

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI-S.O. PROGETTO ADRIATICA

PROGETTAZIONE E DIREZIONE LAVORI:



U.O.: AREA OPERATIVA CENTRO SUD

PM Nodi di Roma e Falconara, Orte – Falconara e Bologna - Falconara

PROGETTO ESECUTIVO

LINEA FERROVIARIA: ADRIATICA INTERVENTO: VARIANTE DI FALCONARA

GE - GEOLOGIA E GEOTECNICA

Geotecnica

Relazione geotecnica generale

APPALTATORE	IL PROGETTISTA	SCALA
 IL DIRETTORE TECNICO Ing. Fabio Sgarella		-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I A 1 Y	0 0	E	Z Z	R B	G E 0 1 0 0	0 0 1	B

PROGETTAZIONE								AUTORIZZATO
Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Ing. G. Tanzi Data: 10/04/2017
A	Emissione	D. Cozzani	28/11/2016	F. Gaeta	29/11/2016	G. Tanzi	30/11/2016	
B	Rec. Istruttoria del 13.03.2017	V. Venier	06/04/2017	A. Nastasi	07/04/2017	G. Tanzi	10/04/2017	

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 2 di 106

INDICE

1	INTRODUZIONE	5
2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	6
2.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	6
2.2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO PER LA PROGETTAZIONE.....	6
2.3	DOCUMENTI PROGETTUALI CORRELATI	7
3	DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA	8
4	CAMPAGNA DI INDAGINE 2006.....	8
4.1	DESCRIZIONE DI DETTAGLIO DELL'INDAGINE.....	9
5	CAMPAGNA DI INDAGINE INTEGRATIVA 2008	16
6	CAMPAGNA DI INDAGINE INTEGRATIVA 2016	17
7	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO	18
7.1	PROFILO STRATIGRAFICO	18
7.2	FALDA.....	18
7.3	INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELLE INDAGINI.....	20
7.3.1	<i>Depositi alluvionali ghiaiosi (1a).....</i>	<i>20</i>
7.3.2	<i>Depositi alluvionali sabbiosi (1b).....</i>	<i>23</i>
7.3.3	<i>Depositi alluvionali limo argillosi/sabbiosi (2a) / Depositi alluvionali argillosi/argillosi limosi (2b).....</i>	<i>24</i>
7.3.4	<i>Argille limose plioceniche consistenti (3)</i>	<i>27</i>
7.4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DI PROGETTO.....	29
8	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI.....	34
9	RILEVATI	35

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 3 di 106

9.1	DESCRIZIONE E GENERALITÀ DELLE OPERE IN RILEVATO	35
9.2	ANALISI DEI CEDIMENTI	40
9.2.1	<i>Rilevato Ferroviario spalla A (Stratigrafia Tratto A).....</i>	<i>42</i>
9.2.2	<i>Rilevato Ferroviario spalla B (Stratigrafia Tratto E).....</i>	<i>45</i>
9.2.3	<i>Rilevato Ferroviario spalla B (Stratigrafia Tratto F).....</i>	<i>48</i>
9.2.4	<i>Rilevato Ferroviario prog. 0+925,00 (Stratigrafia Tratto A)</i>	<i>51</i>
9.2.5	<i>Rilevato SS16 spalla A (Stratigrafia Tratto SS16).....</i>	<i>54</i>
9.2.6	<i>Rilevato SS16 spalla B (Stratigrafia Tratto SS16).....</i>	<i>57</i>
9.2.7	<i>Rilevato Caserme spalla A (Stratigrafia Tratto Caserme 2)</i>	<i>60</i>
9.2.8	<i>Rilevato Caserme spalla B (Stratigrafia Tratto Caserme 2)</i>	<i>64</i>
9.3	ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE DEI RILEVATI	68
9.3.1	<i>Descrizione metodo di calcolo</i>	<i>68</i>
9.3.2	<i>Dati</i>	<i>68</i>
9.3.3	<i>Risultati analisi</i>	<i>71</i>
10	VERIFICA ARGINI ESINO	85
10.1	DESCRIZIONE METODO DI CALCOLO	85
10.2	DATI.....	85
10.3	RISULTATI ANALISI.....	89
11	VERIFICA ARGINI PROVVISORI	97
11.1	DESCRIZIONE OPERA.....	97
11.2	DESCRIZIONE METODO DI CALCOLO	97
11.3	CARATTERISTICHE DEI TERRENI.....	97
11.4	GEOMETRIA	98

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 4 di 106

11.5	VERIFICA DI STABILITÀ GLOBALE	99
11.6	VERIFICA SIFONAMENTO	103
12	ELENCO APPENDICI	105

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 5 di 106

1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione sono affrontati gli aspetti e le problematiche di natura geotecnica connessi alla realizzazione della variante alla linea ferroviaria di collegamento Orte – Falconara con la linea Adriatica.

L'opera in progetto si sviluppa a Nord – Ovest della città di Falconara Marittima e fino alla sua stazione; in particolare il nuovo tratto parte dalla zona dell'aeroporto posta ad Ovest per poi piegare verso Nord e riprendere la linea Adriatica; un altro tratto piega verso Sud Est per ricollegarsi alla stazione di Falconara Marittima.

Nella presente relazione pertanto si procederà alla:

- interpretazione delle indagini geognostiche eseguite durante le varie campagne di indagine;
- caratterizzazione geotecnica delle unità litostratigrafiche incontrate lungo il tracciato;
- definizione della stratigrafia e dei parametri geotecnici di progetto relativi ai vari aspetti analizzati nello studio
- valutazione dei cedimenti e analisi di stabilità dei rilevati.

Il tratto di linea interessato dal nodo di Falconara è stato oggetto di due ravvicinate e differenti campagne di indagini geotecniche, comprensive di sondaggi, prove in sito e prove di laboratorio alquanto articolate durante la fase di progettazione definitiva.

La campagna di indagine svolta in fase esecutiva, è stata volta a confermare/integrare i risultati del progetto definitivo in alcuni punti rilevanti dell'opera in appalto (essenzialmente in corrispondenza delle principali opere d'arte), nel rispetto delle normative di riferimento del progetto.

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 6 di 106

2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

2.1 Normativa di riferimento

L'interpretazione dei risultati e la redazione della presente relazione sono stati effettuati nel rispetto dei seguenti riferimenti normativi e di alcune raccomandazioni:

- Associazione Geotecnica Italiana 1977
"Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"
- Decreto Ministero Lavori Pubblici del 11.03.1988
"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 ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"
- Circolare Ministero Lavori Pubblici n.30483 del 24.09.1988
"Istruzioni riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione"

Costruzioni in zone sismiche

- Legge del 02.02.1974
"Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche"
- Decreto Ministero Lavori Pubblici del 16.01.1996
"Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche"
- Circolare Ministero Lavori Pubblici n.65/AA. GG. del 10.04.1997
"Istruzioni per l'applicazione delle *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche* di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996"
- Ordinanza n.3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri - 20.03.2003
"Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- Ordinanza n.3316 del Presidente del Consiglio dei Ministri - 10.10.2003
"Modifiche ed integrazioni all'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003"

2.2 Documenti di riferimento per la progettazione

- Manuale di progettazione (allegato 3 alla convenzione)
- Capitolato di costruzione delle opere civili – Sez V – Movimenti di terra

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 7 di 106

2.3 Documenti progettuali correlati

- LINEA FERROVIARIA: ADRIATICA - INTERVENTO: VARIANTE DI FALCONARA - GEOLOGIA E GEOTECNICA - Geologia - *Relazione geologica - Variante di Falconara* (IA1Y-00-E-ZZ-RH-GE0000-001_A)
- LINEA FERROVIARIA: ADRIATICA - INTERVENTO: VARIANTE DI FALCONARA - GEOLOGIA E GEOTECNICA - Geologia - *Planimetria ubicazione indagini geognostiche - Variante di Falconara* (IA1Y-00-E-ZZ-SG-GE0000-001_A)
- LINEA FERROVIARIA: ADRIATICA - INTERVENTO: VARIANTE DI FALCONARA - GEOLOGIA E GEOTECNICA - Geologia - *Risultati indagini in situ e di laboratorio - Variante di Falconara* (IA1Y-00-E-ZZ-RH-GE0000-002_A)
- LINEA FERROVIARIA: ADRIATICA - INTERVENTO: VARIANTE DI FALCONARA - GEOLOGIA E GEOTECNICA - Geotecnica - *Profilo geotecnico linea "Adriatica" - Tav.1* (IA1Y-00-E-ZZ-F6-GE0100-001_A)
- LINEA FERROVIARIA: ADRIATICA - INTERVENTO: VARIANTE DI FALCONARA - GEOLOGIA E GEOTECNICA - Geotecnica - *Profilo geotecnico linea "Adriatica" - Tav.2* (IA1Y-00-E-ZZ-F6-GE0100-002_A)
- LINEA FERROVIARIA: ADRIATICA - INTERVENTO: VARIANTE DI FALCONARA - GEOLOGIA E GEOTECNICA - Geotecnica - *Profilo geotecnico linea "Adriatica" - Tav.3* (IA1Y-00-E-ZZ-F6-GE0100-003_A)
- LINEA FERROVIARIA: ADRIATICA - INTERVENTO: VARIANTE DI FALCONARA - GEOLOGIA E GEOTECNICA - Geotecnica - *Profilo geotecnico raccordo linea "Romana"* (IA1Y-00-E-ZZ-F6-GE0100-004_A)
- LINEA FERROVIARIA: ADRIATICA - INTERVENTO: VARIANTE DI FALCONARA - GEOLOGIA E GEOTECNICA - Geotecnica - *Profilo geotecnico "S.S.16"* (IA1Y-00-E-ZZ-F6-GE0100-005_A)
- LINEA FERROVIARIA: ADRIATICA - INTERVENTO: VARIANTE DI FALCONARA - GEOLOGIA E GEOTECNICA - Geotecnica - *Profilo geotecnico "Via Nazionale"* (IA1Y-00-E-ZZ-F6-GE0100-006_A)
- LINEA FERROVIARIA: ADRIATICA - INTERVENTO: VARIANTE DI FALCONARA - GEOLOGIA E GEOTECNICA - Geotecnica - *Profilo geotecnico "Via delle Caserme"* (IA1Y-00-E-ZZ-F6-GE0100-007_A)
- LINEA FERROVIARIA: ADRIATICA - INTERVENTO: VARIANTE DI FALCONARA - IDROLOGIA E IDRAULICA - *Relazione idraulica* (IA1Y-00-E-ZZ-RI-ID0000-002_A)
- LINEA FERROVIARIA: ADRIATICA - INTERVENTO: VARIANTE DI FALCONARA - IDROLOGIA E IDRAULICA - Fiume Esino - *Relazione tecnica* (IA1Y-00-E-ZZ-RI-ID0000-003_A)

APPALTATORE  RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 8 di 106

3 DESCRIZIONE GENERALE DELL'OPERA

L'opera in progetto riguarda la realizzazione della variante alla linea ferroviaria Orte – Falconara con la linea Adriatica.

