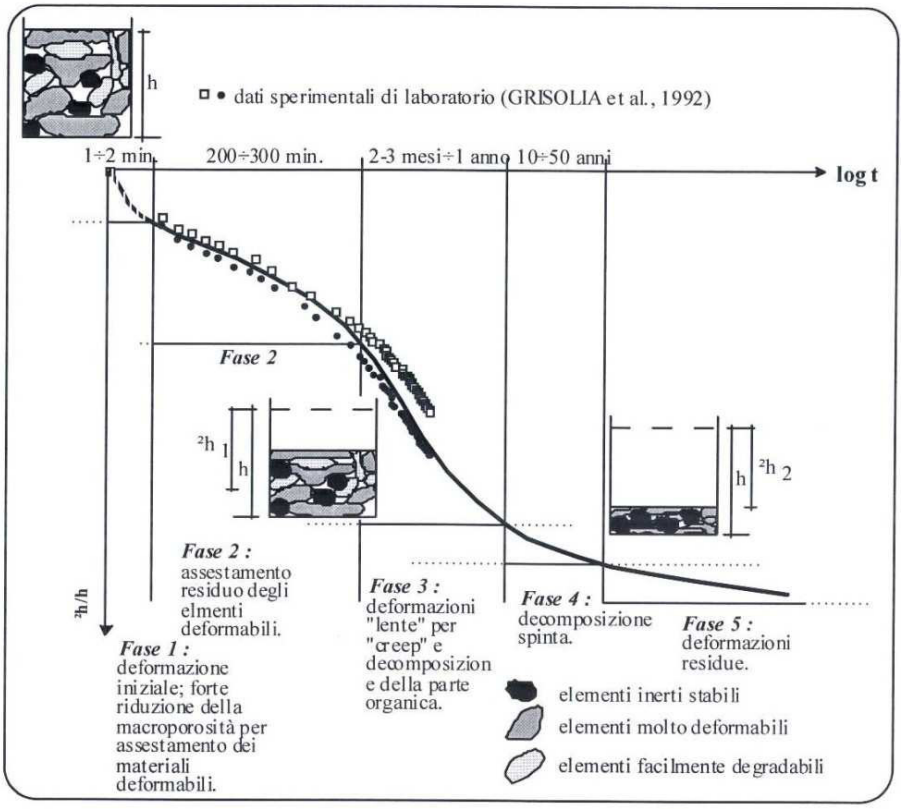


Figura 7.1 Curva di compressibilità per i R.S.U. (Napoleoni, 2004)

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:

δ_P : cedimento;

n : numero di suddivisione degli strati di rifiuto;

E : modulo di deformabilità degli strati sottostanti;

ν : coefficiente di Poisson;

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

Δz_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.

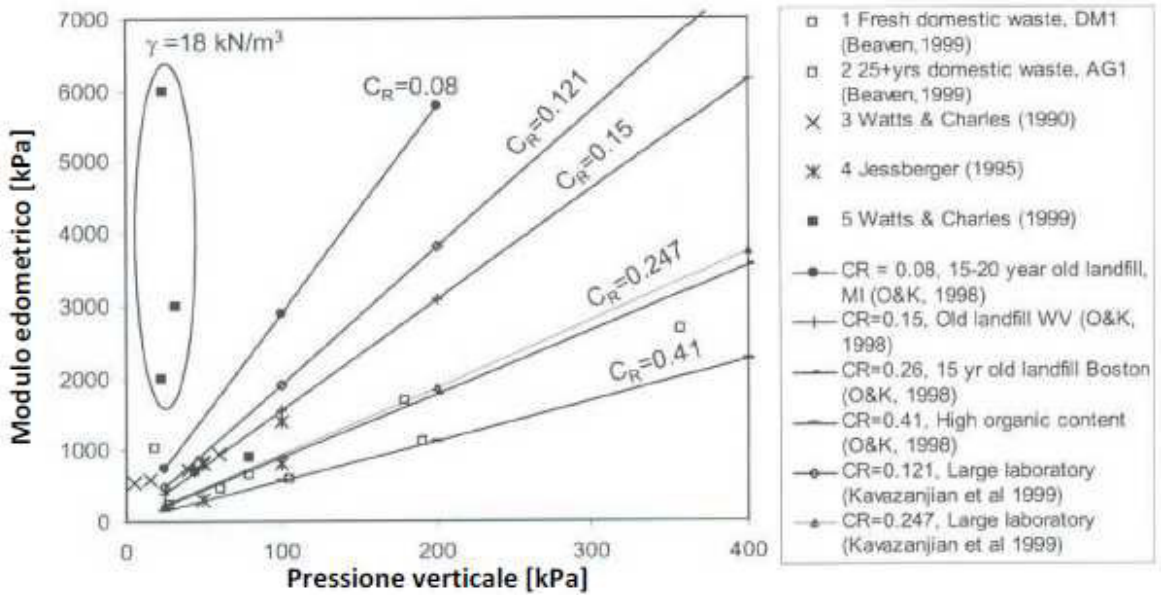


Figura 7.2: Dati sperimentali del rapporto di compressione (Mc Dougall, 2011)

No.	Bibliografia	C_R	$C_{\alpha\varepsilon 1\text{-}2}$	Note	
				Composizione	e_0 o γ
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%	γ = 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; γ - 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.

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

in cui:

δ_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 $C\alpha$ 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.

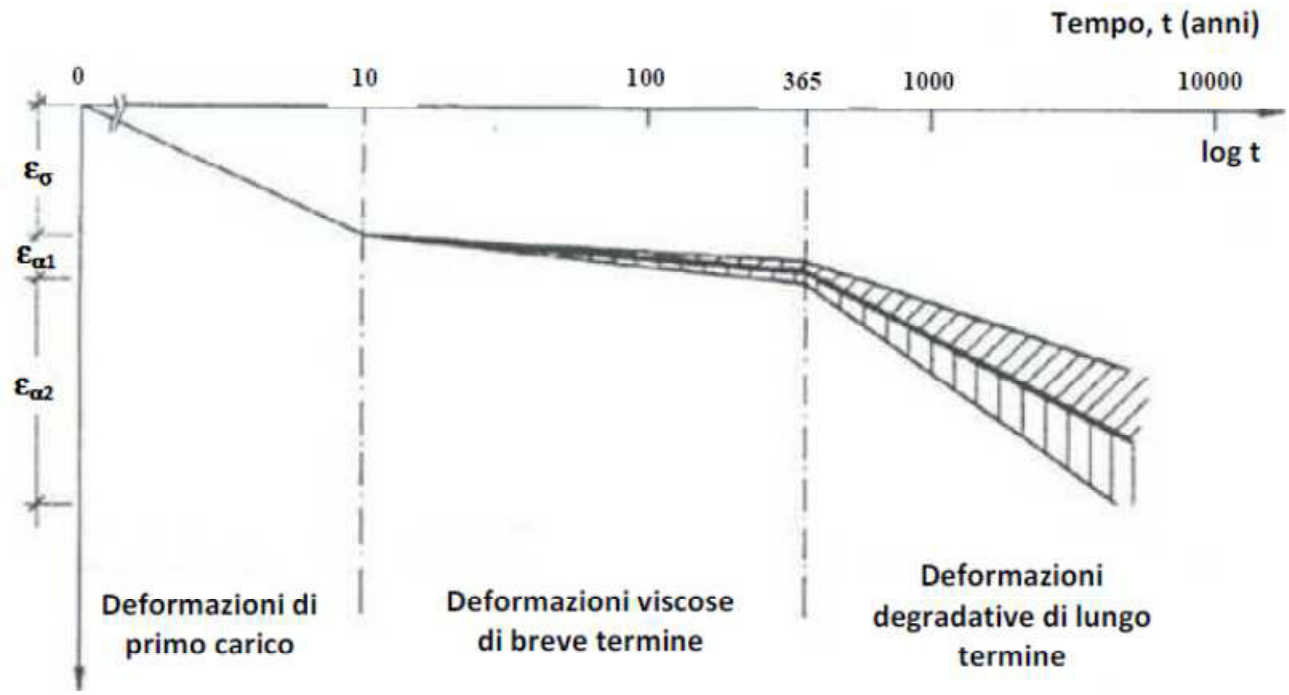


Figura 7.4 Andamento dei cedimenti nel tempo

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 11 punti ritenuti significativi (punti sulle berme o sui piazzali).

La griglia dei punti considerati è riportata nella Figura seguente:

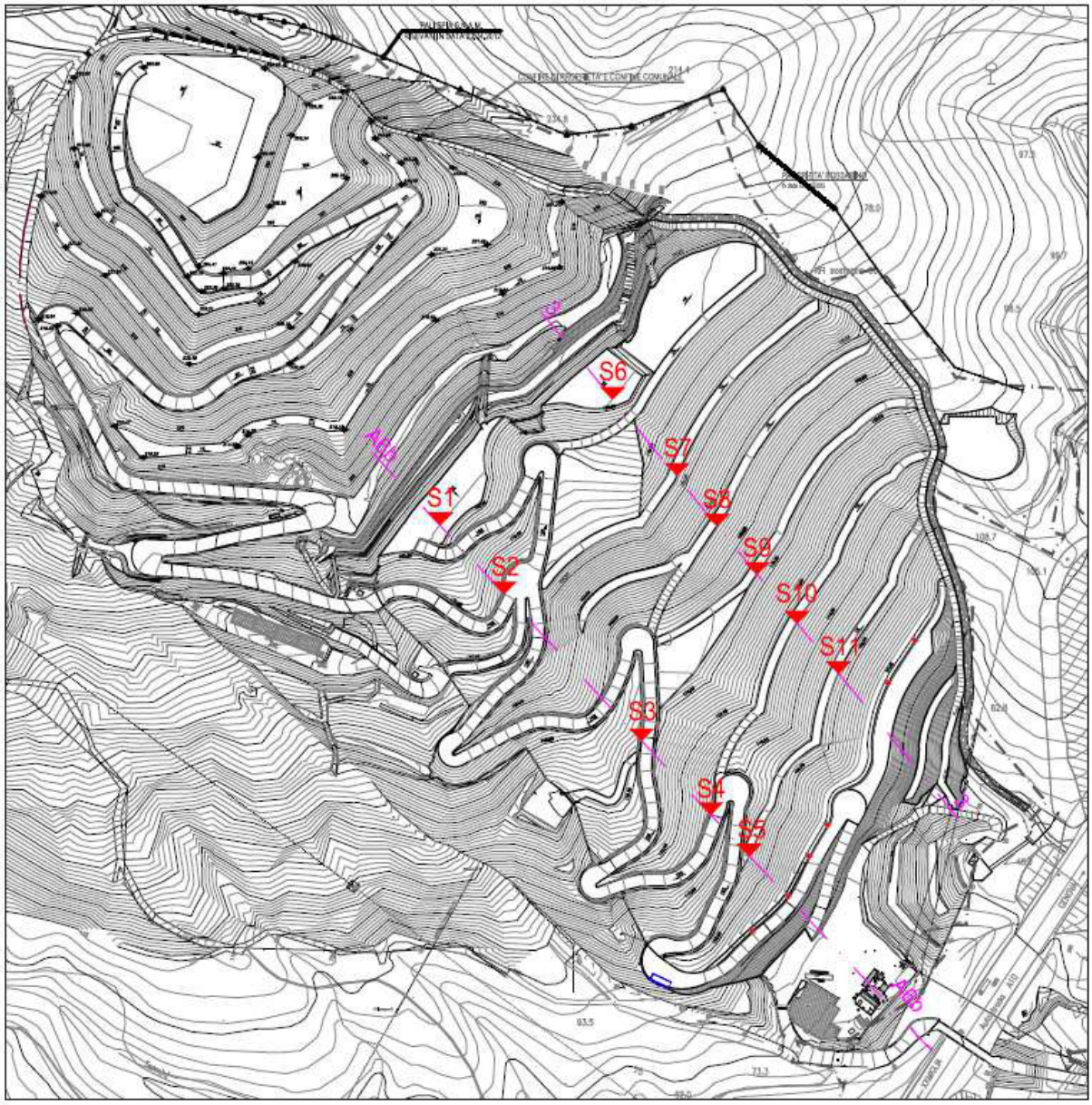


Figura 7.5 Planimetria con ubicazione dei punti di calcolo dei cedimenti

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.

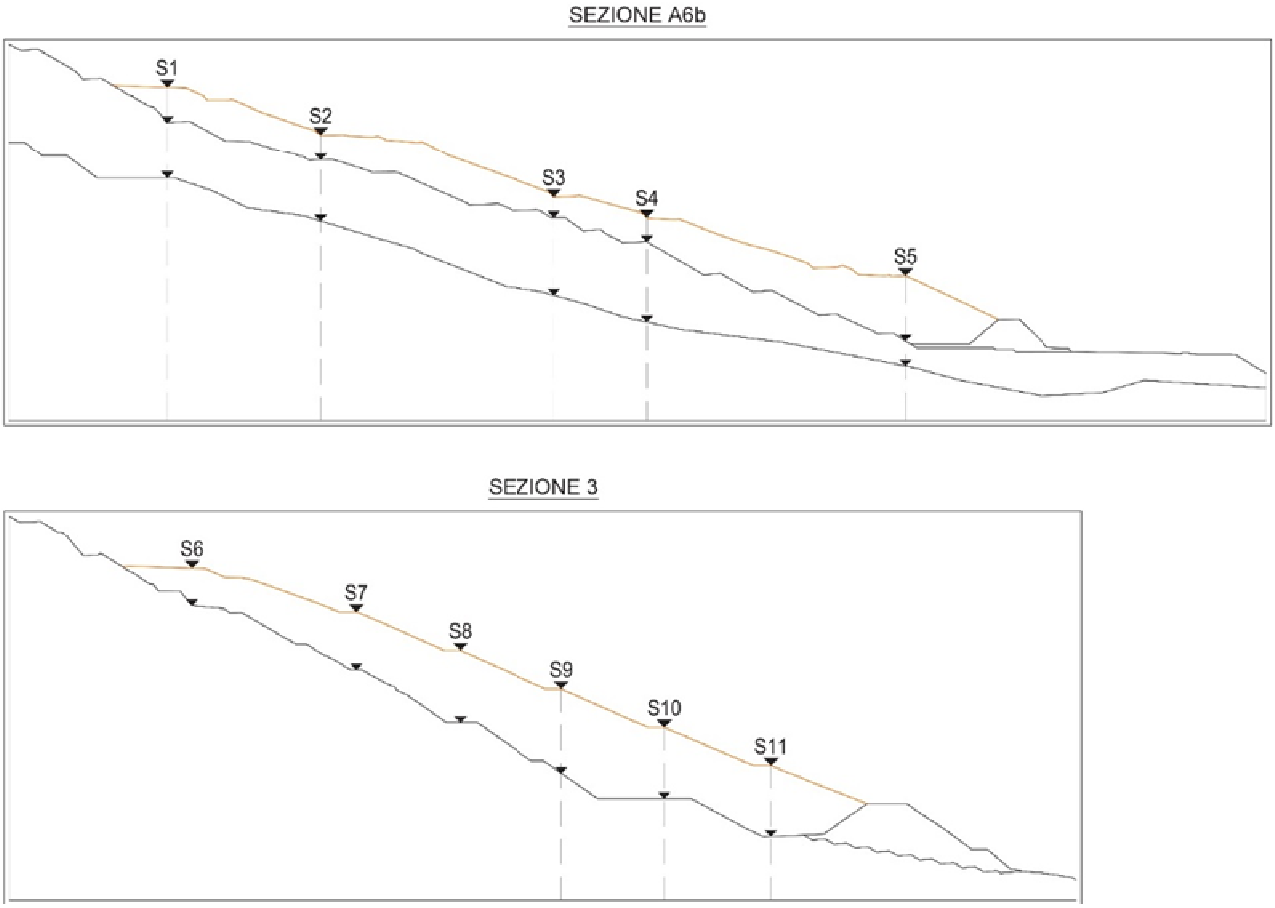


Figura 7.6 Geometria della sezione utilizzata per il calcolo dei cedimenti

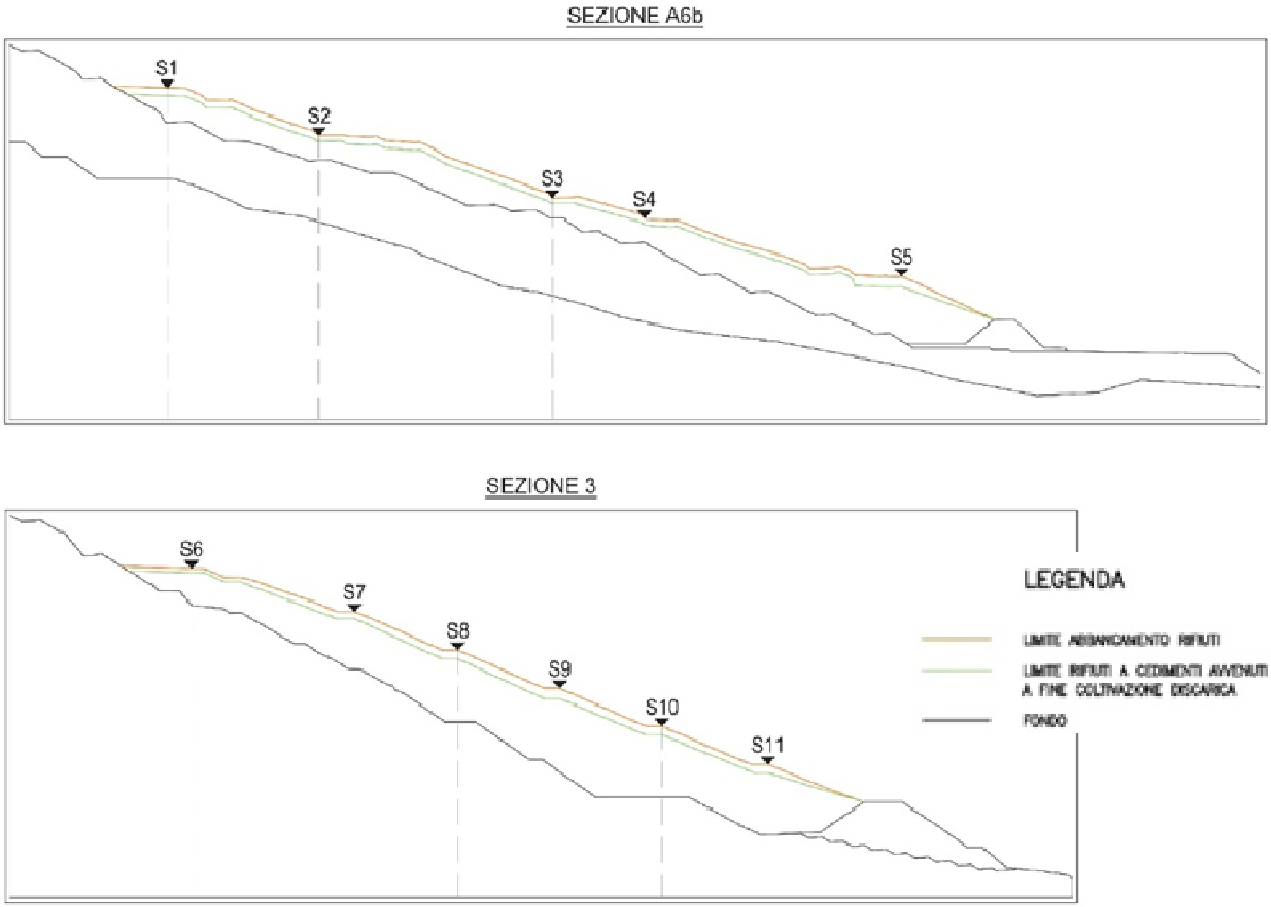


Figura 7.7 Rappresentazione grafica del profilo dei cedimenti

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:

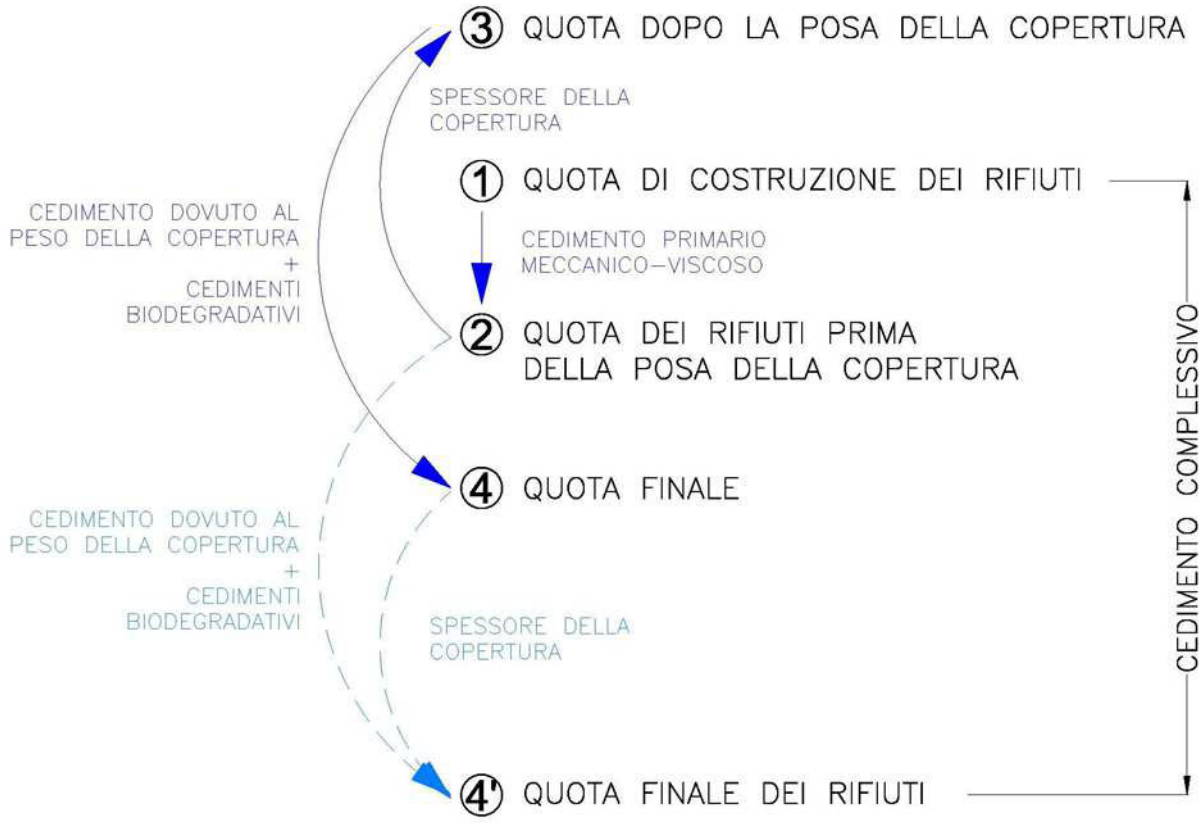


Figura 7.8: Schema di calcolo del cedimento verticale

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 nelle tavole con la Planimetria configurazione rif.: 030-034D10E01 e 030-034D11E01). 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.: 030-034D10E01 e 030-034D11E01) 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;
- C_{VTOT-2}: cedimento verticale complessivo dopo 30 anni di post-gestione. Ottenuto dalla somma dei cedimenti precedenti.

PUNTO	QUOTA COSTR [m slm]	QUOTA FINALE1 [m slm]	QUOTA FINALE2 [m slm]	CVP [m]	CVS-1 [m]	CVS-2 [m]	CNAUT [m]	CNS-1 [m]	CNS-2 [m]	CNC [m]	CTOT-1 [m]	CTOT-2 [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

Figura 7.9: Cedimenti FASE 1

PUNTO	QUOTA COSTR [m slm]	QUOTA FINALE1 [m slm]	QUOTA FINALE2 [m slm]	CVP [m]	CVS-1 [m]	CVS-2 [m]	CNAUT [m]	CNS-1 [m]	CNS-2 [m]	CNC [m]	CTOT-1 [m]	CTOT-2 [m]
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

*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

Figura 7.10: Cedimenti FASE 2

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

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

È stata effettuata la valutazione dei cedimenti in corrispondenza del piano di posa della barriera di impermeabilizzazione di base dell'ampliamento al fine di verificare che le deformazioni indotte dai rifiuti sovrastanti siano compatibili con i materiali utilizzati nella costruzione della barriera di fondo.

La verifica è stata effettuata nell'area di ampliamento di progetto che si sviluppa sopra la discarica esistente (sezione A6b) in ragione della maggiore deformabilità dei rifiuti esistenti rispetto al substrato naturale. Tale valutazione è da ritenersi valida anche per i rilevati che si sviluppano sul substrato naturale.

Il calcolo dei cedimenti è stato effettuato per il periodo tra la costruzione della barriera di impermeabilizzazione e la fine della coltivazione della nuova discarica e per il periodo tra la costruzione della barriera di impermeabilizzazione e il termine dei 30 anni di post gestione.

Il cedimento è dato dalla somma dei cedimenti secondari del corpo rifiuti esistente e dei cedimenti primari a livello del piano di posa della barriera di fondo

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 7.11: Cedimenti del piano di posa della barriera di fondo sulla parte di ampliamento della discarica posta sulla discarica esistente

7.2.3 Cedimenti del rilevato di contenimento

Il rilevato poggia su un terreno rinforzato dalle colonne di jet-grouting (vedi paragrafo 9.2.1.1) 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.

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:

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

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 σ_{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 ≤ E_C ≤ 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

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

dove

s_t = cedimento del terreno trattato

s_0 = cedimento del terreno non trattato

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

In riferimento ai dati relativi all'intervento in esame:

Entrando con tale valore nel grafico di Fig. 8.10.1 è possibile intersecare la curva di Baalam e Booker (1981) per ottenere il fattore di riduzione dei cedimenti:

$$\alpha_t = \frac{S_t}{S_0} = 0.29$$

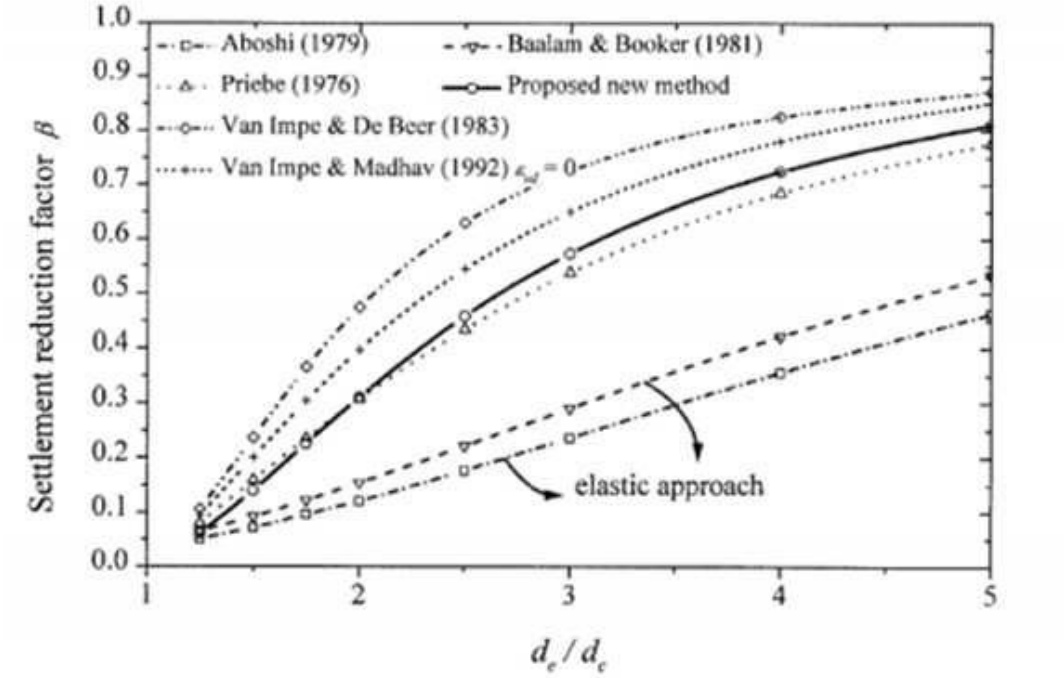


Figura 7.120.1 Confronto del fattore di riduzione dei cedimenti ottenuto da diversi metodi analitici

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, utilizzando il fattore di riduzione dei cedimenti ricavato, si otterrà invece:

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

I cedimenti ottenuti con la metodologia precedentemente descritta si basano sull'ipotesi che il materiale alla base del rilevato sia omogeneo con delle caratteristiche intermedie tra quelle delle colonne di jet-grouting e quelle del materiale i cui esso è realizzato. In realtà si sviluppano dei cedimenti differenziali tra la colonna e il materiale non trattato che sono valutati nel seguito (si veda il paragrafo 9.2.2)

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, Figura 7.11) si hanno cedimenti sensibili della base della barriera (dalla costruzione alla fine della gestione operativa).
Se si considerano tali cedimenti e quelli del rilevato (trascurando i cedimenti differenziali alla base del rilevato stesso) si ottiene un incremento del profilo di base della barriera di circa 2 cm che percentualmente è pari allo 0.08% 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 sotto la base del rilevato che, come calcolato nel paragrafo 9.2.2, porta ad un'elongazione del 0,5‰.

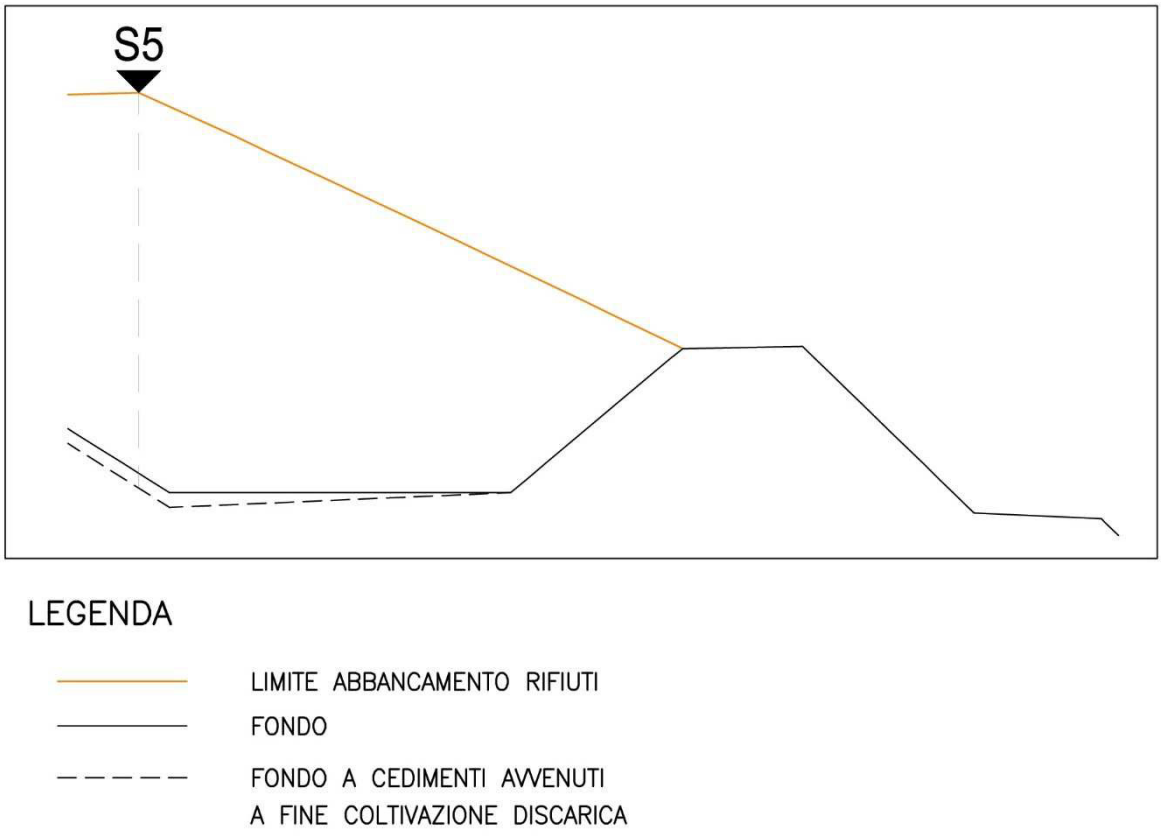


Figura 7.13 Rappresentazione grafica del profilo dei cedimenti in corrispondenza del rilevato

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. 36/03, il geocomposito 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. Nell'ipotesi che le quote di abbancamento non debbano mai eccedere le quote finali (comprensive della copertura e a cedimento avvenuto), le quote di abbancamento dei rifiuti saranno 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 la 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 NTC08 per i fronti di scavo ed opere in materiali sciolti (Cap. 6.8) assimilando il fattore parziale per le resistenze γ_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	γ_{G1}	1,0
	Sfavorevole		1,0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0,0
	favorevole		1,3
Variabili	Favorevole	γ_{G3}	0,0
	Sfavorevole		1,3

Figura 8.1: Coefficienti parziali per le azioni o l'effetto delle azioni (estratto della tabella 6.2.I delle NTC08)

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

Figura 8.2: Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (estratto della tabella 6.2.II delle NTC08)

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:

β_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 NTC08), 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 NTC08 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 8.3, ottenuto con il software SPETTRI-NTC v. 1.0.3, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici).

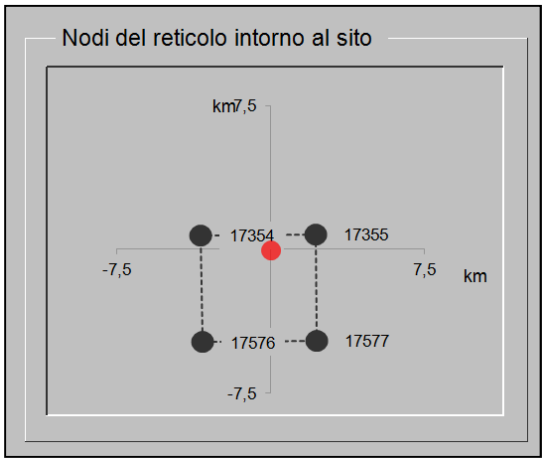


Figura 8.3: Schema per la determinazione dei valori dei parametri di riferimento per il calcolo dell'azione sismica in punti che non coincidono con i nodi della griglia delle NTC08

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 NTC08) 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 [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [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 NTC08 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 β_s pari a 0,20 (Tab. 7.11.I delle NTC08). Si perviene quindi ai seguenti valori dei coefficienti sismici:

ANALISI DI STABILITÀ	K_H [-]	K_V [-]	β_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 NTC08 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 6.16 accanto ai rispettivi valori caratteristici, riprodotti per semplicità di lettura nella Figura 8.7.

MATERIALE	PARAMETRI CARATTERISTICI			PARAMETRI DI PROGETTO		
	γ [kN/m^3]	C' [kPa]	ϕ' [°]	γ [kN/m^3]	C' [kPa]	ϕ' [°]
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

* Il materiale impiegato è lo stesso dei "Rilevati". Il valore di coesione è stato introdotto per tenere conto della presenza dei geosintetici di rinforzo, le cui effettive caratteristiche di resistenza vengono determinate al capitolo 11

**Per quanto riguarda la definizione dei valori caratteristici del materiale consolidato si veda il paragrafo 9.2.1.2.

Figura 8.7: Valori caratteristici e di progetto per le analisi di stabilità

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 1 che nel Lotto 2 verranno realizzati degli argini verso valle (a delimitazione del nuovo fondo della discarica) realizzati con il materiale proveniente dagli scavi:

- Il primo (Lotto 1, Fase 1) si svilupperà in corrispondenza dell'attuale piazzale di servizio tra le quote di 80 m s.l.m. e 97 m s.l.m. (si veda la tavola 030-034D24E01)
- Il secondo (Lotto 1, Fase 1) si svilupperà in corrispondenza dell'attuale tornate del lavaggio mezzi in sinistra orografica tra le quote di 100 m s.l.m. e 115 m s.l.m. (si veda la tavola 030-034D25E01)
- Il terzo (Lotto 2, Fase 2) si svilupperà nella zona di valle tra le quote di 53 m s.l.m. e 88 m s.l.m. (si veda la tavola 030-034D26E01).

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: ϕ' = 28°
- Peso di volume medio: γ = 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.

9.2.1.1 *Descrizione dell'intervento*

In corrispondenza della base dei rilevati al piede, è prevista la realizzazione 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 (piazzale di servizio, Fase 1) e dei terreni (tornante del lavaggio mezzi, Fase 1; zona di valle 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 di servizio esistente, Fase 1), verranno eseguite colonne di Jet-grouting (vedi Tavola 030-034D24E01).

Per le aree dove il trattamento di consolidamento interesserà il terreno naturale alla base degli argini in terra rinforzata (tornante del lavaggio mezzi, Fase 1, tavola 030-034D25E01; zona di valle, Fase 2, tavola 030-034D26E01) 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.

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.

9.2.1.2 *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 (rilevato sull'attuale piazzale di servizio, Fase 1)

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 (alla base del rilevato sul tornante, Fase 1)

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 $c' =$ 90 kPa

Zona C – Terreni consolidati (alla base del rilevato di valle, Fase 2)

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

9.2.2 Dimensionamento della griglia di ripartizione e cedimento differenziale

Nella zona di ampliamento interessata dai rifiuti esistenti 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 030-034D24E01.

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.

9.2.3 Tiranti di ancoraggio

Lo scopo dei tiranti di ancoraggio è quello di favorire la stabilità globale del sistema, incrementando la resistenza della terra armata nei riguardi delle superfici di rottura che la attraversano.

La realizzazione dei tiranti è prevista nei seguenti casi:

- tornante del lavaggio mezzi (Fase 1, tavola 030-034D25E01): in corrispondenza della berma intermedia (quota 108 m s.l.m.) e del piede (quota 100 m s.l.m.) del rilevato in terre rinforzate. Da ciascuna di tali berme sarà anche realizzata una fila di pali collegati da una trave di ripartizione a cui saranno ancorati anche i tiranti;
- zona di valle (Fase 2, tavola 030-034D26E01): sulla 1ª berma del rilevato (quota 60 m s.l.m.), Da ciascuna di tale berma saranno realizzate anche due file di colonne armate di jet-grouting collegate da una trave di ripartizione a cui saranno ancorati anche i tiranti;

In entrambi i casi è stato previsto il posizionamento di un tirante ogni 3 m aventi le seguenti caratteristiche:

- 5 trefoli (A = 1,39 cm^2/trefolo);
- inclinazione rispetto all'orizzontale 30°;
- lunghezza libera 25 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.

9.2.3.1 *Resistenza di progetto dell'ancoraggio*

La resistenza di progetto R_{ad} viene calcolata applicando i coefficienti parziali della tabella 6.6.III delle NTC08 (riportata in Figura 9.1) 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:

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

dove:

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

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

ξ_{a3}, ξ_{a4} = coefficienti che tengono conto della variabilità orizzontale del terreno di fondazione (Figura 9.1).

N. VERTICALI INDAGATE	1	2	3	4	≥5
$\xi_{\alpha 3}$	1.80	1.75	1.70	1.65	1.60
$\xi_{\alpha 4}$	1.75	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, NTC08)

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

$$R_{a,c} = \pi \cdot d_{perf} \cdot \alpha \cdot q_s \cdot L = 2260 \text{ kN}$$

con:

d_{perf} = 160 mm;

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

un coefficiente α 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	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, NTC08)

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

$$R_{a,d} = 1046 \text{ kN}$$

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.

9.2.4 Palificata

In corrispondenza della berma intermedia (quota 108 m s.l.m.) e del piede (quota 100 m s.l.m.) del rilevato in terre rinforzate sul tornante del lavaggio mezzi (Fase 1, tavola 030-034D25E01) sarà realizzata una fila di pali collegati da una trave di ripartizione a cui saranno ancorati anche i tiranti.

Le opere consistono in una palificata formata con pali diametro 800 mm spaziati a 3 m, di lunghezza 15 m.

Per il dimensionamento di dettaglio si rimanda al progetto esecutivo.

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 (NTC08), 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 NTC08), come previsto nello specifico per le discariche (par. 6.11.1.4 delle NTC08) 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.

Nelle Figure seguenti si riporta l'ubicazione delle sezioni considerate per le analisi di stabilità:

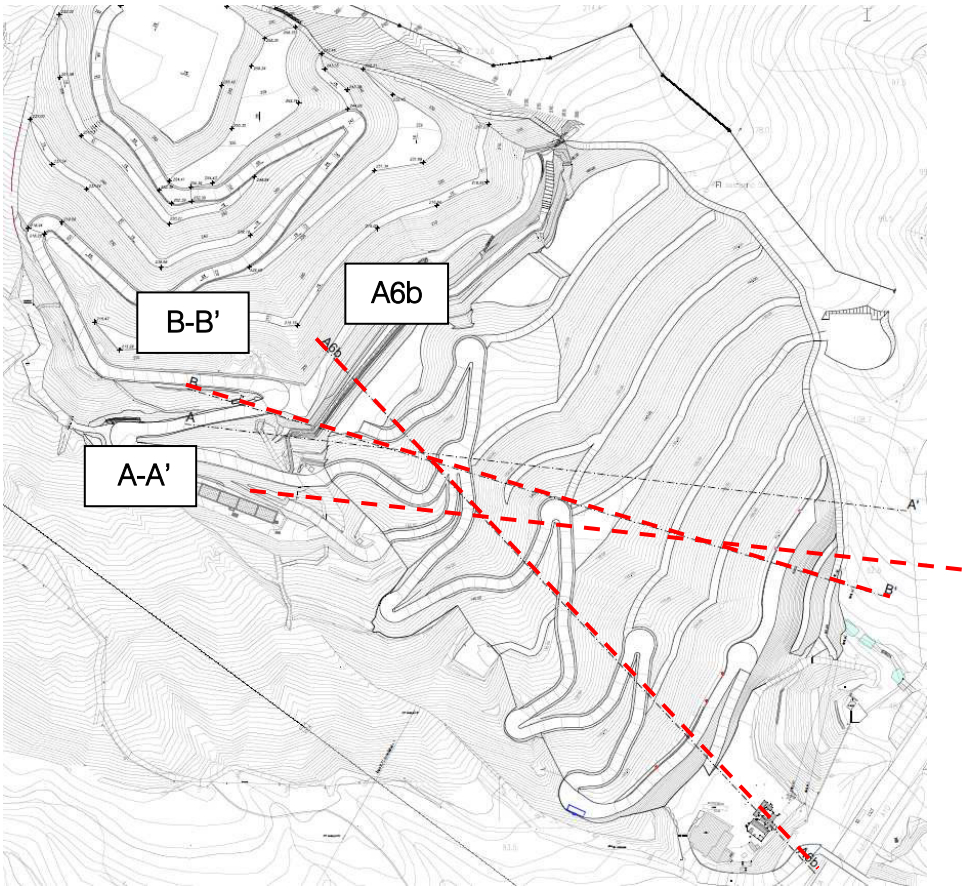


Figura 10.1: Ubicazioni delle sezioni considerate nelle analisi – Fase 1

Le tre sezioni considerate rappresentative del primo lotto sono.

- profilo A6b localizzato interamente nel sito già esistente;
- profilo A-A' che nella parte terminale interessa il lotto 2 di nuova coltivazione;
- profilo B-B' anch'esso sviluppato in entrambi i lotti e secante entrambi gli argini di progetto.

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

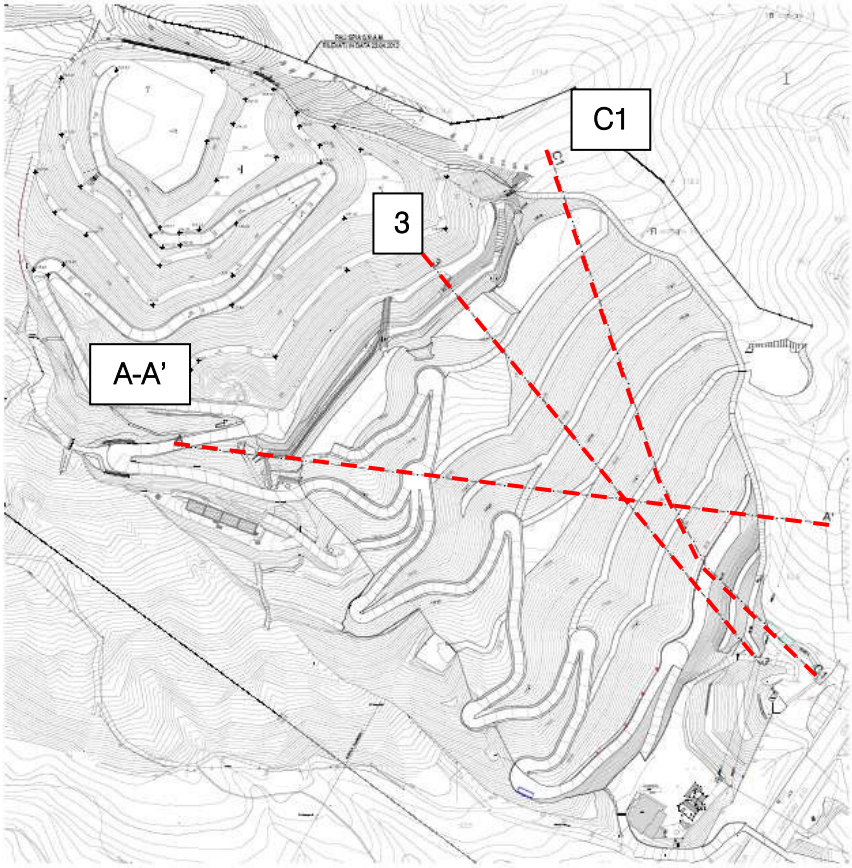


Figura 10.2: Ubicazioni delle sezioni considerate nelle analisi – Fase 2

Le tre sezioni considerate rappresentative del secondo lotto sono:

- profilo C1 localizzato interamente nel sito di ampliamento;
- profilo A-A' che nella prima parte di monte attraversa la coltivazione di prima fase ed in quella terminale interessa il lotto 2 di nuova coltivazione;
- profilo 3 localizzato al confine tra le regioni interessate dalle due fasi di coltivazione.

Nelle Figure 1-2-3 dell'Allegato C 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 una 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.

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. 36/03 e NTC08).

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.
Inoltre sono state eseguite analisi di stabilità aggiuntive relative alle varie fasi di coltivazione della discarica. In particolare sono state considerate i seguenti step:

- Fase A: Fase iniziale dopo la riprofilatura del fondo e delle scarpate prima dell'inizio del conferimento dei nuovi rifiuti;
- Fase B: Fase intermedia di coltivazione della discarica con quota di abbancamento dei rifiuti pari a 120 m slm;
- Fase C: Fase intermedia di coltivazione della discarica con quota di abbancamento dei rifiuti pari a 150 m slm.

10.2 Risultati in condizioni statiche

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.

Nell'Allegato B e nell'Allegato C si riportano le figure relative alle superfici di scorrimento aventi fattori di sicurezza minimo e altre superfici di calcolo analizzate.
Si sottolinea il programma analizza la stabilità di molte altre superfici di scorrimento oltre a quelle riportate nelle figure degli allegati, come si evince dalle tracce delle superfici di scorrimento per quanto riguarda le superfici di rottura sulle interfacce di impermeabilizzazione, e come si evince dalle curve isoparametriche del fattore di sicurezza, per le superfici di rottura circolari.

10.2.1 Fase 1

I risultati delle analisi relative alla Fase 1 (Lotto 1) sono riportati in Allegato B e sono riassunti nelle tabelle seguenti:

SEZIONE	FS MIN	FIGURA ALLEGATO	FS MIN	FIGURA ALLEGATO	FS MIN	FIGURA ALLEGATO
Sezione A-A'	1.999	Figura 4a	1.929	Figura 4b	1.381	Figura 4c
Sezione A6b	1.677	Figura 5a	1.814	Figura 5b	-	-
Sezione B-B'	1.356	Figura 6a	2.346	Figura 6b	1.982	Figura 6c

Figura 10.3: FASE 1: Risultati delle analisi di stabilità in condizioni statiche – superfici di rottura circolari

SEZIONE	FS MIN	FIGURA ALLEGATO	FS MIN	FIGURA ALLEGATO	FS MIN	FIGURA ALLEGATO
Sezione A-A'	1.148	Figura 7a	1.657	Figura 7b	1.364	Figura 7c
Sezione A6b	1.886	Figura 8a	1.978	Figura 8b	-	-
Sezione B-B'	1.205	Figura 9a	1.619	Figura 9b	1.393	Figura 9c

Figura 10.4: FASE 1: Risultati delle analisi di stabilità in condizioni statiche - superfici di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione

SEZIONE	FS MIN	FIGURA ALLEGATO	FS MIN	FIGURA ALLEGATO
Sezione A-A'	1.657	Figura 7b	1.364	Figura 7c
Sezione A6b	1.855	Figura 8c	2.124	Figura 8d
Sezione B-B'	1.619	Figura 9b	1.393	Figura 9c

Figura 10.5: FASE 1: Risultati delle analisi di stabilità in condizioni statiche – superfici di scorrimento miste -interfaccia di impermeabilizzazione e rifiuti

SEZIONE	FASE	FS MIN	FIGURA ALLEGATO
Sezione A-A'	Fase A	1.503	Figura 16a
Sezione A-A'	Fase B	1.492	Figura 16c
Sezione A-A'	Fase C	1.251	Figura 16e
Sezione A6b	Fase A	1.366	Figura 17a
Sezione A6b	Fase B	1.780	Figura 17c
Sezione A6b	Fase C	1.525	Figura 17e
Sezione B-B'	Fase A	2.347	Figura 18a
Sezione B-B'	Fase B	1.600	Figura 18c
Sezione B-B'	Fase C	1.469	Figura 18e

Figura 10.6: FASE 1: Risultati delle analisi di stabilità in condizioni statiche - superfici circolari – fasi di coltivazione della discarica

10.2.2 Fase 2

I risultati delle analisi relative alla Fase 2 (Lotto 2) sono riportati in Allegato C e sono riassunti nelle tabelle seguenti:

SEZIONE	FS MIN	FIGURA ALLEGATO	FS MIN	FIGURA ALLEGATO
Sezione 3	1.182	Figura 4a	1.372	Figura 4b
Sezione A-A'	1.403	Figura 5a	1.516	Figura 5b
Sezione C1	1.285	Figura 6a	1.409	Figura 6b

Figura 10.7: FASE 2: Risultati delle analisi di stabilità in condizioni statiche – superfici di rottura circolari

SEZIONE	FS MIN	FIGURA ALLEGATO	FS MIN	FIGURA ALLEGATO
Sezione 3	1.53	Figura 7a	1.55	Figura 7b
Sezione A-A'	1.598	Figura 8a	1.217	Figura 8c
Sezione C1	1.626	Figura 9a	1.366	Figura 9d

Figura 10.8: FASE 2:Risultati delle analisi di stabilità in condizioni statiche - superfici di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione

SEZIONE	FS MIN	FIGURA ALLEGATO	FS MIN	FIGURA ALLEGATO
Sezione 3	1.74	Figura 7c	1.83	Figura 7d
Sezione A-A'	1.446	Figura 8b	1.217	Figura 8c
Sezione C	1.366	Figura 9d	1.962	Figura 9e

Figura 10.9: FASE 2: Risultati delle analisi di stabilità in condizioni statiche – superfici di scorrimento miste-interfaccia di impermeabilizzazione e rifiuti

SEZIONE	FASE	FS MIN	FIGURA ALLEGATO
Sezione A-A'	Fase A	1.381	Figura 16a
Sezione A-A'	Fase B	1.421	Figura 16c
Sezione 3	Fase A	1.279	Figura 17a
Sezione 3	Fase B	1.382	Figura 17c
Sezione 3	Fase C	1.346	Figura 17e
Sezione C1	Fase A	1.334	Figura 18a
Sezione C1	Fase B	1.426	Figura 18c
Sezione C1	Fase C	1.386	Figura 18e

Figura 10.10: FASE 2: Risultati delle analisi di stabilità in condizioni statiche - superfici circolari – fasi di coltivazione della discarica

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.

10.3.1 Fase 1

I risultati delle analisi relative alla Fase 1 (Lotto 1) sono riassunti nelle tabelle seguenti:

SEZIONE	FS MIN	FIGURA ALLEGATO	FS MIN	FIGURA ALLEGATO	FS MIN	FIGURA ALLEGATO
Sezione A-A'	1.295	Figura 10a	1.995	Figura 10b	1.653	Figura 10c
Sezione A6b	1.532	Figura 11a	1.654	Figura 11b	-	-
Sezione B-B'	2.125	Figura 12a	1.777	Figura 12b	1.342	Figura 12c

Figura 10.11: FASE 1: Risultati delle analisi di stabilità in condizioni pseudostatiche - superfici di rottura circolari

SEZIONE	FS MIN	FIGURA ALLEGATO	FS MIN	FIGURA ALLEGATO	FS MIN	FIGURA ALLEGATO
Sezione A-A'	1.106	Figura 13a	1.249	Figura 13b	1.493	Figura 13c
Sezione A6b	1.715	Figura 14a	1.793	Figura 14b	-	-
Sezione B-B'	1.179	Figura 15a	1.145	Figura 15b	1.465	Figura 15c

Figura 10.12: FASE 1: Risultati delle analisi di stabilità in condizioni pseudostatiche - superfici di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione

SEZIONE	FS MIN	FIGURA ALLEGATO	FS MIN	FIGURA ALLEGATO
Sezione A-A'	1.249	Figura 13b	1.493	Figura 13c
Sezione A6b	1.688	Figura 14c	1.926	Figura 14d
Sezione B-B'	1.145	Figura 15b	1.465	Figura 15c

Figura 10.13: FASE 1: Risultati delle analisi di stabilità in condizioni pseudostatiche – superfici di scorrimento miste-interfaccia di impermeabilizzazione e rifiuti

SEZIONE	FASE	FS MIN	FIGURA ALLEGATO
Sezione A-A'	Fase A	1.405	Figura 16b
Sezione A-A'	Fase B	1.409	Figura 16d
Sezione A-A'	Fase C	1.225	Figura 16f
Sezione A6b	Fase A	1.255	Figura 17b
Sezione A6b	Fase B	1.617	Figura 17d
Sezione A6b	Fase C	1.409	Figura 17f
Sezione B-B'	Fase A	2.012	Figura 18b
Sezione B-B'	Fase B	1.506	Figura 18d
Sezione B-B'	Fase C	1.402	Figura 18f

Figura 10.14: FASE 1: Risultati delle analisi di stabilità in condizioni pseudostatiche - superfici circolari – fasi di coltivazione della discarica

10.3.2 Fase 2

I risultati delle analisi relative alla Fase 2 (Lotto 2) sono riassunti nelle tabelle seguenti:

SEZIONE	FS MIN	FIGURA ALLEGATO	FS MIN
Sezione 3	1.116	Figura 10a	1.275
Sezione A-A'	1.269	Figura 11a	1.425
Sezione C1	1.188	Figura 12a	1.298

Figura 10.15: FASE 2: Risultati delle analisi di stabilità in condizioni pseudostatiche - superfici di rottura circolari

SEZIONE	FS MIN	FIGURA ALLEGATO	FS MIN	FIGURA ALLEGATO
Sezione 3	1.420	Figura 13a	1.434	Figura 13b
Sezione A-A'	1.580	Figura 14a	1.121	Figura 14c
Sezione C1	1.495	Figura 15a	1.700	Figura 15c

Figura 10.16: FASE 2: Risultati delle analisi di stabilità in condizioni pseudostatiche - superfici di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione

SEZIONE	FS MIN	FIGURA ALLEGATO	FS MIN	FIGURA ALLEGATO
Sezione 3	1.62	Figura 13d	1.63	Figura 13e
Sezione A-A'	1.580	Figura 14a	1.330	Figura 14b
Sezione C1	1.631	Figura 15b	1.260	Figura 15d

Figura 10.17: FASE 2: Risultati delle analisi di stabilità in condizioni pseudostatiche – superfici di scorrimento miste-interfaccia di impermeabilizzazione e rifiuti

SEZIONE	FASE	FS MIN	FIGURA ALLEGATO
Sezione A-A'	Fase A	1.295	Figura 16b
Sezione A-A'	Fase B	1.301	Figura 16d
Sezione 3	Fase A	1.192	Figura 17b
Sezione 3	Fase B	1.290	Figura 17d
Sezione 3	Fase C	1.246	Figura 17f
Sezione C1	Fase A	1.259	Figura 18b
Sezione C1	Fase B	1.328	Figura 18d
Sezione C1	Fase C	1.277	Figura 18f

Figura 10.18: FASE 2: Risultati delle analisi di stabilità in condizioni pseudostatiche - superfici circolari – fasi di coltivazione della discarica

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.

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

Per quanto riguarda il calcolo sono state considerate le seguenti sezioni:

- Fase 1: sezione A6b (argine sul piazzale di servizio);
- Fase 1: sezione B (argine sul tornante dell'attuale lavaggio mezzi);
- Fase 2: sezione C (argine di valle).

In Allegato D alla presente relazione sono riportati i tabulati di calcolo relativi agli argini della Fase 1, mentre in Allegato E quelli della Fase 2. Negli stessi allegati sono riportate le figure con la geometria della sezione considerata 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 D.M. 14 gennaio 2008.

L'approccio utilizzato per il dimensionamento è stato quello di attribuire i coefficienti di sicurezza parziali ai parametri caratteristici del terreno (γ e ϕ'), 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 sono interamente riportati in Allegato D per la Fase 1 e in Allegato E per la Fase 2 e vengono riassunti nelle tabelle seguenti.

Fase 1

SEZIONE	CONDIZIONI	FS	FIGURA ALLEGATO
Sezione A6b	Statiche	1.210	Figura 3
Sezione A6b	Pseudostatiche	1.120	Figura 4
Sezione B-B'	Statiche	1.246	Figura 5
Sezione B-B'	Pseudostatiche	1.149	Figura 6

Figura 11.1: FASE 1: Sintesi dei fattori di sicurezza minimi ottenuti per le analisi di stabilità globali – condizioni statiche e condizioni pseudostatiche

SEZIONE	CONDIZIONI	FS	FIGURA
Sezione A6b	Statiche	1.607	Figura 7
Sezione A6b	Pseudostatiche	1.497	Figura 8
Sezione B-B'	Statiche	1.303	Figura 9
Sezione B-B'	Pseudostatiche	1.219	Figura 10

Figura 11.2: FASE 1: Sintesi dei fattori di sicurezza minimi ottenuti per le analisi di stabilità interne– condizioni statiche e condizioni pseudostatiche

SEZIONE	CONDIZIONI	FS	FIGURA
Sezione A6b	Statiche	1.210	Figura 11
Sezione A6b	Pseudostatiche	1.123	Figura 12
Sezione B-B'	Statiche	3.938	Figura 13
Sezione B-B'	Pseudostatiche	3.475	Figura 14

Figura 11.3: FASE 1: Sintesi dei fattori di sicurezza minimi ottenuti per le verifiche di scorrimento – condizioni statiche e condizioni pseudo statiche

Fase 2

SEZIONE	CONDIZIONI	FS	FIGURA ALLEGATO C
Sezione C1	Statiche	1.370	Figura 2
Sezione C1	Pseudostatiche	1.255	Figura 3

Figura 11.4: FASE 2: Sintesi dei fattori di sicurezza minimi ottenuti per le analisi di stabilità globali – condizioni statiche e condizioni pseudostatiche

SEZIONE	BLOCCO	CONDIZIONI	FS	FIGURA
Sezione C1	Blocco 2	Statiche	1.439	Figura 4
Sezione C1	Blocco 2	Pseudostatiche	1.313	Figura 5
Sezione C1	Blocco 3	Statiche	1.244	Figura 6
Sezione C1	Blocco 3	Pseudostatiche	1.150	Figura 7
Sezione C1	Blocco 4	Statiche	1.481	Figura 8
Sezione C1	Blocco 4	Pseudostatiche	1.338	Figura 9

Figura 11.5: FASE 2: Sintesi dei fattori di sicurezza minimi ottenuti per le analisi di stabilità interne– condizioni statiche e condizioni pseudostatiche

SEZIONE		CONDIZIONI	FS	FIGURA
Sezione C1	Blocco 2	Statiche	1.273	Figura 10
Sezione C1	Blocco 2	Pseudostatiche	1.111	Figura 11
Sezione C1	Blocco 3	Statiche	2.902	Figura 12
Sezione C1	Blocco 3	Pseudostatiche	2.361	Figura 13
Sezione C1	Blocco 4	Statiche	1.482	Figura 14
Sezione C1	Blocco 4	Pseudostatiche	1.118	Figura 15

Figura 11.6: FASE 2: Sintesi dei fattori di sicurezza minimi ottenuti per le verifiche di scorrimento – condizioni statiche e condizioni pseudostatiche

11.2 Resistenza nominali dei geosintetici

Nei materiali geosintetici a cui è assegnata una funzione di rinforzo del terreno il valore della resistenza ammissibile a trazione nel lungo termine (resistenza di progetto, T_d) viene ricavato dal valore della resistenza nominale (o resistenza caratteristica, T_k) per mezzo della seguente relazione (ISO/TR 20432, par. 6.2):

$$T_d = \frac{T_k}{FS} = \frac{T_k}{RF_{CR} \cdot RF_{ID} \cdot RF_W \cdot RF_{CH}}$$

dove:

RF_{CR} fattore di riduzione della resistenza dovuto al carico statico sostenuto nella vita di esercizio (50 anni) alla temperatura di progetto[1] (viene anche indicato come coefficiente di sicurezza nei confronti di fenomeni di creep);

RF_{ID} fattore di riduzione della resistenza dovuto al danneggiamento meccanico;

RF_W fattore di riduzione della resistenza dovuto all'esposizione agli agenti atmosferici per il massimo periodo di esposizione prevista;

RF_{CH} fattore di riduzione della resistenza dovuto a fenomeni chimici o biologici in ambiente aggressivo, con valori del pH compresi tra 4 e 9.

I valori dei fattori di riduzione adottati nelle verifiche devono essere valutati caso per caso e generalmente vengono fatti dipendere, oltre che dal tipo di geosintetico, anche dalla sua specifica condizione di applicazione (GSI, 2007; Koerner, 2012).

La T_d rappresenta la resistenza utilizzata nel codice di calcolo ed è pari a 110 kN/m.

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

$$T_k = 110 \cdot 1.77 \approx \mathbf{200} \text{ kN/m}$$

[1] In assenza di misure sito specifiche o di indicazioni particolari, il valore di default della temperatura è 20°C (ISO/TR 20432).

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 (γ e ϕ'), 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 (BS8006-1 del 2010).

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:

- γ = 18 kN/m^3 (peso di volume)
- φ' = 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 resistenza nominale dei geosintetici è stata determinata utilizzando la metodologia descritta al paragrafo 11.2.
I valori adottati per i coefficienti sono riportati in Allegato F.

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 F1, 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 F2, 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 ISO/TR 20432 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.

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) 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 ε_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 ε_a e della variazione volumetriche ε_v in funzione della deformazione assiale ε_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

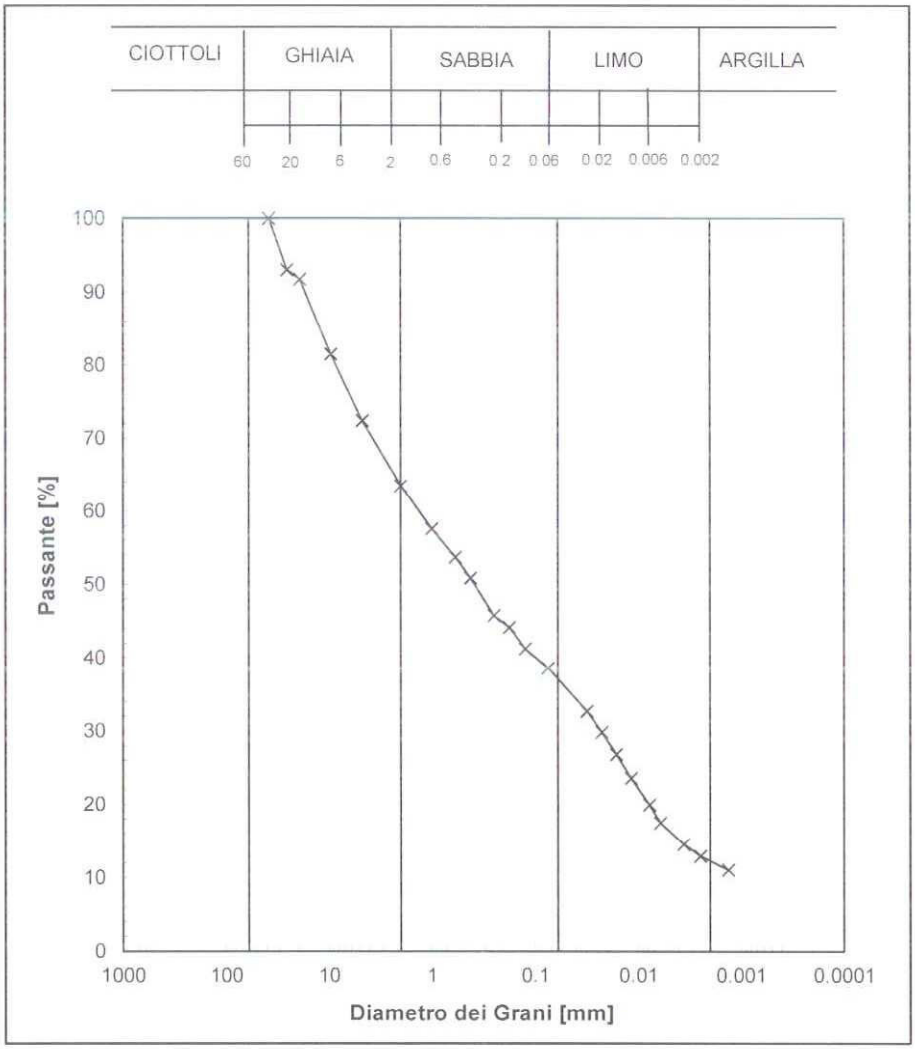
Committente:	WASTEITALIA
Cantiere:	BOSSARINO
Sondaggio:	S5
Campione:	CR1
Profondità prelievo [m]:	2 - 2.5
Prova:	GR1
Data prova:	13/06/2016

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:

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

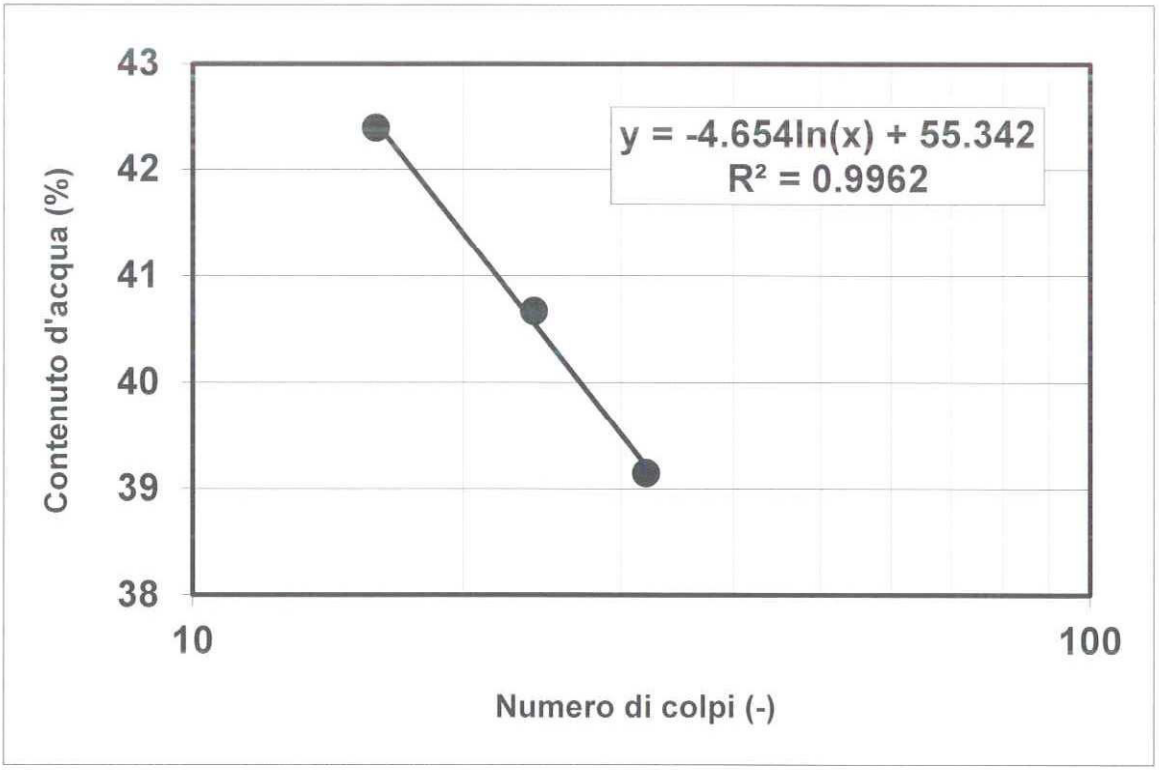
Committente:	WASTEITALIA
Cantiere:	BOSSARINO
Sondaggio:	S5
Campione:	CR1
Profondità prova [m]:	2.00 - 2.50
Prova:	LLP1
Data prova:	16/06/2016

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:
-

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/005
N° verbale di accettazione: 024/2016

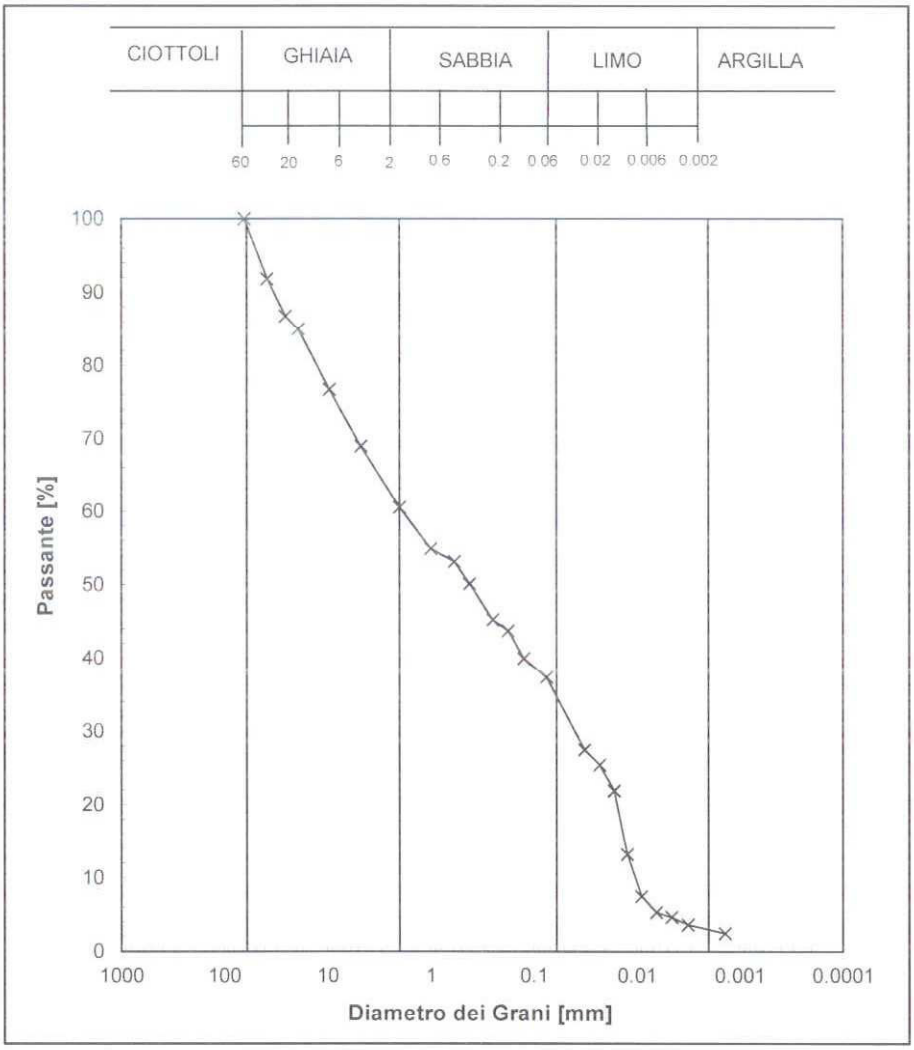
Committente:	WASTEITALIA
Cantiere:	BOSSARINO
Sondaggio:	S6
Campione:	CR1
Profondità prelievo [m]:	1 - 2
Prova:	GR1
Data prova:	10/06/2016

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:

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

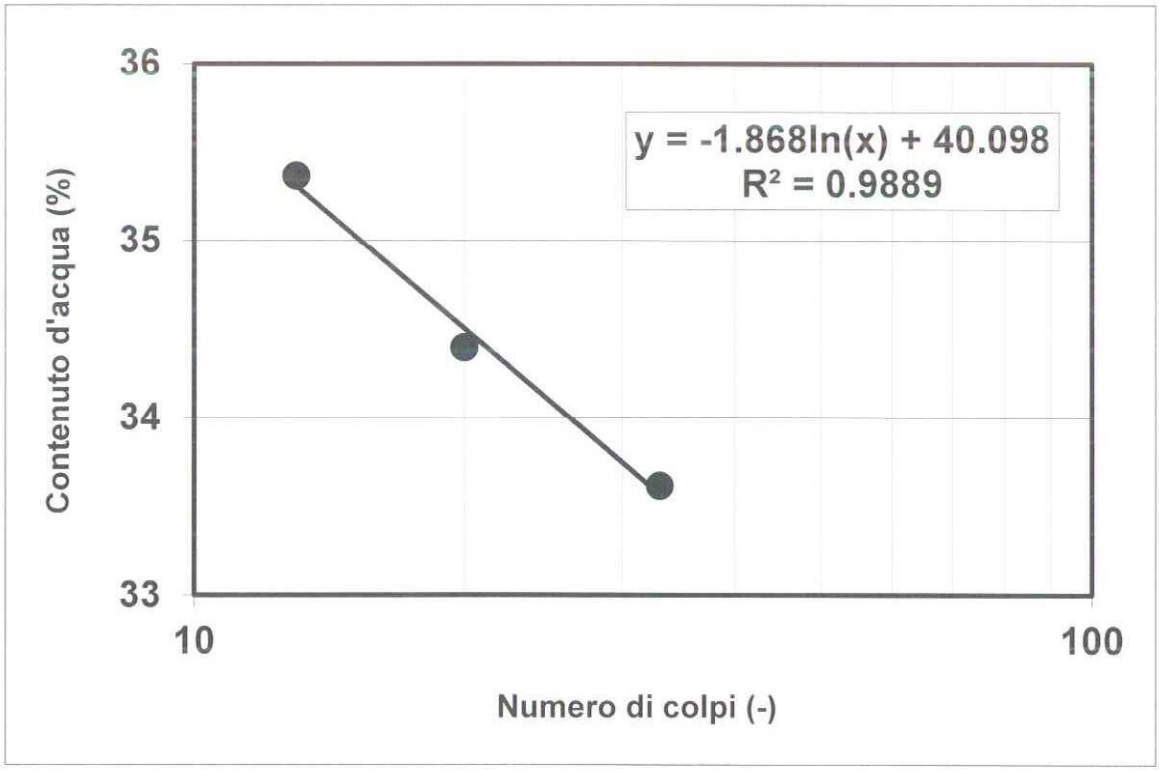
Normativa di riferimento: ASTM D4318
N° certificato di prova: 024/16/A/006
N° verbale di accettazione: 024/2016

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 τ / σ

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

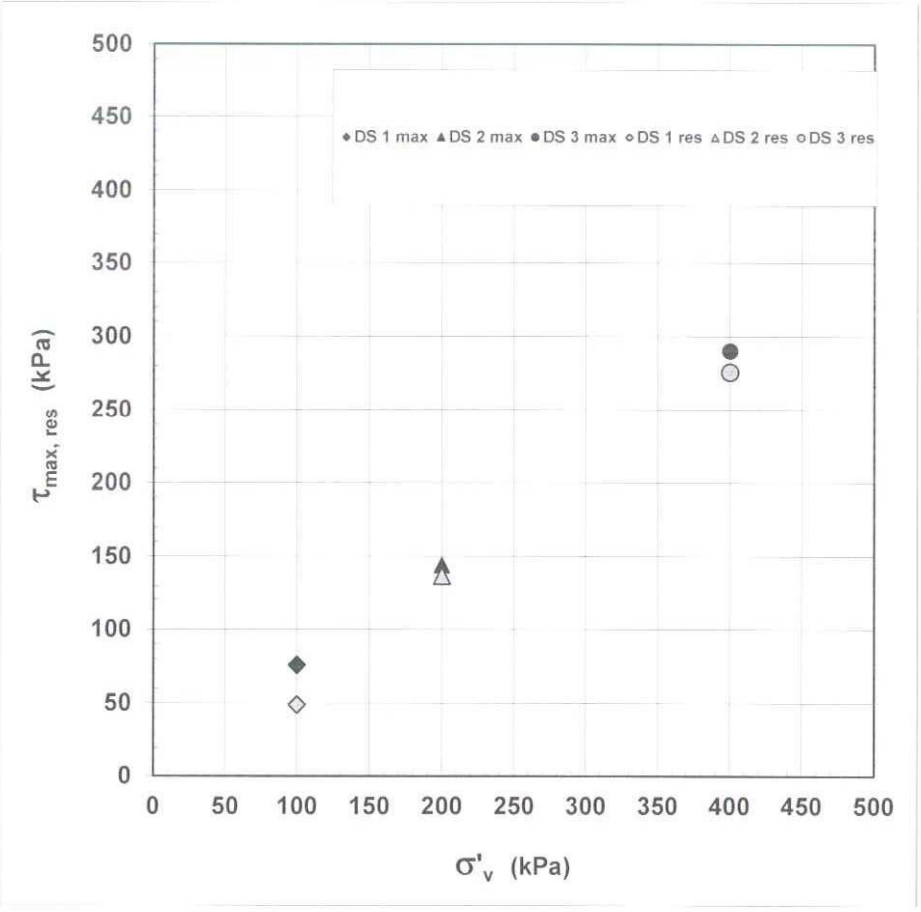
rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	11/07/2016	Angeloni	Saccenti

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	γ	w	γ_d	σ'_v	H	ε_v	γ_d	dfc	τ_{max}	δ_h	ε_v	τ	δ_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
γ = peso di volume umido
w = contenuto d'acqua
γ_d = peso di volume secco
σ' = tensione efficace
ε = deformazioni
τ = sforzo di taglio
δ = 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

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

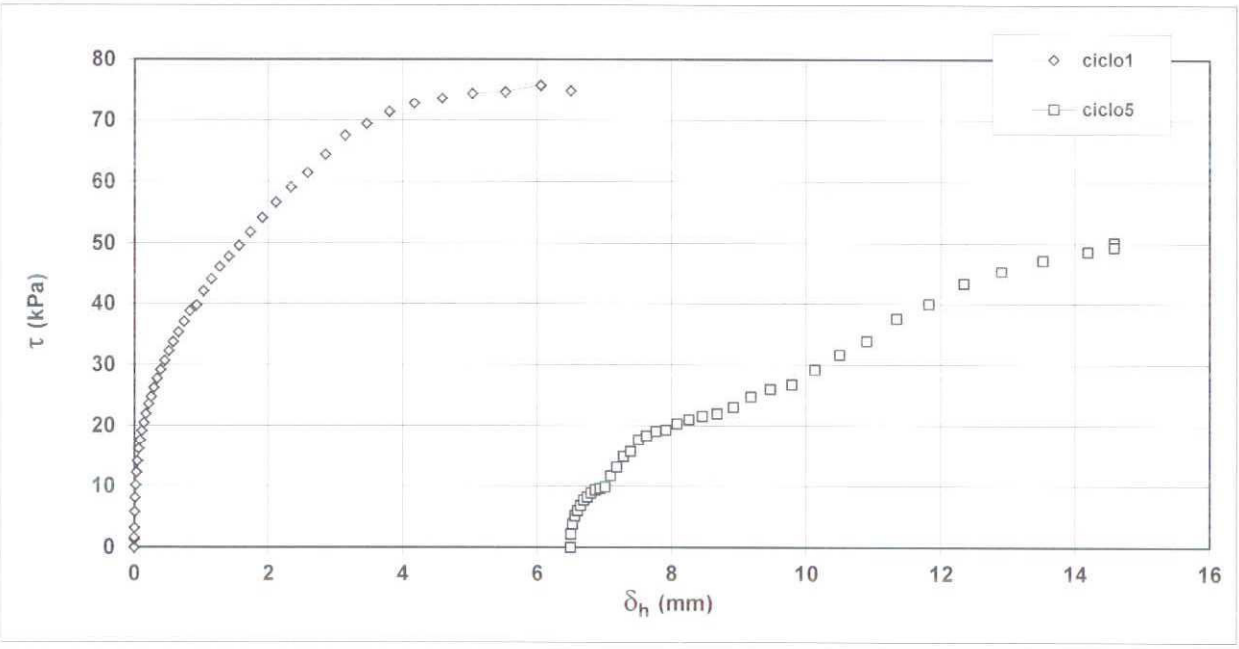
PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma τ / σ

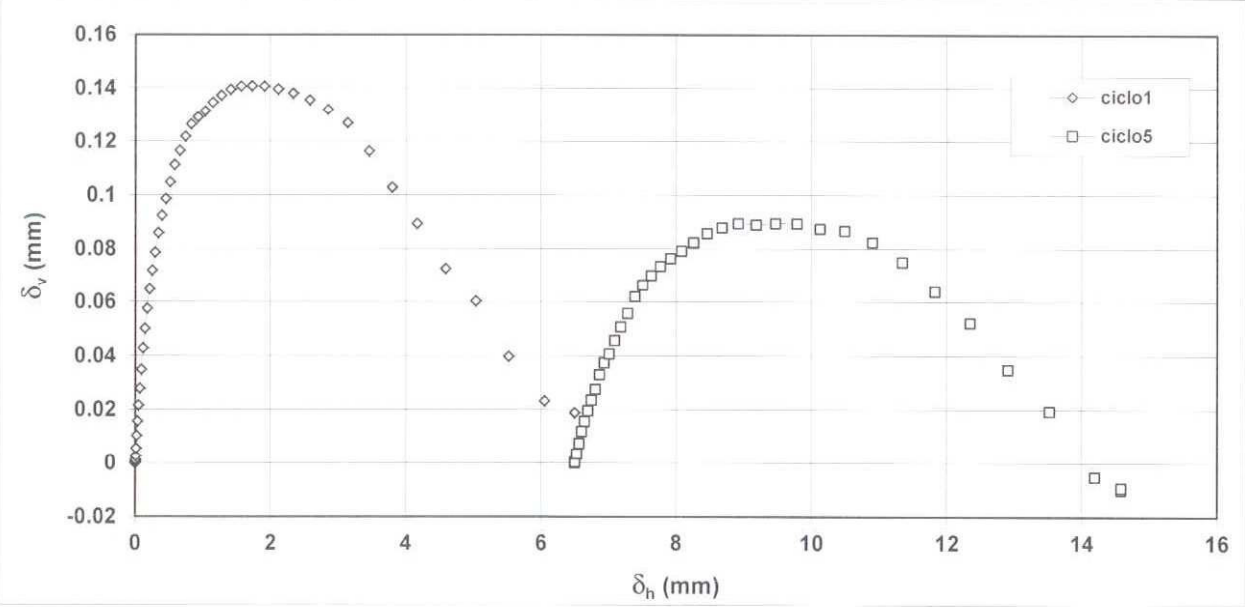
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

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

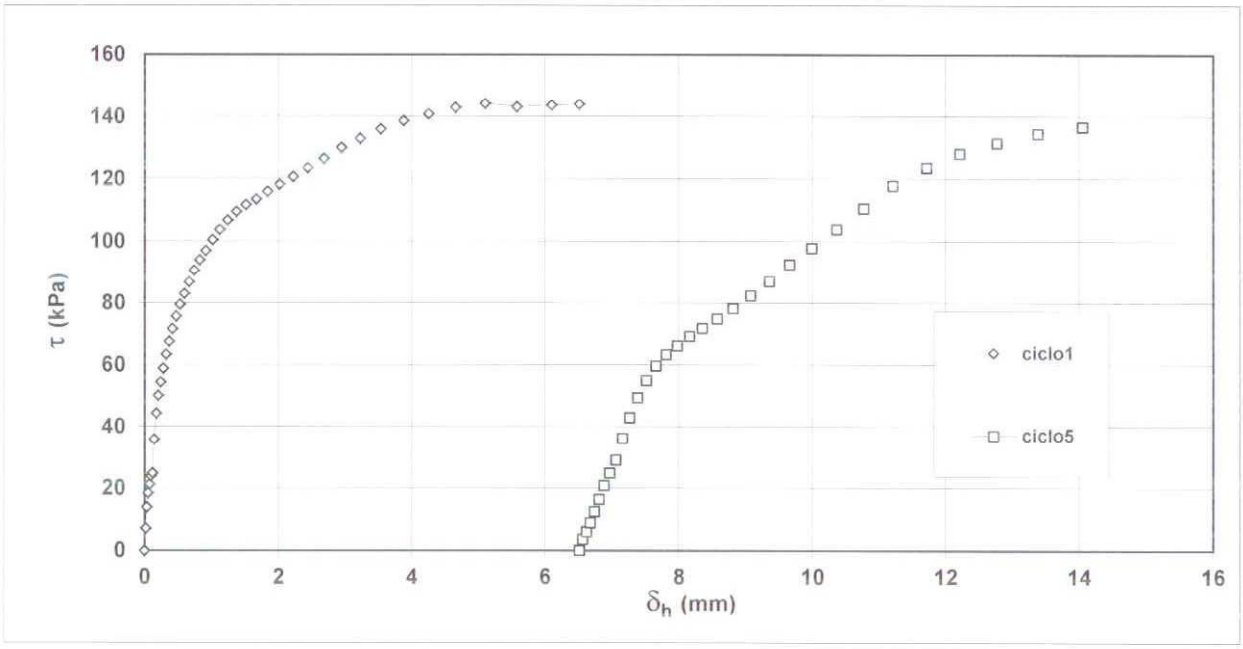
PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma τ / σ

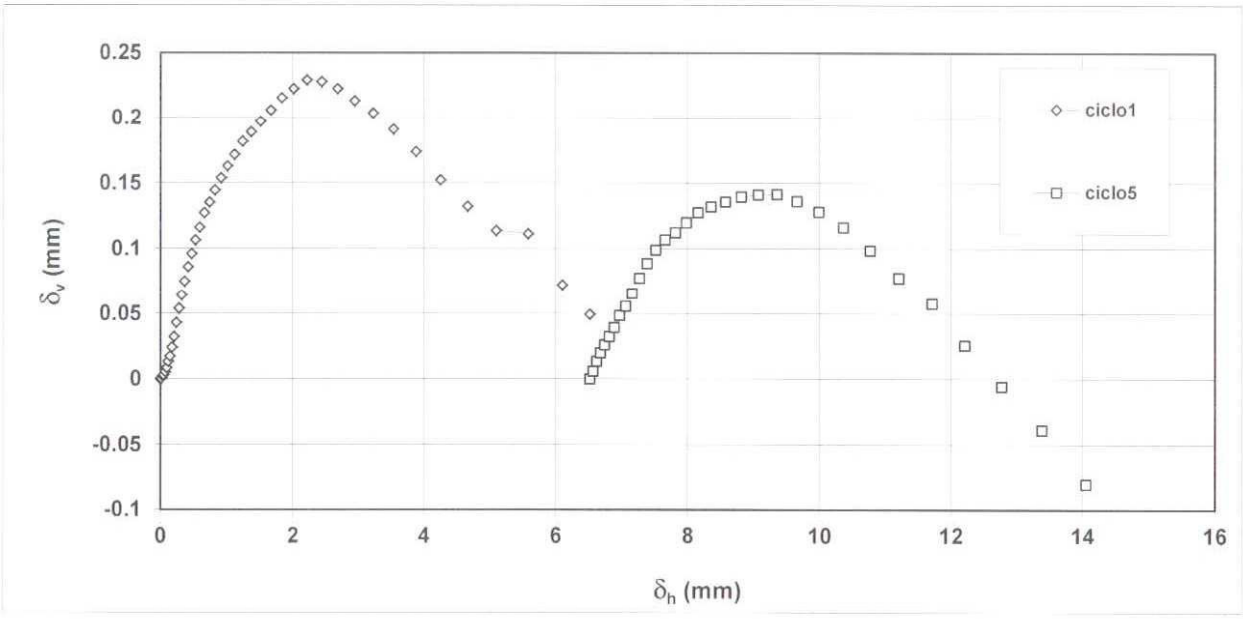
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	11/07/2016	Angaloni	Sacenti

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:

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

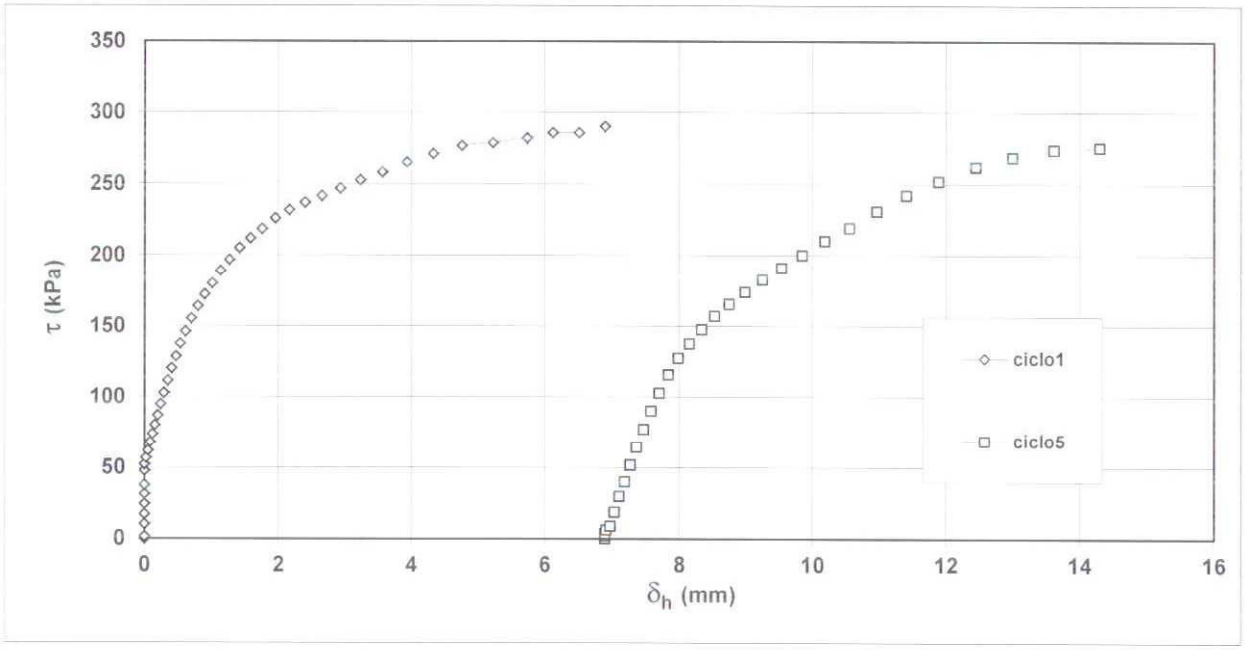
PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma τ / σ

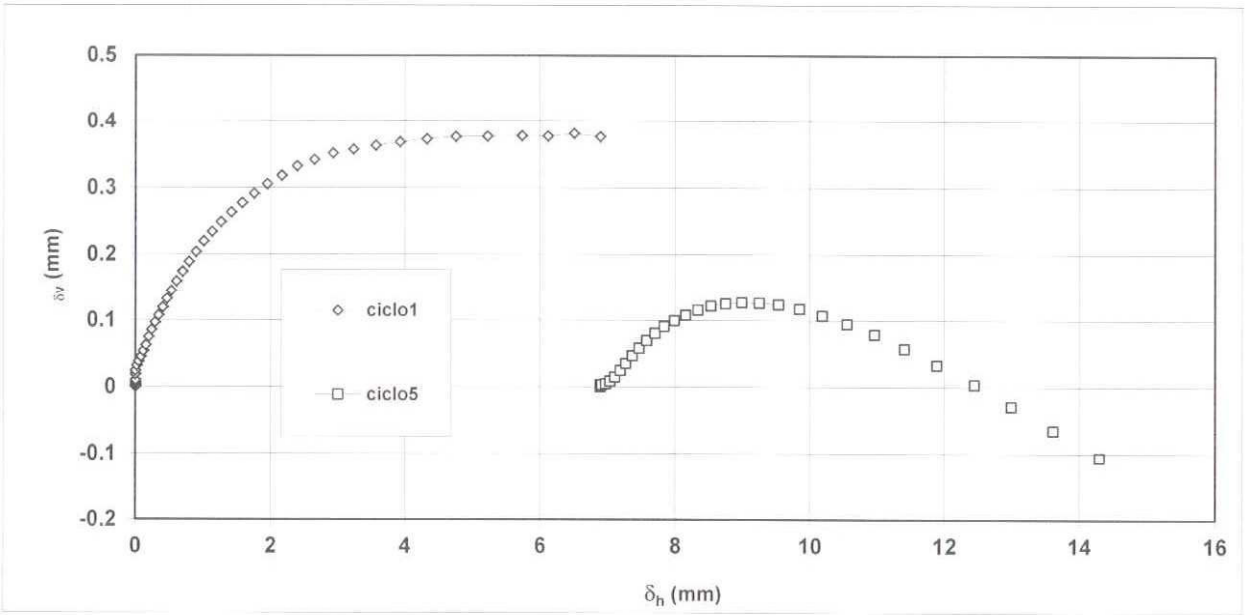
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