Le problematiche geotecniche affrontate sono relative principalmente alle zone in cui verranno realizzate le opere d'arte maggiori ed in particolare:

- viadotto di continuità per l'asse stradale per intersezione con SS16 Adriatica;
- viadotto sul fiume Esino;
- sottovia e viadotto per l'intersezione con via delle Caserme;
- sottovia per l'intersezione con via Nazionale.

4 CAMPAGNA DI INDAGINE 2006

Il tratto di linea interessato dalla progettazione del nodo di Falconara è stato oggetto di indagini geotecniche comprendenti sondaggi, prove in sito e prove di laboratorio. Il quadro generale delle indagini, ad oggi disponibili, permette di delineare, con la dovuta completezza, la caratterizzazione stratigrafica e geotecnica del sottosuolo lungo l'intero sviluppo longitudinale dell'opera in oggetto.

Le indagini sono state condotte in due fasi temporali distinte ed in particolare è stata effettuata una prima campagna nel periodo marzo-luglio 2006 a cui è seguita una seconda campagna integrativa nell'ottobre 2006 al fine di approfondire relativamente alla zona sul fiume Esino le seguenti problematiche:

- approfondimento delle indagini ad almeno 50 m (rispetto ai 40 m della campagna precedente) al fine di coprire le esigenze progettuali relative alle fondazioni del viadotto di scavalco del fiume (pali di lunghezza rilevante);
- verifica in sito della permeabilità delle unità geotecniche entro i 12-15 m di profondità (terreni ghiaioso-sabbiosi) al fine di coprire le esigenze progettuali relative all'esecuzione dei plinti di fondazione.

In dettaglio le indagini condotte sono consistite in:

Campagna marzo-luglio 2006

- n. 22 sondaggi a carotaggio continuo di lunghezza variabile da 10.0 a 40.0 m;
- installazione di n. 8 piezometri nei fori di sondaggio eseguiti;
- esecuzione di n. 9 prove pressiometriche tipo Menard;
- esecuzione di n. 13 prove penetrometriche statiche (CPT) spinte fino a profondità di 14.0 m dal p.c.;
- esecuzione di n. 8 prove penetrometriche dinamiche (DPSH) spinte fino a profondità di 11.10 m dal p.c.;
- esecuzione di n. 5 pozzetti esplorativi all'interno dei quali sono state realizzate n. 5 prove di carico su piastra;
- esecuzione di n. 7 prospezioni sismiche in foro Down-Hole;
- esecuzione di sismica a rifrazione: n. 10 basi da 120 metri lineari l'una.

Campagna integrativa ottobre 2006

- n. 3 sondaggi (SB7bis, SB8bis, SB11bis) a carotaggio continuo di lunghezza variabile da 18.0 a 50.0 m;

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 9 di 106

- esecuzione di n. 12 prove di permeabilità Lefranc a carico costante e a carico variabile.

La campagna di indagine in sito e di laboratorio assieme allo studio geologico, ha permesso di definire in modo esauriente:

- il profilo stratigrafico lungo tutta l'opera ed in adiacenza ad essa;
- i parametri geotecnici di resistenza al taglio, di deformabilità e di permeabilità dei vari strati di terreno interessati dall'opera.

L'indagine è stata programmata ed eseguita sulla base di considerazioni relative al tipo di opera da realizzare ed al grado di conoscenza stratigrafico-geotecnica che man mano è stata acquisita nel corso dell'esecuzione dell'indagine stessa.

I risultati delle indagini eseguite sono tali per cui ogni parametro rilevato o correlato presenta margini di variazione statisticamente modesti e comunque non influenti per la progettazione.

La qualità dell'indagine eseguita, sia di campagna sia di laboratorio, è da considerarsi elevata per le ragioni sotto elencate:

- le operazioni di campagna sono state eseguite sulla base di specifiche tecniche dettagliate e supervisionate da personale specializzato; la perforazione di tutti i sondaggi è stata sempre eseguita con recupero totale del materiale, in modo da disporre delle informazioni stratigrafiche lungo l'intera verticale esplorata;
- i campioni indisturbati sono stati tutti prelevati con campionatori del tipo Shelby a parete sottile;
- nei materiali coesivi sono state inoltre eseguite prove di resistenza speditive con Pocket Penetrometer che, insieme all'esame visivo, permettono di individuare sia eventuali zone di disturbo indotto dal campionamento sia le parti di più elevata qualità nell'ambito dei campioni analizzati in laboratorio;
- durante l'avanzamento delle perforazioni all'interno di depositi incoerenti sono state eseguite prove SPT in foro, in media ogni 3.0 m.

4.1 Descrizione di dettaglio dell'indagine

Sondaggi

Le indagini in sito sono state eseguite dall'impresa SONDEDILE s.r.l., quelle di laboratorio dal laboratorio geotecnico SOGEA s.r.l.

I sondaggi eseguiti nella campagna marzo-luglio 2006 sono riportati nelle tabelle 4.1.a e 4.1.b (la tabella 4.1.b fa riferimento ai sondaggi ricadenti nel tratto relativo alla bretella di raccordo Orte-Falconara), mentre nella tabella 4.1.c sono riportati i sondaggi relativi alla campagna integrativa (ottobre 2006).

Si tratta di sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati. Laddove richiesto sono state installate strumentazioni di controllo e di prova (piezometro a tubo aperto e tubo PVC per prova Down-Hole).

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 10 di 106

Sondaggio	Progressiva (km)	Profondità da p.c. (m)	Campioni indist. (n.)	Prove S.P.T. (n.)	Piezometro TA (m)	Prova Down_Hole (m)	Prove press. (Menard) (n.)	Prove Lefranc (n.)
SB1	0+553.85	10.00	-	2	-	-	-	-
SB2	0+684.24	30.00	2	3	-	25.00	-	-
SB3	0+749.09	31.00	1	4	-	30.00	1	-
SB4	0+954.28	10.00	1	2	-	-	-	-
SB5	1+117.15	35.00	-	6	3÷20	-	1	-
SB6	1+333.76	40.00	2	6	-	40.00	2	-
SB7	1+658.38	40.00	3	6	3÷20	-	-	-
SB8	1+881.44	40.00	2	6	-	40.00	2	-
SB9	2+137.45	40.00	2	6	3÷40	-	2	-
SB10	2+374.87	40.00	3	6	-	-	1	-
SB11	2+466.15	20.00	1	3	3÷20	-	-	-
SB12	2+547.57	10.00	1	2	-	-	-	-
SB13	2+811.38	20.00	1	3	3÷20	-	-	-
SB14	2+768.78	20.00	1	3	-	19.00	-	-
SB15	3+348.40	20.00	1	3	-	-	-	-
SB16	3+108.83	20.00	1	3	-	-	-	-
SB20	3+718.01	20.00	1	3	-	20.00	-	-
SB21	3+803.90	20.00	1	3	3÷20	-	-	-
SB22	3+954.16	20.00	2	3	3÷20	-	-	-

Tabella 4.1.a – Sondaggi 2006 variante Falconara

Sondaggio	Progressiva (km)	Profondità da p.c. (m)	Campioni indist. (n.)	Prove S.P.T. (n.)	Piezometro TA (m)	Prova Down_Hole (m)	Prova Press. (Menard) (n.)	Prova Lefranc (n.)
SB14	0+197.54	20.00	1	3	-	19.00	-	-
SB13	0+235.00	20.00	1	3	20.00	-	-	-
SB17	0+612.72	20.00	1	3	20.00	-	-	-
SB18	0+664.91	20.00	1	3	-	19.00	-	-
SB19	0+990.00	10.00	1	2	-	-	-	-

Tabella 4.1.b – Sondaggi 2006 bretella di collegamento Orte – Falconara

Sondaggio	Progressiva (km)	Profondità da p.c. (m)	Campioni indist. (n.)	Prove S.P.T. (n.)	Piezometro TA (m)	Prova Down_Hole (m)	Prove Press. (Menard) (n.)	Prove Lefranc (n.)
SB7bis	1+720.10	50.00	-	4	-	-	-	4
SB8bis	1+933.60	24.00	-	6	-	-	-	4
SB11bis	2+507.20	18.00	-	4	-	-	-	4

Tabella 4.1.c – Sondaggi variante Falconara campagna integrativa ottobre 2006

L'ubicazione dei sondaggi è riportata nel profilo stratigrafico longitudinale.

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 11 di 106

Prove penetrometriche statiche CPT

In prossimità dell'opera in oggetto sono state eseguite tredici prove penetrometriche statiche riportate in tabella 4.1.d.

Prova CPT	Progressiva (km)	Profondità da p.c. (m)
PB5	1+210.01	14.00
PB6	1+426.23	9.00
PB8	2+034.68	5.20
PB9	2+255.50	10.40
PB10	2+389.73	8.20
PB11	2+451.41	8.00
PB12	2+614.51	10.60
PB14	2+978.92	10.00
PB16	0+485.20	8.00
PB17	0+448.50	5.00
PB18	0+792.65	8.00
PB19	1+232.00	11.00
PB21	0+991.00	11.60

Tabella 4.1.d – Prove penetrometriche statiche (CPT)

L'ubicazione delle prove penetrometriche statiche è riportata nel profilo stratigrafico longitudinale.

Prove penetrometriche dinamiche DPSH

In prossimità dell'opera in oggetto sono state eseguite otto prove penetrometriche dinamiche riportate in tabella 4.1.e.

Prova DPSH	Progressiva (km)	Profondità da p.c. (m)
PB1	0+531.30	10.50
PB2	0+574.30	11.10
PB3	0+876.75	10.50
PB4	0+961.50	10.50
PB7	1+678.38	10.50
PB15	3+340.30	10.50
PB20	3+948.40	10.50
PB13	0+264.50 (*)	11.10

Tabella 4.1.e – Prove penetrometriche dinamiche (DPSH)

(*) prova ubicata in corrispondenza della bretella di raccordo Orte - Falconara

L'ubicazione delle prove penetrometriche dinamiche è riportata nel profilo stratigrafico longitudinale.

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 12 di 106

Prove pressiometriche (tipo Menard)

Nella campagna di indagine svolta nel periodo marzo-luglio 2006 sono state eseguite nove prove pressiometriche di tipo Menard. Nella seguente tabella 4.1.f si riassumono i risultati ottenuti ed in particolare si riporta il valore del modulo pressiometrico, i valori del modulo di Young e dei parametri di resistenza del terreno stimati sulla base delle correlazioni note in letteratura.

Sondaggio /Prova		SB3	SB5	SB6/1	SB6/2	SB8/1	SB8/2	SB9/1	SB9/2	SB10
Profondità	(m)	8.70	6.70	24.00-	27.10	26.50	39.70	28.30	31.20	37.90
Unità		1a	2a	2b	2b	2b	2a	2b	2b	3
Pressione limite	(MPa)	3.30	1.80	1.30	1.80	1.40	2.50	3.00	3.00	3.00
Pressione limite netta	(MPa)	2.55	1.68	0.96	1.45	0.93	2.03	2.67	2.48	2.95
Modulo press.	(MPa)	51.20	19.79	10.61	25.67	9.52	28.52	34.92	25.40	19.27
Modulo di Young	(MPa)	102.41	29.53	21.23	25.67	14.20	42.56	52.11	37.91	38.54
Coesione drenata	(kPa)	-	168	96	145	93	203	267	248	295
Angolo di attrito efficace	(°)	37	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabella 4.1.f – Prove pressiometriche (Menard)

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 13 di 106

Prove di permeabilità Lefranc

Nella campagna di indagine integrativa (ottobre 2006) sono state eseguite dodici prove di permeabilità Lefranc a carico costante e a carico variabile. Nella seguente tabella 4.1.g si riassumono i risultati ottenuti.

SONDAGGIO	SB7bis	SB7bis	SB7bis	SB7bis
PROVA	1	2	3	4
PROFONDITA' PROVA [m]	4.00	7.00	10.50	13.00
PERMEABILITA' kh [m/sec]	5.03E-02	2.19E-04	6.65E-05	9.11E-05
TIPO TERRENO	1a	1a	1a	1a

SONDAGGIO	SB8bis	SB8bis	SB8bis	SB8bis
PROVA	1	2	3	4
PROFONDITA' PROVA [m]	2.50	4.00	6.00	9.00
PERMEABILITA' kh [m/sec]	2.73E-06	4.01E-06	6.16E-06	9.58E-05
TIPO TERRENO	1a	1a	1a	1a

SONDAGGIO	SB11bis	SB11bis	SB11bis	SB11bis
PROVA	1	2	3	4
PROFONDITA' PROVA [m]	2.50	4.00	6.00	9.00
PERMEABILITA' kh [m/sec]	4.03E-06	4.46E-06	8.79E-06	2.88E-05
TIPO TERRENO	2a	2a	2a	1a

Tabella 4.1.g – Prove di permeabilità (Lefranc)

Prove di carico su piastra

In prossimità dell'opera in oggetto sono stati eseguiti cinque pozzetti esplorativi del terreno, spinti fino ad una profondità massima di 1.50 m dal p.c.; all'interno di tali pozzetti sono state eseguite cinque prove di carico su piastra. Nella seguente tabella 4.1.h si riassumono i risultati ottenuti ed in particolare si riportano i valori del modulo di deformazione corrispondenti al primo ciclo di carico (M_d) e al secondo ciclo di carico (M'_d).

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 14 di 106

Prova	Progressiva (km)	Profondità da p.c. (m)	Litologia	Md (MPa)	M'd (MPa)	Md/M'd
PLT-B1	0+413.00	1.50	ghiaia in matrice limoso sabbiosa	71.4	214.3	0.33
PLT-B2	0+618.00	1.50	ghiaia in matrice limoso sabbiosa	33.0	115.3	0.29
PLT-B4	2+459.00	1.50	limo deb. argilloso	23.4	31.9	0.73
PLT-B6	3+304.50	1.50	argilla deb. limosa	8.2	28.3	0.29
PLT-B5	0+440.00 (*)	1.50	limo argilloso con livelli di sabbia fine	14.9	37.0	0.40

Tabella 4.1.h – Prove di carico su piastra

(*) prova ubicata in corrispondenza della bretella di raccordo Orte - Falconara

L'ubicazione dei pozzetti esplorativi con prove di carico su piastra è riportata nel profilo stratigrafico longitudinale.

Indagini geofisiche

Le indagini geofisiche sono consistite nell'esecuzione di dieci basi sismiche a rifrazione con onde P ed SH, elaborate con tecnica tomografica, per un totale di 1200 metri lineari e nell'esecuzione di sette prove Down – Hole con misure ogni metro (vedasi tabella 4.1.i).

Sondaggio	Progressiva (km)	Profondità (m)	Misure sismiche (n.)
SB2	0+684.24	25.00	26
SB3	0+749.09	30.00	31
SB6	0+117.15	40.00	41
SB8	0+881.44	40.00	41
SB14	2+768.78	19.00	20
SB20	3+718.01	20.00	21
SB18	0+664.91 (*)	19.00	20

Tabella 4.1.i – Prove Down - Hole

(*) prova ubicata in corrispondenza della bretella di raccordo Orte - Falconara

APPALTATORE  RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 15 di 106

Prove di laboratorio

Le prove di laboratorio eseguite su campioni indisturbati prelevati all'interno dei livelli argilloso-limosi nel corso dei sondaggi hanno consentito di ottenere informazioni circa:

- natura e caratteristiche fisiche dei terreni;
- parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate (c' e ϕ') e non drenate (c_u).

I risultati completi delle prove di laboratorio sono riportati in Appendice A (tabelle riassuntive) e in Appendice B (figure riassuntive); nel paragrafo dedicato all'interpretazione dei risultati delle indagini sono riassunti i parametri più significativi ai fini progettuali.

Le prove di laboratorio, come già detto, sono state eseguite essenzialmente al fine della definizione di:

Natura e caratteristiche fisiche dei terreni

Dopo aver provveduto alla descrizione preliminare dei campioni, sono state eseguite in modo sistematico prove per la valutazione delle seguenti quantità:

per campioni indisturbati

- peso di volume naturale;
- peso specifico dei grani;
- contenuto naturale d'acqua;
- limiti di Atterberg;
- granulometria per setacciatura.

Parametri di resistenza al taglio non drenata e drenata

La resistenza al taglio non drenata e drenata è stata ricavata eseguendo:

- prove ad espansione laterale libera;
- prove di taglio diretto.

Parametri di deformabilità e di consolidazione

I parametri di deformabilità e consolidazione sono stati ricavati eseguendo:

- prova edometrica ad incrementi di carico.

Le indagini di laboratorio sono state eseguite dal laboratorio geotecnico SOGEA s.r.l.

L'individuazione litostratigrafica della zona in cui ricade l'opera è riscontrabile nel profilo stratigrafico longitudinale. Tale profilo è stato ricavato tenendo conto dei risultati di tutte le indagini eseguite in sito ed in laboratorio, successivamente semplificato in funzione della schematizzazione generale adottata lungo la tratta d'interesse.

APPALTATORE  RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		DIREZIONE LAVORI  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 16 di 106

5 CAMPAGNA DI INDAGINE INTEGRATIVA 2008

A seguito istruttoria RFI del Dicembre 2007, il tratto interessato dalla progettazione è stato oggetto nell'Aprile 2008 di una campagna di indagine integrativa con lo scopo principale di accertare ed approfondire la conoscenza stratigrafico-geotecnica della zona in esame ed in particolare la zona di intersezione con la SS16 Adriatica e con via Nazionale.

In dettaglio le indagini condotte sono consistite in:

- 2 sondaggi (SB2bis, SB20bis) a carotaggio continuo di lunghezza variabile rispettivamente pari a 45.0 m e 20.0 m (vedasi tabella 5.1.a);
- esecuzione di n.4 prove S.P.T. (Standard Penetration Test) in foro;
- n. 4 prove di permeabilità Lefranc.

In tabella 5.1.a sono sintetizzate le informazioni ad oggi disponibili.

Sondaggio	Progressiva	Prof. da p.c.	Campioni indist.		Prove S.P.T.			Prove di permeabilità		
			Prof. da p.c.	Unità	Prof da p.c.	N _{SPT}	Unità	Prof da p.c.	k	Unità
-	km	m	m	-	m	-	-	m	m/s	-
SB2bis	0+639.26	45.0	-	-	3.0	58	1a	-	-	-
					6.0	49	1a			
					24.0	R	2a			
SB20bis	0+880.65	20.0	9.3	1b	7.5	20	1a	4.0	2.38E-04	1a
								8.0	1.02E-04	2a
								12.0	2.71E-04	1a
								16.0	1.56E-04	2b

Tabella 5.1.a – Sondaggi integrativi 2008

Le indagini eseguite confermano la successione stratigrafica e le caratteristiche dei terreni dedotte dai risultati della campagna di indagine geognostica del 2006.

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 17 di 106

6 CAMPAGNA DI INDAGINE INTEGRATIVA 2016

Il tipo di conformazione dei depositi presenti nel sito di intervento rende assai inefficace una eventuale massiccia implementazione e integrazione dei sondaggi geognostici e soprattutto di investigazioni sismiche, in quanto il fattore preponderante della ricostruzione geologica risulta intimamente legato alla differente dispersione areale delle esondazioni del fiume Esino che in funzione della sua storia ha, nel tempo, distribuito con una più o meno accentuata forma un deposito sabbioso o un deposito limoso-argilloso.

Non a caso sulla base di tale considerazione generale era già stata impostata la campagna di indagini integrative del 2008 nella quale, di fatto, furono eseguiti solamente due sondaggi (SB2bis SB20bis) a carotaggio continuo e una serie di prove S.P.T. in foro con prove di permeabilità tipo Lefranc rispetto alle precedenti campagne del 2006.

Anche nell'approccio del progetto Esecutivo, per la redazione della campagna di indagine integrativa, si è adottata questa filosofia di approccio progettuale proponendo l'esecuzione di n.4 sondaggi integrativi.