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

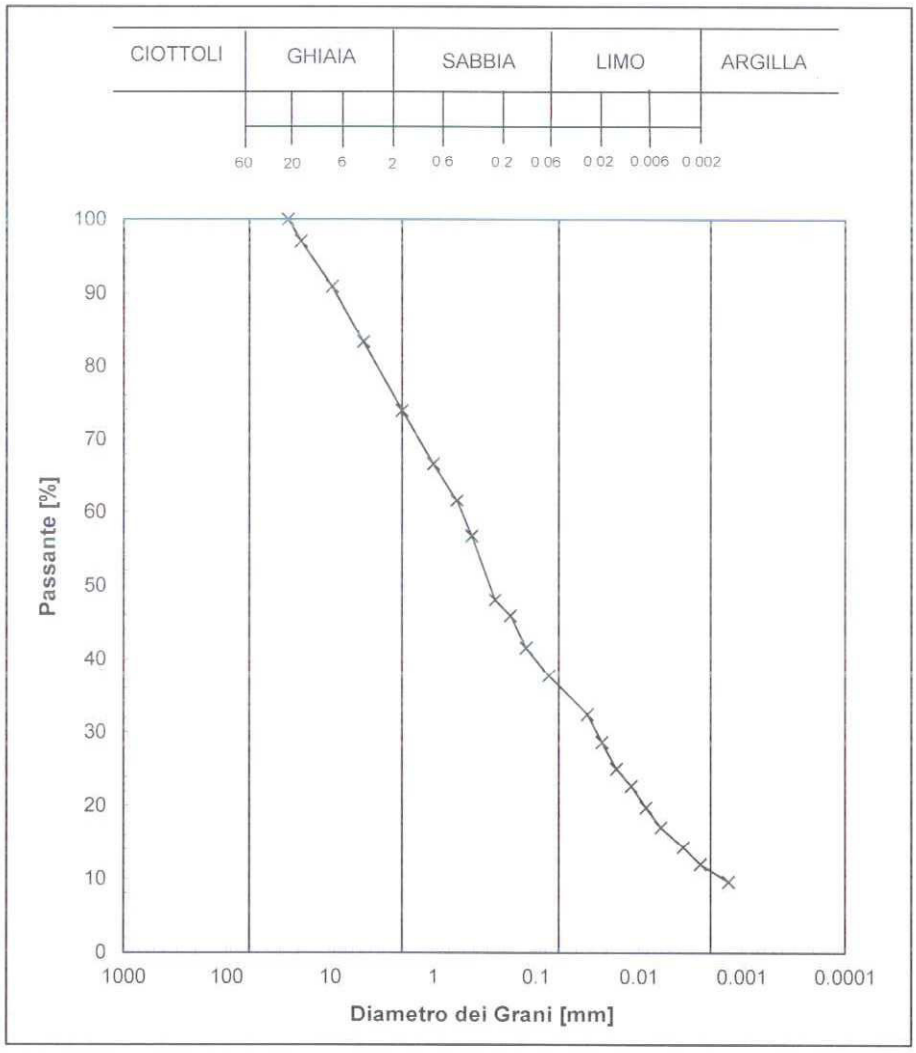
Committente:	WASTEITALIA
Cantiere:	BOSSARINO
Sondaggio:	S7
Campione:	CR1
Profondità prelievo [m]:	0 - 3
Prova:	GR1
Data prova:	13/06/2016

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

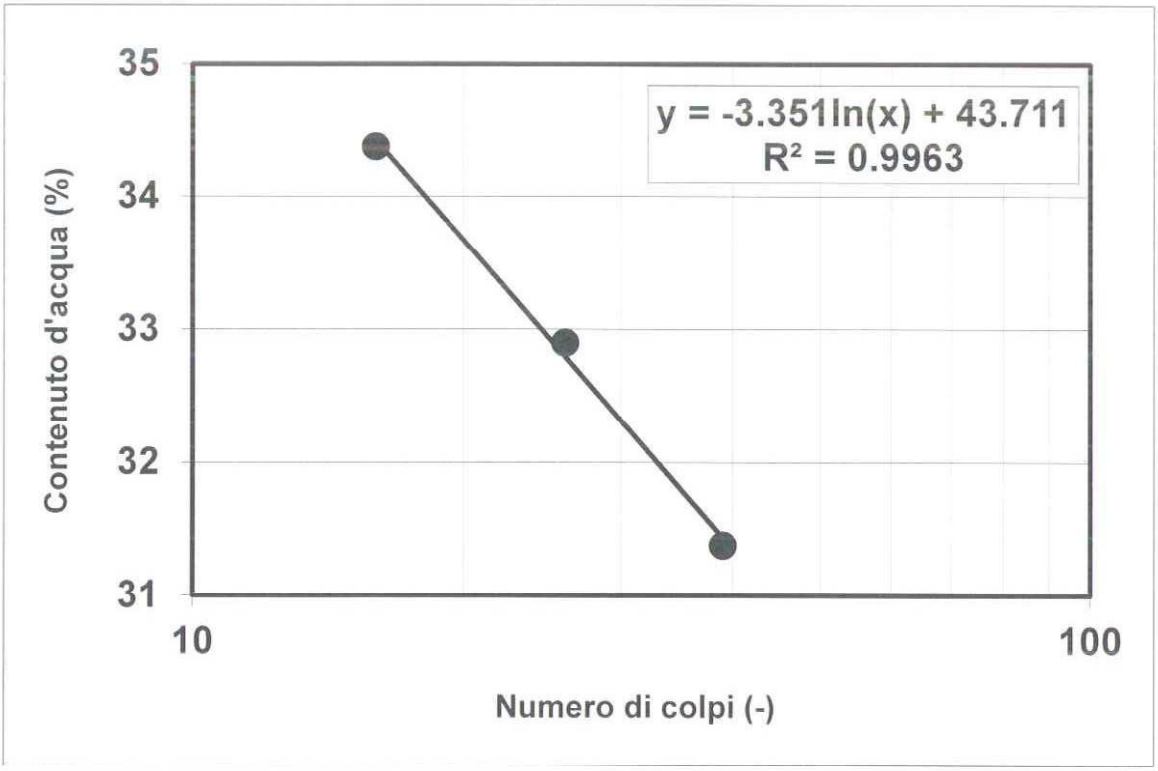
Normativa di riferimento: ASTM D4318
N° certificato di prova: 024/16/A/011
N° verbale di accettazione: 024/2016

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

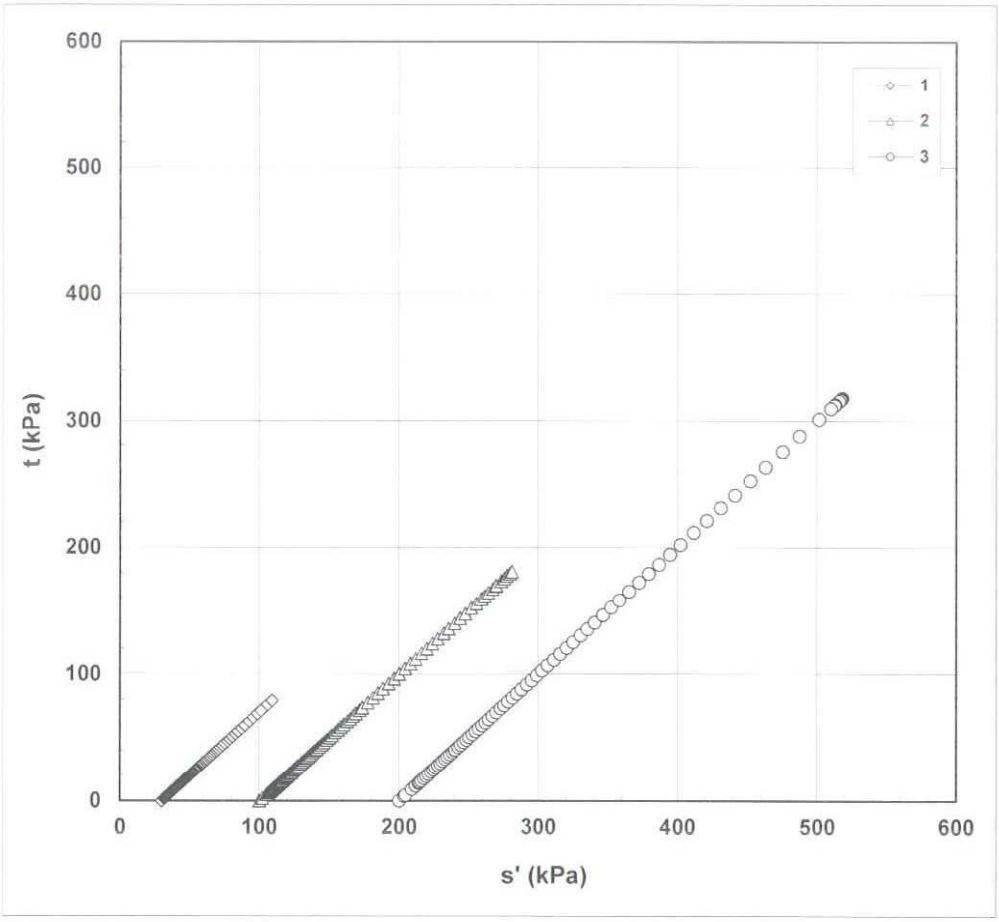
rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	11/07/2016	Sirtoli	Saccenti

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	γ	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	ε_a	ε_v	e	DFC	v	t	s'	ε_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
γ = peso di volume umido
w = contenuto d'acqua
e = indice dei vuoti
σ, σ' =tensioni totali ed efficaci
$K = \sigma'_r / \sigma'_a$ a fine consolidazione
B.P. = back pressure
B = coefficiente di Skempton
ε = 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

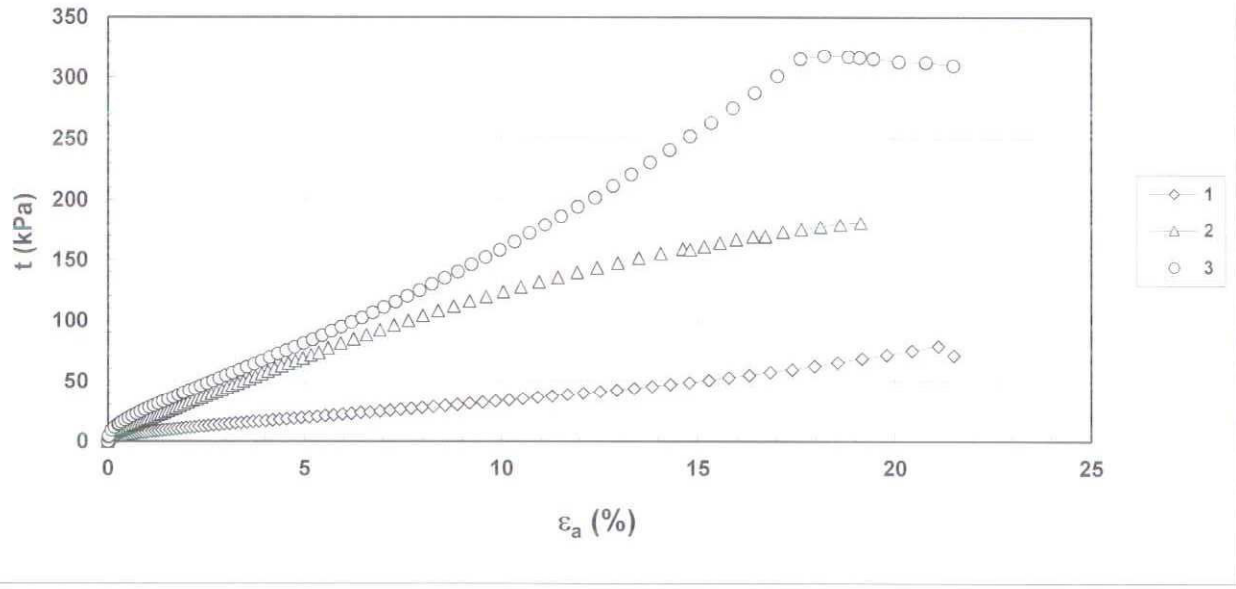
PROVA TRIASSIALE CID - Secondo foglio: diagrammi $t - \varepsilon_a$ e $\varepsilon_v - \varepsilon_a$

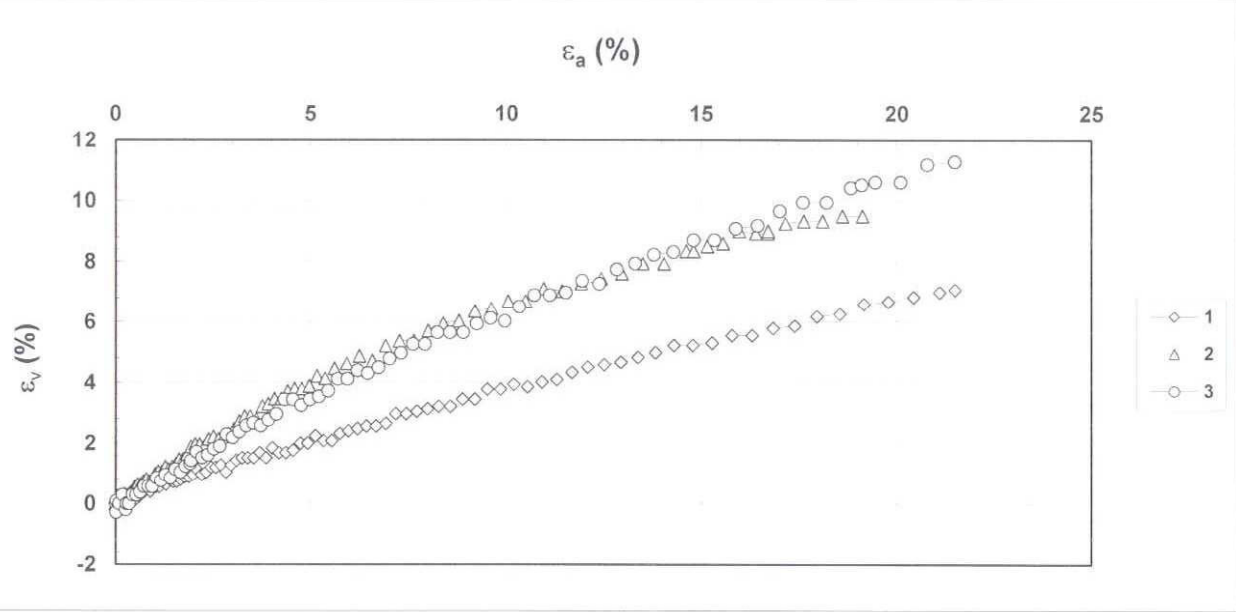
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	11/07/2016	Sirtori	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

RIPRESA FOTOGRAFICA

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





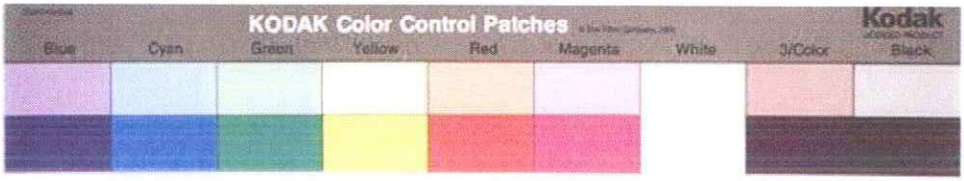
NOTE: provino post-rottura

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





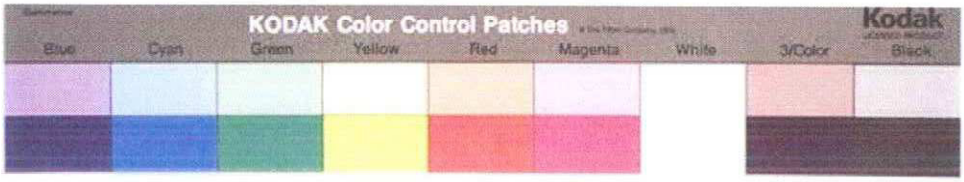
NOTE: provino post-rottura

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

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-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

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

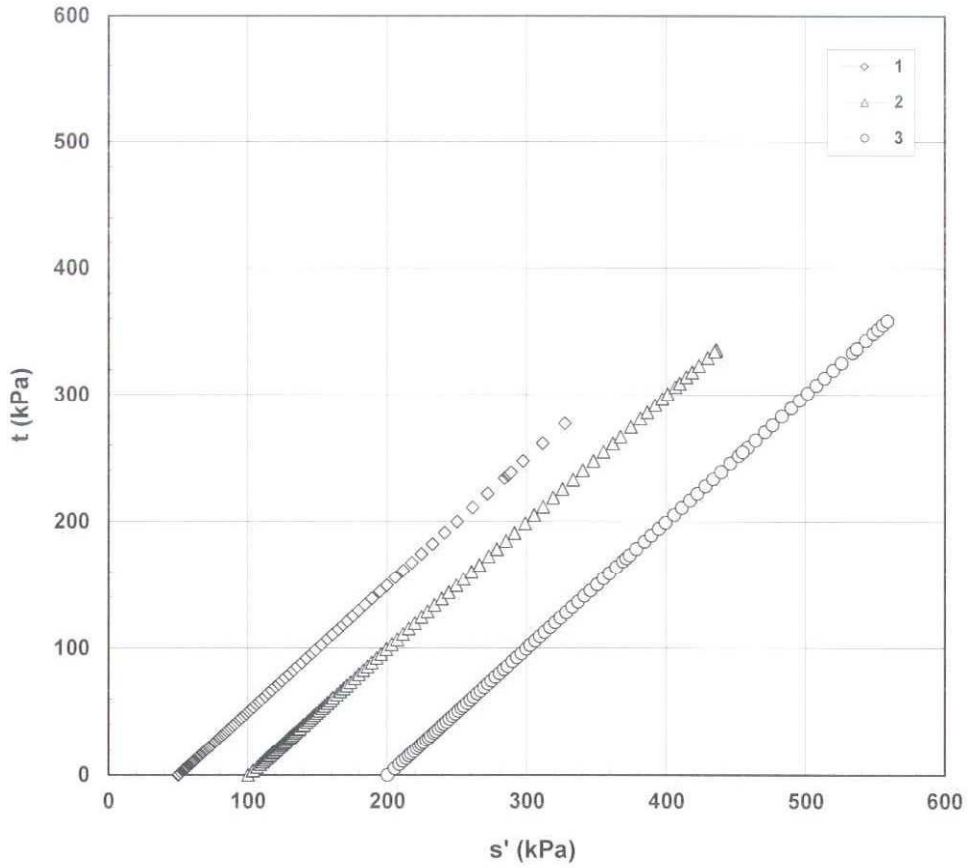
rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	11/07/2016	Sirtoli	Saccenti

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	γ	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	ε_a	ε_v	e	DFC	v	t	s'	ε_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
γ = peso di volume umido
w = contenuto d'acqua
e = indice dei vuoti
σ, σ' =tensioni totali ed efficaci
K = σ'_r / σ'_a a fine consolidazione
B.P. = back pressure
B = coefficiente di Skempton
ε = 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

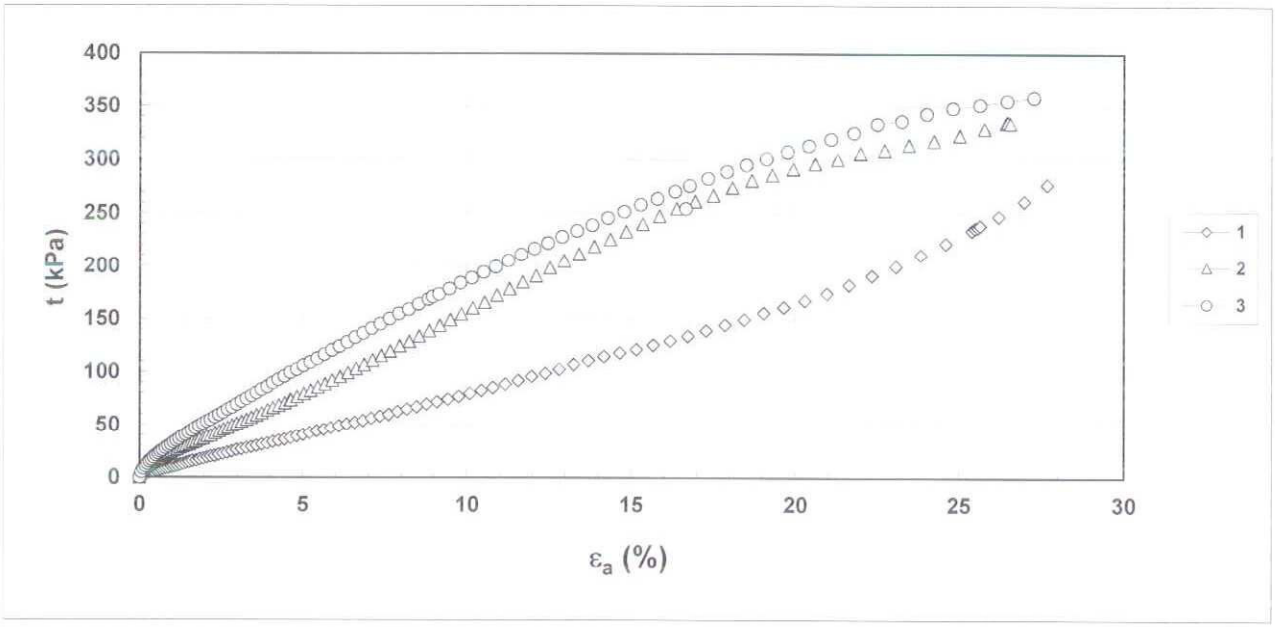
PROVA TRIASSIALE CID - Secondo foglio: diagrammi $t - \varepsilon_a$ e $\varepsilon_v - \varepsilon_a$

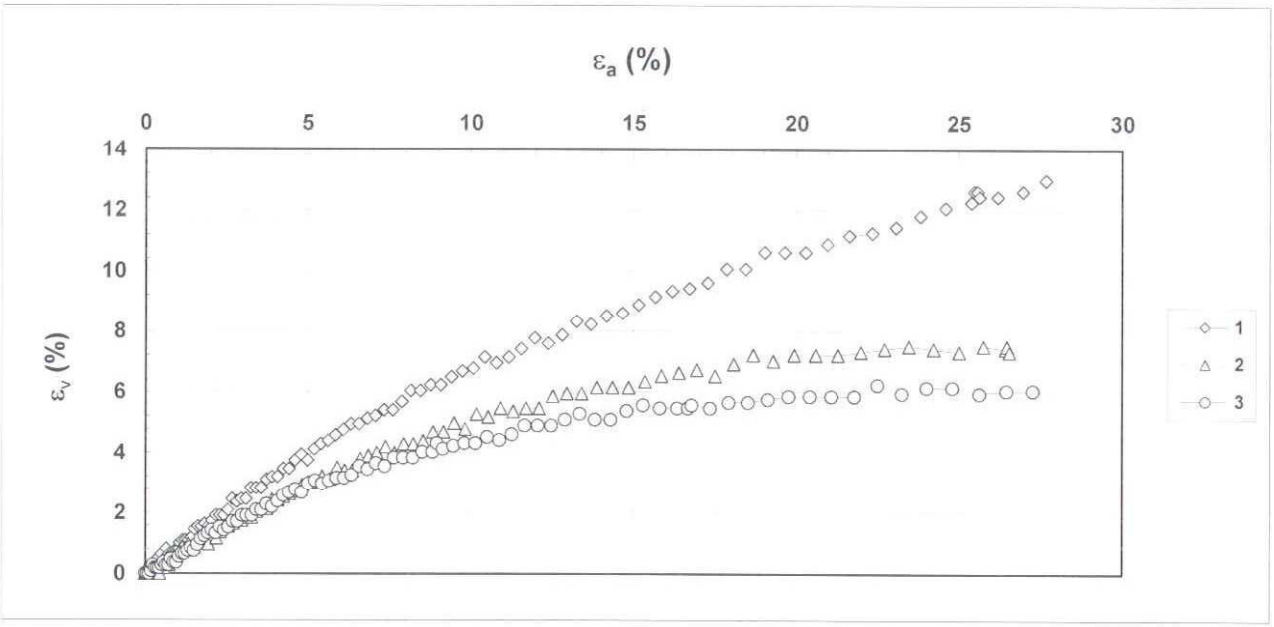
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

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

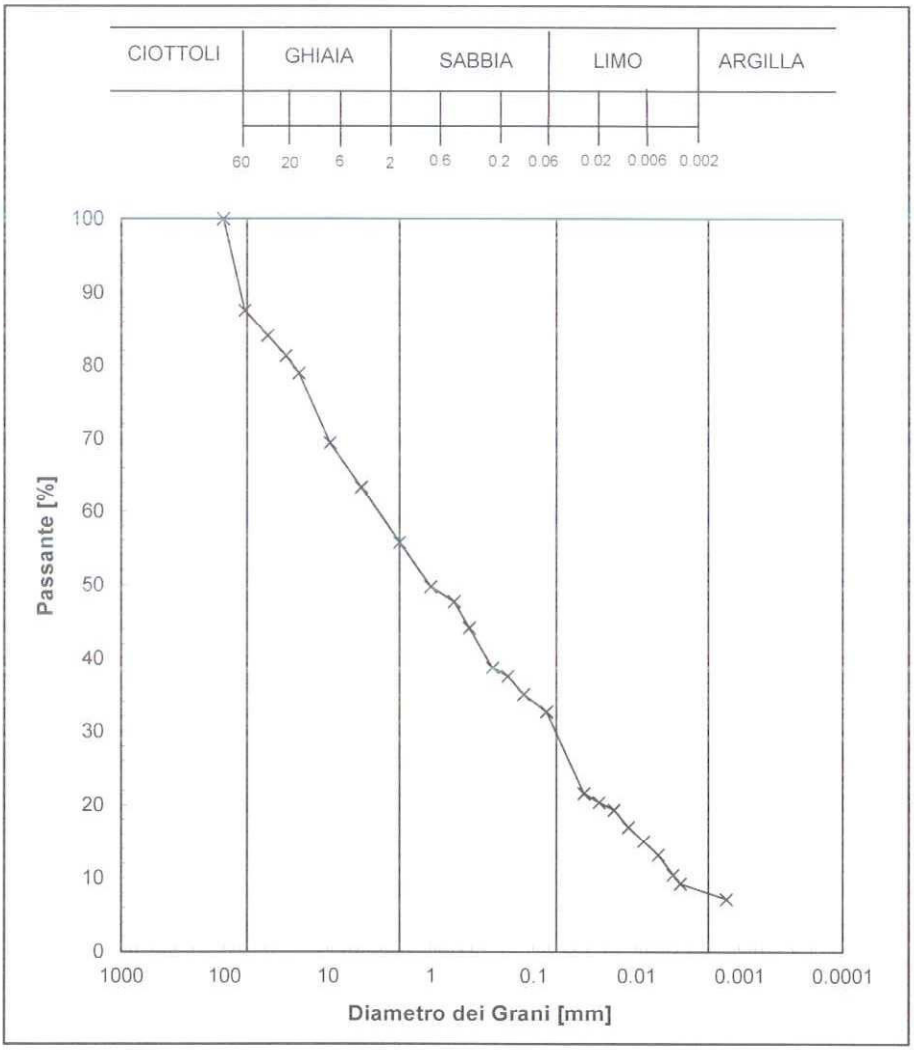
Committente:	WASTEITALIA
Cantiere:	BOSSARINO
Sondaggio:	S7
Campione:	CR4
Profondità prelievo [m]:	7 - 8
Prova:	GR1
Data prova:	10/06/2016

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

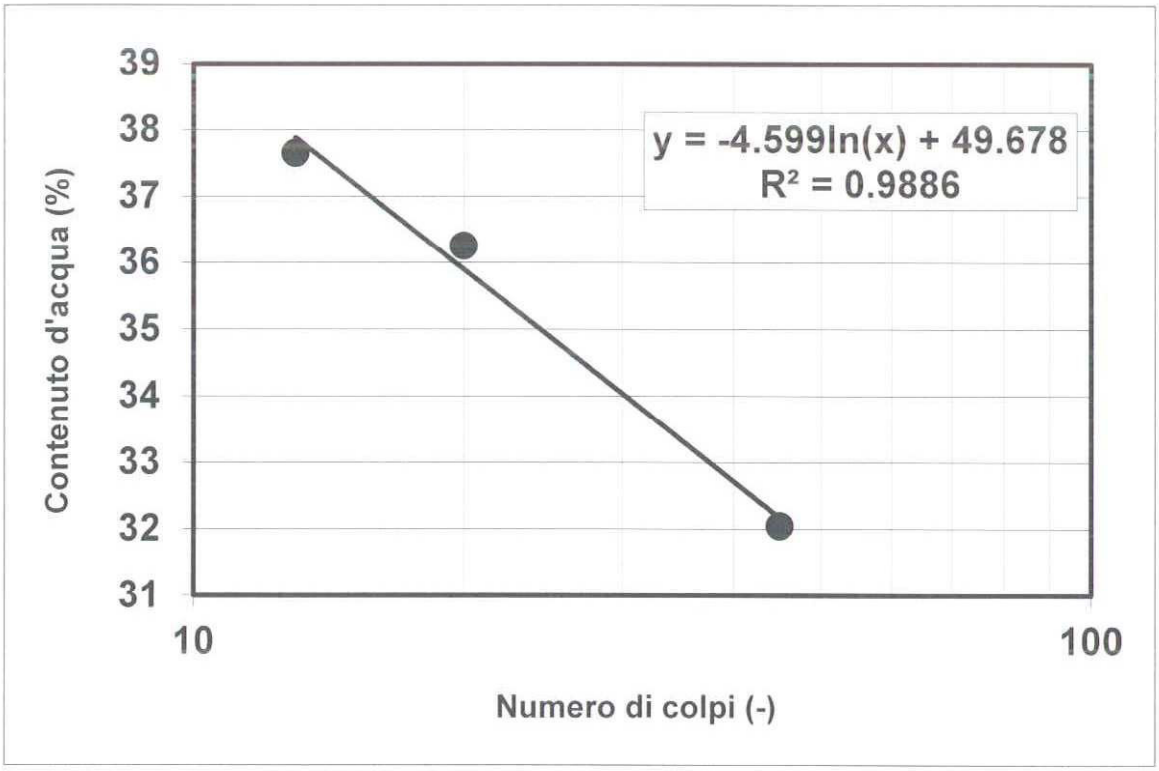
Committente:	WASTEITALIA
Cantiere:	BOSSARINO
Sondaggio:	S7
Campione:	CR4
Profondità prova [m]:	7.00 - 8.00
Prova:	LLP1
Data prova:	16/06/2016

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

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 τ / σ

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

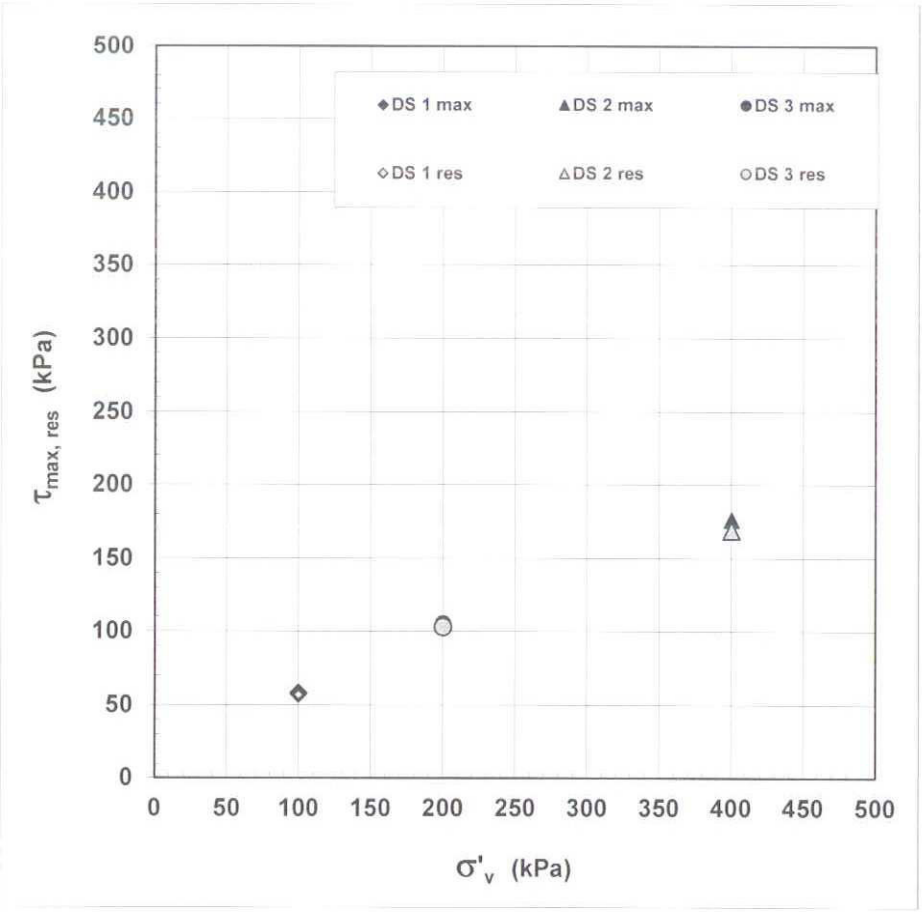
rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	11/07/2016	Angelon	Sacchi

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	γ	w	γ_d	σ'_v	H	ε_v	γ_d	dfc	τ_{max}	δ_h	ε_v	τ	δ_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
γ = peso di volume umido
w = contenuto d'acqua
γ_d = peso di volume secco
σ' = tensione efficace
ε = deformazioni
τ = sforzo di taglio
δ = 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

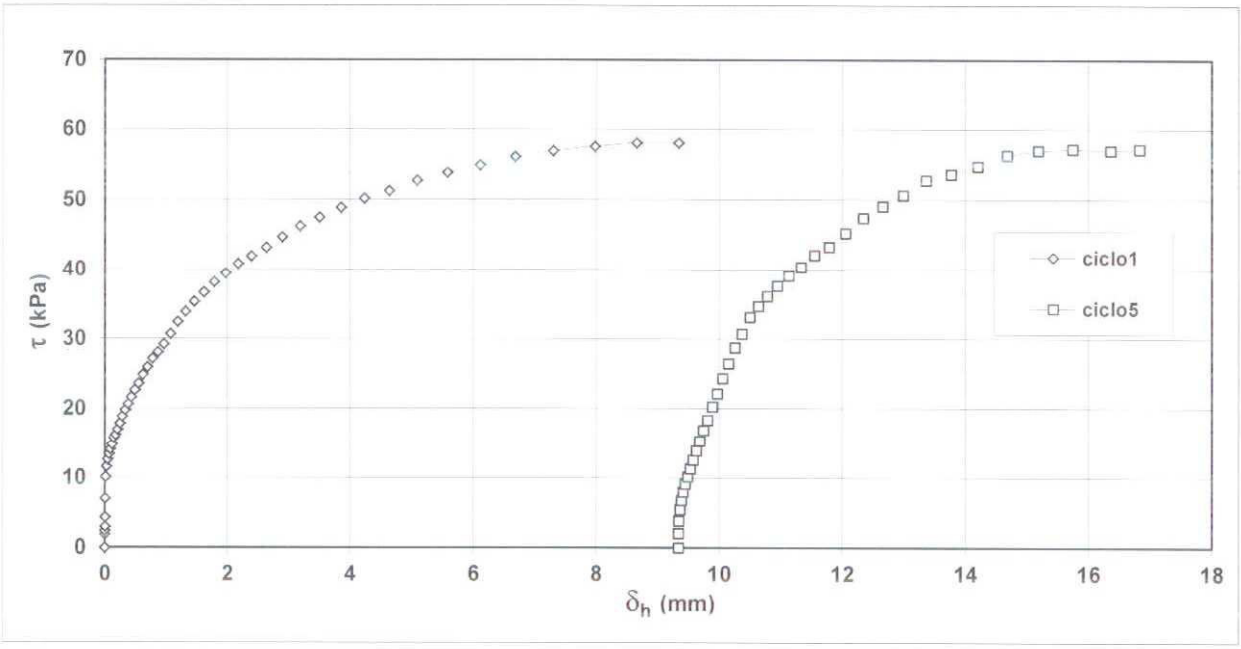
PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma τ / σ

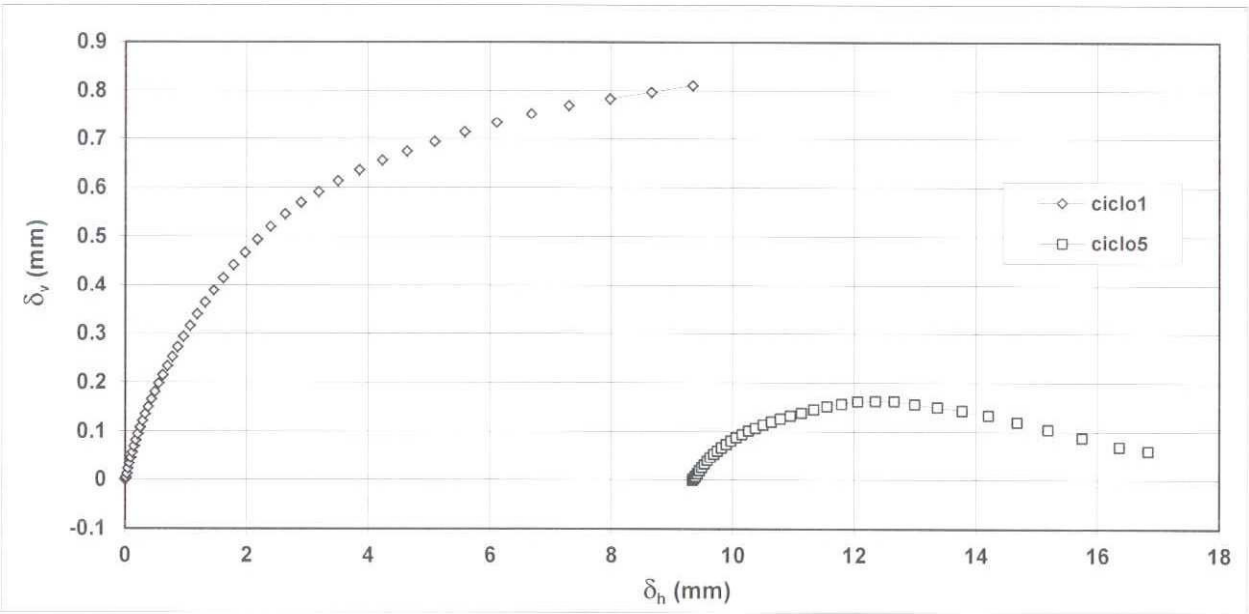
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

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

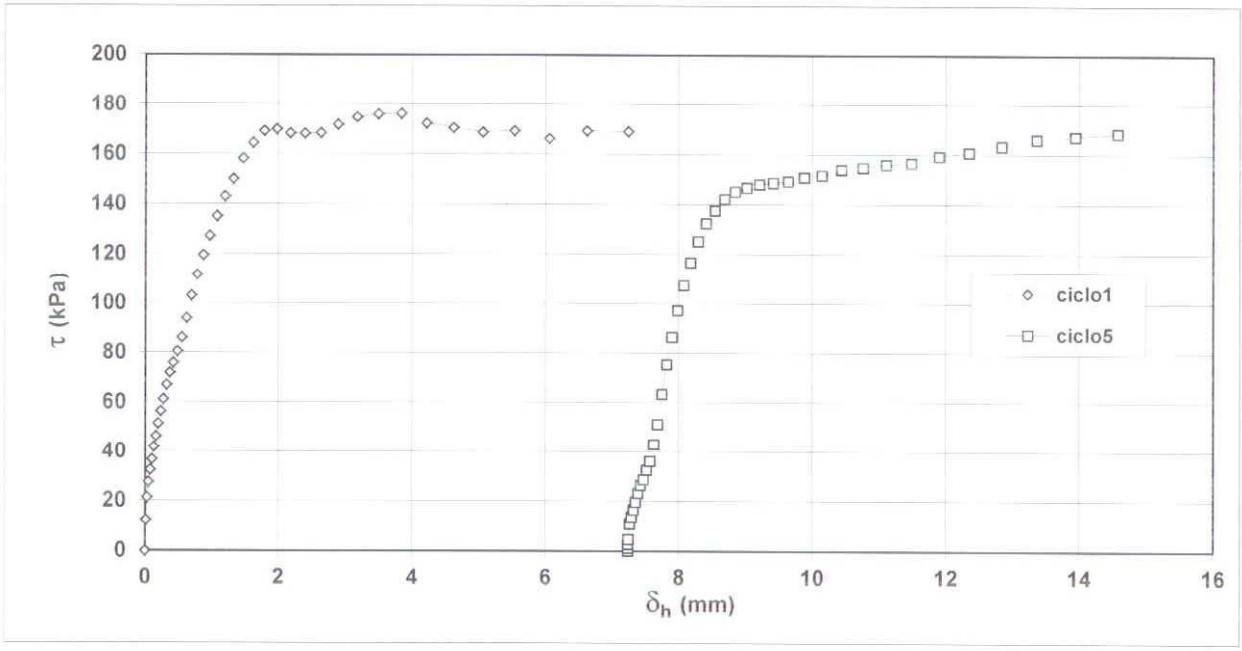
PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma τ / σ

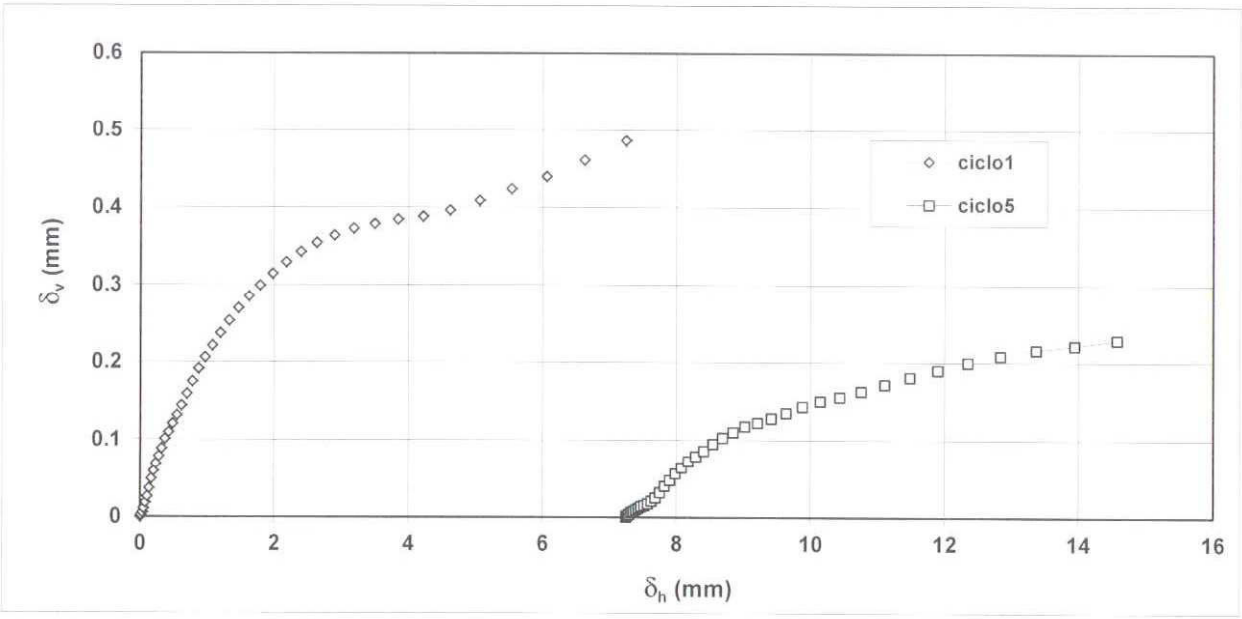
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

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

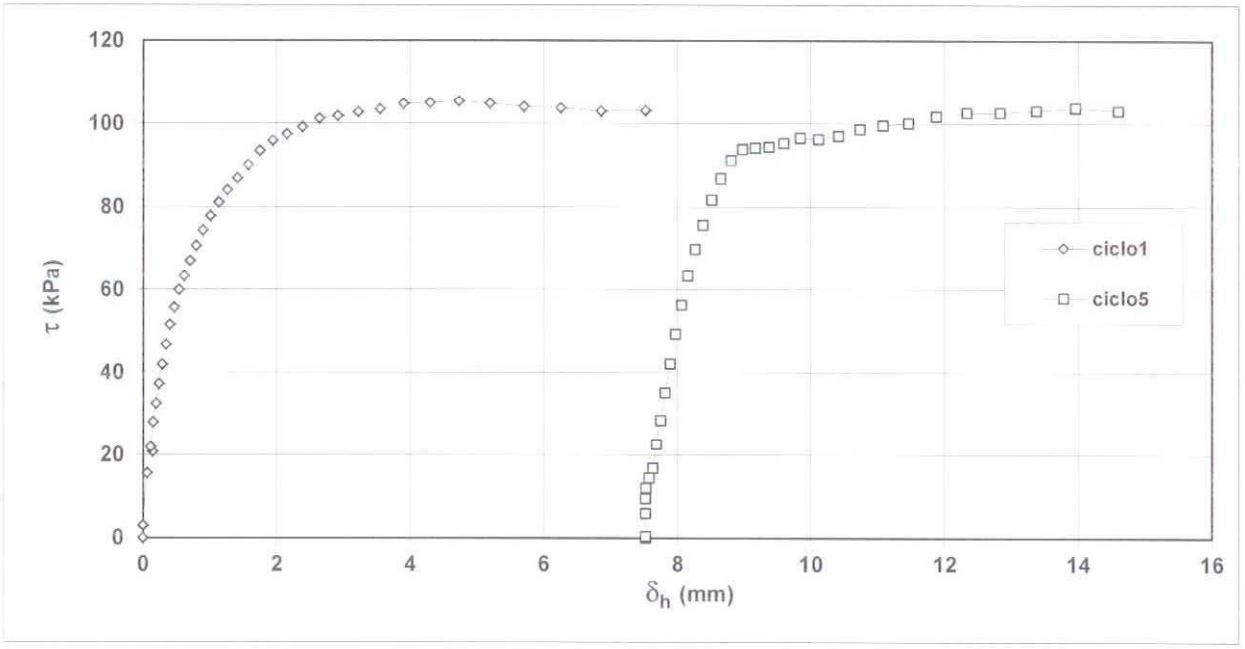
PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma τ / σ

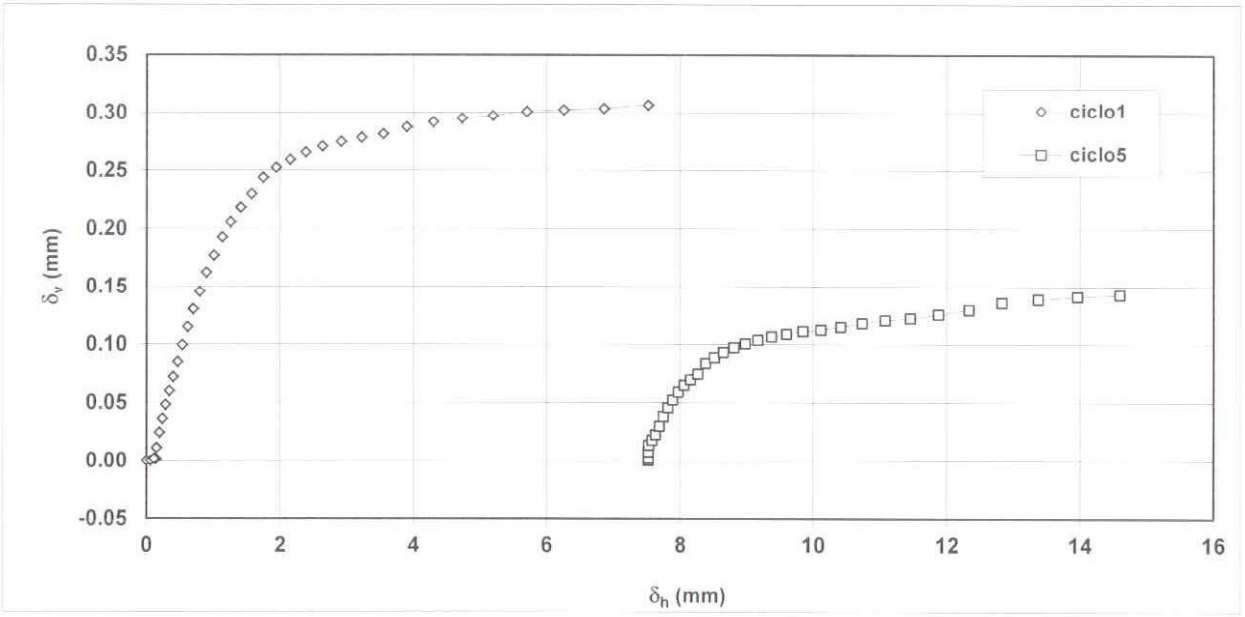
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

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

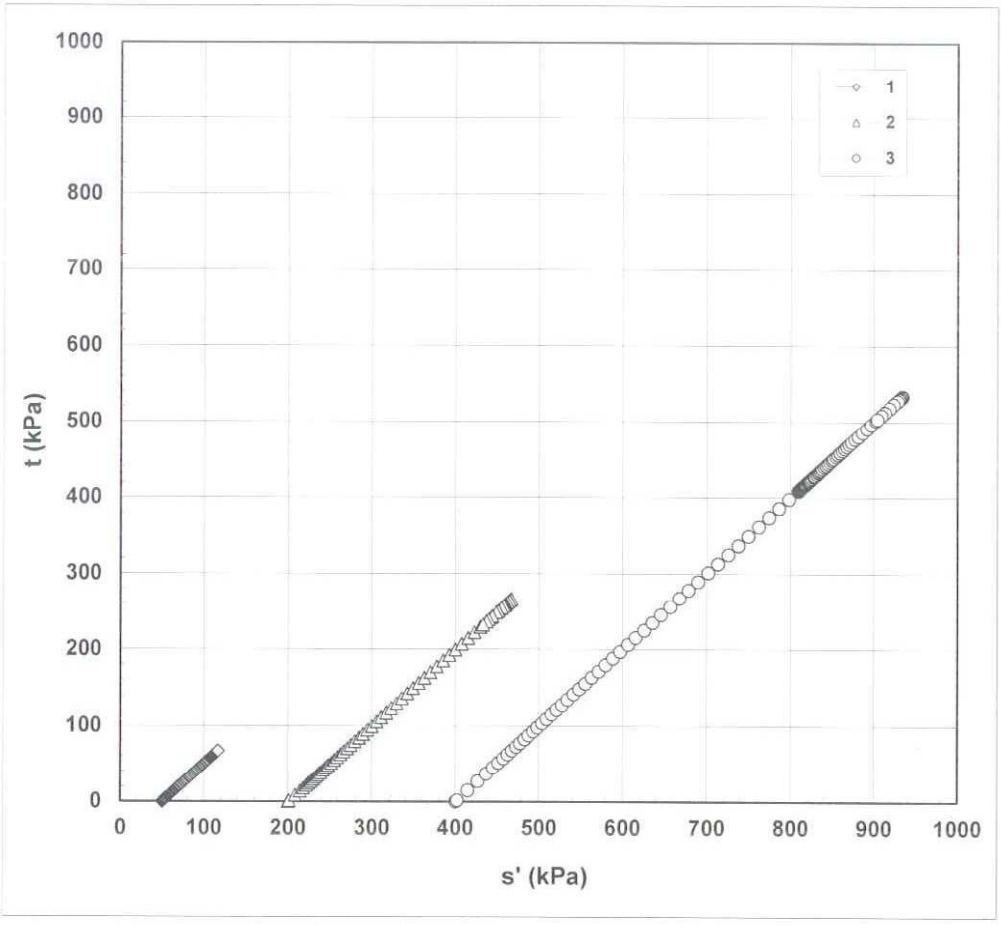
rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	11/07/2016	Angeloni	Saccenti

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	γ	w	e	σ'_a	σ'_r	K	B.P.	B	ε_a	ε_v	e	DFC	v	t	s'	ε_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
γ = peso di volume umido
w = contenuto d'acqua
e = indice dei vuoti
σ, σ' =tensioni totali ed efficaci
K = σ'_r / σ'_a a fine consolidazione
B.P. = back pressure
B = coefficiente di Skempton
ε = 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

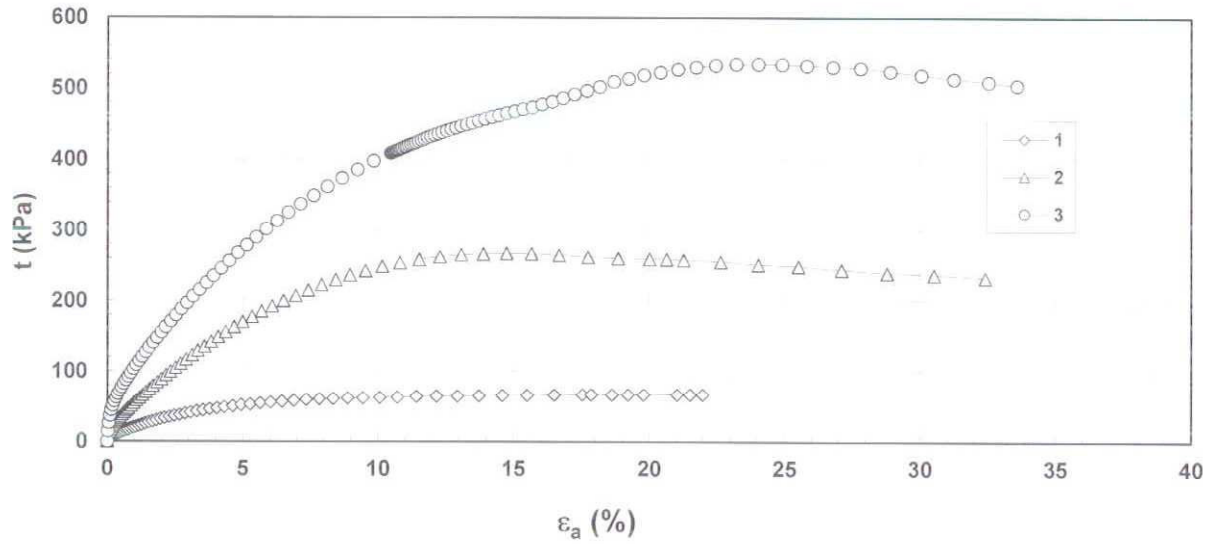
PROVA TRIASSIALE CID - Secondo foglio: diagrammi $t - \varepsilon_a$ e $\varepsilon_v - \varepsilon_a$

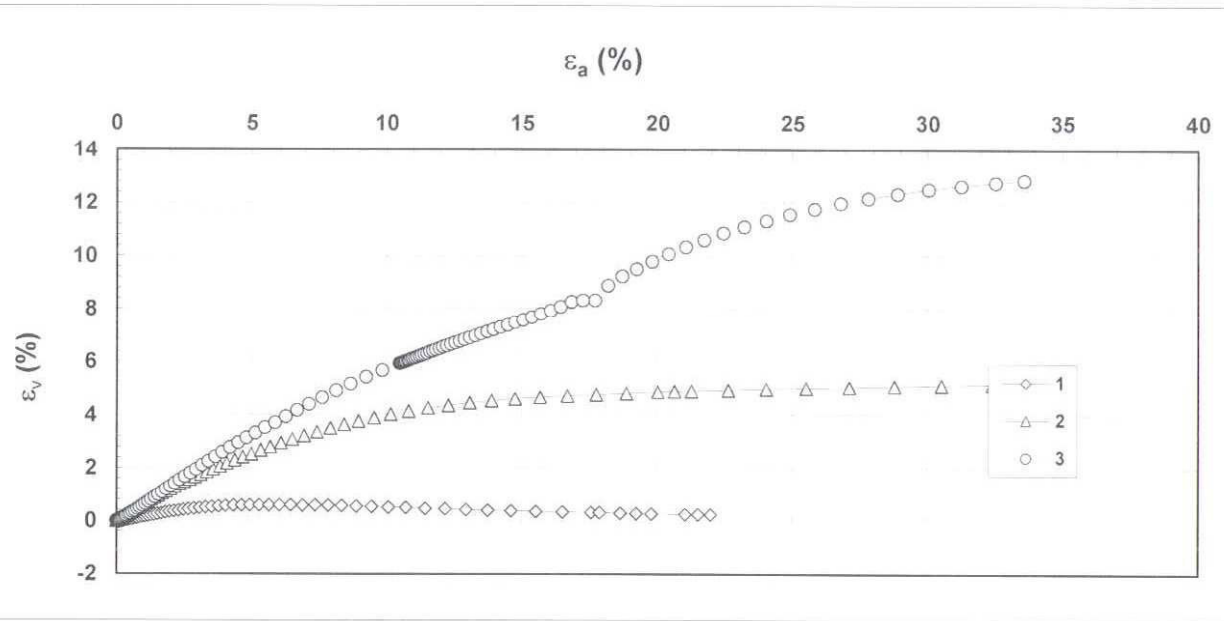
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	11/07/2016	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

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





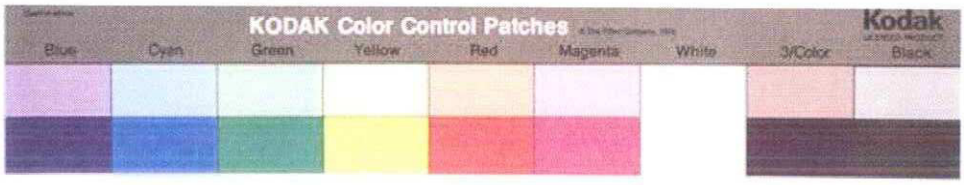
NOTE: provino post-rottura

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

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-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

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: 024/16/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

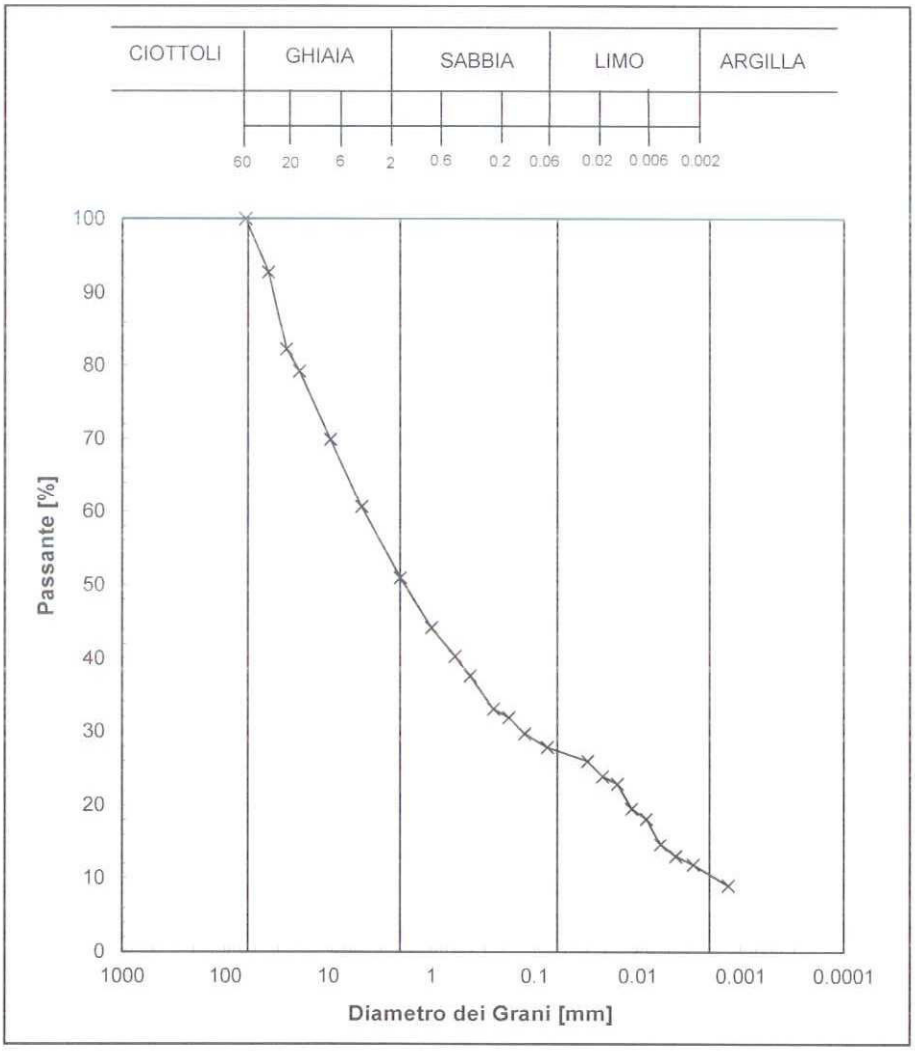
Committente:	WASTEITALIA
Cantiere:	BOSSARINO
Sondaggio:	S9
Campione:	CR1
Profondità prelievo [m]:	1 - 2
Prova:	GR1
Data prova:	13/06/2016

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

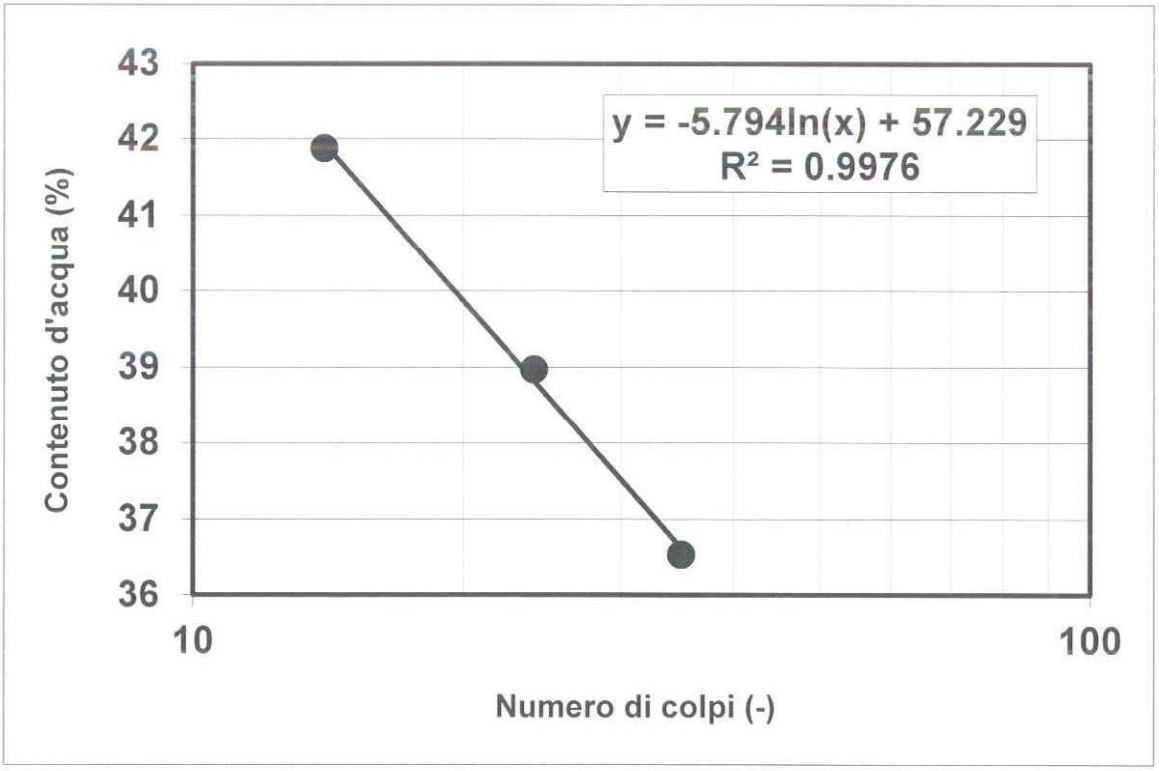
Committente:	WASTEITALIA
Cantiere:	BOSSARINO
Sondaggio:	S9
Campione:	CR1
Profondità prova [m]:	1.00 - 2.00
Prova:	LLP1
Data prova:	16/06/2016

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	Saccenti

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

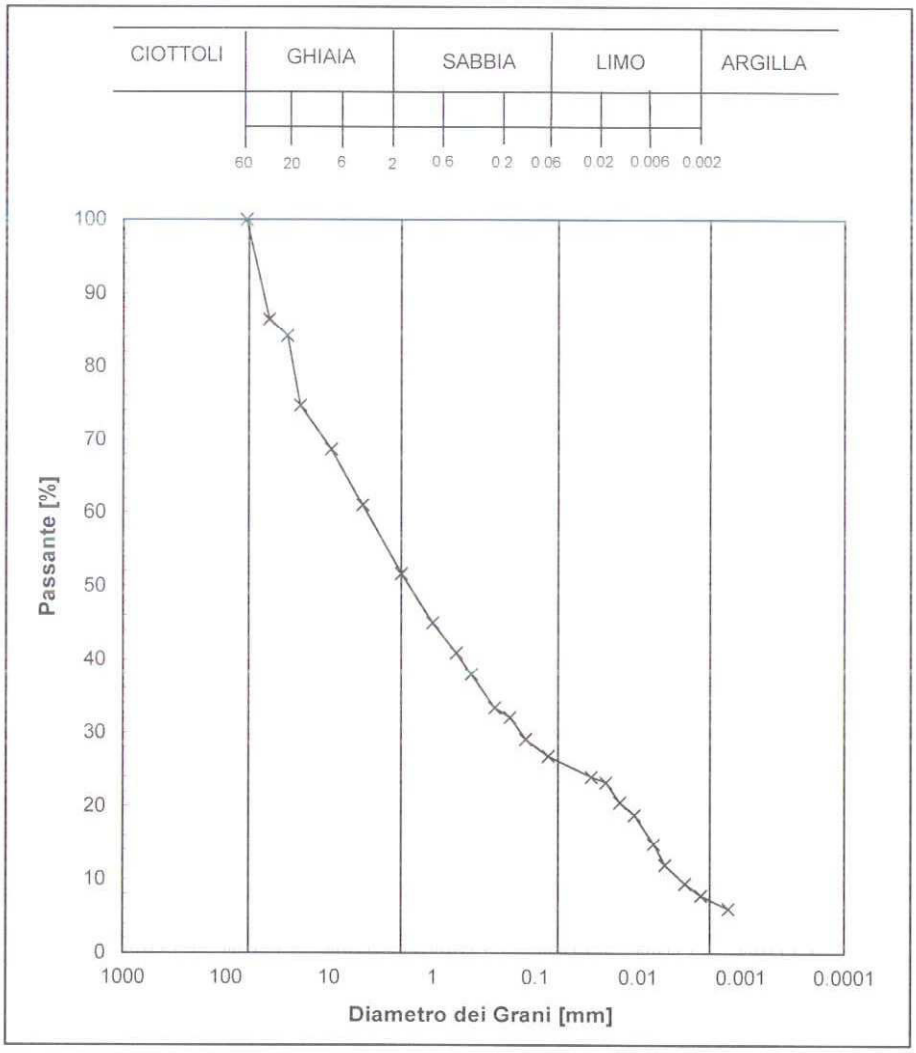
Committente:	WASTEITALIA
Cantiere:	BOSSARINO
Sondaggio:	S9
Campione:	CR2
Profondità prelievo [m]:	4 - 5
Prova:	GR1
Data prova:	13/06/2016

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

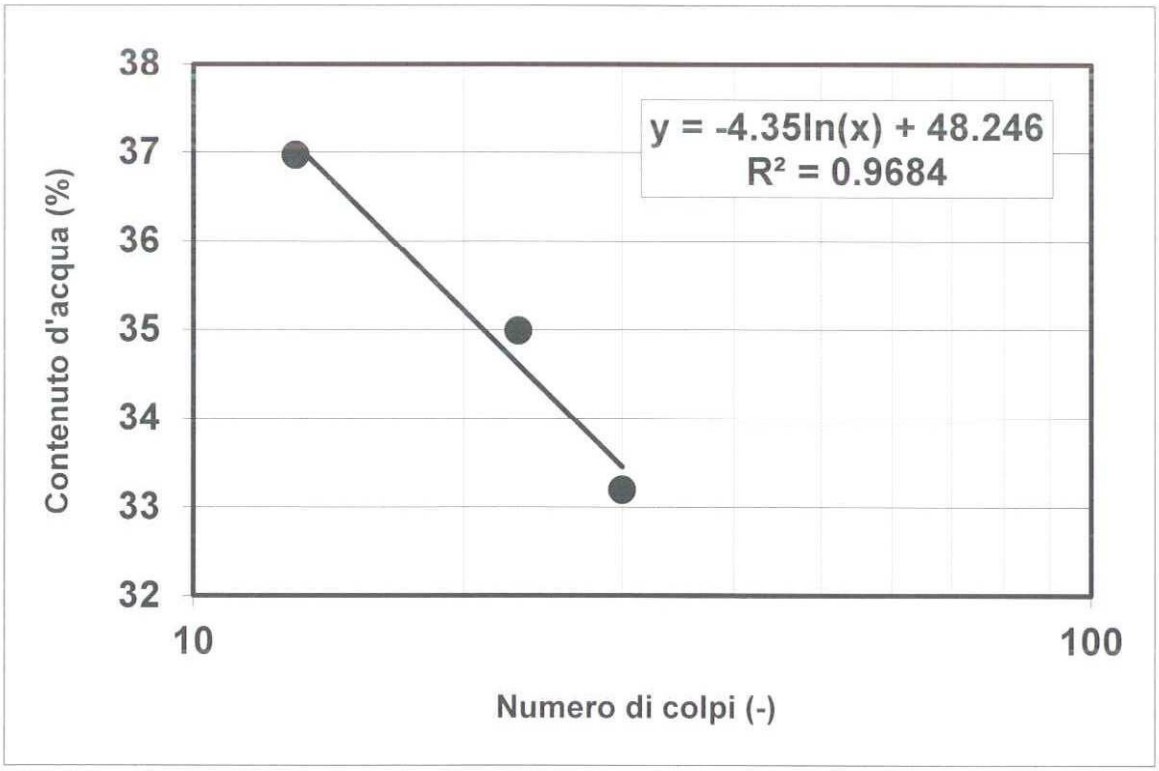
Committente:	WASTEITALIA
Cantiere:	BOSSARINO
Sondaggio:	S9
Campione:	CR2
Profondità prova [m]:	4.00 - 5.00
Prova:	LLP1
Data prova:	16/06/2016

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:

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/029

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 τ / σ

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

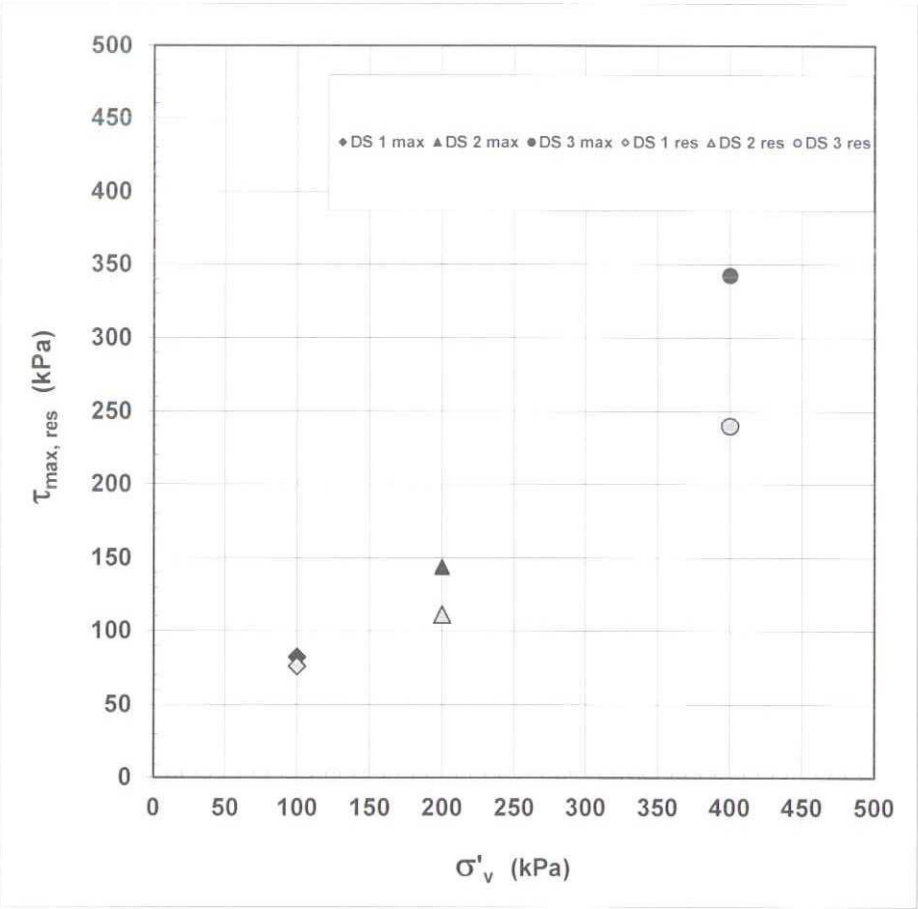
rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	11/07/2016	Angaleni	Saccenti

Normativa di riferimento: ASTM D3080/11
N° certificato di prova: 024/16/17/032
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	γ	w	γ_d	σ'_v	H	ε_v	γ_d	dfc	τ_{max}	δ_h	ε_v	τ	δ_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
γ = peso di volume umido
w = contenuto d'acqua
γ_d = peso di volume secco
σ' = tensione efficace
ε = deformazioni
τ = sforzo di taglio
δ = 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

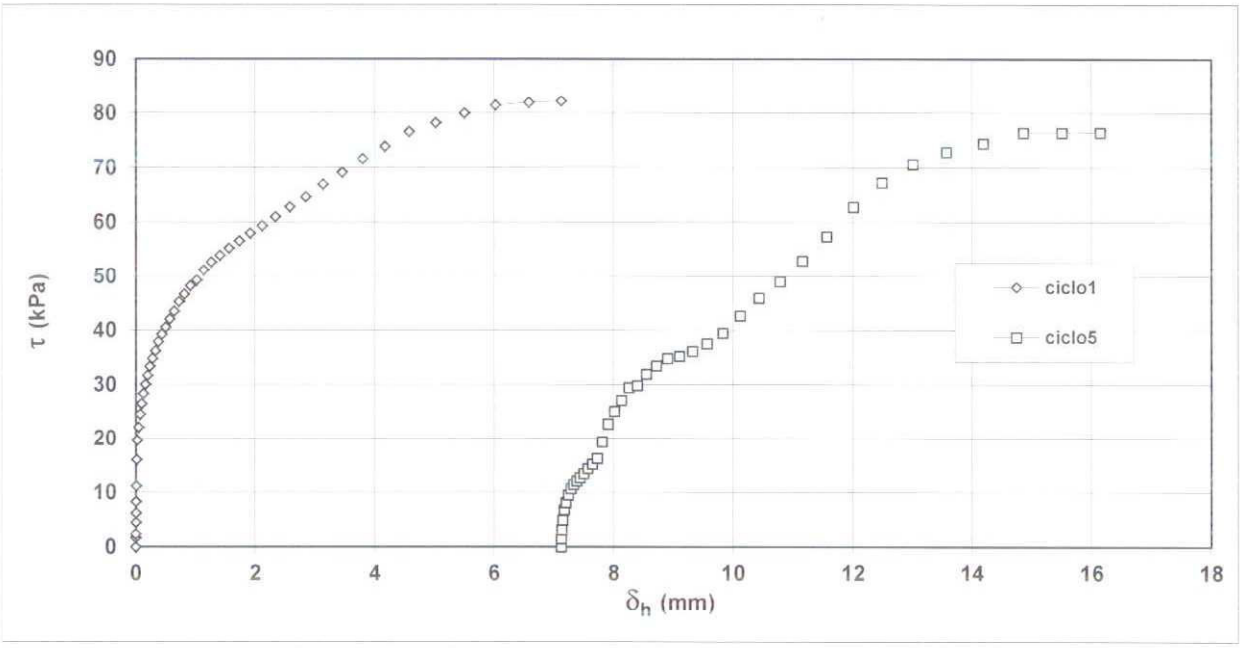
PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma τ / σ

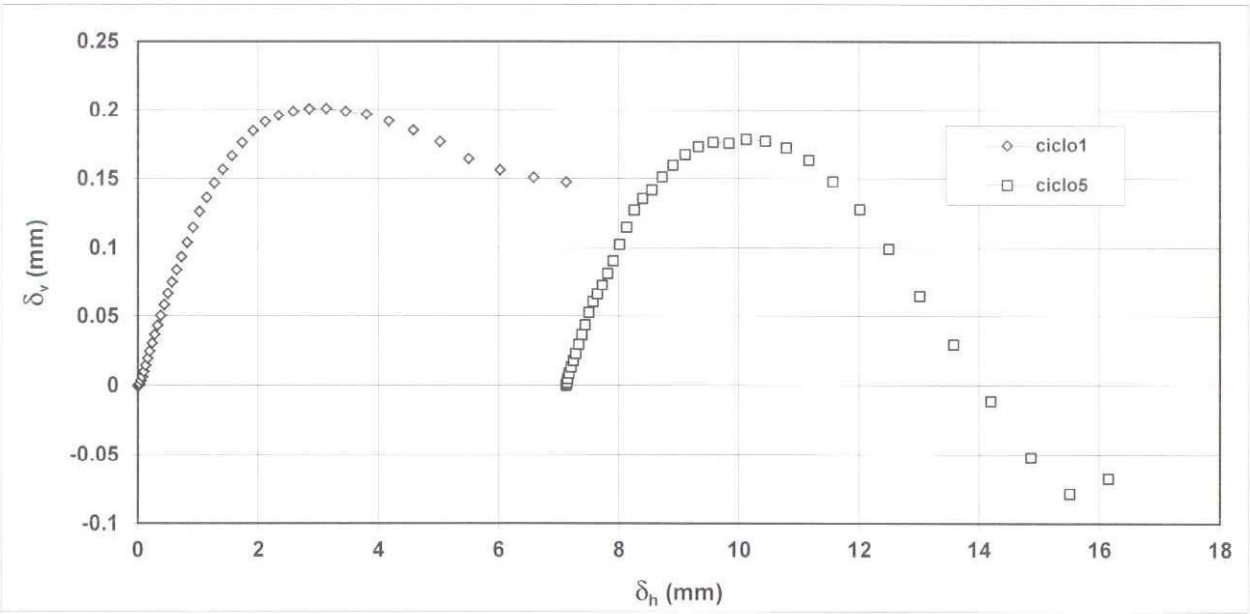
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

rev.	data emiss.	sperimentatore	direttore
0	11/07/2016	Angelon	Sacconi

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

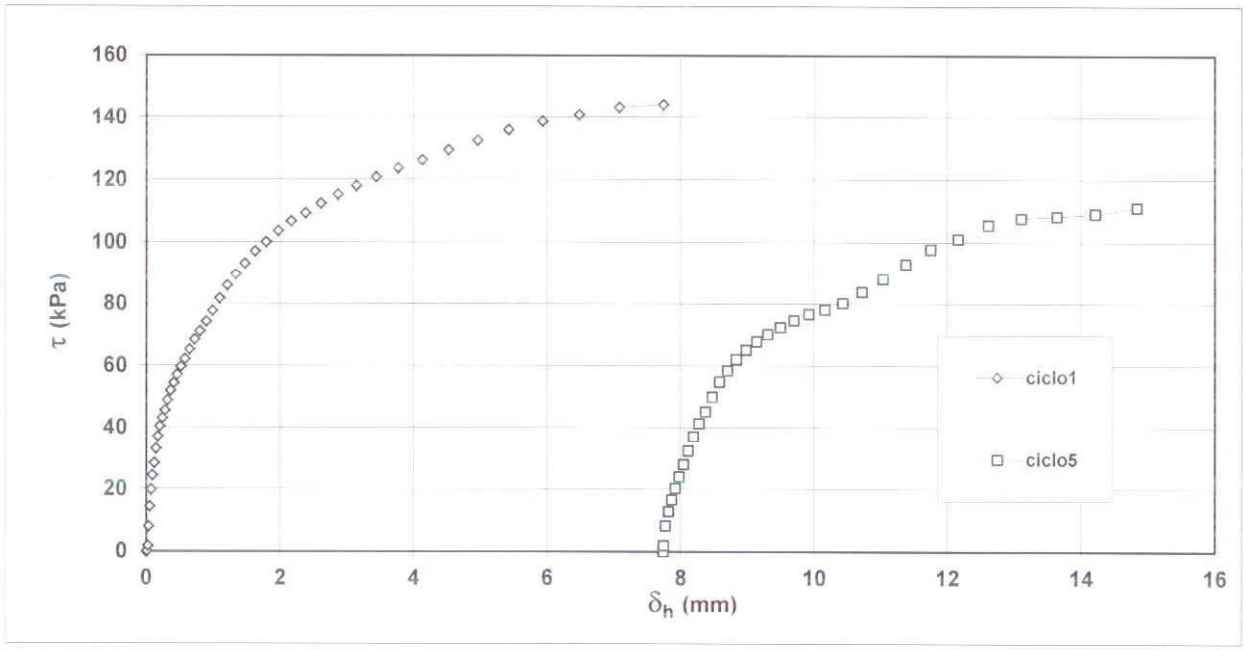
PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma τ / σ

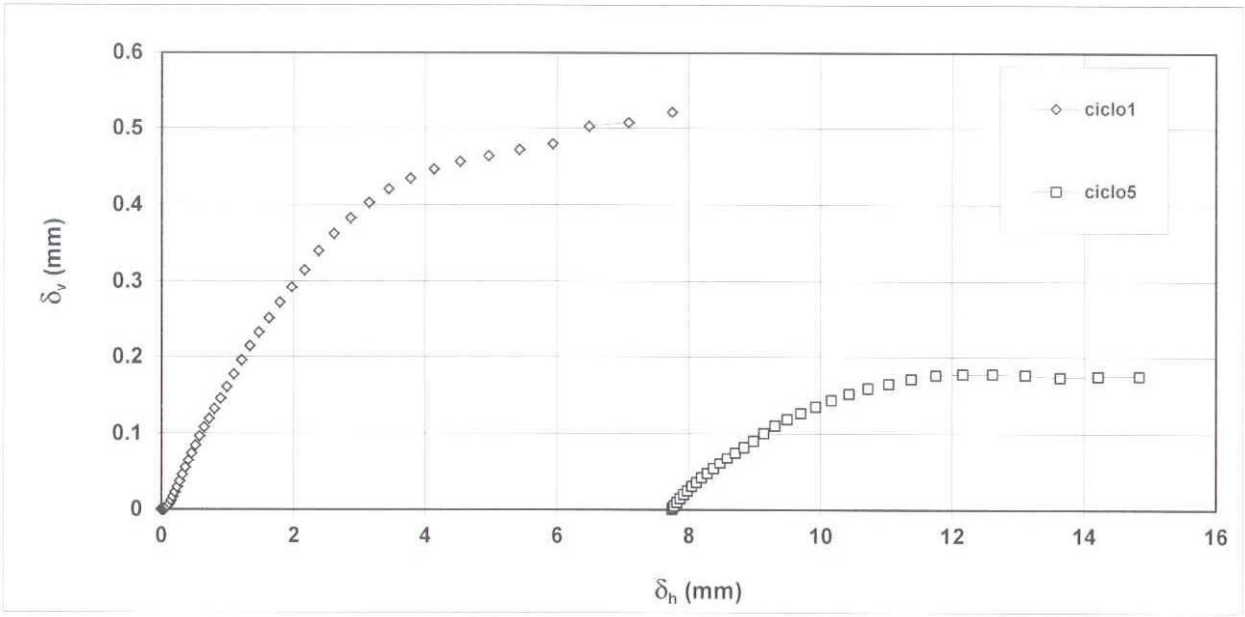
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

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

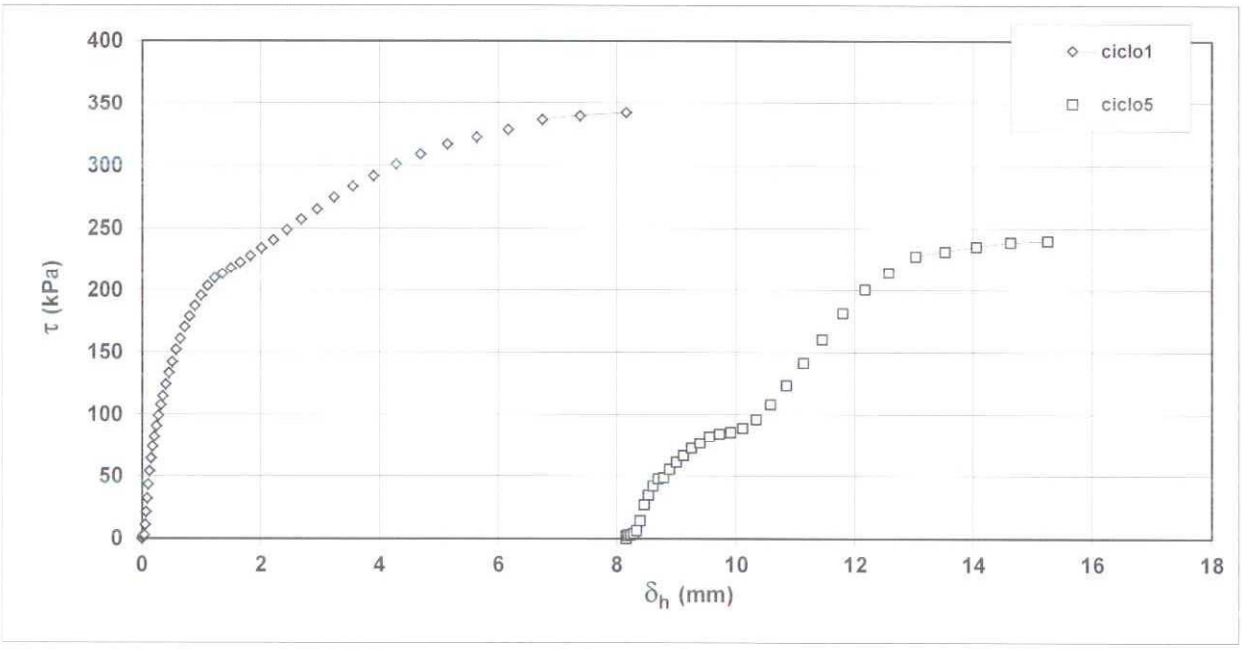
PROVA DI TAGLIO DIRETTO - Det. resistenza massima e residua: diagramma τ / σ

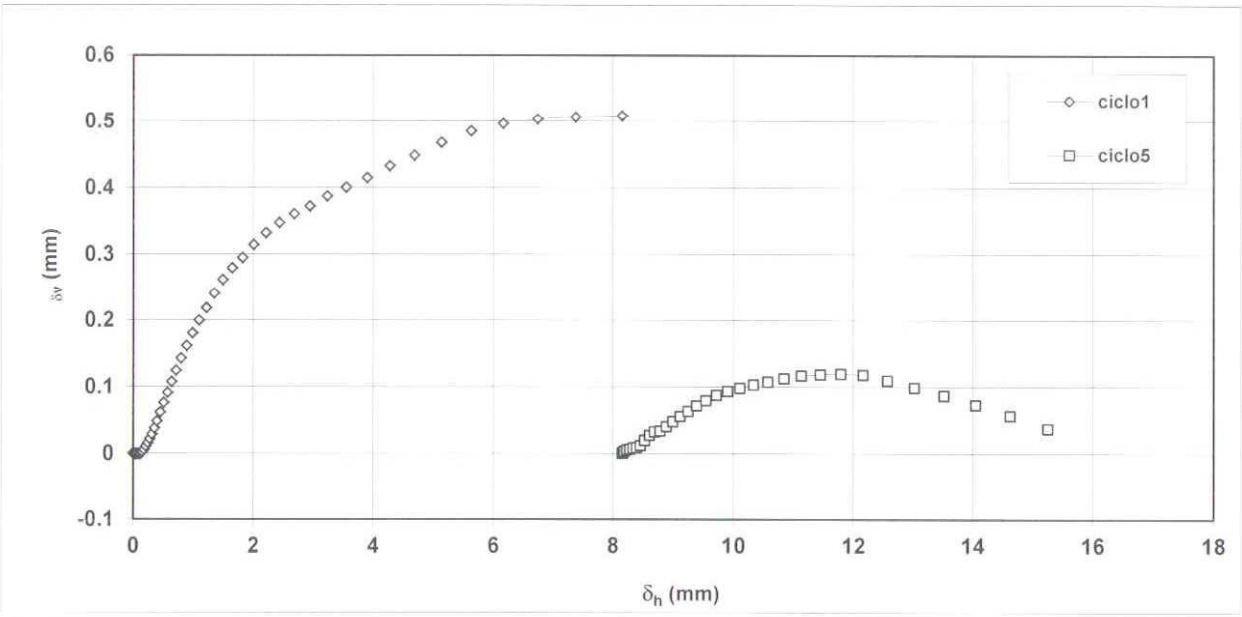
Concessione Ministeriale Decreto n° 55126 del 12 luglio 2006 - Settori A, B e C

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

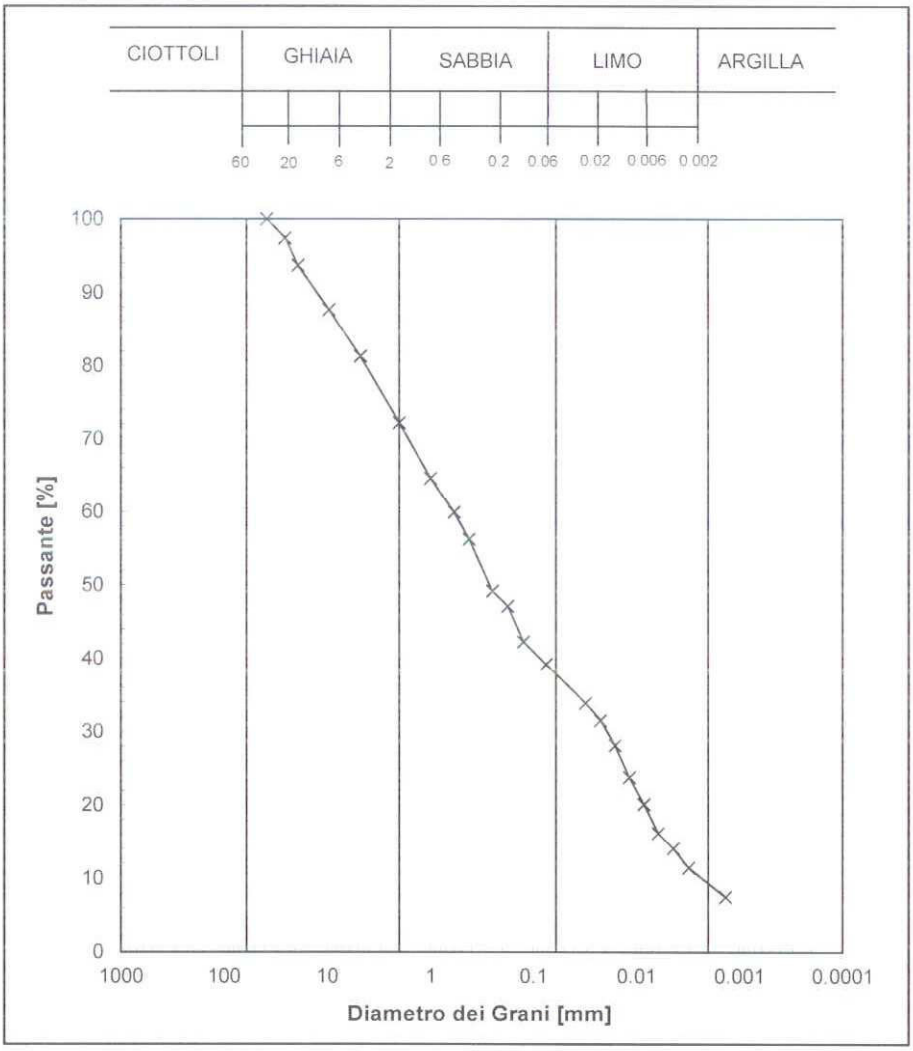
Committente:	WASTEITALIA
Cantiere:	BOSSARINO
Sondaggio:	S9
Campione:	CR7
Profondità prelievo [m]:	21 - 22
Prova:	GR1
Data prova:	10/06/2016

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

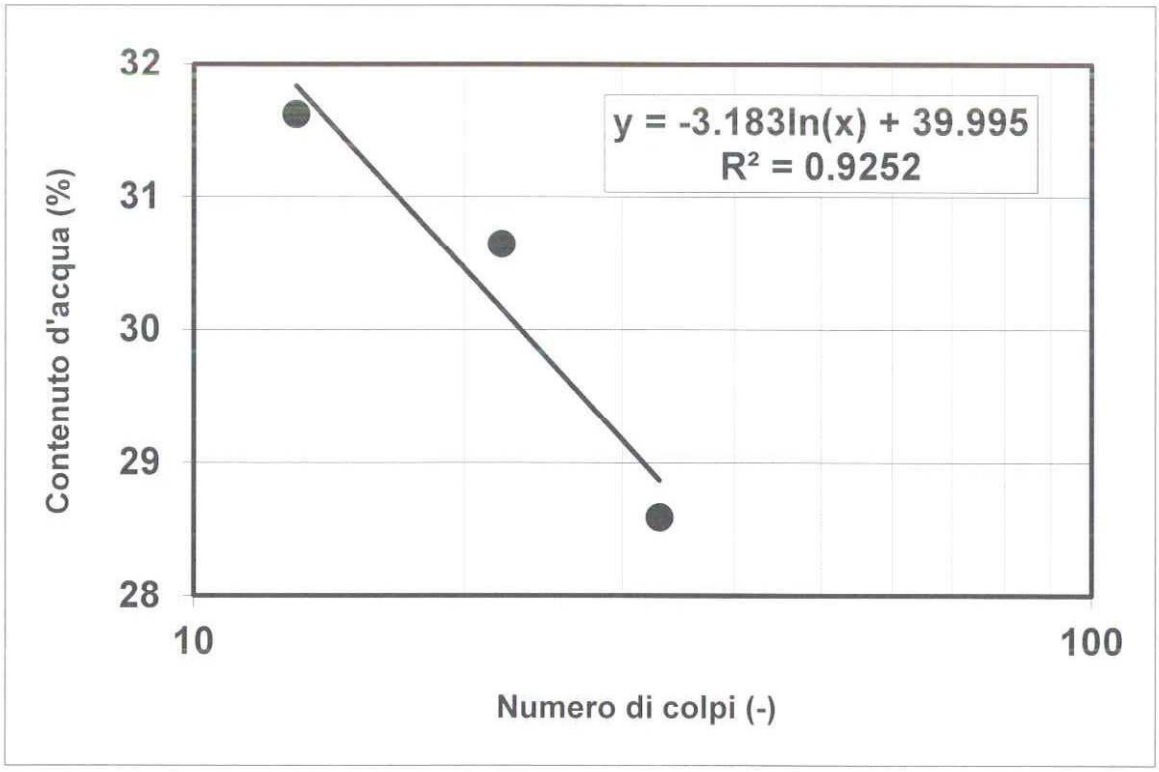
Normativa di riferimento: ASTM D4318
N° certificato di prova: 024/16/A/035
N° verbale di accettazione: 024/2016

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	Angelotti	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

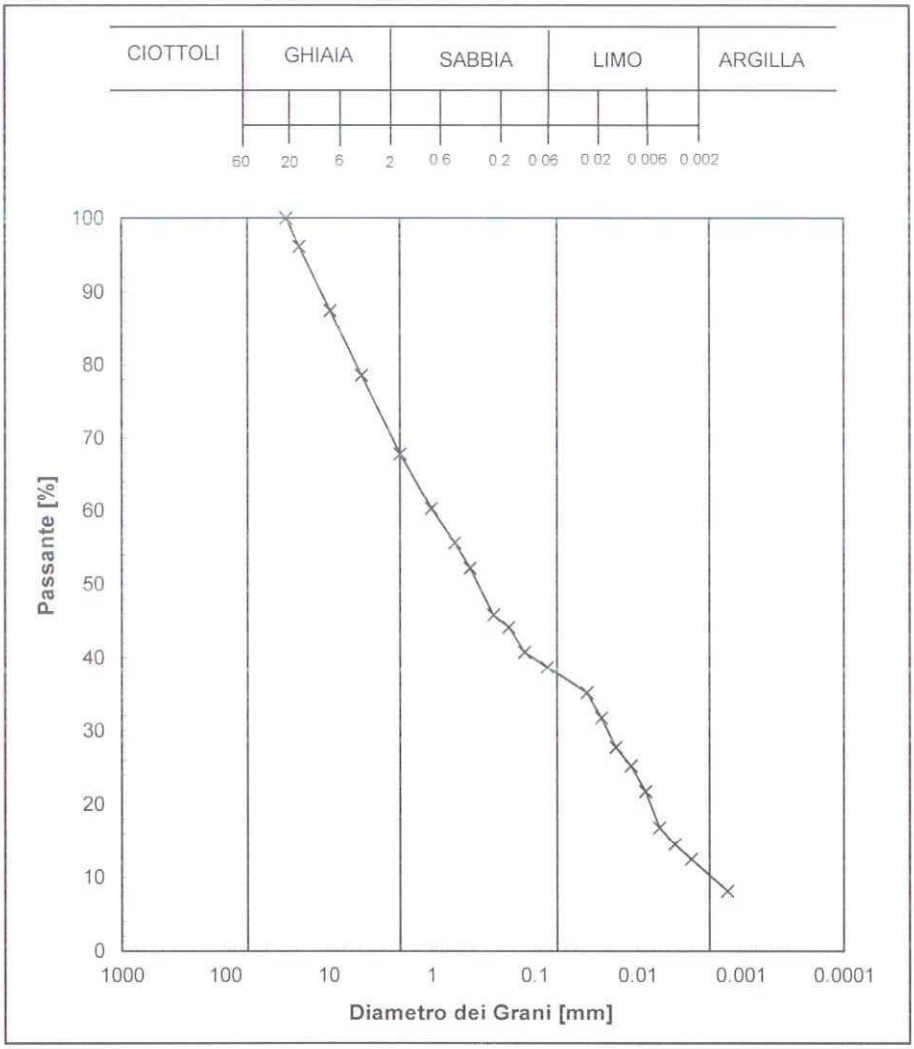
Committente:	WASTEITALIA
Cantiere:	BOSSARINO
Sondaggio:	S10
Campione:	CR1
Profondità prelievo [m]:	4 - 5
Prova:	GR1
Data prova:	10/06/2016

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	1.0146
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

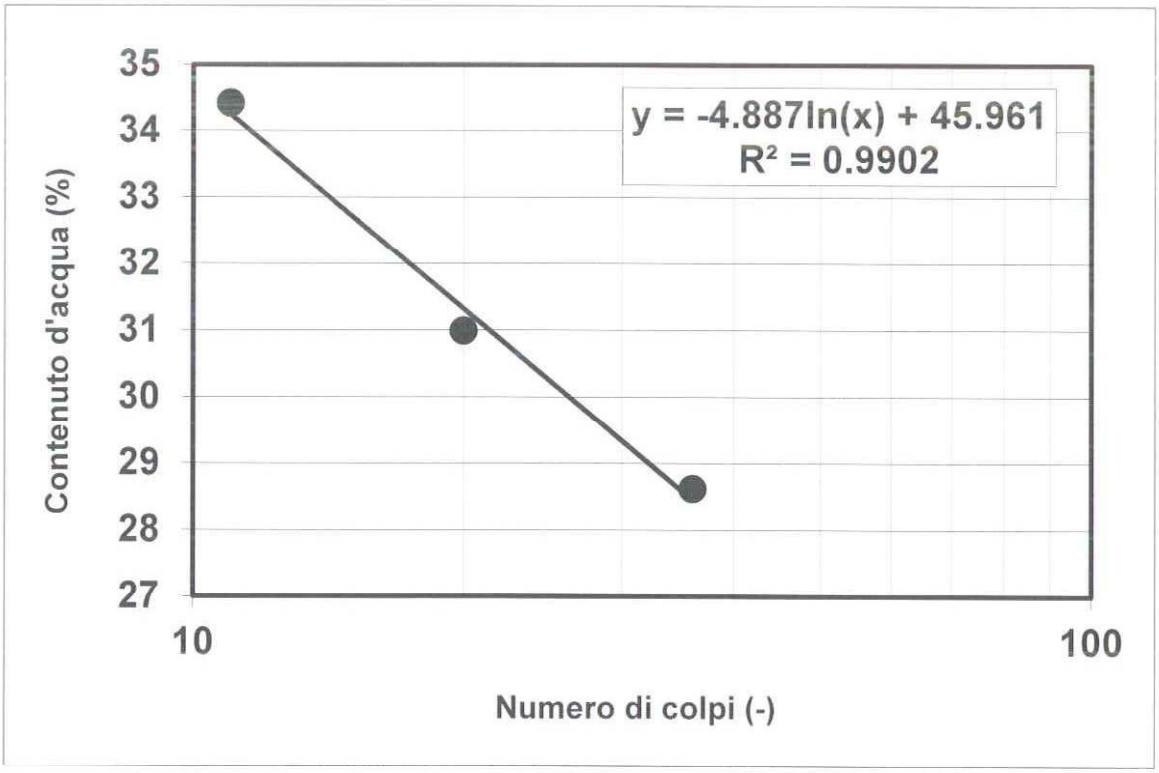
Committente:	WASTEITALIA
Cantiere:	BOSSARINO
Sondaggio:	S10
Campione:	CR1
Profondità prova [m]:	4.00 - 5.00
Prova:	LLP1
Data prova:	16/06/2016

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	Sirtori	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
	[°]	[°]
ϕ'_A	36.13	26.10
ϕ'_B	35.18	34.41
ϕ'_C	35.66	34.61
ϕ'_{MEDIO}	**35.66**	**31.71**

c'_{PICCO}	3
$c'_{RESIDUO}$	0

Tabella 1- Interpretazione prova di compressione triassiale S6 C-RIF3 - rifiuto

	picco	residuo
	[°]	[°]
ϕ'_A	19.54	18.26
ϕ'_B	22.42	21.55
ϕ'_C	20.99	19.93
ϕ'_{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
	[°]	[°]
ϕ'_A	39.35	32.82
ϕ'_B	35.75	26.45
ϕ'_C	40.61	29.74
ϕ'_{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	ϕ'_{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

ϕ'_{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)

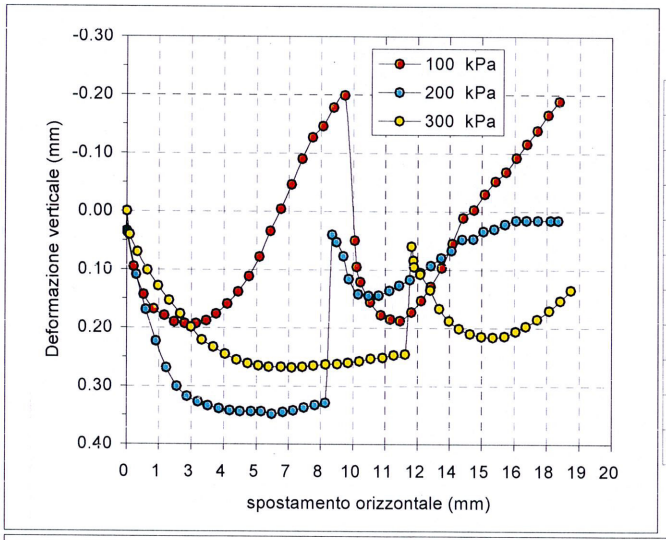
COMMITTENTE:	BOSSARINO Srl - loc. Bossarino - Vado Ligure (SV)		
CANTIERE:	loc. Bossarino - Vado Ligure (SV)		
CAMPIONE:	G13AB RA1 14.00-14.60		
COMMESSA:	12543/13	DURATA PROVE:	25/11 - 20/12/13
VERBALE ACC.:	262/13	DATA CONSEGNA:	15/11/13
GEO - CERT. n°:	G137618	rev.00 del:	20/12/13

Il campione è stato conservato in vasca umidostatica

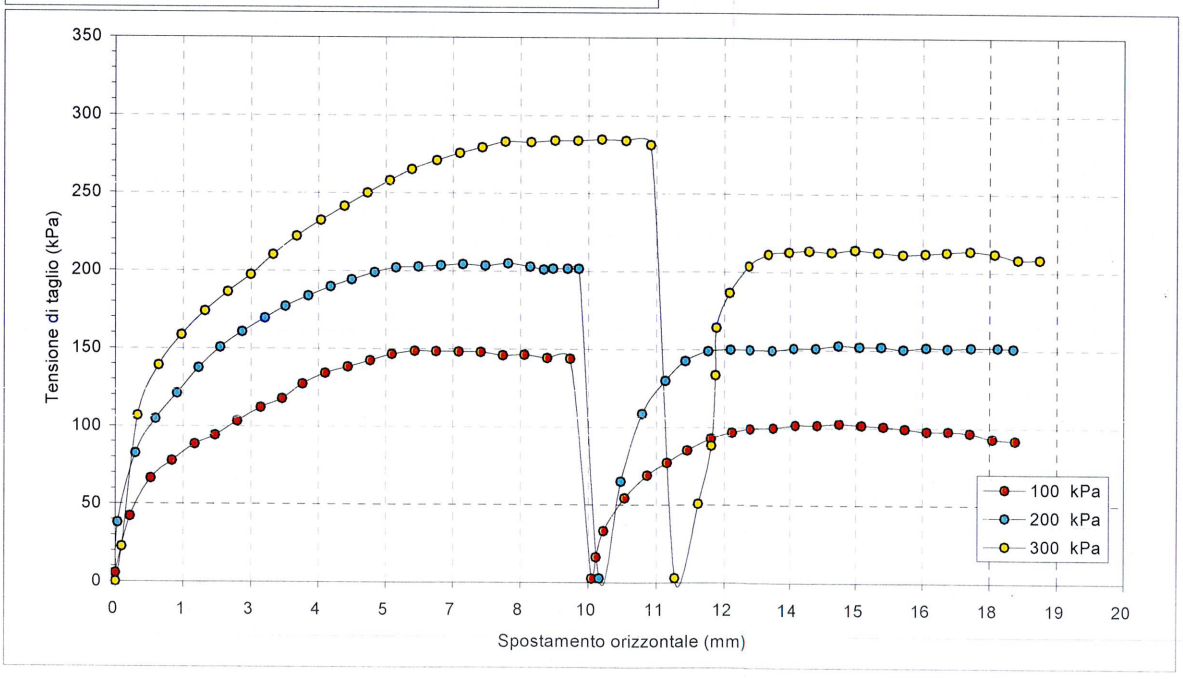
CODICI STRUMENTAZIONE: calibro 12; bilancia 480; trasduttori LVDT 540, 540, 543, 544; SG 539, 542.