In dettaglio le indagini condotte sono consistite in:

- N. 4 sondaggi meccanici a rotazione a carotaggio continuo con profondità comprese tra i 20 e i 45 ml.;
- N. 7 scavi meccanici della profondità di 2 ml cadauno con prelievo di 13 campioni, utili alla caratterizzazione delle terre da sbanco.

sondaggio	Prova SPT
S-PE 1	N. 3 PROVE SPT a -19.5m, -25.2m, -30.0 m (fondo foro)
S-PE 2	N. 5 PROVE SPT a -17.5m, -25.8m, -30.0 m, -35.0 m, - 45.0m (fondo foro)
S-PE 3	N. 3 PROVE SPT a -6.0m, -12.0m, -20.0 m (fondo foro)
S-PE 4	N. 3 PROVE SPT a -6.0m, -12.1m, -20.0 m (fondo foro)

Tabella 6.1.a – Sondaggi integrativi 2016

APPALTATORE  RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 18 di 106

7 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

7.1 Profilo stratigrafico

L'interpretazione della successione e dei rapporti stratigrafici è basata sull'esame di tutti i risultati delle indagini disponibili, in particolare le descrizioni dei sondaggi geotecnici.

Nel profilo stratigrafico longitudinale sono riportati i seguenti dati:

- stratigrafie dei sondaggi;
- profilo della resistenza alla punta (q_c) misurata nelle prove penetrometriche statiche (CPT);
- caratterizzazione stratigrafica ricostruita sulla base dei dati di tutte le indagini eseguite nell'ambito della zona di interesse.

La classificazione dei terreni in base all'interpretazione delle prove CPT (profilo di resistenza alla punta q_c e rapporto di attrito laterale o friction ratio FR) è stata eseguita in accordo alle carte di classificazione proposte da Robertson & Campanella (1984) e da Robertson et al. (1986). I risultati dell'interpretazione delle prove penetrometriche statiche sono in buon accordo con i dati dei sondaggi, così come i risultati delle prove pressiometriche, di carico su piastra e geofisiche a rifrazione.

In generale tutte le informazioni consentono di individuare la presenza di:

- Depositi alluvionali ghiaiosi (1a);
- Depositi alluvionali sabbiosi (1b);
- Depositi alluvionali limo argillosi/sabbiosi (2a);
- Depositi alluvionali argillosi/ argillosi limosi (2b);
- Argille limose Plioceniche consistenti (3).

7.2 Falda

Nel presente paragrafo sono esposti in modo sintetico i principali elementi che caratterizzano dal punto di vista idrogeologico la zona interessata dal nodo ferroviario di Falconara.

I parametri idrogeologici presi in esame sono stati ricavati dalle indagini geognostiche (sondaggi e misure piezometriche) eseguite lungo il tracciato ferroviario dell'opera in oggetto, oltre che dalla raccolta di informazioni di studi e ricerche di carattere idrogeologico fornite dalla letteratura. In questa sede di analisi l'obiettivo principale è la definizione della superficie piezometrica nella zona interessata e della quota di falda intesa come soggiacenza minima e massima, al fine di determinare una potenziale interferenza di questa in rapporto alle strutture in progetto ed eventualmente al fine di identificare potenziali problematiche derivanti dall'interazione tra l'opera in progetto ed il sistema di circolazione delle acque sotterranee.

L'intero tratto in esame ricade nell'ambito di un'area in prevalenza ricoperta da depositi alluvionali (limi argillosi, argille limose e/o sabbiose intercalate a sabbie, sabbie ghiaiose e ghiaie in matrice limoso argillosa) a cui segue il substrato riconducibile alla formazione

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
						
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 19 di 106

Plio-Pleistocenica caratterizzata da argille limose grigio-azzurre consistenti. Dal punto di vista idrogeologico, i depositi alluvionali, presentano caratteristiche di permeabilità in funzione della granulometria e del grado di classazione, da medio basse ad alte e sono sede dell'acquifero di subalveo nella zona del fiume Esino.

Per la definizione dell'andamento della superficie piezometrica nella zona interessata dall'opera ci si è basati essenzialmente sui risultati delle misure piezometriche per un intorno significativo, raccolti durante la campagna geognostica realizzata.

In particolare nelle seguenti tabelle 7.2.a e 7.2.b. si riportano le letture piezometriche effettuate espresse in metri da p.c. e in quota assoluta relativamente ai dieci piezometri installati (vedasi tabella 4.1.a).

PIEZOMETRO	SB5	SB7	SB9	SB11	SB13	SB17	SB21	SB22
Quota [m s.l.m.]	2.3	4.4	3.5	2.8	2.8	4.15	3.1	3.0
Tipo	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA
Profondità [m]	20.00	20.00	40.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Data letture	Letture piezometriche m da p.c.							
04/08/2006	0.64	3.18	2.55	1.82	1.91	2.63	3.05	2.85
29/09/2006	0.11	2.84	0.00	0.73	non accessibile	1.76	2.55	2.18
03/11/2006	0.09	2.81	2.25	0.56	0.20	1.82	0.42	2.11

Tabella 7.2.a – Letture piezometriche in m da p.c.

PIEZOMETRO	SB5	SB7	SB9	SB11	SB13	SB17	SB21	SB22
Quota [m s.l.m.]	2.3	4.4	3.5	2.8	2.8	4.15	3.1	3.0
Tipo	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA	TA
Profondità [m]	20.00	20.00	40.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
Data letture	Letture piezometriche assolute [m] s.l.m.							
04/08/2006	1.66	1.22	0.95	0.98	0.89	1.52	0.05	0.15
29/09/2006	2.19	1.56	3.50	2.07	non accessibile	2.39	0.55	0.82
03/11/2006	2.21	1.59	1.25	2.24	2.60	2.33	2.68	0.89

Tabella 7.2.b – Letture piezometriche in m s.l.m.

La falda viene quindi rilevata a profondità prossime al piano di campagna.

Per le verifiche geotecniche delle opere in configurazione definitiva si assumerà un livello piezometrico di progetto a quota p.c. locale; pari alla massima risalita.

Per le verifiche nelle configurazioni provvisorie si potranno assumere dei livelli profondi 1÷2 m, in funzione delle caratteristiche morfologiche locali.

APPALTATORE  RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 20 di 106

7.3 Interpretazione dei risultati delle indagini

Tutte le informazioni provenienti dalle prove effettuate, sia in sito che in laboratorio, sono state esaminate e rappresentate in tabelle e grafici riassuntivi (vedasi Appendici). Successivamente è stata effettuata una analisi critica privilegiando le informazioni di maggiore affidabilità (in particolare le determinazioni dirette rispetto a quelle correlate); in questo modo è stato possibile delineare un quadro globale delle caratteristiche dei terreni presenti nella zona interessata dallo studio.

Nei paragrafi seguenti vengono riassunti i parametri geotecnici ricavati dall'interpretazione delle diverse prove, sia per i materiali coesivi che per i materiali incoerenti.

7.3.1 Depositi alluvionali ghiaiosi (1a)

Caratteristiche generali

In questo paragrafo vengono descritte le principali caratteristiche (densità relativa, resistenza al taglio, deformabilità) dei depositi ghiaiosi presenti lungo il tracciato nel tratto interessato dal nuovo nodo ferroviario.

Tali depositi sono presenti in maniera prevalente lungo tutta la linea estendendosi fino a circa 40 m da p.c..

La caratterizzazione geotecnica dei terreni ghiaioso-sabbiosi è basata prevalentemente sui risultati delle prove in sito (prove SPT), utilizzando correlazioni e dati di letteratura.

I valori di N_{SPT} misurati in corrispondenza dei livelli di ghiaia sono mediamente compresi tra 20 e 70 colpi/0.3 m; con valori fino a rifiuto (100 colpi/0.3 m) per profondità superiori a 10.0 m (vedasi Appendice C).

Densità relativa

I valori della densità relativa sono stati ricavati dalle prove SPT in base alla correlazione proposta da Skempton (1986), valida per sabbie grossolane ghiaiose, attraverso la relazione che lega la densità relativa D_R al valore N_{SPT} :

$$D_R = (N_{SPT} / (43.3 + 21.7 \sigma'_{v0}))^{0.5}$$

essendo:

σ'_{v0} = pressione verticale efficace esistente in sito (kg/cm²)

N_{SPT} = numero di colpi per 30 cm di infissione

D_R = densità relativa (%)

I valori così ottenuti sono diagrammati in Appendice C. La figura mostra chiaramente che le ghiaie sono in generale caratterizzabili con una densità maggiore di 60%.

Il buon grado di addensamento dei depositi ghiaiosi anche a livelli molto superficiali risulta confermato dalle prove di carico su piastra effettuate.

Angolo di resistenza al taglio

L'angolo di resistenza al taglio (ϕ') è stato stimato dalle prove SPT in base alla correlazione proposta da Schmertmann (1977) valida per sabbie grosse ben gradate:

APPALTATORE  RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 21 di 106

$$\phi' = 34.5 + 0.1 \cdot D_R$$

essendo D_R la densità relativa in accordo con Skempton (1986) espressa in %.

I valori dell'angolo di attrito di picco, come è logico aspettarsi, sono elevati ($\phi' > 40^\circ$), (vedasi Appendice C).

Nel caso dei depositi ghiaiosi, l'utilizzo di correlazioni più appropriate (deposito costituito essenzialmente da ghiaie) mostra chiaramente che si è in presenza di materiali granulari significativamente addensati. I valori dell'angolo di attrito ϕ' possono essere ricavati dalla seguente correlazione di Hatanaka e Uchida (1996):

$$\phi' = (20 \cdot N_{1SPT})^{0.5} + 17 \pm 3$$

in cui N_{1SPT} è il numero di colpi N_{SPT} normalizzati per tenere conto dell'influenza della pressione geostatica in accordo a Liao e Whitman (1986). Anche assumendo cautelativamente $N_{SPT} = 35 \div 45$, si ottengono angoli di attrito (ϕ') pari a 40° .

I valori dell'angolo di attrito risultano in buon accordo con quelli stimati con la correlazione di Bolton (1986), riportata in figura C8 Appendice C. Considerando, infatti $\phi'_{CV} = 32^\circ \div 34^\circ$ tipico dei materiali in esame (Youd, 1972) e $\phi' - \phi'_{CV} = 8^\circ \div 10^\circ$ (per $D_R > 60\%$ e per condizioni piane) si ottiene $\phi' = 40^\circ \div 44^\circ$.

Caratteristiche di deformabilità

Le correlazioni comunemente impiegate per la determinazione delle caratteristiche di deformabilità di terreni incoerenti, a partire dai risultati di prove in sito (SPT), sono generalmente applicabili alle sabbie o sabbie con modeste percentuali di ghiaia (vedi ad esempio Jamiolkowski et al. 1988; D'Appolonia et al. –1968 e 1970; Stroud – 1988).

In presenza di terreni granulari ghiaiosi il modulo di Young può essere determinato a partire dal modulo di taglio dinamico (G_0), calcolato in accordo a Ohta & Goto (1978) attraverso la seguente correlazione:

$$V_S = 53.5 \cdot (N_{SPT})^{0.17} \cdot z^{0.193} \cdot f_A \cdot f_G \quad (\text{m/s})$$

$$G_0 = (\gamma / 9.81) \cdot V_S^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E' = 2 \cdot G_0 \cdot R \cdot (1 + \nu)$$

essendo:

V_S = velocità di propagazione delle onde di taglio nel terreno.

$R = G / G_0$ = modulo normalizzato in corrispondenza della deformazione indotta;

z = profondità da p.c. (m);

$f_A = 1.0$ = costante empirica dipendente dal periodo di deposizione "epoca" [$f_A = 1.0$ (Olocene); $f_A = 1.3$ (Pleistocene)];

$f_G = 1.45$ = costante empirica funzione del tipo di terreno [$f_G = 1.09$ (sabbie fini); $f_G = 1.14$ (sabbie grosse); $f_G = 1.15$ (sabbie e ghiaie); $f_G = 1.45$ (ghiaie)];

γ = peso di volume totale del terreno;

ν = rapporto di Poisson.

Il rapporto G/G_0 è stato calcolato con l'ausilio delle curve di degrado del modulo riportate da Seed & Idriss (1970) e Uchida et al. (1980) in corrispondenza di deformazioni dell'ordine di 0.1 % (vedasi figura C9 in Appendice C).

I valori del modulo E' così ricavati sono stati confrontati con i valori dei moduli calcolati a partire dalla più recente relazione di Yoshida et al. (1988) valida per depositi ghiaiosi:

$$V_S = 60 \cdot N_{SPT}^{0.25} \cdot \sigma'_{v0}{}^{0.14}$$

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 22 di 106

Dall'andamento dei moduli riportati nella figura C7 in Appendice C si può constatare che i moduli di E' dedotti da Ohta e Goto (1970) variano mediamente tra 30 e 90 MPa risultando generalmente inferiori a quelli stimati con la correlazione di Yoshida et al. (1988) secondo la quale variano tra 50 e 130 MPa.

I valori della velocità di propagazione delle onde nel terreno ricavati dalle precedenti correlazioni sulla base delle prove SPT risultano in buon accordo con i valori determinati dalle indagini geofisiche effettuate (vedasi tabella riassuntive in Appendice F), confermando così le interpretazioni suddette.

Una stima del modulo di Young viene data anche dall'interpretazione delle prove pressiometriche (tipo Menard) eseguite in sito. In particolare per i depositi ghiaiosi in oggetto l'unica prova eseguita (sondaggio SB3) fornisce un valore del modulo di Young pari a 102 MPa ad una profondità di 8.70 m da p.c. (vedasi figura E1 in Appendice E), in accordo ai valori stimati dalle prove SPT.

Permeabilità

Le prove di permeabilità eseguite nei depositi ghiaiosi in oggetto hanno dato valori di permeabilità compresi generalmente tra $3 \cdot 10^{-6}$ e $2 \cdot 10^{-4}$ m/s con un unico valore anomalo ($5.03 \cdot 10^{-2}$ m/s) riscontrato localmente nel sondaggio SB7bis ad una profondità di 4 m da p.c..

APPALTATORE  RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 23 di 106

7.3.2 Depositi alluvionali sabbiosi (1b)

Caratteristiche generali

In questo paragrafo vengono descritte le principali caratteristiche (densità relativa, resistenza al taglio, deformabilità) dei materiali sabbiosi presenti lungo il tratto in esame. In particolare, tali depositi sono presenti lungo il tracciato alle seguenti profondità da p.c.:

- Sondaggio SB11 da 9.0 a 14.4 m da p.c.;
- Sondaggio SB13 da p.c. a 3.7 m;
- Sondaggio SB22 da 6.0 a 10.0 m da p.c..

La caratterizzazione geotecnica dei terreni sabbiosi è basata prevalentemente sui risultati delle prove in sito (prove SPT), utilizzando correlazioni e dati di letteratura.

I valori di N_{SPT} misurati in corrispondenza del livello sabbioso sono collocati tra 20 ÷ 60 colpi / 30 cm crescenti con la profondità (vedasi figura C1 in Appendice C).

Densità relativa

I valori della densità relativa sono stati ricavati dalle prove SPT in base alla correlazione proposta da Skempton (1986), valida per sabbie da fini a medie, attraverso la relazione che lega la densità relativa D_R al valore N_{SPT} :

$$D_R = (N_{SPT} / (27.5 + 27.5 \sigma'_{v0}))^{0.5}$$

essendo:

σ'_{v0} = pressione verticale efficace esistente in sito (kg/cm²)

N_{SPT} = numero di colpi per 30 cm di infissione

D_R = densità relativa (%)

I valori così ottenuti sono diagrammati in figura C3 in Appendice C. La figura mostra chiaramente che le sabbie sono caratterizzabili con una densità relativa superiore al 65%.

Angolo di resistenza al taglio

L'angolo di resistenza al taglio (ϕ') è stato stimato dalle prove SPT in base alla correlazione proposta da Schmertmann (1977) valida per sabbie.

$$\phi' = 31.5 + 0.115 \cdot D_R$$

essendo: D_R la densità relativa in accordo con Skempton (1986) espressa in %.

I valori dell'angolo di attrito di picco, come si osserva dalla figura C4 in Appendice C, sono generalmente compresi fra 39° e 43°.

I valori dell'angolo di attrito risultano in buon accordo con quelli stimati con la correlazione di Bolton (1986), riportata in figura C9 in Appendice C. Considerando, infatti $\phi'_{CV} = 30^\circ \div 33^\circ$ tipico dei materiali in esame (Youd, 1972) e $\phi' - \phi'_{CV} = 8-10^\circ$ (per $D_R = 65\%$ e per condizioni piane) si ottiene $\phi' = 38^\circ \div 43^\circ$.

Caratteristiche di deformabilità

Nella figura C6 in Appendice C viene rappresentato il valore del modulo di Young per le sabbie N.C. secondo la relazione D'Appolonia (1968/1970):

$$E'_{25} = 16.2 + 0.73 \cdot N_{SPT} \quad \text{MPa}$$

Il valore del modulo di Young risulta generalmente compreso tra 22 e 60 MPa con un

APPALTATORE  RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 24 di 106

unico valore pari a 90 MPa riscontrato nel sondaggio SB11 ad una profondità di 10.5 m (vedasi figura C6 in Appendice C).

7.3.3 Depositi alluvionali limo argillosi/sabbiosi (2a) / Depositi alluvionali argillosi/argillosi limosi (2b)

Caratteristiche generali

Materiali di questo tipo, come già detto, sono presenti a diverse profondità da p.c. lungo tutto il tracciato in esame.

Caratteristiche fisiche

Le caratteristiche fisiche, determinate mediante prove di laboratorio su campioni indisturbati prelevati nel corso dei sondaggi eseguiti, sono riassunti nella tabelle riportate in App. A.

Nella tabelle citate sono riportati i seguenti dati:

- profondità del campione;
- contenuto d'acqua naturale (w_n);
- caratteristiche di plasticità (limite liquido w_L , limite plastico w_P , indice di plasticità PI);
- peso di volume naturale (γ);
- grado di saturazione (S);
- composizione granulometrica percentuale (ghiaia G, sabbia S, limo L, argilla A);
- modulo edometrico (E_{ed}) e coefficiente di consolidazione verticale (c_v) determinati da prove edometriche;
- resistenza al taglio non drenata (c_u) ricavata da prove di compressione semplice.

Dalle indagini di laboratorio risulta quindi:

per i campioni prevalentemente limosi (2a)

- peso di volume naturale (γ) variabile tra 18 e 19.5 kN/m³ (vedasi figura B1 in Appendice B);
- contenuto naturale d'acqua (w_n) variabile generalmente tra 25 e 35 % (vedasi figura B2 in Appendice B);
- grado di saturazione (S) generalmente superiore a 0.95;
- limite di liquidità (w_L) variabile tra 40 e 75 % (vedasi figura B5 in Appendice B);
- limite plastico (w_P) variabile tra 20 e 32 % (vedasi figura B5 in Appendice B);
- indice di plasticità (PI) con valori molto dispersi e compresi tra 8 e 36 % (vedasi figura B4 in Appendice B);
- indice di consistenza (Ic) elevato e variabile tra 1.0 e 1.2 (vedasi figura B6 in Appendice B);
- indice dei vuoti iniziale (e_0) variabile tra 0.5 e 0.95 (vedasi figura B7 in App. B);

per i campioni prevalentemente argillosi (2b)

- peso di volume naturale (γ) variabile tra 18.5 e 20 kN/m³ (vedasi figura B1 in Appendice B);
- contenuto naturale d'acqua (w_n) variabile generalmente tra 20 e 30 % (vedasi figura B2 in Appendice B);
- grado di saturazione generalmente superiore a 0.95;

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 25 di 106

- limite di liquidità (w_L) variabile tra 38 e 60 % (vedasi figura B5 in Appendice B);
- limite plastico (w_P) variabile tra 21 e 35 % (vedasi figura B5 in Appendice B);
- indice di plasticità (PI) variabile tra 12 e 26 % (vedasi figura B4 in Appendice B);
- indice di consistenza (Ic) elevato variabile tra 0.95 e 1.4 (vedasi figura B6 in Appendice B);
- indice dei vuoti iniziale (e_0) variabile tra 0.5 e 0.8 (vedasi figura B7 in App. B).

In generale quindi sia depositi limoso argillosi/sabbiosi (2a) che i depositi argillosi/argillosi limosi (2b) sono caratterizzati da un elevato indice di consistenza, da una bassa compressibilità e da un buon grado di addensamento/consistenza. Tali valutazioni risultano confermate anche dai risultati delle prove di carico su piastra secondo i quali, anche in corrispondenza dei livelli più superficiali, tali terreni risultano idonei alla posa dei rilevati, previa idonea preparazione.

Resistenza al taglio in condizioni drenate

Per la determinazione dei parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate dei terreni limoso-argillosi sono state eseguite prove di taglio diretto.

I risultati sono rappresentati nella figura B9 in Appendice B.

I parametri di progetto sono stati stimati sulla base dei risultati valutati più attendibili tenendo conto delle caratteristiche fisiche dei materiali.

Resistenza al taglio in condizioni non drenate

La resistenza al taglio non drenata (c_u) è stata determinata:

- dall'interpretazione delle prove CPT, in base alla relazione: $c_u = (q_c - \sigma_{v0}) / N_k$, assumendo $N_k = 15$;
- da Pocket Penetrometer eseguito nelle carote dei sondaggi;
- da prove di compressione semplice (ELL).