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
G6026/Sistema Qualità Elletipi s.r.l.

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

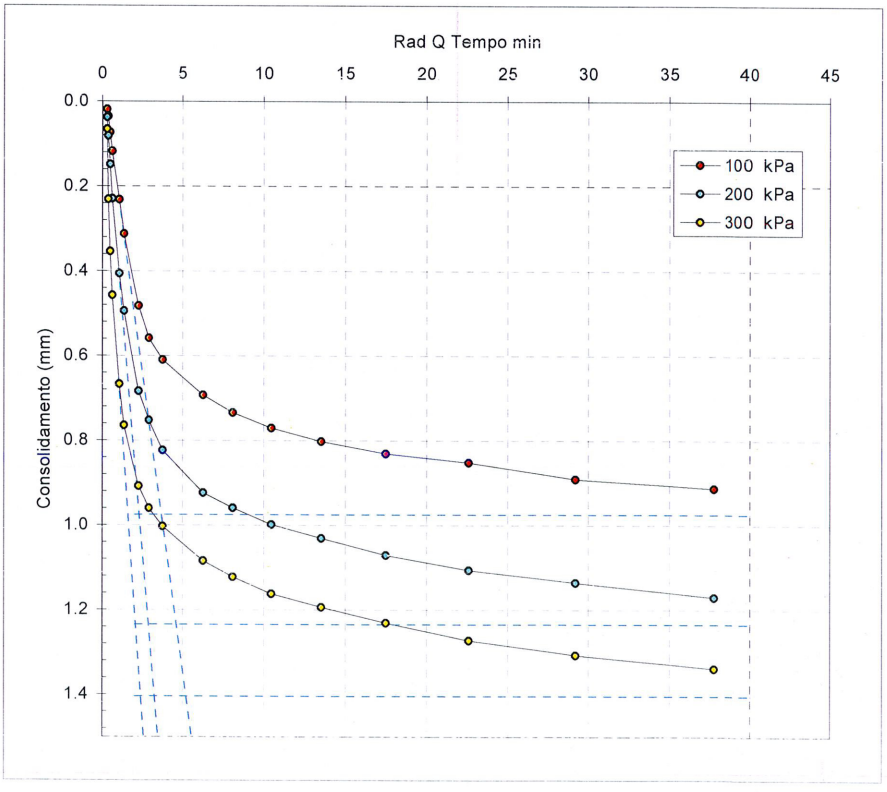
200 kPa

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

AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE INTEGRATO CERTIFICATO DA DNV
UNI EN ISO 9001/2000
UNI EN ISO 14001

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

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.

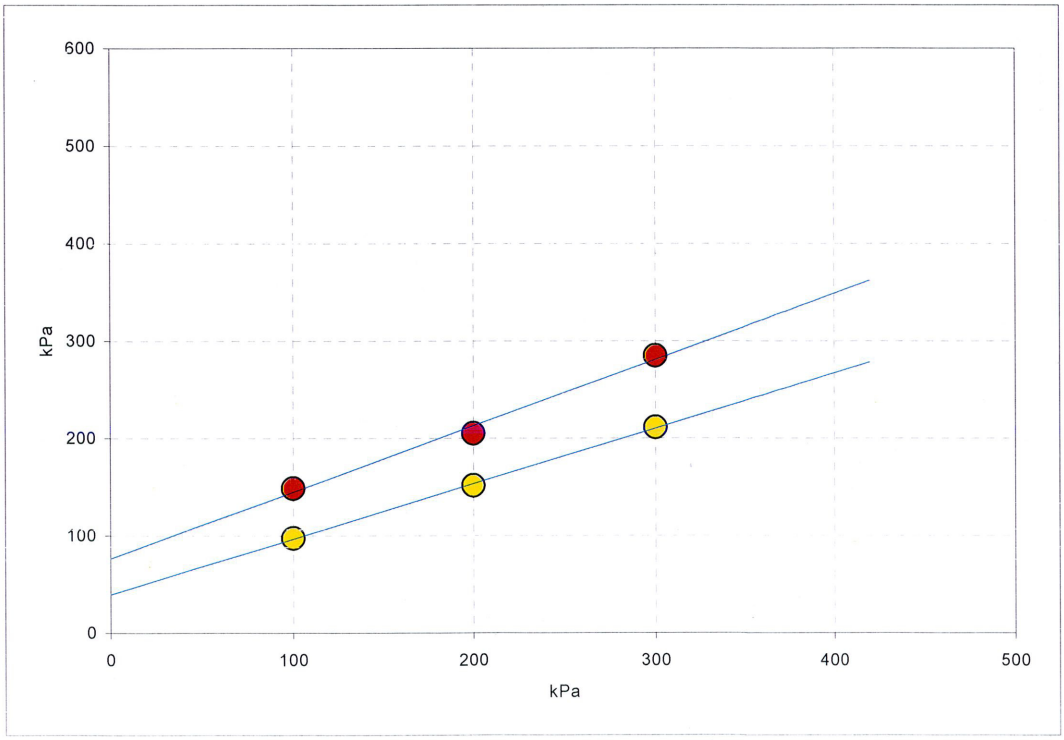
	PROVINO 1	PROVINO 2	PROVINO 3
Pressione verticale (kPa)	**100**	**200**	**300**
Tensione di taglio PICCO (kPa)	**148.47**	**204.87**	**284.71**
Tensione di taglio RESIDUO (kPa)	**97.31**	**151.44**	**211.13**

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 – Fase 1

Sezioni considerate per le analisi di stabilità

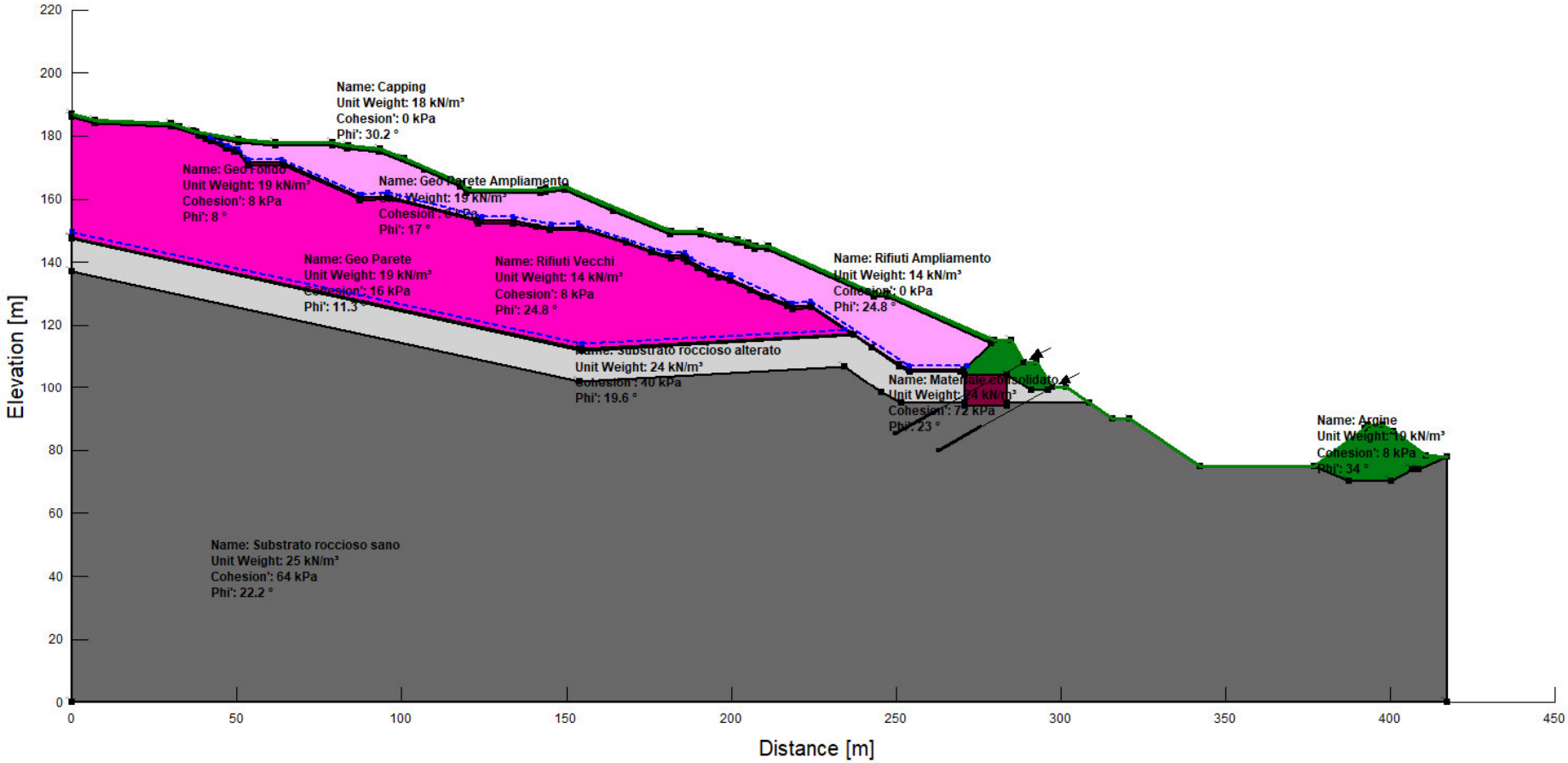


Figura 1: Sezione A-A'

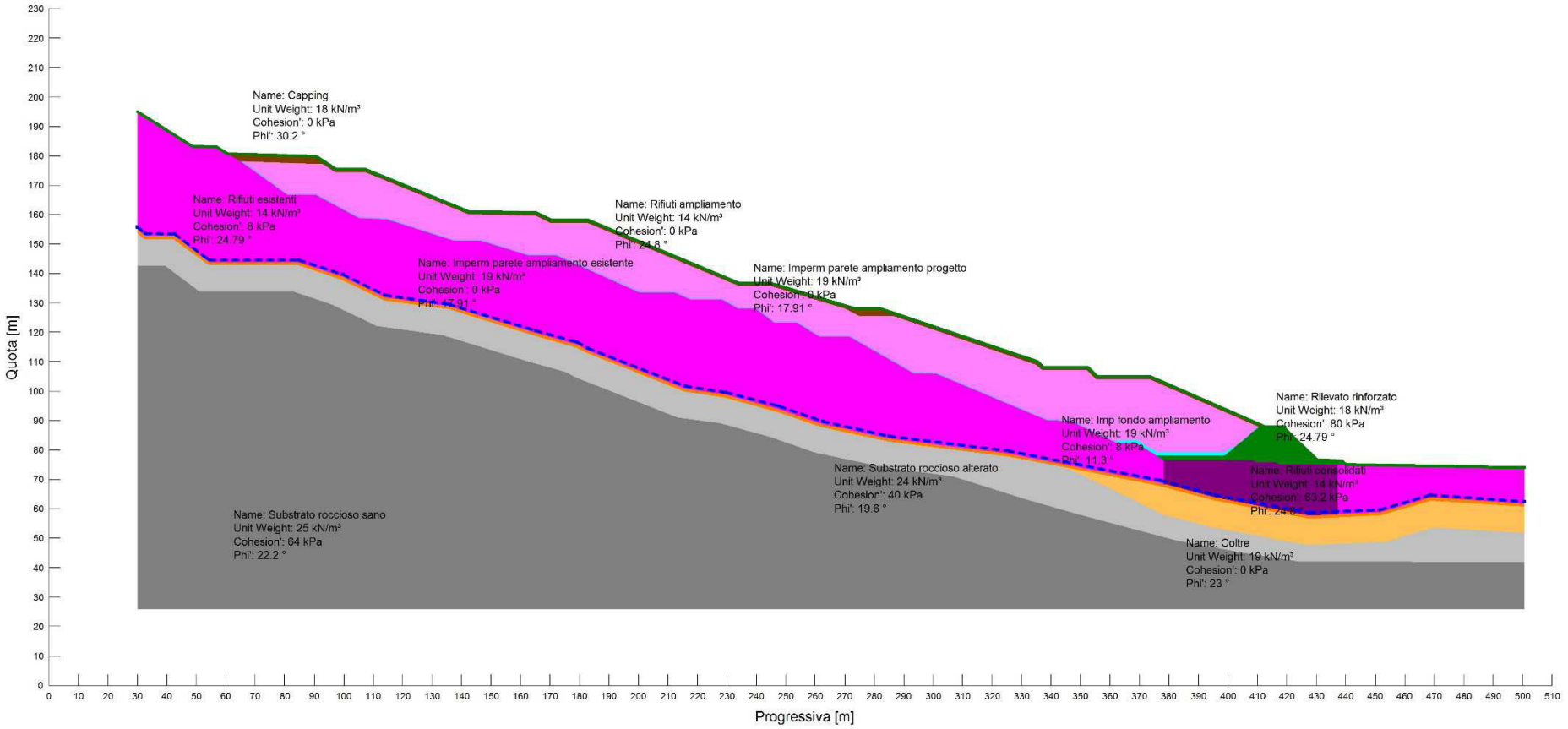


Figura-2: Sezione A6b-A6b

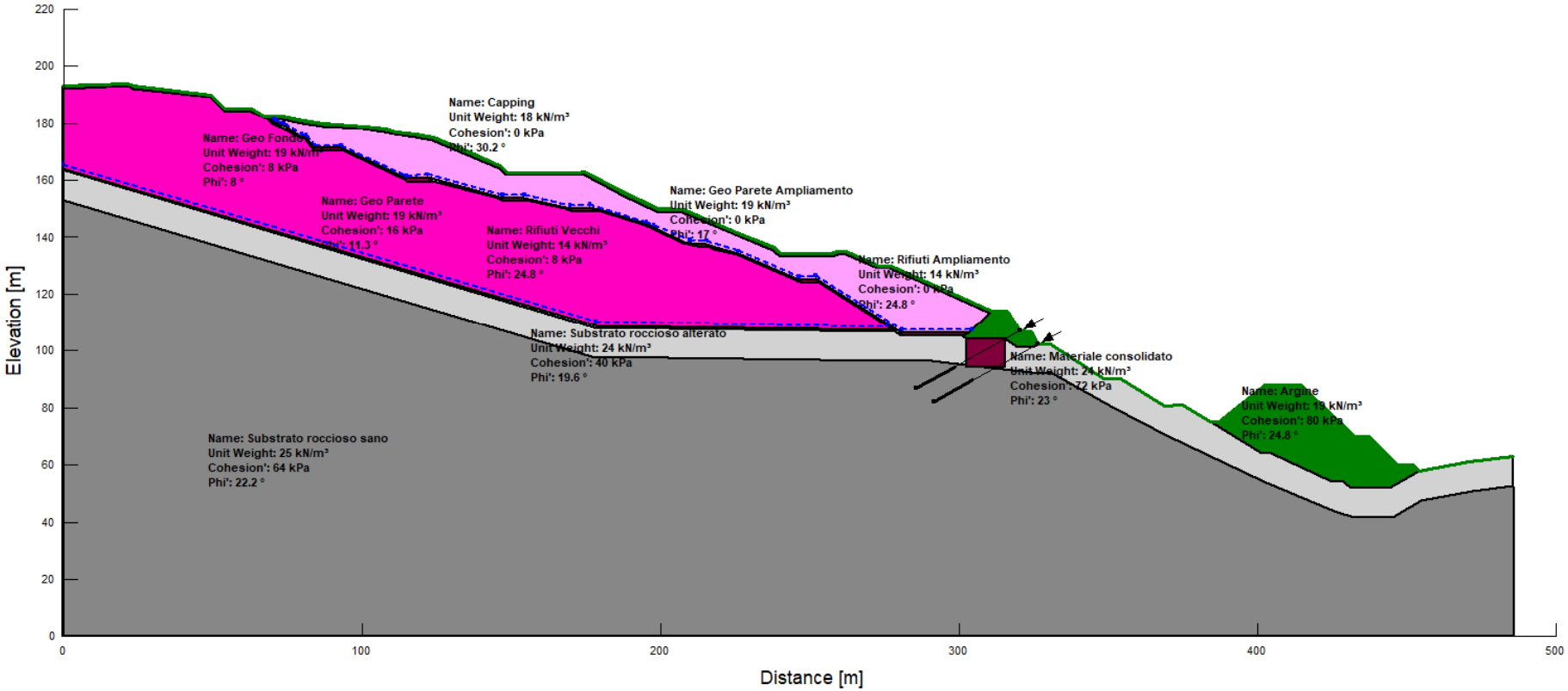


Figura 3: Sezione B-B'

Analisi di stabilità della discarica in condizioni statiche

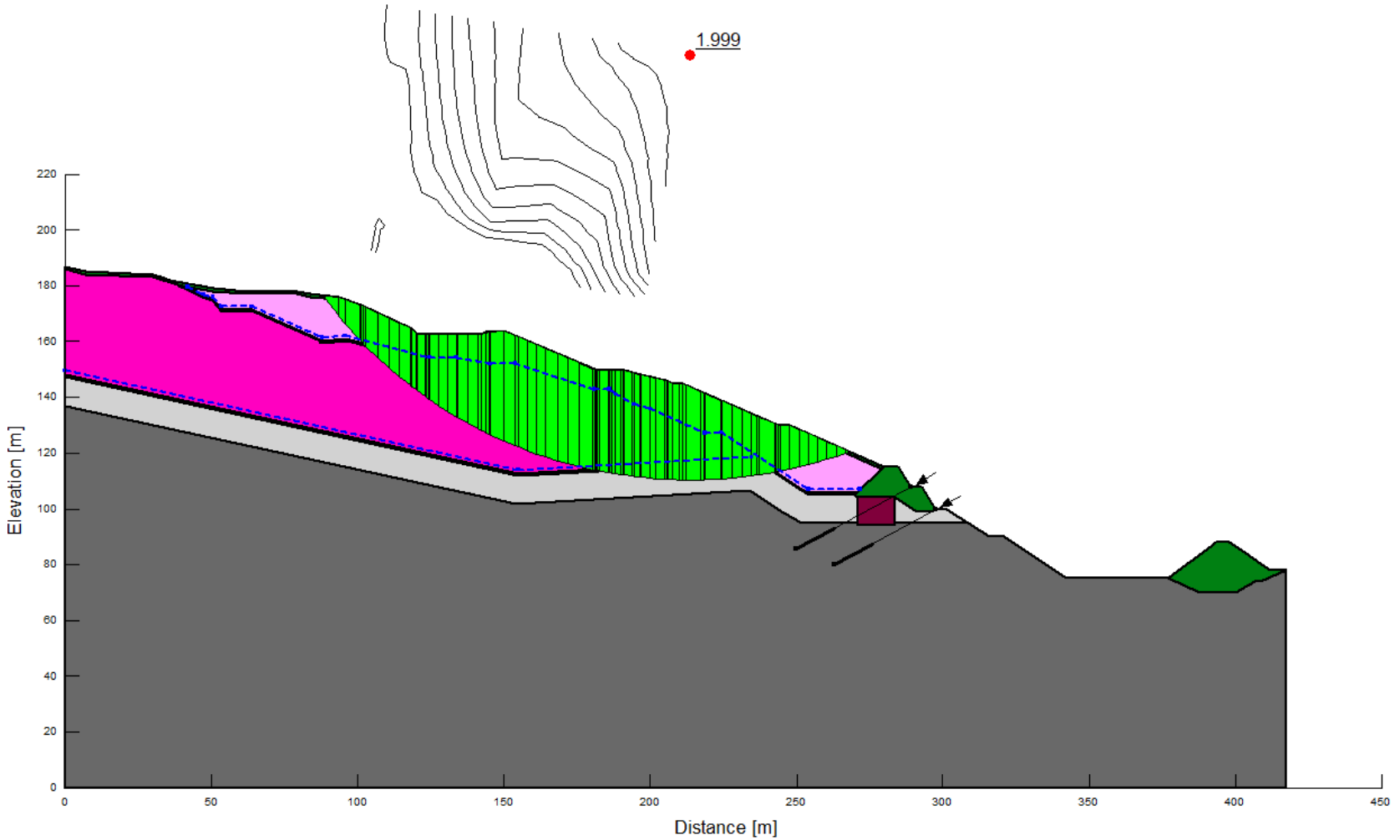


Figura 4a: Sezione A-A' -Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=1.999

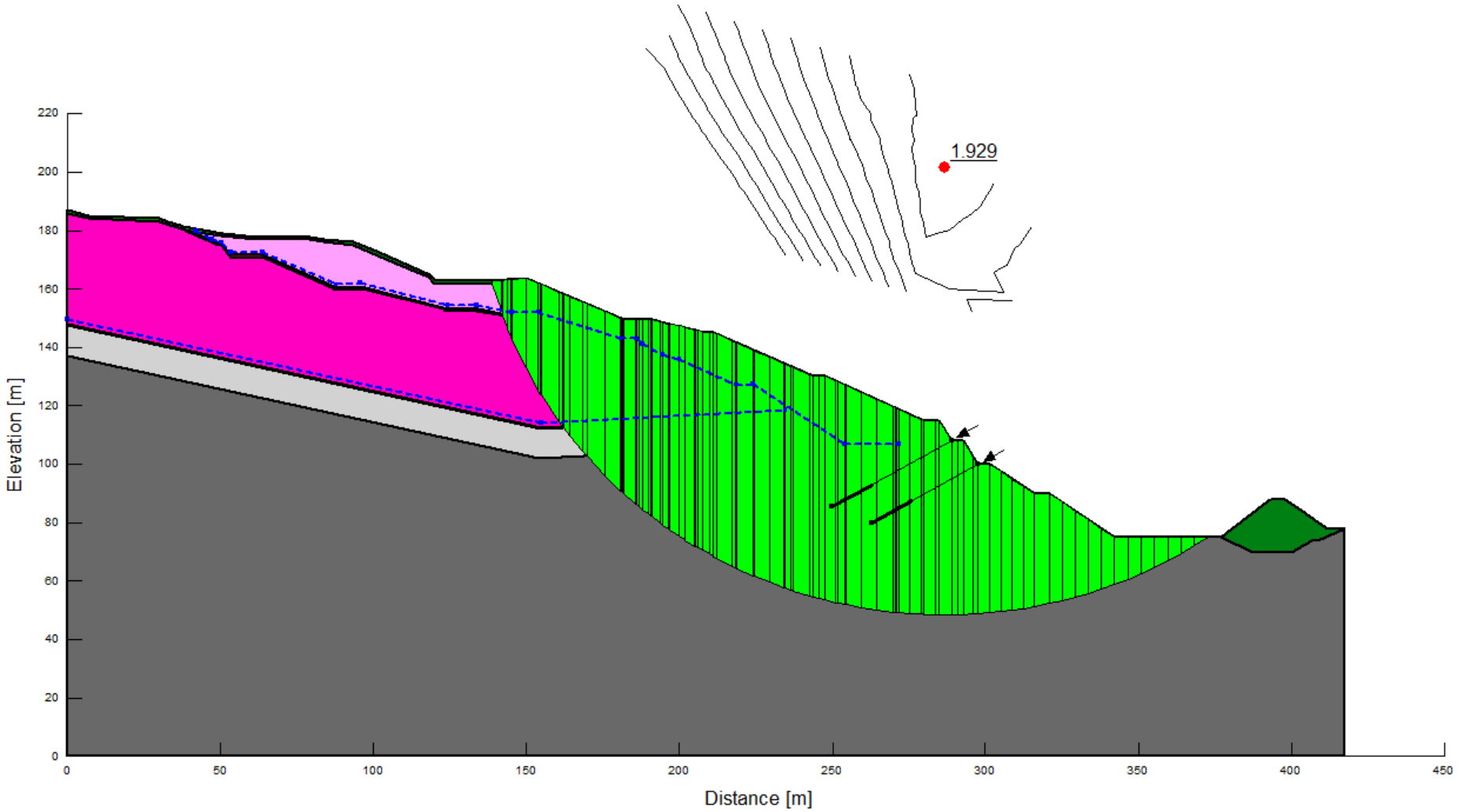


Figura 4b: Sezione A-A' -Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=1.929

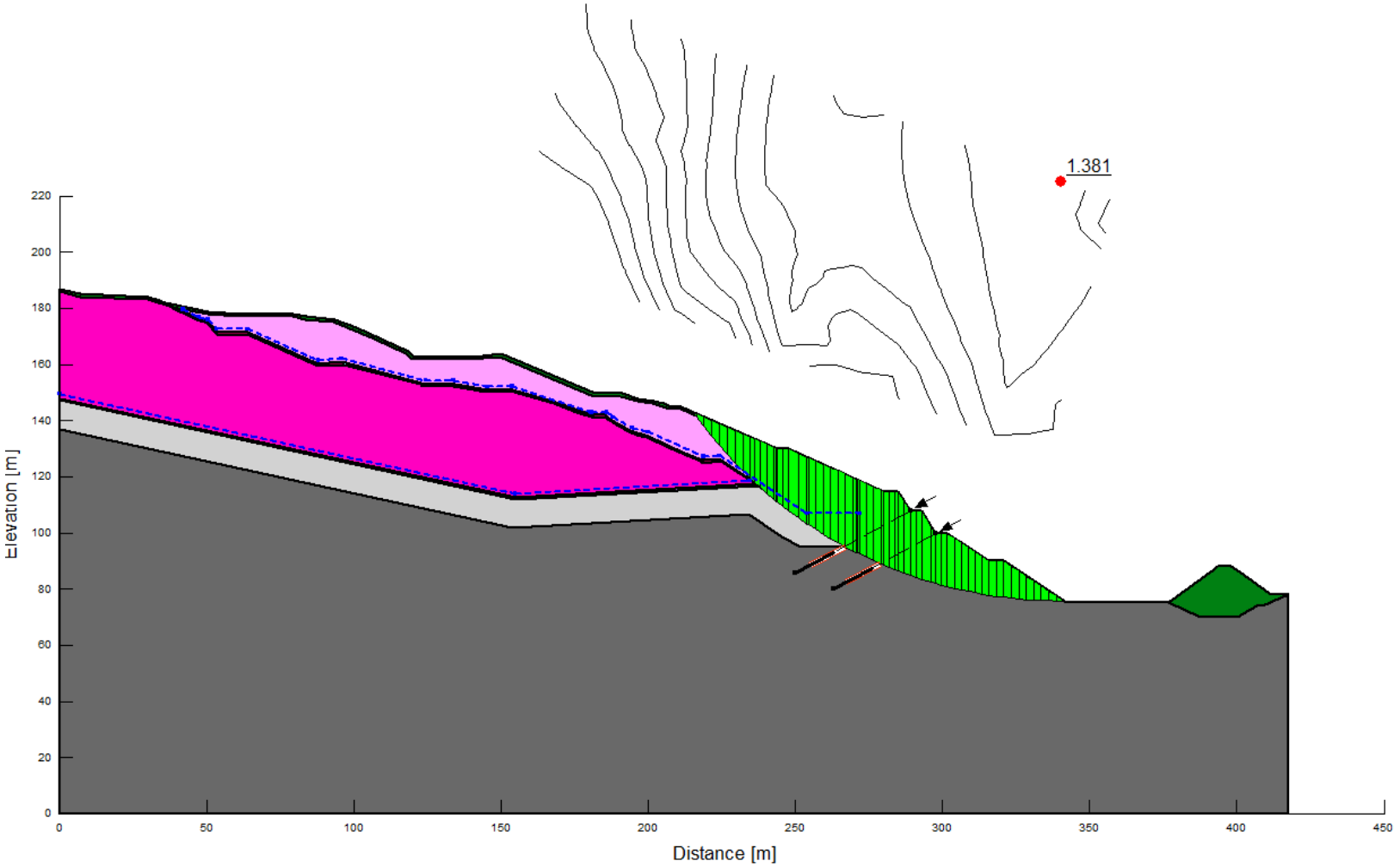


Figura 4c: Sezione A-A' -Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=1.381

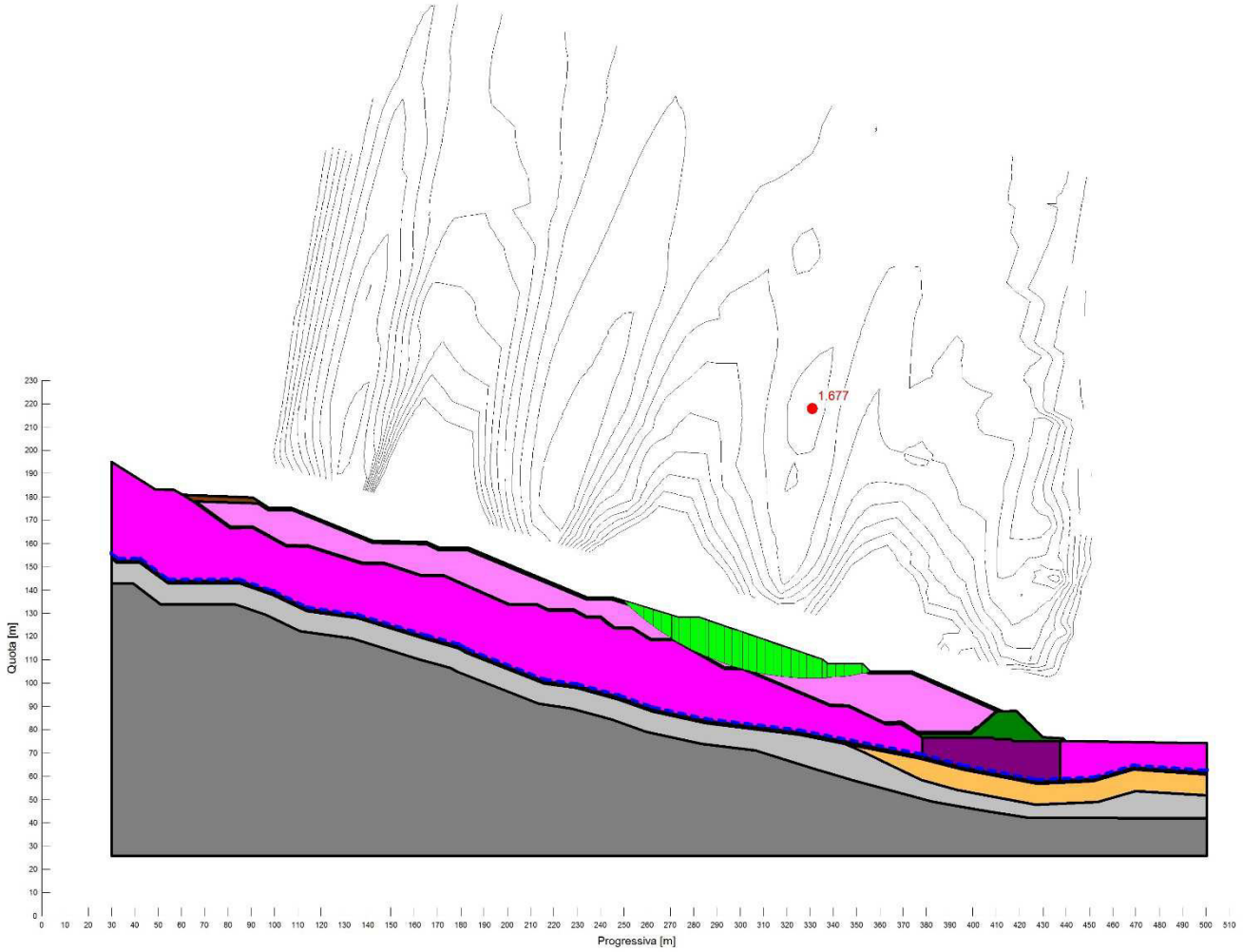


Figura 5a: Sezione A6b-A6b - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=1.677

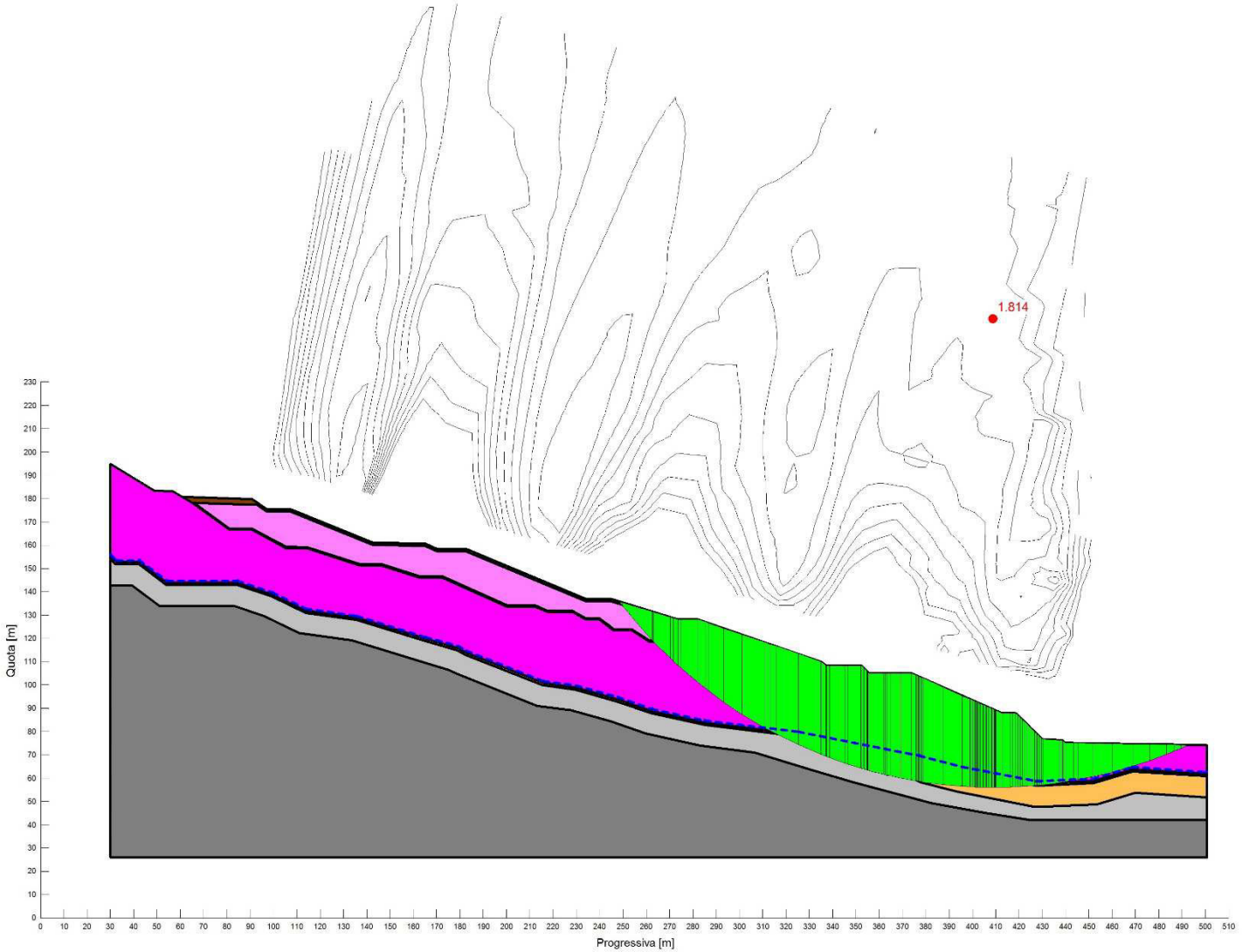


Figura 5b: Sezione A6b-A6b - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=1.814

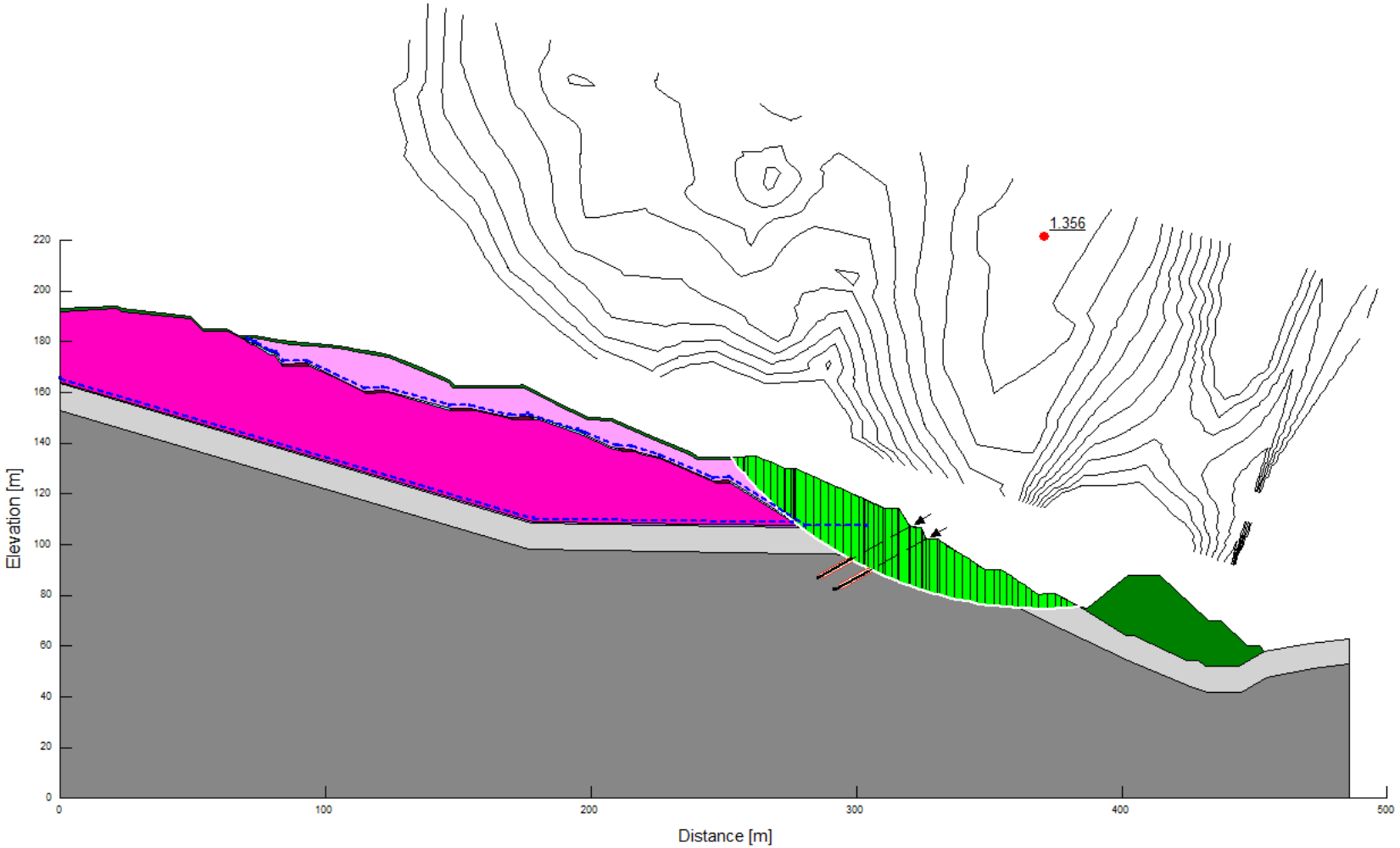


Figura 6a: Sezione B-B' - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=1.356

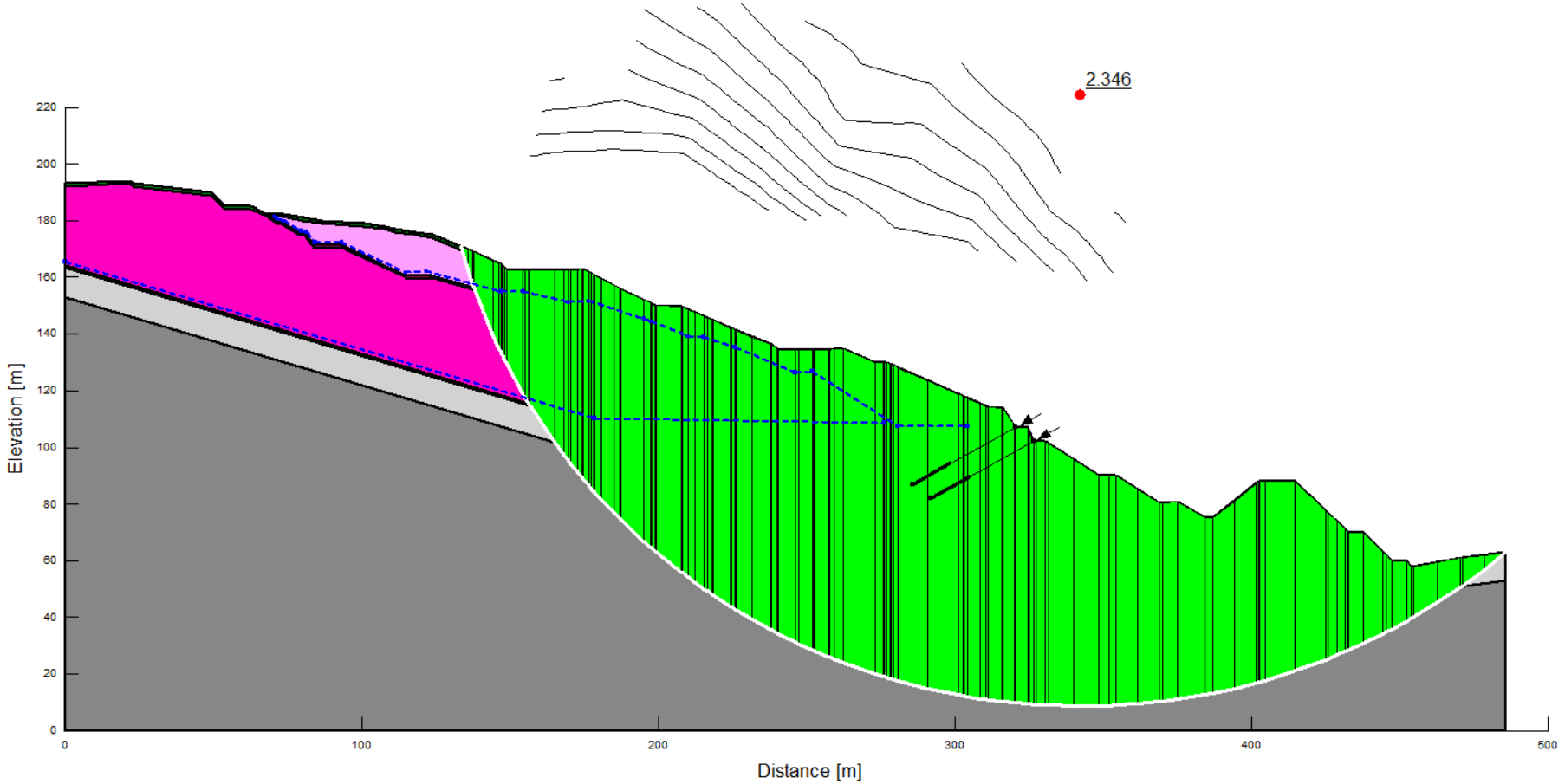


Figura 6b: Sezione B-B' - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=2.346

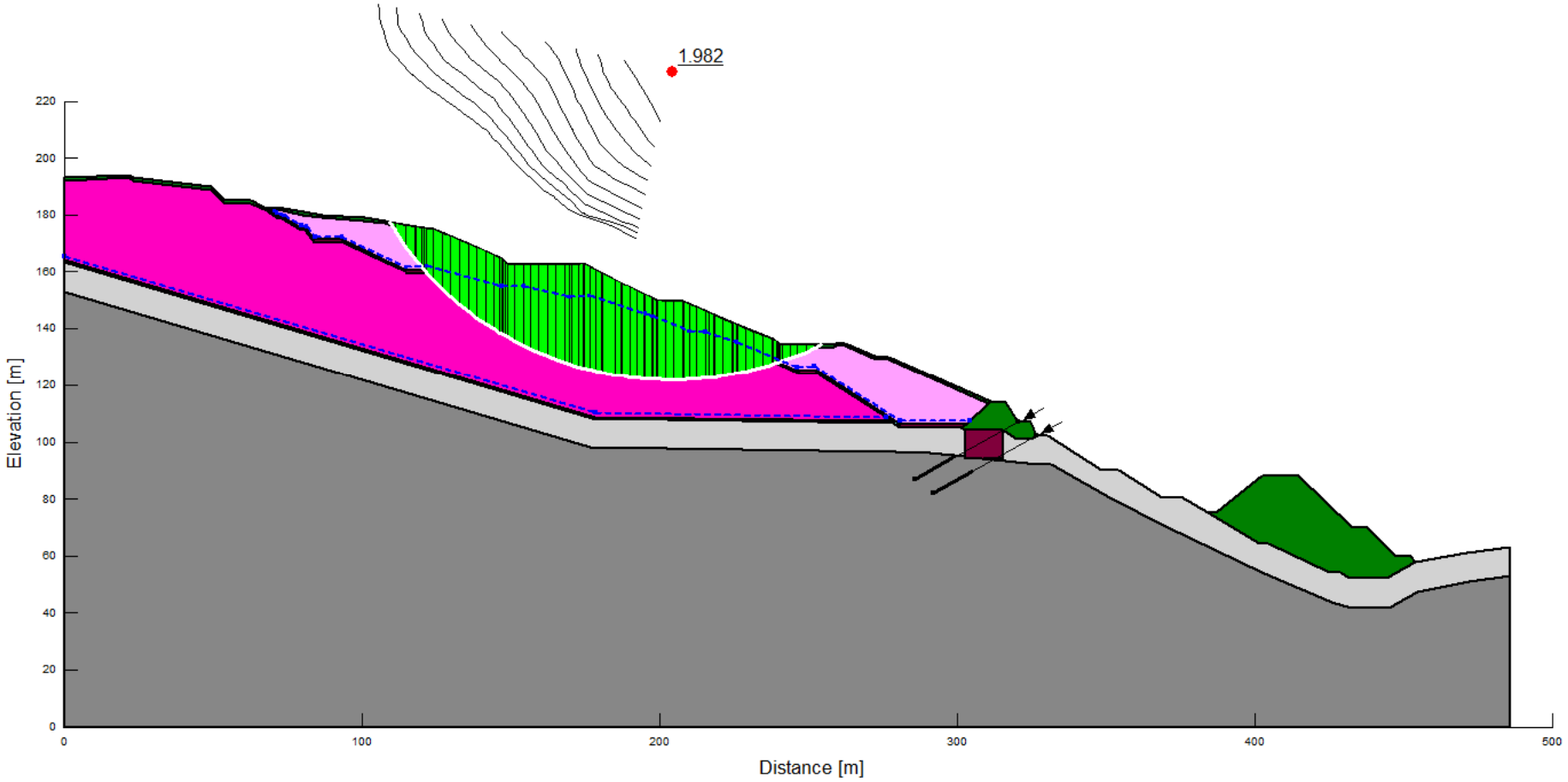


Figura 6c: Sezione B-B' - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=1.982

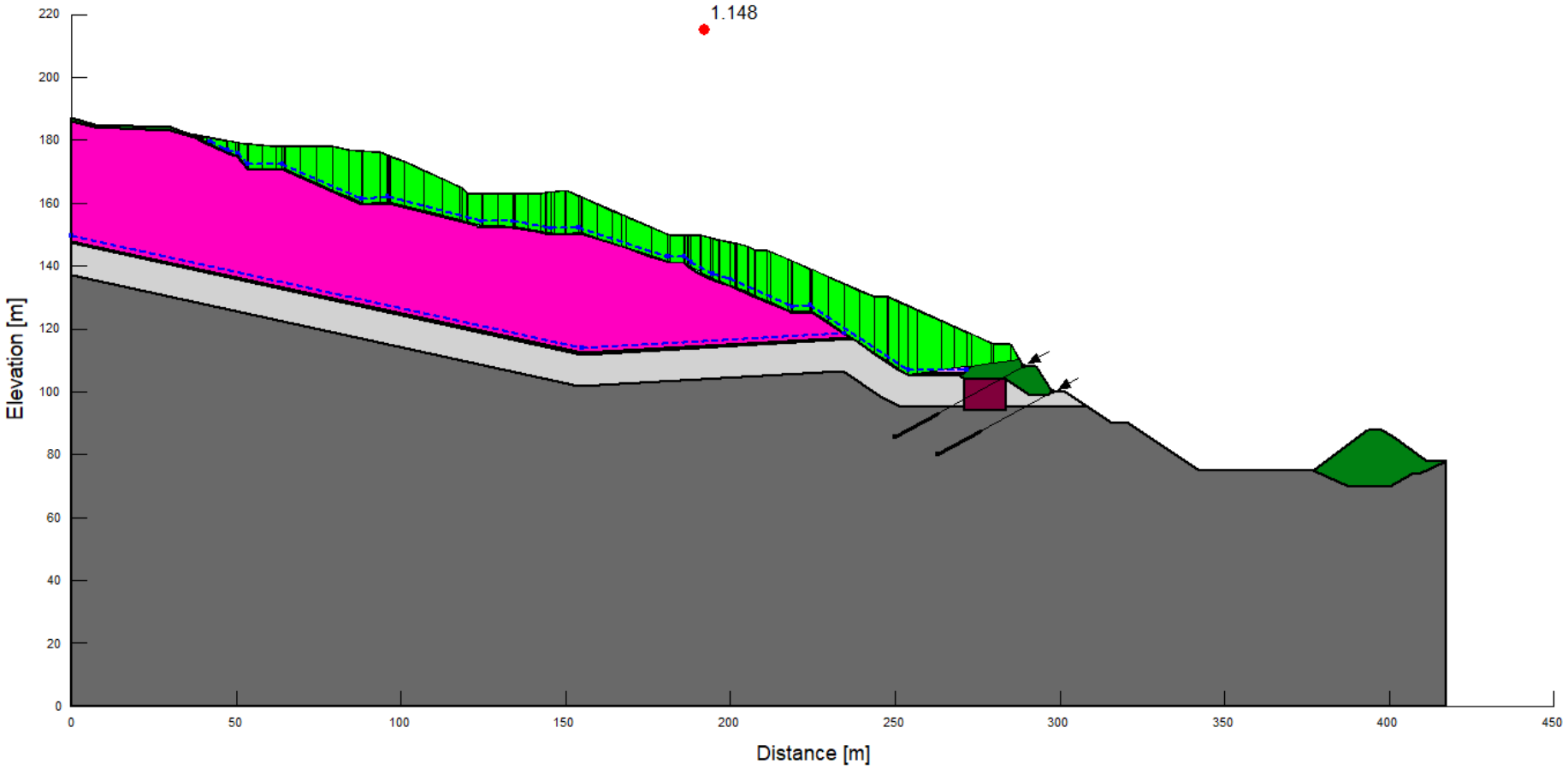


Figura 7a: Sezione A-A' -Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.148

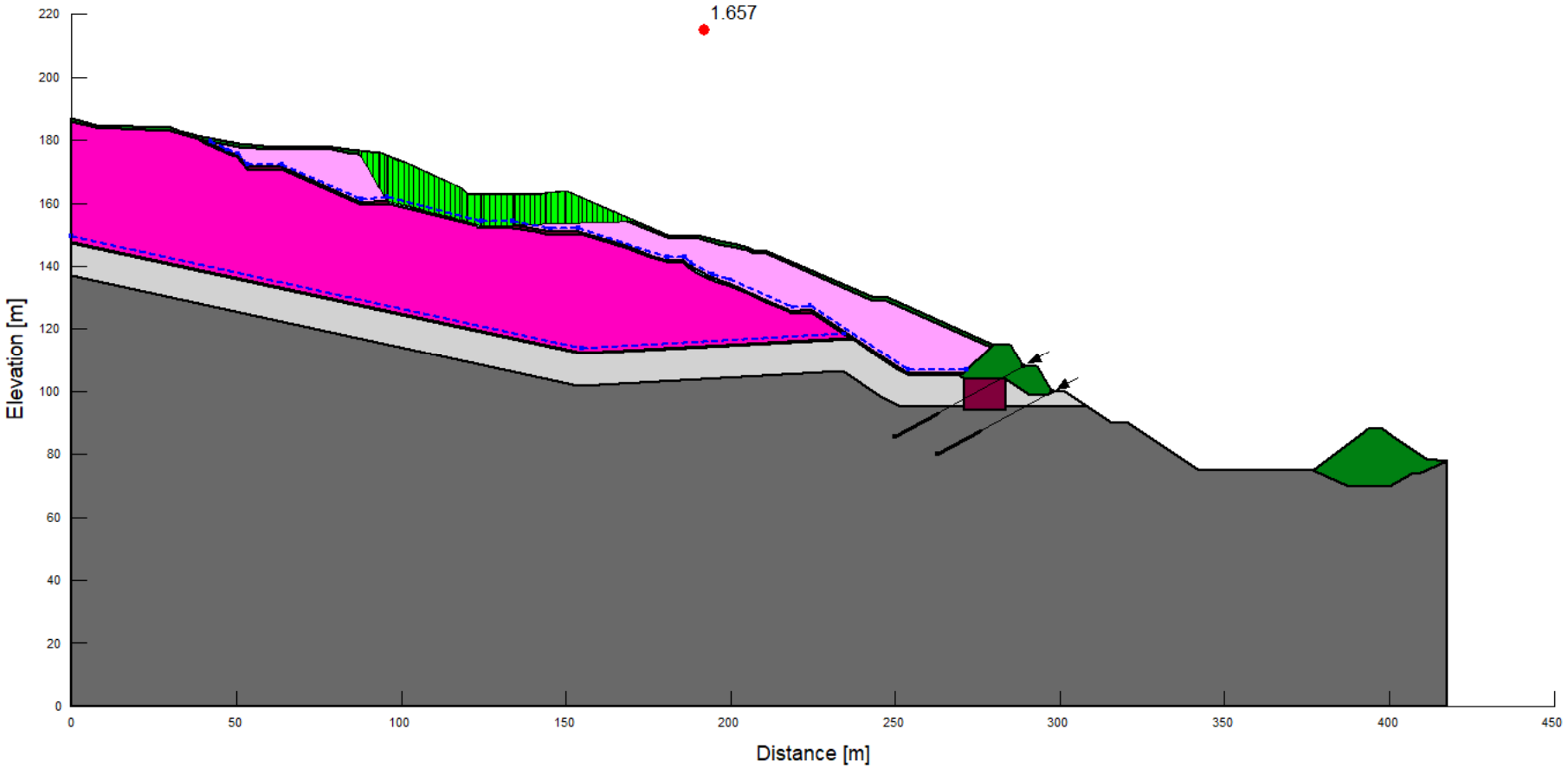


Figura 7b: Sezione A-A' -Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.657

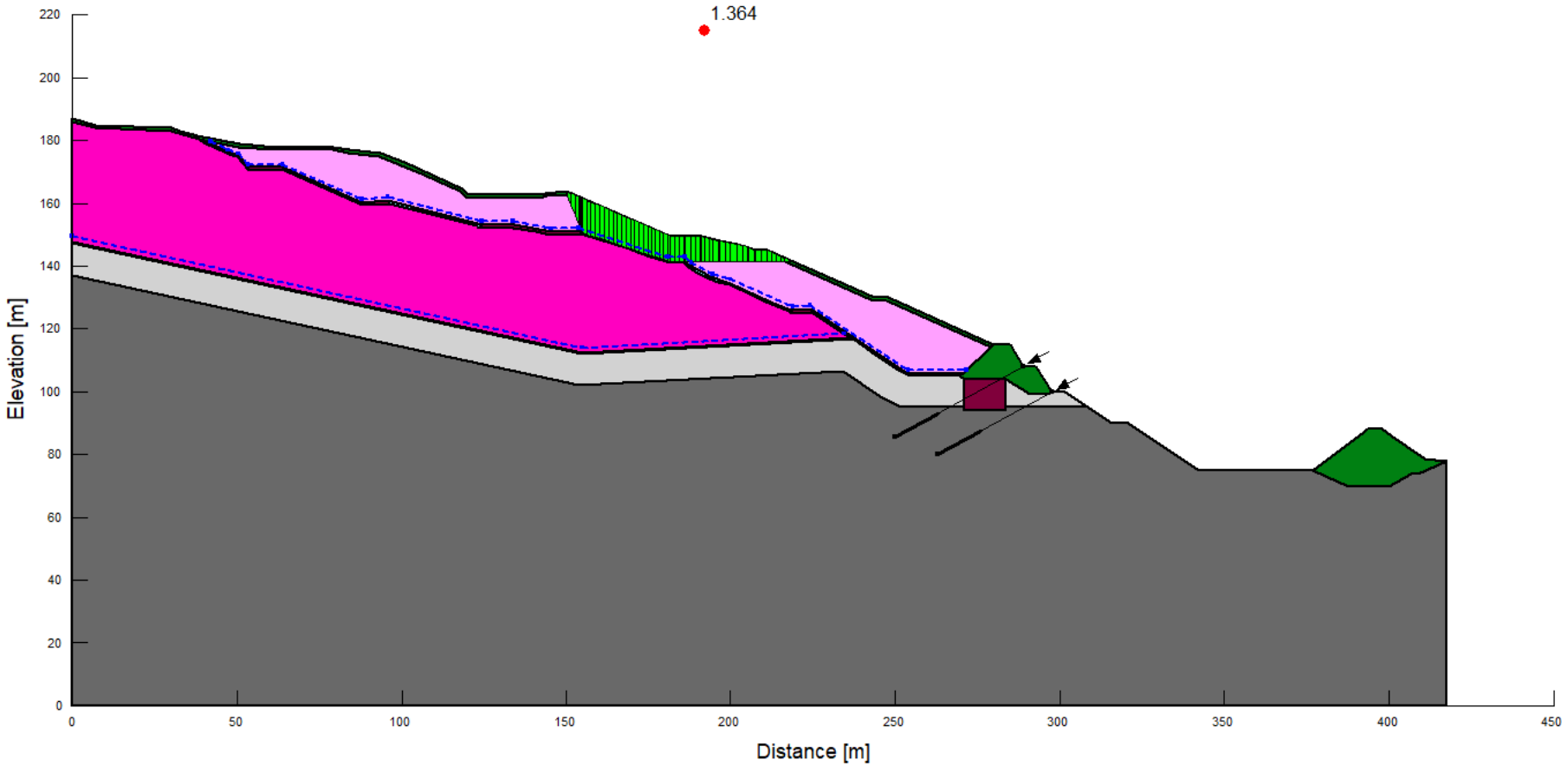


Figura 7c: Sezione A-A' -Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.364

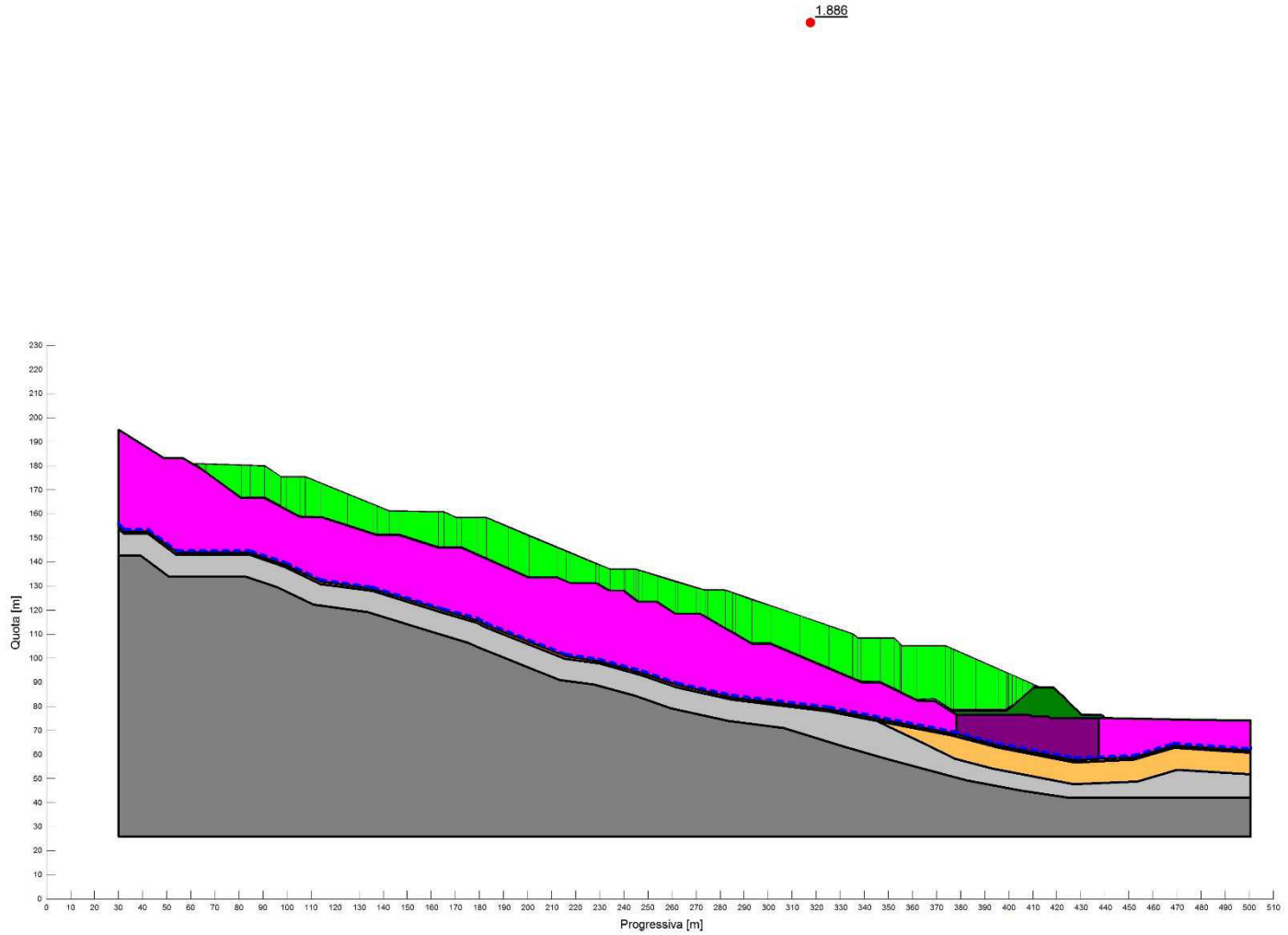


Figura 8a: Sezione A6b-A6b - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.886

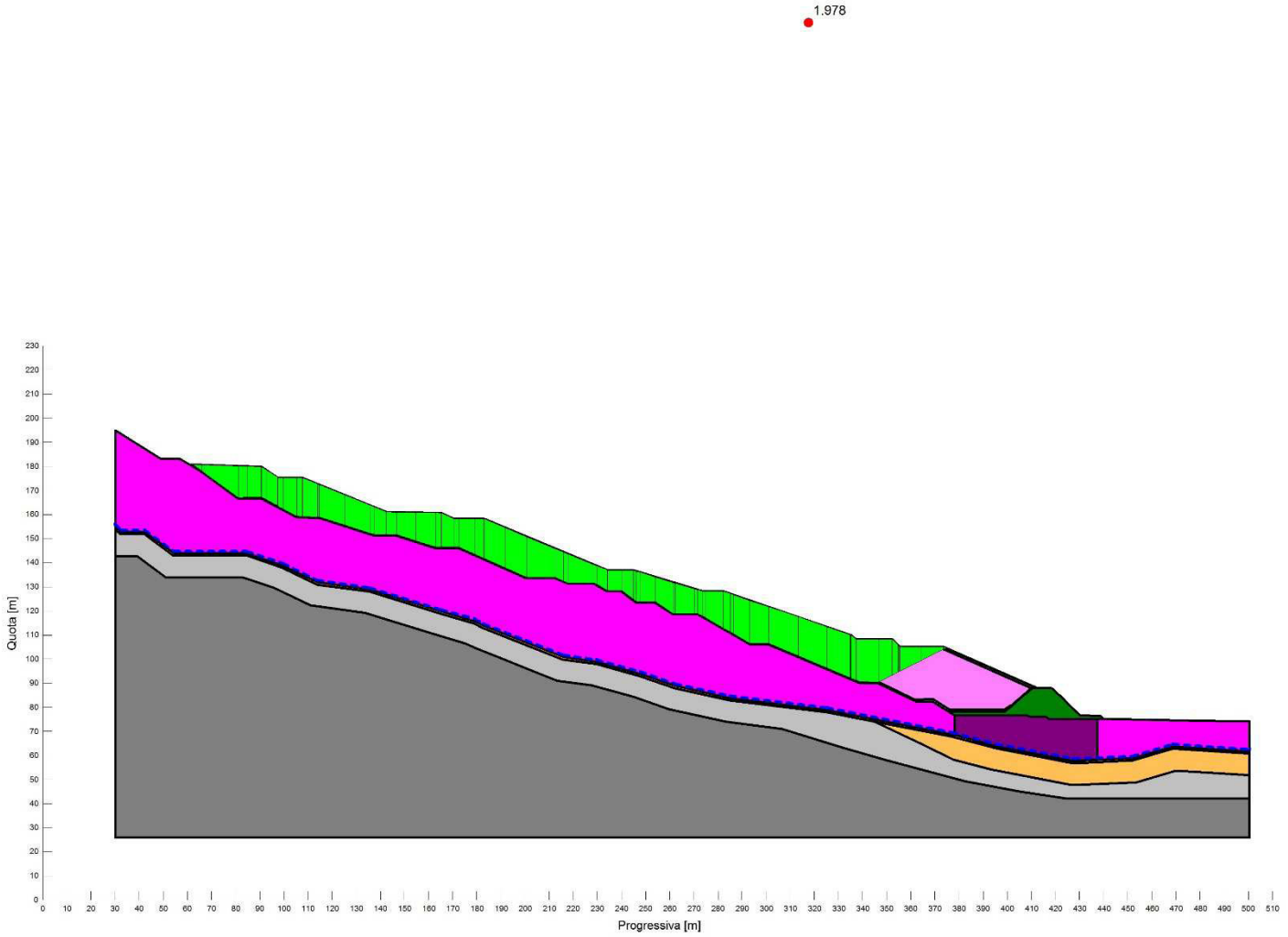


Figura 8b: Sezione A6b-A6b - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.978

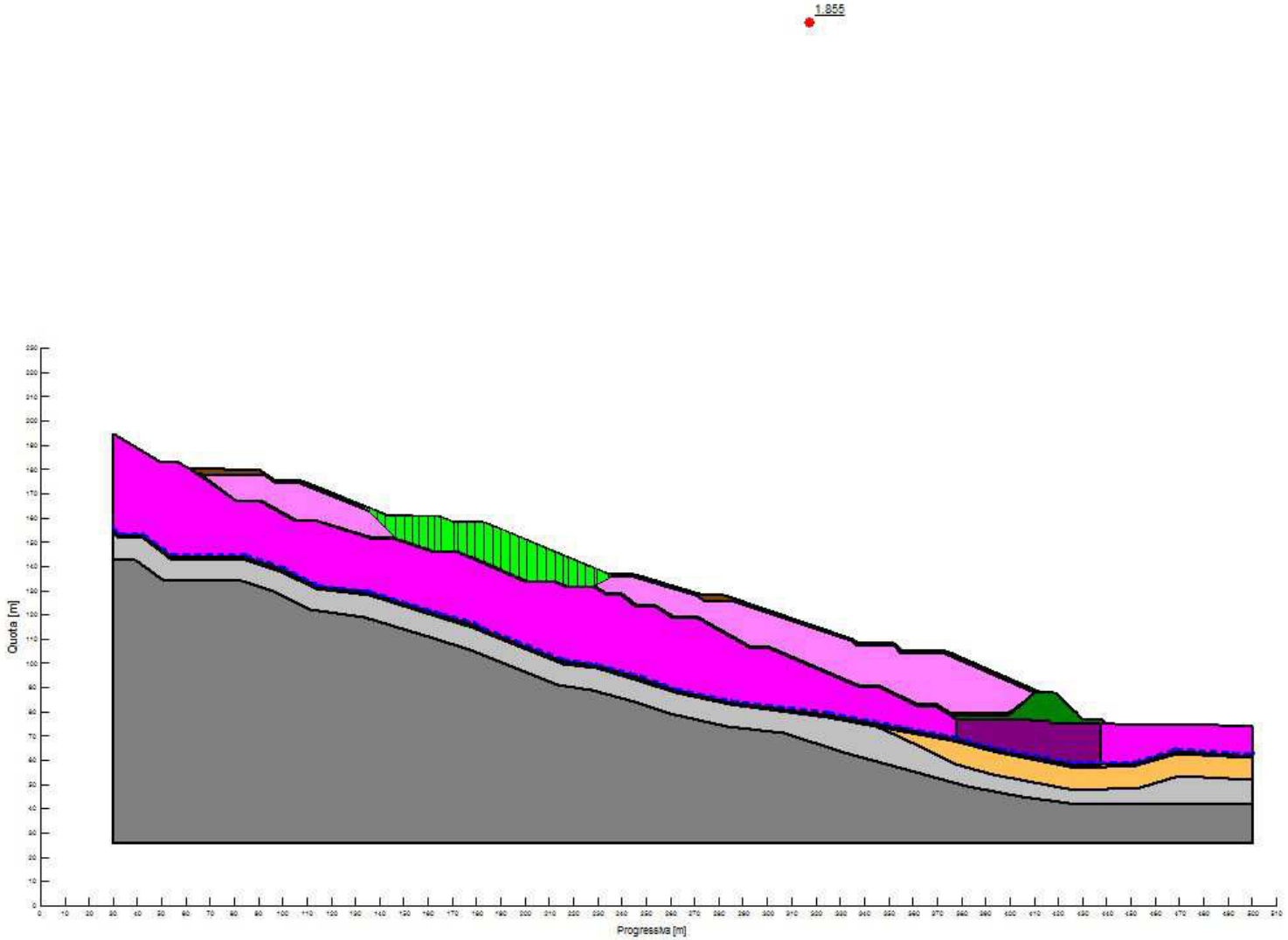


Figura 8c: Sezione A6b-A6b - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.855

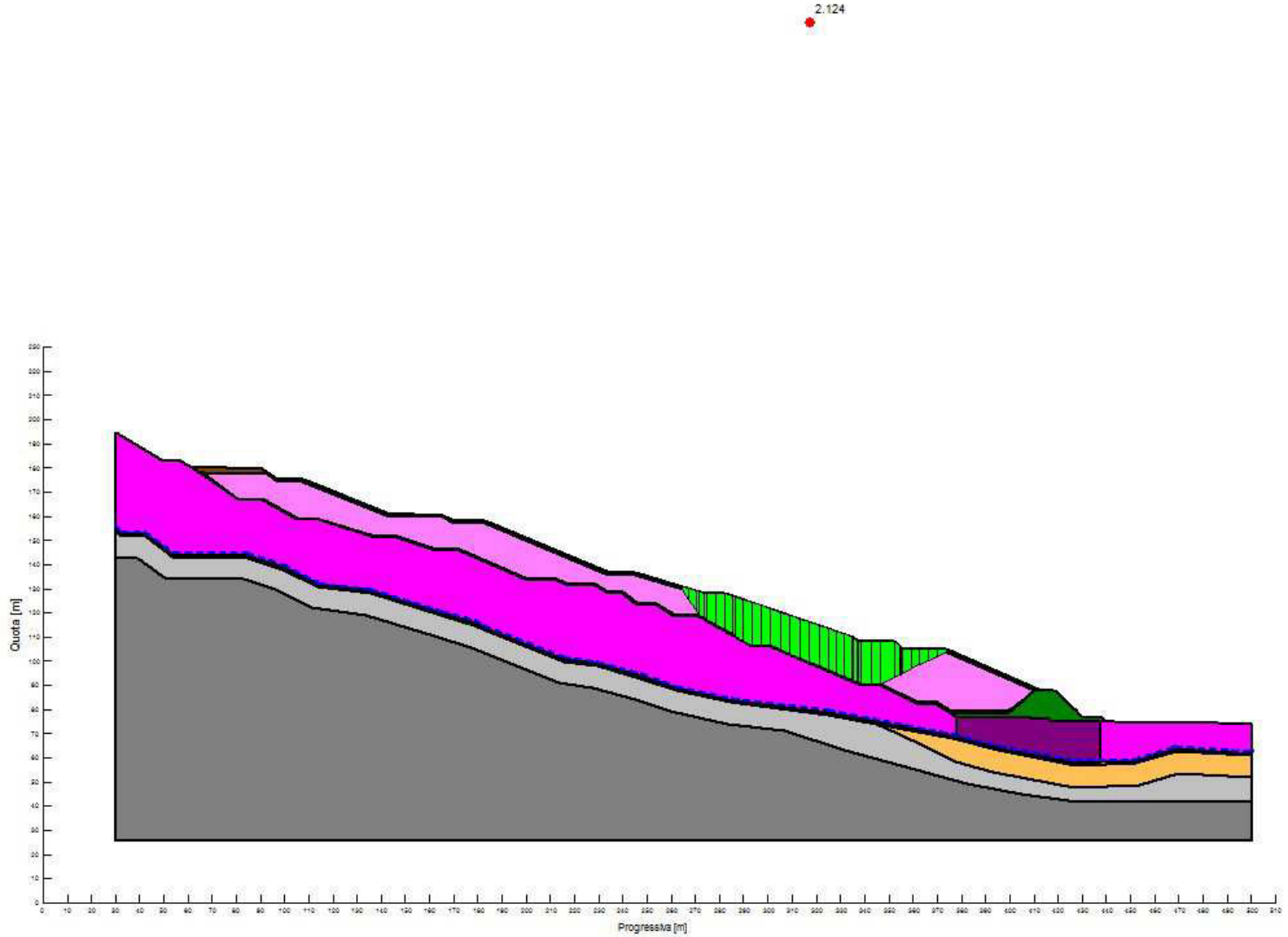


Figura 8d: Sezione A6b-A6b - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=2.124

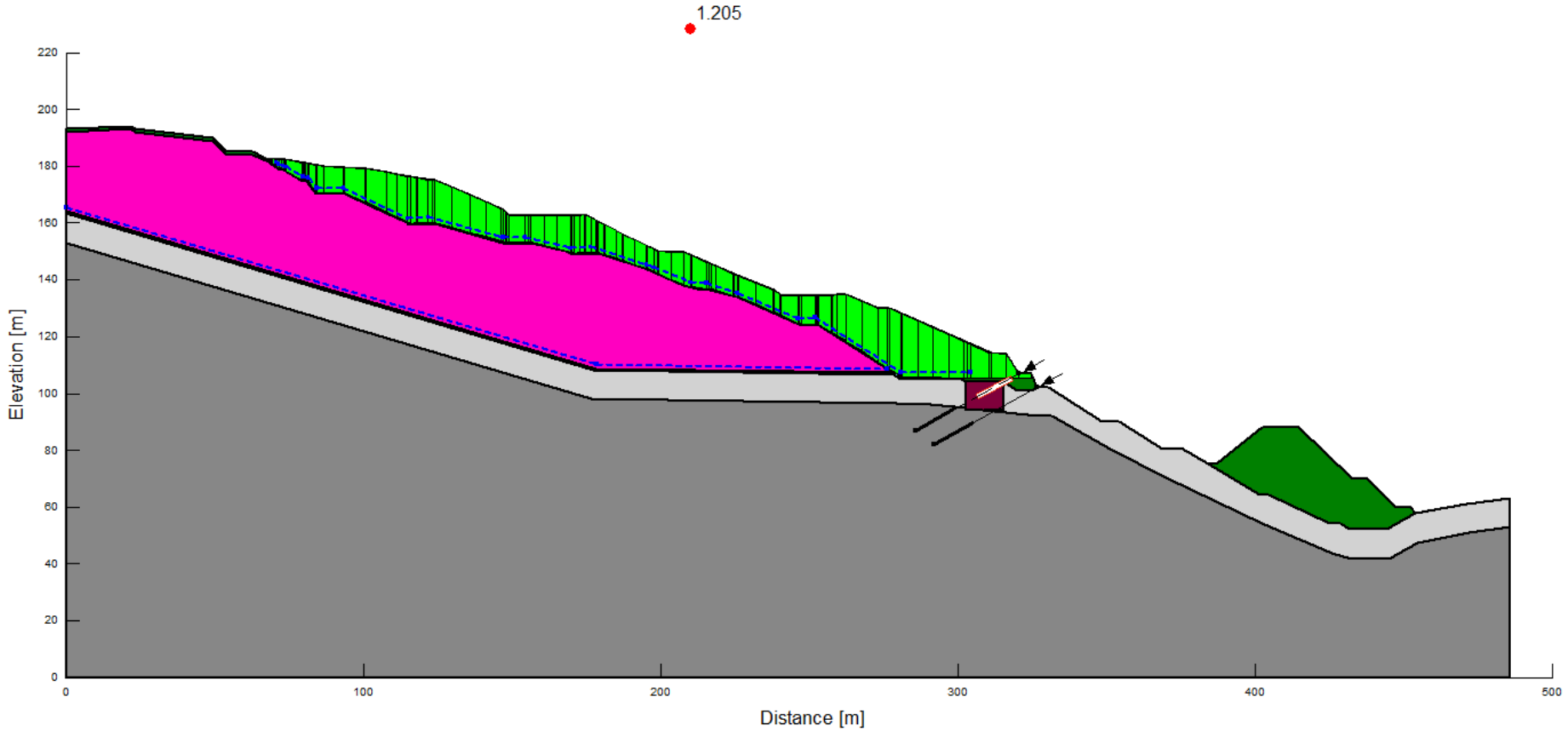


Figura 9a: Sezione B-B' - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.205

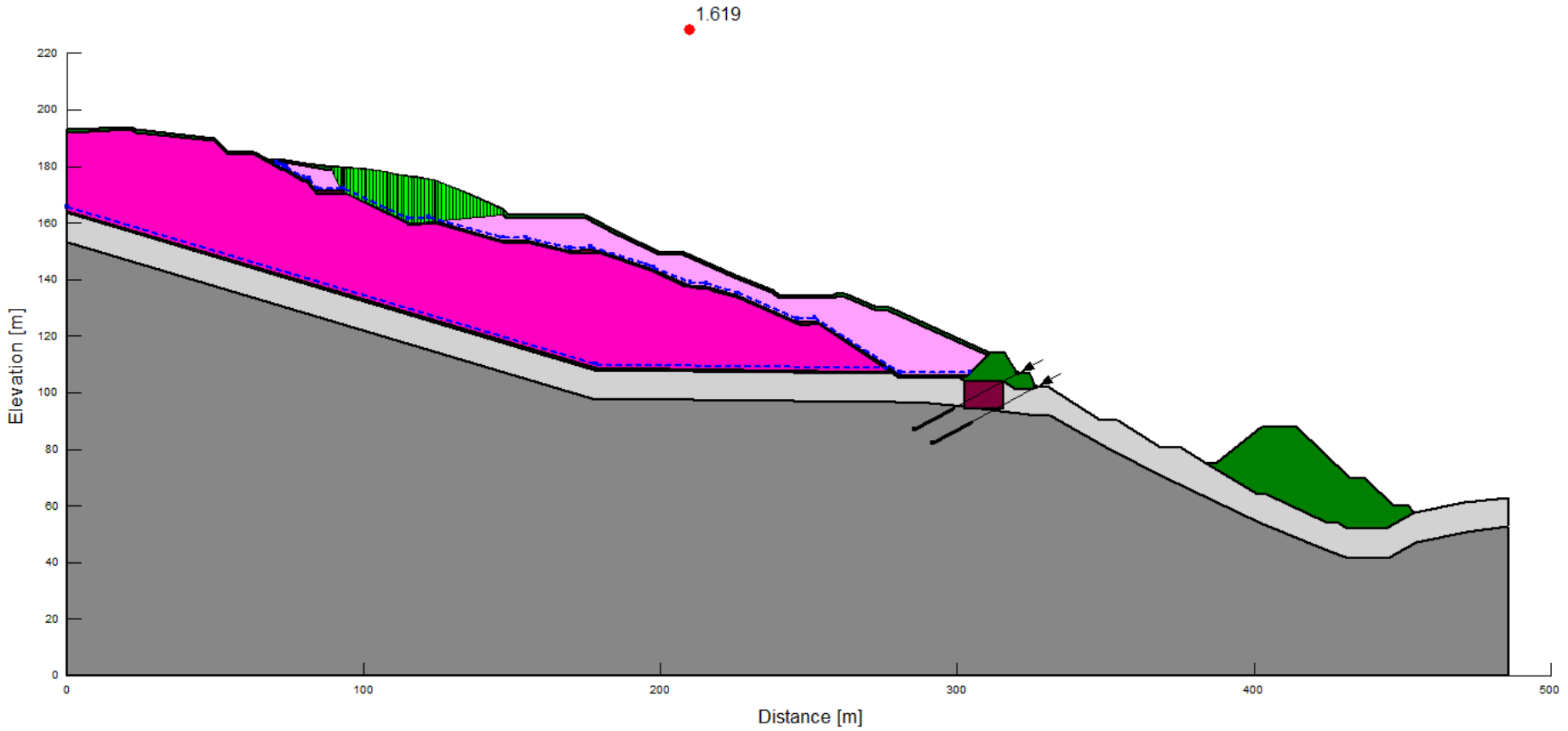


Figura 9b: Sezione B-B' - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.619