Come riportato nelle figure in Appendice D i valori della resistenza al taglio non drenata (c_u) ottenuti dalle prove penetrometriche statiche per i depositi in esame variano generalmente tra 70 e 100 kPa entro i 6 m di profondità, tra 40 e 80 kPa tra 6 e 15 m di profondità e tra 70 e 120 kPa per profondità superiori.

In accordo alla formulazione di Ladd et al. (1977) si ha:

$$c_u = (c_u / \sigma'_{v0})_{NC} \cdot (OCR)^{0.85} \cdot \sigma'_{v0}$$

Il rapporto tra la resistenza al taglio non drenata (c_u) e la tensione verticale efficace (σ'_{v0}) in un materiale normalmente consolidato può porsi pari a:

$$(c_u / \sigma'_{v0})_{NC} = 0.0037 \cdot PI + 0.11 \quad (\text{Skempton; vedasi figura B12 in Appendice B})$$

dove PI = indice di plasticità.

Dalle prove Pocket Penetrometer è possibile ottenere l'andamento qualitativo e quantitativo in continuo della resistenza al taglio non drenata (c_u). A partire dal valore PP (Pocket Penetrometer) riportato sui certificati stratigrafici dei sondaggi il valore della resistenza al taglio non drenata può infatti determinarsi dalla relazione:

$$C_u = PP/2$$

Per i depositi in esame i valori ottenuti sono in sostanziale accordo a quelli determinati

APPALTATORE  RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 26 di 106

dalle prove CPT.

Modulo edometrico e modulo di Young

Per le caratteristiche di deformabilità dei livelli coesivi si è fatto riferimento sia ai valori dei moduli edometrici ricavati in laboratorio, sia ai valori di modulo confinato ottenuti dall'interpretazione delle prove penetrometriche.

In particolare il valore del modulo edometrico (E_{ed}) è stato determinato in corrispondenza di σ'_{v0} nel tratto di ricomprensione. Da tale prova edometrica si ottiene un valore del modulo edometrico compreso generalmente tra 2.5 e 6.0 MPa per i campioni prevalentemente limosi (2a) e tra 3 e 10 MPa per i campioni prevalentemente argillosi (vedasi figura B10). Tali valori risultano normalmente sottostimati per gli inevitabili disturbi sia in fase di campionamento che di esecuzione della prova.

Dalle prove penetrometriche CPT, in accordo alle correlazioni di Mitchell e Gardner (1975), è stato possibile determinare il valore del modulo confinato (M). Nelle figure riportate in Appendice D per i depositi in esame si osservano valori del modulo confinato particolarmente bassi ($2 \div 13$ MPa) e non compatibili con il grado di sovraconsolidazione dei terreni in esame. Pertanto, da una analisi critica e considerando che si è in presenza di depositi chiaramente sovraconsolidati, si adatterà in fase di progetto un valore del modulo confinato pari a circa:

$$M = 150 \cdot C_u$$

Il modulo di Young drenato (E') può essere assunto tenendo conto del legame in campo elastico tra modulo confinato (M) e modulo di Young:

$$E' = M \cdot (1 - 2\nu^2 - \nu) / (1 - \nu)$$

pari a 0.7÷0.8 volte il modulo edometrico assumendo un coefficiente di Poisson pari a $\nu=0.3$.

Una stima del modulo di Young viene anche data dall'interpretazione delle prove pressiometriche (tipo Menard) eseguite in sito. In particolare per il deposito in oggetto sono stati stimati valori del modulo di Young tra 30 e 43 MPa circa per i depositi prevalentemente limosi (2a) e tra 20 e 40 MPa circa per i depositi prevalentemente argillosi (2b), (vedasi figura E1 in Appendice E).

Coefficiente di consolidazione verticale

Le caratteristiche di consolidazione del terreno sono state definite tenendo conto dei risultati delle prove edometriche. Nella figura B11 in Appendice B sono graficati i valori del coefficiente di consolidazione verticale; tali valori sono compresi mediamente tra $9.5 \cdot 10^{-3}$ e $9.5 \cdot 10^{-2}$ cm²/s per i campioni prevalentemente limosi (2a) e tra $9.5 \cdot 10^{-3}$ e $2.0 \cdot 10^{-3}$ cm²/s per i campioni prevalentemente argillosi (2b).

Permeabilità

Le prove di permeabilità eseguite sul sondaggio denominato SB11bis (campagna integrativa 2006) hanno fornito valori di permeabilità compresi fra $9 \cdot 10^{-6}$ e $4 \cdot 10^{-6}$ m/s.

APPALTATORE  RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 27 di 106

7.3.4 Argille limose plioceniche consistenti (3)

Caratteristiche generali

Materiali di questo tipo, come già detto, costituiscono il substrato e sono presenti ad una profondità di circa 40 m da p.c..

A tale proposito essendo tale depositi ubicati a profondità elevate non sono disponibili valori di resistenza alla punta penetrometrica (q_c).

Caratteristiche fisiche

Le caratteristiche fisiche, determinate mediante prove di laboratorio su campioni indisturbati prelevati nel corso dei sondaggi eseguiti, sono riassunti nella tabelle riportate in App. A.

Nella tabelle citate sono riportati i seguenti dati:

- profondità del campione;
- contenuto d'acqua naturale (w_n);
- caratteristiche di plasticità (limite liquido w_L , limite plastico w_P , indice di plasticità PI);
- peso di volume naturale (γ)
- grado di saturazione (S);
- composizione granulometrica percentuale (ghiaia G, sabbia S, limo L, argilla A);
- modulo edometrico (E_{ed}) e coefficiente di consolidazione verticale (c_v) determinati da prove edometriche;
- resistenza al taglio non drenata (c_u) ricavata da prove di compressione semplice.

Dalle indagini di laboratorio effettuate sui campioni dei sondaggi denominati SB6 e SB10 risulta quindi:

- peso di volume naturale (γ) variabile tra 19 e 19.5 kN/m³ (vedasi figura B1 in Appendice B);
- contenuto naturale d'acqua (w_n) variabile tra 18 e 26 % (vedasi figura B2 in Appendice B2);
- grado di saturazione (S) generalmente superiore a 0.95;
- limite di liquidità (w_L) variabile tra 52 e 60 % (vedasi figura B5 in Appendice B);
- limite plastico (w_P) variabile tra 27 e 35 % (vedasi figura B5 in Appendice B);
- indice di plasticità (PI) pari al 25 % (vedasi figura B3 in Appendice B);
- indice di consistenza (Ic) elevato pari a 1.4 (vedasi figura B6 in Appendice B);
- indice dei vuoti iniziale (e_0) variabile tra 0.6 e 0.65 (vedasi figura B7 in App. B).

Resistenza al taglio in condizioni drenate

Per la determinazione dei parametri di resistenza al taglio in condizioni drenate dei terreni in esame sono state eseguite prove di taglio diretto.

I risultati sono rappresentati nella figura B9 in Appendice B.

I parametri di progetto sono stati stimati sulla base dei risultati valutati più attendibili tenendo conto delle caratteristiche fisiche dei materiali.

Resistenza al taglio in condizioni non drenate

La resistenza al taglio non drenata (c_u) è stata determinata:

APPALTATORE  RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 28 di 106

- da Pocket Penetrometer eseguito nelle carote dei sondaggi;
- da prove di compressione semplice (ELL).

Dalle prove con Pocket Penetrometer è infatti possibile ottenere l'andamento qualitativo e quantitativo in continuo della resistenza al taglio non drenata (c_u). A partire dal valore PP (Pocket Penetrometer) riportato sui certificati stratigrafici dei sondaggi il valore della resistenza al taglio non drenata può porsi pari a:

$$C_u = PP/2$$

Per i depositi in esame il valore della resistenza al taglio determinato dalla suddetta relazione è pari a circa 150÷200 kPa.

Come indicato nella figura B8 in Appendice B il valore della resistenza al taglio non drenata (c_u), ottenuto dall'unica prova di compressione ad espansione laterale libera effettuata sul deposito in esame, risulta essere maggiore e pari a 290 kPa.

In accordo alla formulazione di Ladd et al. (1977) si ha:

$$c_u = (c_u / \sigma'_{v0})_{NC} \cdot (OCR)^{0.85} \cdot \sigma'_{v0}$$

Il rapporto tra la resistenza al taglio non drenata (c_u) e la tensione verticale efficace (σ'_{v0}) in un materiale normalmente consolidato può porsi pari a:

$$(c_u / \sigma'_{v0})_{NC} = 0.0037 \cdot PI + 0.11 \quad (\text{Skempton; vedasi figura B12 in Appendice B})$$

dove PI = indice di plasticità.

Modulo edometrico e modulo di Young

Per le caratteristiche di deformabilità dei livelli coesivi si è fatto riferimento ai valori dei moduli edometrici ricavati in laboratorio, non avendo a disposizione i valori del modulo confinato dalle prove penetrometriche.

Il valore del modulo edometrico (E_{ed}) è stato determinato in corrispondenza di σ'_{v0} nel tratto di ricomprensione. Da tale prova edometrica si è ottenuto un valore di modulo edometrico pari a 11 MPa nel campione relativo al sondaggio denominato SB6 e pari a 22 MPa nel campione del sondaggio denominato SB10 (vedasi figura B10 in Appendice B). Tali valori risultano normalmente sottostimati a causa dell'inevitabile disturbo in fase di campionamento e di esecuzione della prova.

Il modulo di Young drenato (E') può essere assunto tenendo conto del legame in campo elastico tra modulo confinato (M) e modulo di Young:

$$E' = M \cdot (1 - 2\nu^2 - \nu) / (1 - \nu)$$

pari a 0.7÷0.8 volte il modulo edometrico assumendo un coefficiente di Poisson pari a $\nu=0.3$.

Una stima del modulo di Young viene anche data dall'interpretazione delle prove pressiometriche (tipo Menard) eseguite in sito. In particolare per il deposito in oggetto è stato stimato un valore del modulo di Young pari a 39 MPa, (vedasi figura E1 in Appendice E).

Coefficiente di consolidazione verticale

Le caratteristiche di consolidazione del terreno sono state definite tenendo conto dei risultati delle prove edometriche. Nella figura B1 in Appendice B sono graficati i valori del coefficiente di consolidazione verticale; tali valori sono compresi mediamente tra $1.0 \cdot 10^{-3}$ e $9.0 \cdot 10^{-2}$ cm²/s. Da tali valori è possibile ricavare il valore di permeabilità ($C_v = k \cdot M / \gamma_w$).

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 29 di 106

7.4 Caratterizzazione geotecnica di progetto

Sulla base dei risultati ritenuti più attendibili in relazione alle caratteristiche fisiche dei materiali e dell'interpretazione geotecnica esposta nel precedente paragrafo si assumono i seguenti parametri geotecnici di progetto:

Depositi alluvionali ghiaiosi (1a):

- $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale
- $c' = 0 \text{ kPa}$ coesione drenata
- $\phi' = 35 \div 40^\circ$ resistenza al taglio
- $E' = 40 \rightarrow^{(*)} 100 \text{ MPa}$ per $0 < z < 20 \text{ m}$ modulo di Young
- $E' = 100 \div 130 \text{ MPa}$ per $z > 20 \text{ m}$
- $k = 3.0 \cdot 10^{-6} \div 3.0 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ permeabilità

(*) \rightarrow variabile linearmente

Depositi alluvionali sabbiosi (1b):

- $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale
- $c' = 0 \text{ kPa}$ coesione drenata
- $\phi' = 33 \div 38^\circ$ resistenza al taglio
- $E' = 30.0 \div 60.0 \text{ MPa}$ modulo di Young
- $k = 3.0 \cdot 10^{-6} \div 3.0 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ permeabilità

Depositi alluvionali limo argillosi/sabbiosi (2a):

- $\gamma = 18.5 \div 19.0 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale
- $c' = 0.0 \div 10.0 \text{ kPa}$ coesione drenata
- $\phi' = 24 \div 28^\circ$ resistenza al taglio
- $C_u = 40 \div 140 \text{ kPa}^{(**)}$ resistenza al taglio non drenata
- $M = 6.0 \div 21.0 \text{ MPa}^{(**)}$ modulo di deformazione confinato
- $E' = 4.5 \div 16.5 \text{ MPa}^{(**)}$ modulo di Young
- $k = 4.0 \cdot 10^{-6} \div 9.0 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ permeabilità

Depositi alluvionali argillosi/argillosi limosi (2b):

- $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$ peso di volume naturale
- $c' = 5 \div 15 \text{ kPa}$ coesione drenata
- $\phi' = 23 \div 27^\circ$ resistenza al taglio
- $C_u = 40 \div 140 \text{ kPa}^{(**)}$ resistenza al taglio non drenata
- $M = 6.0 \div 21.0 \text{ MPa}^{(**)}$ modulo di deformazione confinato
- $E' = 4.5 \div 16.5 \text{ MPa}^{(**)}$ modulo di Young
- $k = 4.0 \cdot 10^{-6} \div 9.0 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$ permeabilità

(**) vedasi figure D14b e D15b in Appendice D e tabella 7.4.a

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 30 di 106

Argille limose plioceniche consistenti (3) ^(***):

- | | |
|--|----------------------------------|
| - $\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$ | peso di volume naturale |
| - $c' = 10 \div 20 \text{ kPa}$ | coesione drenata |
| - $\phi' = 23 \div 26^\circ$ | resistenza al taglio |
| - $C_u = 250 \text{ kPa}$ | resistenza al taglio non drenata |
| - $M = 37.5 \text{ MPa}$ | modulo di deformazione confinato |
| - $E' = 30.0 \text{ MPa}$ | modulo di Young |
| - $k = 2.67 \cdot 10^{-11} \div 2.4 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ | permeabilità |

^(***) porzione superficiale decompressa/alterata

Rilevato ferroviario:

- | | |
|----------------------------------|-------------------|
| - $\gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$ | peso di volume |
| - $c' = 0 \text{ kPa}$ | coesione efficace |
| - $\phi' = 38$ | angolo di attrito |

Rilevato stradale:

- | | |
|----------------------------------|-------------------|
| - $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$ | peso di volume |
| - $c' = 0 \text{ kPa}$ | coesione efficace |
| - $\phi' = 35$ | angolo di attrito |

In accordo alla tipologia di verifica da eseguire, nelle specifiche relazioni di calcolo, verranno definiti i parametri di progetto per le verifiche alle singole opere.

Depositi alluvionali limo argillosi/sabbiosi (2a) e depositi argillosi /argillosi limosi (2b)			
Profondità (m)	Cu (kPa)	M (MPa)	E' = 0.8 M (MPa)
0÷3	80÷100	12.0÷15.0	9.5÷12.0
3÷6	70÷80	10.5÷12.0	8.0÷9.5
6÷10	40÷60	6.0÷9.0	4.5÷7.0
10÷15	60÷80	9.0÷12.0	7.0÷9.5
15÷25	90÷110	13.5÷16.5	10.5÷13.0
> 25	100÷140	15.0÷21.0	12.0÷16.5

Tabella 7.4.a – parametri di progetto depositi 2a e 2b

Il profilo geotecnico è stato suddiviso in tratti omogenei al fine di ottenere una stratigrafia di progetto per le diverse opere disposte lungo il tracciato ferroviario.

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 31 di 106

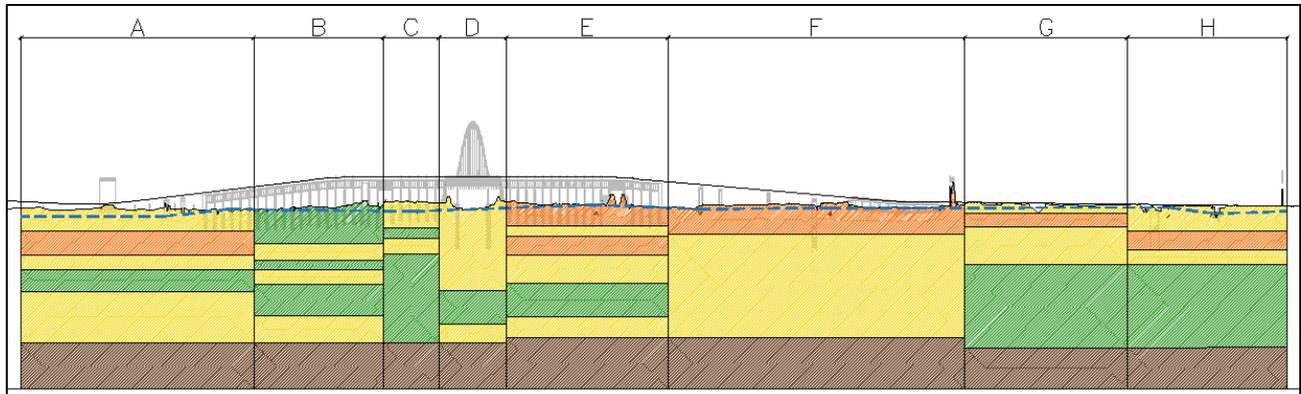


Figura 7.1 – Profilo geotecnico di progetto – Asse principale

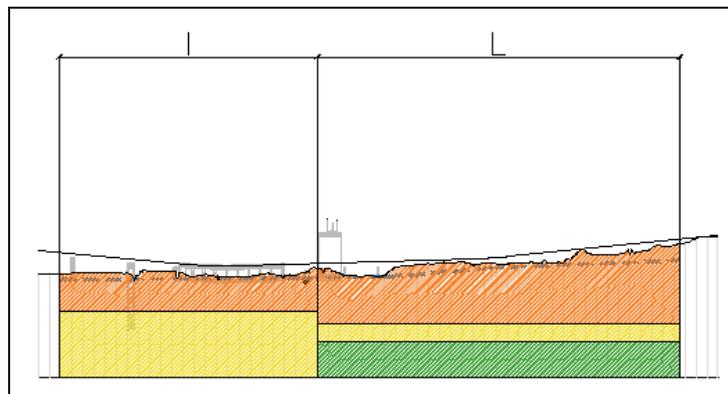


Figura 7.2 – Profilo geotecnico di progetto – Bretella

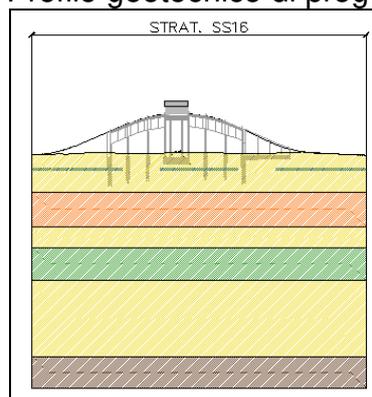


Figura 7.3 – Profilo geotecnico di progetto – SS16

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 32 di 106

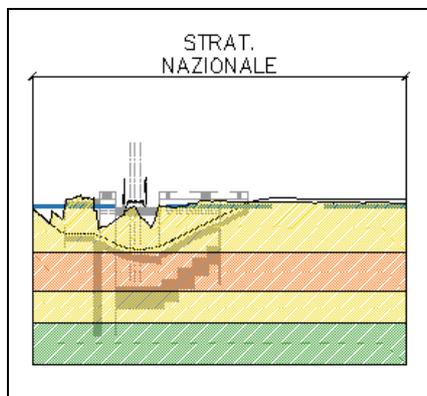


Figura 7.4 – Profilo geotecnico di progetto – via Nazionale

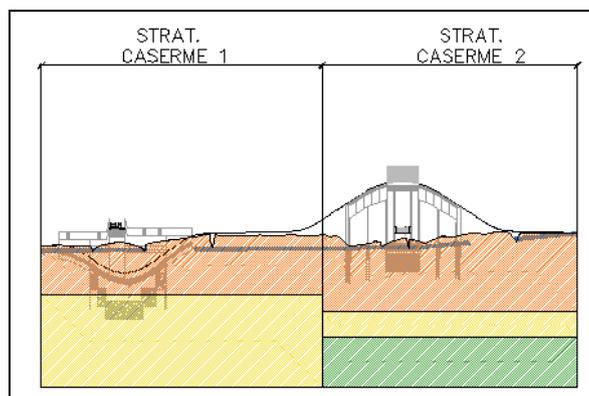


Figura 7.5 – Profilo geotecnico di progetto – via delle Caserme

I parametri utilizzati per i differenti tratti sono descritti negli elaborati grafici relativi ai profili geotecnici. Di seguito sono riepilogati i tratti omogenei e le relative indagini di riferimento, specificando l'anno di esecuzione, la georeferenziazione e la distanza dall'asse di tracciamento (ferroviario o stradale a seconda del profilo di riferimento dell'opera).