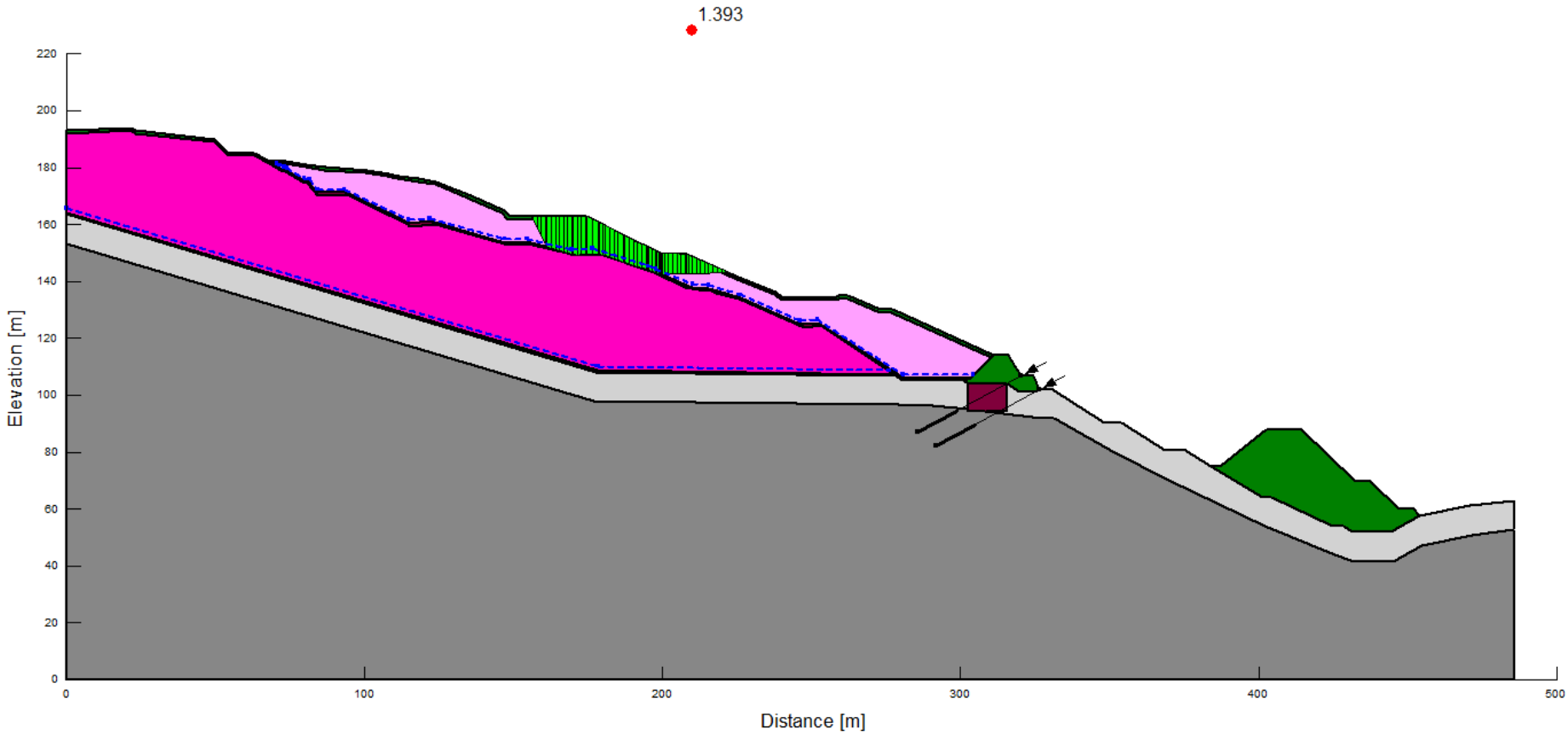


Figura 9c: Sezione B-B' - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.393

Analisi di stabilità della discarica in condizioni pseudo statiche

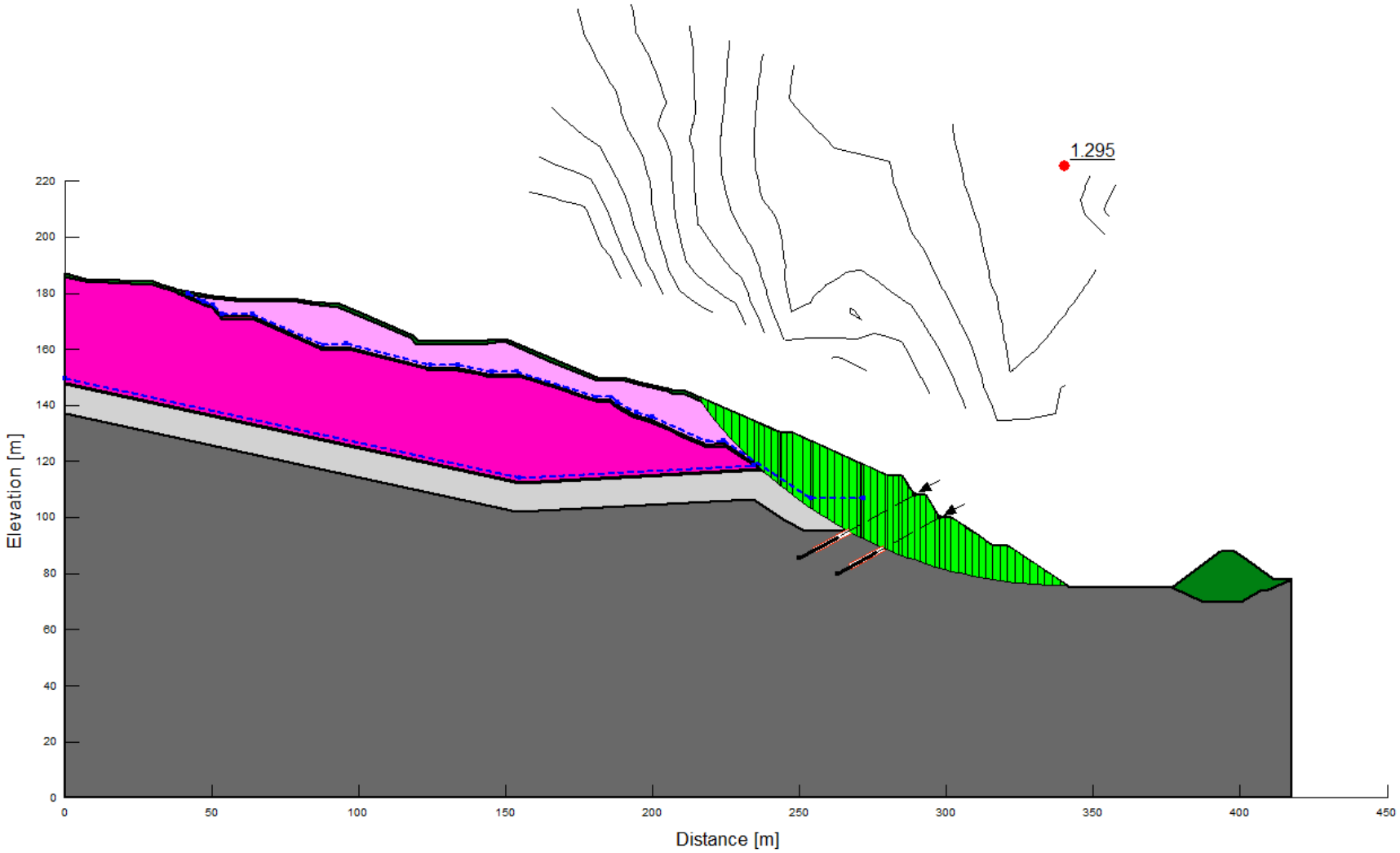


Figura 10a: Sezione A-A' - Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche e con la presenza del percolato – FS=1.295

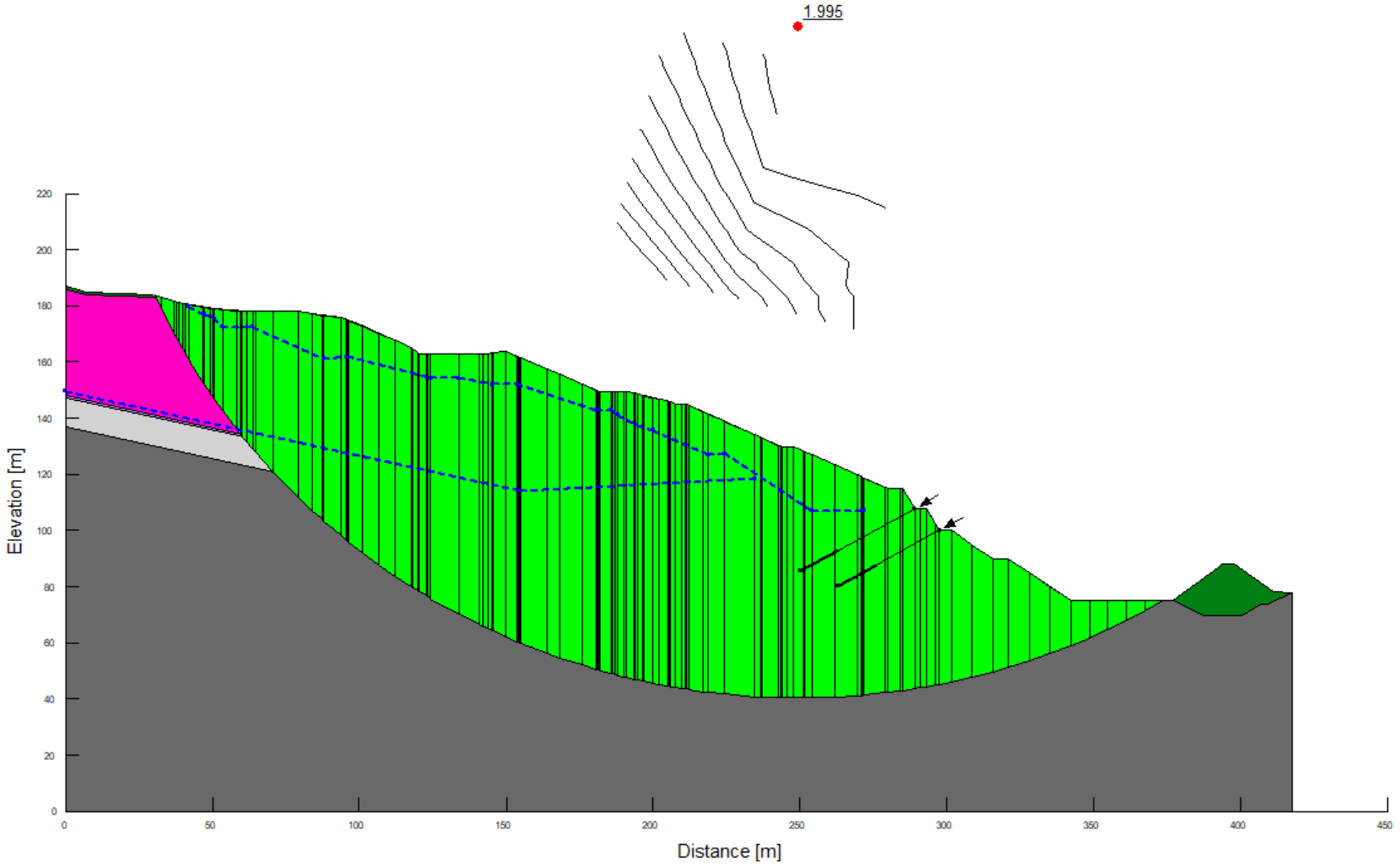


Figura 10b: Sezione A-A' - Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche– FS=1.995

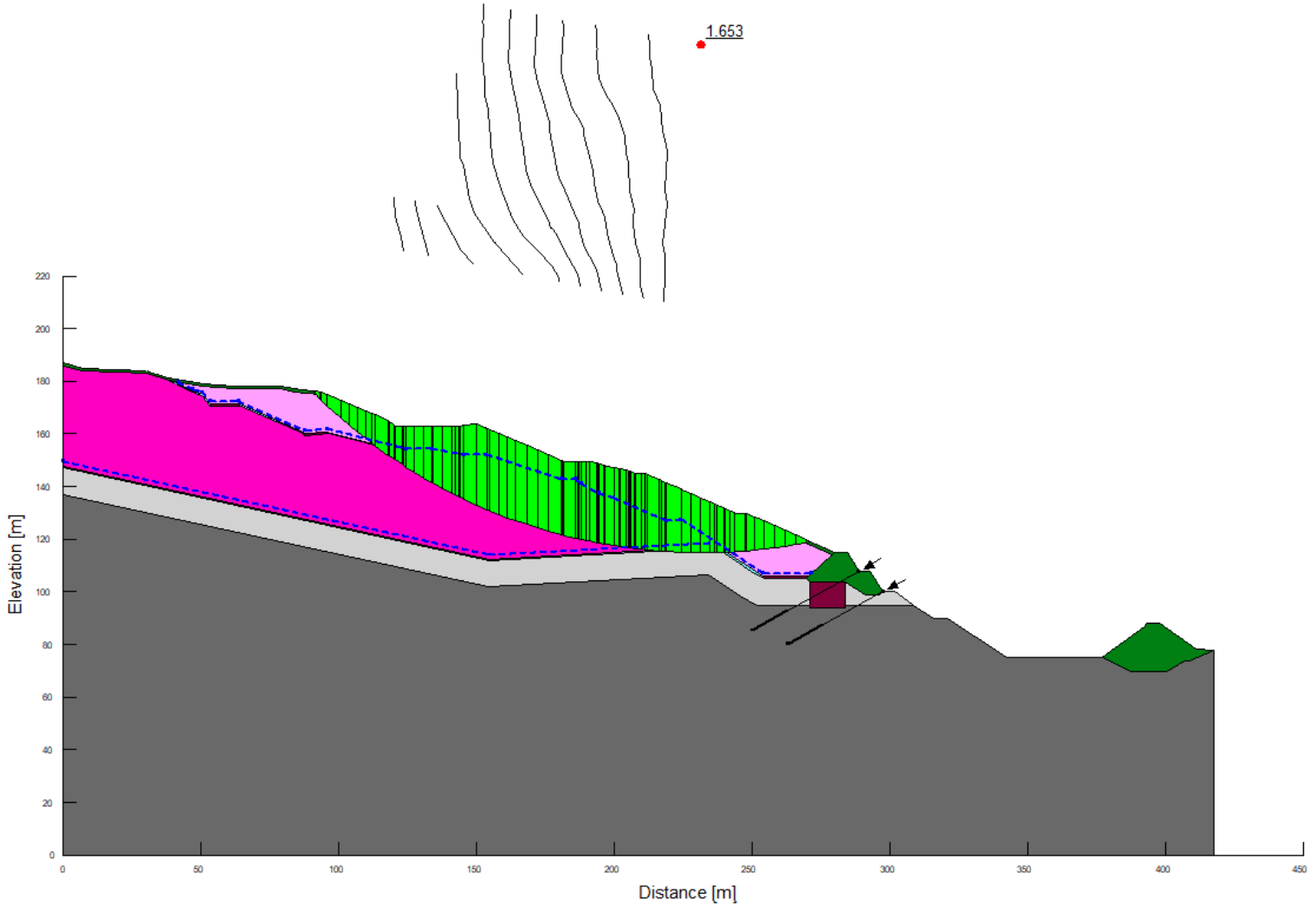


Figura 10c: Sezione A-A' - Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche– FS=1.653

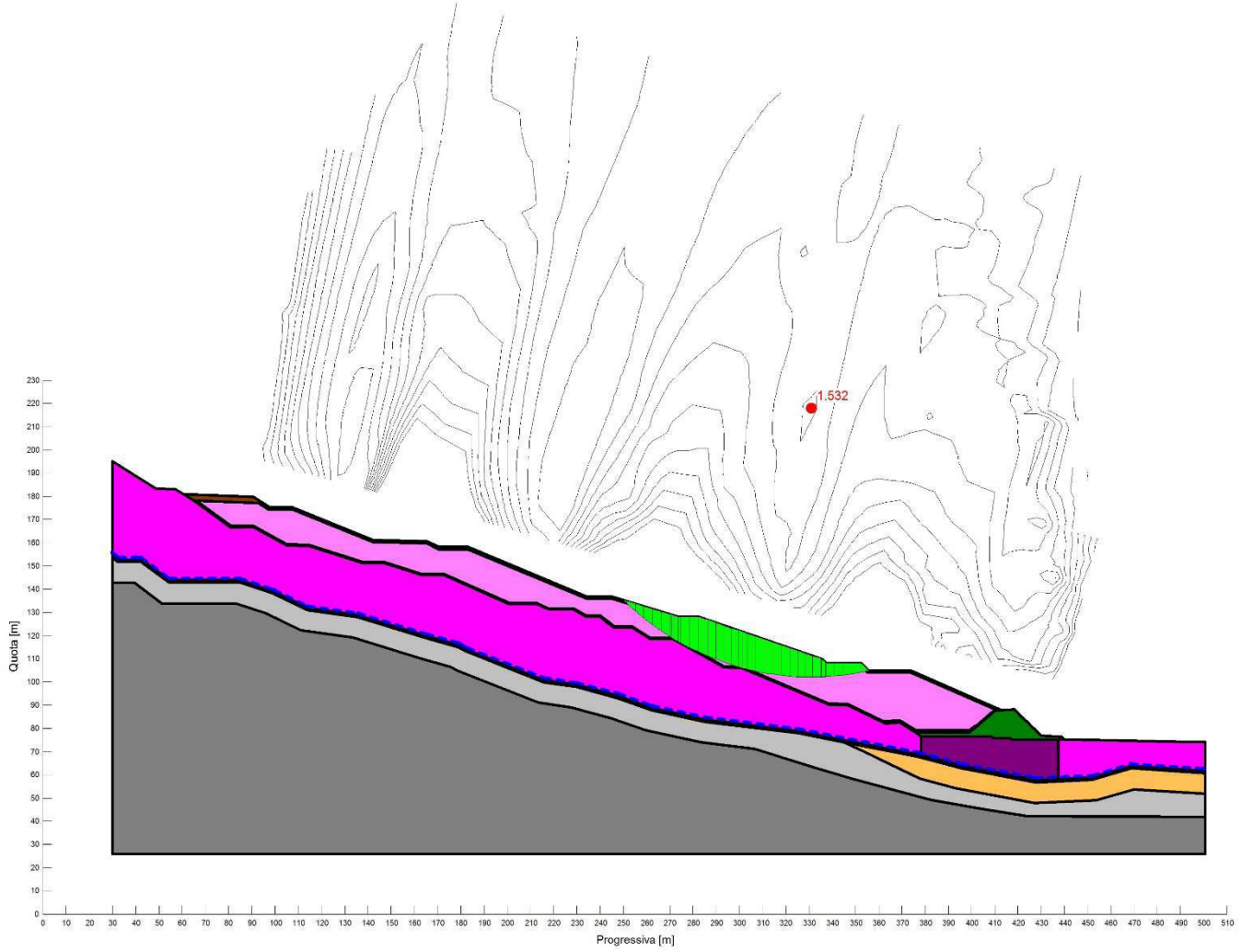


Figura 11a: Sezione A6b-A6b Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche– FS=1.532

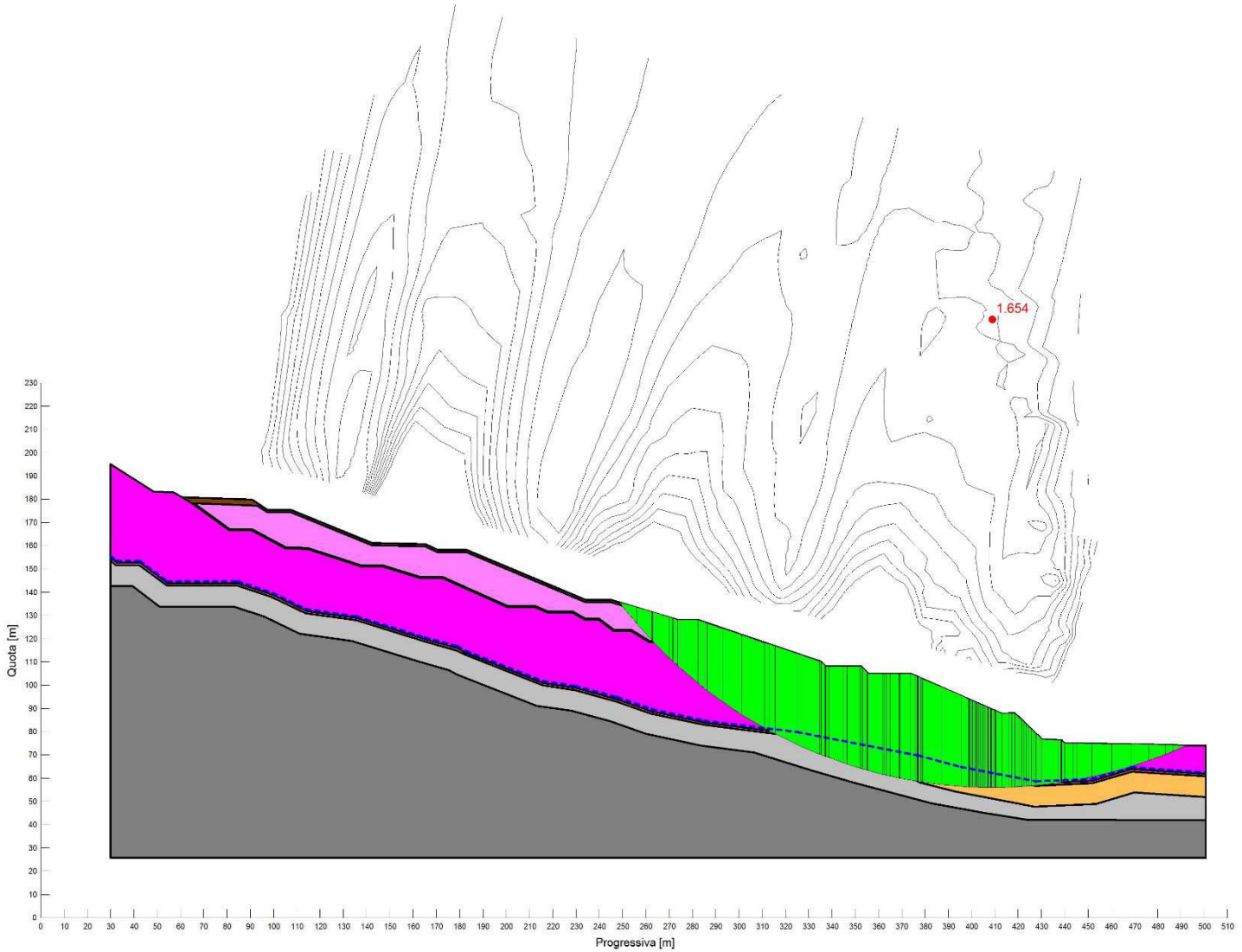


Figura 11b: Sezione A6b-A6b Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche– FS=1.654

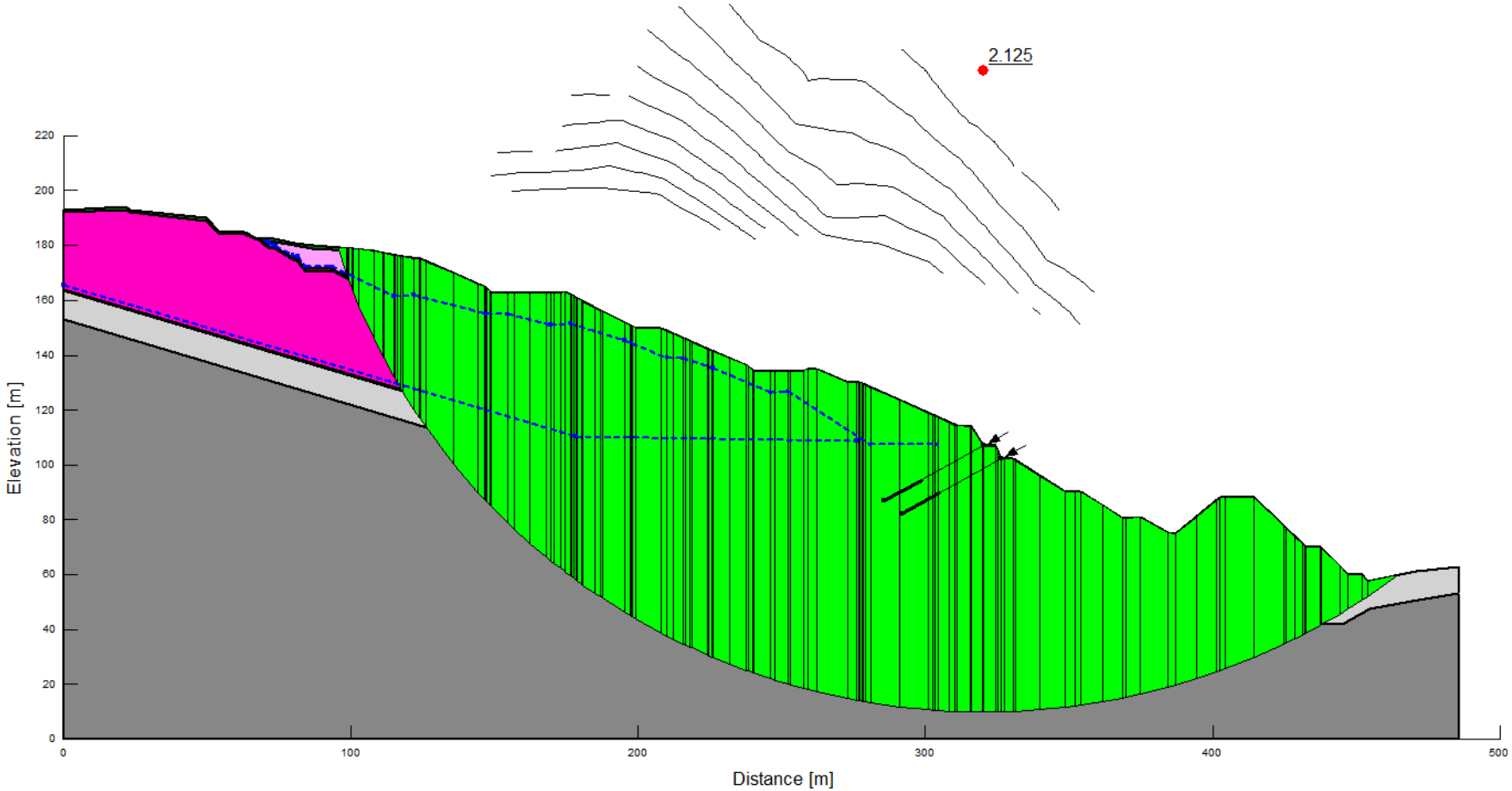


Figura 12a Sezione B-B' Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche – FS=2.125

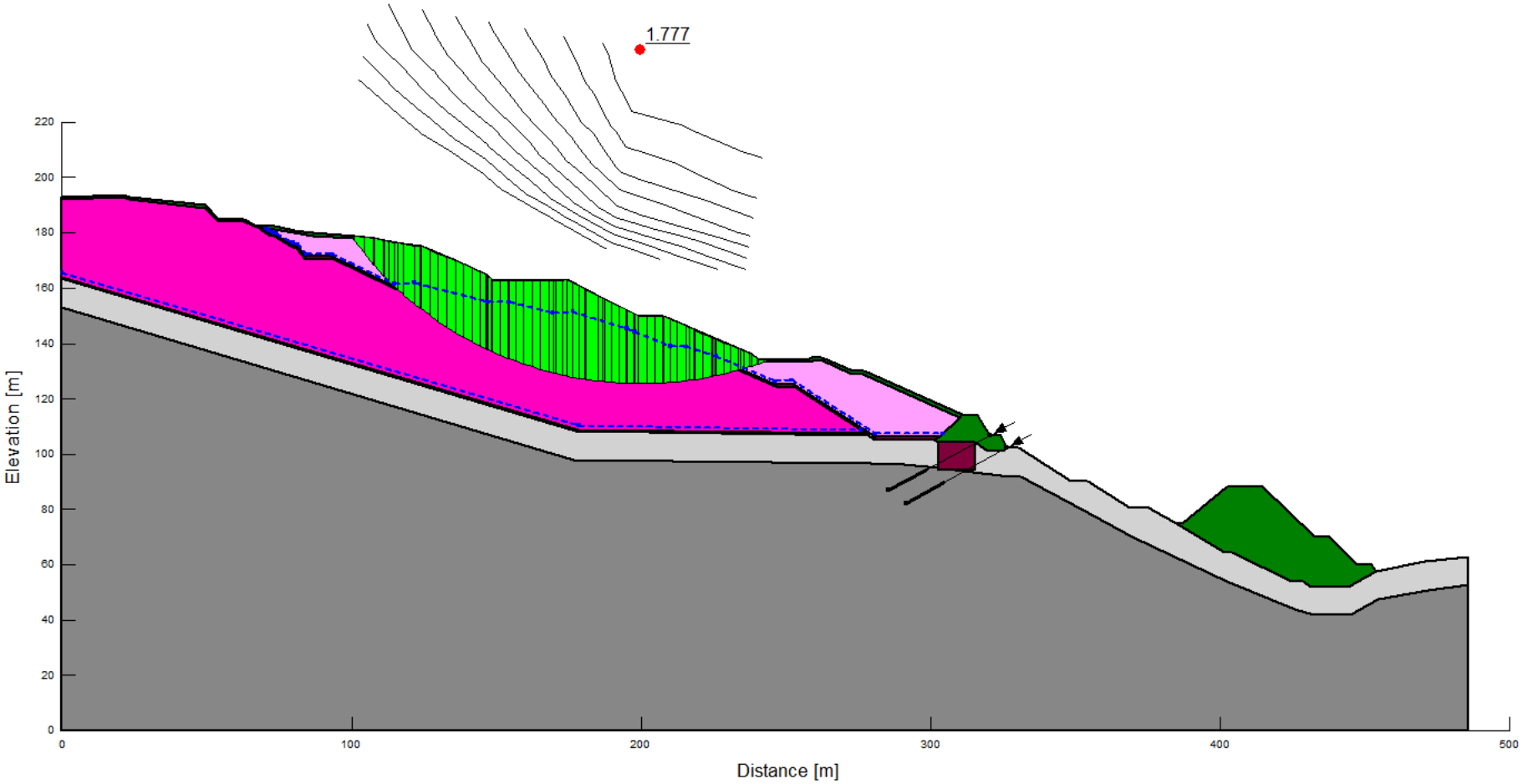


Figura 12b Sezione B-B' Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche – FS=1.777

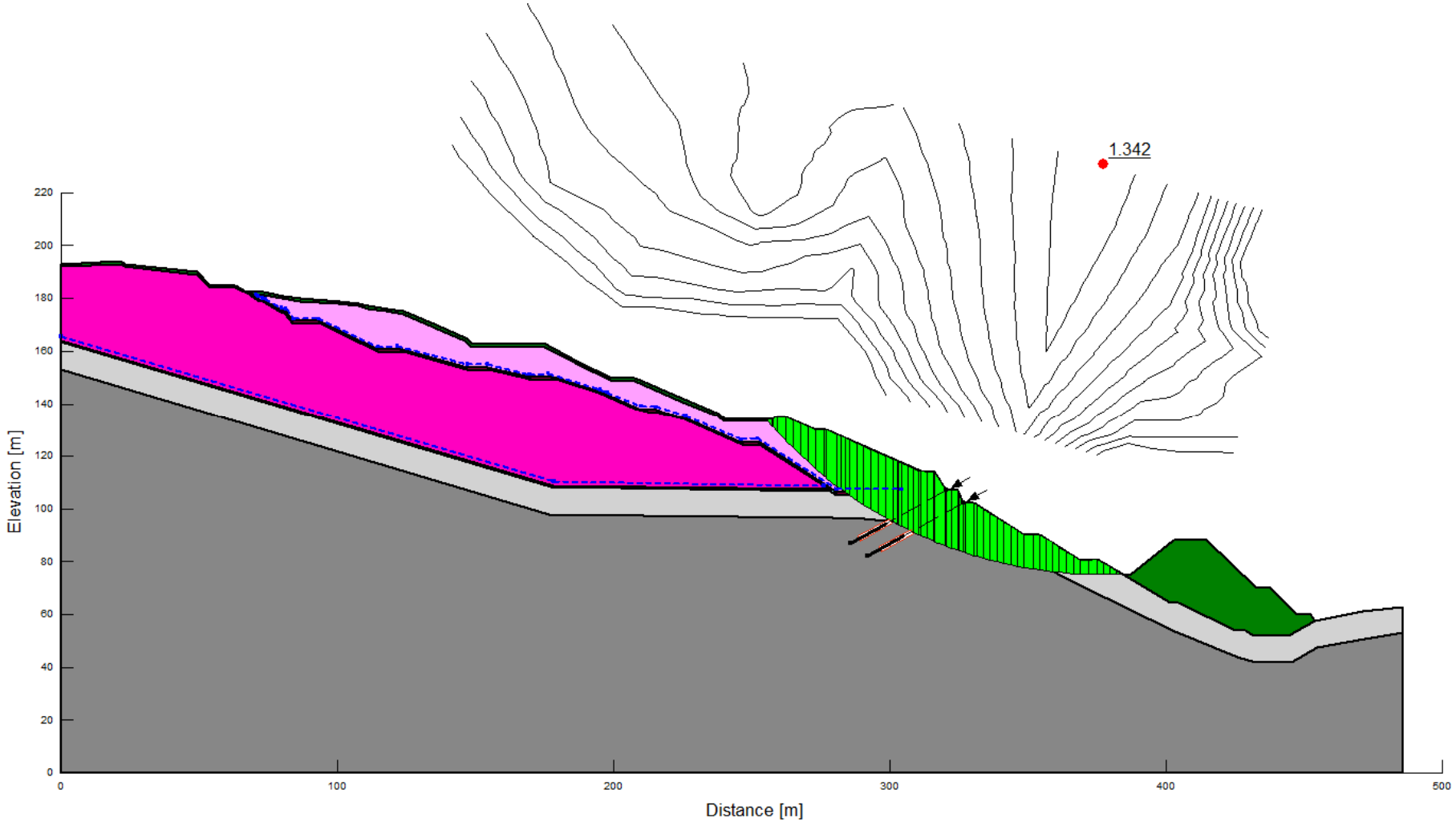


Figura 12c Sezione B-B' Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche – FS=1.342

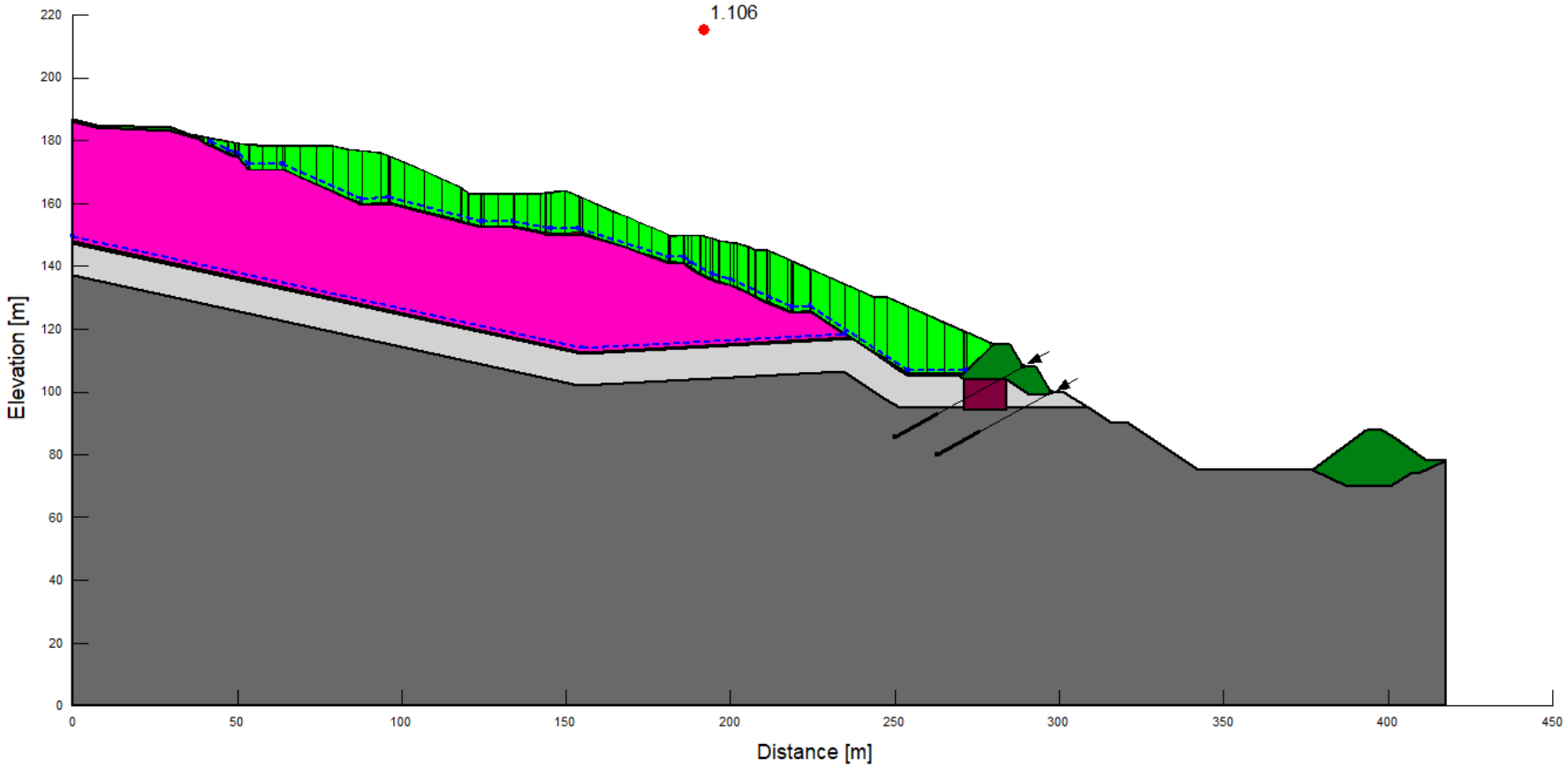


Figura 13a: Sezione A-A' Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.106

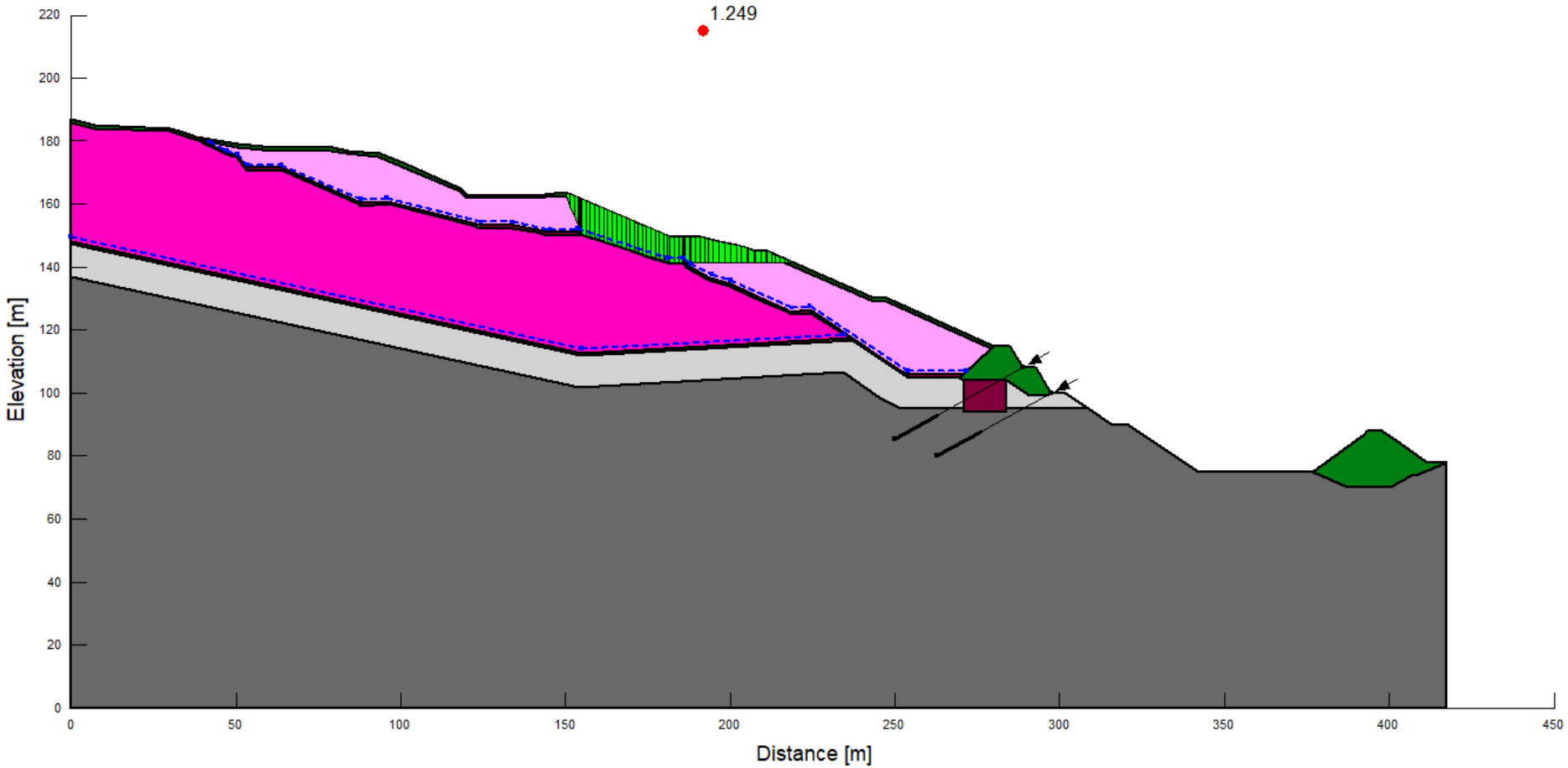


Figura 13b: Sezione A-A' Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.249

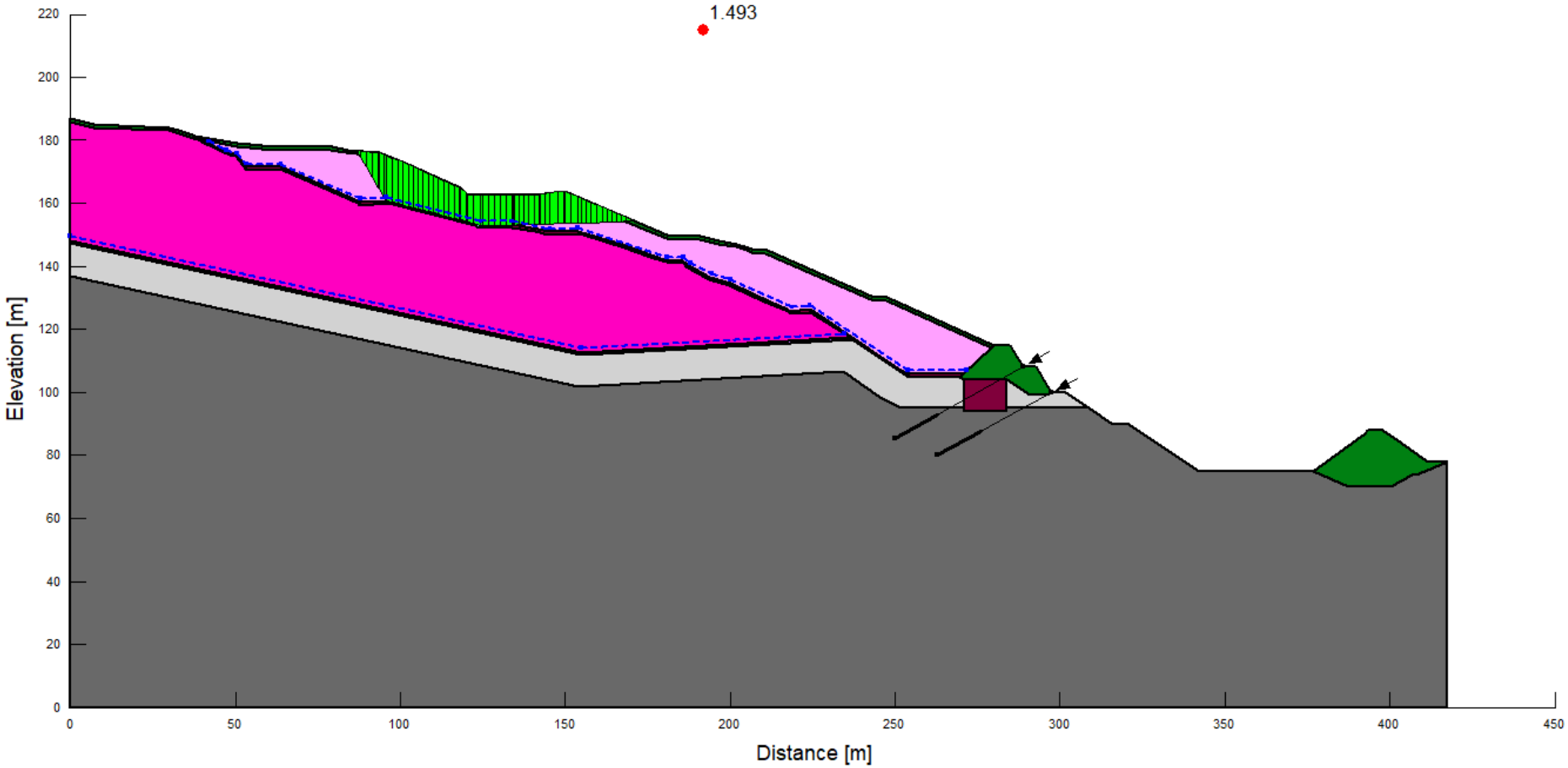


Figura 13c: Sezione A-A' Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.493

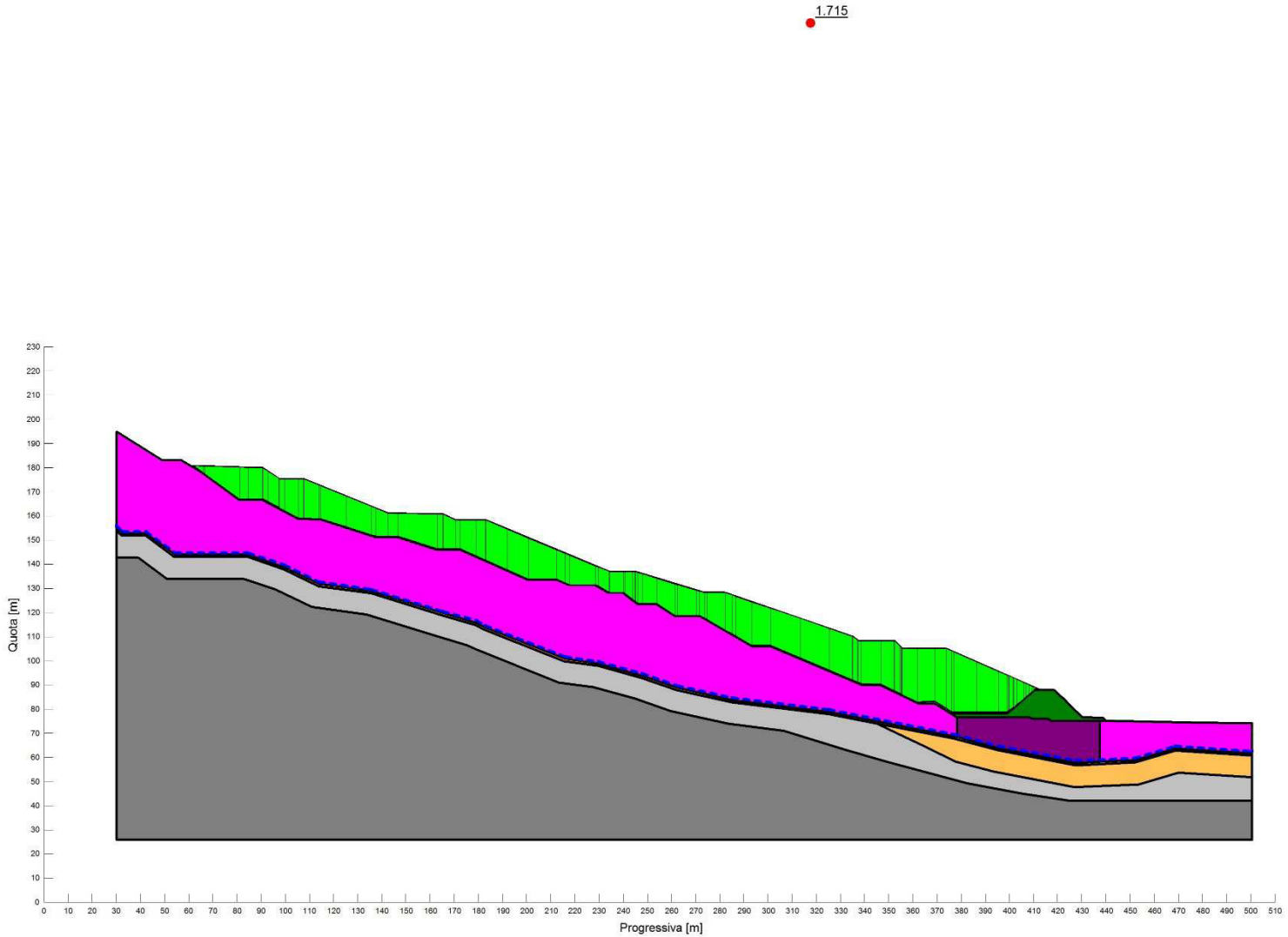


Figura 14a: Sezione A6b-A6b Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.715

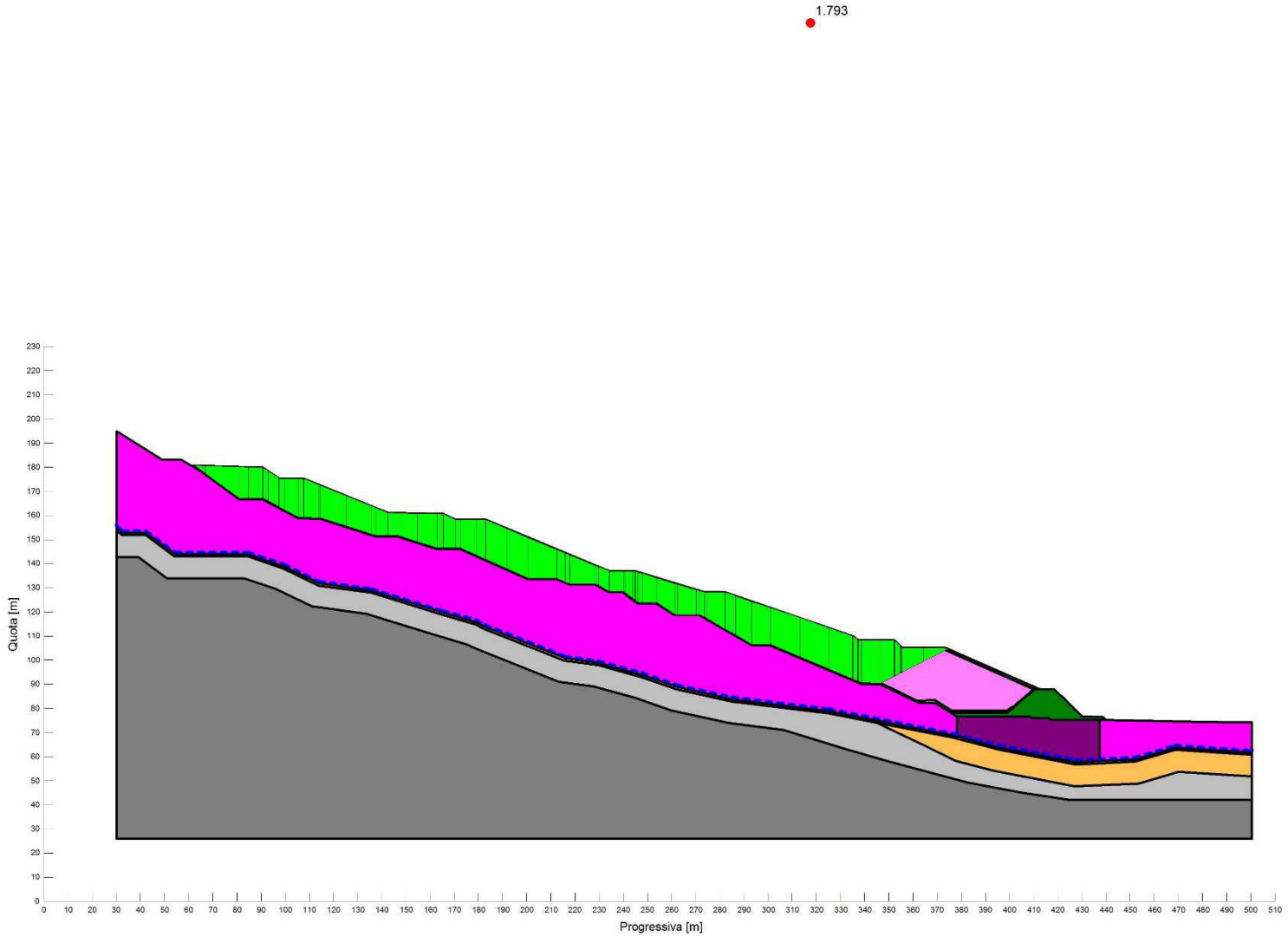


Figura 14b: Sezione A6b-A6b Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.793

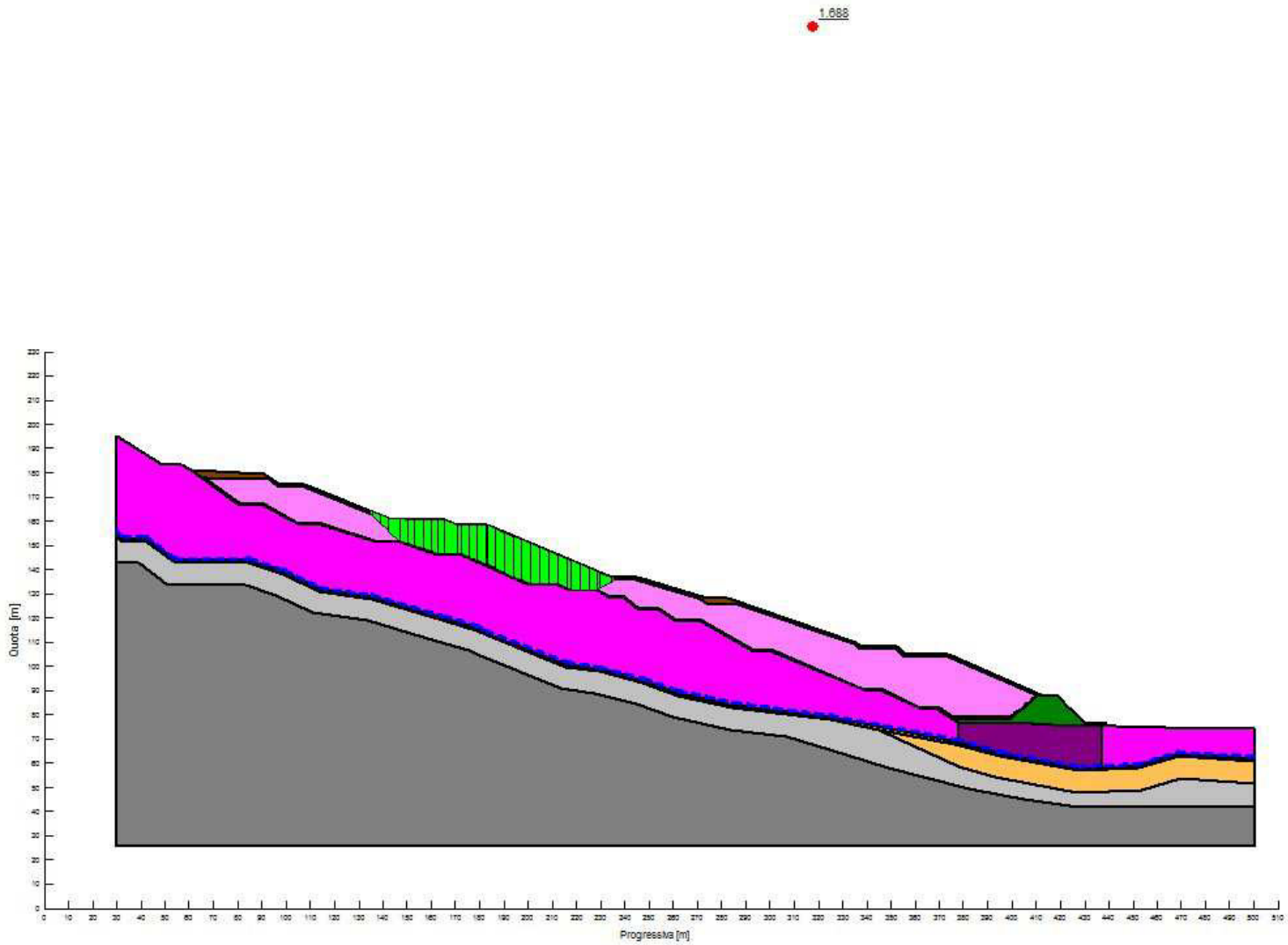


Figura 14c: Sezione A6b-A6b Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.688

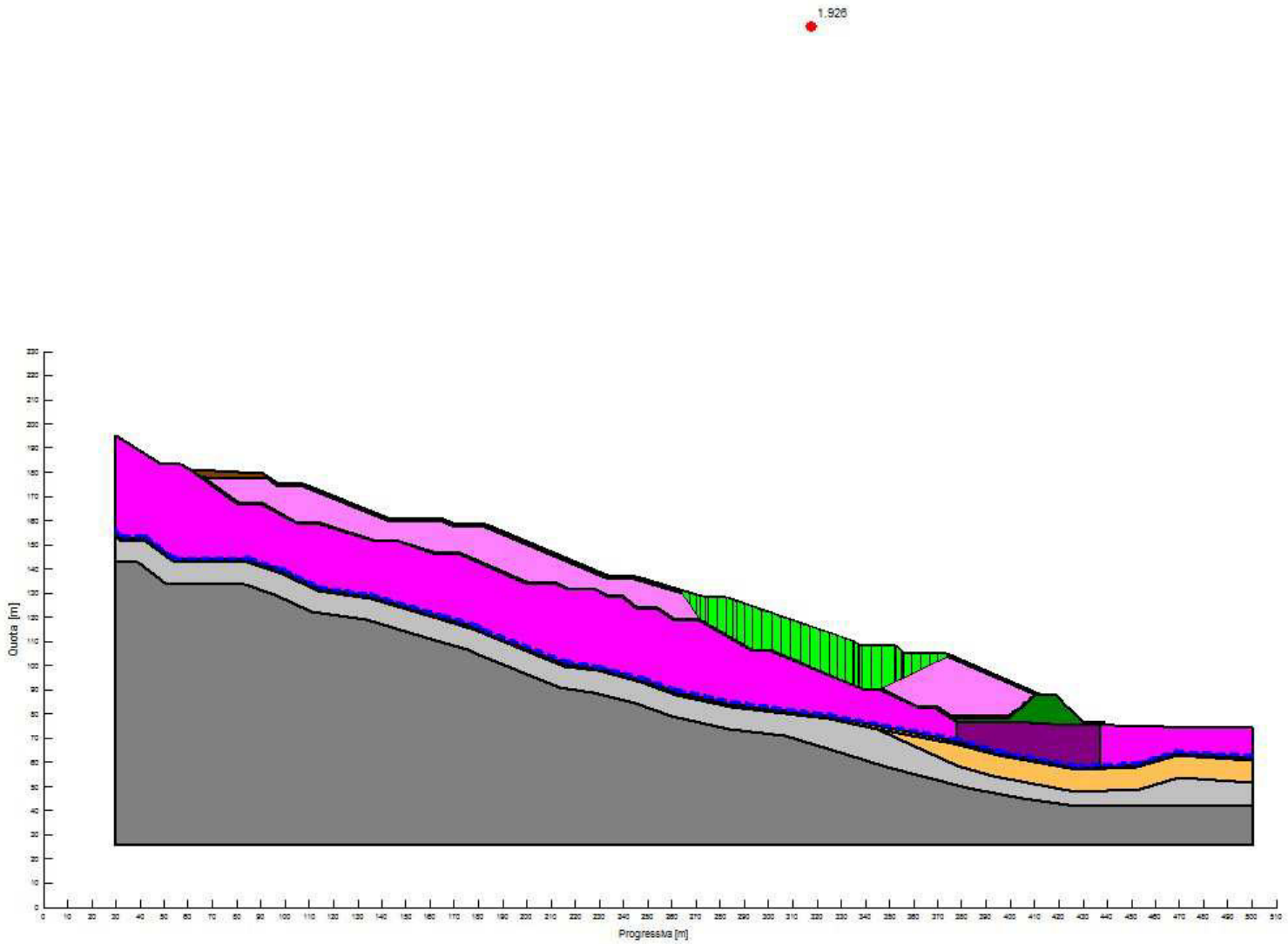


Figura 14d: Sezione A6b-A6b Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.926

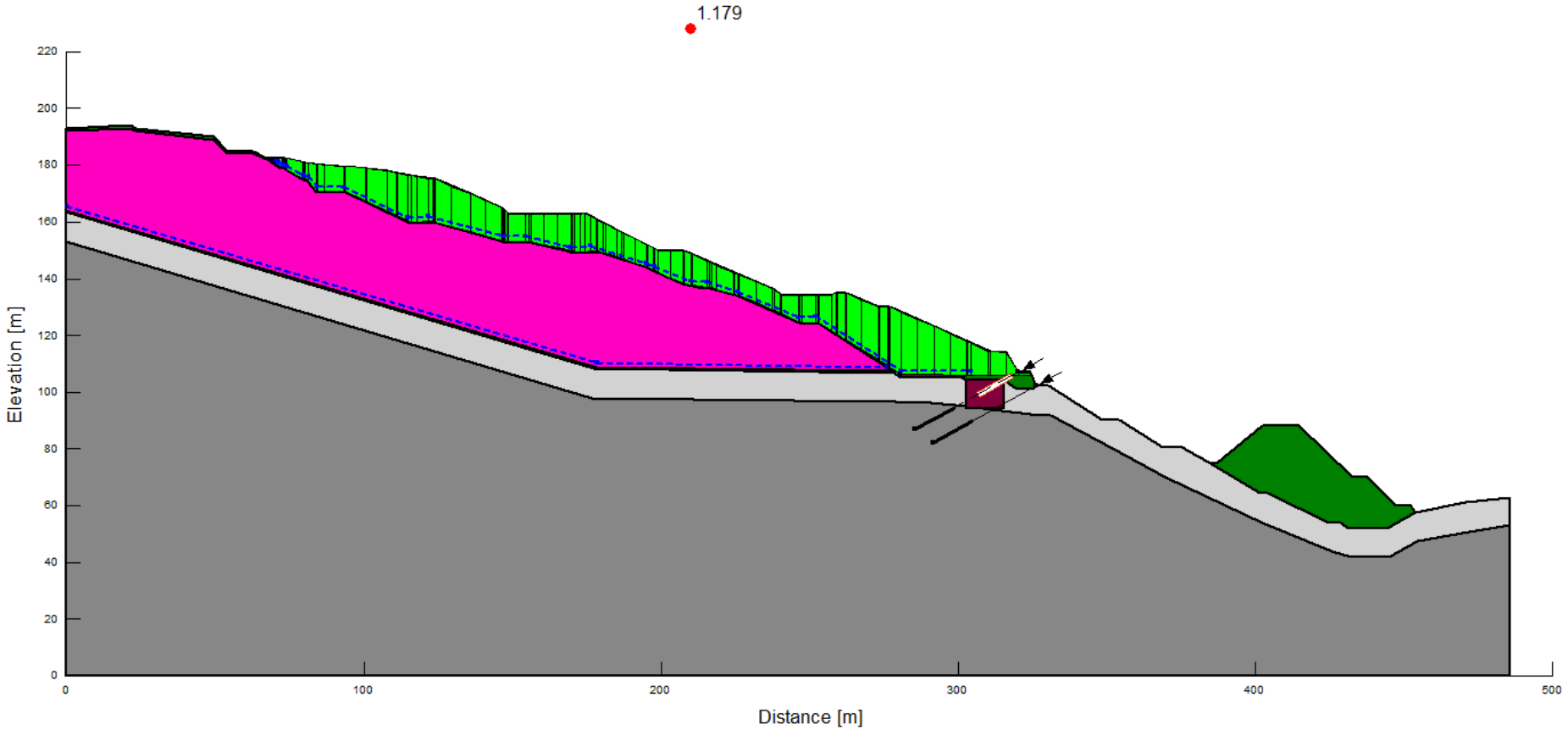


Figura 15a: Sezione trasversale B-B' - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.179

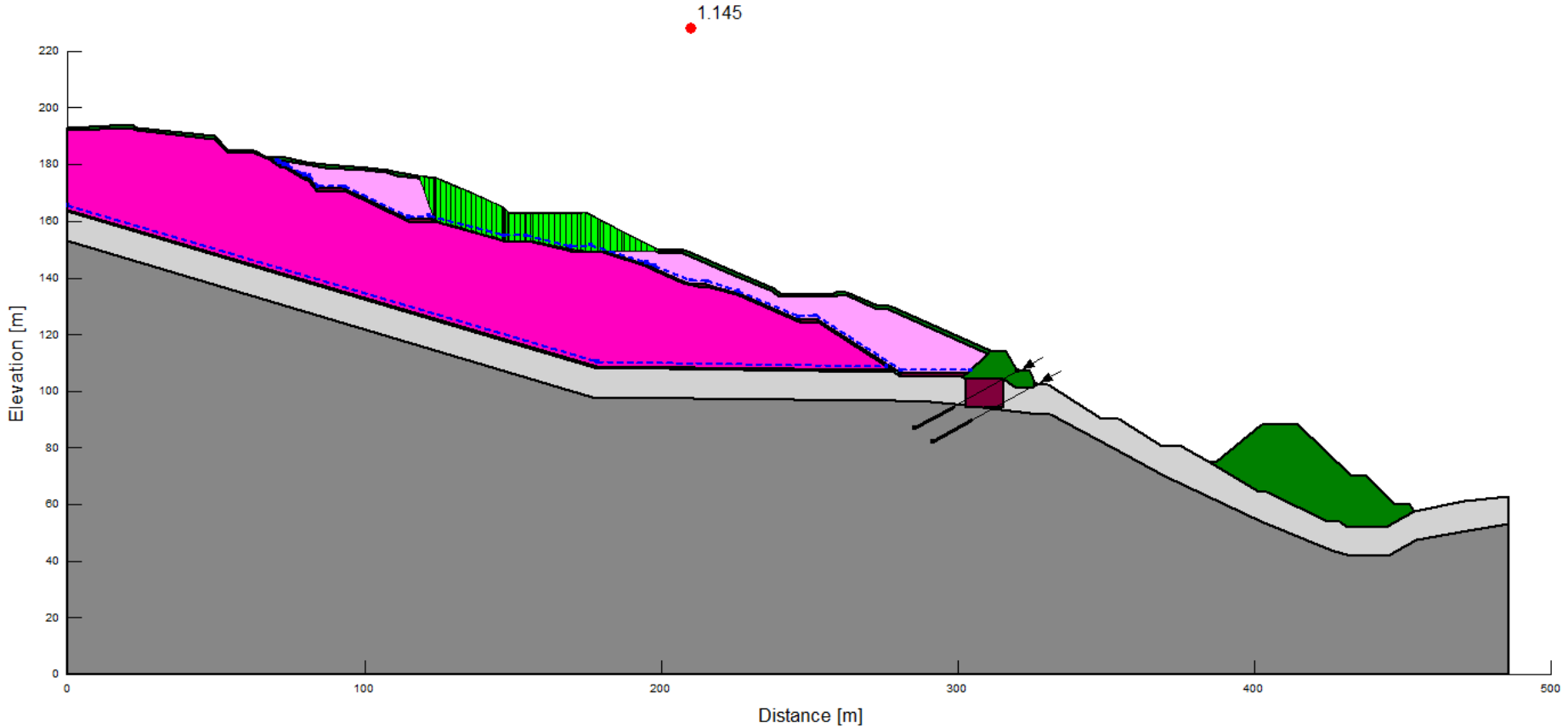


Figura 15b: Sezione trasversale B-B' - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.145

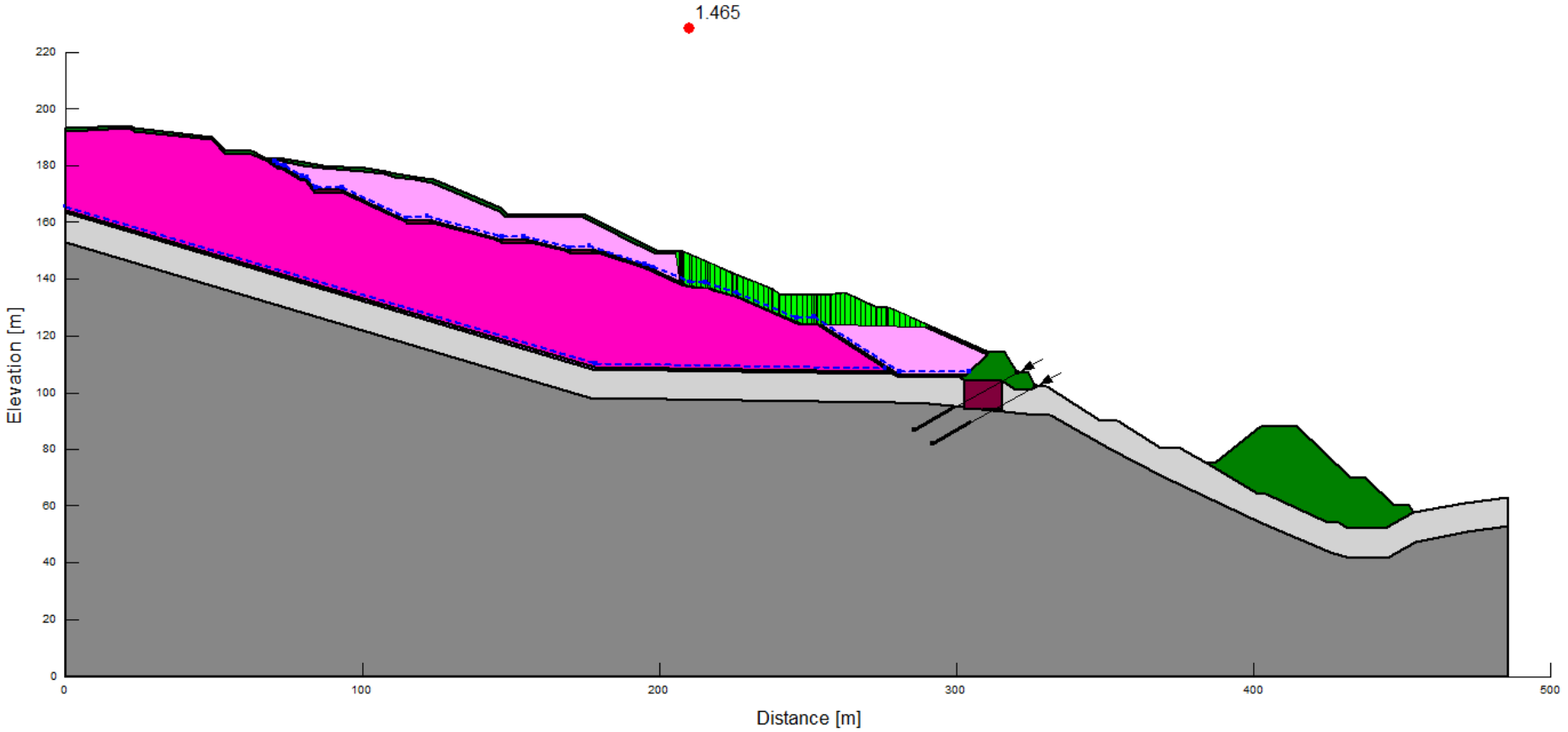


Figura 15c: Sezione trasversale B-B' - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.465

Analisi di stabilità della discarica nelle fasi di coltivazione

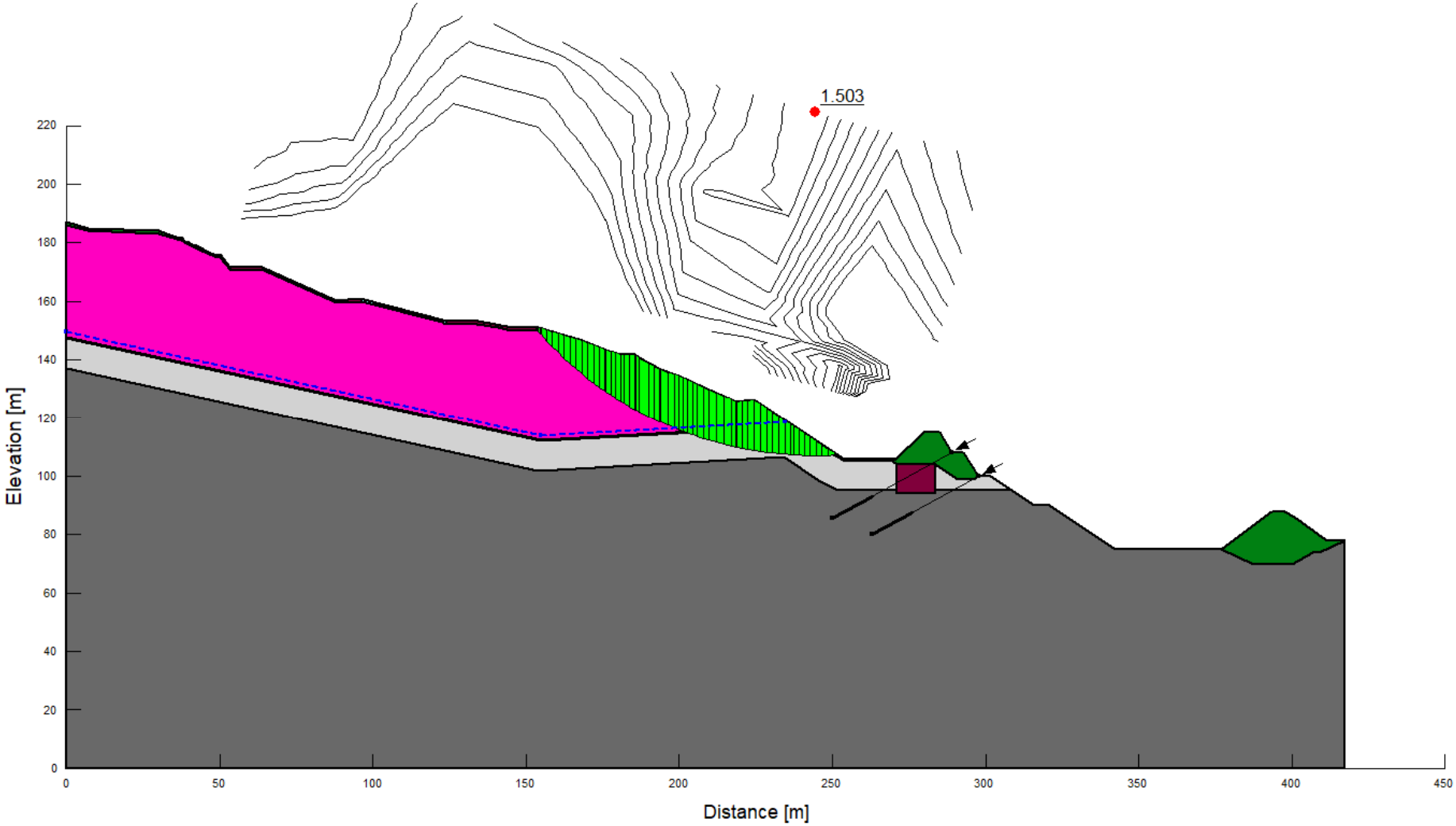


Figura 16a: Sezione trasversale A-A' – Fase A Superficie di rottura circolare in condizioni statiche– FS=1.503

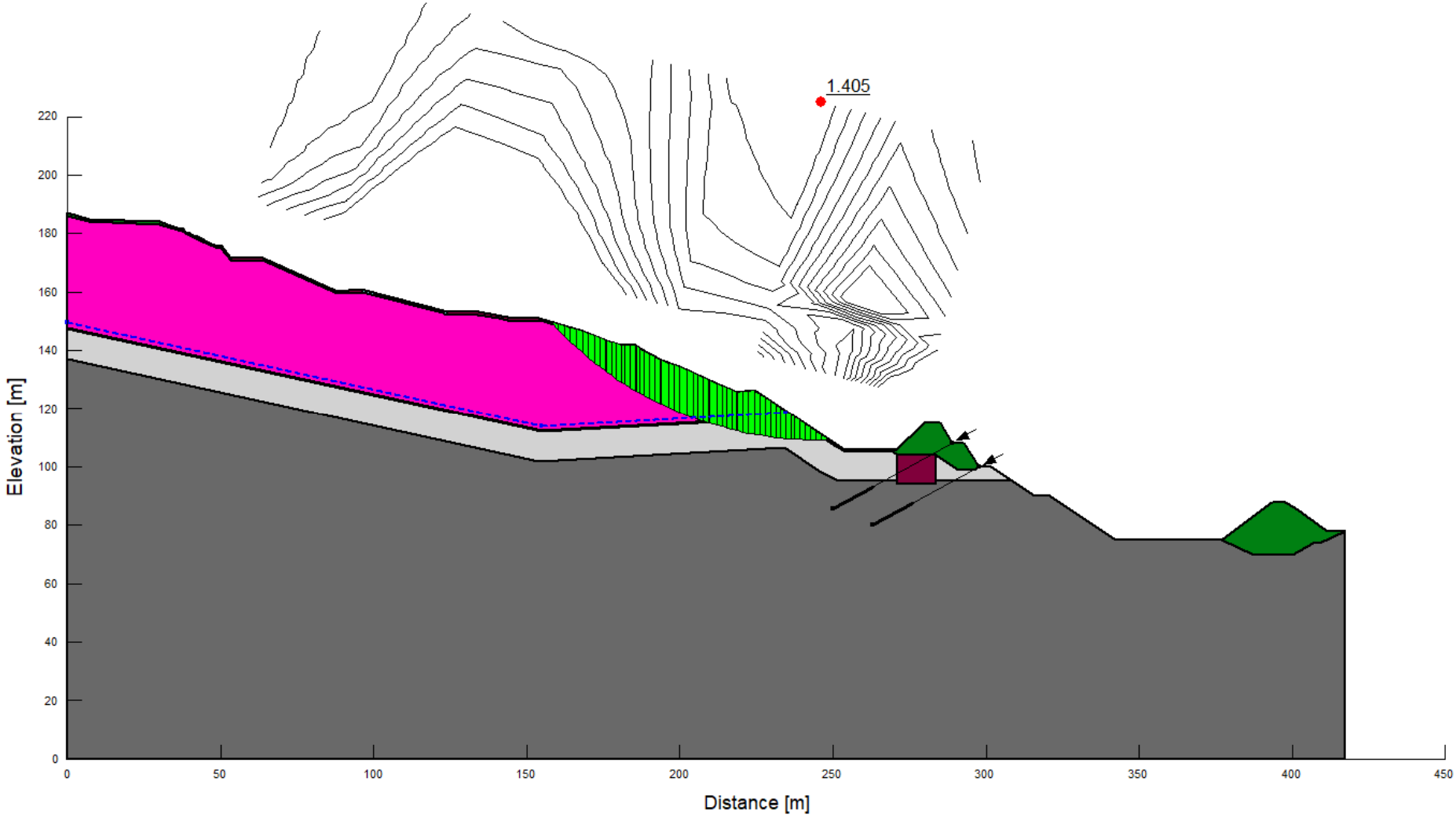


Figura 16b: Sezione trasversale A-A' – Fase A Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche– FS=1.405

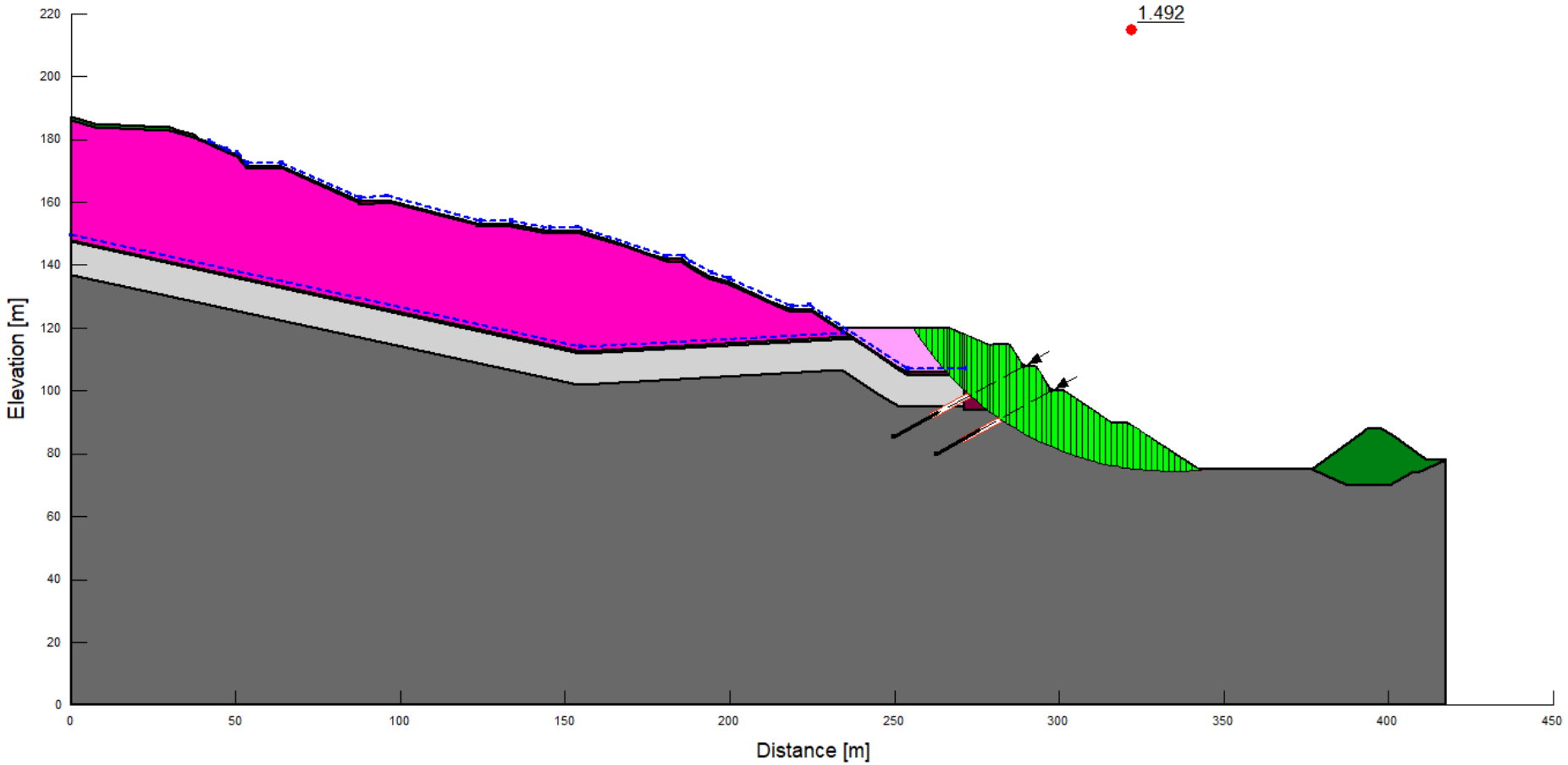


Figura 16c: Sezione trasversale A-A' – Fase B Superficie di rottura circolare in condizioni statiche– FS=1.492

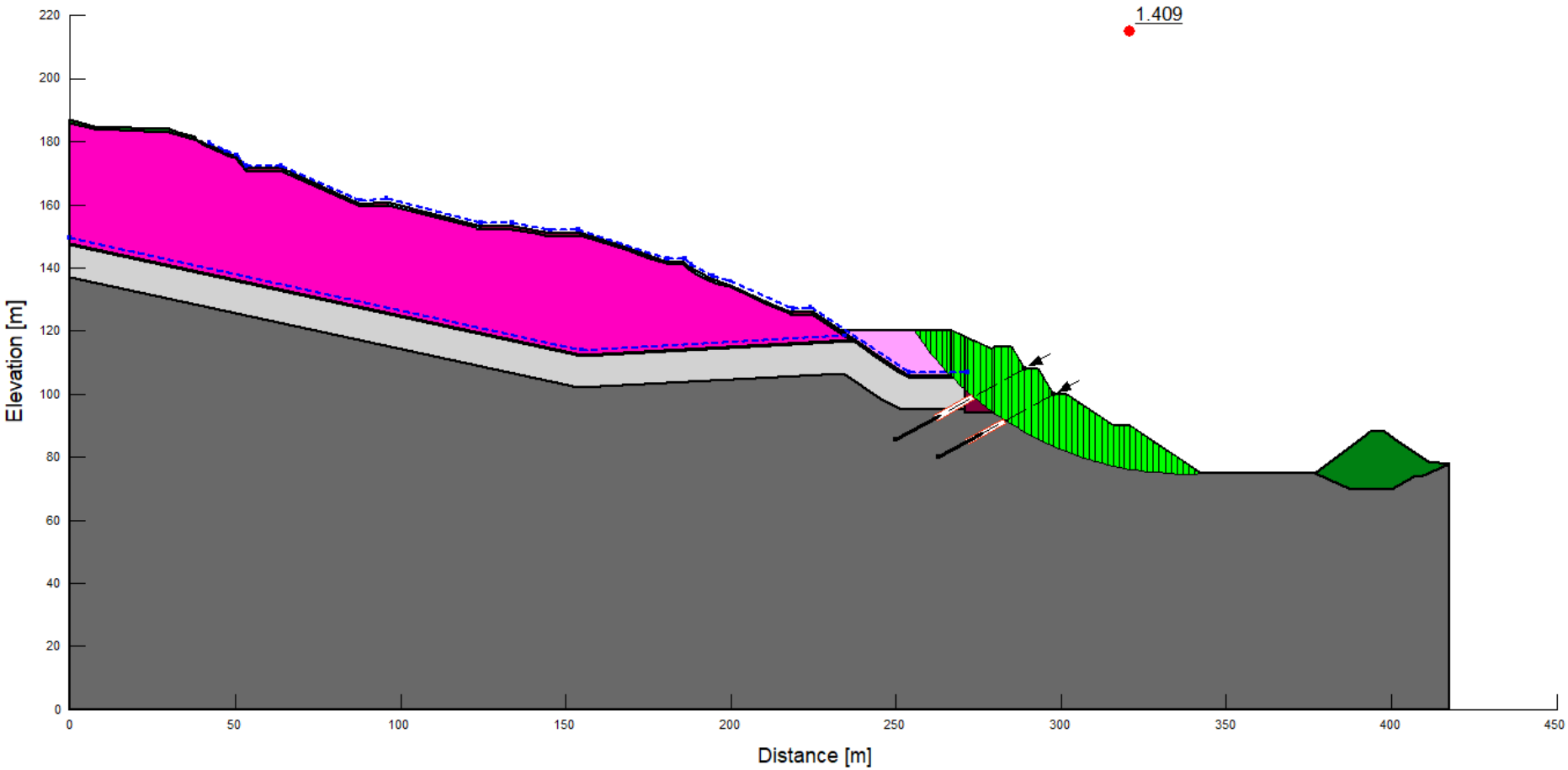


Figura 16d: Sezione trasversale A-A' – Fase B Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche– FS=1.409

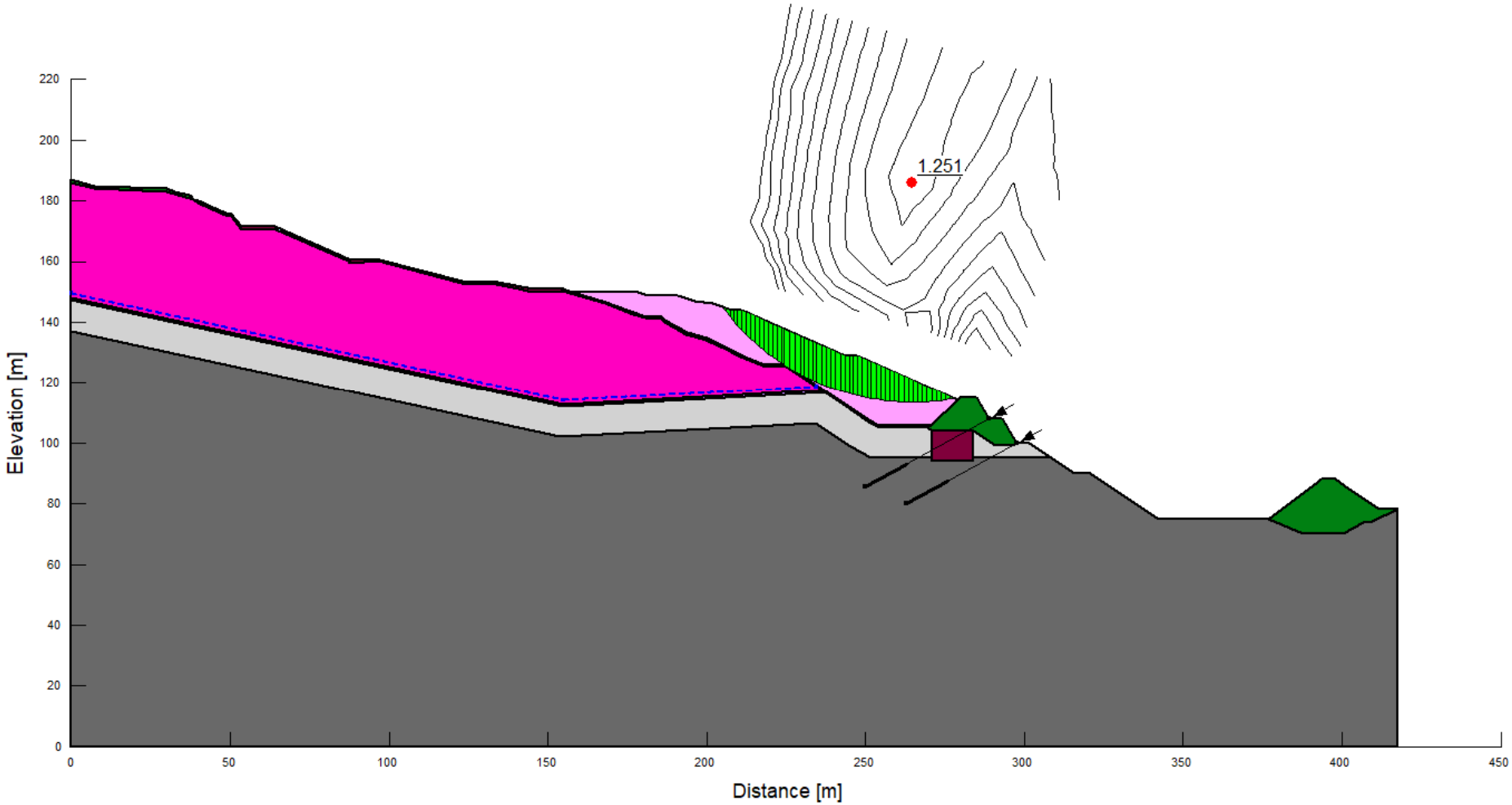


Figura 16e: Sezione trasversale A-A' – Fase C Superficie di rottura circolare in condizioni statiche– FS=1.251

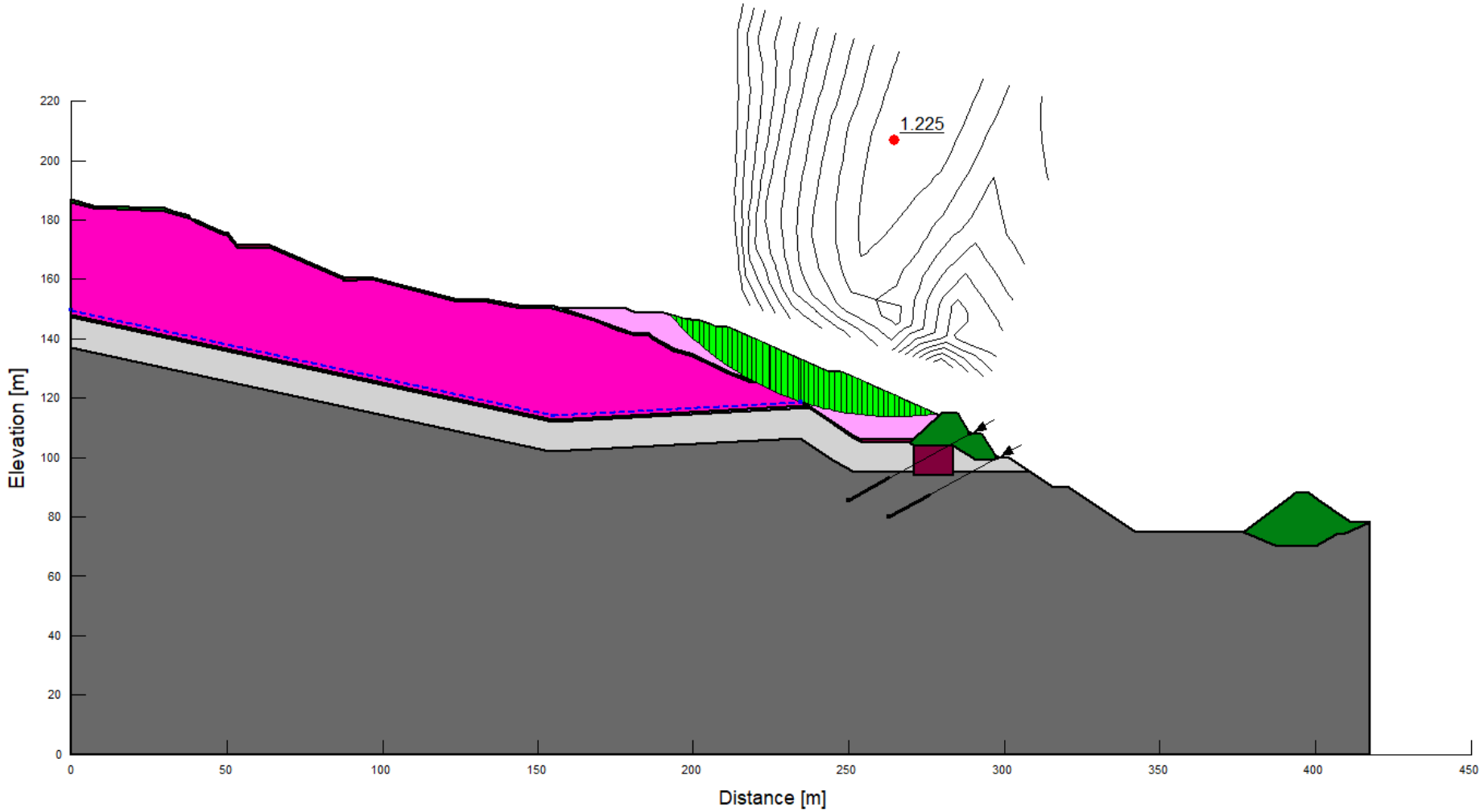


Figura 16f: Sezione trasversale A-A' – Fase C Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche– FS=1.225

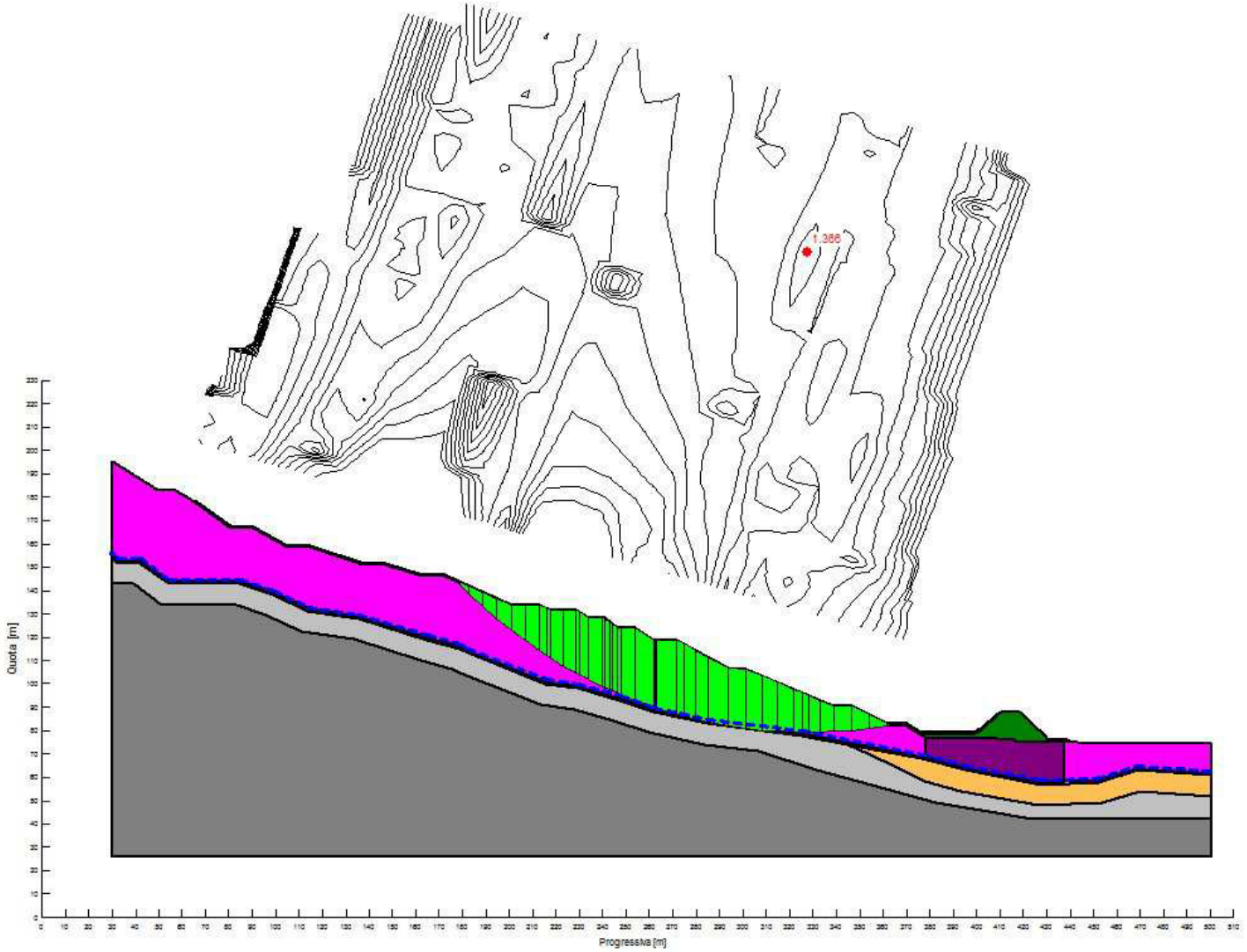


Figura 17a: Sezione A6b-A6b - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche – Fase A FS=1.366

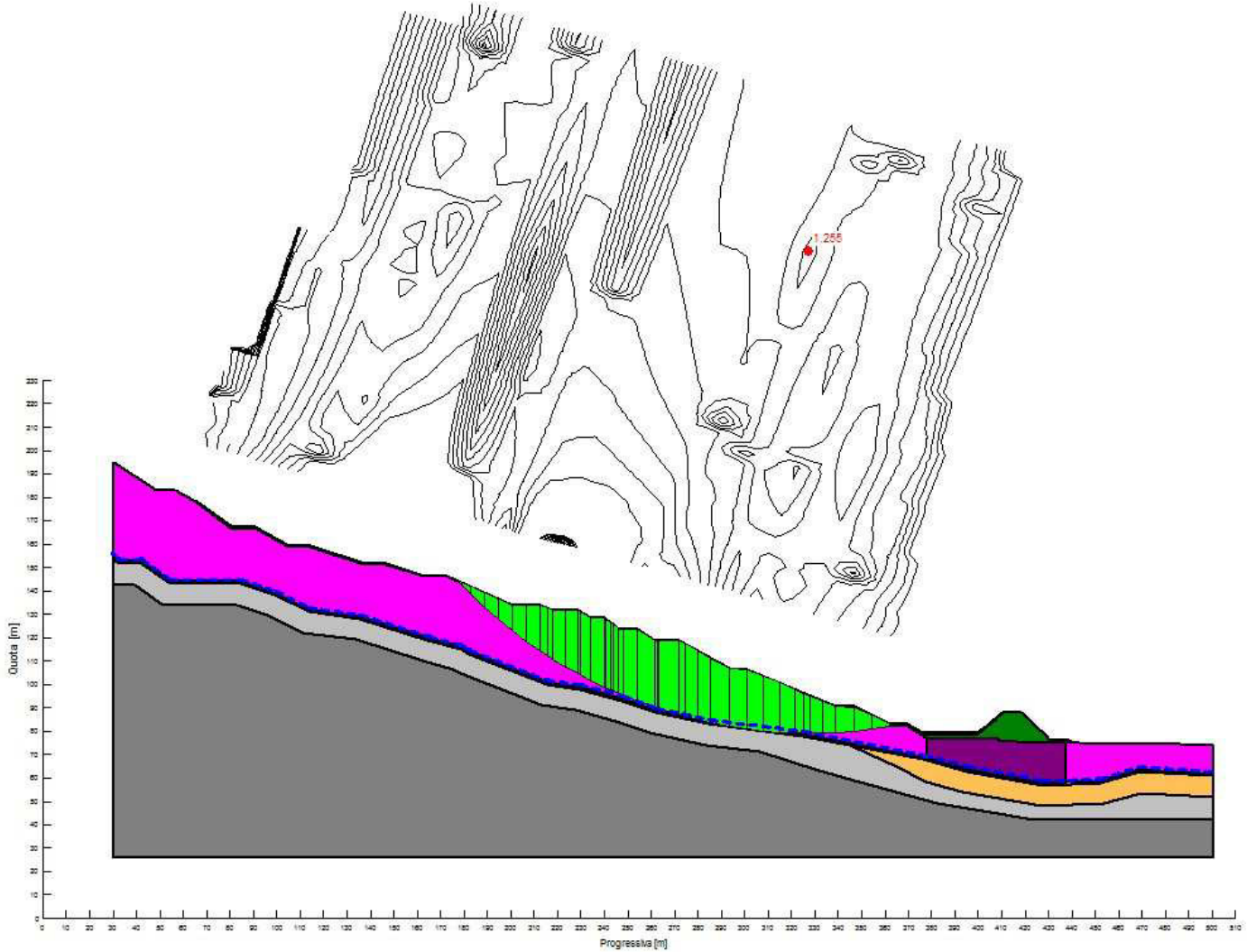


Figura 17b: Sezione A6b-A6b - Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche – Fase A FS=1.255

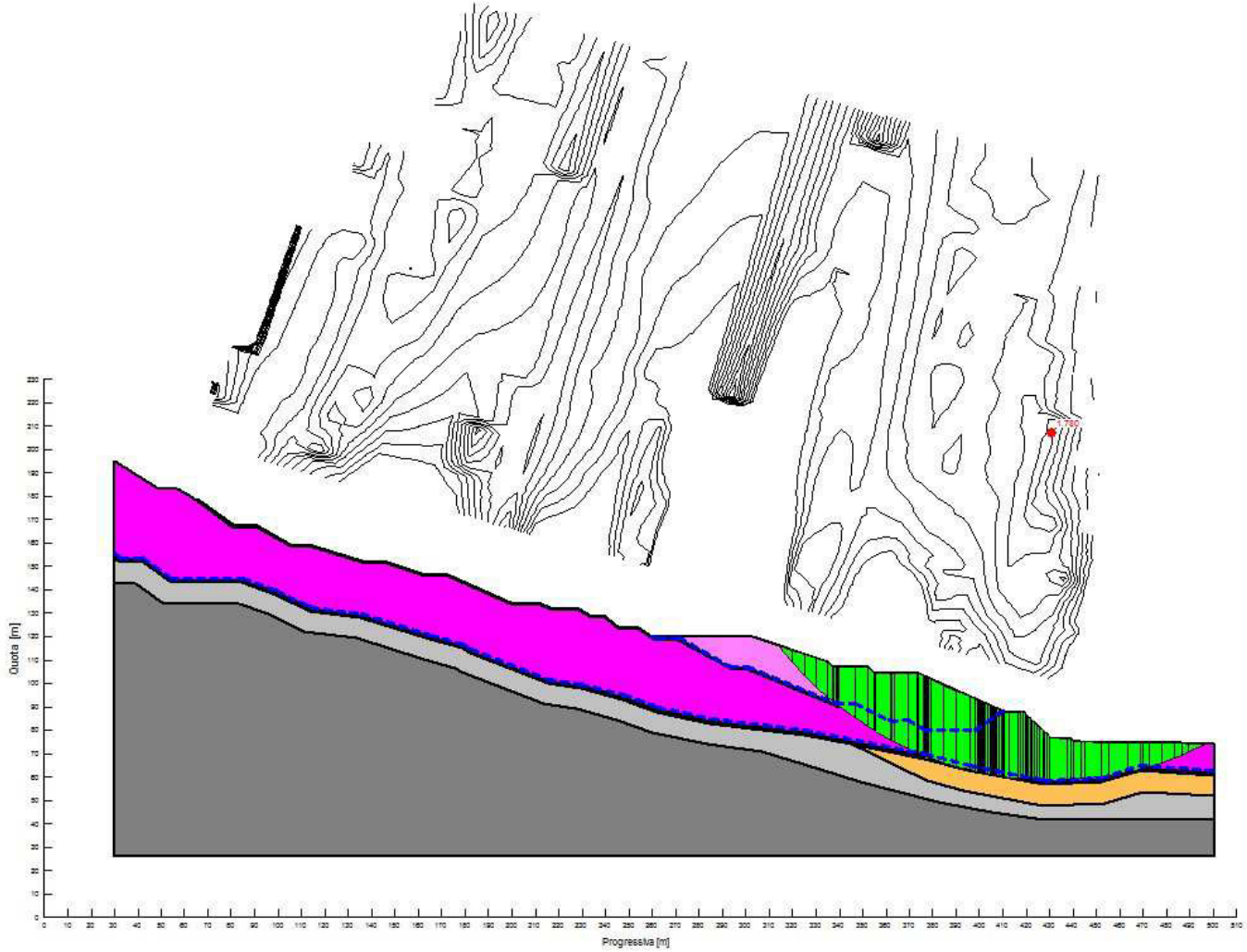


Figura 17c: Sezione A6b-A6b - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche – Fase B FS=1.780

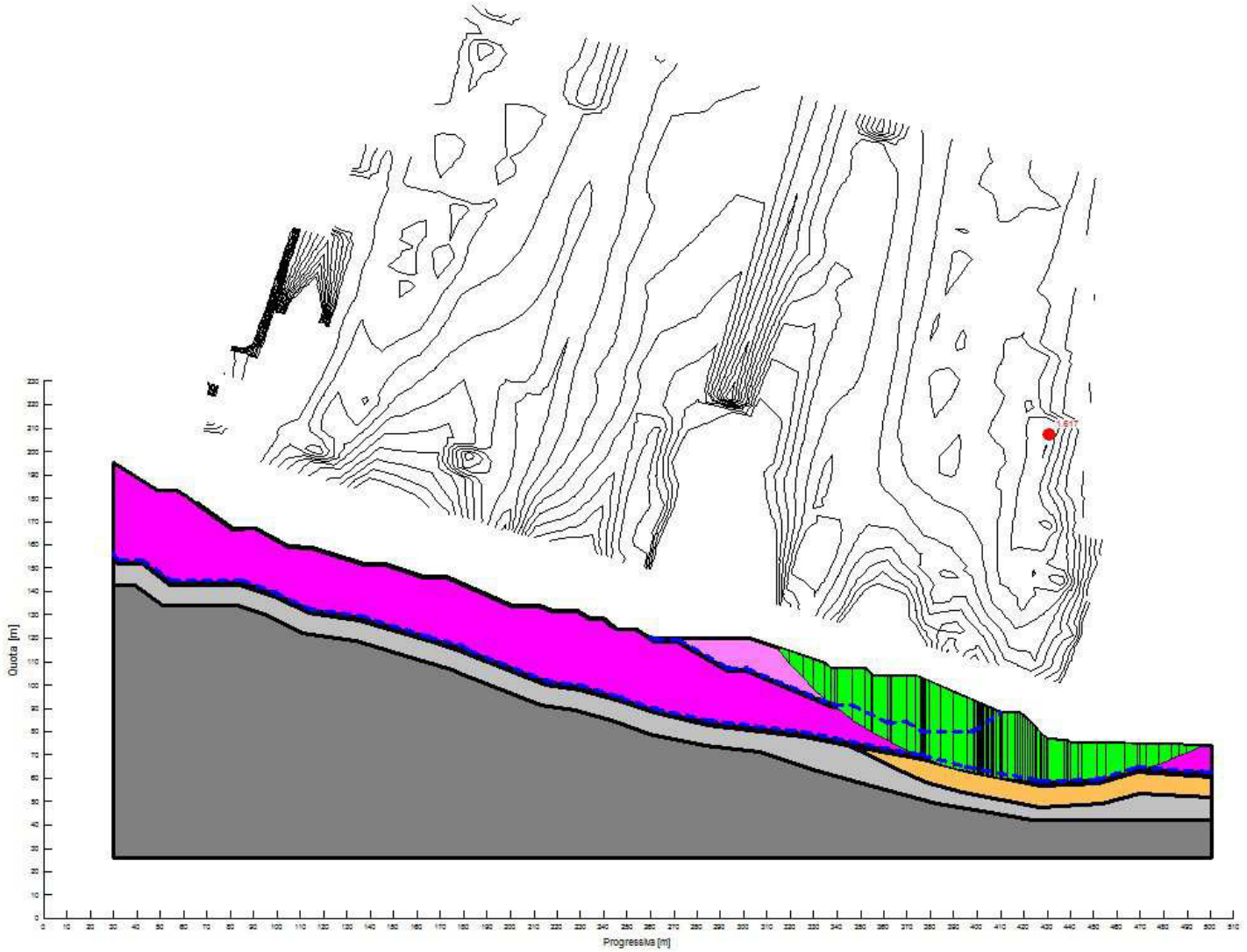


Figura 17d: Sezione A6b-A6b - Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche – Fase B FS=1.617

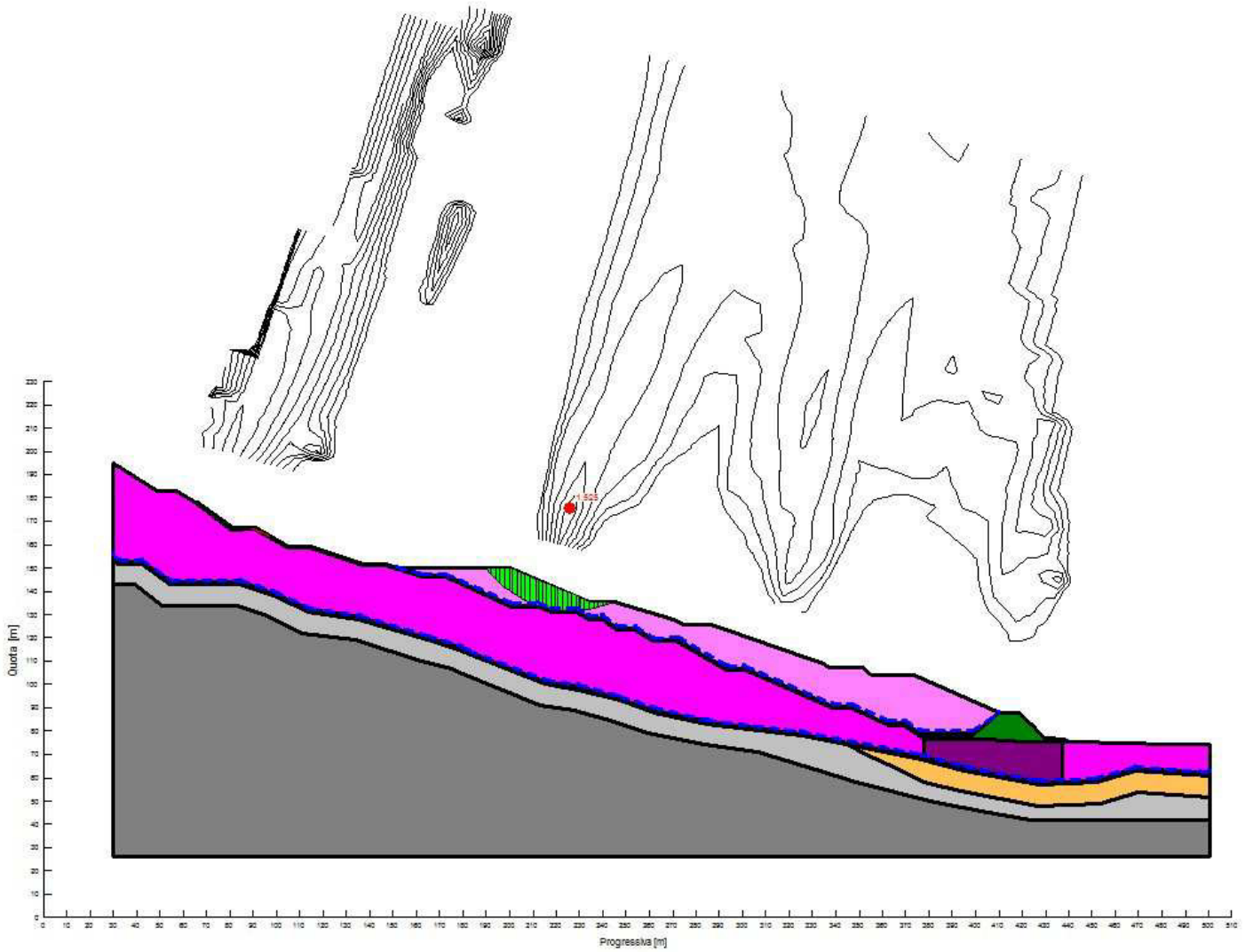


Figura 17e: Sezione A6b-A6b - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche – Fase C FS=1.525

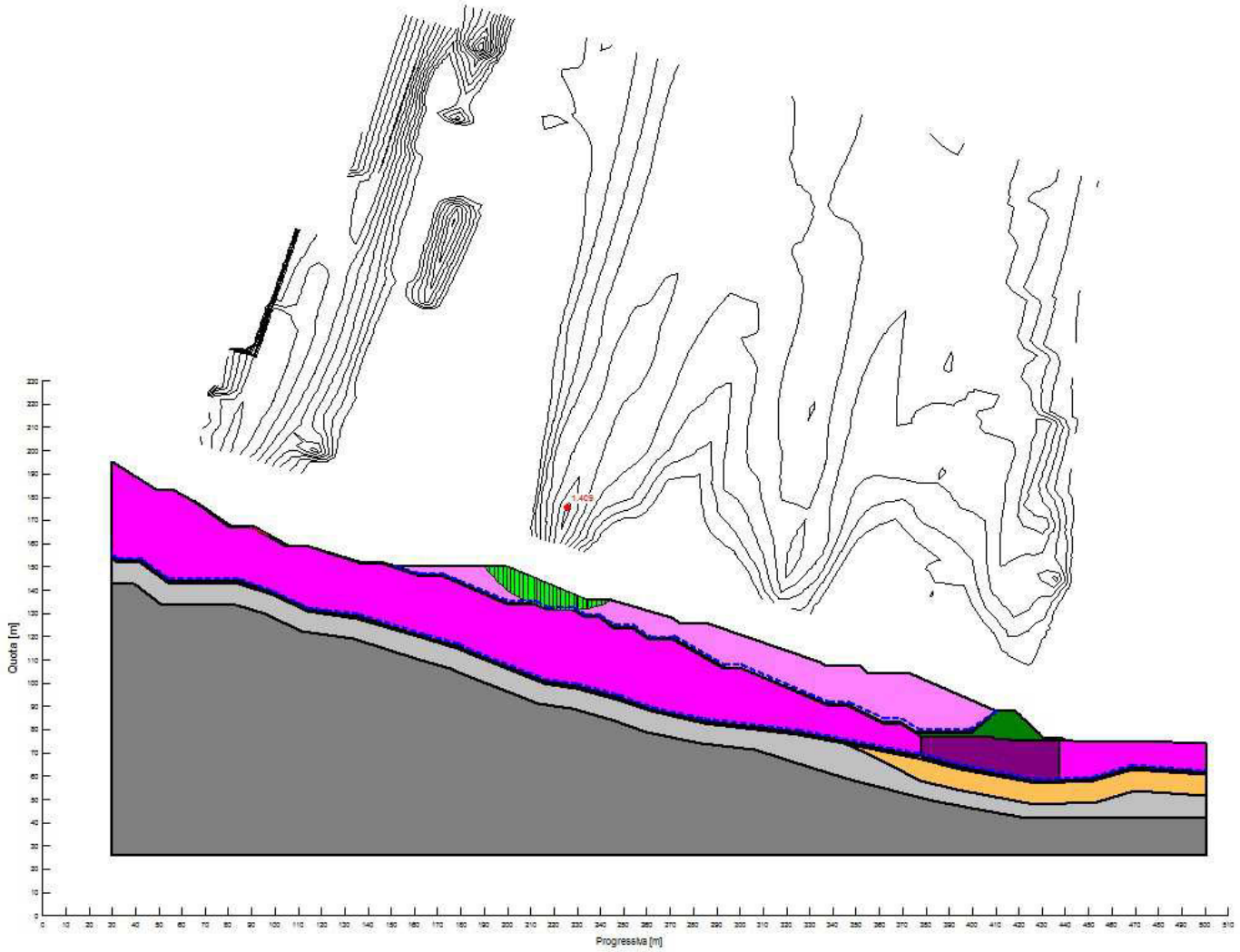
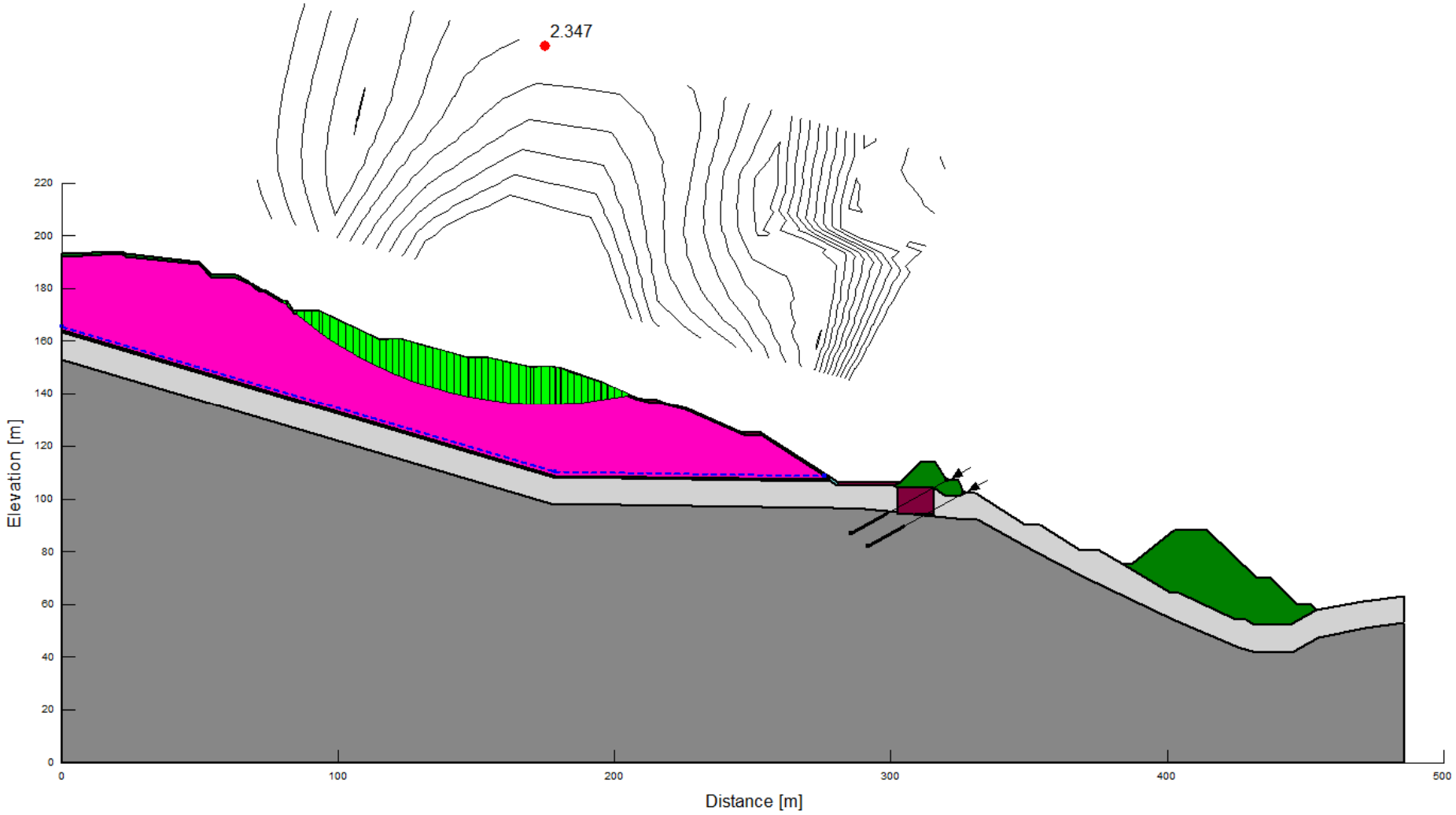


Figura 17f: Sezione A6b-A6b - Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche – Fase C FS=1.409



Figura

18a: Sezione B-B' - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche – Fase A FS=2.347

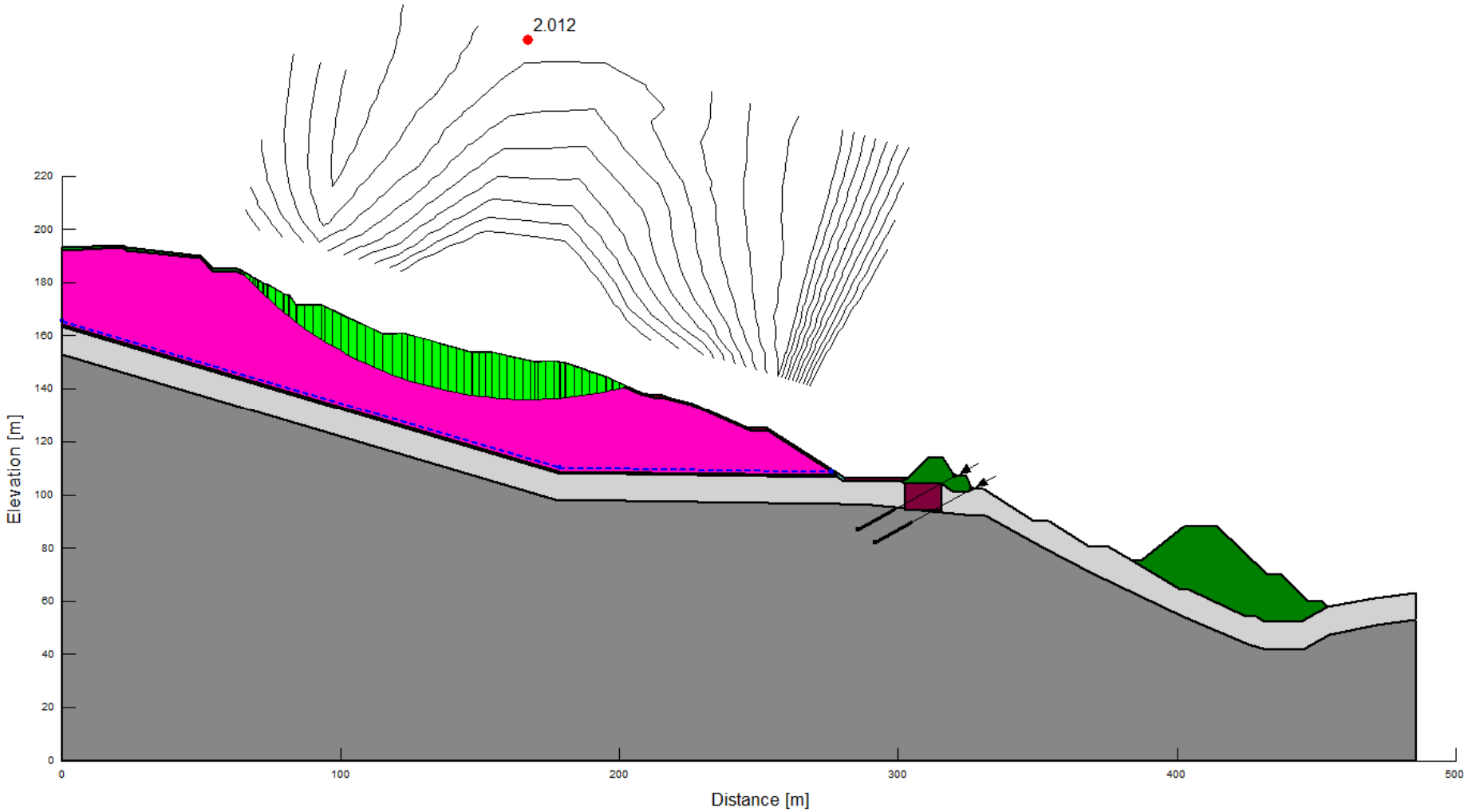


Figura 18b: Sezione B-B' - Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche – Fase A FS=2.012

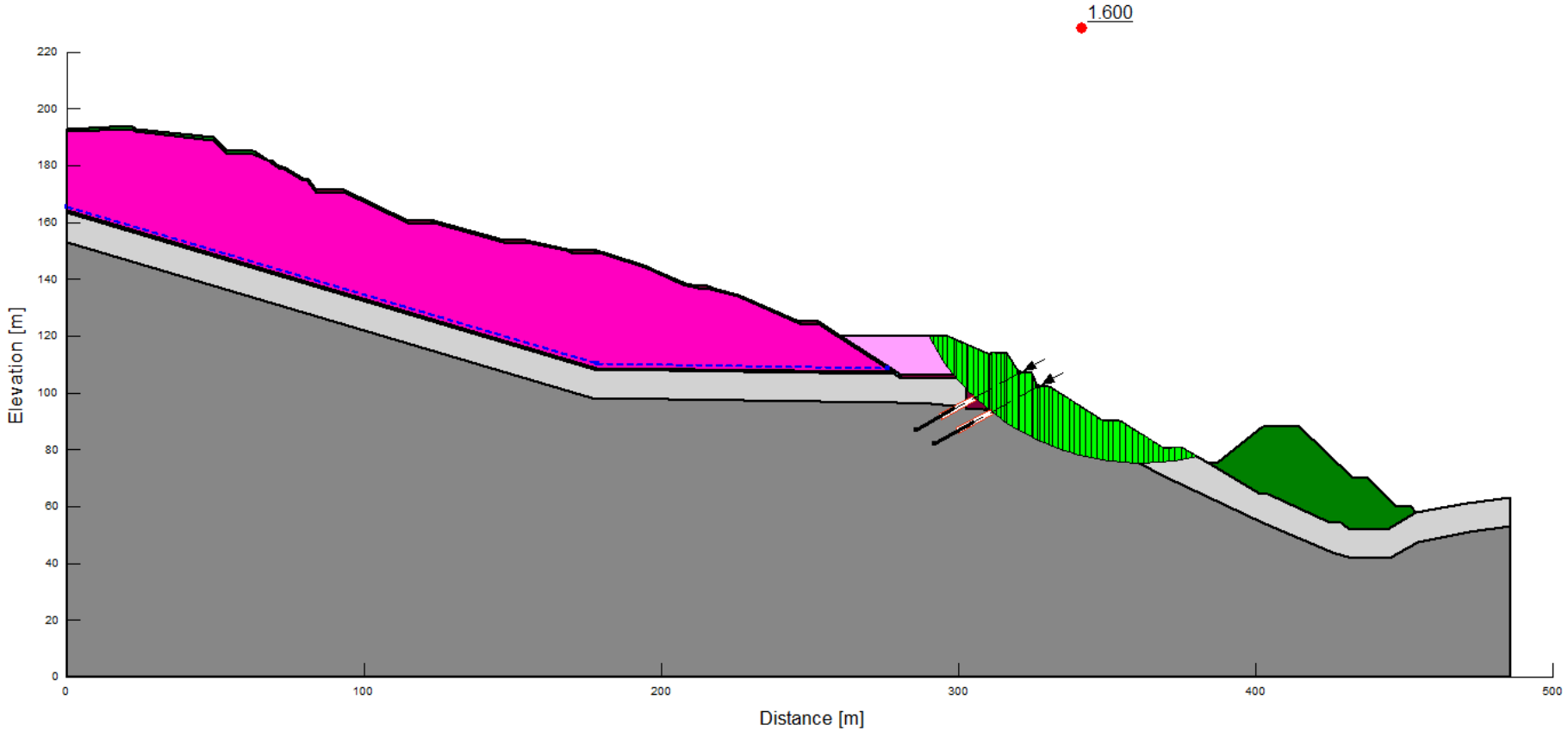


Figura 18c: Sezione B-B' - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche – Fase B FS=1.600

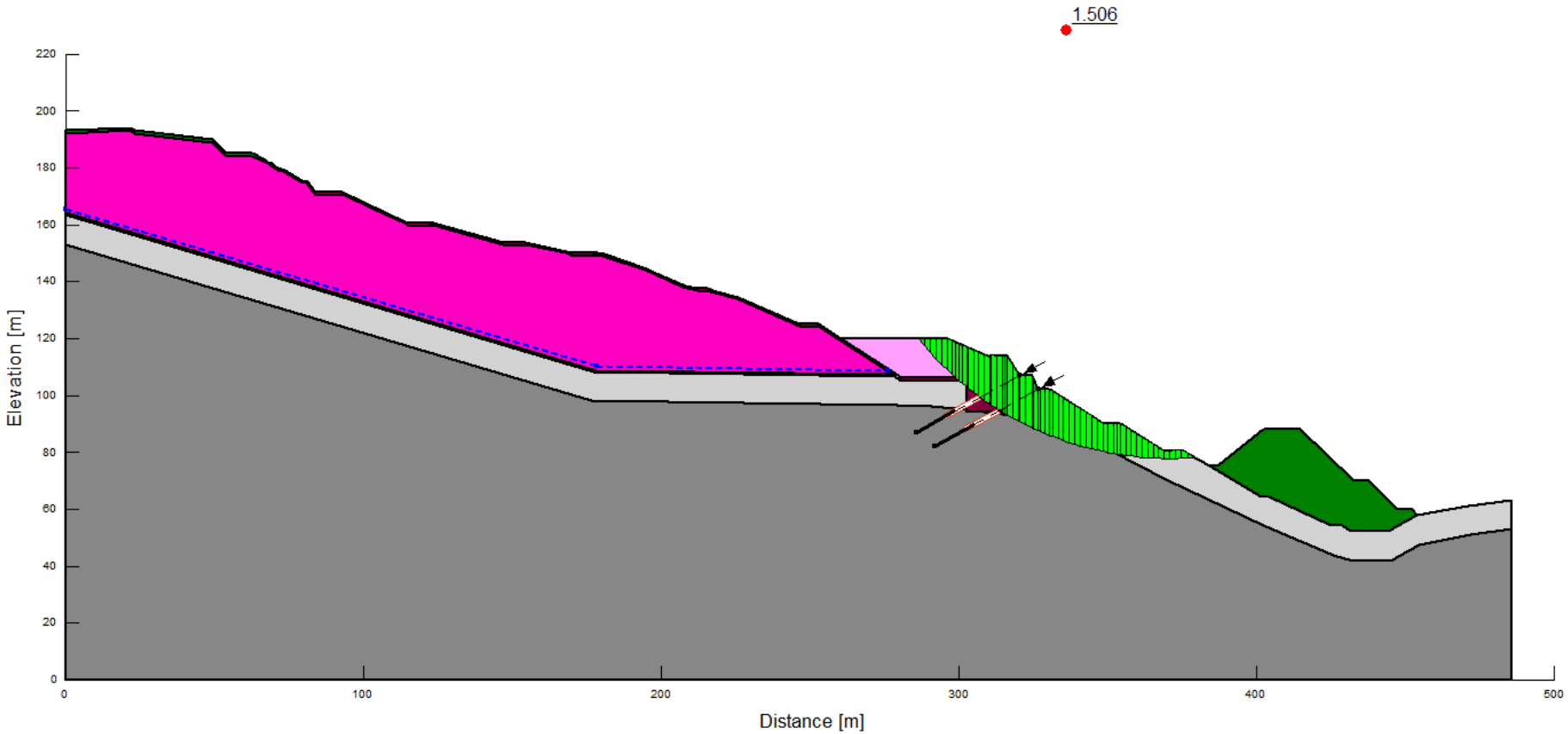


Figura 18d: Sezione B-B' - Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche – Fase B FS=1.506

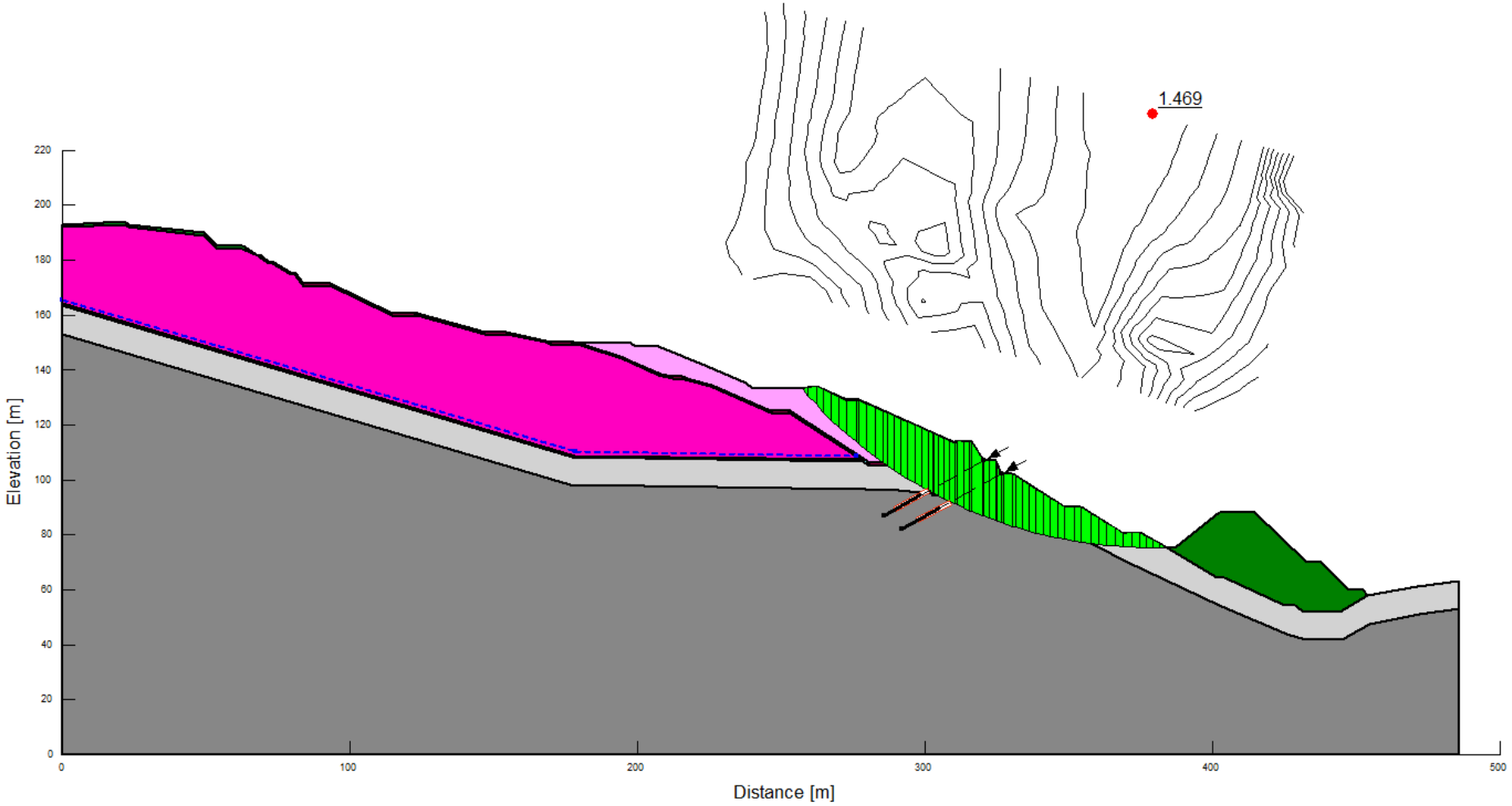


Figura 18e: Sezione B-B' - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche – Fase C FS=1.469

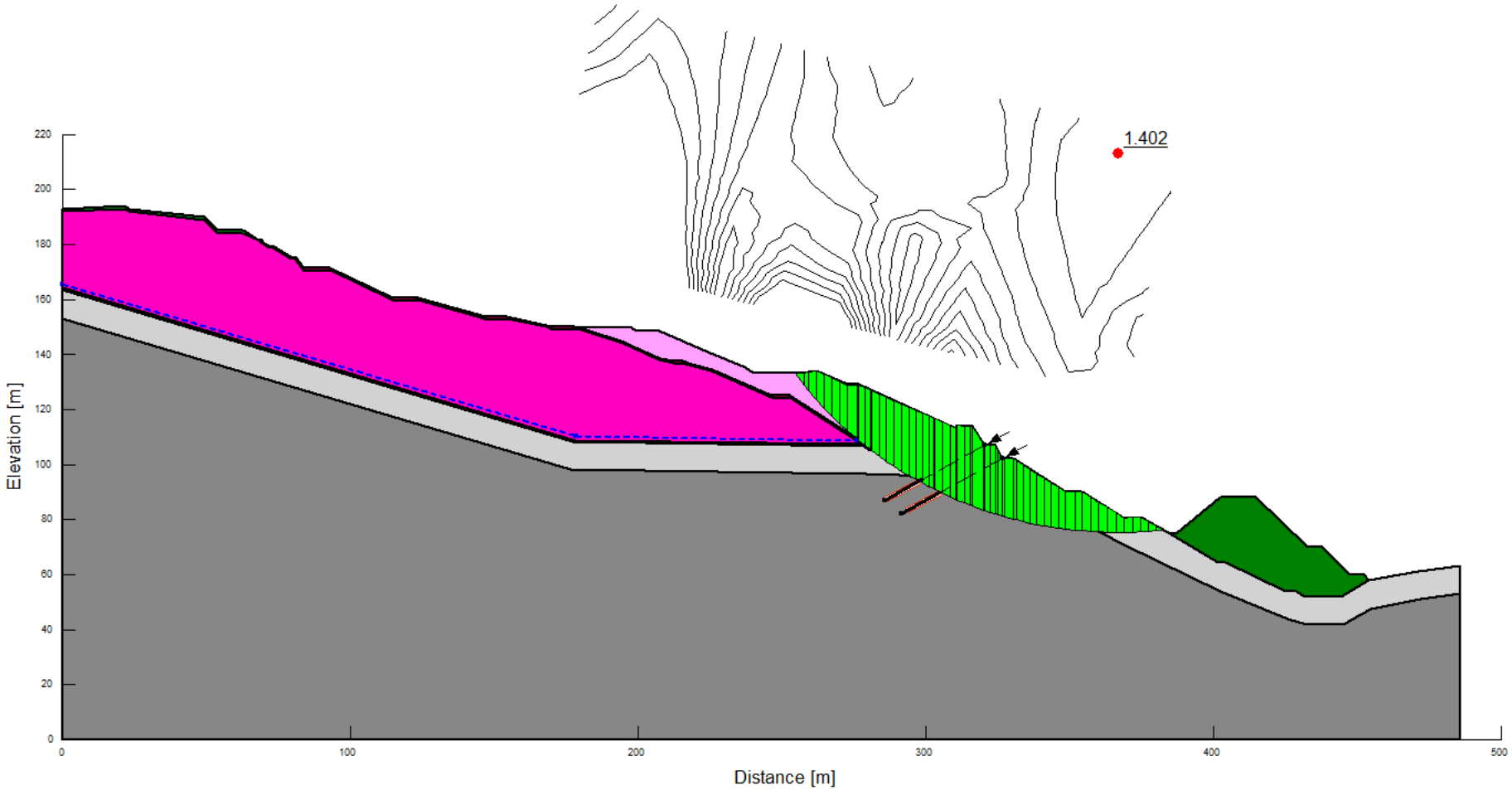


Figura 18f: Sezione B-B' - Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche – Fase C FS=1.402

Allegato C:

Analisi di stabilità della discarica – Fase 2

Sezioni considerate per le analisi di stabilità

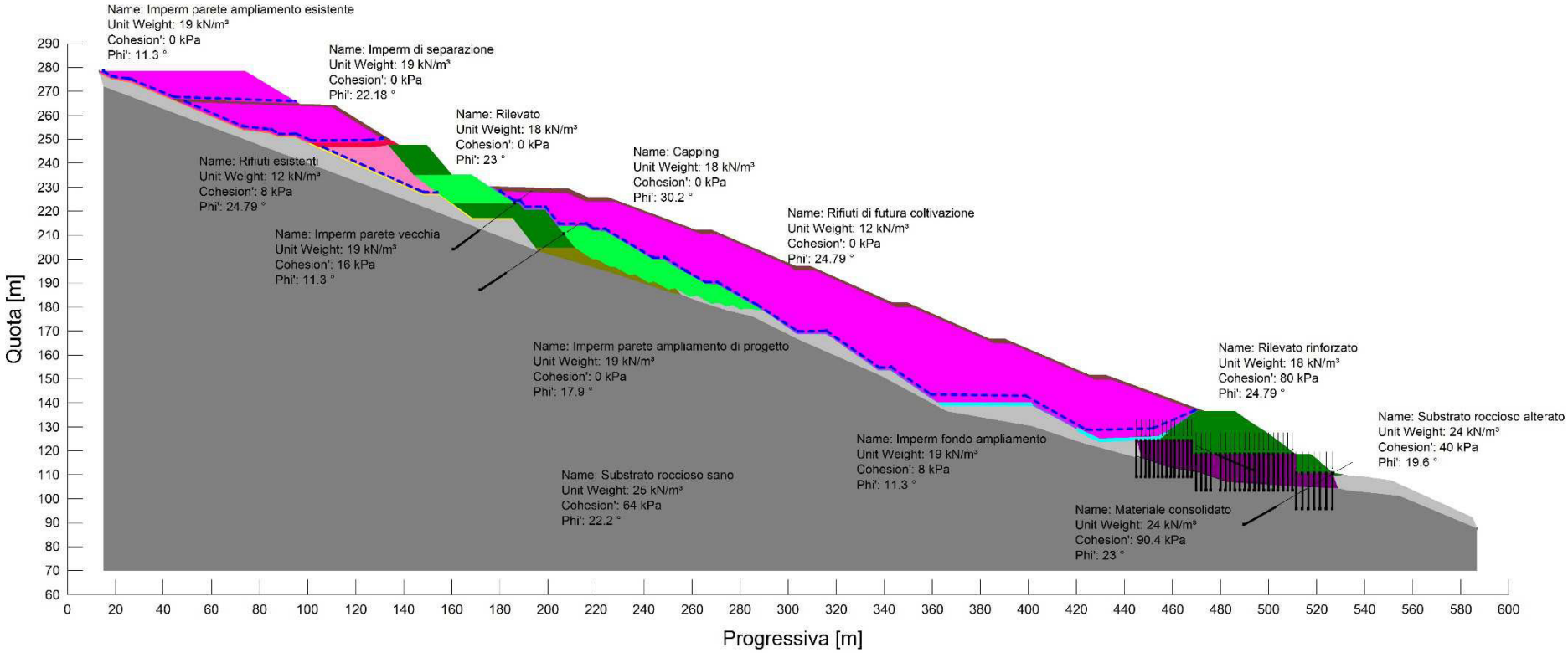


Figura 1: Sezione 3-3

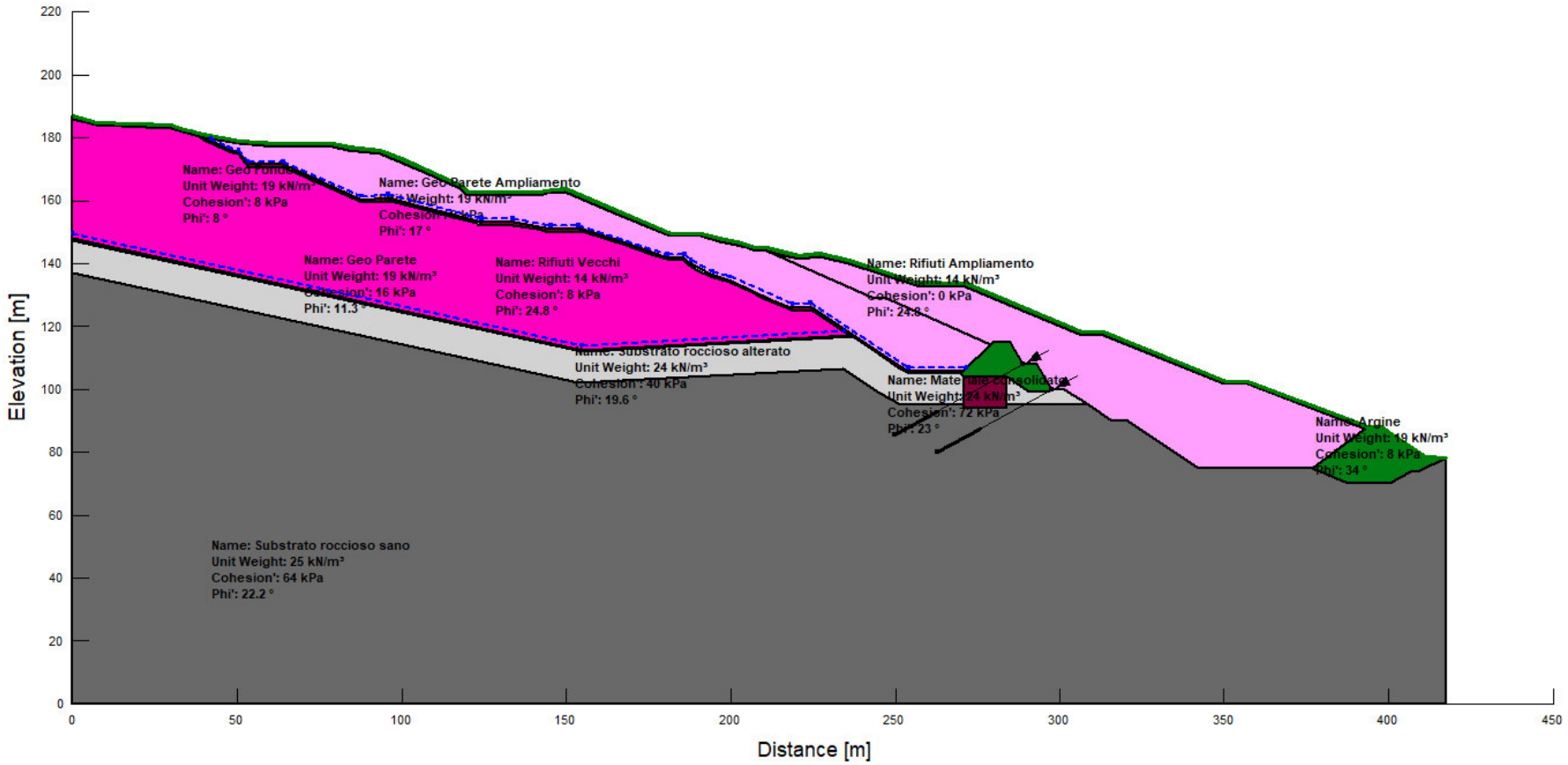


Figura-2: Sezione A-A'

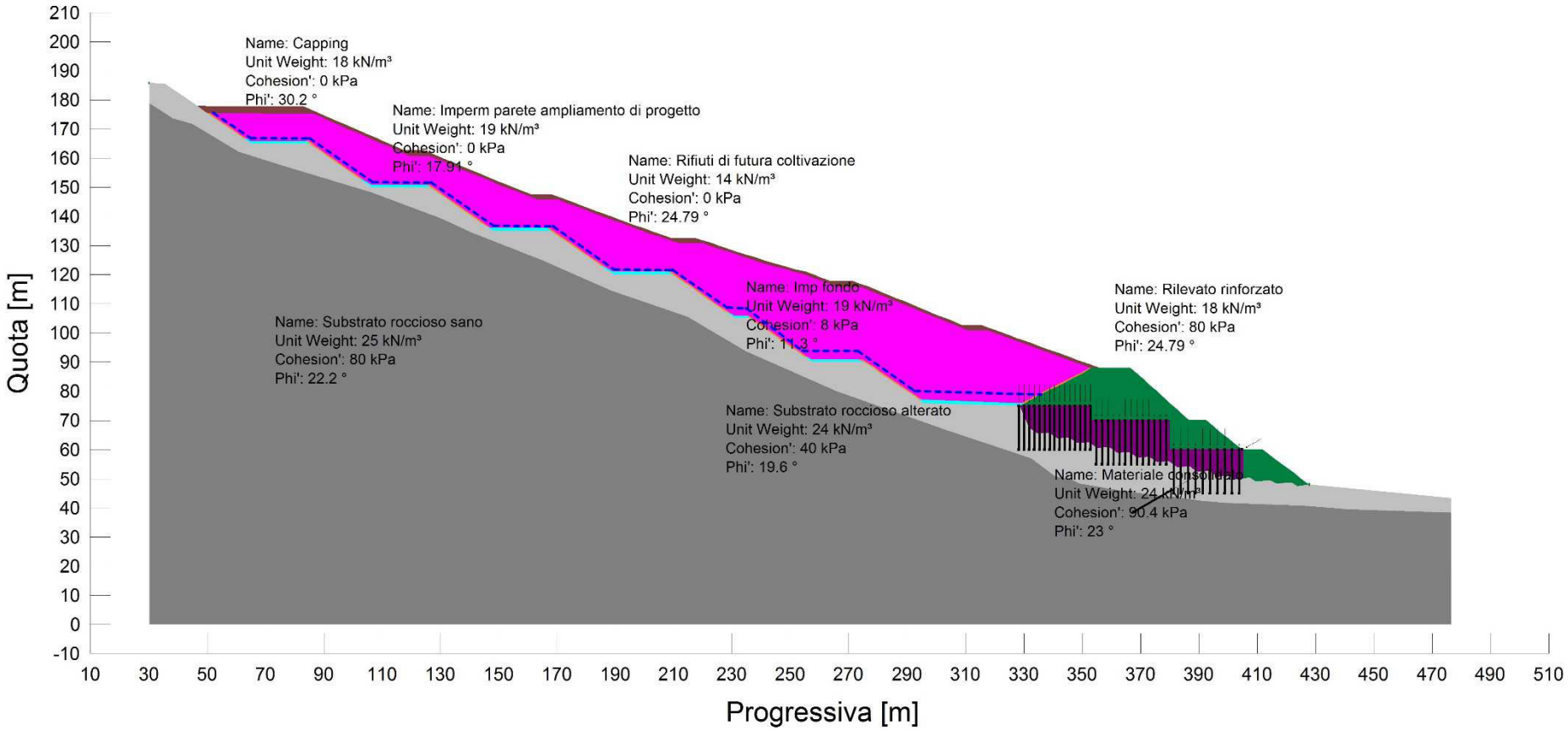


Figura 3: Sezione C1-C1

Analisi di stabilità della discarica in condizioni statiche

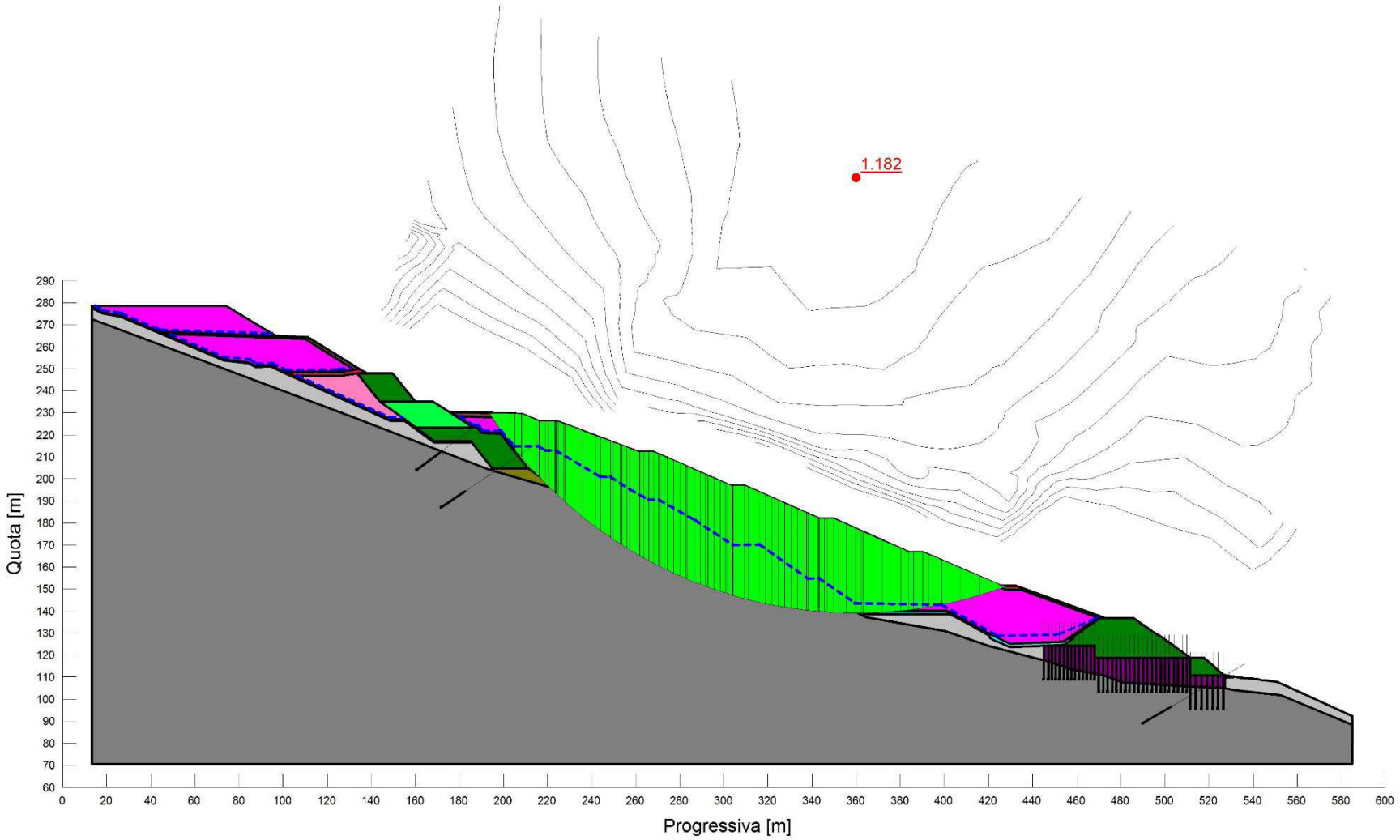


Figura 4a: Sezione 3-3 -Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=1.182

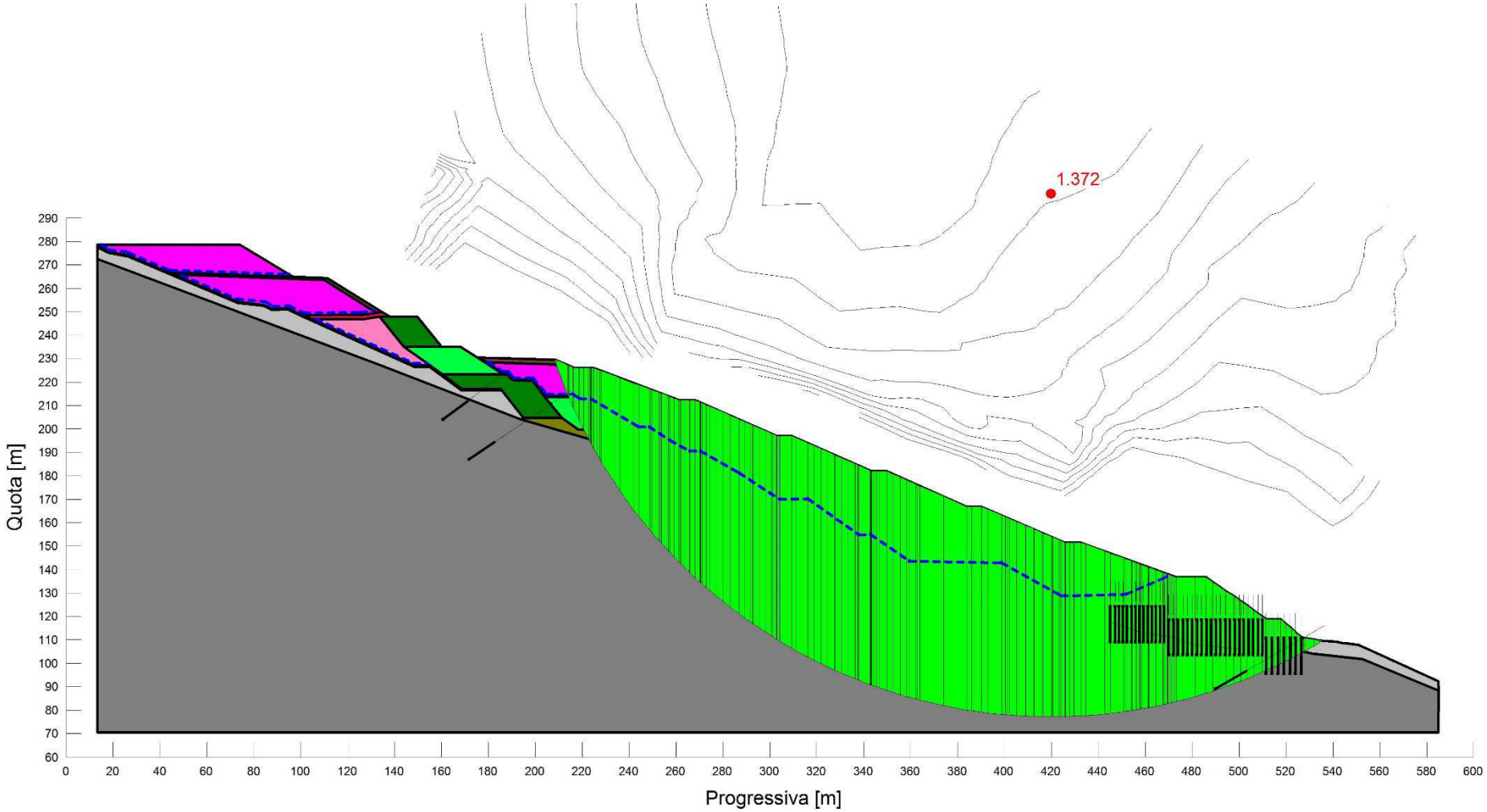


Figura 4b: Sezione 3-3 -Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=1.372

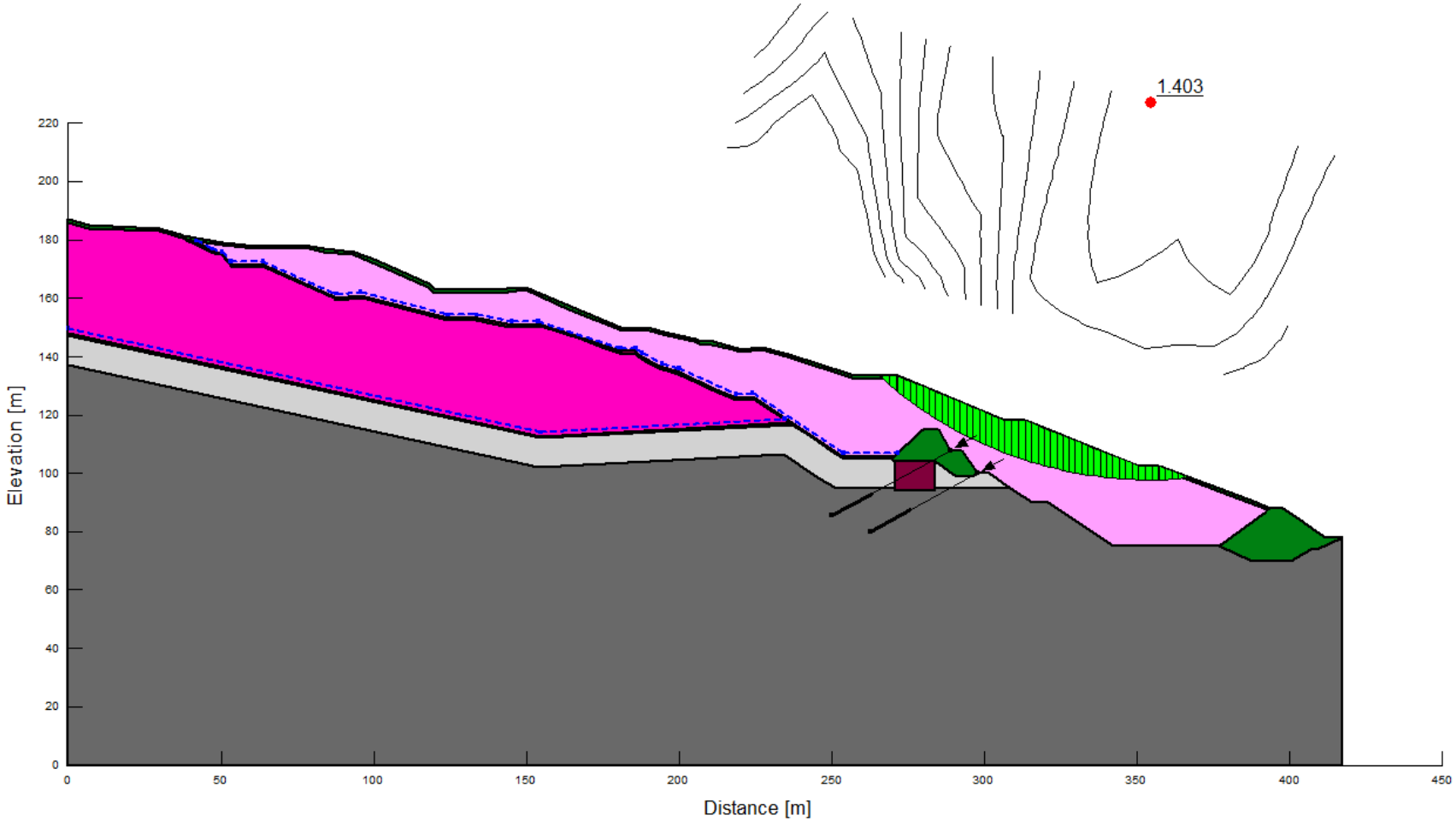


Figura 5a: Sezione A-A' - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=1.403

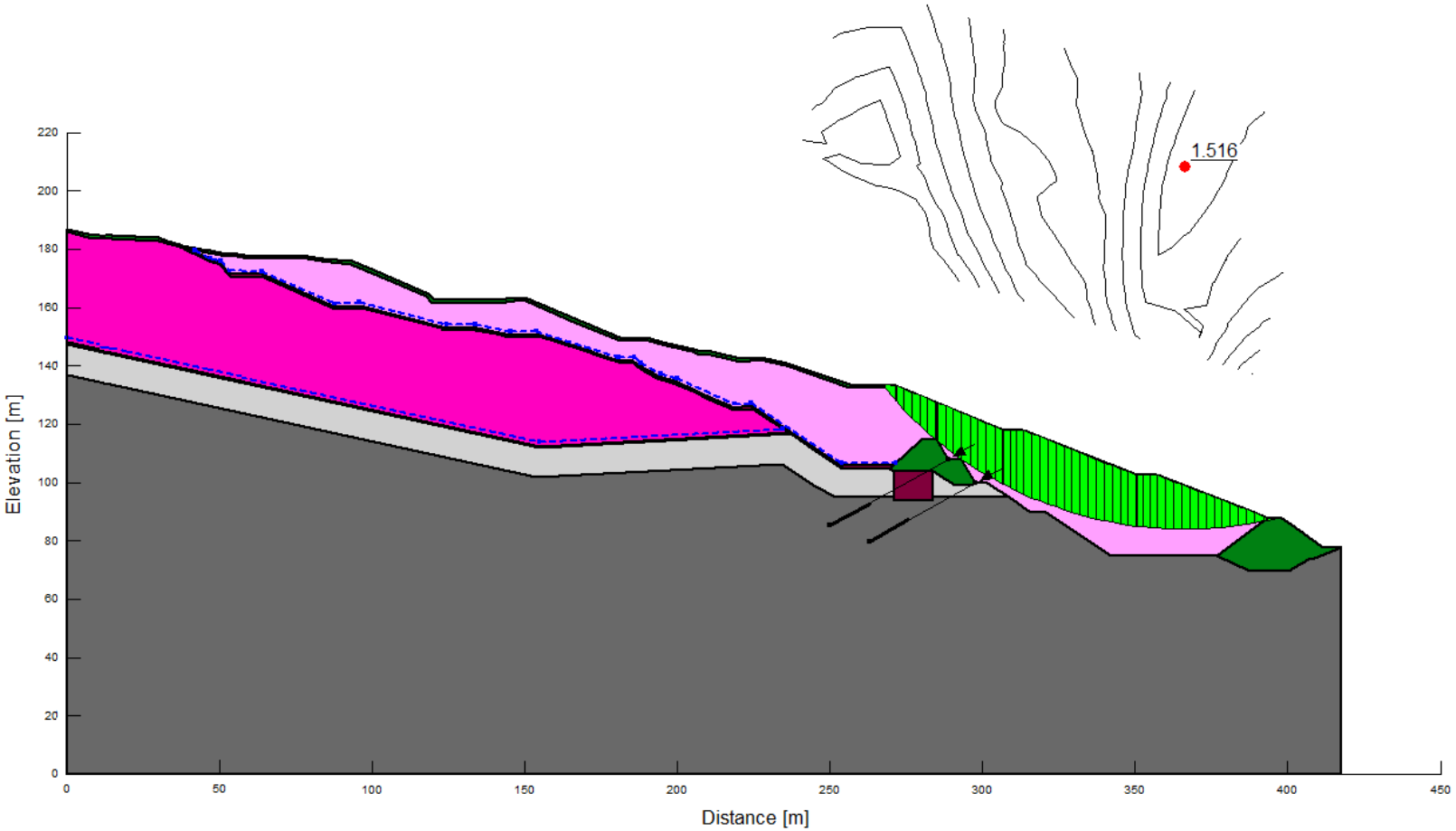


Figura 5b: Sezione A-A' - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=1.516

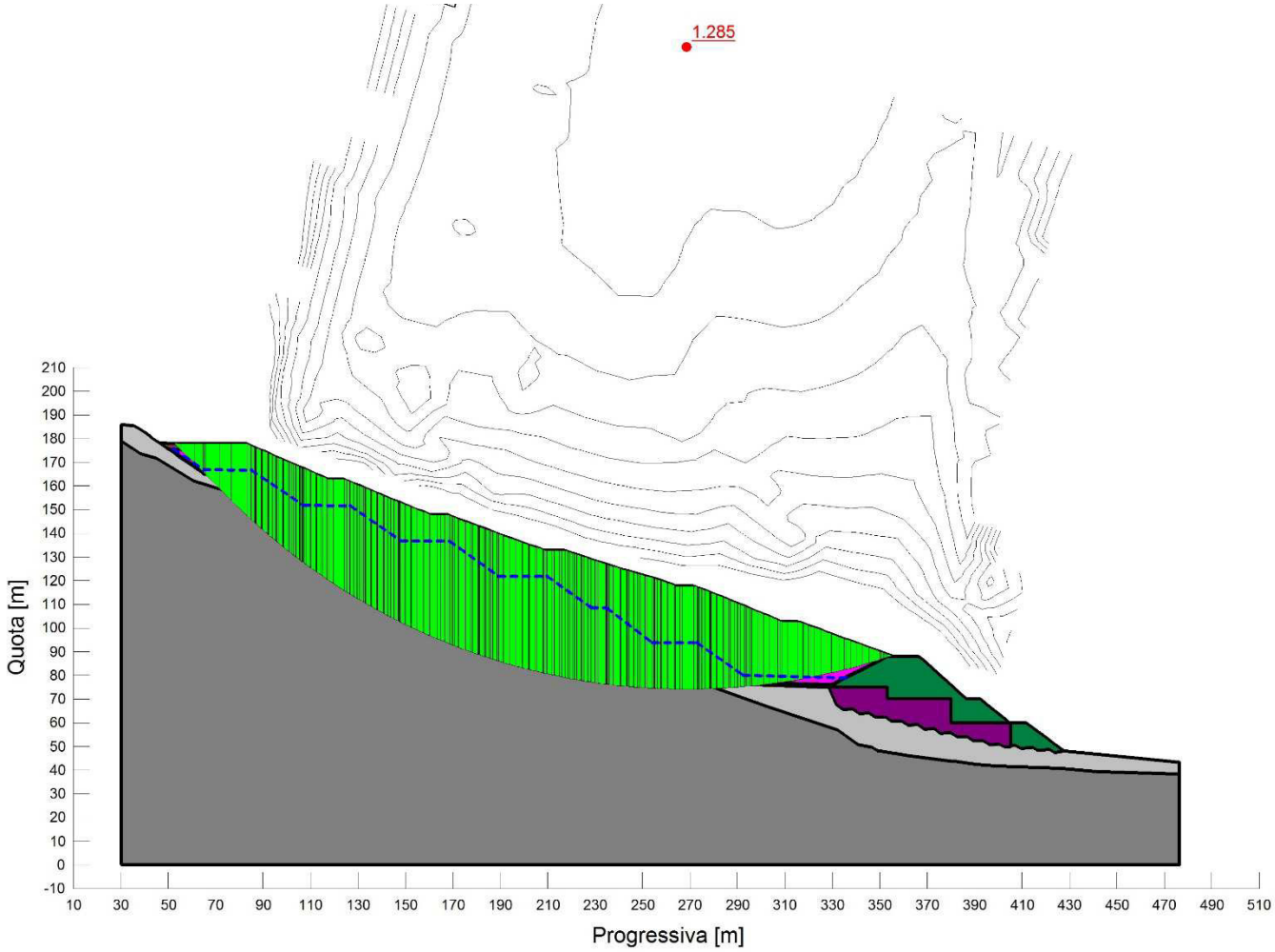


Figura 6a: Sezione C1-C1 - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=1.285

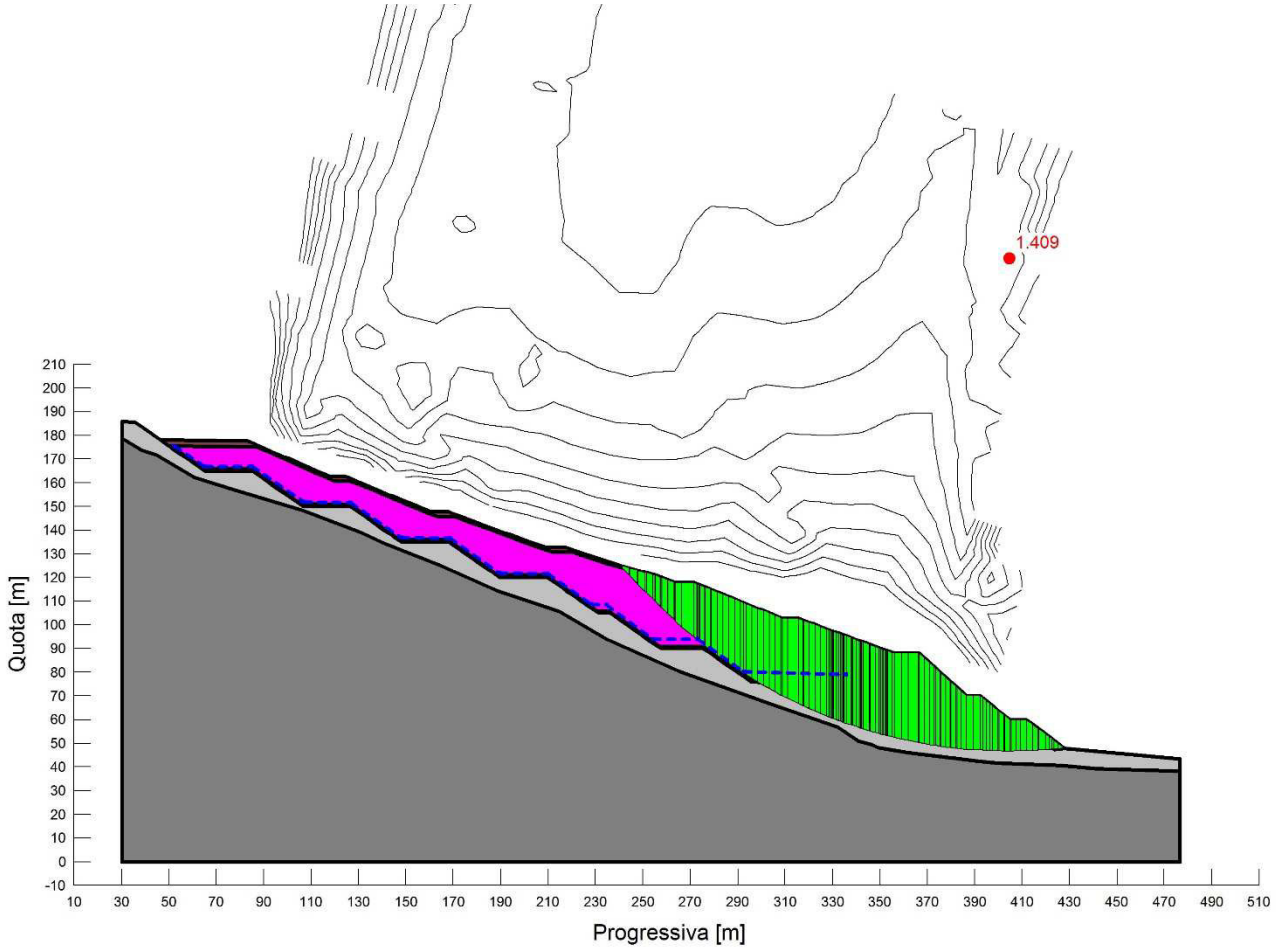


Figura 6b: Sezione C1-C1 - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche FS=1.409

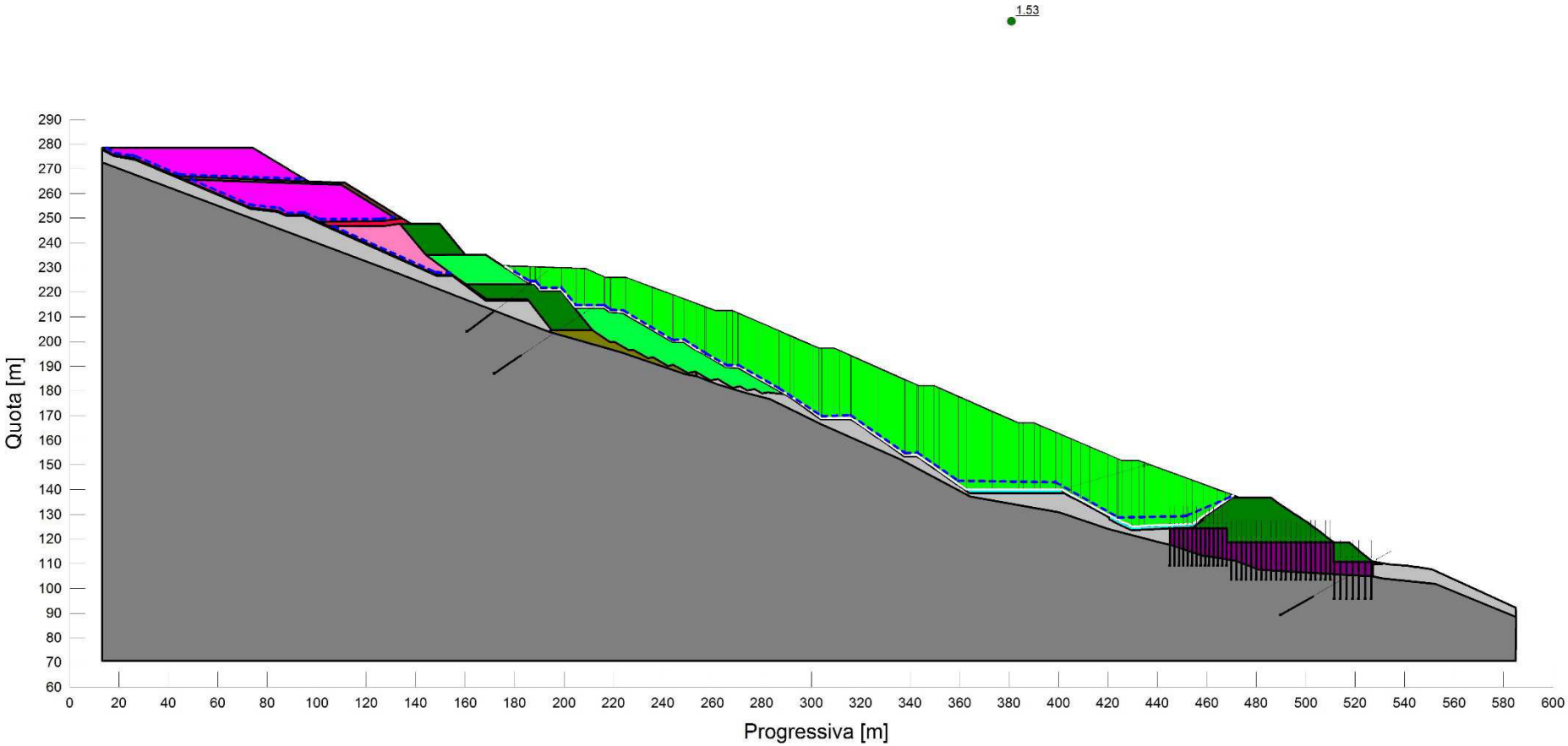


Figura 7a: Sezione 3-3 -Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.53

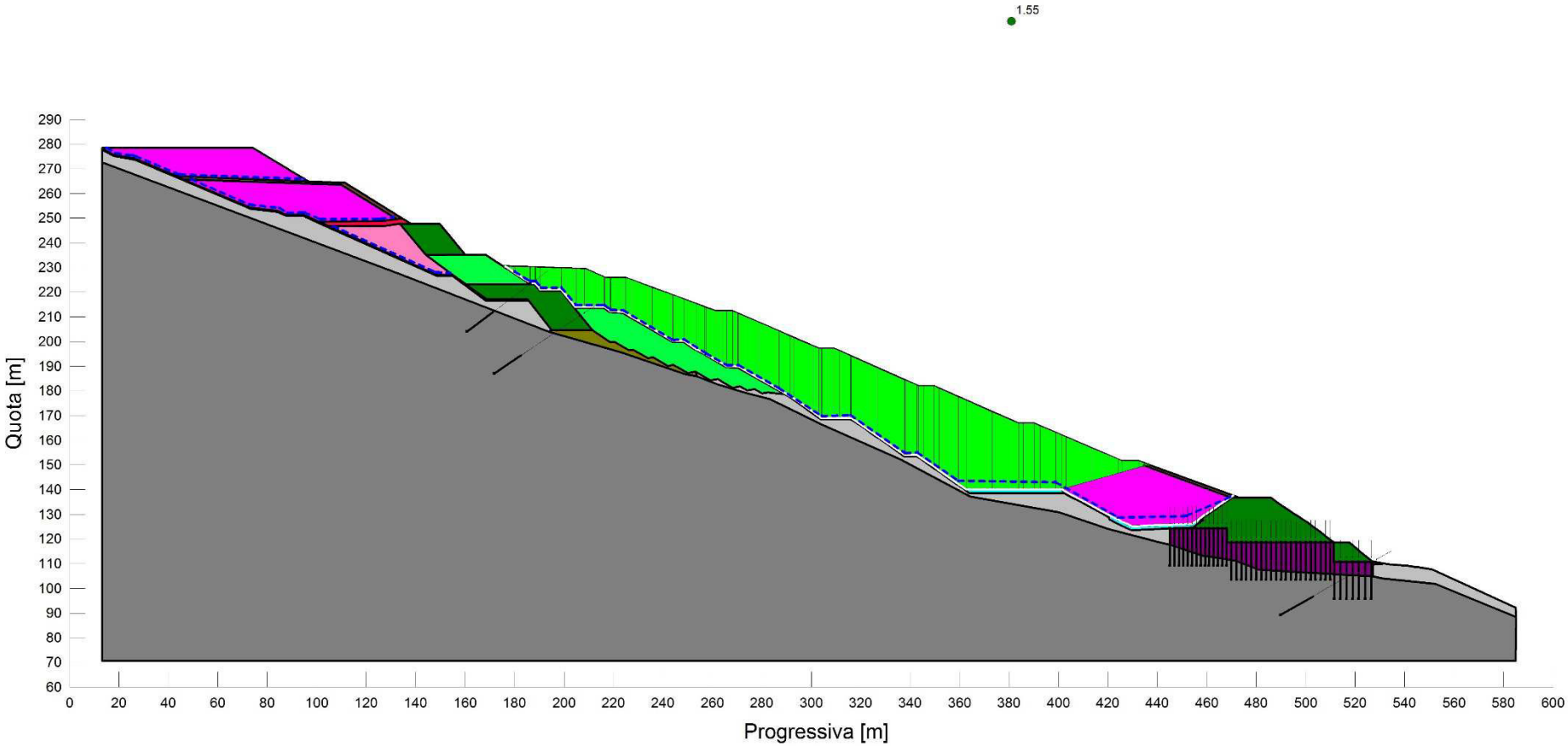


Figura 7b: Sezione 3-3 -Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.55

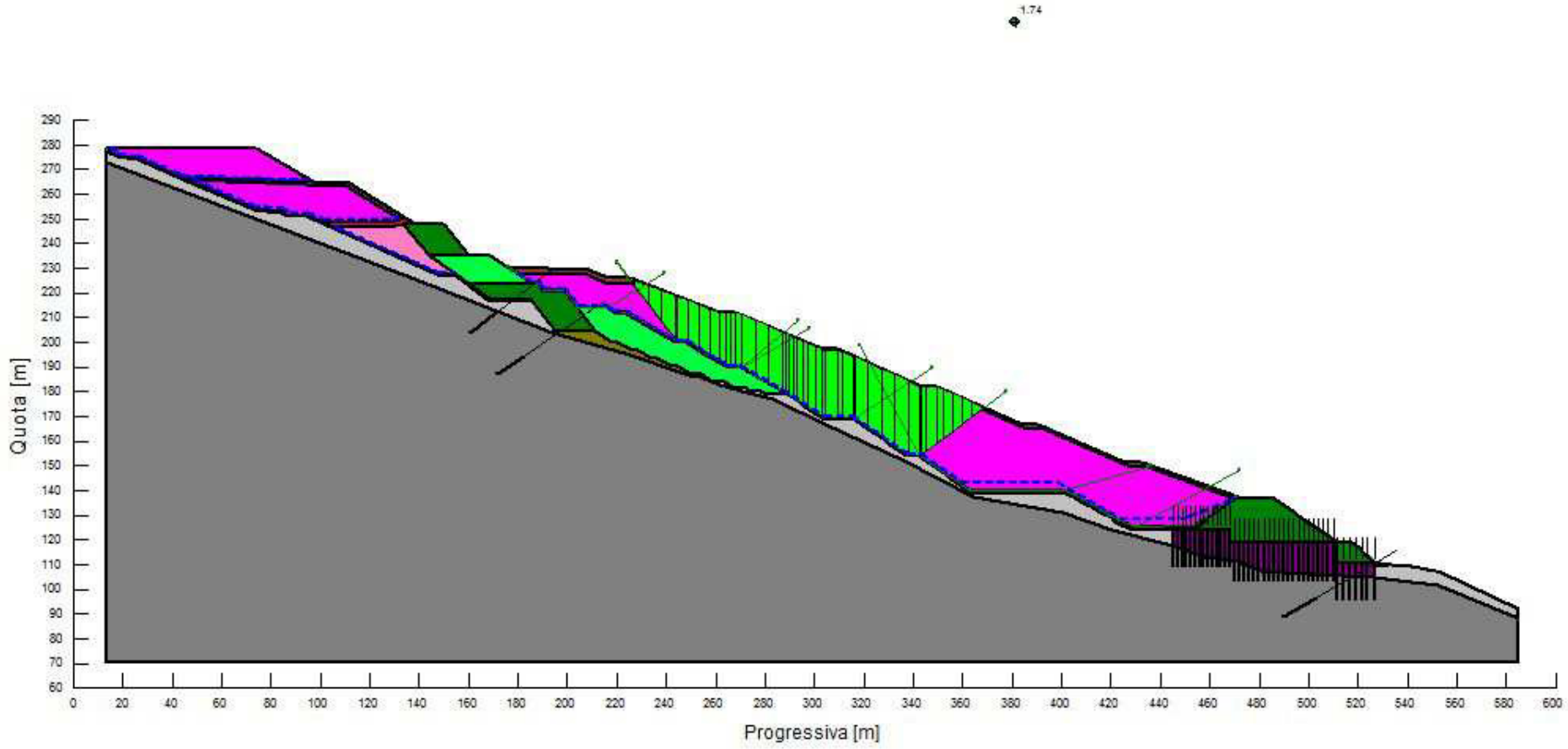


Figura 7c: Sezione 3-3 - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.74

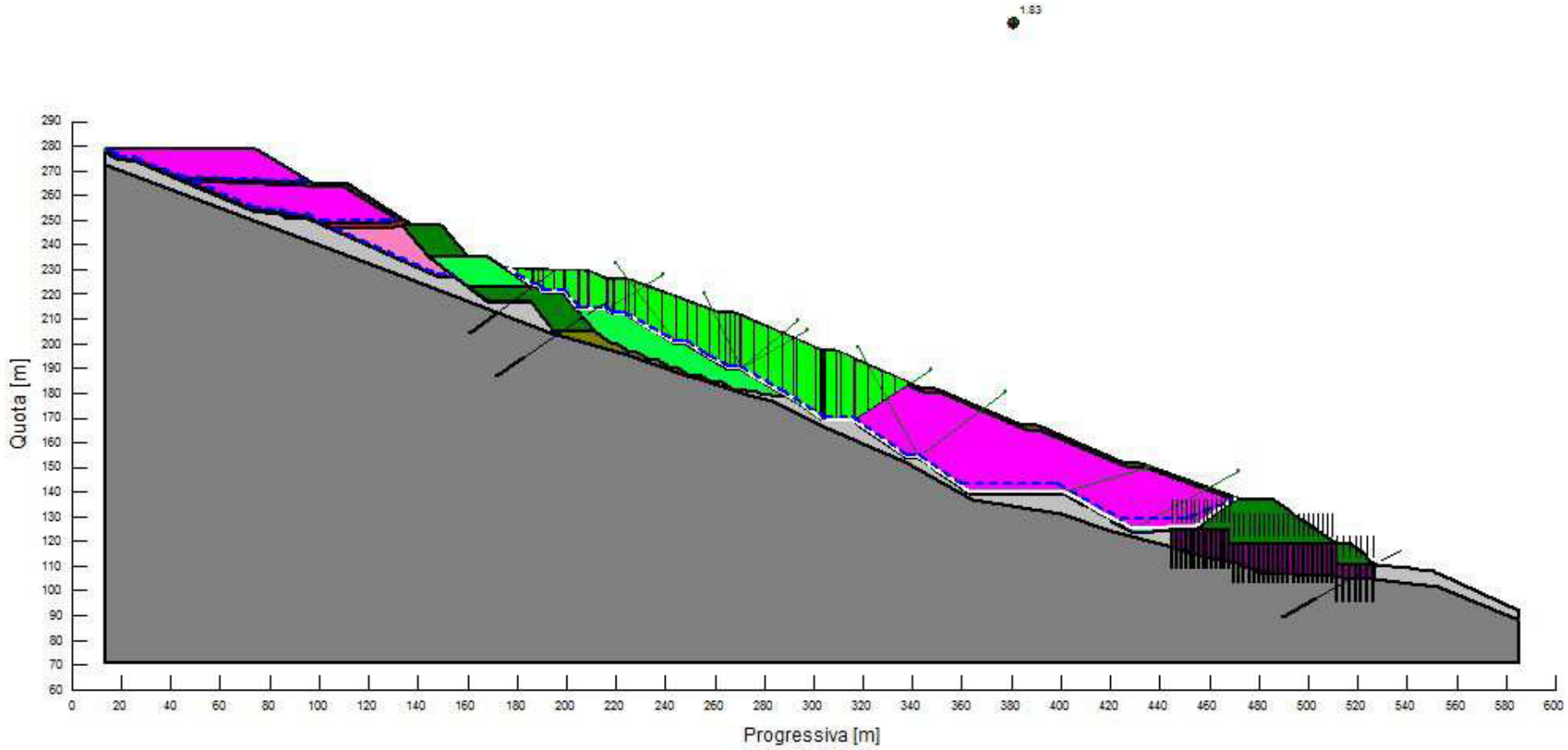


Figura 7d: Sezione 3-3 -Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.83

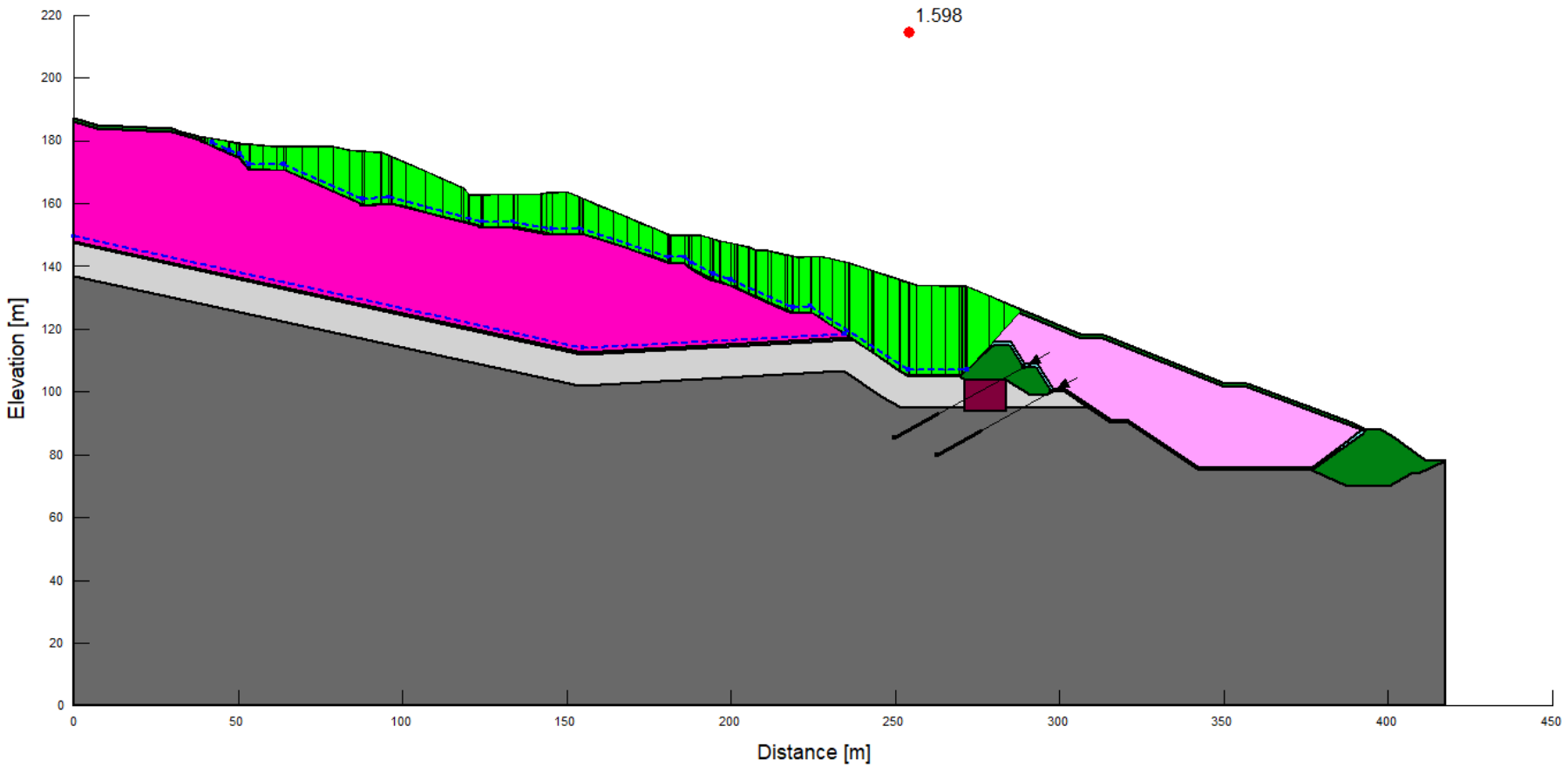


Figura 8a: Sezione A-A' - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.598

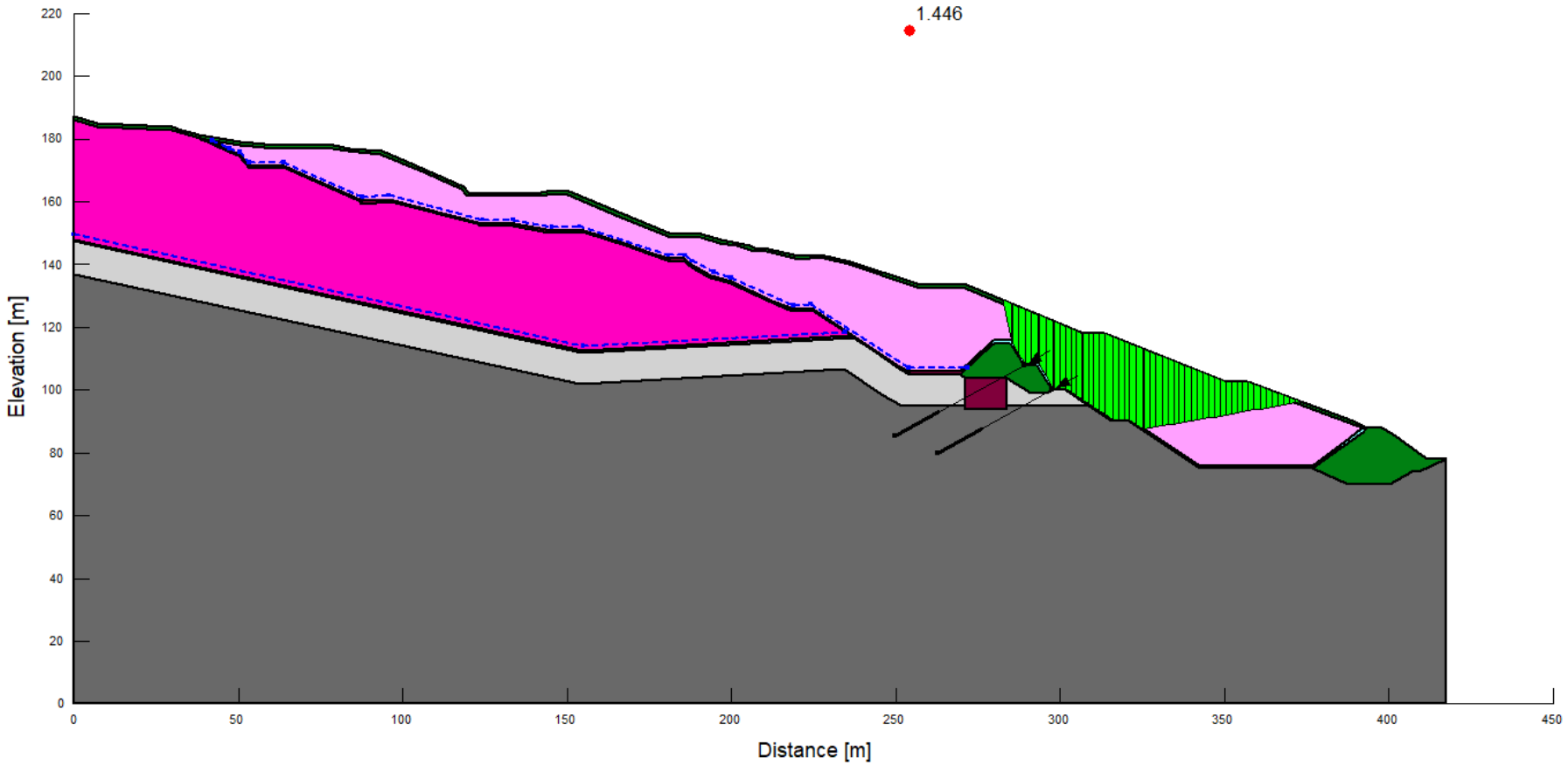


Figura 8b: Sezione A-A' - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.446

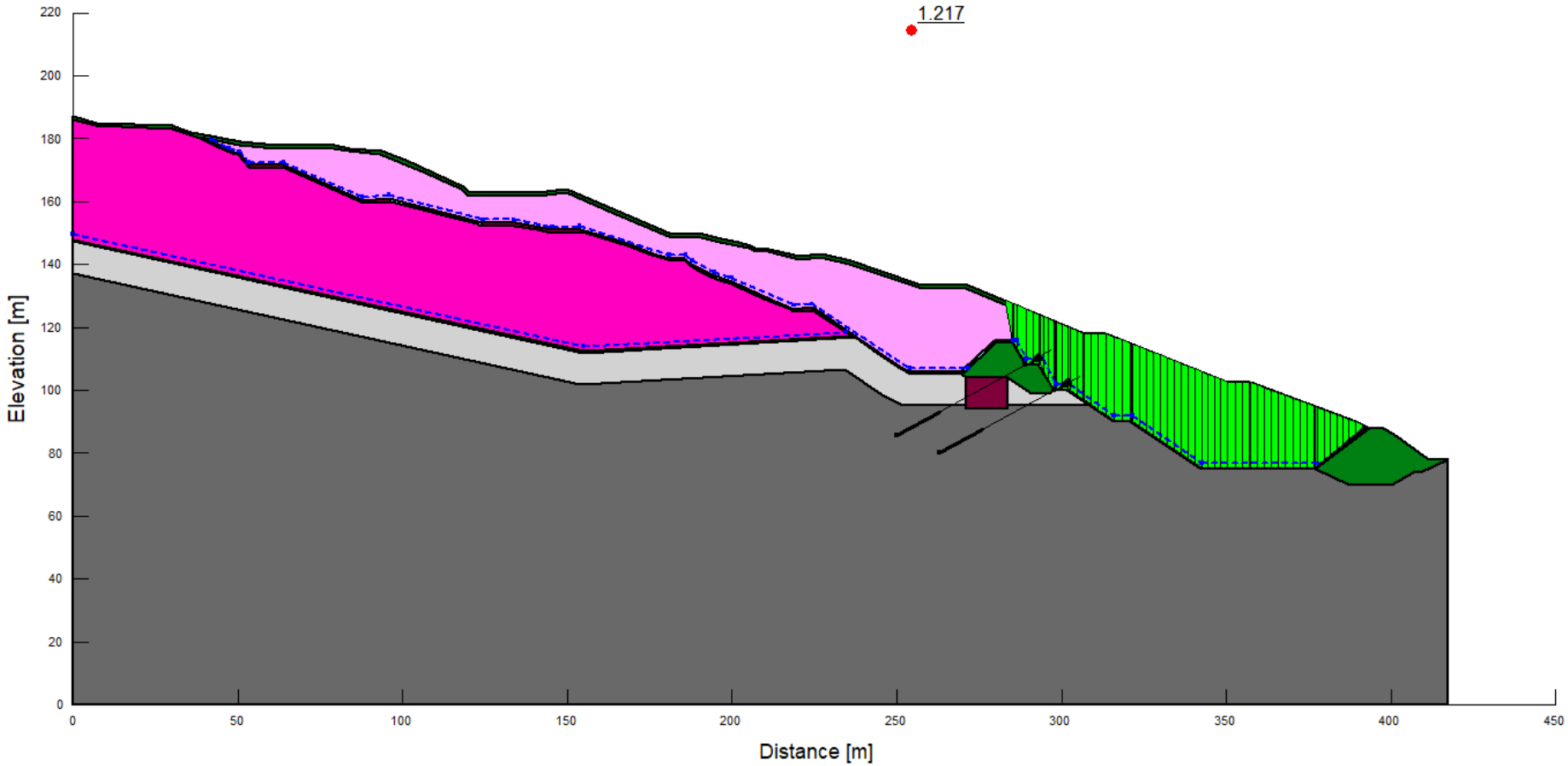


Figura 8c: Sezione A-A' - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.217

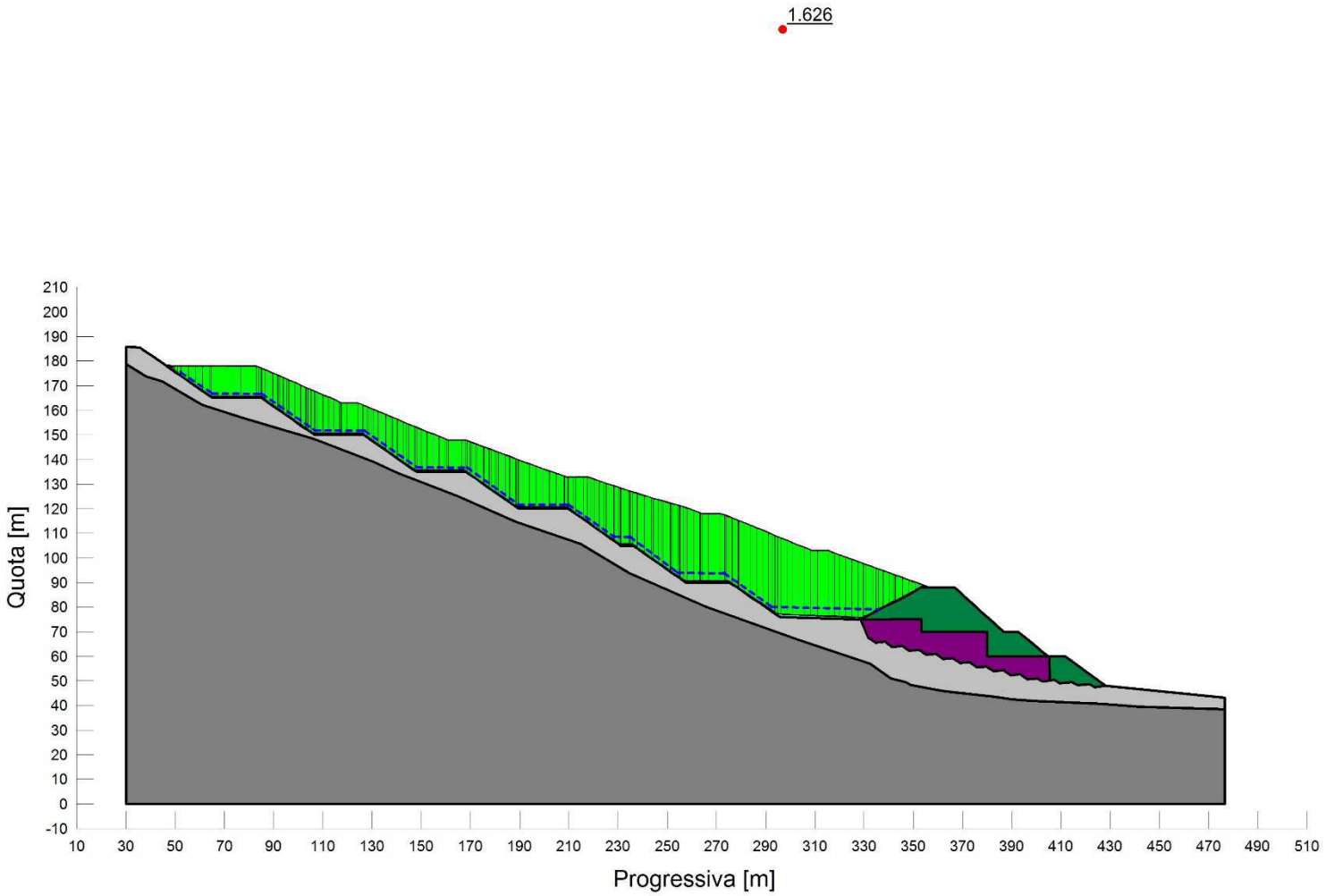


Figura 9a: Sezione C1-C1 - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.626

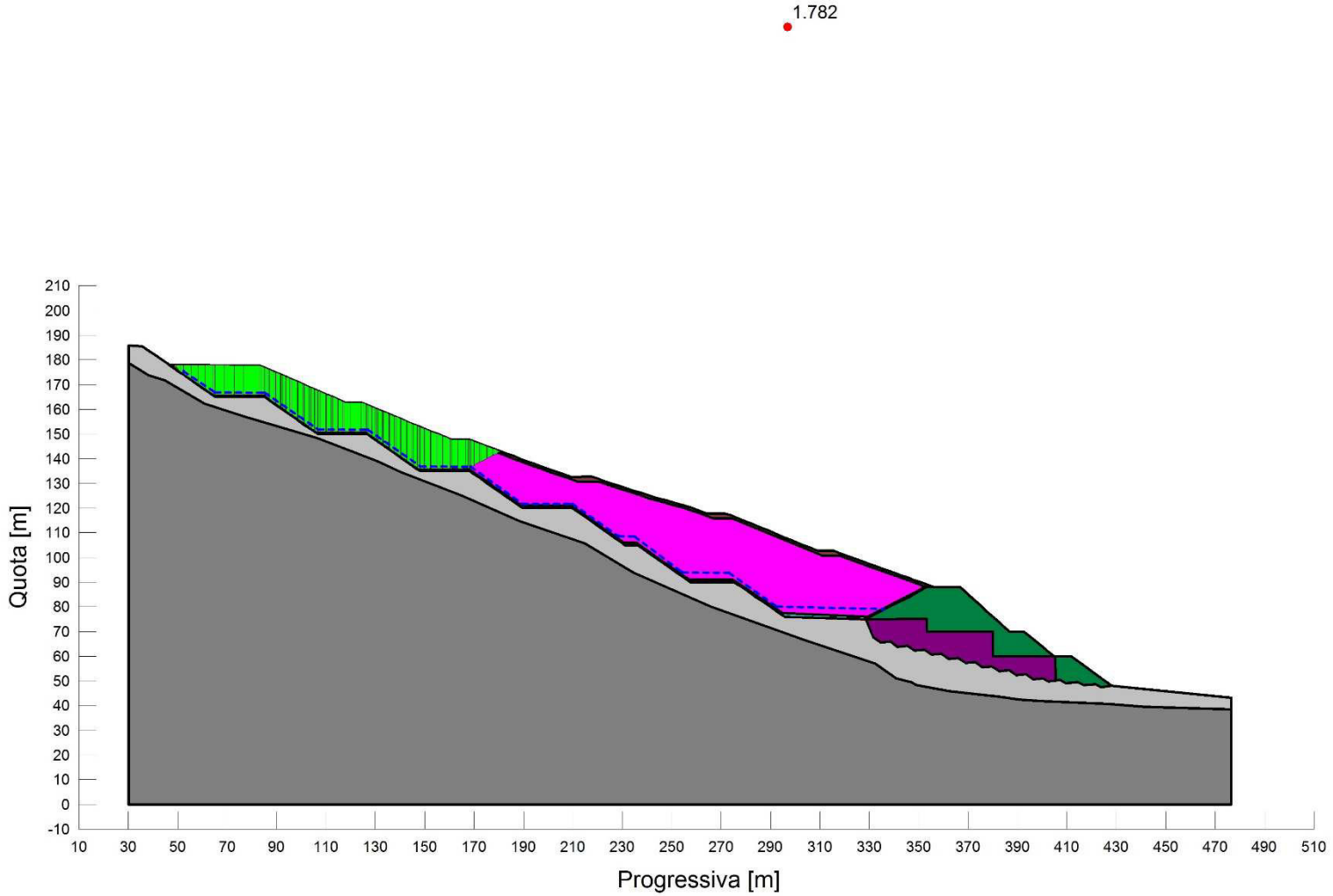


Figura 9b: Sezione C1-C1 - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.782

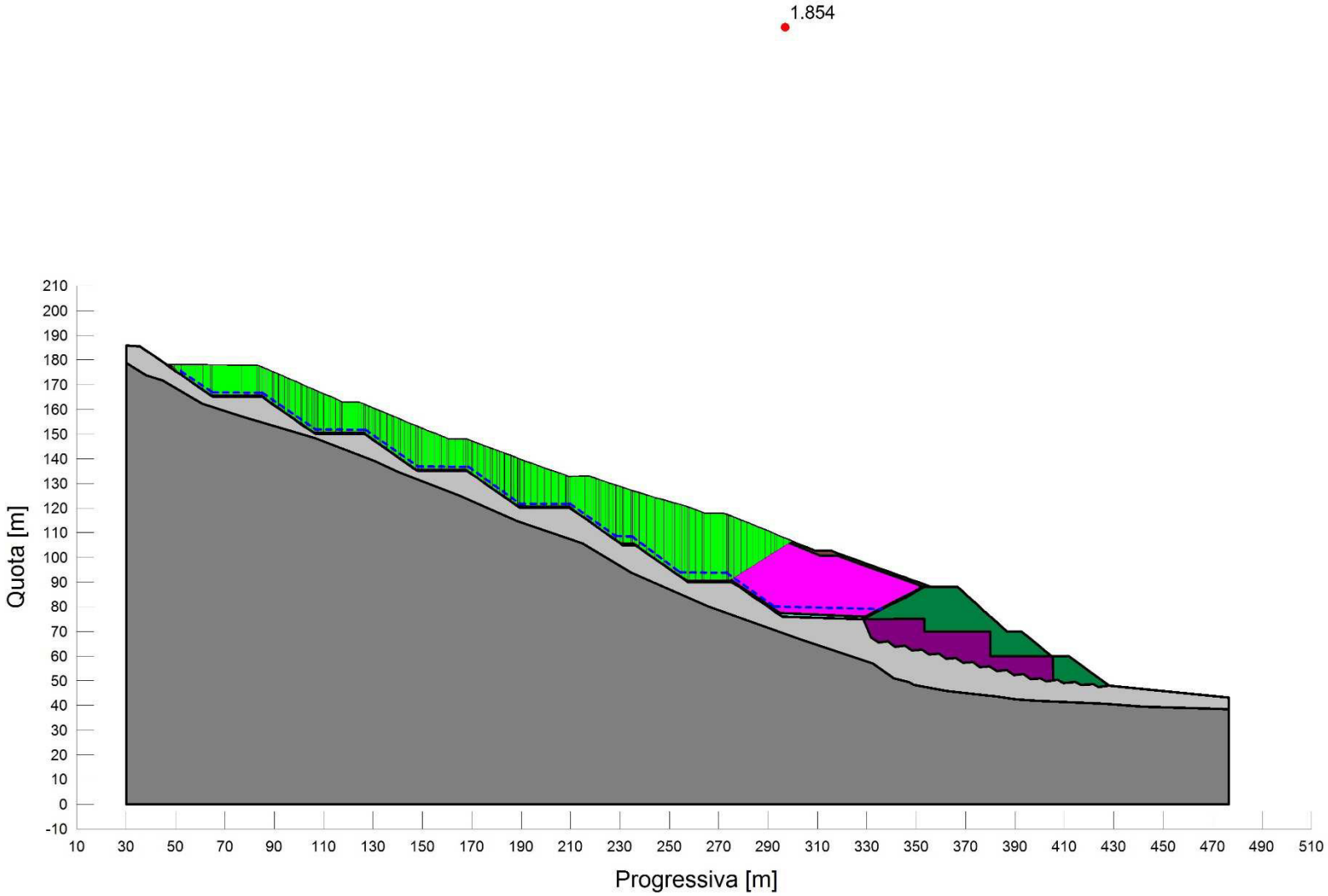


Figura 9c: Sezione C1-C1 - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.854

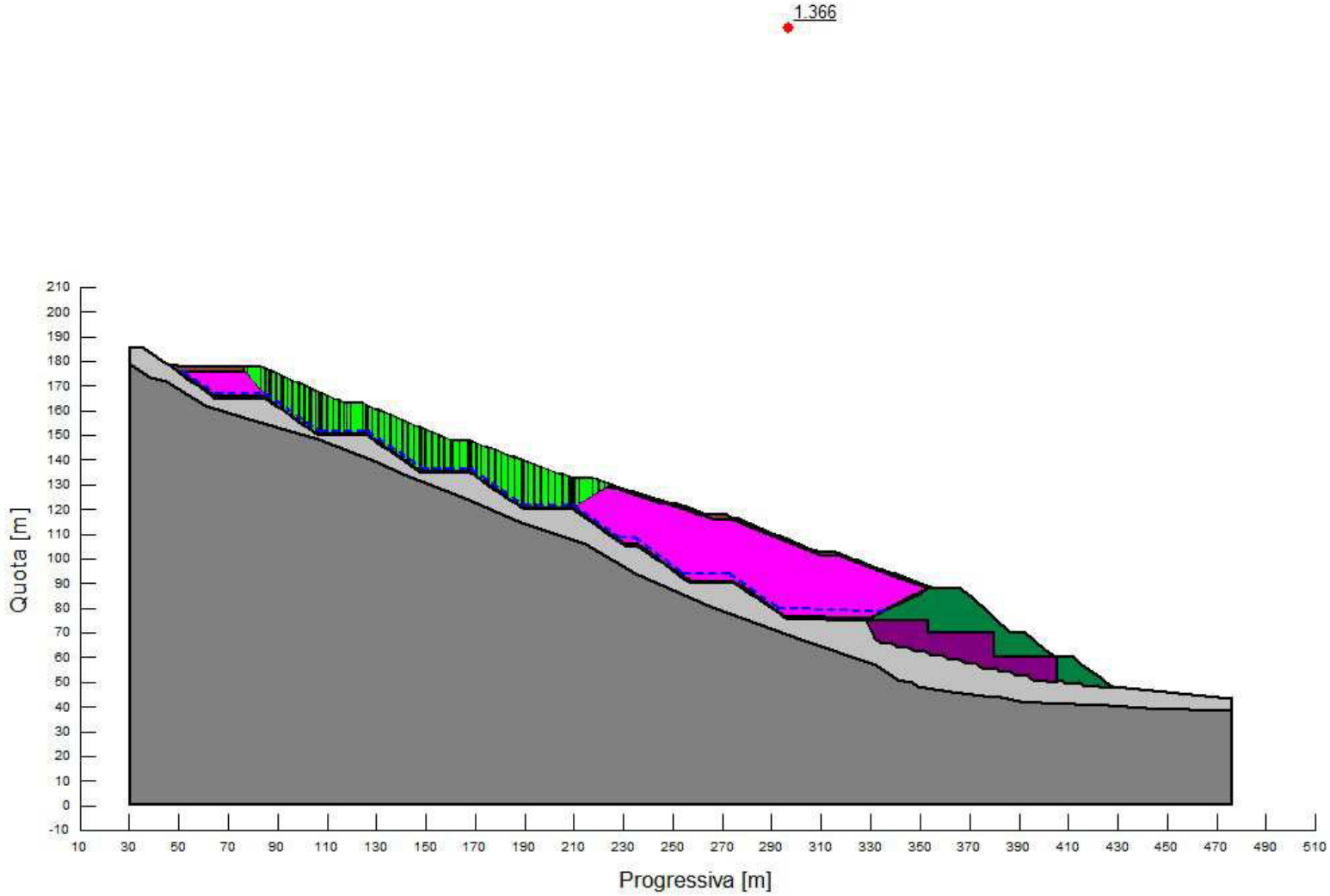


Figura 9d: Sezione C1-C1 - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.366

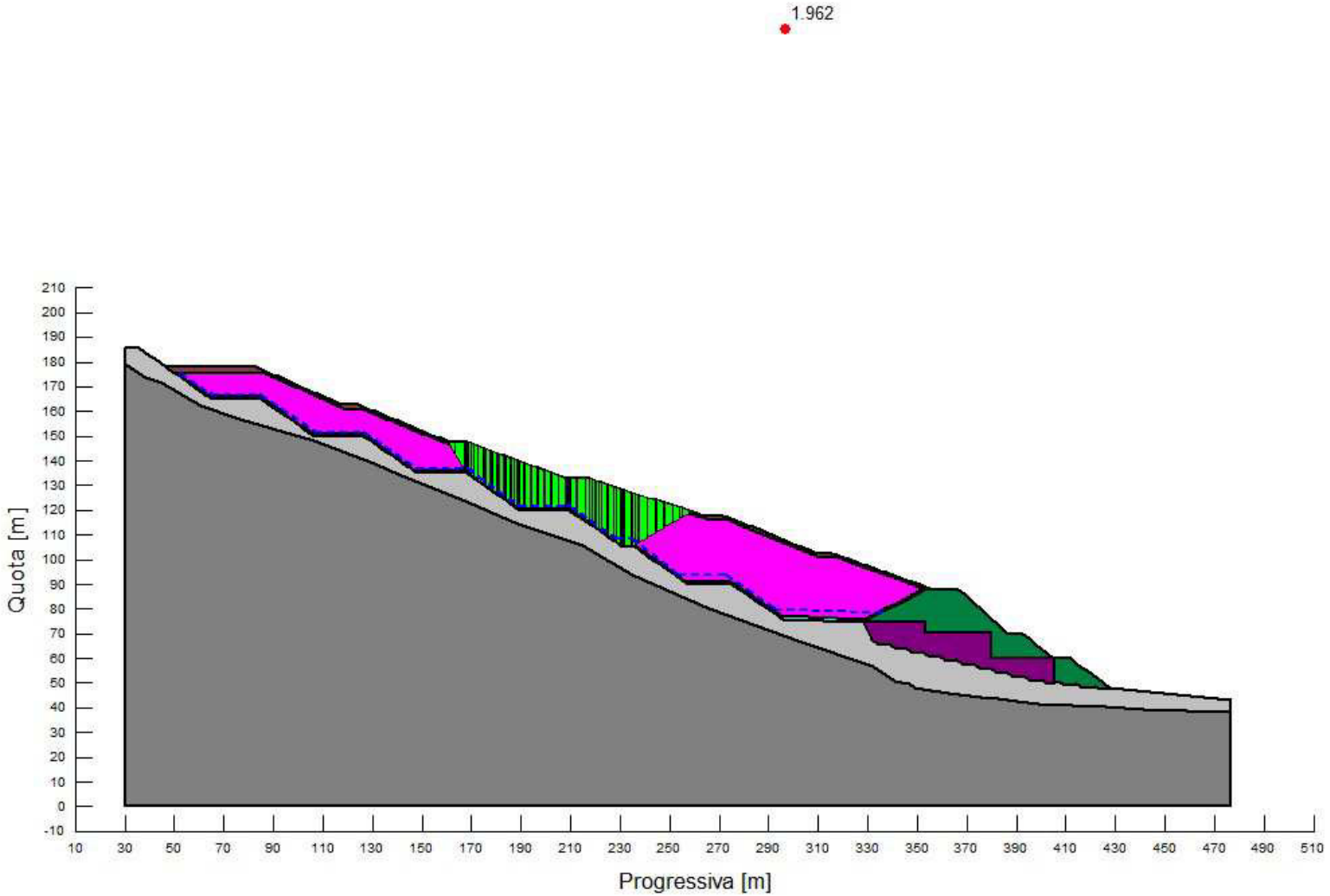

1.962
Quota [m]
210
200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
-10
10
30
50
70
90
110
130
150
170
190
210
230
250
270
290
310
330
350
370
390
410
430
450
470
490
510
Progressiva [m]

Figura 9e: Sezione C1-C1 - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.962

Analisi di stabilità della discarica in condizioni pseudo statiche

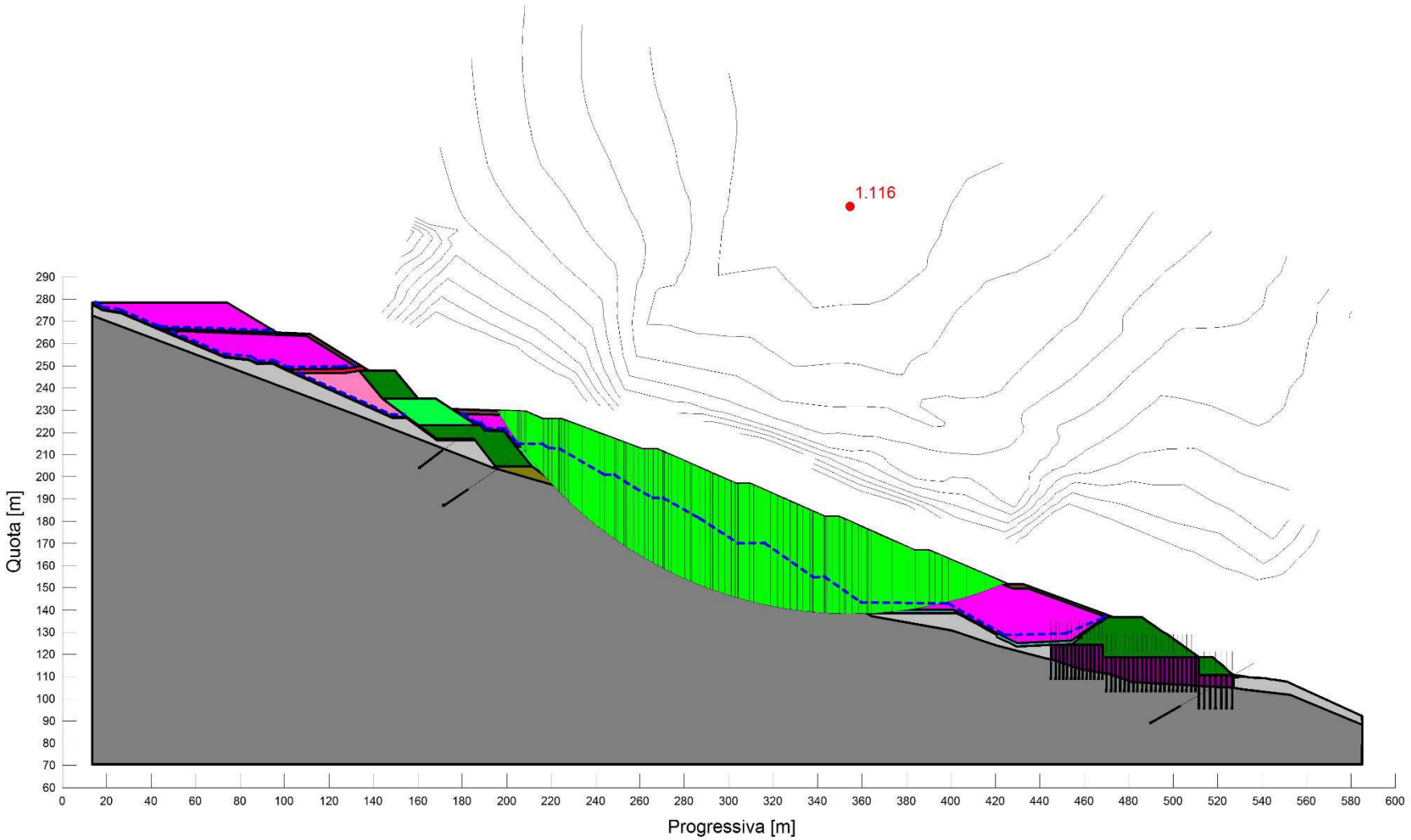

1.116
Quota [m]
290
280
270
260
250
240
230
220
210
200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
0
20
40
60
80
100
120
140
160
180
200
220
240
260
280
300
320
340
360
380
400
420
440
460
480
500
520
540
560
580
600
Progressiva [m]

Figura 10a: Sezione 3-3 - Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche e con la presenza del percolato – FS=1.116

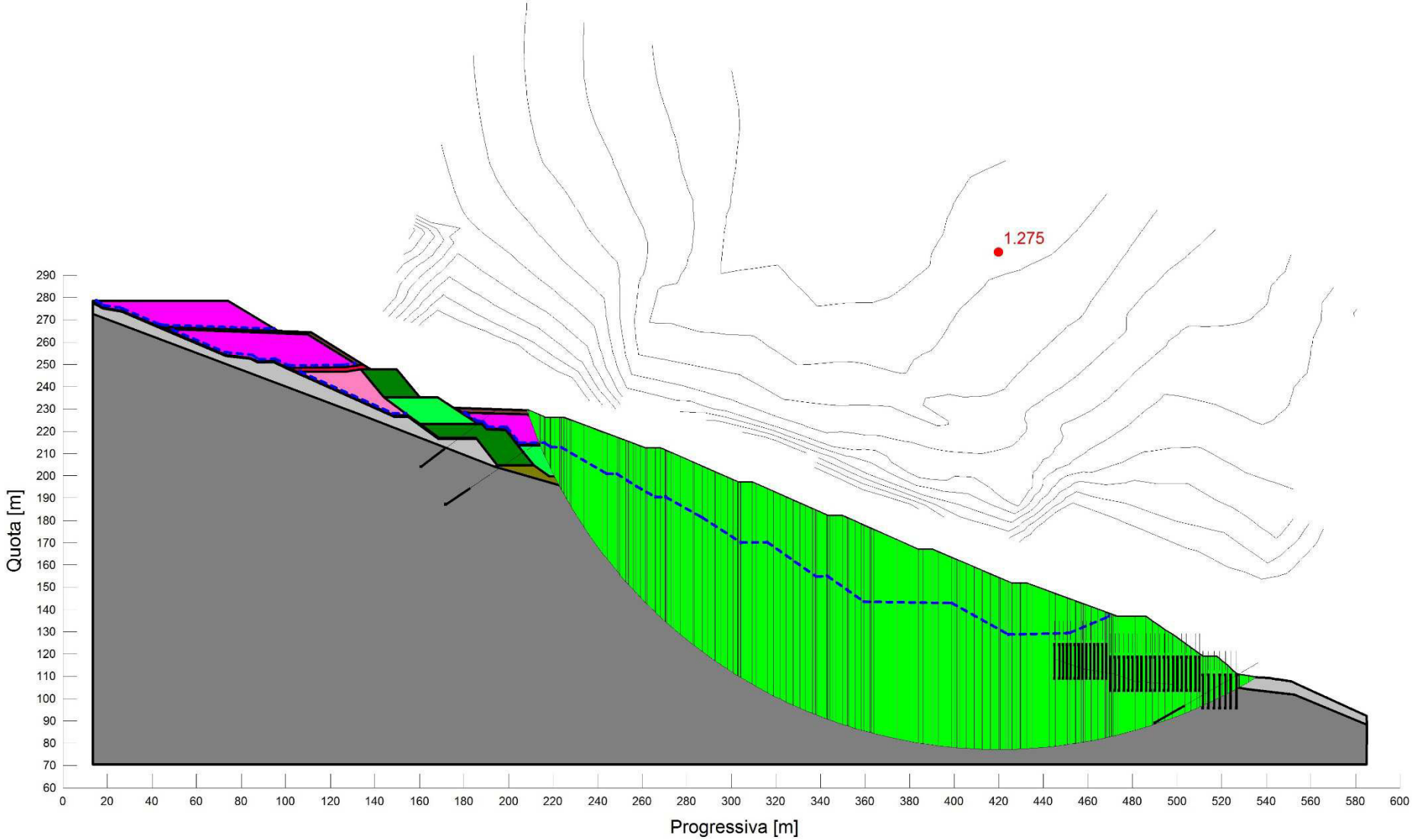


Figura 10b: Sezione 3-3 - Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche– FS=1.275

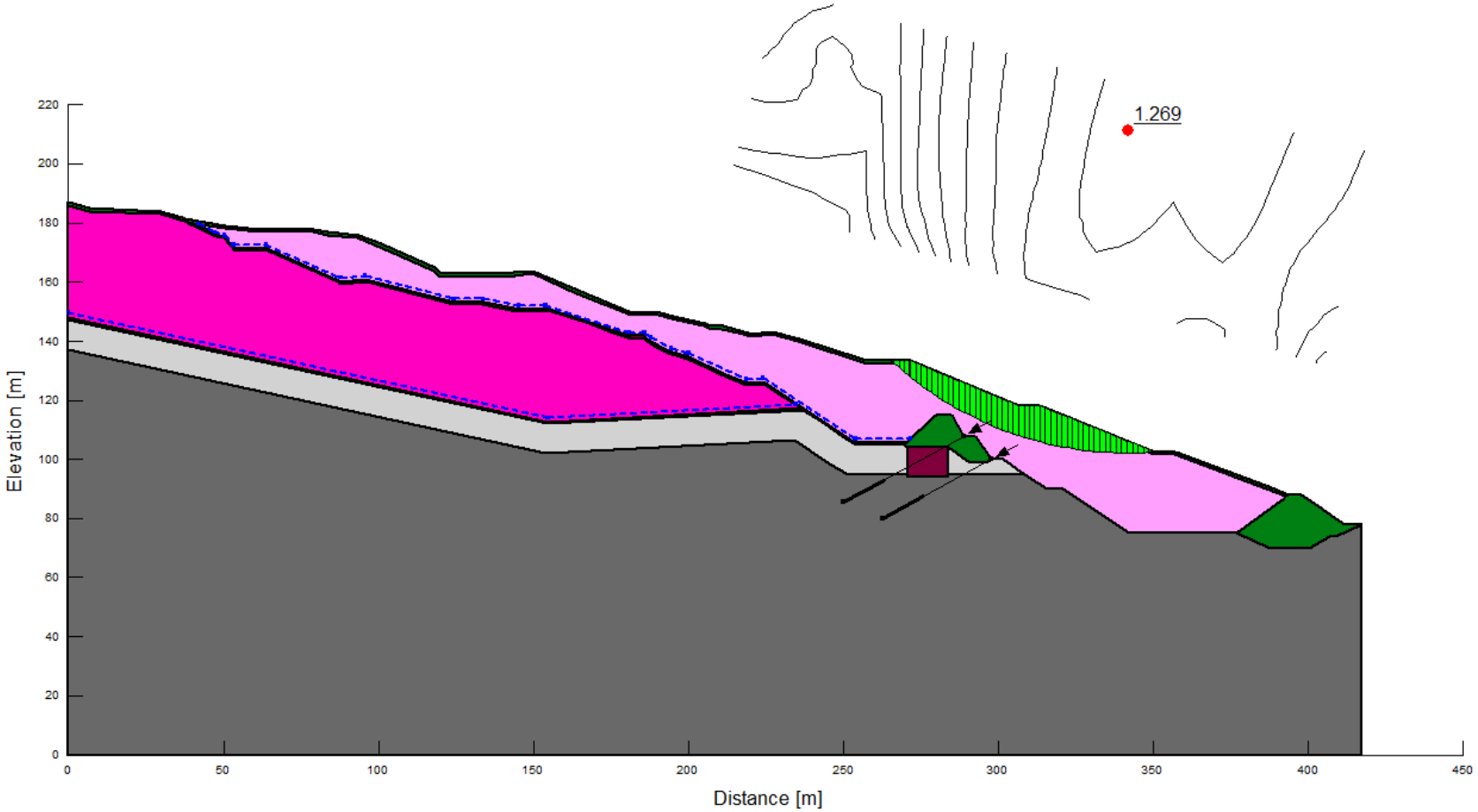


Figura 11a: Sezione A-A' Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche– FS=1.269

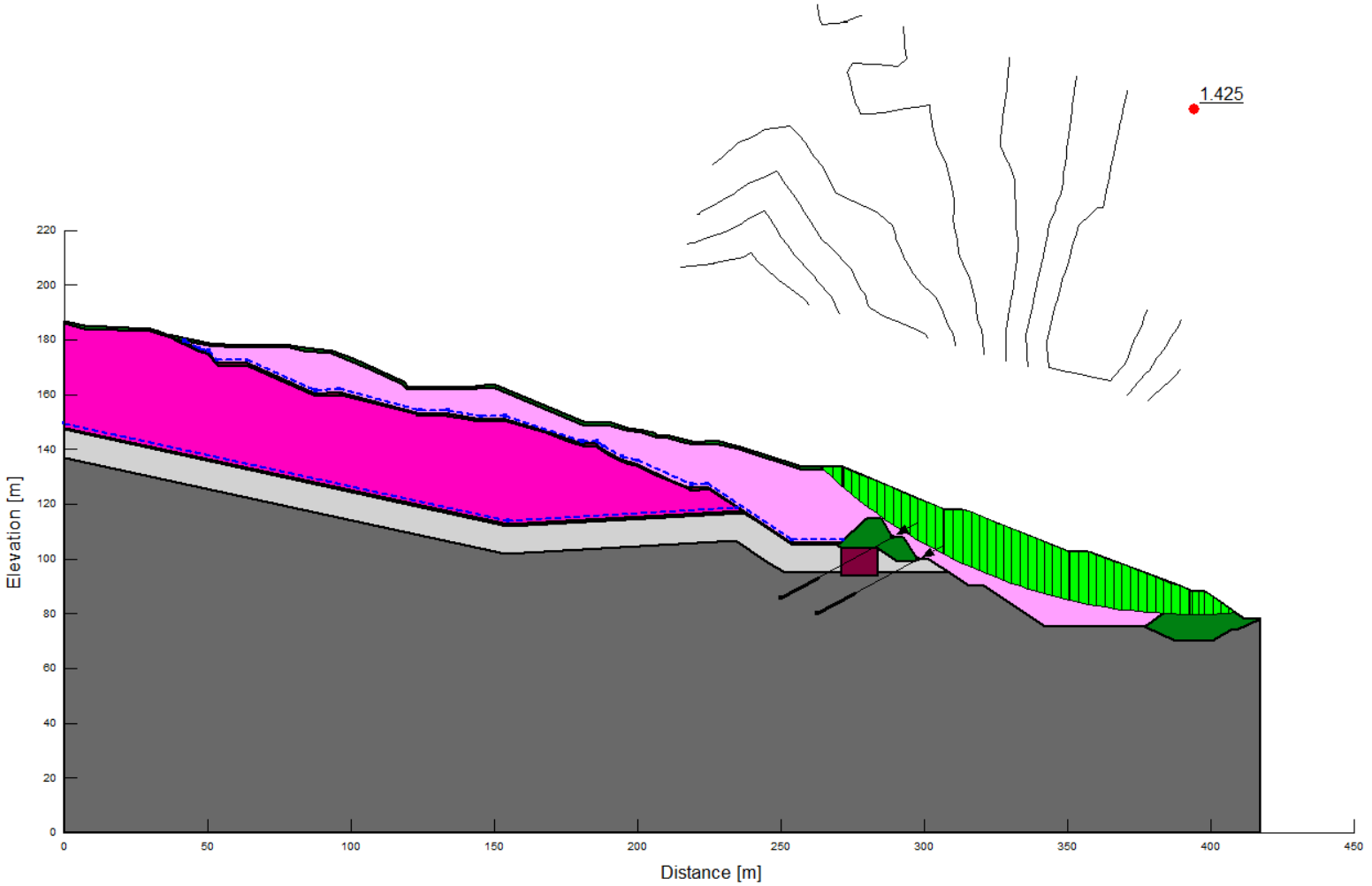


Figura 11b: Sezione A-A' Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche– FS=1.425

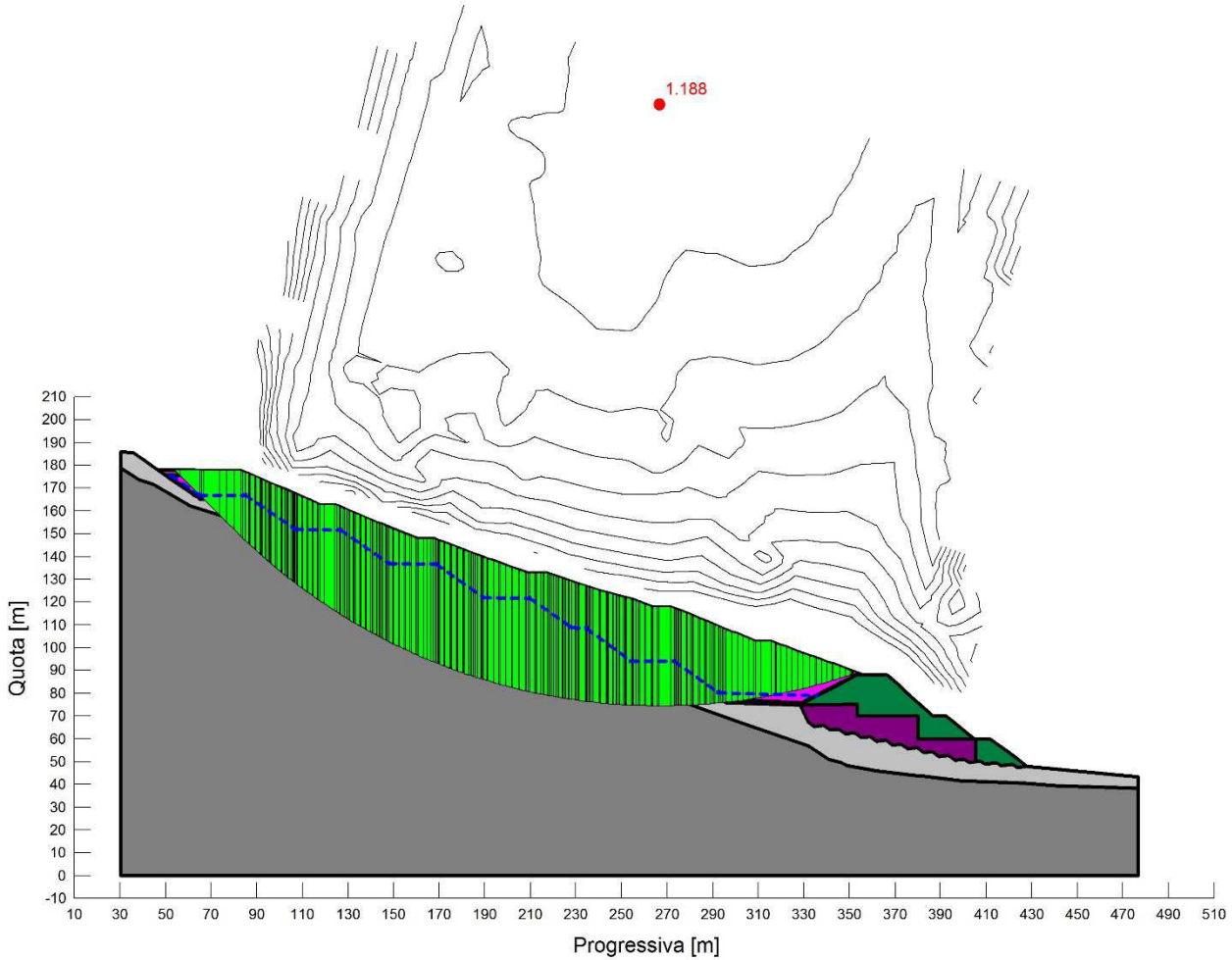


Figura 12a Sezione C1-C1 Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche – FS=1.188

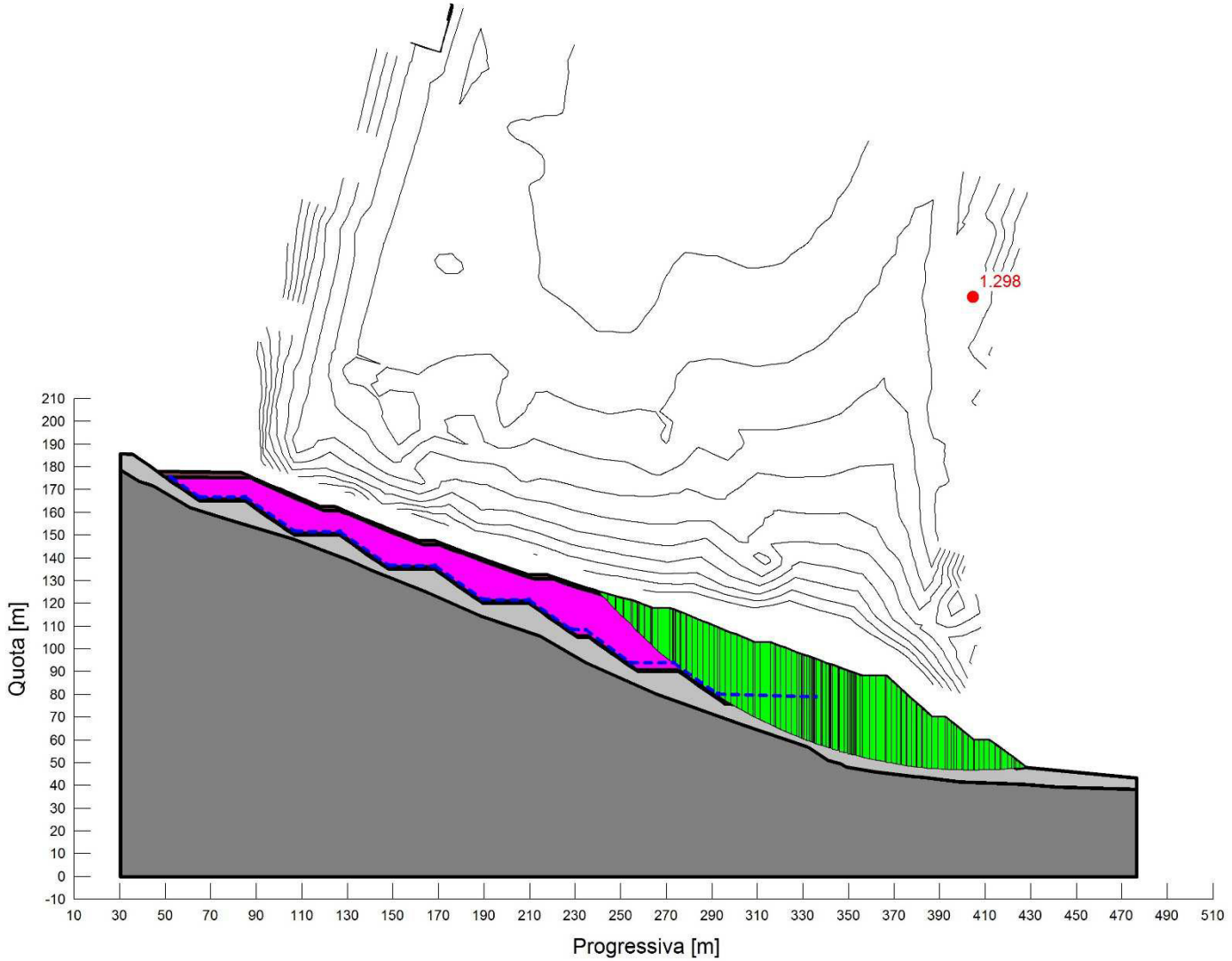


Figura 12b Sezione C1-C1 Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche – FS=1.298

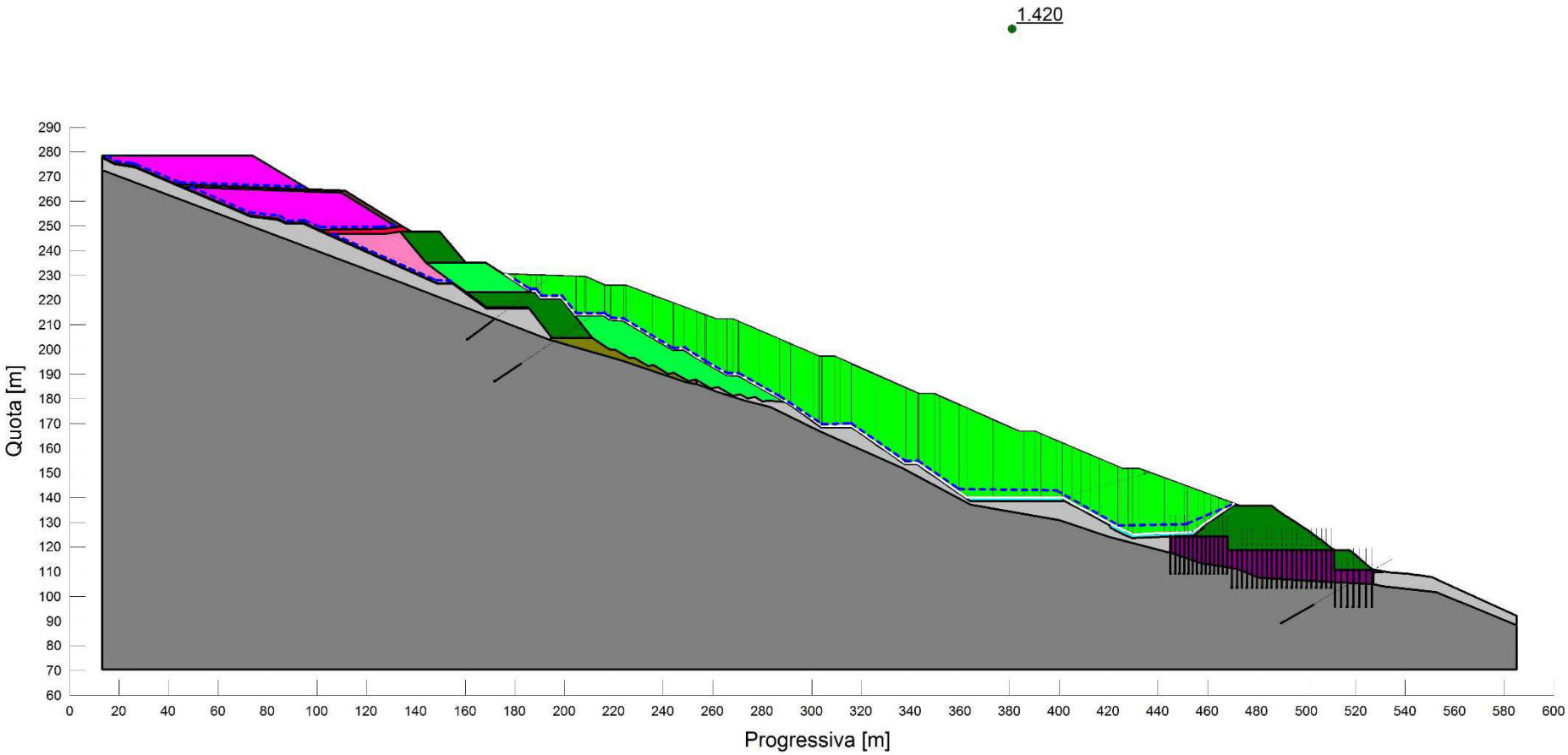


Figura 13a: Sezione 3-3 Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.420

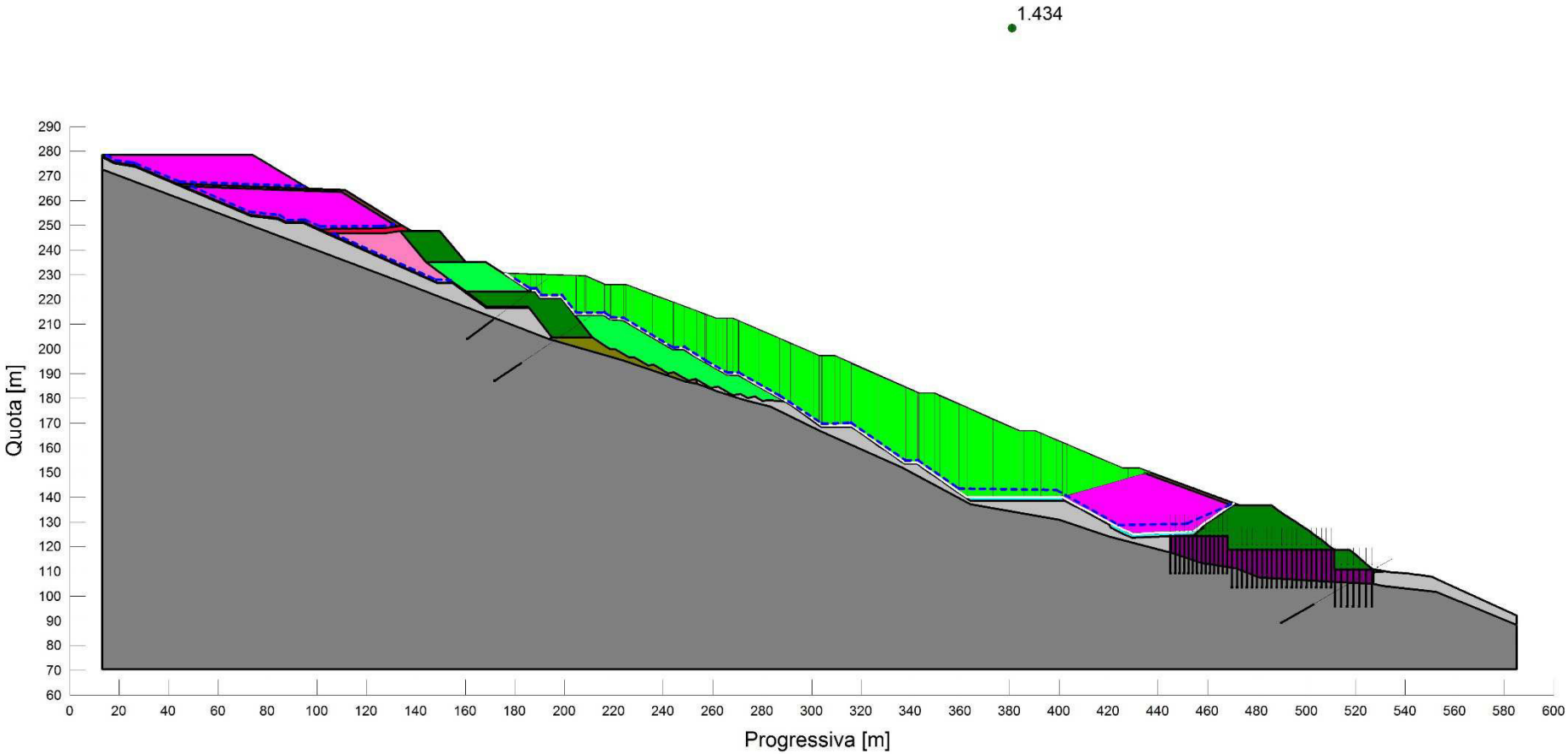


Figura 13b: Sezione 3-3 Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.434

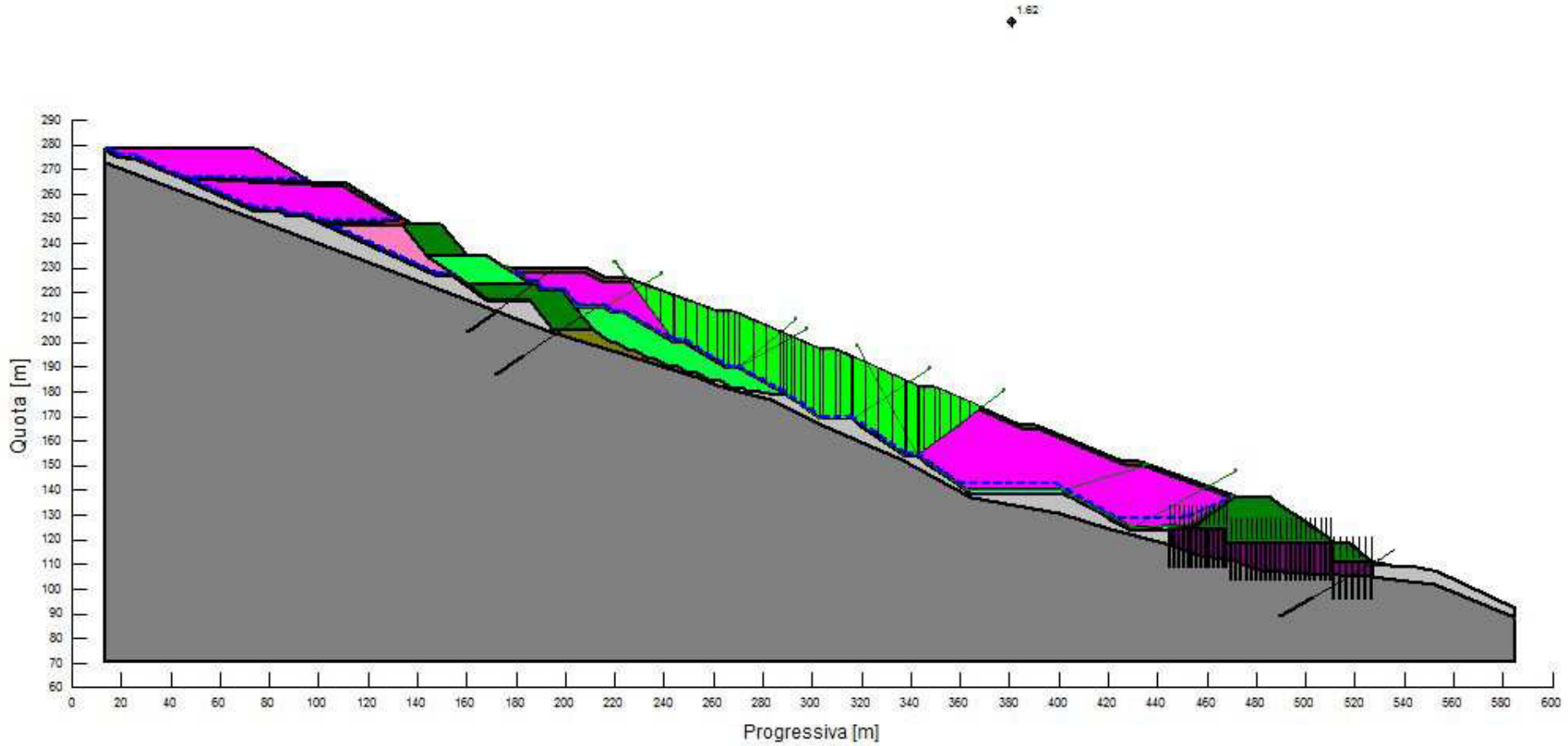


Figura 13d: Sezione 3-3 - Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.62

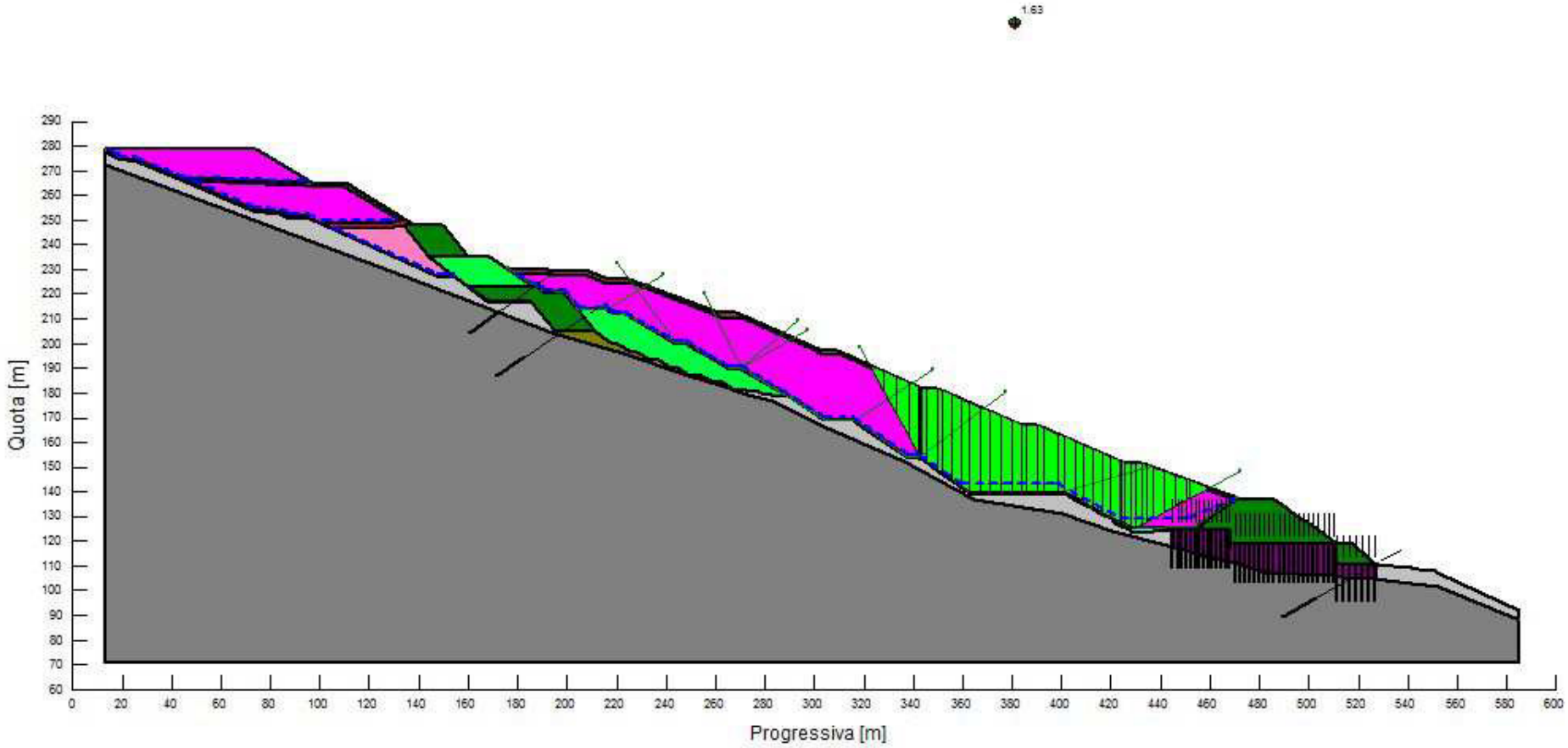


Figura 13e: Sezione 3-3 -Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni statiche FS=1.63

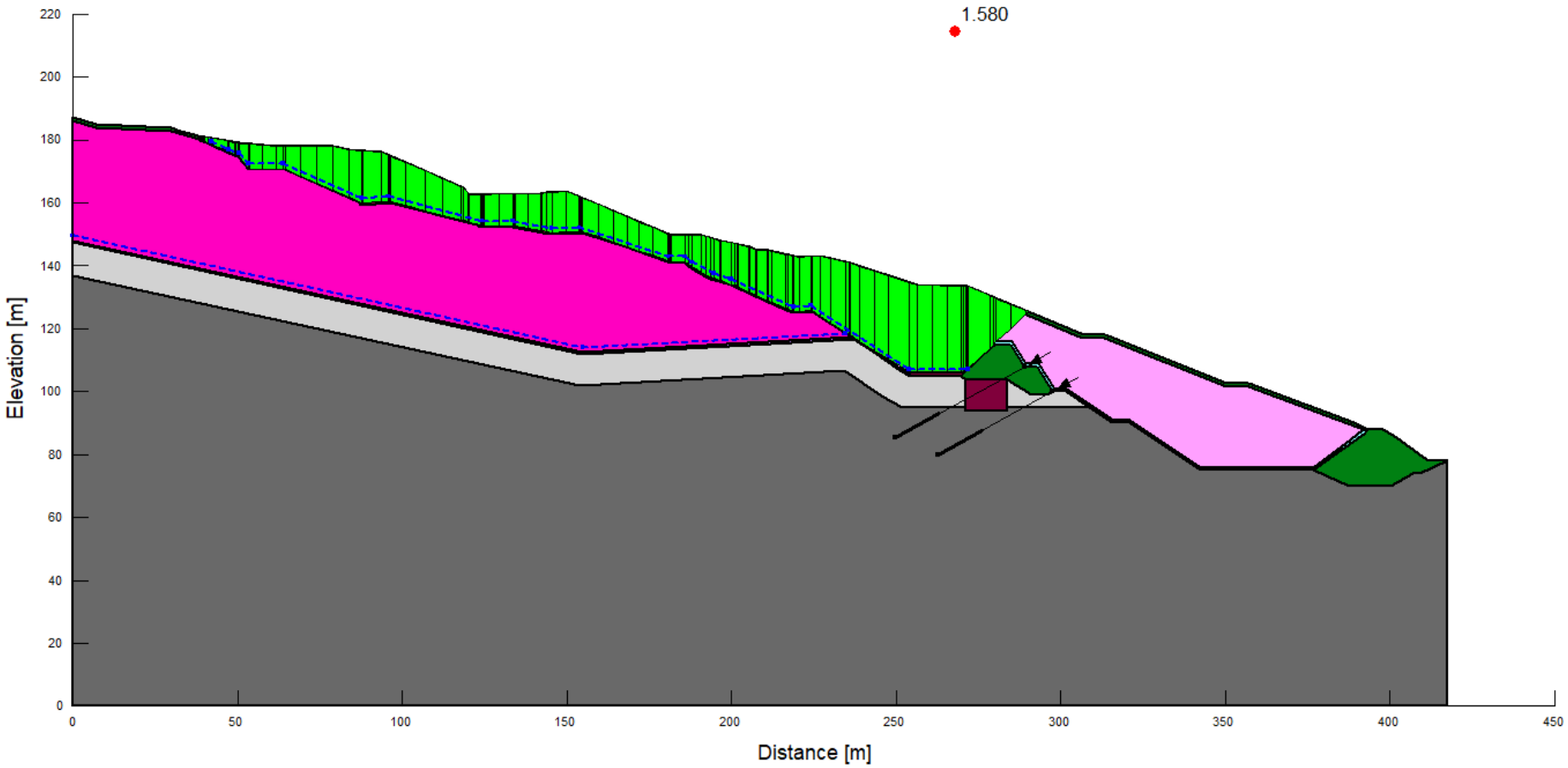


Figura 14a: Sezione A-A' Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.580

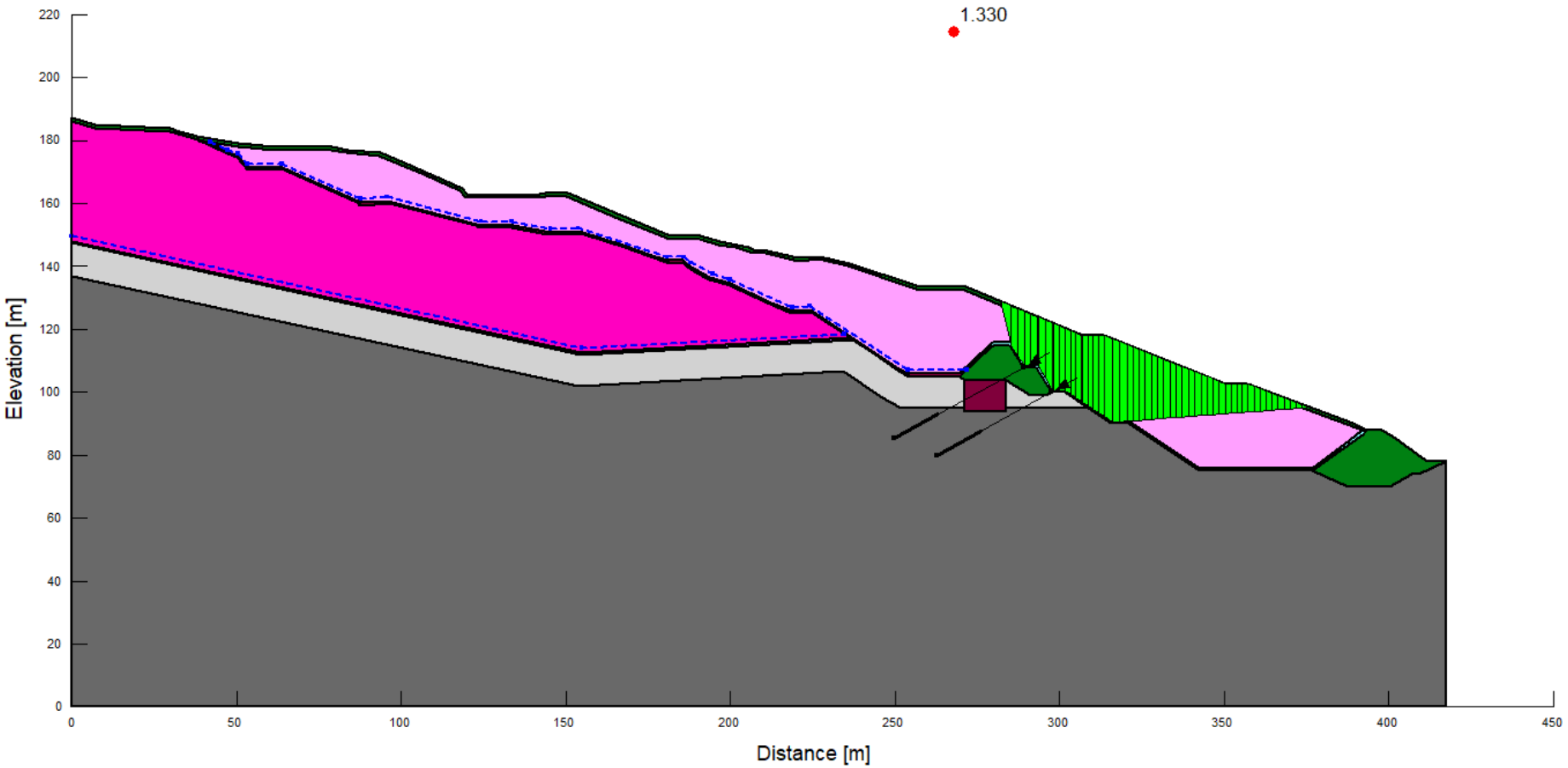


Figura 14b: Sezione A-A' Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.330

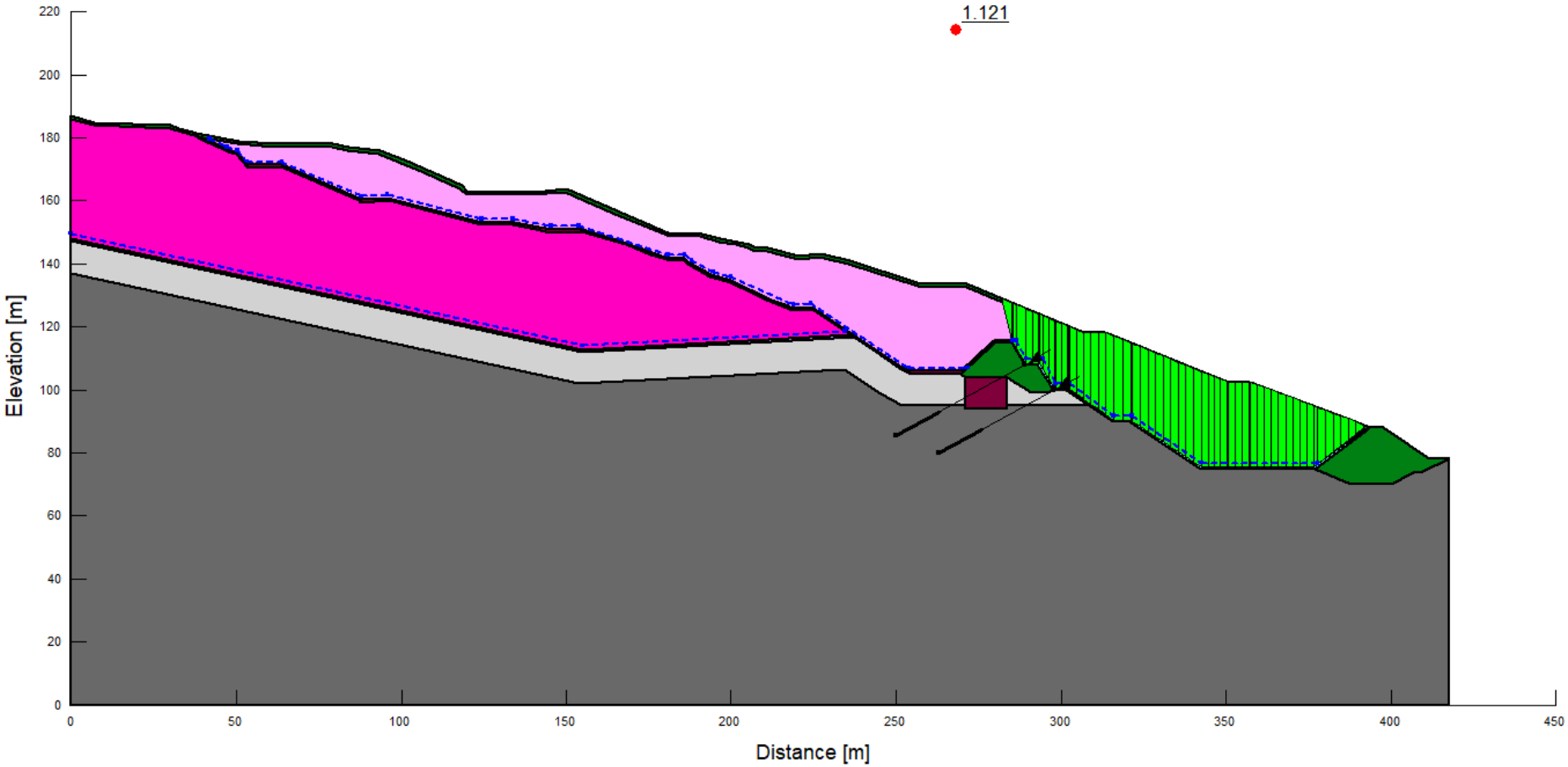


Figura 14c: Sezione A-A' Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.121

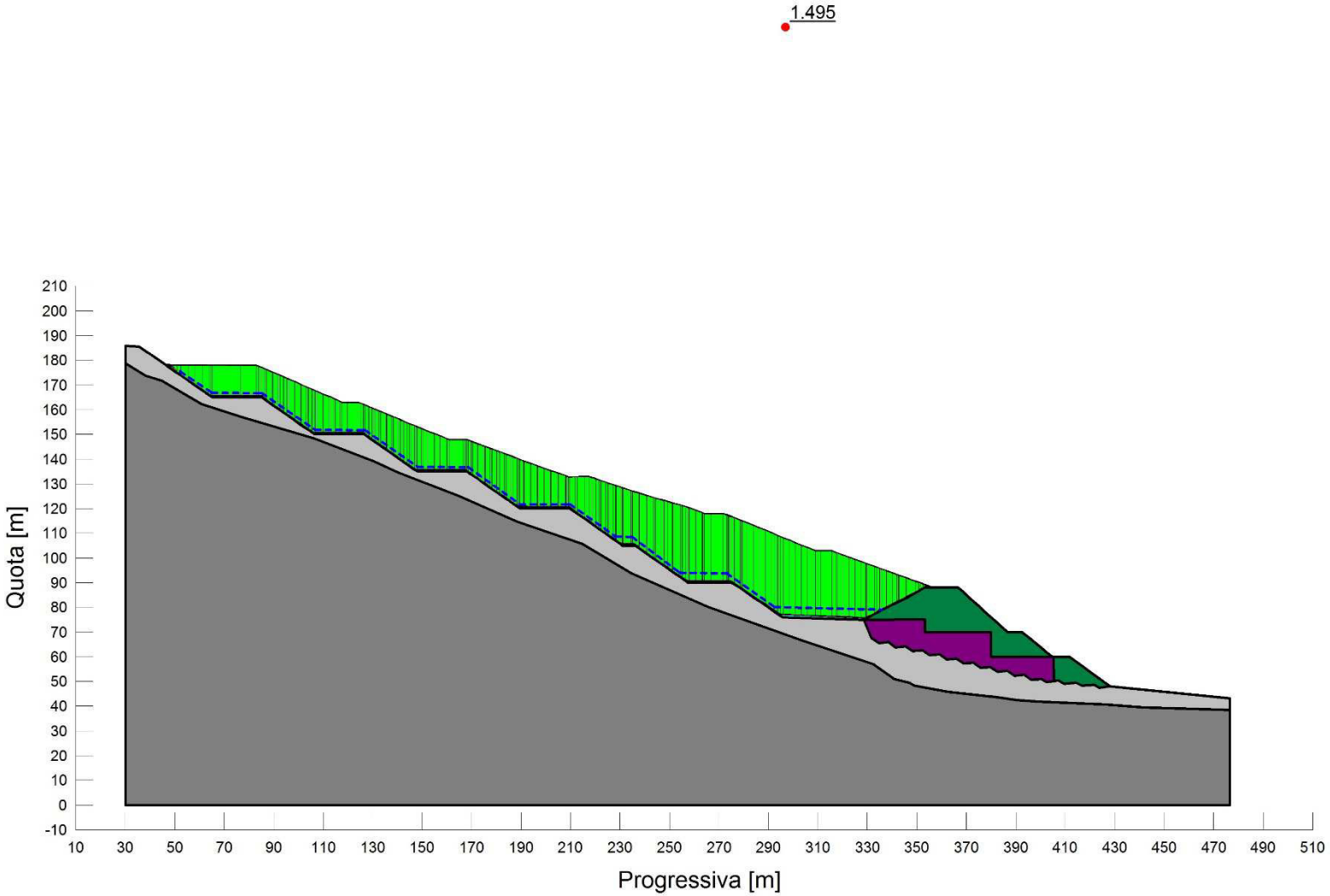


Figura 15a: Sezione trasversale C1-C1 Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.495

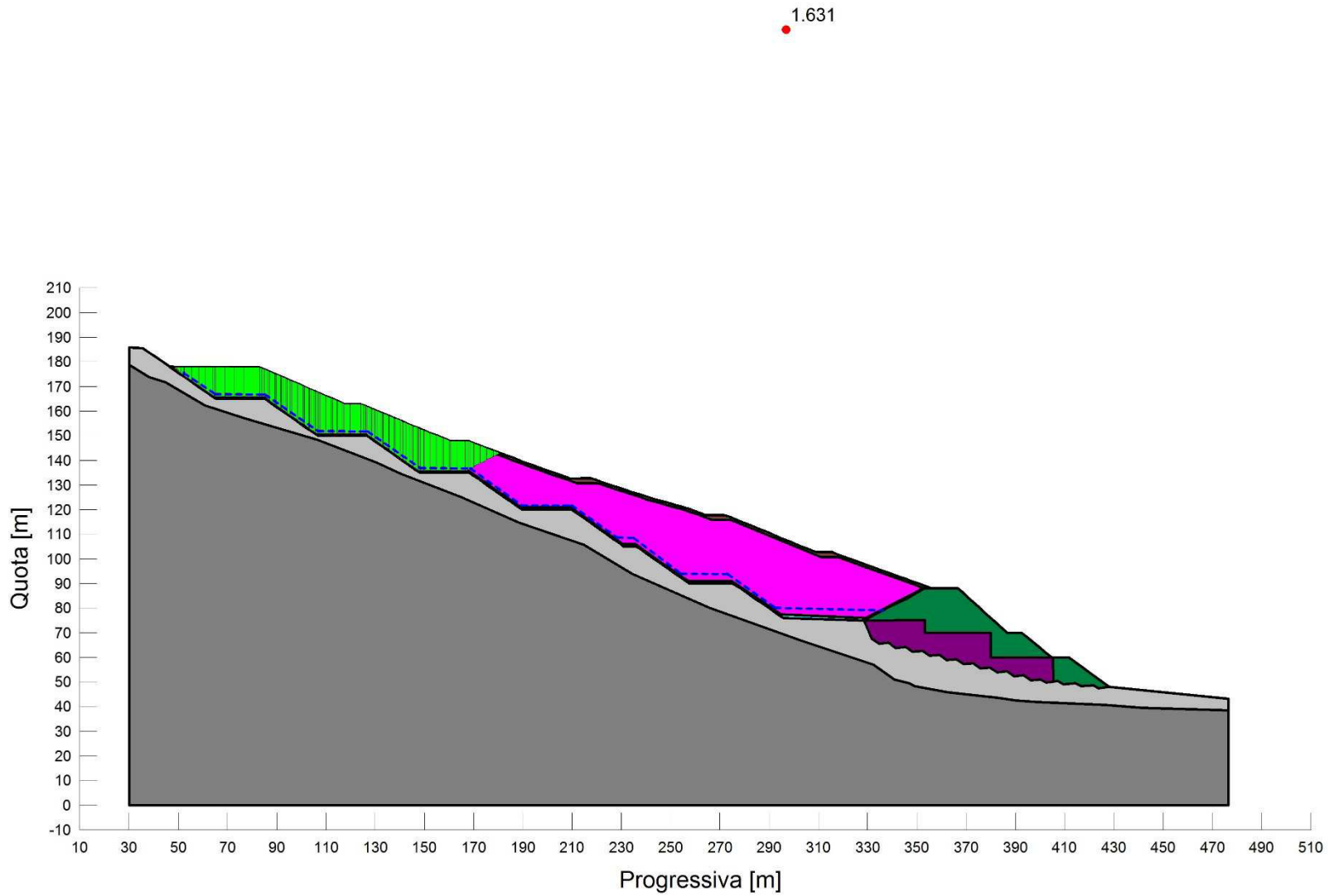


Figura 15b: Sezione trasversale C1-C1 Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.631

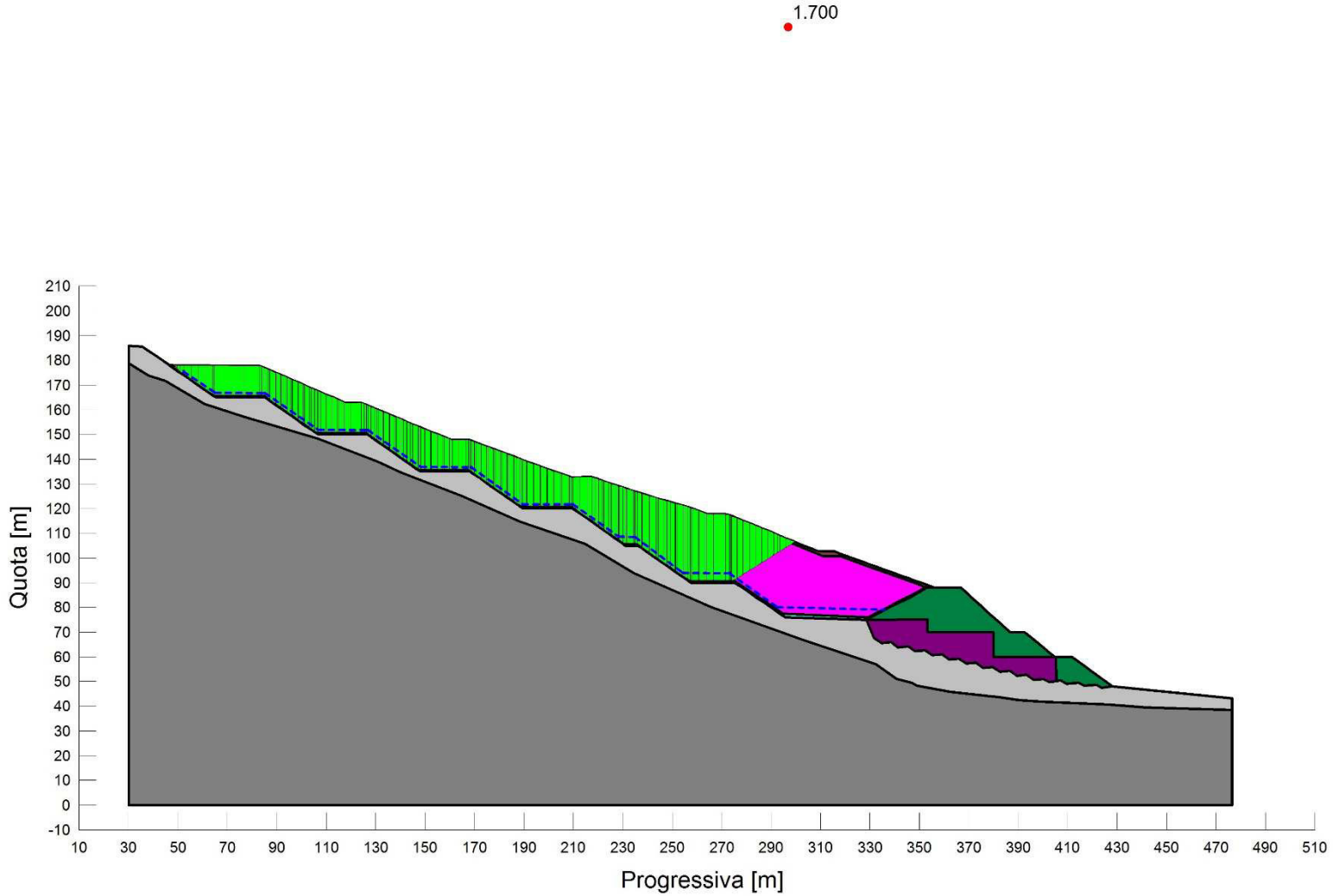


Figura 15c: Sezione trasversale C1-C1 Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.700

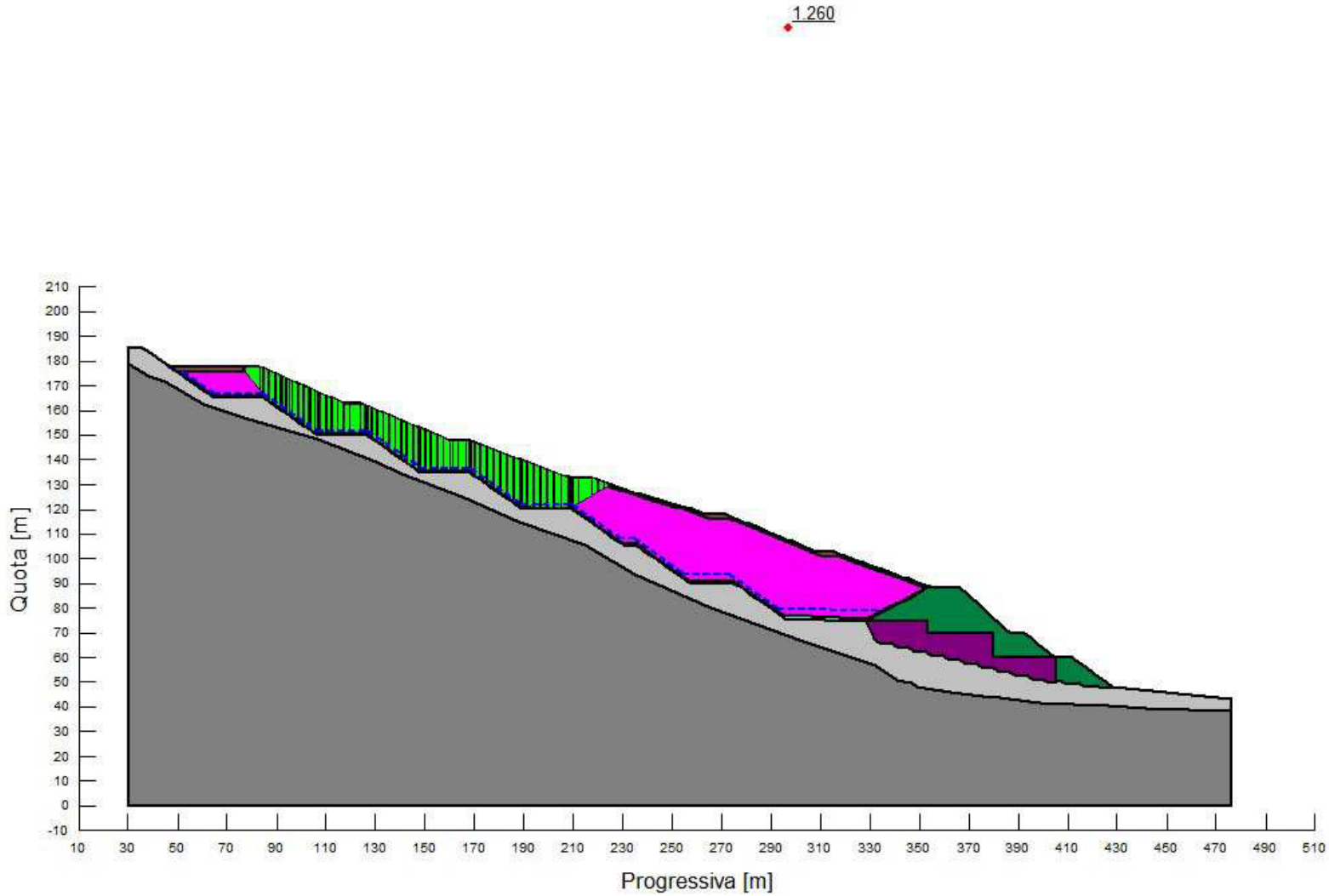


Figura 15d: Sezione trasversale C1-C1 Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.260

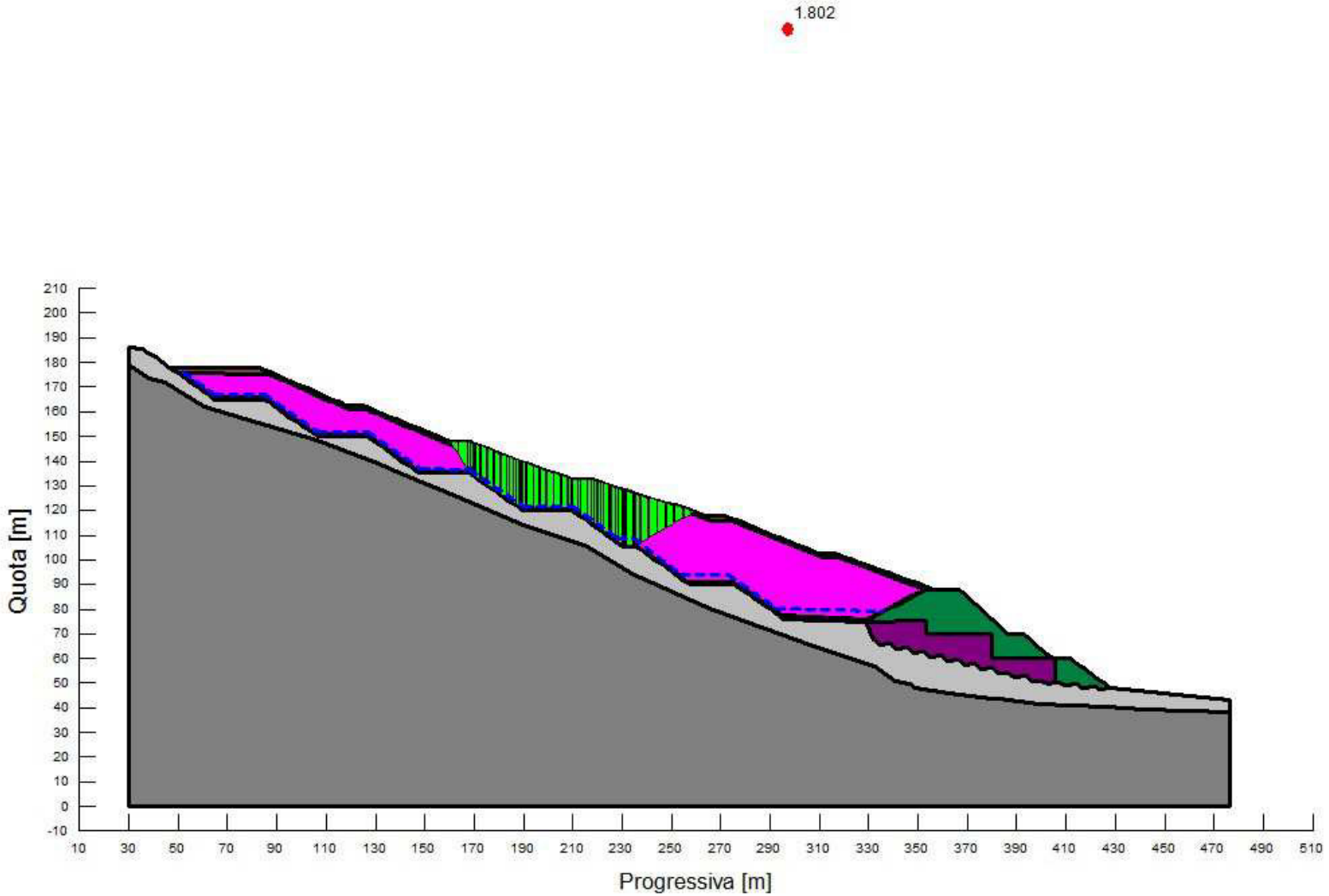


Figura 15e: Sezione trasversale C1-C1 Superficie di rottura sull'interfaccia di impermeabilizzazione in condizioni pseudostatiche– FS=1.802

Analisi di stabilità della discarica nelle fasi di coltivazione

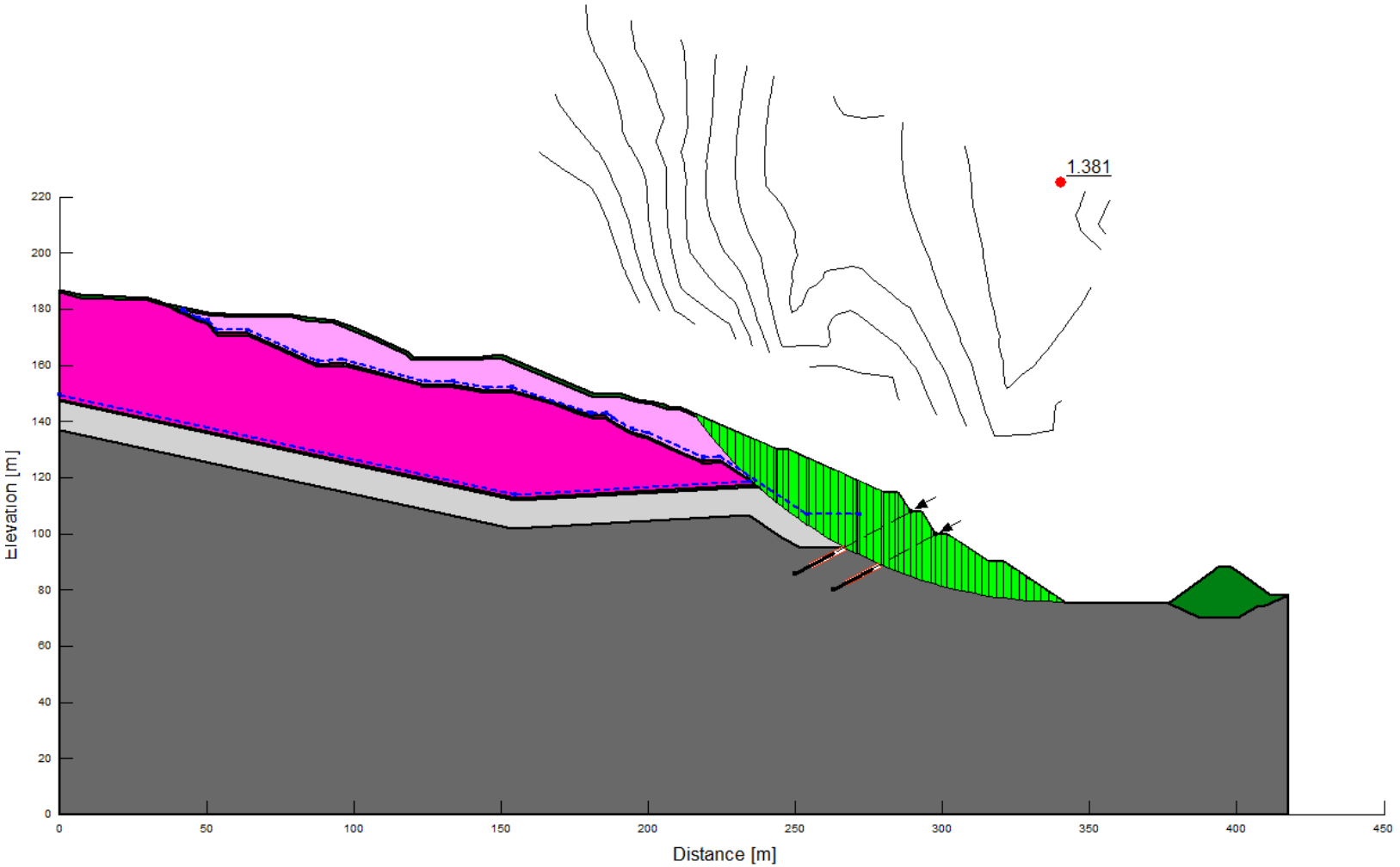


Figura 16a: Sezione trasversale A-A' – Fase A Superficie di rottura circolare in condizioni statiche– FS=1.381

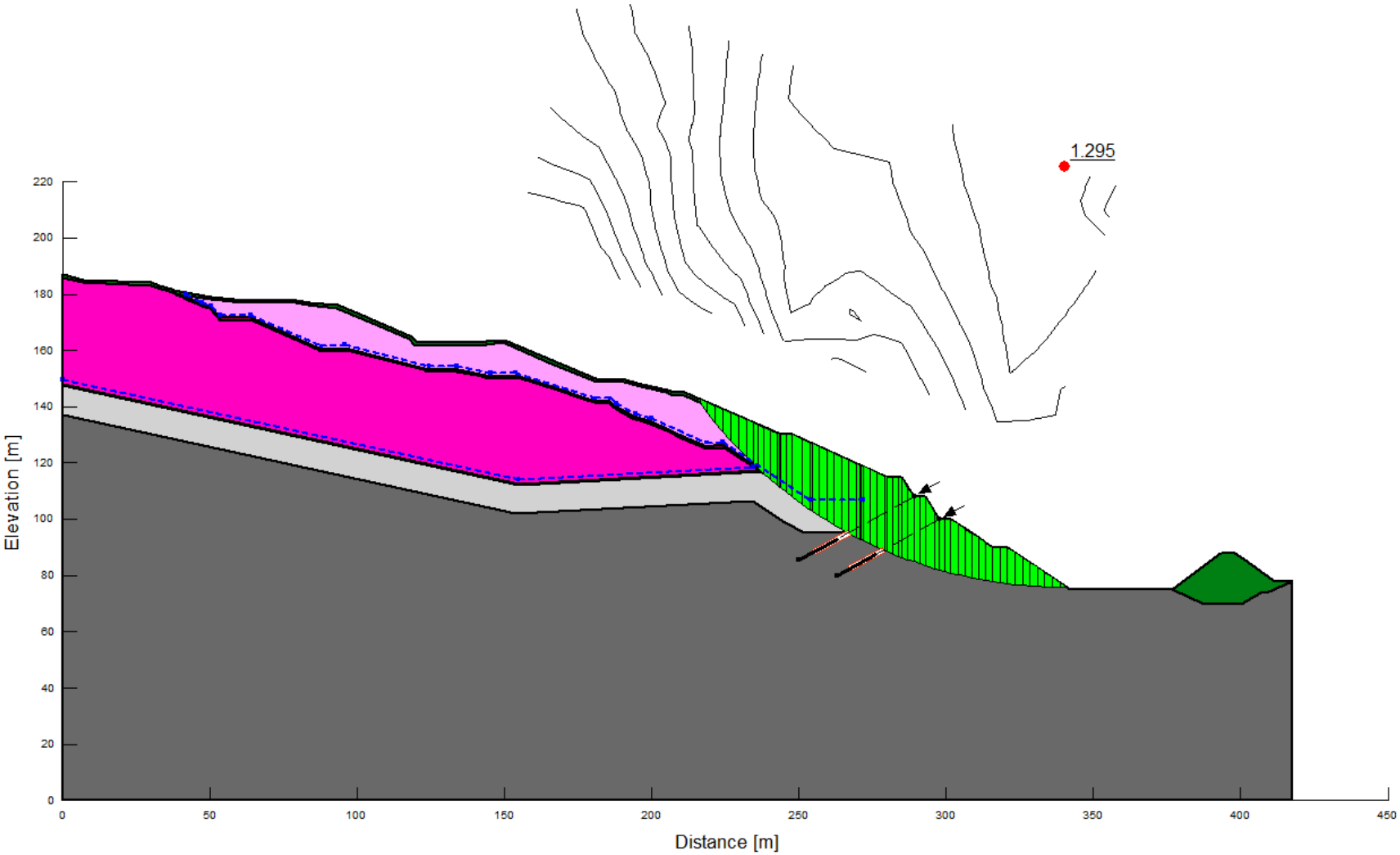


Figura 16b: Sezione trasversale A-A' – Fase A Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche– FS=1.295

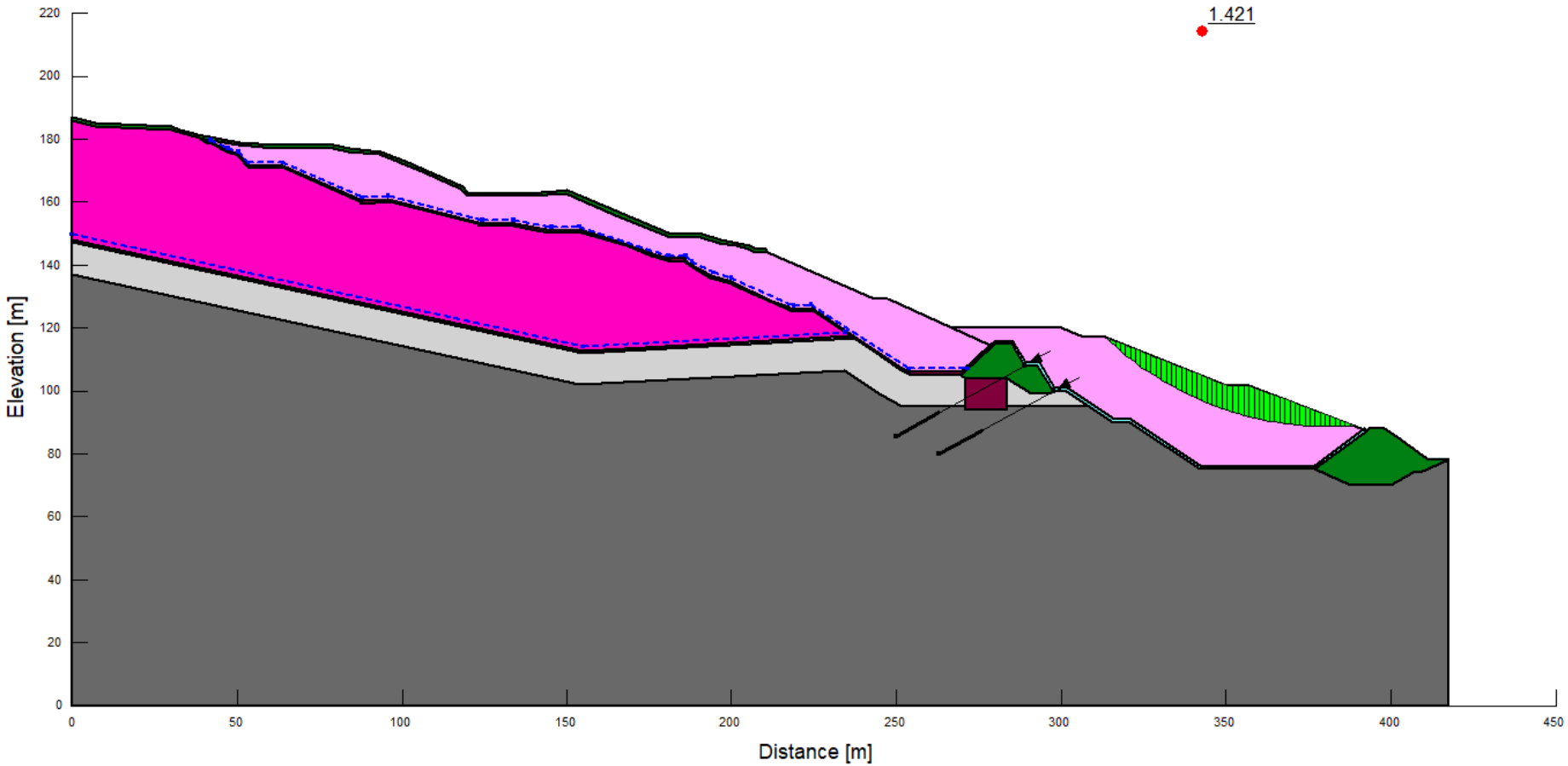


Figura 16c: Sezione trasversale A-A' – Fase B Superficie di rottura circolare in condizioni statiche– FS=1.421

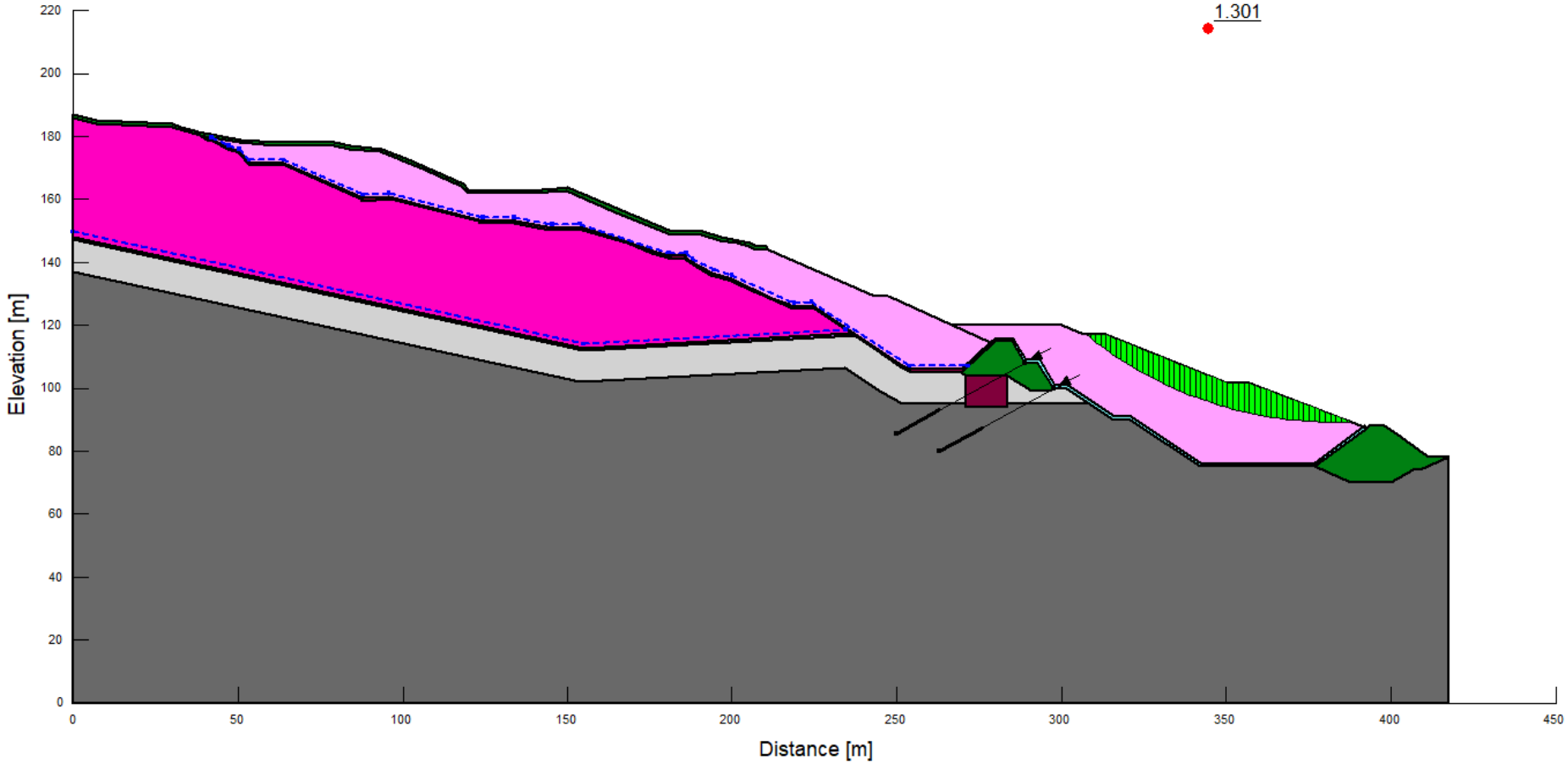


Figura 16d: Sezione trasversale A-A' – Fase B Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche– FS=1.301

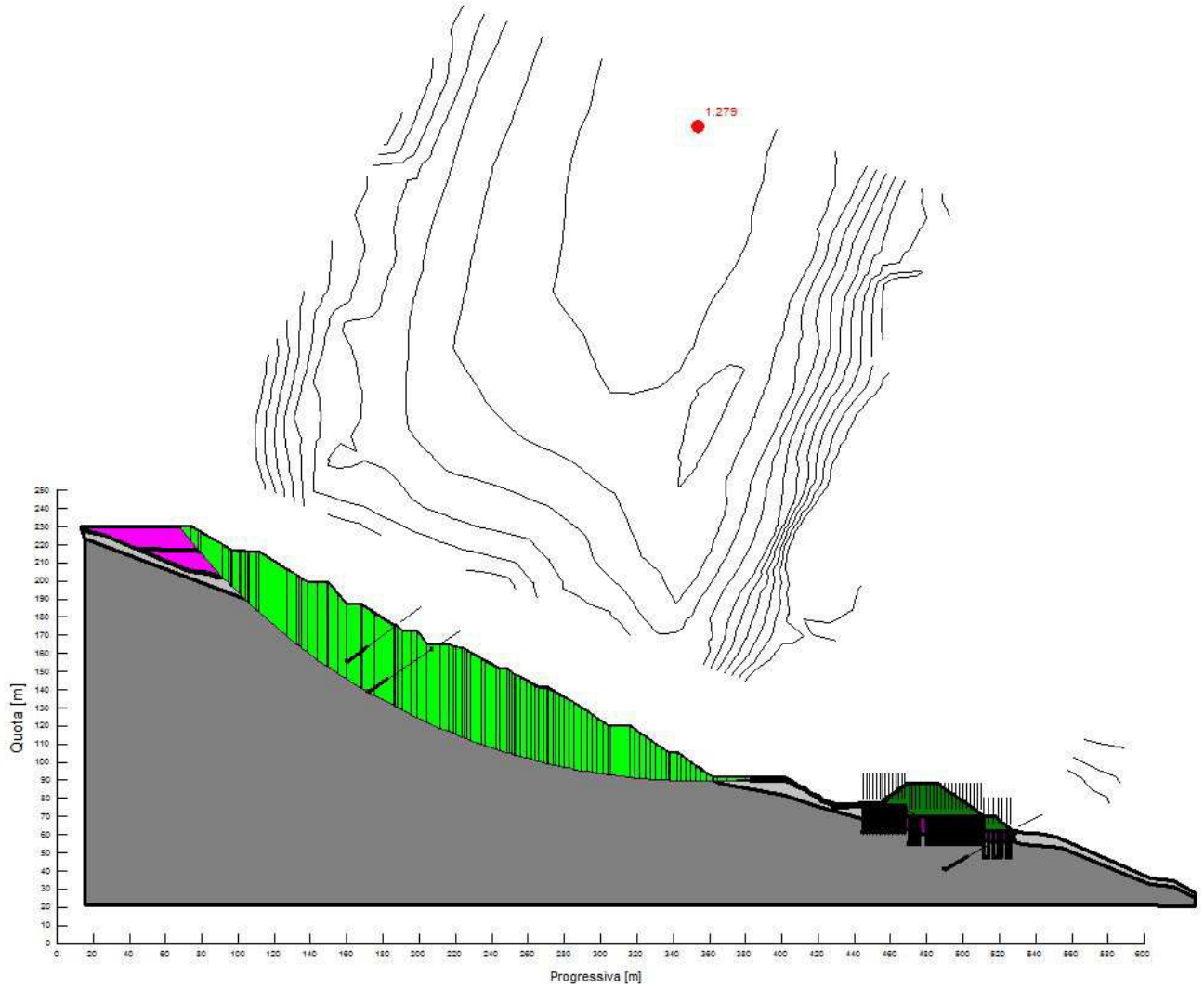


Figura 17a: Sezione 3-3 -Superficie di rottura circolare in condizioni statiche – Fase A FS=1.279

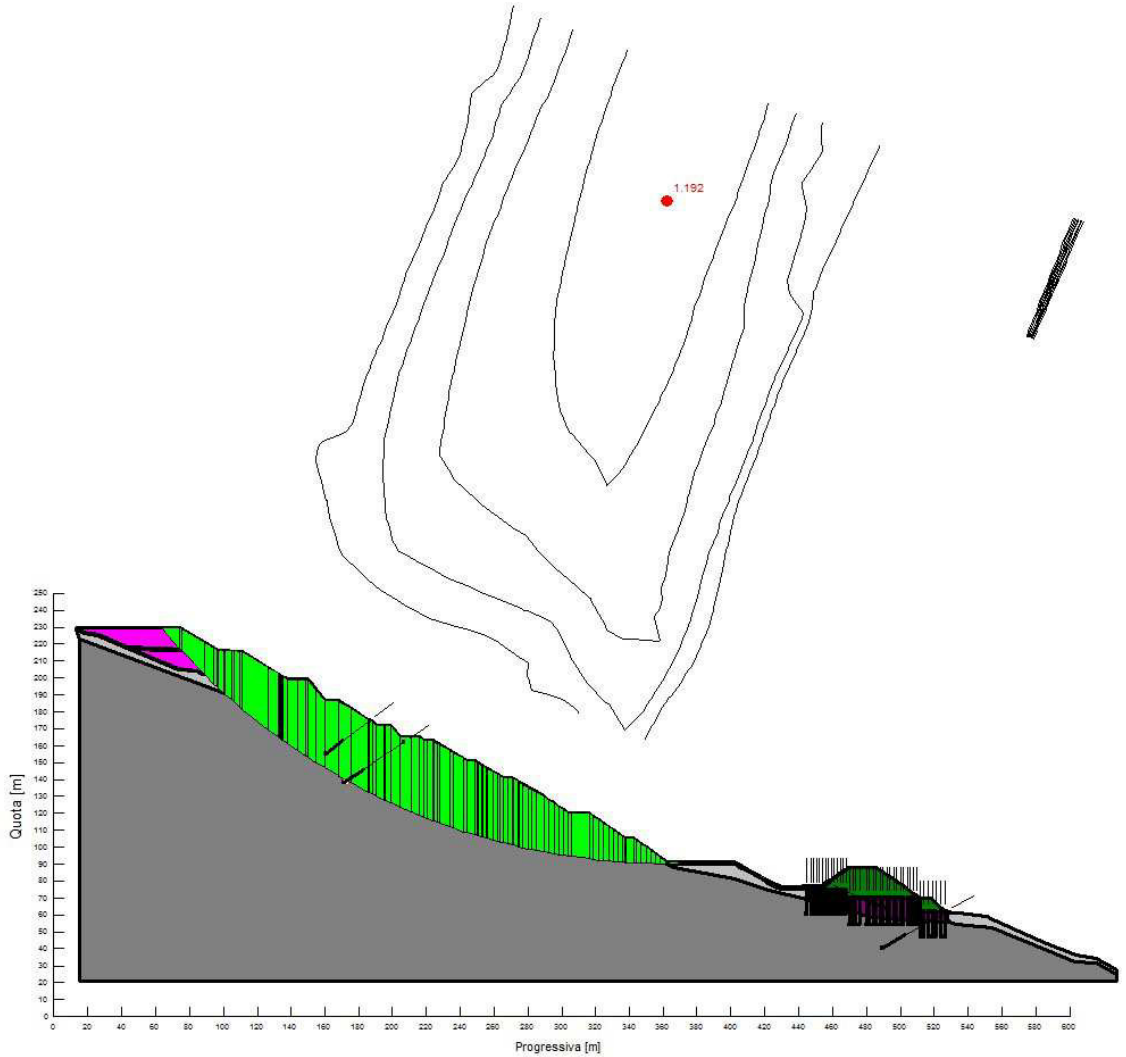


Figura 17b: Sezione 3-3 -Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche – Fase A FS=1.192

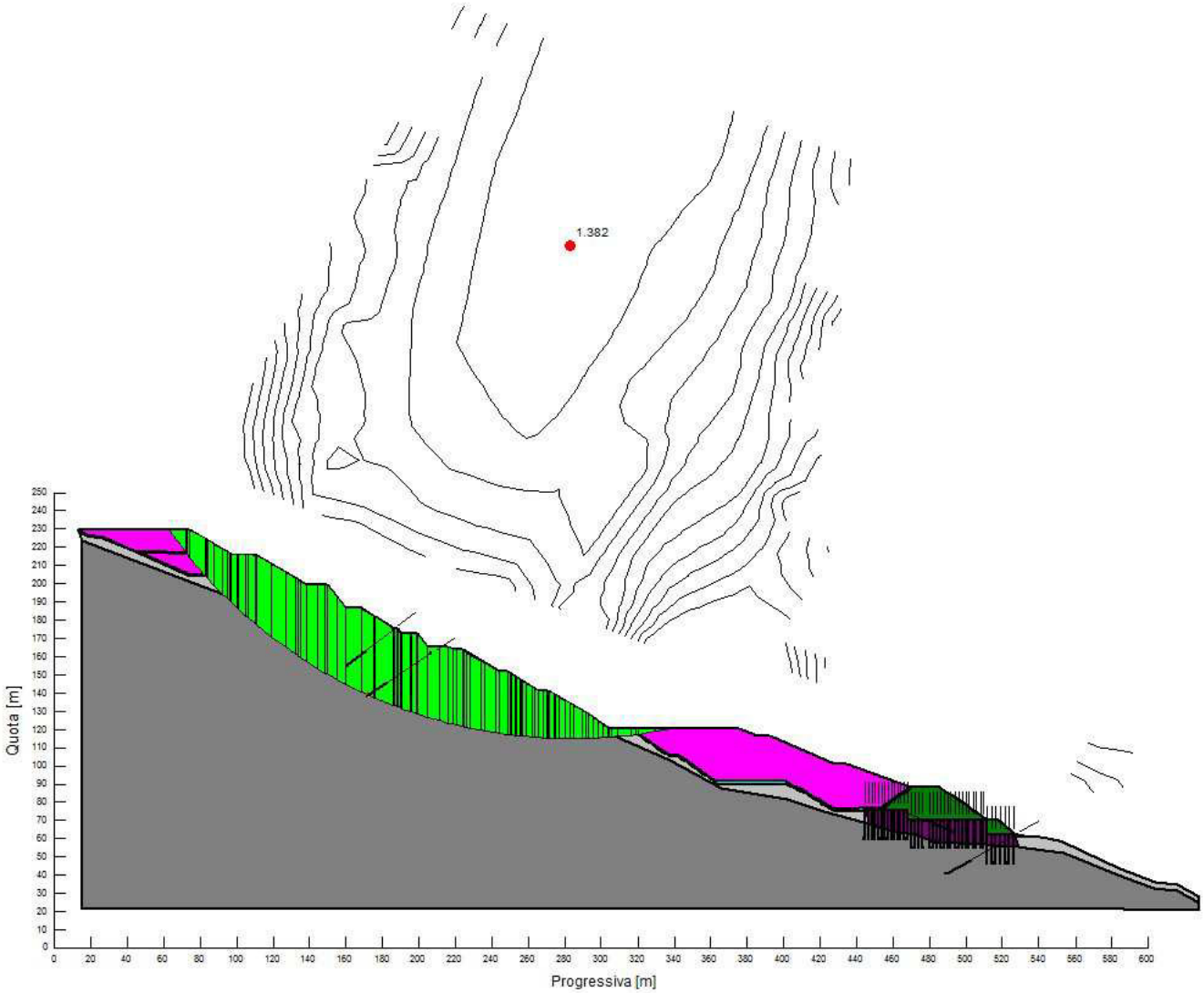


Figura 17c: Sezione 3-3 - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche – Fase B FS=1.382

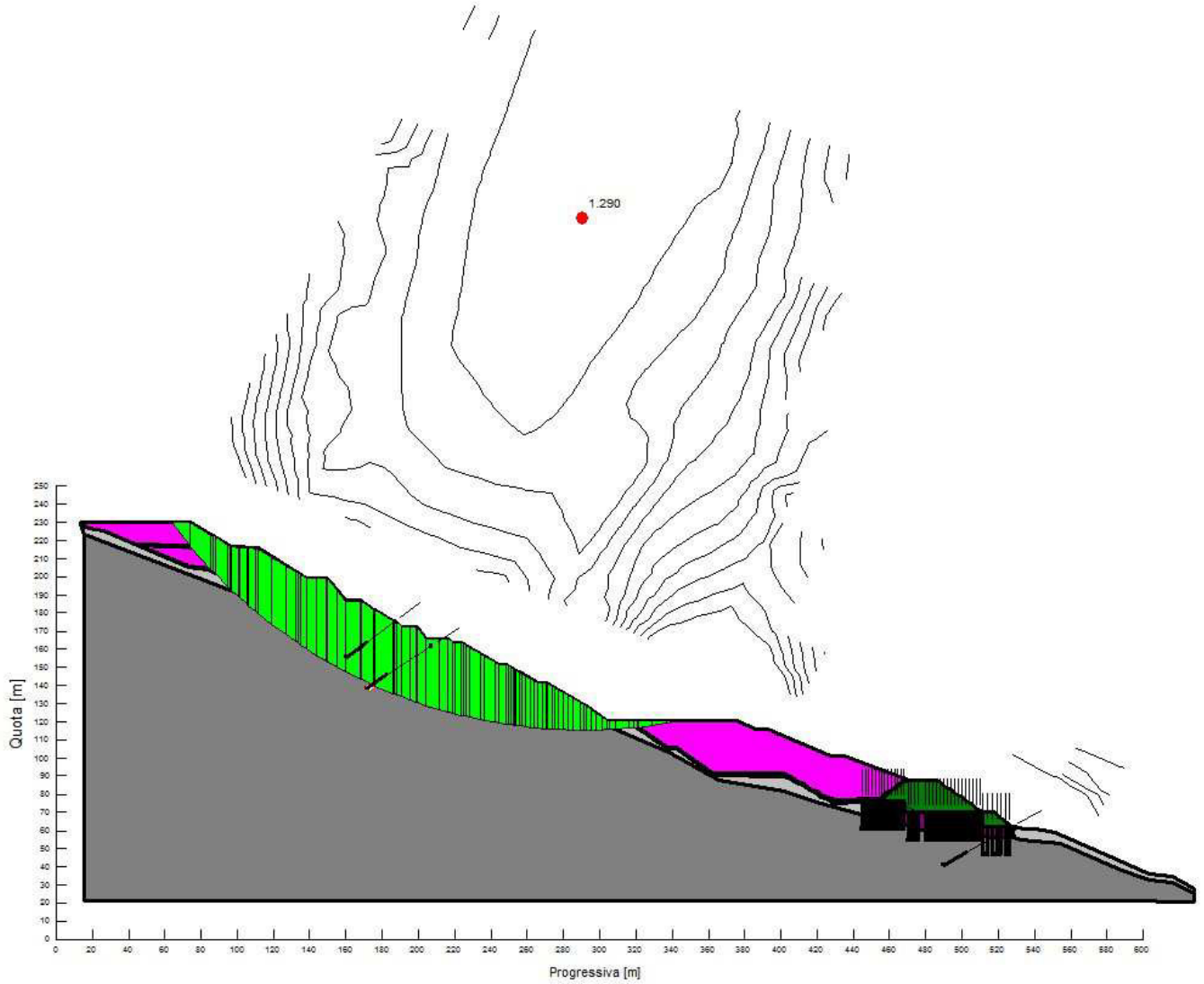


Figura 17d: Sezione 3-3 - Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche – Fase B FS=1.290

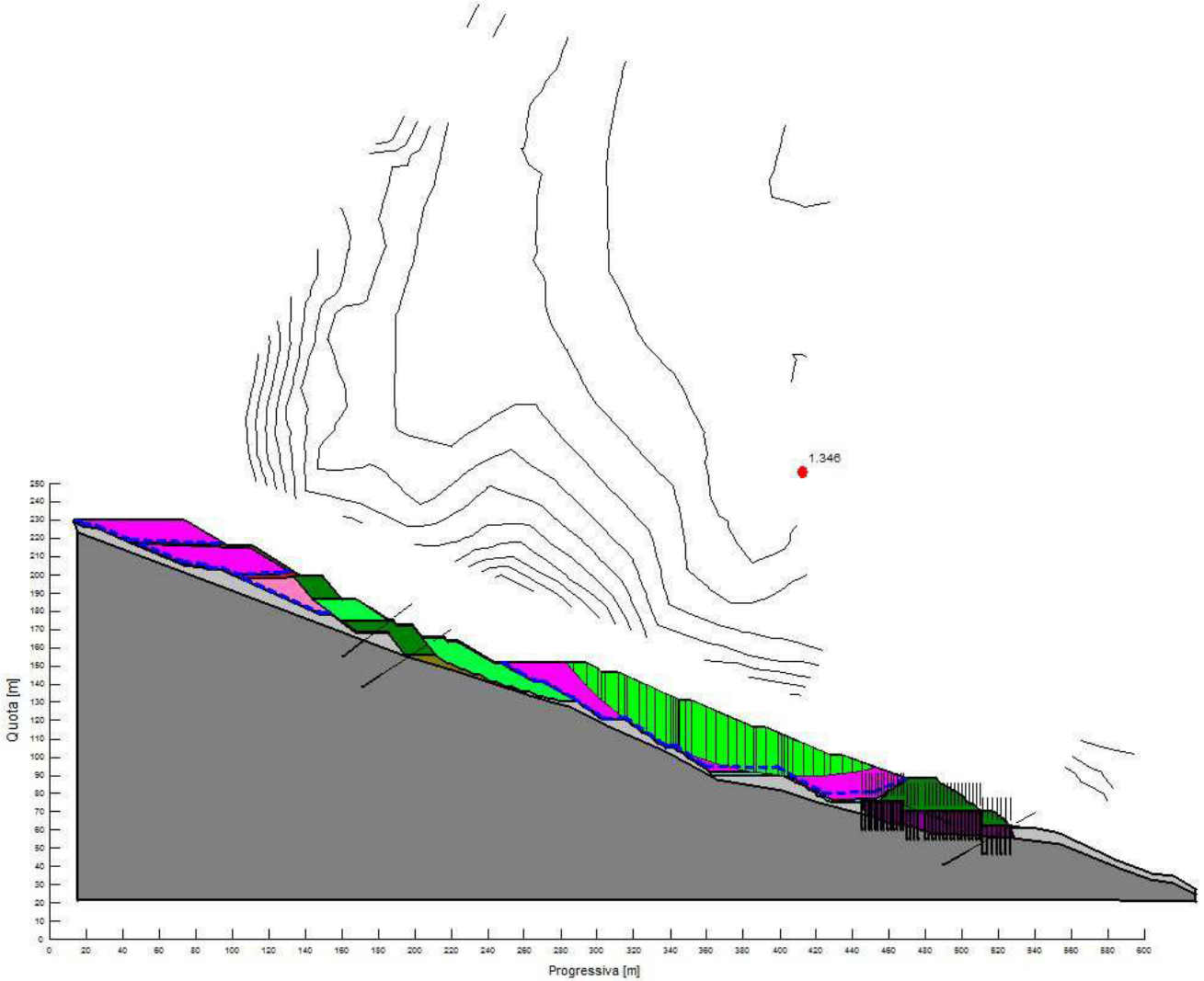


Figura 17e: Sezione 3-3 - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche – Fase C FS=1.346

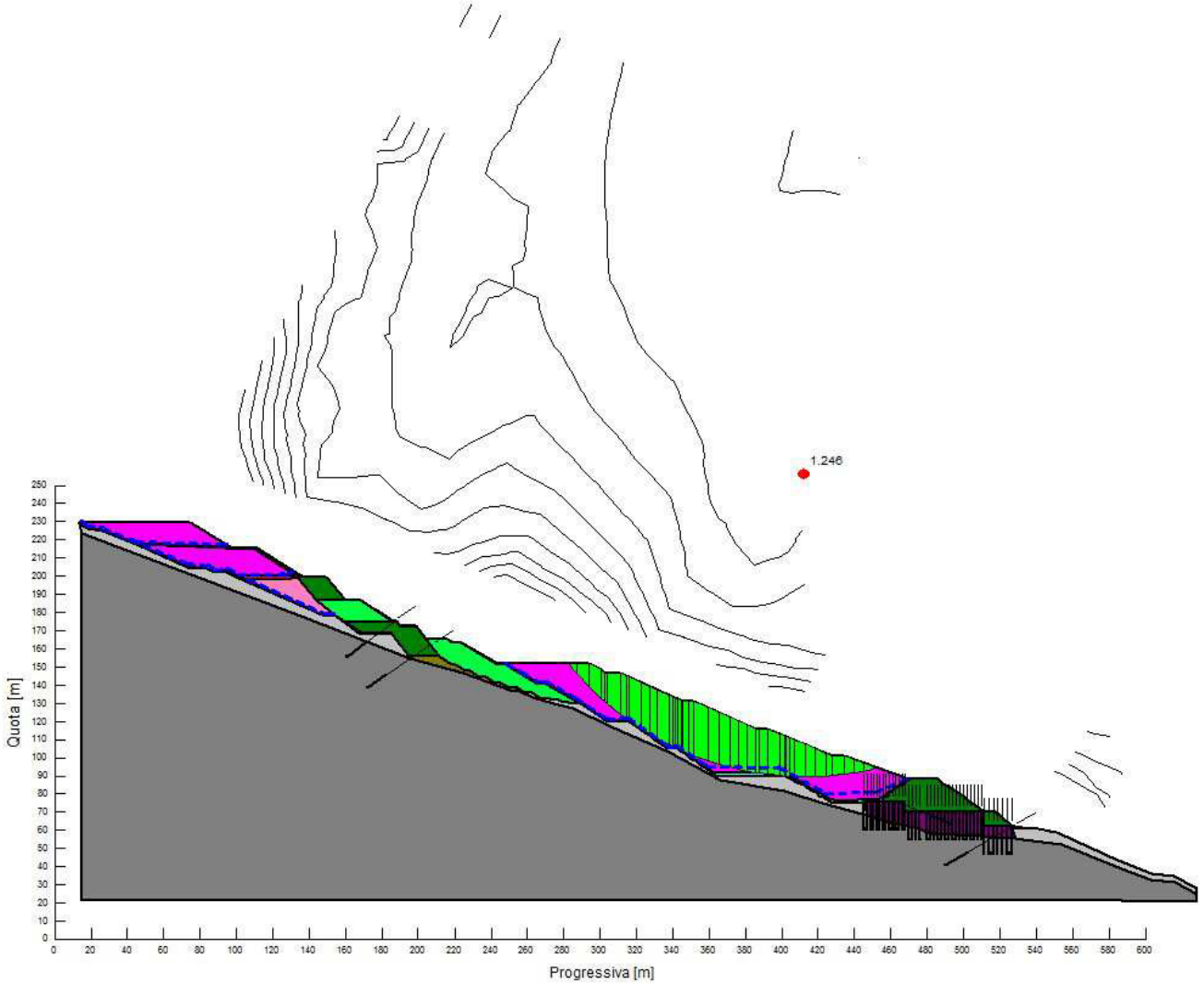


Figura 17f: Sezione 3-3 - Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche – Fase C FS=1.246

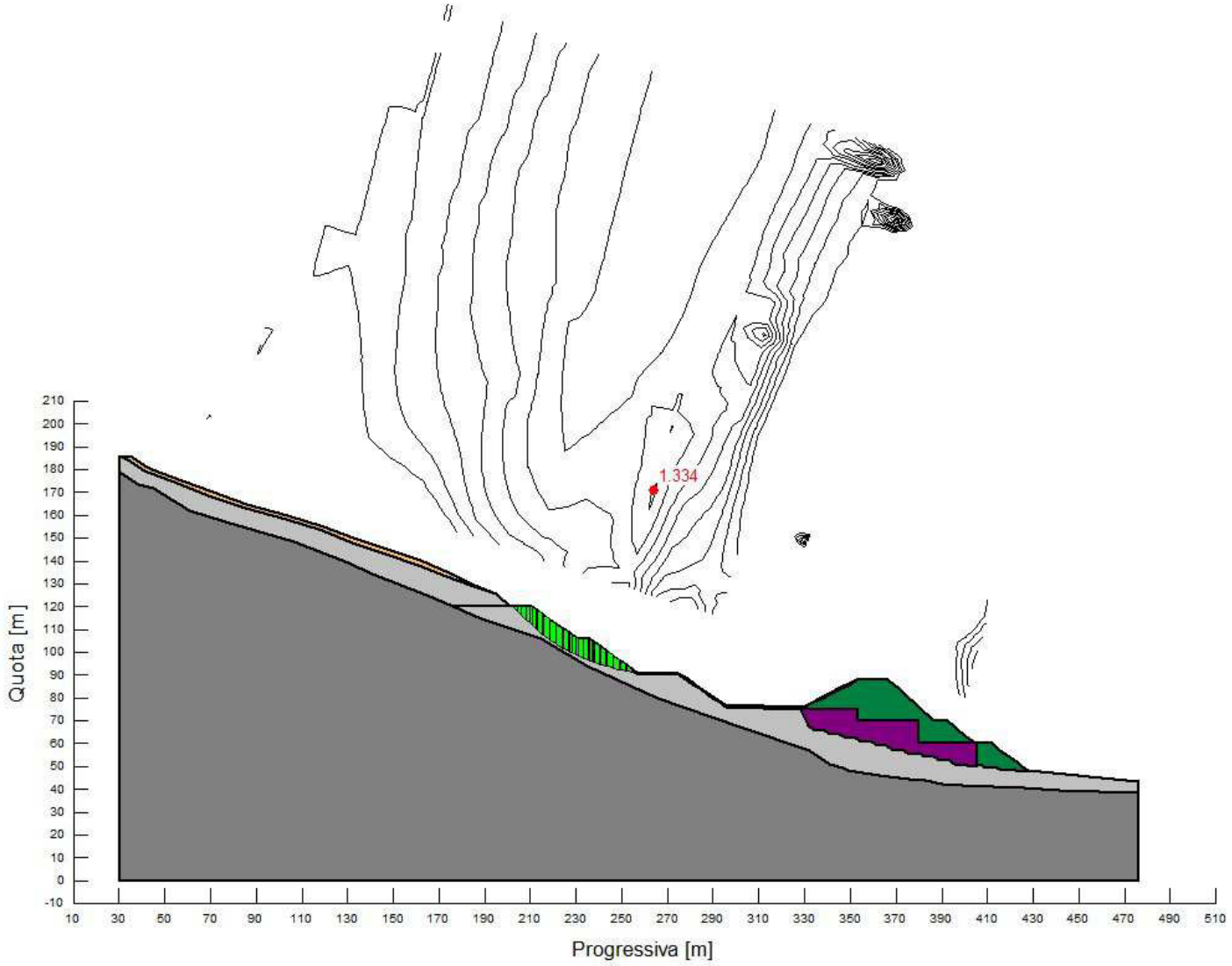


Figura 18a: Sezione C1-C1 - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche – Fase A FS=1.334

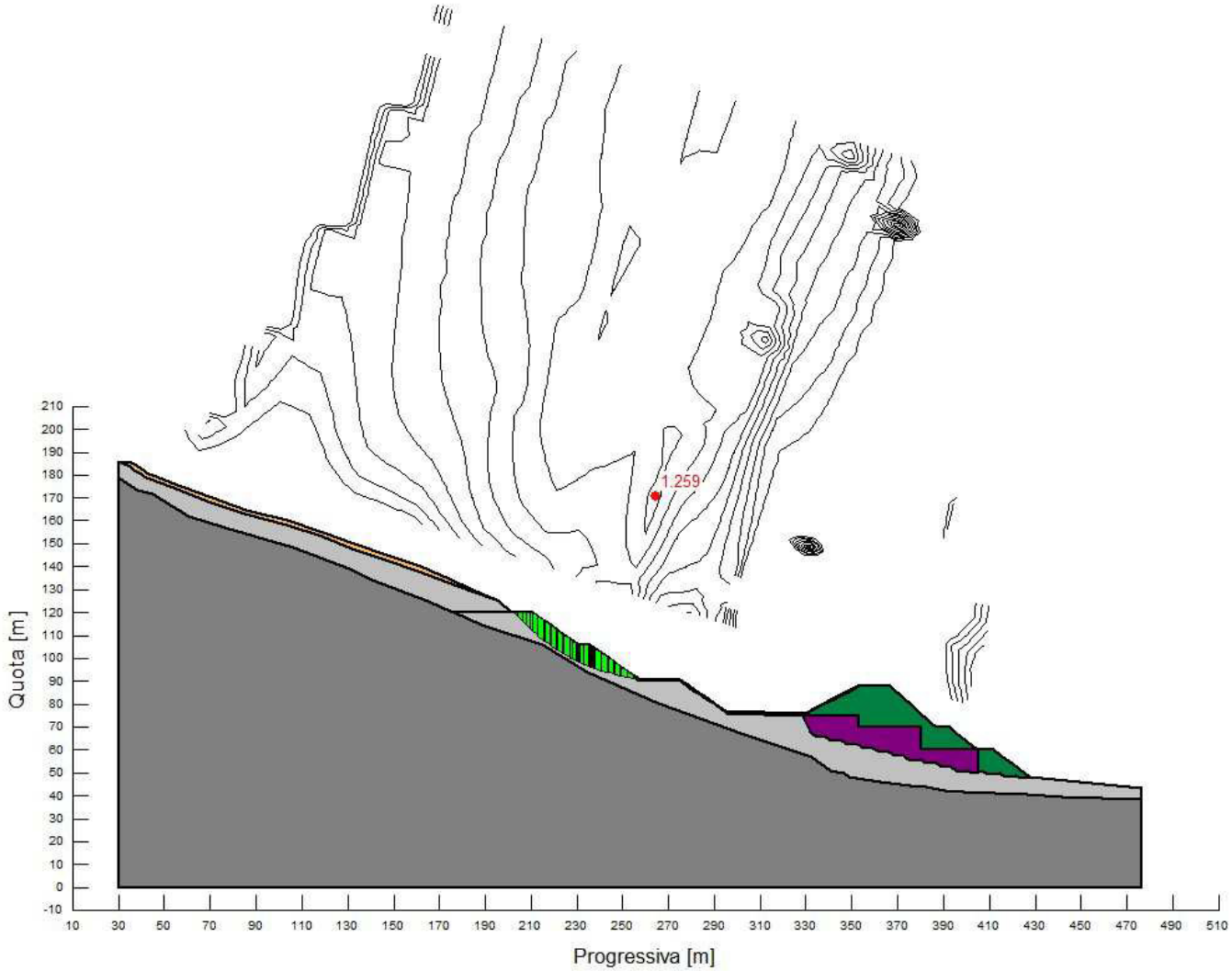


Figura 18b: Sezione C1-C1 - Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche – Fase A FS=1.259

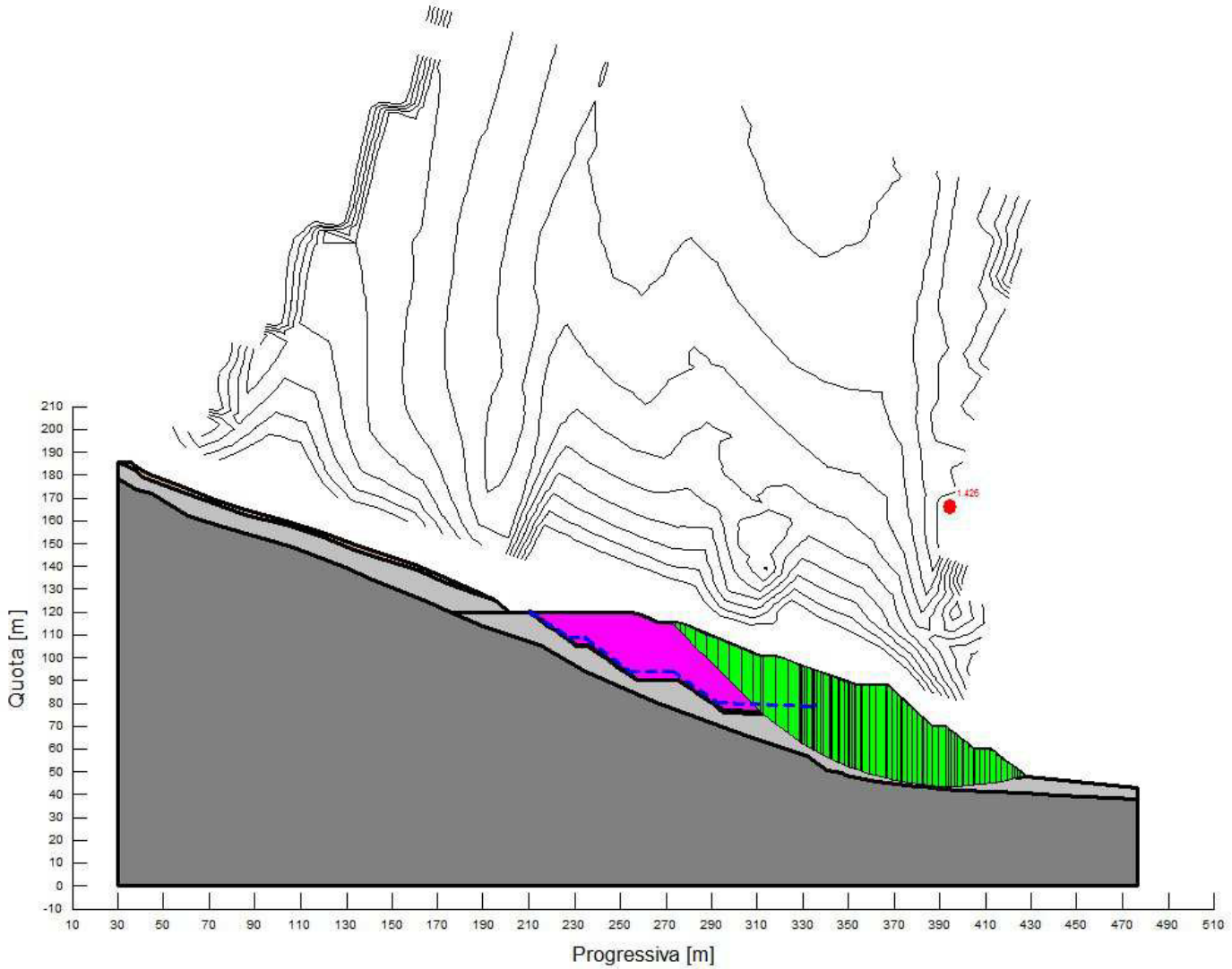


Figura 18c: Sezione C1-C1 - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche – Fase B FS=1.426

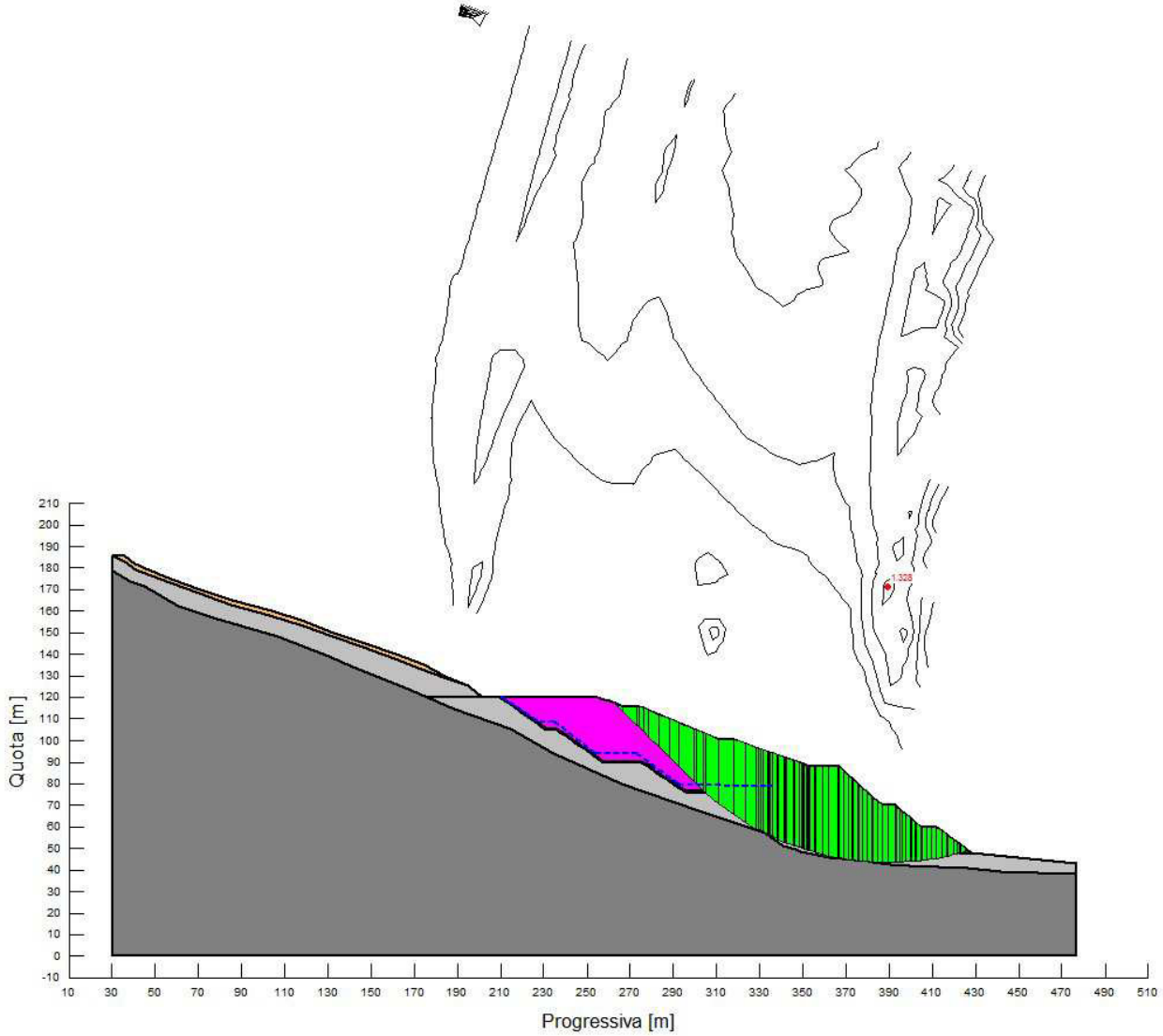


Figura 18d: Sezione C1-C1 - Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche – Fase B FS=1.328

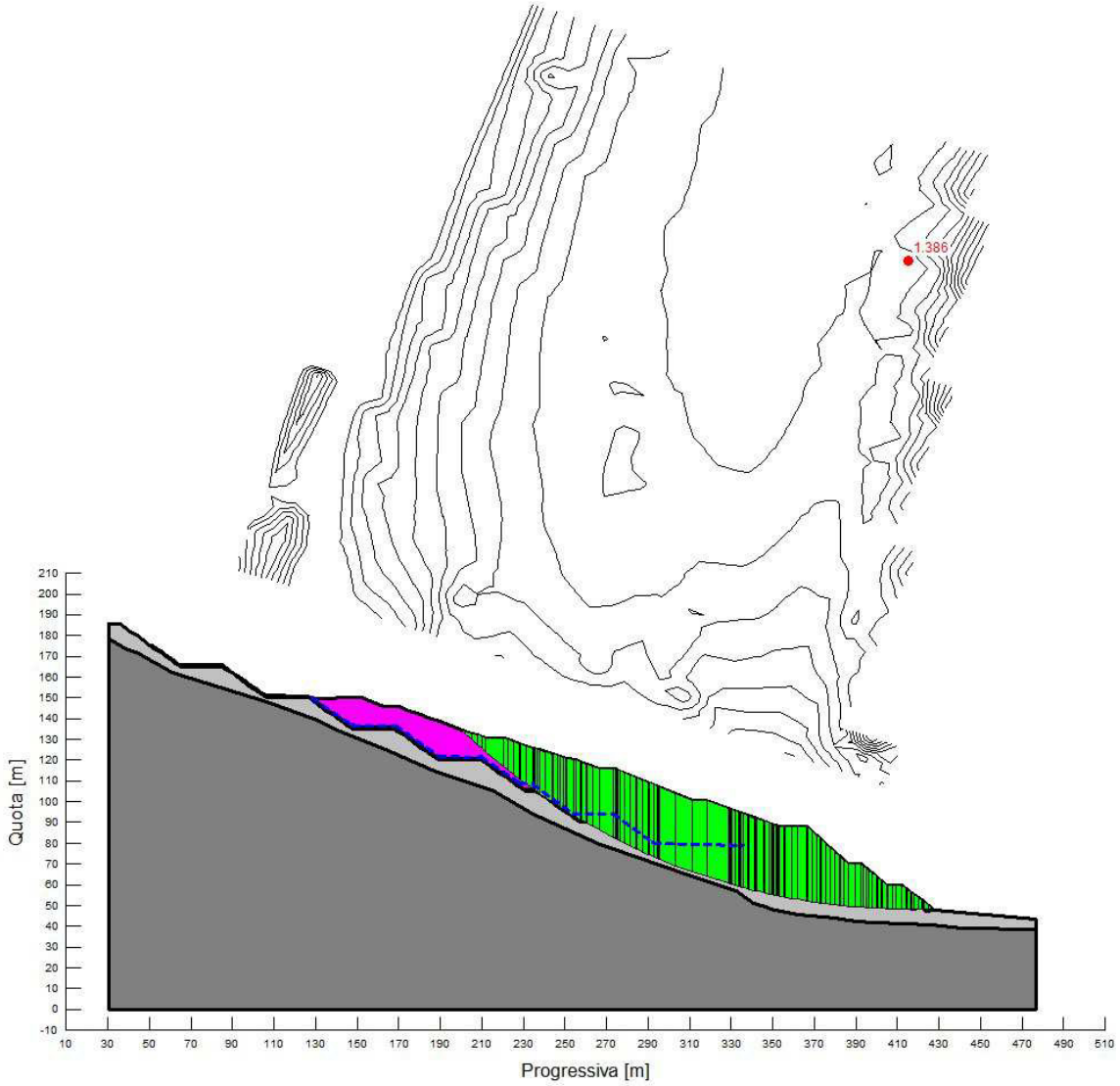


Figura 18e: Sezione C1-C1 - Superficie di rottura circolare in condizioni statiche – Fase C FS=1.386

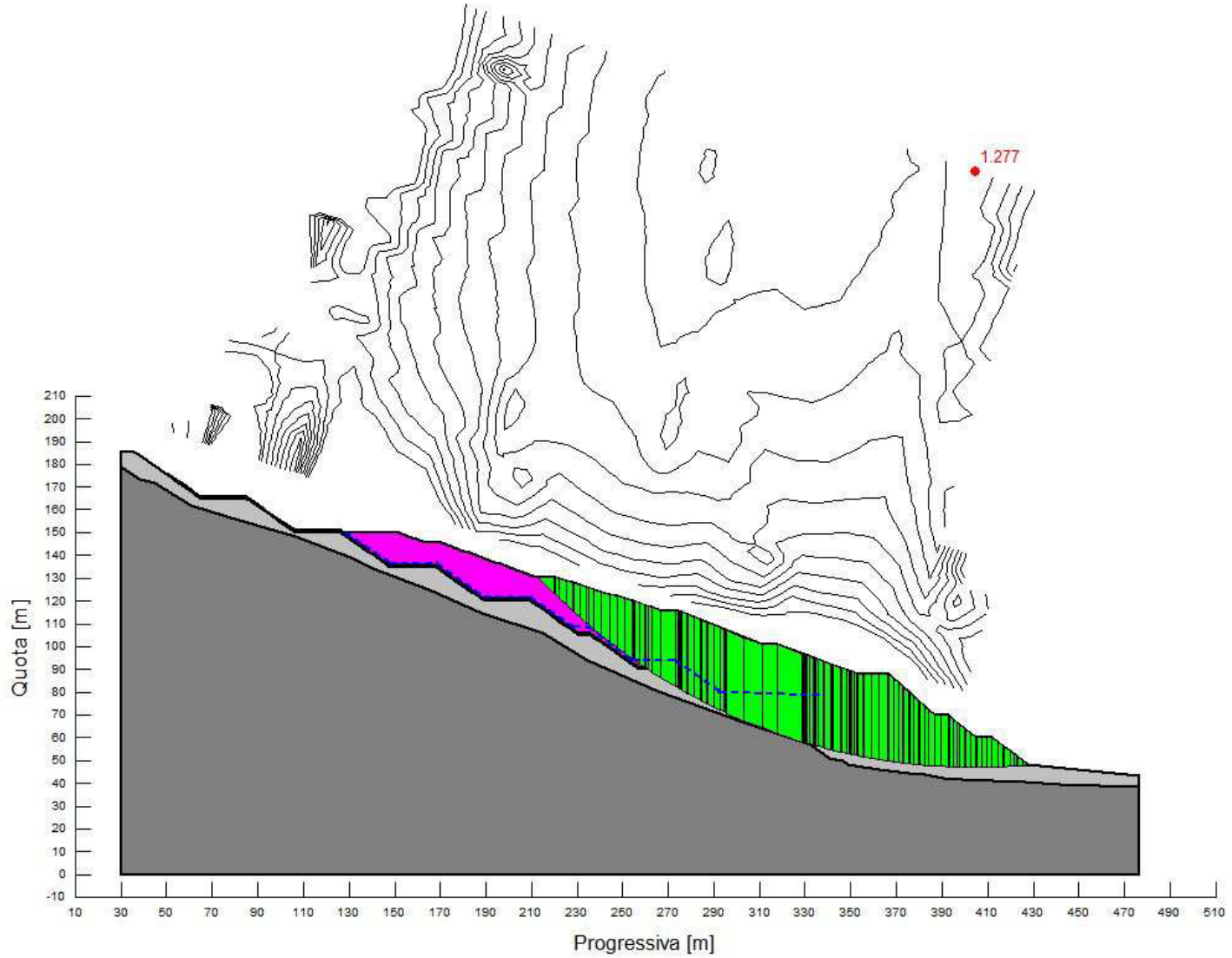


Figura 18f: Sezione C1-C1 - Superficie di rottura circolare in condizioni pseudostatiche – Fase B FS=1.277

Allegato D:

Analisi di stabilità delle terre rinforzate – Fase 1

Sezioni considerate per le analisi di stabilità

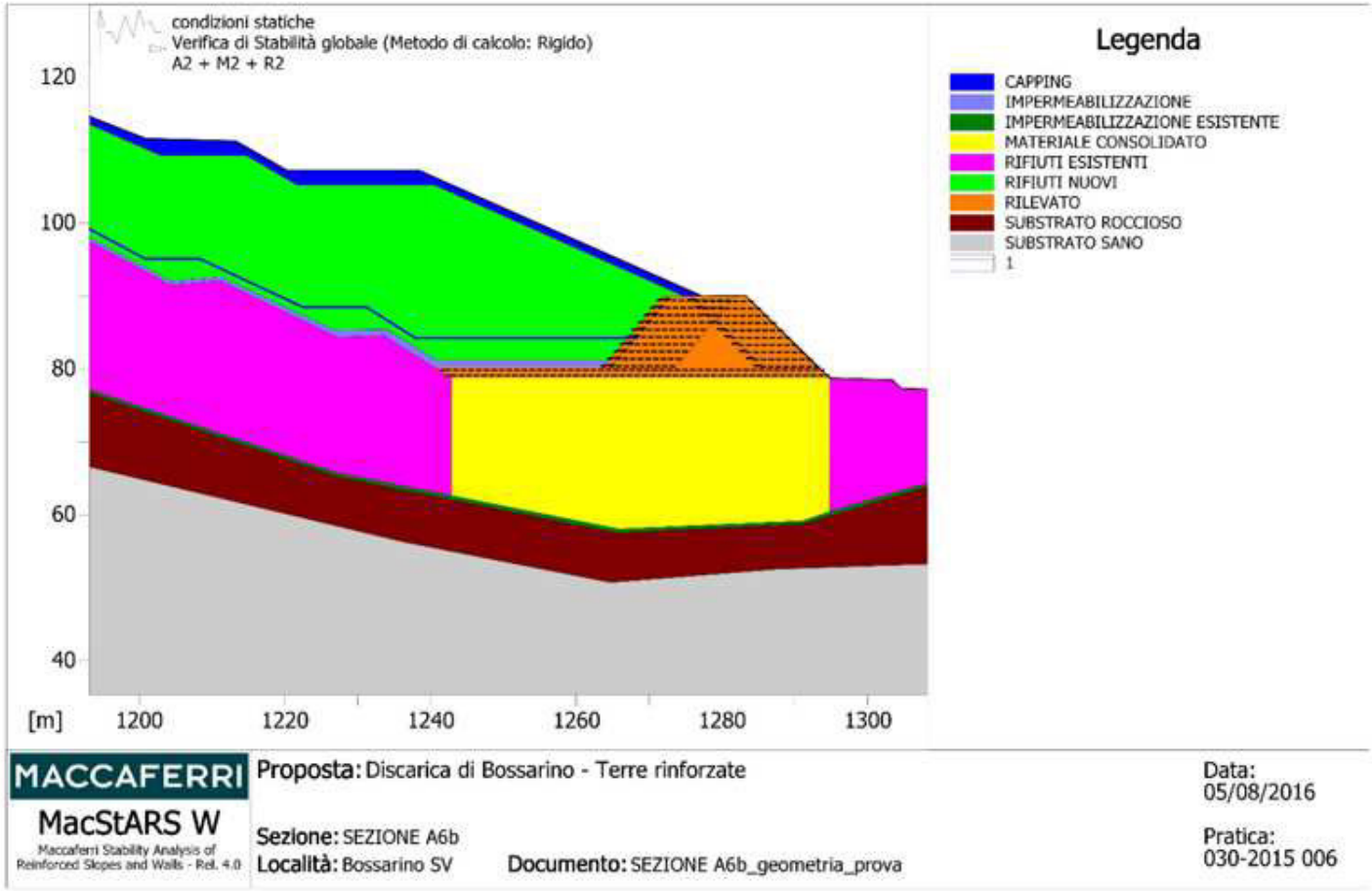


Figura 1: Sezione A6b-A6b

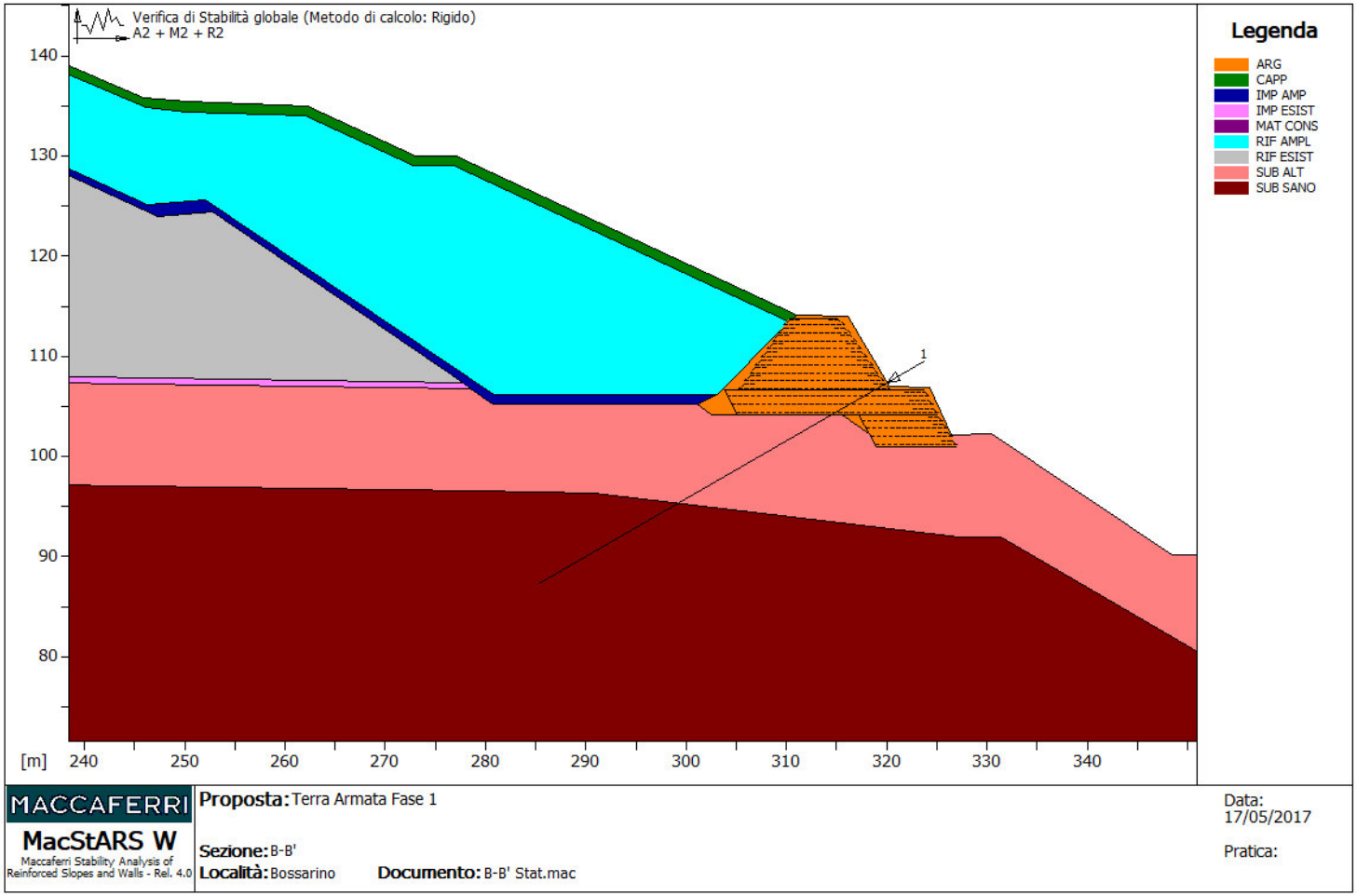


Figura 2: Sezione B-B'

Analisi di stabilità globale

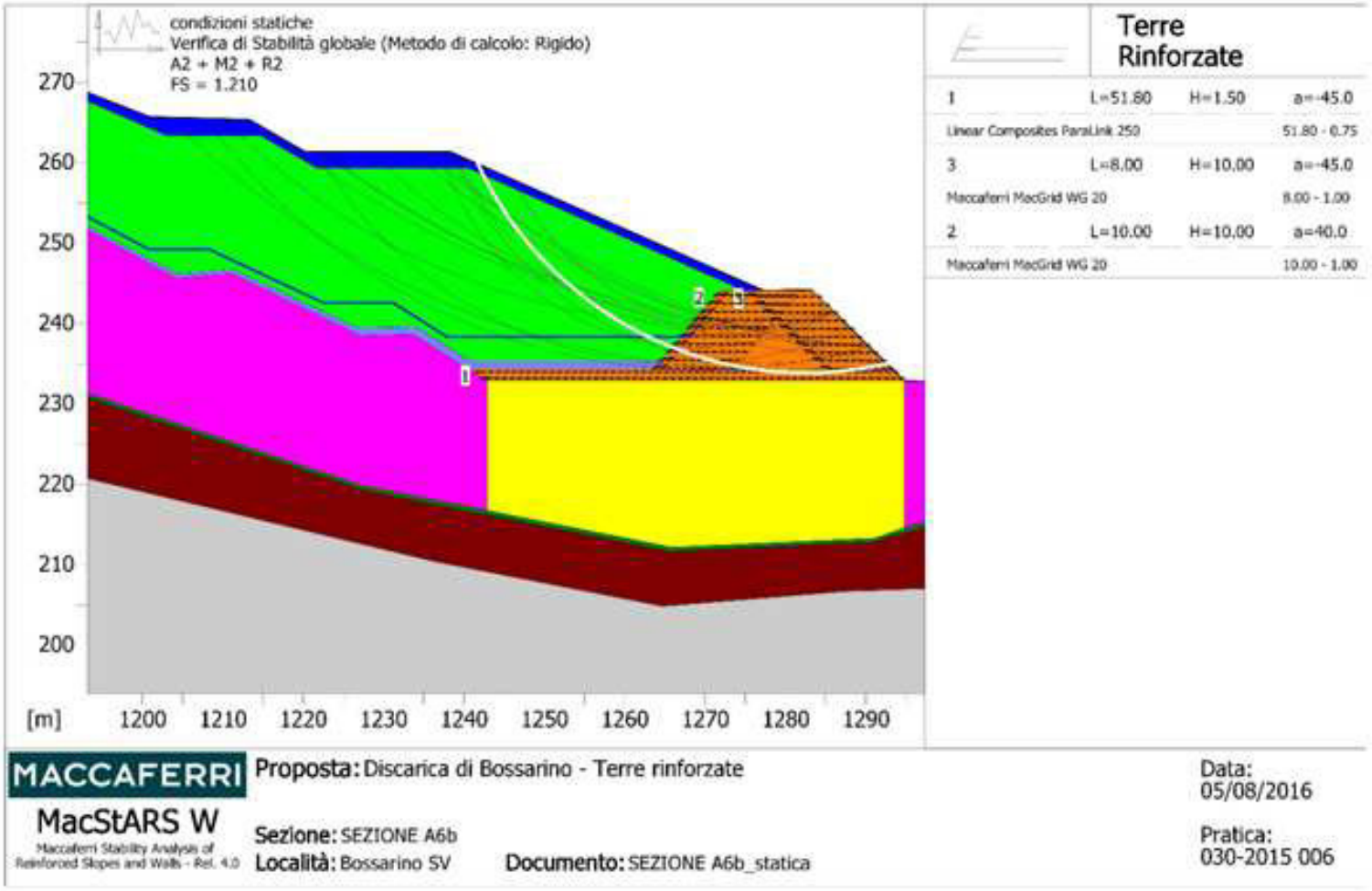


Figura 3: Sezione A6b-A6b – Analisi di stabilità globale in condizioni statiche FS=1.210

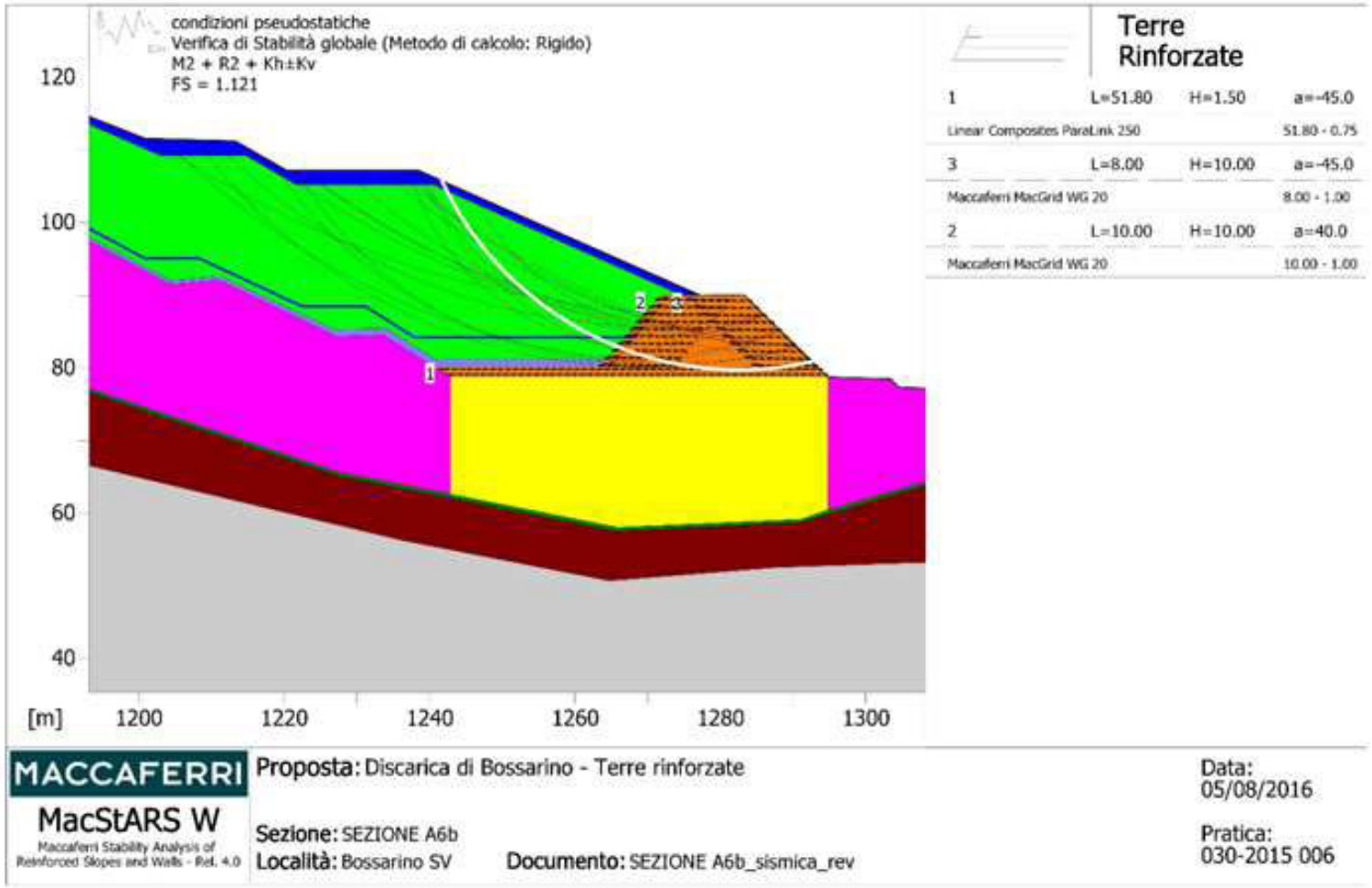


Figura 4: Sezione A6b-A6b – Analisi di stabilità globale in condizioni pseudostatiche FS=1.121

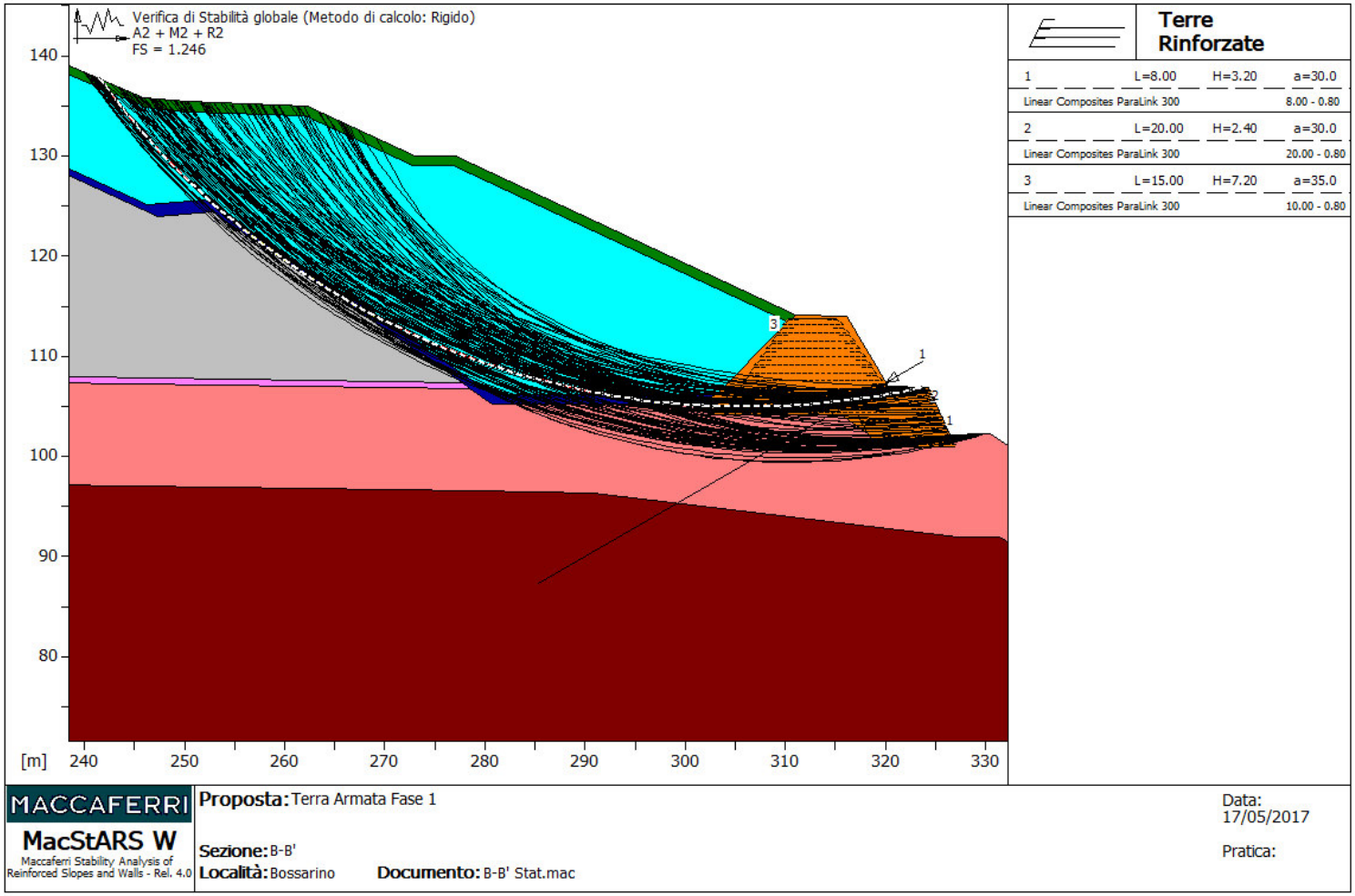


Figura 5: Sezione B-B' - Analisi di stabilità globale in condizioni statiche FS=1.246

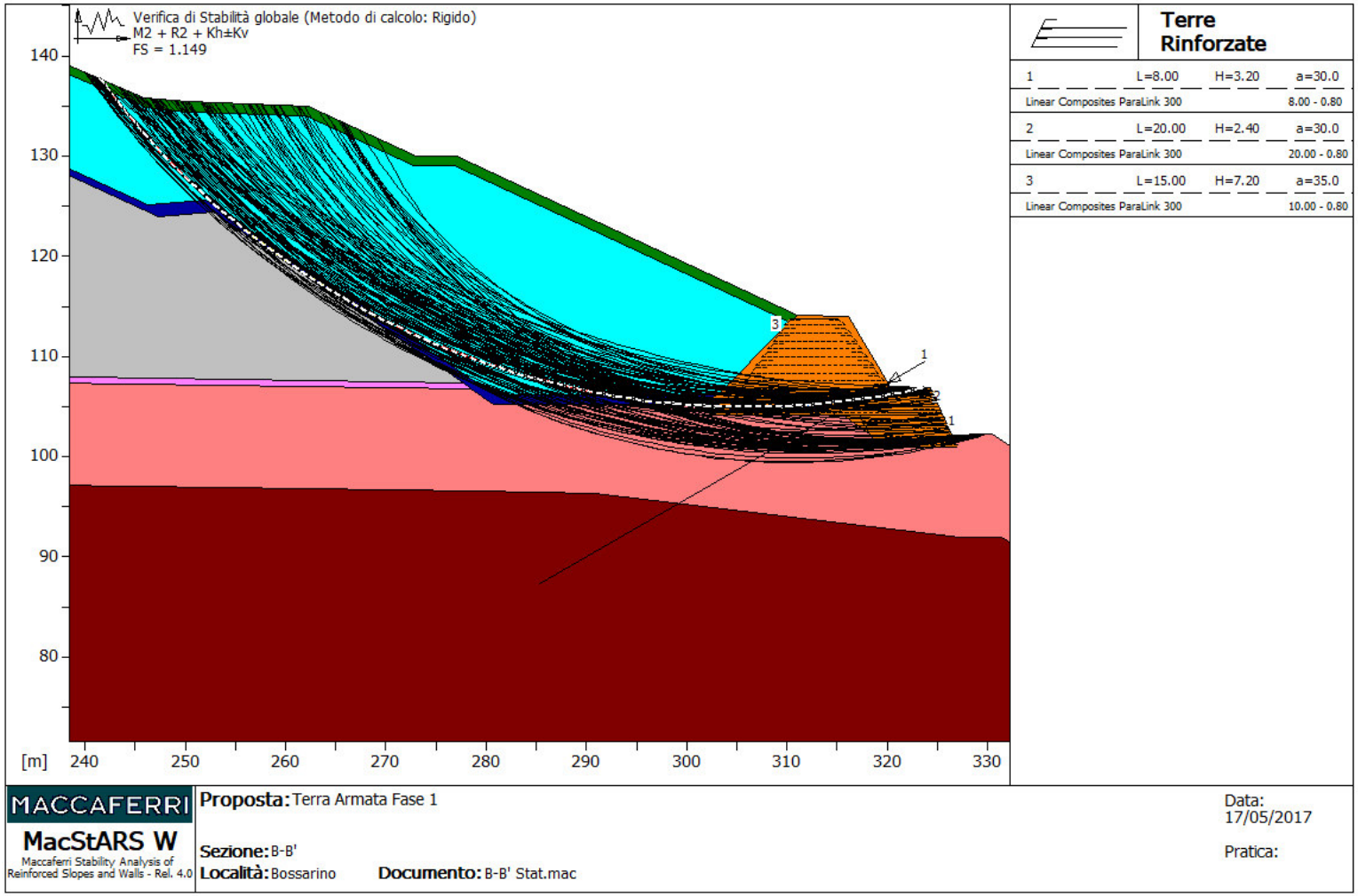


Figura 6: Sezione B-B' - Analisi di stabilità globale in condizioni pseudostatiche FS=1.149

Analisi di stabilità interna

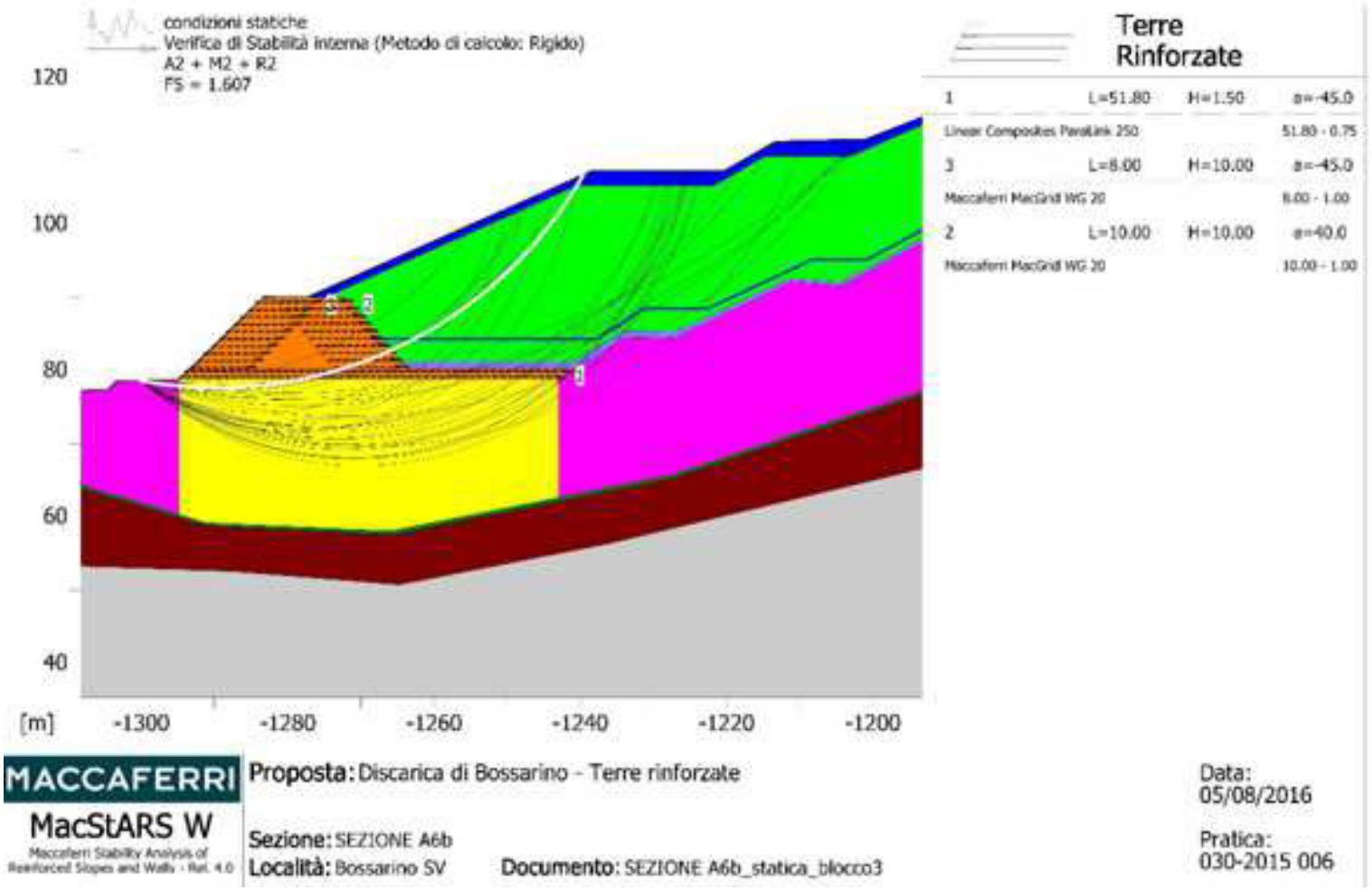


Figura 7: Sezione A6b-A6b – Analisi di stabilità interna in condizioni statiche –Blocco 3 - FS=1.607

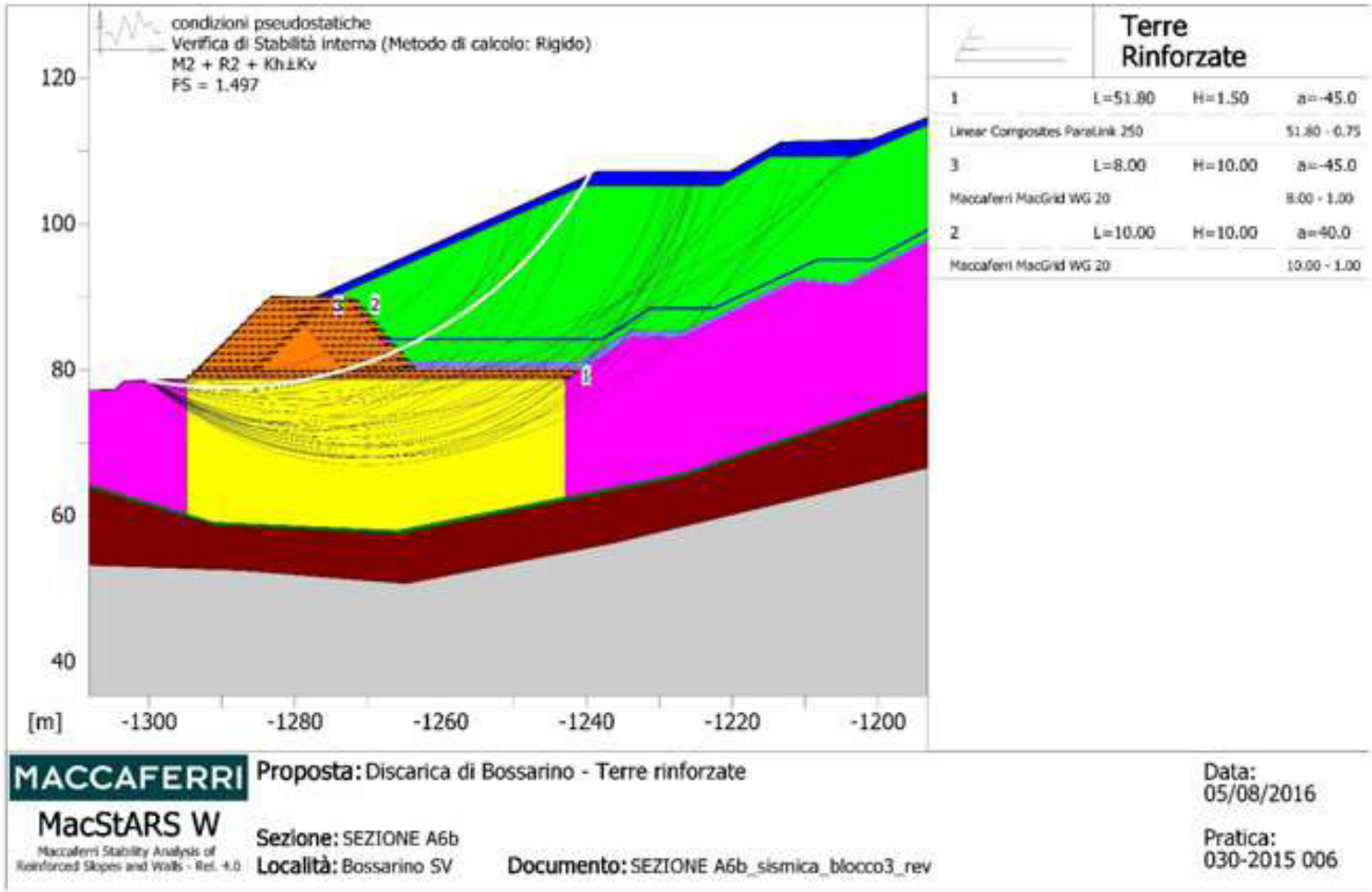


Figura 8: Sezione A6b-A6b – Analisi di stabilità interna in condizioni pseudostatiche – Blocco 3- FS=1.497

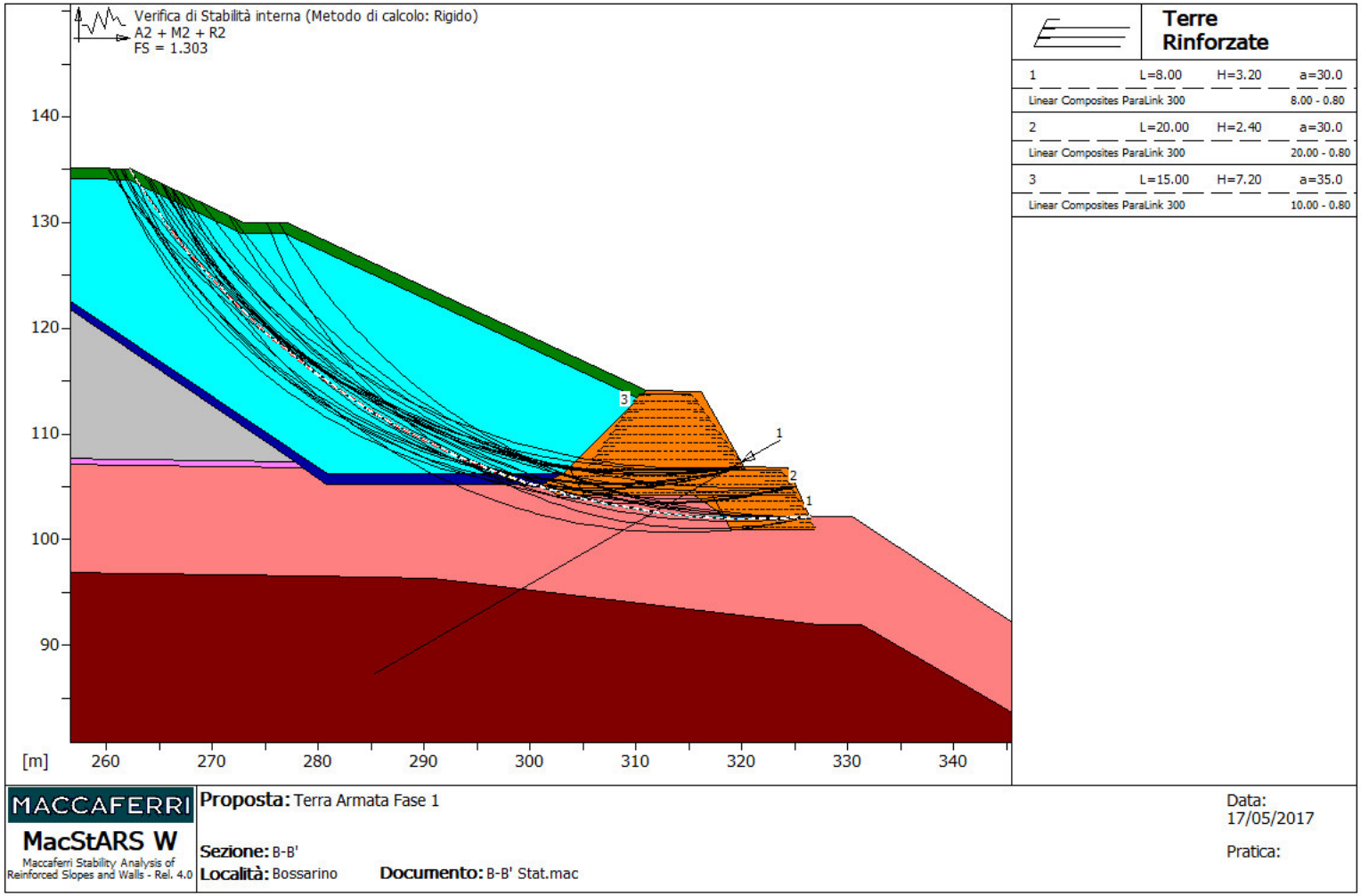


Figura 9: Sezione B-B' - Analisi di stabilità interna in condizioni statiche -FS=1.303

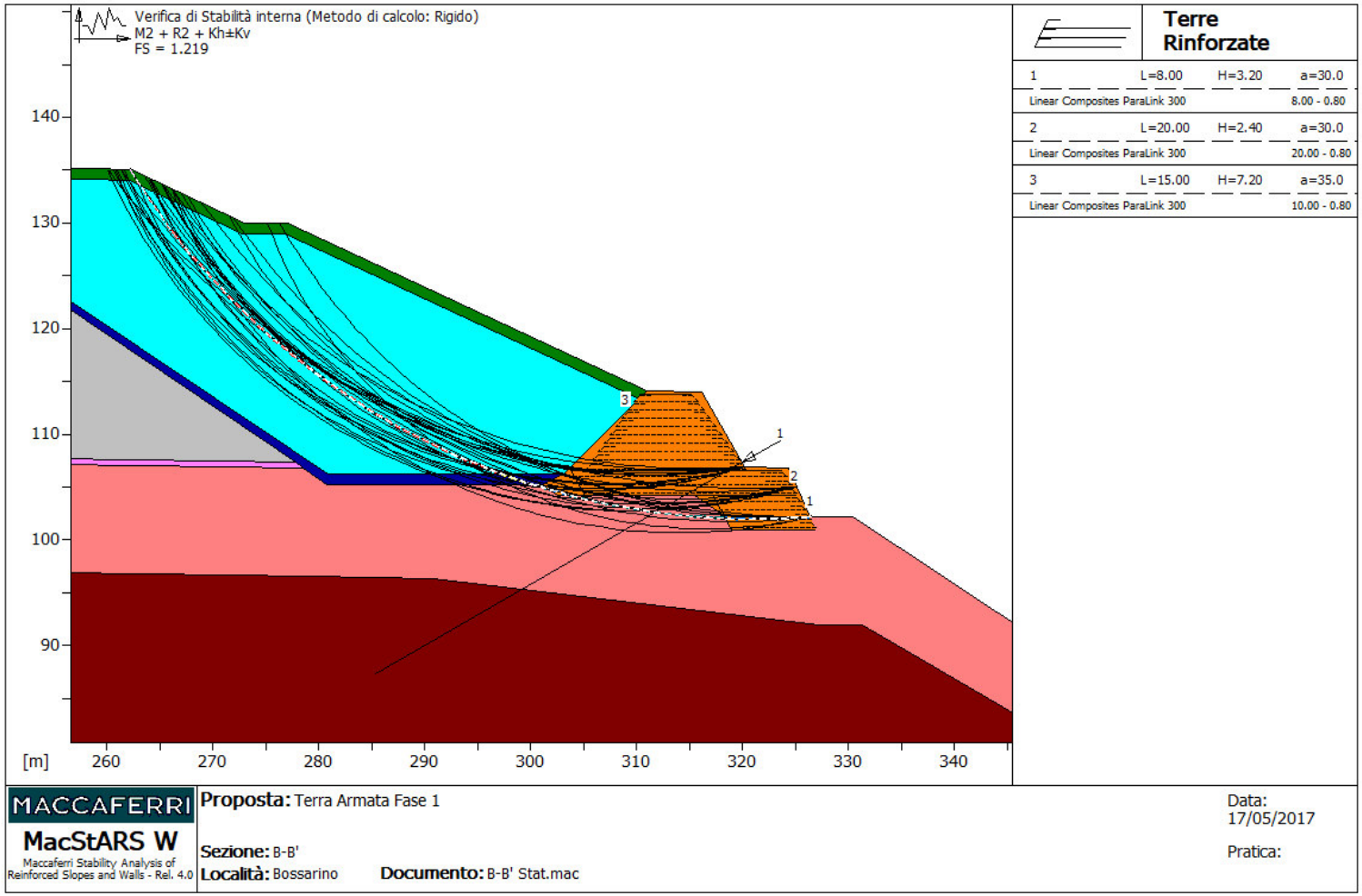


Figura 10: Sezione B-B' - Analisi di stabilità interna in condizioni pseudostatiche - FS=1.219

Verifiche di scorrimento

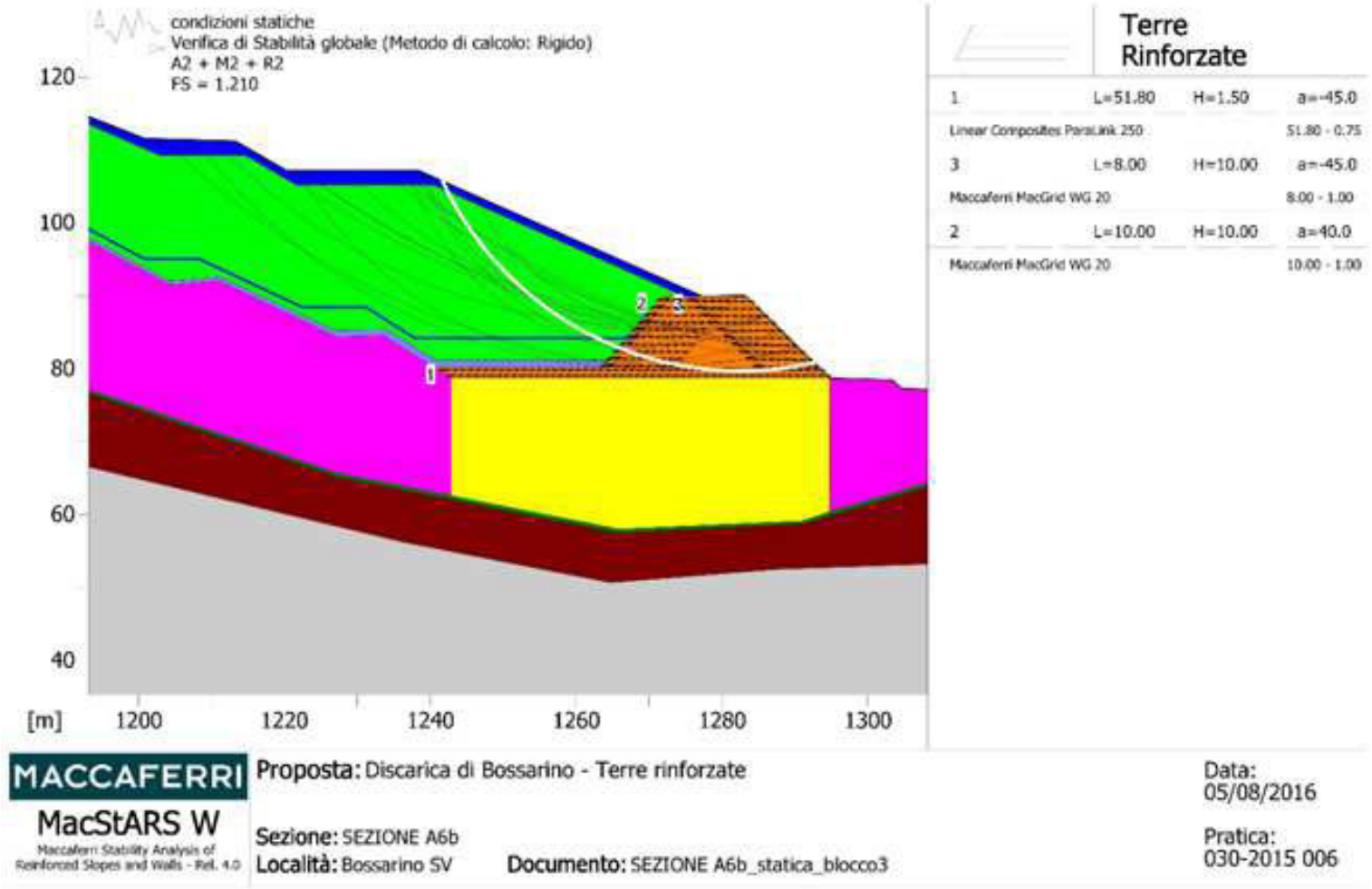


Figura 11: Sezione A6b-A6b – Verifica di scorrimento in condizioni statiche –Blocco 3 - FS=1.210

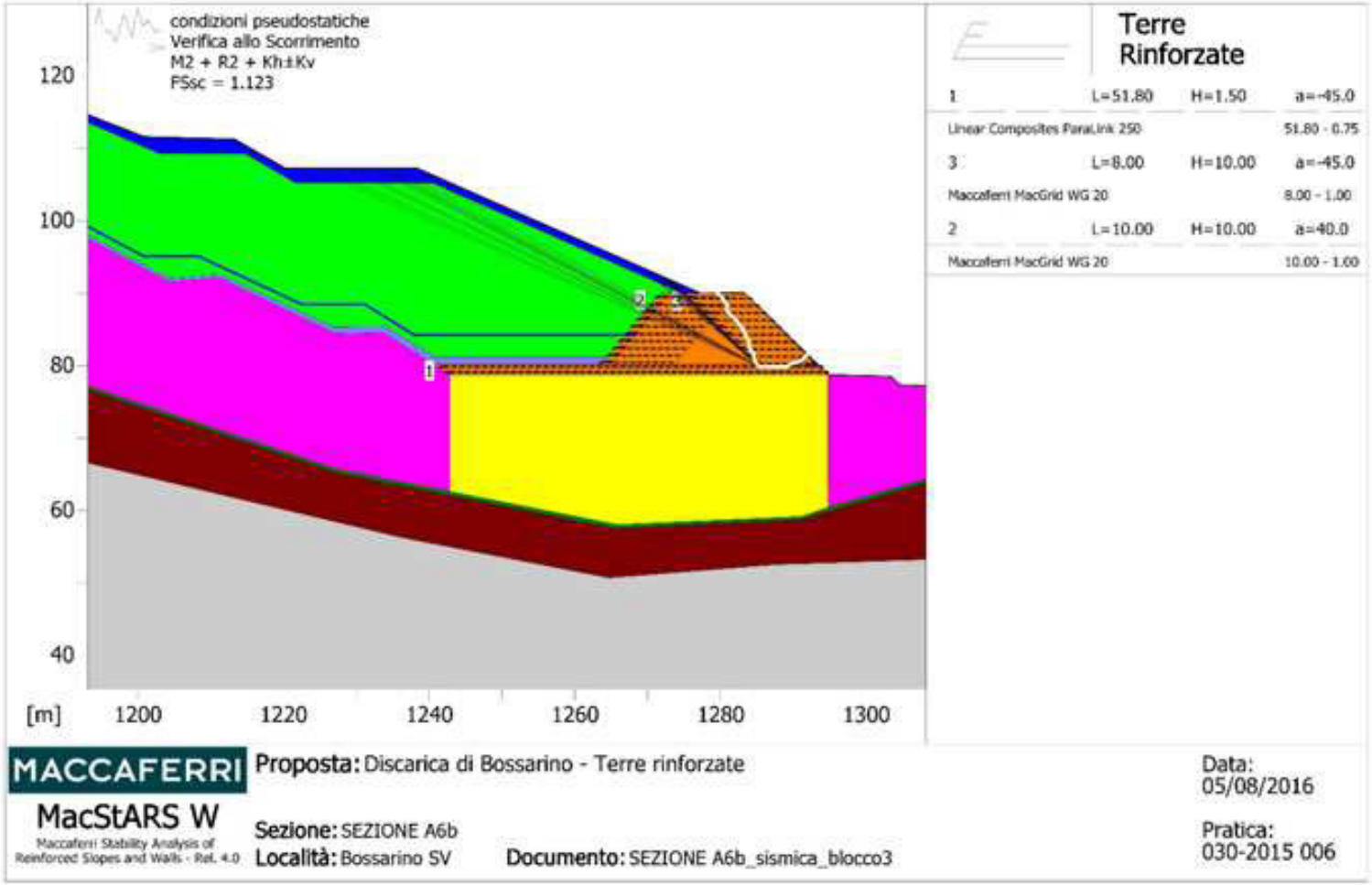


Figura 12: Sezione A6b-A6b – Verifica di scorrimento in condizioni pseudostatiche – Blocco 3- FS=1.123

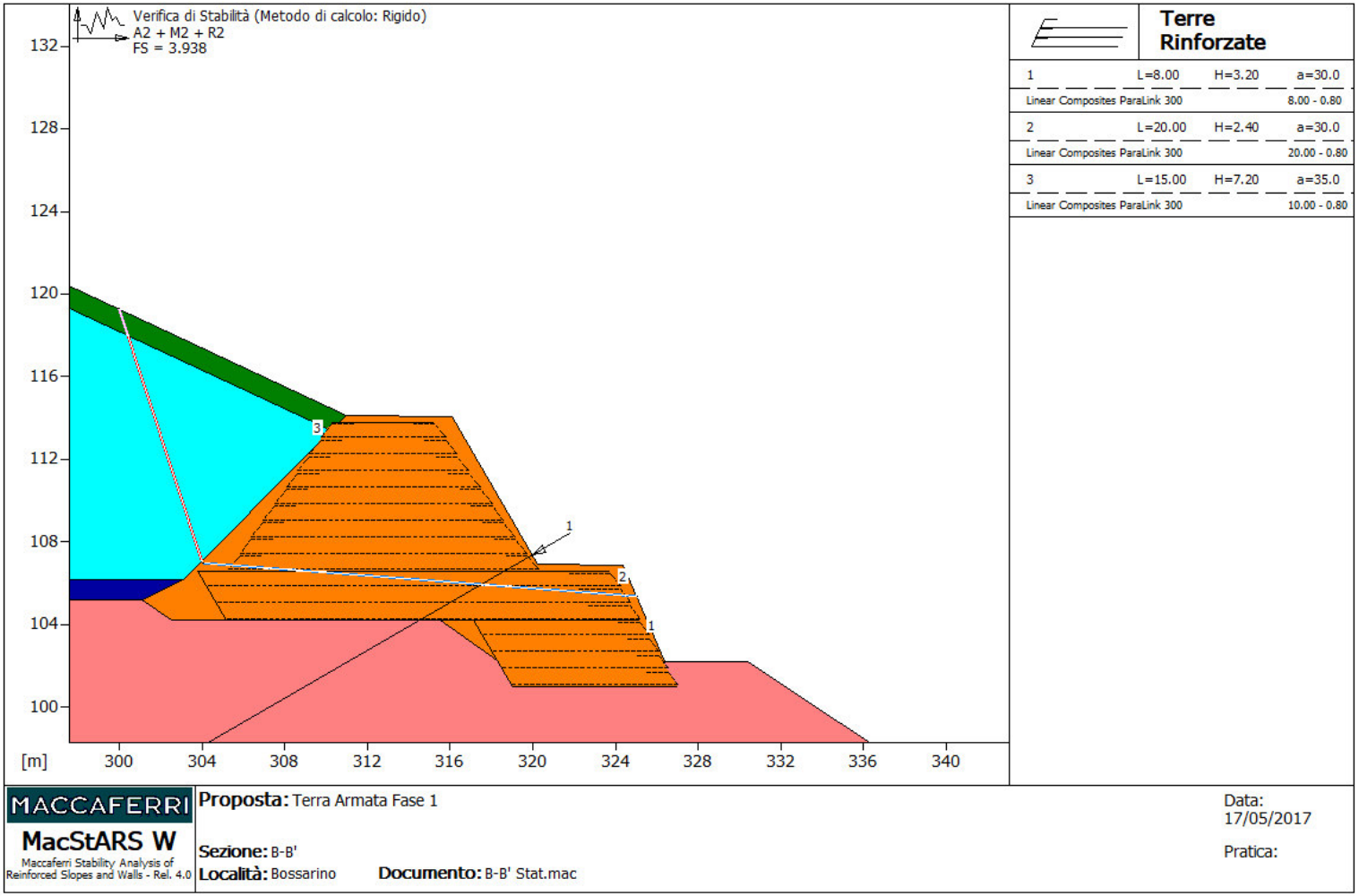


Figura 13: Sezione C1-C1 - Verifica di scorrimento in condizioni statiche -FS=3.938

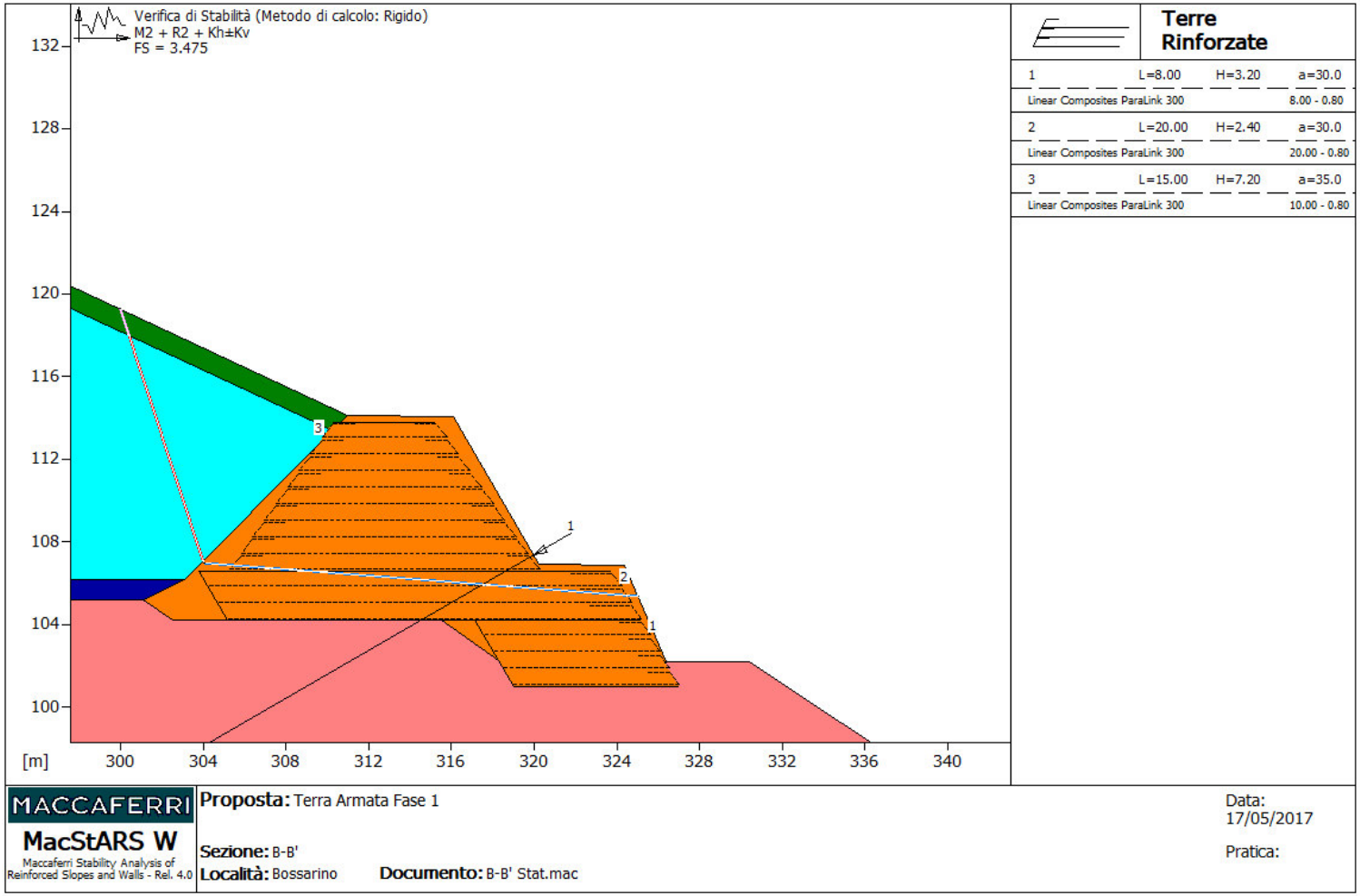


Figura 14: Sezione B-B' - Verifica di scorrimento in condizioni pseudostatiche –FS=3.475

Allegato E:

Analisi di stabilità delle terre rinforzate – Fase 2

Sezione considerata per le analisi di stabilità

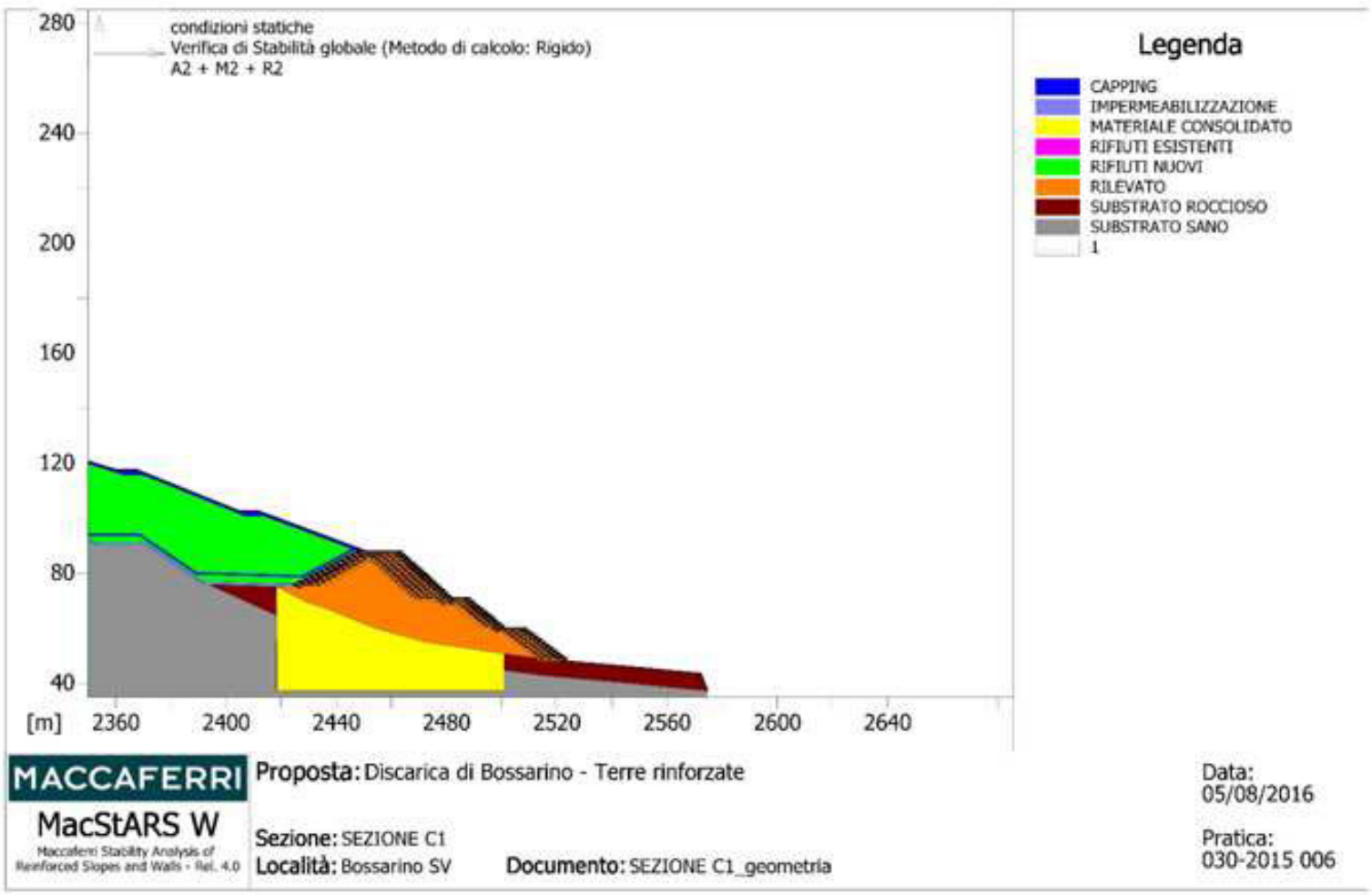


Figura 1: Sezione C1-C1

** La geometria delle terre rinforzate della sezione C1 è stata conservativamente semplificata nelle modellizzazione con MAC STAR*

Analisi di stabilità globale

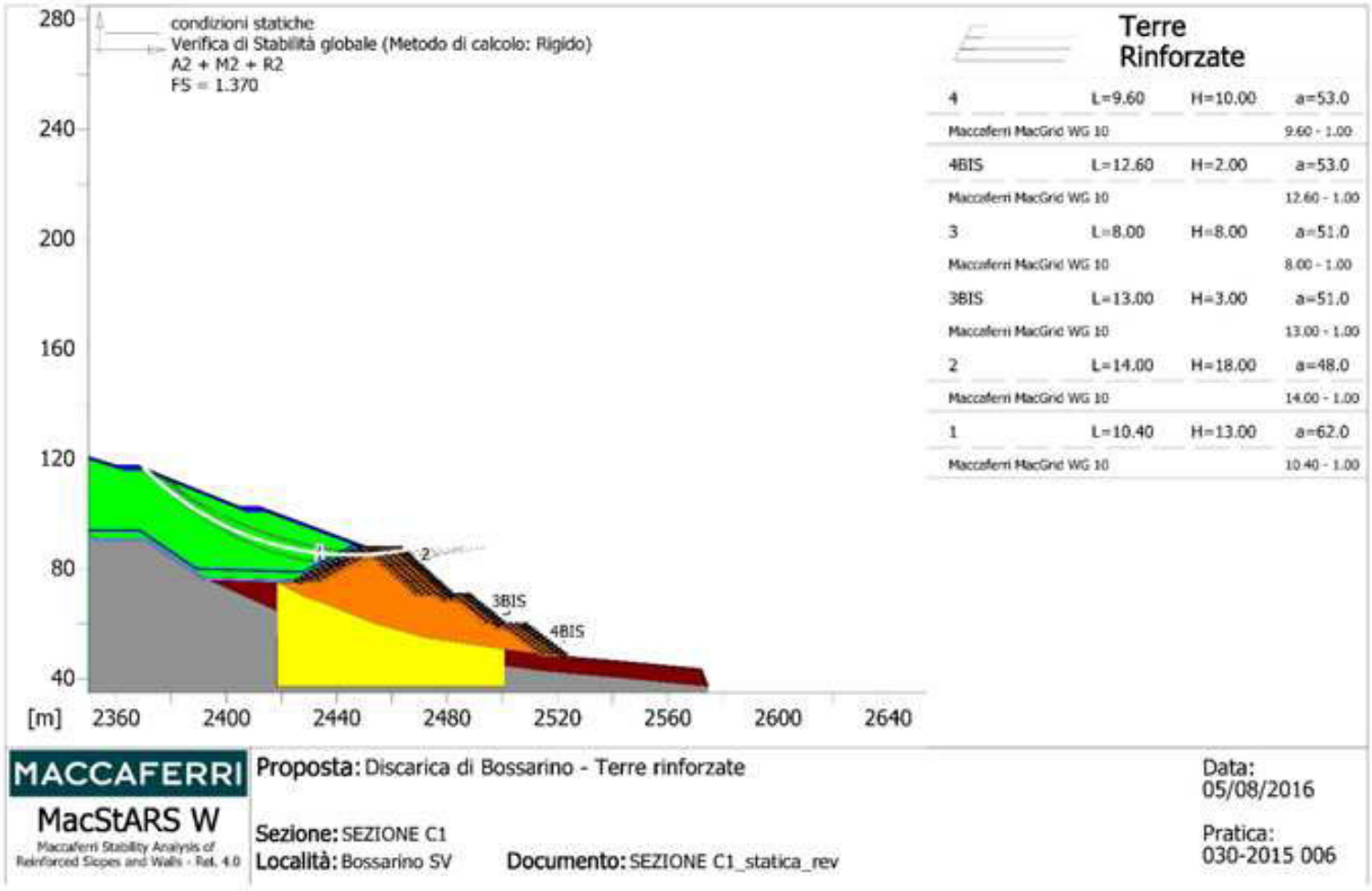


Figura 2: Sezione C1-C1 - Analisi di stabilità globale in condizioni statiche FS=1.370

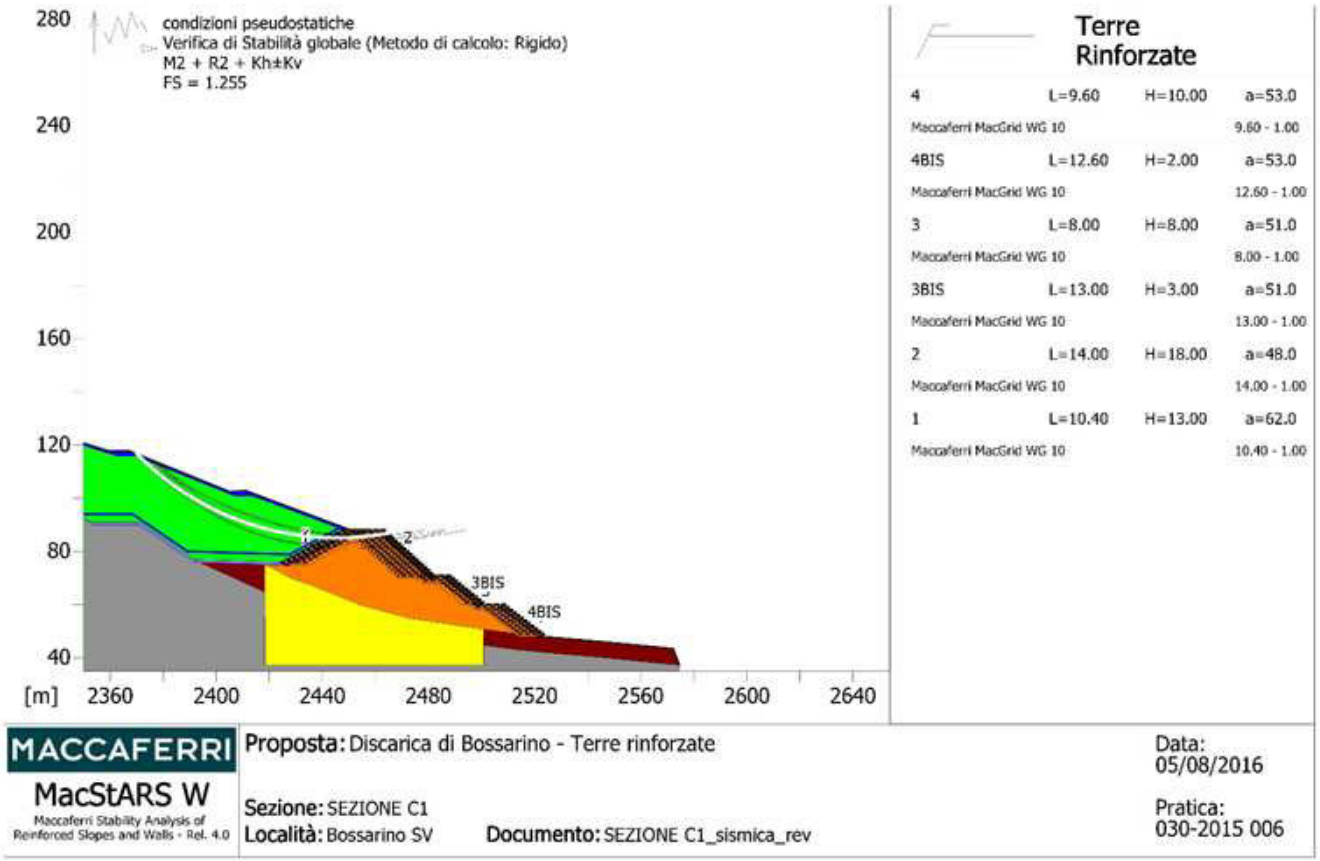


Figura 3: Sezione C1-C1 - Analisi di stabilità globale in condizioni pseudostatiche FS=1.255

Analisi di stabilità interna

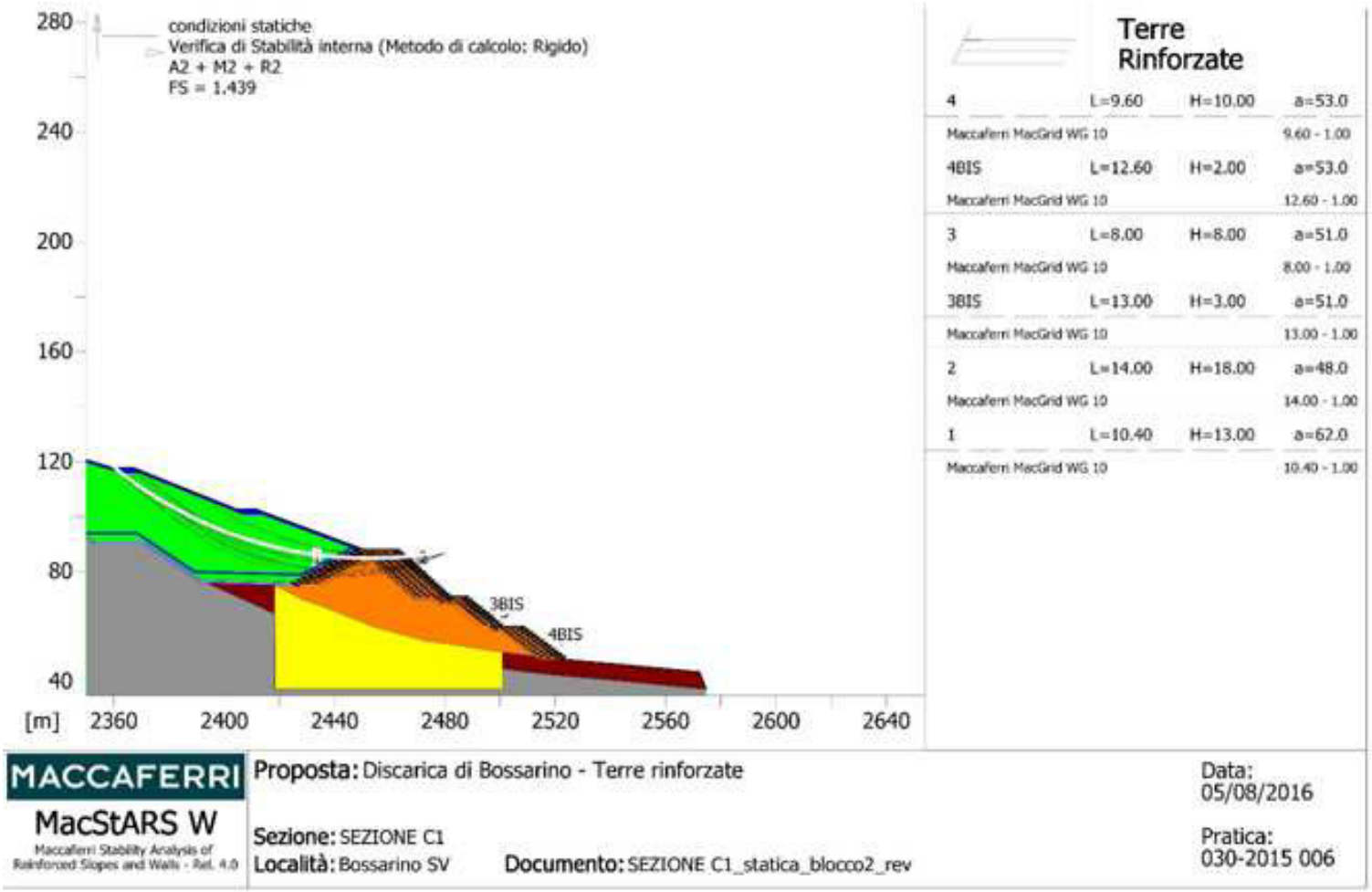


Figura 4: Sezione C1-C1 - Analisi di stabilità interna in condizioni statiche – Blocco 2 -FS=1.439

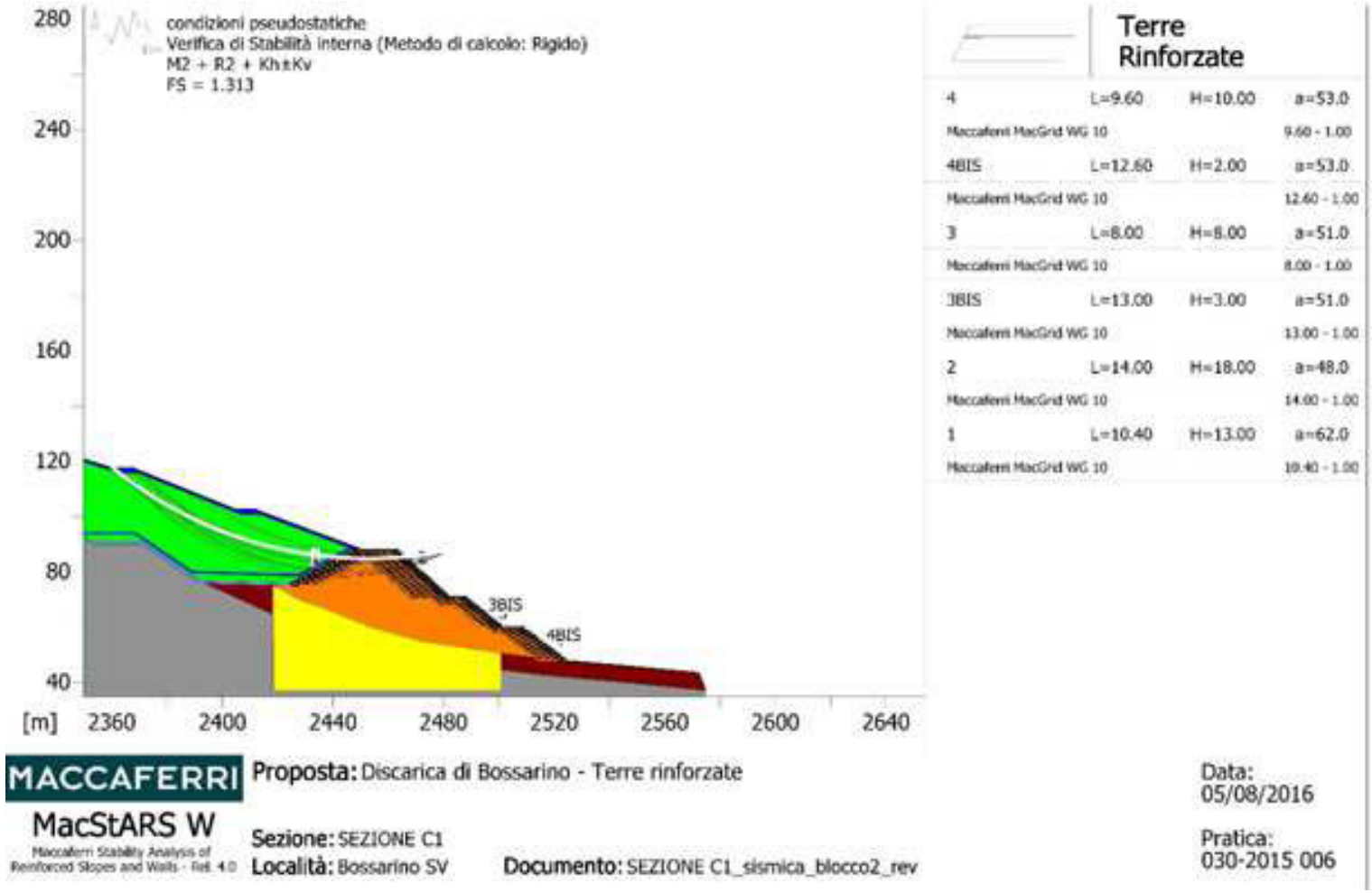


Figura 5: Sezione C1-C1 - Analisi di stabilità interna in condizioni pseudostatiche – Blocco 2 - FS=1.313

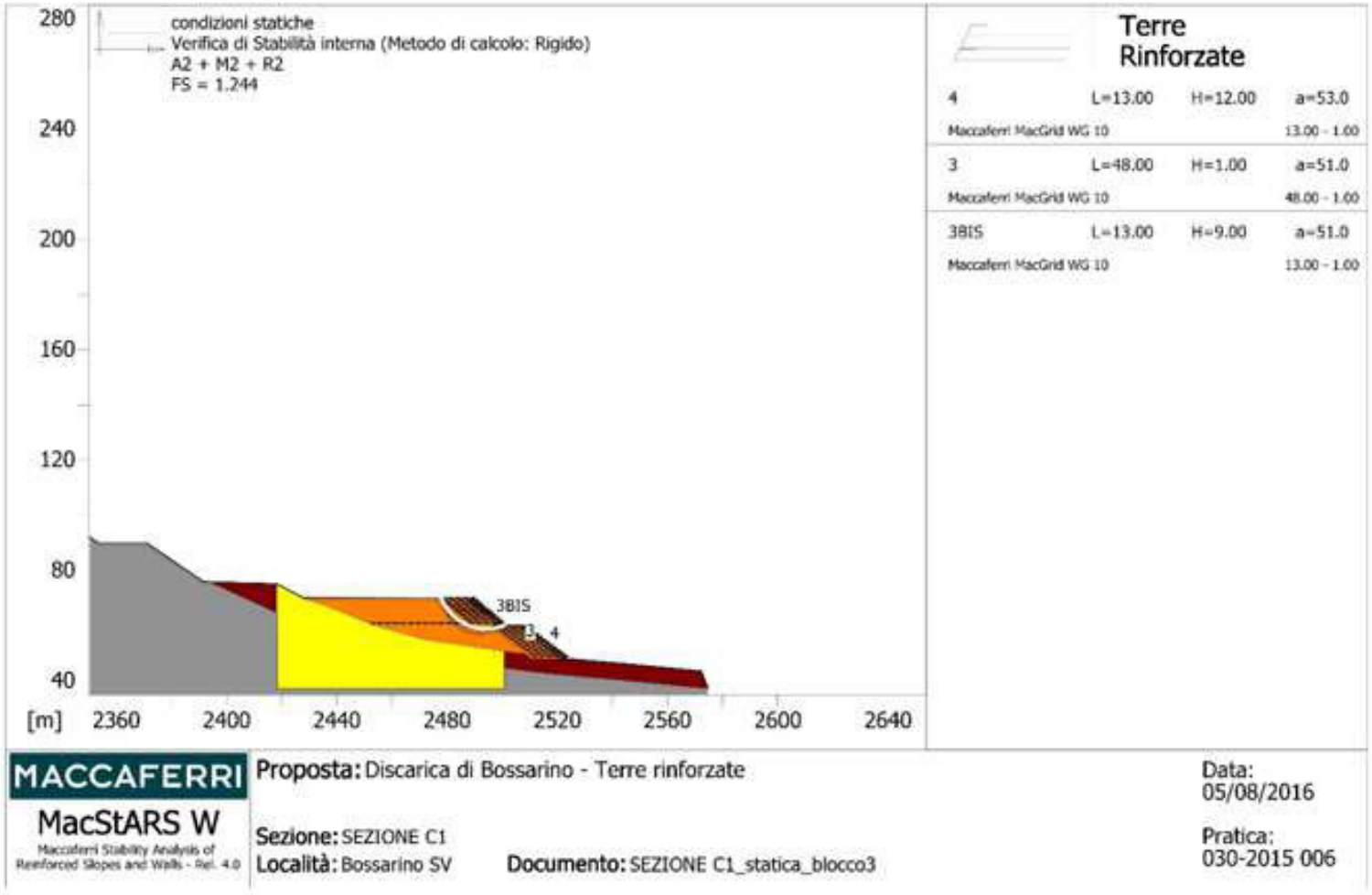


Figura 6: Sezione C1-C1 - Analisi di stabilità interna in condizioni statiche – Blocco 3 -FS=1.244

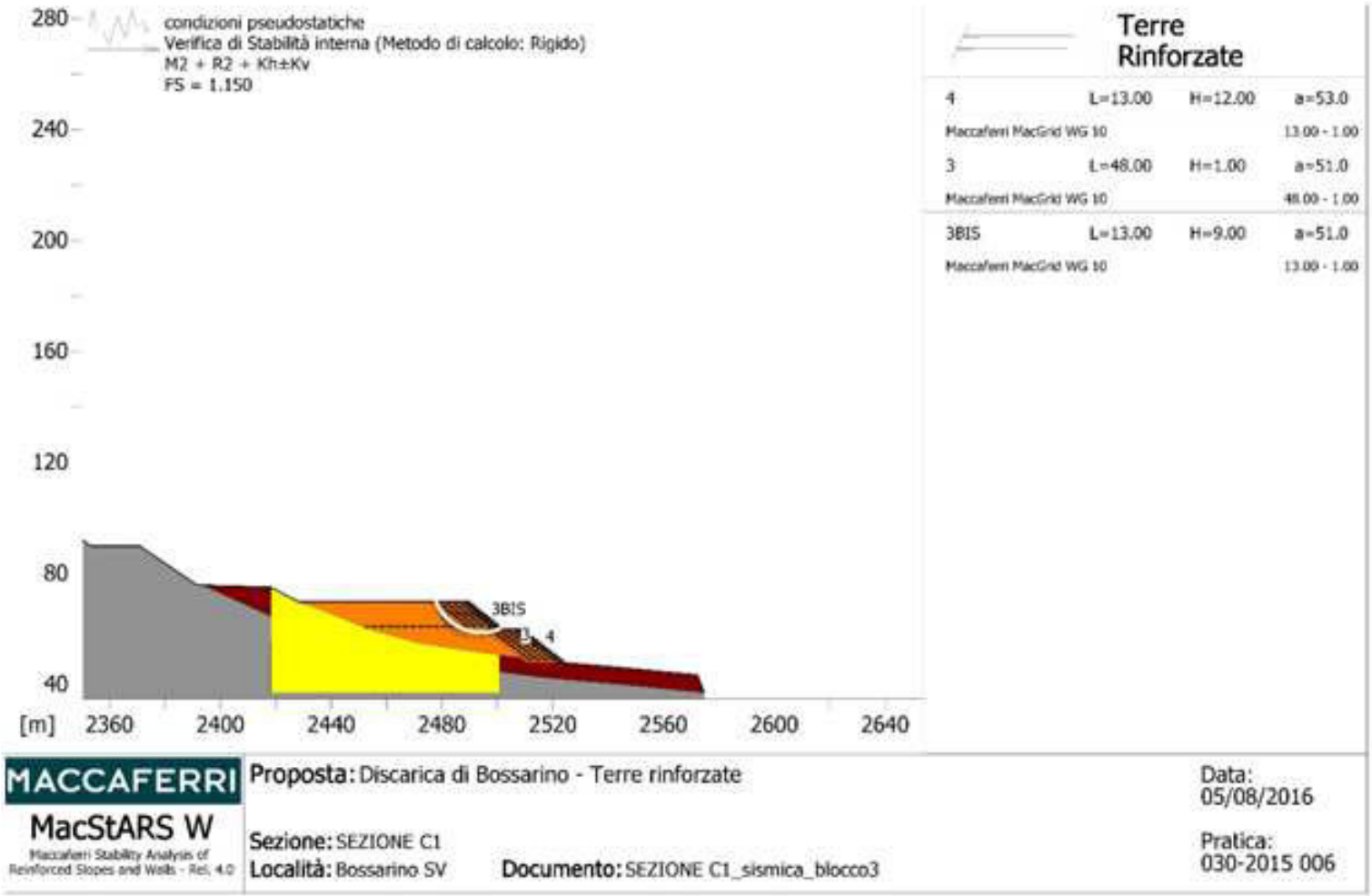


Figura 7: Sezione C1-C1 - Analisi di stabilità interna in condizioni pseudostatiche – Blocco 3 - FS=1.150

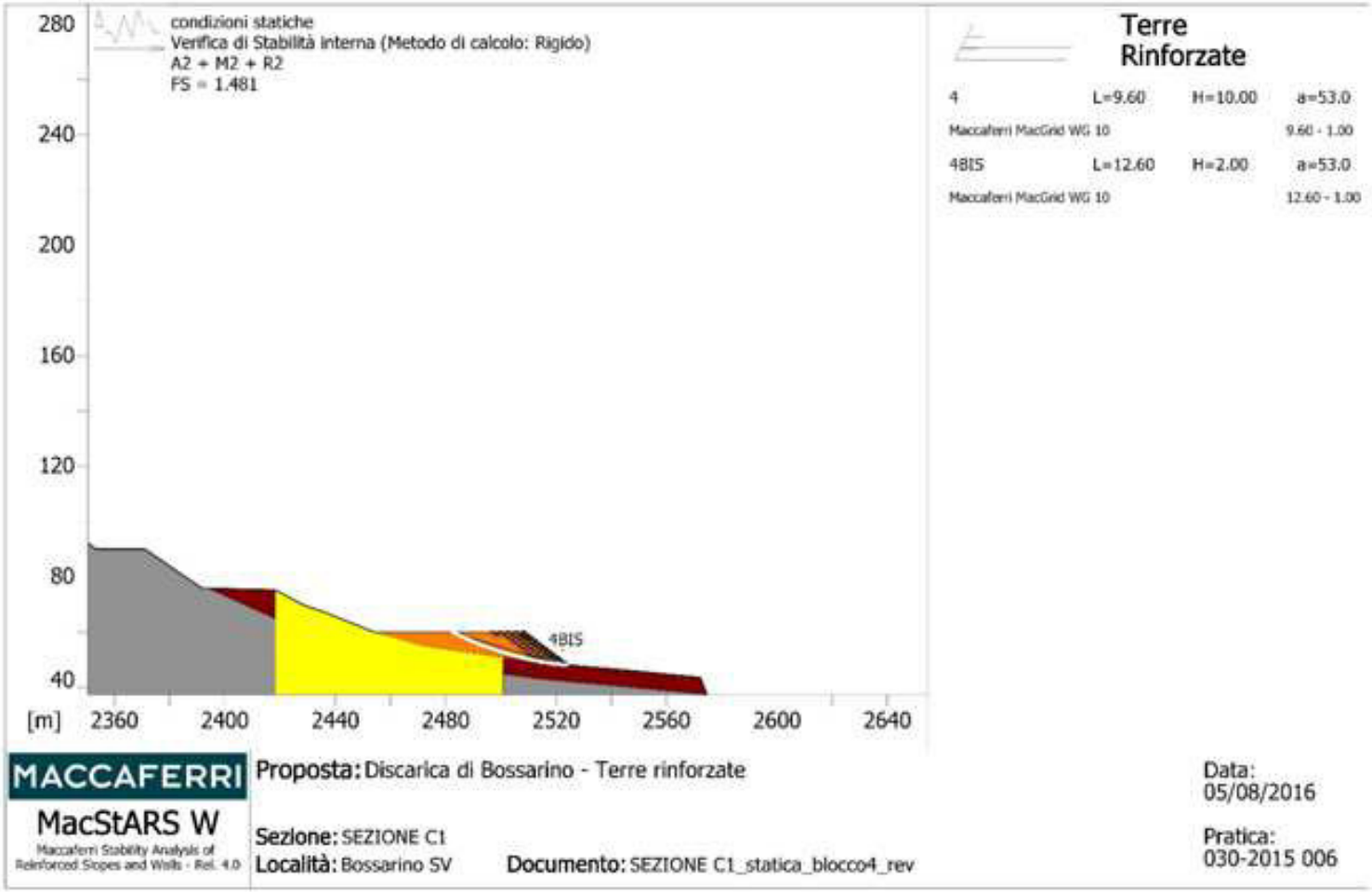


Figura 8: Sezione C1-C1 - Analisi di stabilità interna in condizioni statiche – Blocco 4 -FS=1.481

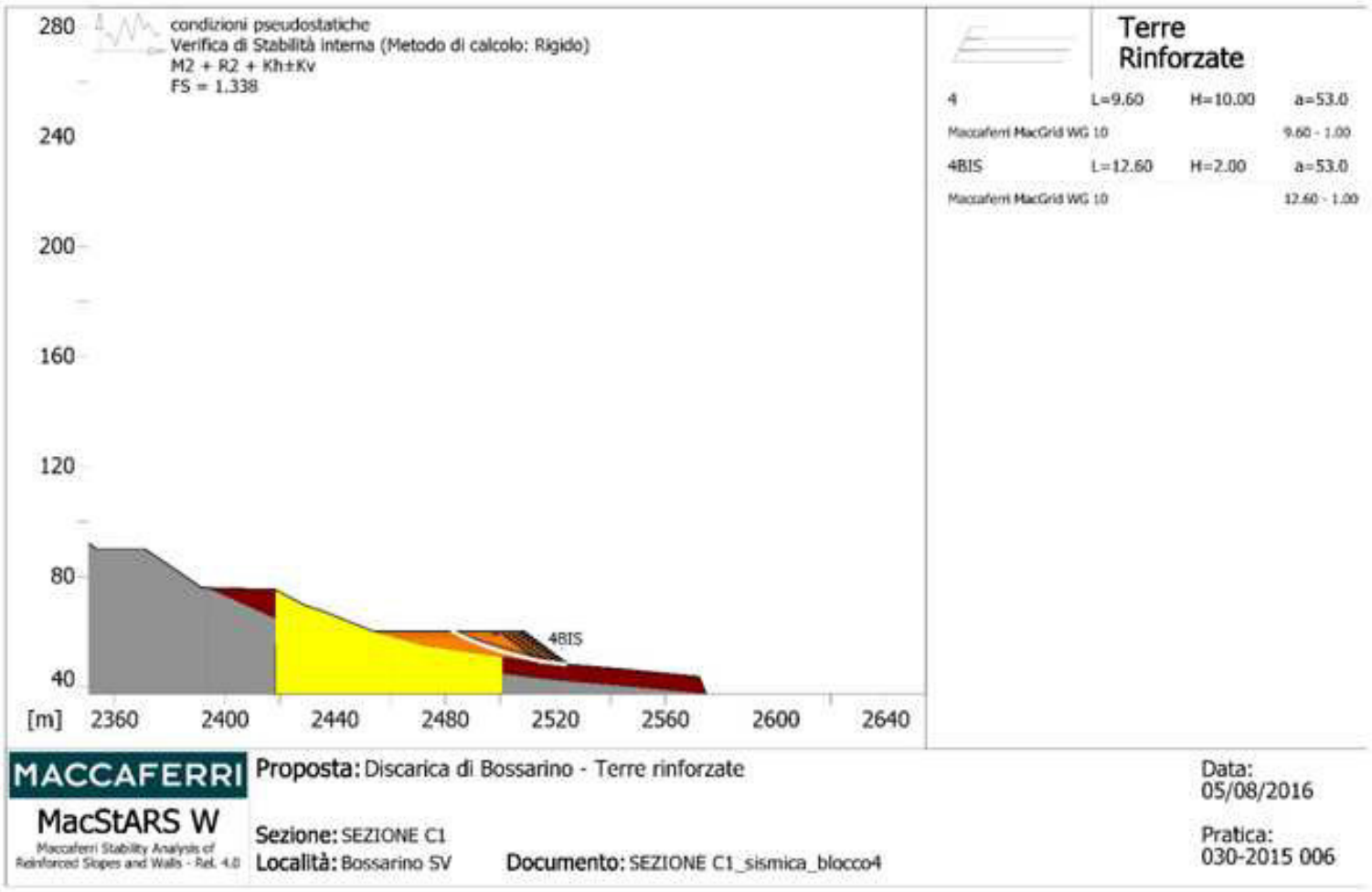


Figura 9: Sezione C1-C1 - Analisi di stabilità interna in condizioni pseudostatiche – Blocco 4 - FS=1.338

Verifiche di scorrimento

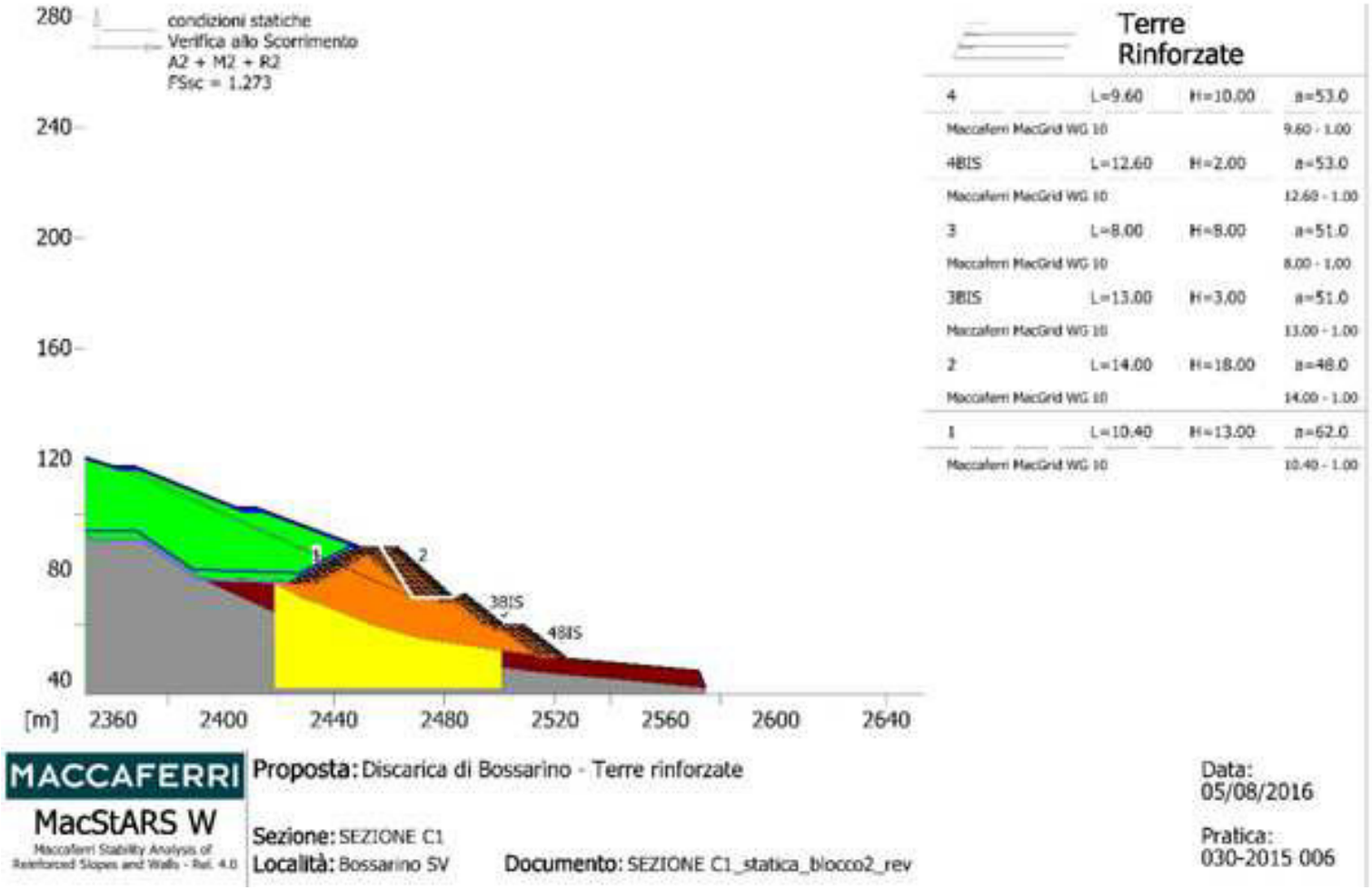


Figura 10: Sezione C1-C1 - Verifica di scorrimento in condizioni statiche – Blocco 2 -FS=1.273

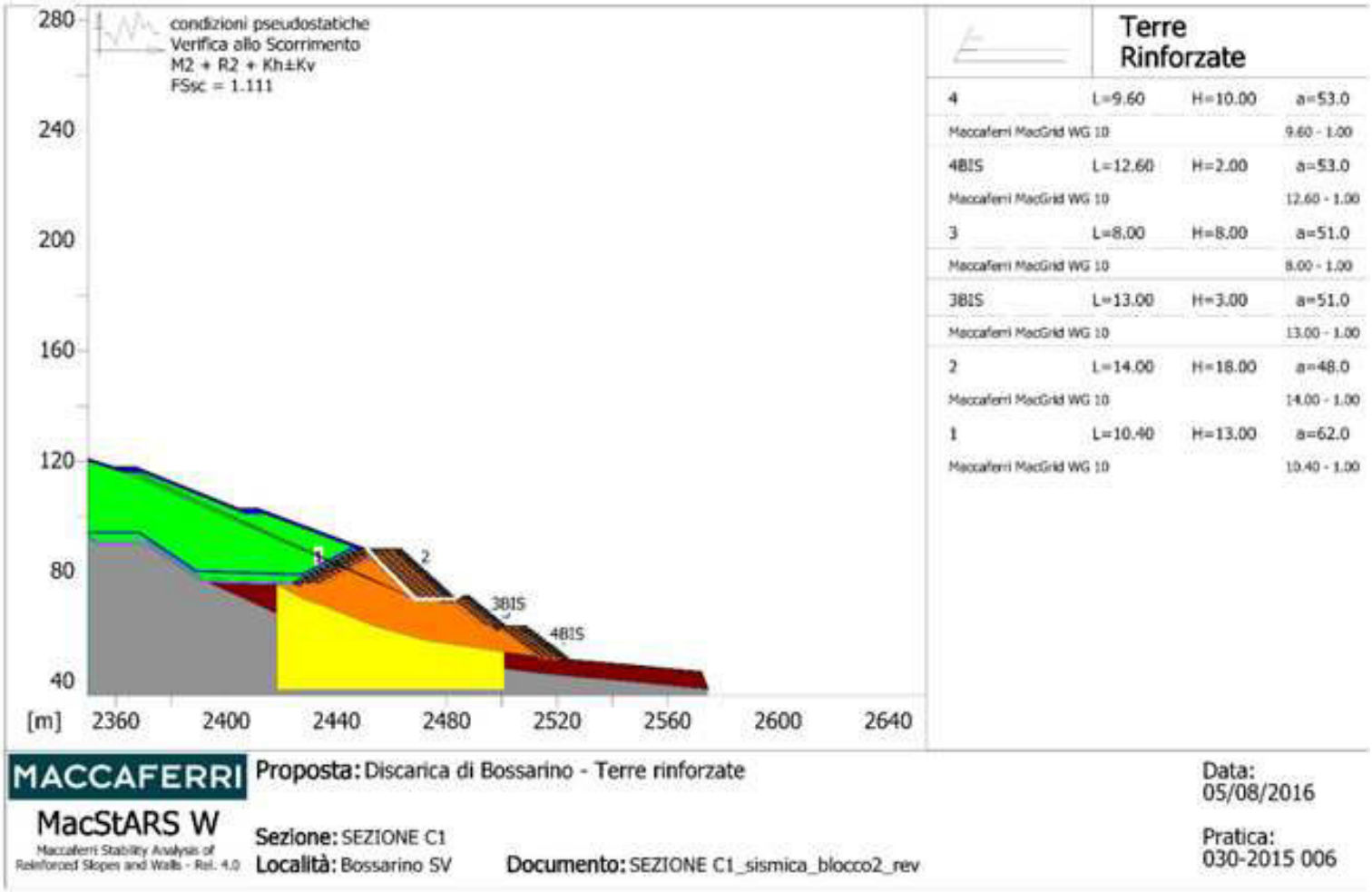


Figura 11: Sezione C1-C1 - Verifica di scorrimento in condizioni pseudostatiche – Blocco 2 - FS=1.111

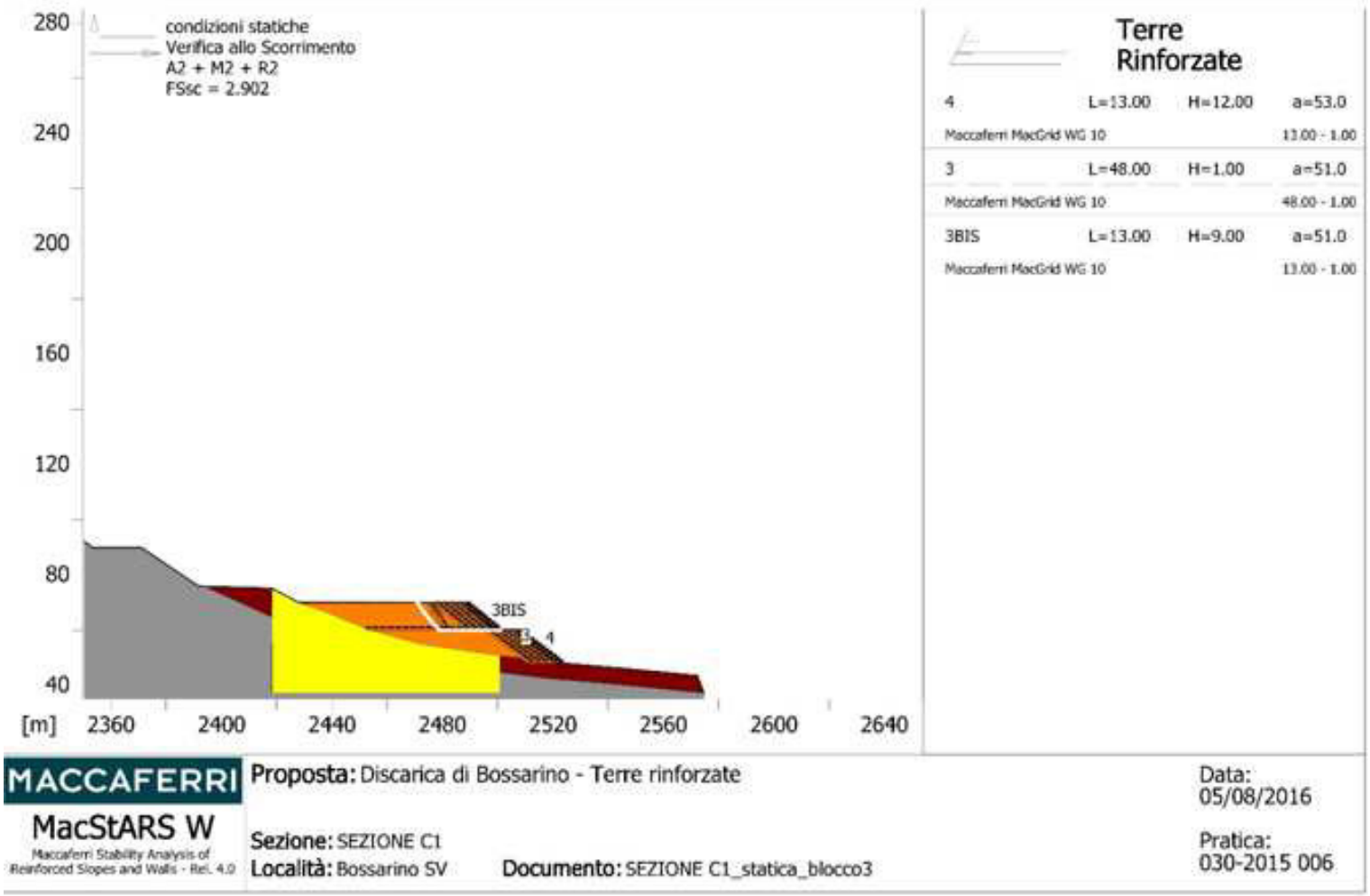


Figura 12: Sezione C1-C1 - Verifica di scorrimento in condizioni statiche – Blocco 3 -FS=2.902

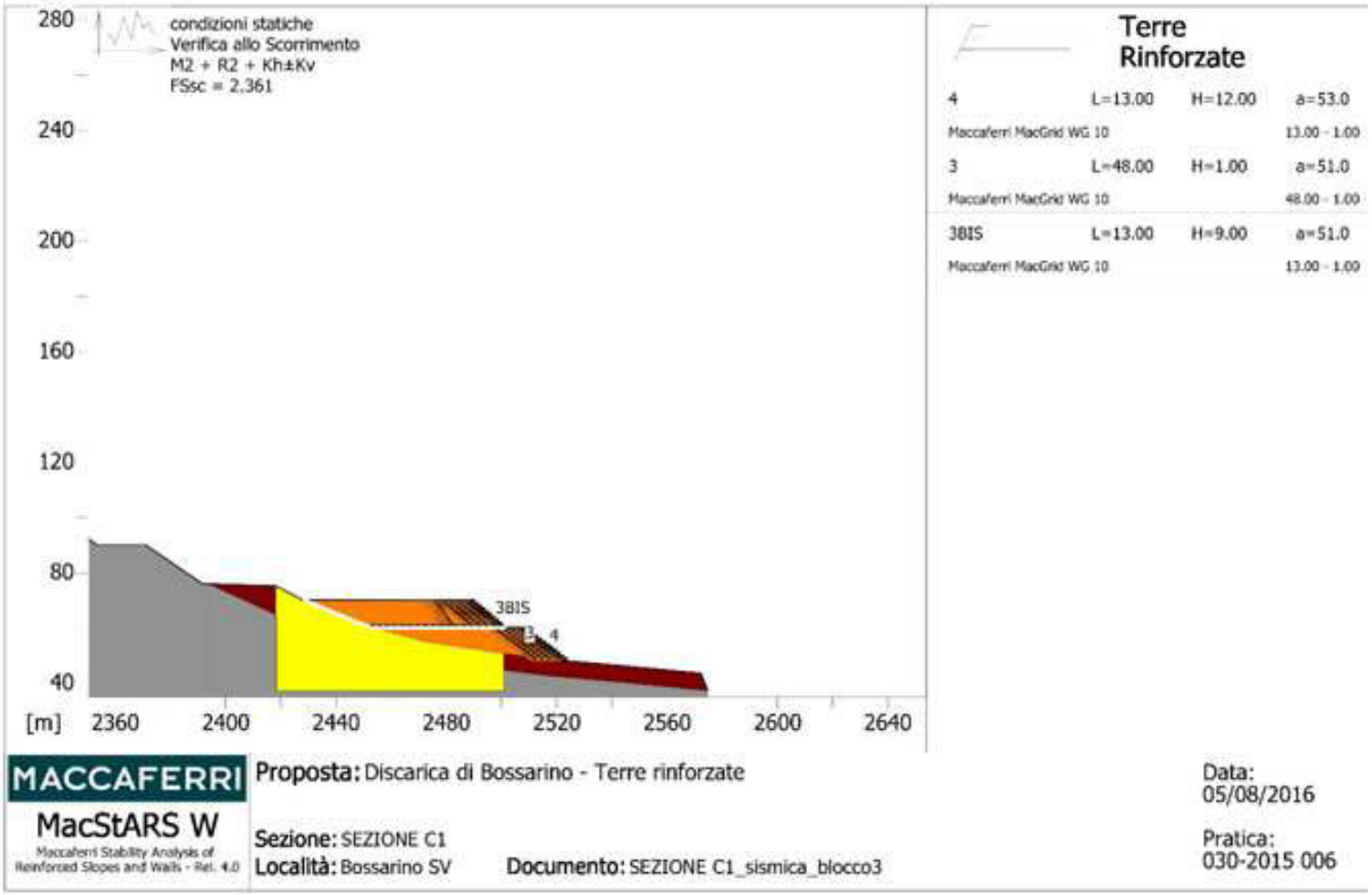


Figura 13: Sezione C1-C1 - Verifica di scorrimento in condizioni pseudostatiche – Blocco 3 - FS=2.361

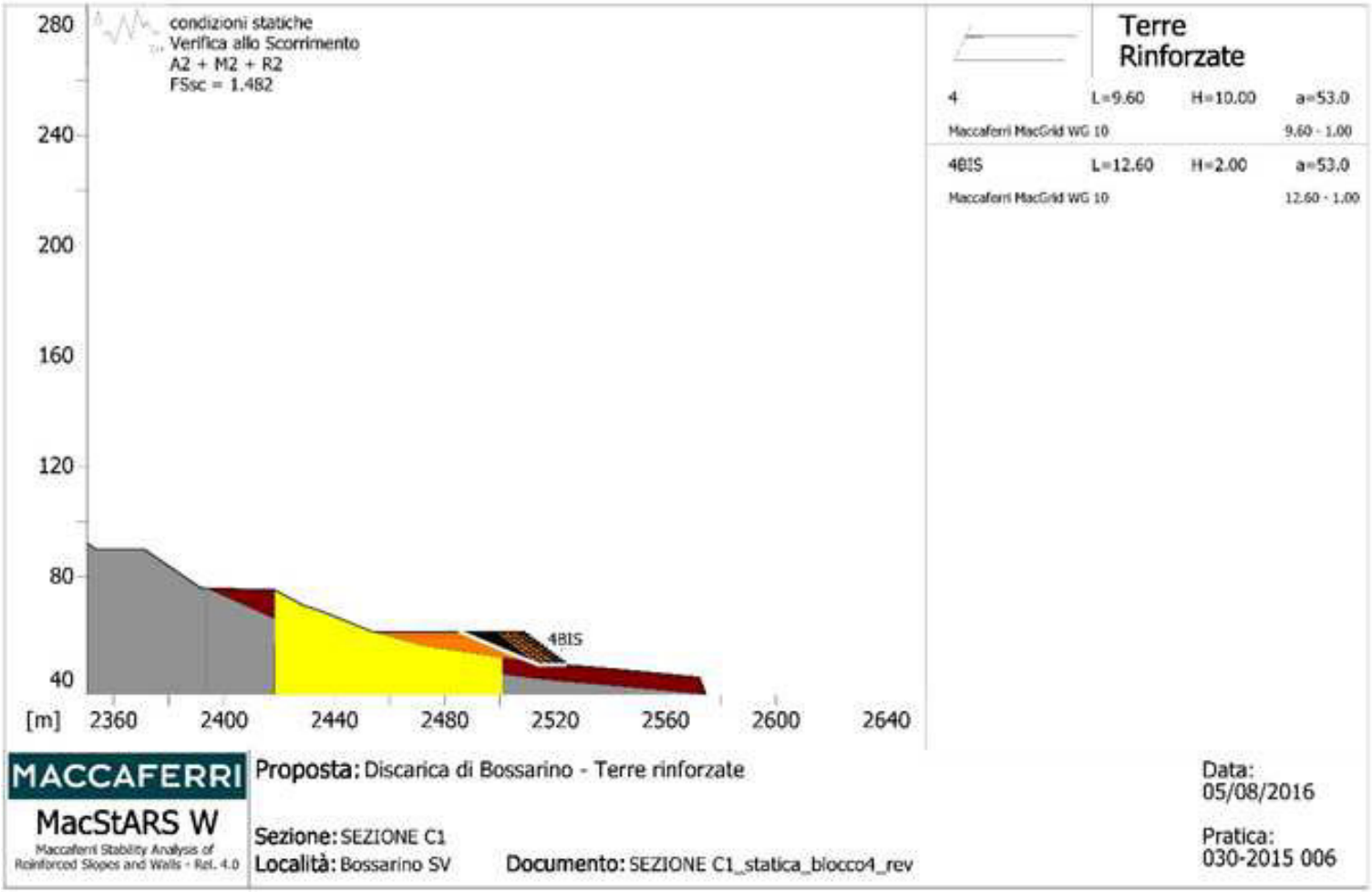


Figura 14: Sezione C1-C1 - Verifica di scorrimento in condizioni statiche – Blocco 4 -FS=1.482

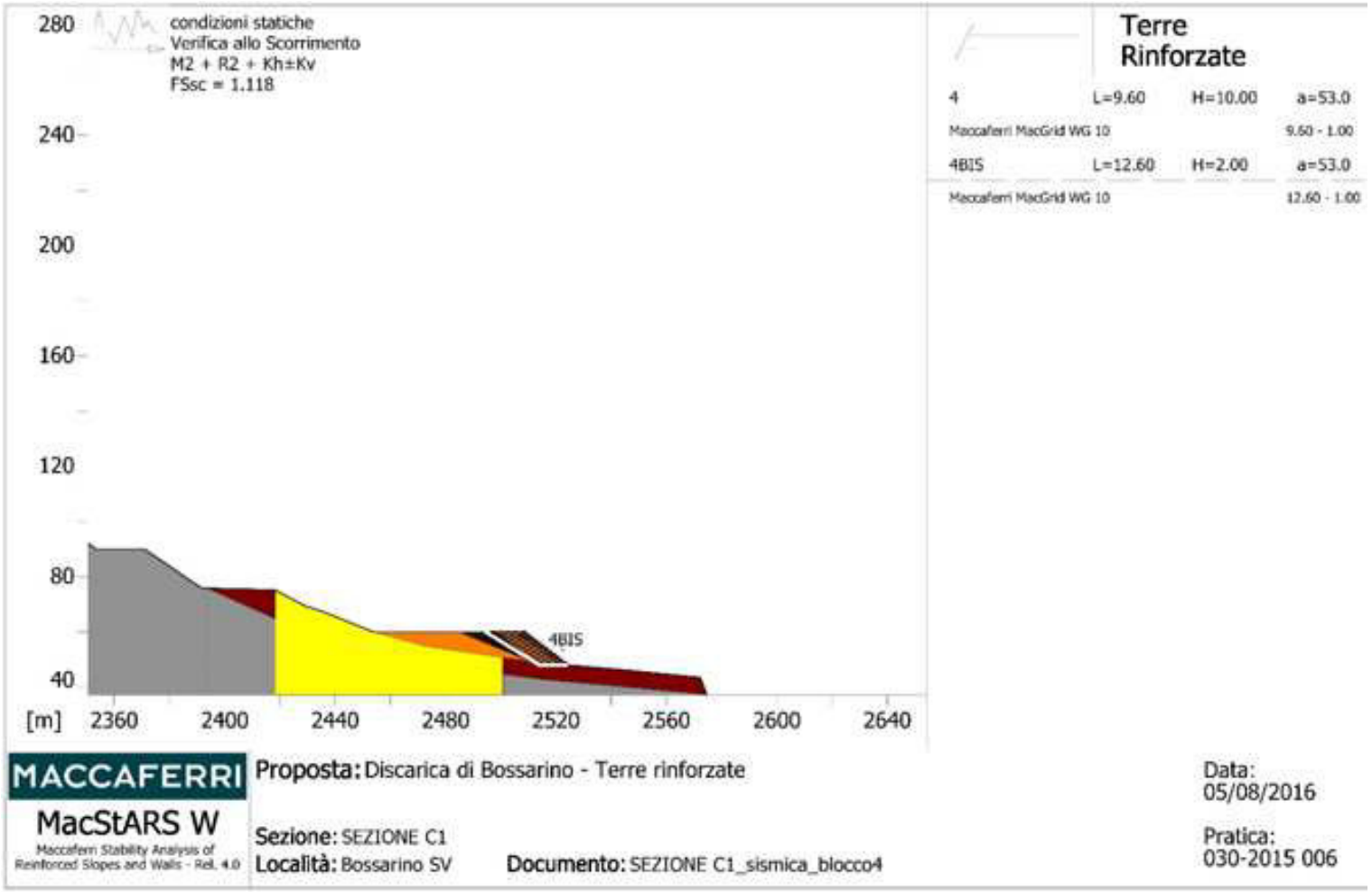
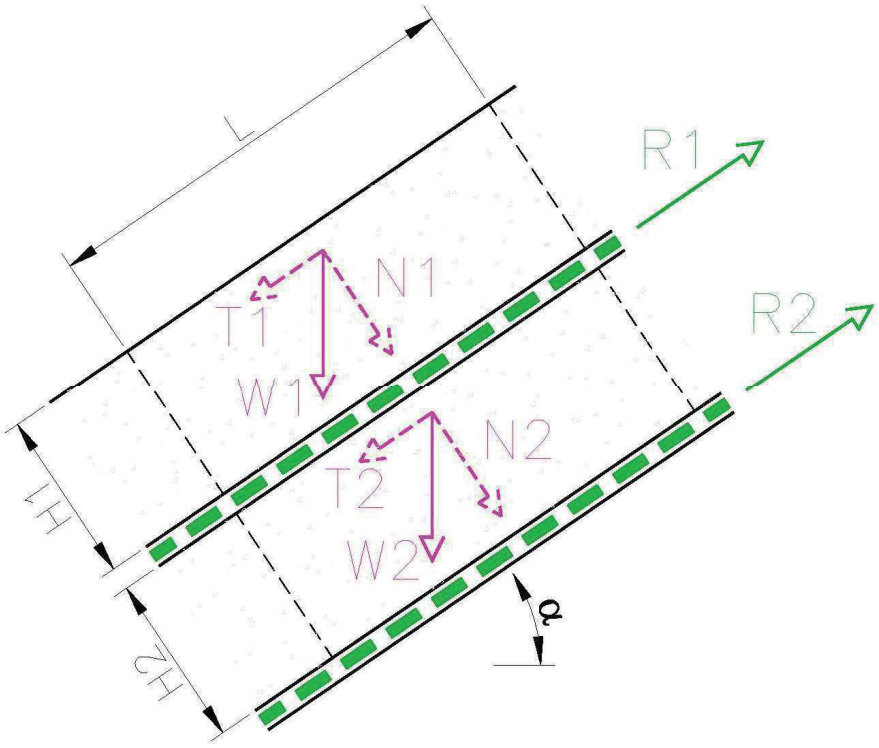


Figura 15: Sezione C1-C1 - Verifica di scorrimento in condizioni pseudostatiche – Blocco 4 - FS=1.118

Allegato F:

Verifica di stabilità della copertura definitiva

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

α	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

ϕ	39	°	angolo d'attrito interno
γ	18	kN/m3	peso specifico del vegetale

Caratteristiche del geosintetico di interfaccia

RC1	400.00	kN/m	resistenza caratteristica a trazione
δ	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

γ_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 tgϕ/γ_m	252.47	kN/m
T	225.00	kN/m
R2	1.12	

VERIFICA DI STABILITA' ALL'INTERFACCIA GEOSINTETICO-TERRENO

γ_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 tgδ/γ_m	252.47	
T	225.00	
R2	1.12	

VERIFICA DELLA RESISTENZA A TRAZIONE DEL GEOSINTETICO

γ_m	1.770		coefficiente parziale sul materiale (BS8006:1995)

$$\frac{RC}{\gamma_m} \geq T$$ condizione verificata

RC/γ_m	**225.95**	kN/m
T	225.00	kN/m

STRATO 2

DATI

Geometria del versante

α	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

ϕ	39	°	angolo d'attrito interno
γ	18	kN/m3	peso specifico del vegetale

Caratteristiche del geosintetico di interfaccia

RC2	400.00	kN/m	resistenza caratteristica a trazione
δ	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

γ_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

γ_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

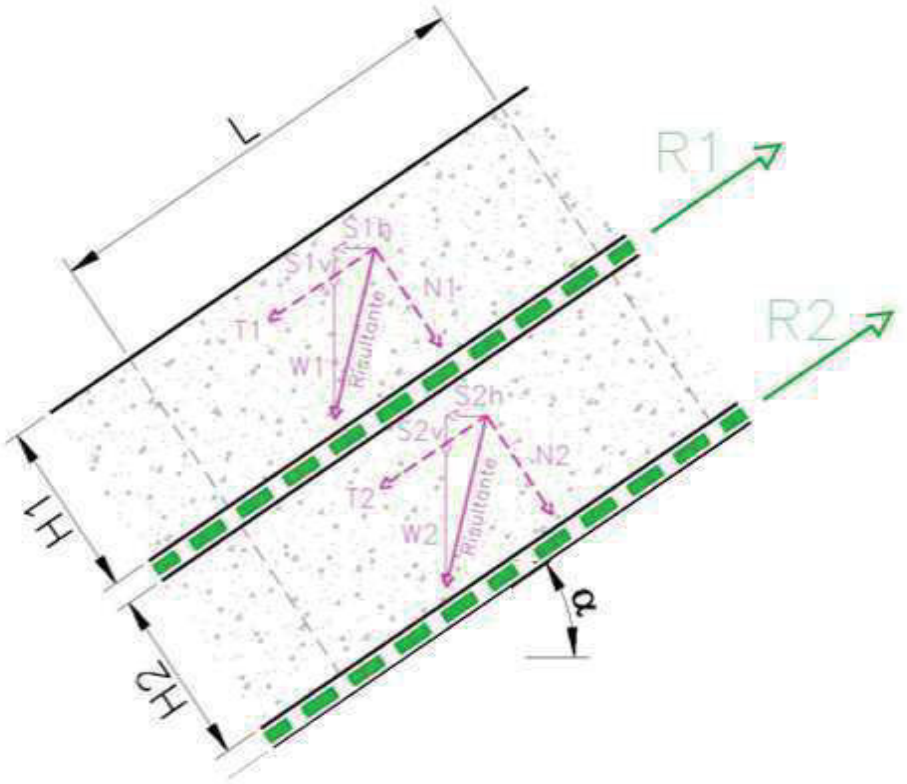
γ_m	1.770	coefficiente parziale sul materiale (BS8006:1995)

$$\frac{RC}{\gamma_m} \geq T$$

condizione verificata

RC/γ_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

α	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

ϕ	39	°	angolo d'attrito interno
γ	18	kN/m3	peso specifico del vegetale

Caratteristiche del geosintetico di interfaccia

RC1	350.00	kN/m	resistenza caratteristica a trazione
δ	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

γ_m	1.25		coeff di sicurezza parziale (NTC 14.01.08, tabella 6.2.II, colonna M2)

caso	1	2	$N \frac{tg\ \phi}{\gamma_m} \geq T$
condizione	verificata	verificata	
N tgϕ/γ_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

γ_m	1.25		coeff di sicurezza parziale (NTC 14.01.08, tabella 6.2.II, colonna M2)

caso	1	2	$N \frac{tg\ \delta}{\gamma_m} \geq T$
condizione	verificata	verificata	
N tgδ/γ_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

γ_m	1.250	coefficiente parziale sul materiale (BS8006:1995)

caso	1	2	$\frac{RC}{\gamma_m} \geq T$
condizione	verificata	verificata	
RC/γ_m	280.0	280.0	kN/m
T	238.1	232.2	kN/m

STRATO 2

DATI

Geometria del versante

α	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

ϕ	38	°	angolo d'attrito interno
γ	19	kN/m3	peso specifico del vegetale

Caratteristiche del geosintetico di interfaccia

RC2	350	kN/m	resistenza caratteristica a trazione
δ	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

γ_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 tgϕ/γ_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

γ_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 tgδ/γ_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

γ_m	1.250	coefficiente parziale sul materiale (BS8006:1995)

caso	1	2	
condizione	verificata	verificata	$\frac{RC}{\gamma_m} \geq T$
RC/γ_m	280.0	280.0	kN/m
T	233.5	227.8	kN/m