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 33 di 106

Prove geognostiche di riferimento		x [m]	y [m]	z [m]	Distanza dall'asse tracciamento [m]	Lato rispetto all'asse di tracciamento
TRATTO A						
PLT-B1	2006	8530.51	11170.66	-	9,75	sx
PB1	2016	8629.12	11097.77	2,70	22,15	sx
SB1	2006	8604.16	11045.67	2,20	32,30	dx
PB2	2006	8577.98	11000.95	2,20	82,50	dx
SB2BIS	2008	8628.64	11004.16	2,30	42,65	dx
PLT-B2	2006	8674.12	11022.65	-	3,95	sx
SB2	2006	8694.66	10956.42	2,40	21,45	dx
SB3	2006	8761.15	10923.03	2,40	13,50	sx
PLT-B3	2006	8789.72	10853.29	-	2,80	sx
SPE1	2016	8867.85	10853.12	2,30	71,55	sx
PB3	2006	8885.87	10839.32	2,40	80,20	sx
SB4	2006	8843.23	10732.95	2,60	1,95	dx
PB4	2006	8849.53	10726.93	2,60	4,60	sx
SB5	2006	8901.79	10580.59	2,30	3,15	dx
TRATTO B						
PB5	2006	8938.58	10495.44	2,30	<1,00	dx
SB6	2006	8990.62	10389.85	2,50	1,90	dx
PB6	2006	9047.00	10310.02	3,20	3,40	sx
SPE2	2016	9087.06	10258.17	3,90	2,60	sx
TRATTO C						
SB7	2006	9202.31	10139.30	4,40	5,70	sx
PB7	2006	9215.26	10124.73	4,40	3,90	sx

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
						
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 34 di 106

Prove geognostiche di riferimento		x [m]	y [m]	z [m]	Distanza dall'asse tracciamento [m]	Lato rispetto all'asse di tracciamento
TRATTO D						
SPE3	2016	9278.95	10073.18	4,00	2,95	sx
SB7BIS	2006	9264.70	10078.37	4,40	1,50	dx
SPE4	2016	9354.78	10021.18	2,70	2,80	sx
SB8	2006	9381.35	10008.51	4,00	5,00	sx
TRATTO E						
SB8BIS	2006	9356.41	9979.21	4,00	32,90	dx
PB8	2006	9519.89	9943.42	3,50	5,80	sx
SB9	2006	9616.46	9907.12	3,50	6,00	sx
PB9	2006	9727.15	9868.05	3,50	7,70	sx
TRATTO F						
SB10	2006	9838.51	9825.74	3,00	5,80	sx
PB10	2006	9852.76	9819.92	2,90	5,80	sx
PB11	2006	9916.73	9817.33	2,80	24,15	sx
PLT-B4	2006	9921.10	9798.22	-	7,80	sx
SB11	2006	9926.16	9799.80	2,80	11,40	sx
SB11BIS	2006	9905.92	9775.68	2,80	18,60	dx
SB12	2006	10000.53	9766.78	2,90	5,10	sx
PB12	2006	10063.70	9744.60	2,90	6,40	sx
SB14	2006	10190.52	9640.48	3,00	47,45	dx
SB13	2006	10269.77	9734.17	2,80	66,65	sx
PB14	2006	10406.33	9619.17	1,80	4,50	sx
SB15	2006	10485.83	9605.46	2,40	6,90	sx
SB16	2006	10534.00	9599.50	2,40	8,40	sx
TRATTO G						
PLT-B6	2006	10728.18	9589.89	-	6,20	sx
PB15	2006	10764.69	9586.27	3,40	4,00	sx
TRATTO H						
SB20	2006	11140.64	9611.23	3,50	28,75	sx
SB21	2006	11190.74	9581.76	3,10	<1,00	sx
SB20BIS	2008	11229.10	9601.79	3,20	21,80	sx
PB20	2006	11375.39	9589.77	3,00	28,70	sx
SB22	2006	11372.81	9555.15	3,00	4,90	dx
TRATTO I						
SB14	2006	10190.52	9640.48	3,00	40,15	dx
SB13	2006	10269.77	9734.17	2,80	74,60	sx
PB13	2006	10240.90	9596.84	3,50	62,00	dx
PLT-B5	2006	10413.40	9557.12	-	<1,00	dx
PB17	2006	10374.56	9506.57	2,10	63,90	dx
PB16	2006	10443.20	9524.17	2,10	<1,00	dx
SB17	2006	10502.00	9410.80	4,15	19,80	dx

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
						
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 35 di 106

Prove geognostiche di riferimento		x [m]	y [m]	z [m]	Distanza dall'asse tracciamento [m]	Lato rispetto all'asse di tracciamento
TRATTO L						
SB18	2006	10550.54	9375.52	4,10	10,40	sx
PB18	2006	10559.49	9243.88	4,50	12,20	dx
SB19	2006	10551.40	9047.10	5,10	<1,00	dx
PB21	2006	10589.97	9033.65	5,10	39,80	sx
PB19	2006	10418.49	8844.06	9,00	12,00	dx
TRATTO SS16						
PB2	2006	8577.98	11000.95	2,20	5,85	sx
SB1	2006	8604.16	11045.67	2,20	57,20	sx
SB2BIS	2008	8628.64	11004.16	2,30	29,50	sx
PLT-B2	2006	8674.12	11022.65	-	65,74	sx
SB2	2006	8694.66	10956.42	2,40	13,50	sx
SB3	2006	8761.15	10923.03	2,40	12,30	sx
SPE1	2016	8867.85	10853.12	2,30	<1,00	sx
PB3	2006	8885.87	10839.32	2,40	<1,00	dx
TRATTO NAZIONALE						
SB20BIS	2008	11229.10	9601.79	3,20	2,30	sx
SB21	2006	11190.74	9581.76	3,10	5,75	dx
SB20	2006	11140.64	9611.23	3,50	33,55	sx
TRATTO CASERME 1						
SB13	2006	10269.77	9734.17	2,80	3,90	sx
SB14	2006	10190.52	9640.48	3,00	27,50	dx
PB13	2006	10240.90	9596.84	3,50	3,80	dx
PB17	2006	10374.56	9506.57	2,10	2,50	dx
PLT-B5	2006	10413.40	9557.12	-	61,50	sx
PB16	2006	10443.20	9524.17	2,10	52,90	sx
TRATTO CASERME 2						
SB17	2006	10502.00	9410.80	4,15	4,85	sx
SB18	2006	10550.54	9375.52	4,10	10,25	sx
PB18	2006	10559.49	9243.88	4,50	83,50	dx

8 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI

Secondo Ordinanza n. 3274 del Presidente del Consiglio; 20 Marzo 2003, i comuni italiani sono stati classificati in 4 categorie principali, in base al loro rischio sismico, calcolato in base al PGA (Peak Ground Acceleration, ovvero picco di accelerazione al suolo) e per frequenza ed intensità degli eventi. Il comune di Falconara Marittima è stato classificato Zona 2: sismicità media, PGA fra 0,15 e 0,25g.

L'azione sismica di calcolo per il dimensionamento delle opere è stata valutata considerando un coefficiente di intensità sismica pari a $C = (S-2)/100 = 0,07$

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B Foglio 36 di 106

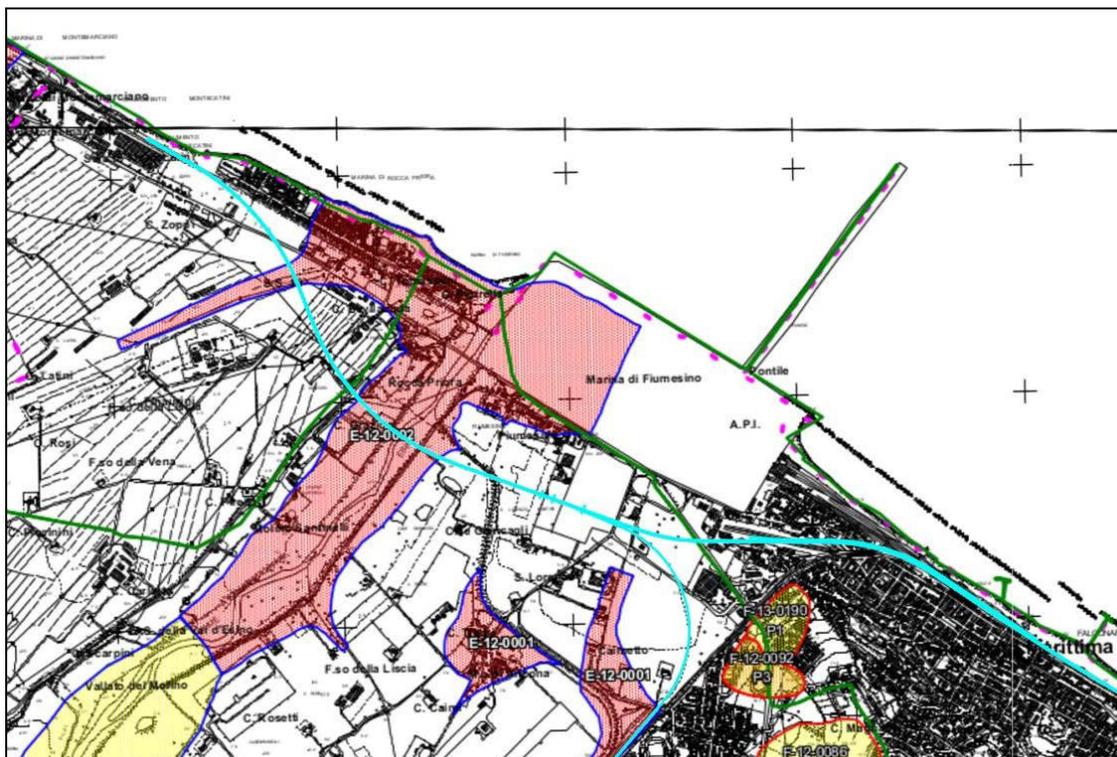
9 RILEVATI

9.1 Descrizione e generalità delle opere in rilevato

Nel presente capitolo vengono discusse le problematiche di carattere geotecnico riguardanti i rilevati. Si prenderanno in esame i rilevati ferroviari di accesso alle spalle del viadotto Esino in considerazione del fatto che cautelativamente possono considerarsi rappresentativi delle peggiori condizioni di progetto; in particolare il rilevato di accesso alla spalla A (km 1+022.90) di altezza massima di 5.0 m circa e il rilevato di accesso alla spalla B (km 2+330.80) di altezza massima 7.5 m circa. Tali rilevati infatti raggiungono le massime altezze (fino ad un massimo di circa 7.5 m a piano ferro) ed i terreni interessati sono rappresentati nei primi metri di profondità dai depositi alluvionali limo/argillosi sabbiosi. Il rilevato della spalla B verrà analizzato per due differenti profili stratigrafici in quanto risulta a ridosso del cambio di stratigrafia di progetto considerata (Strat. E, Strat. F). Il rilevato della spalla A verrà analizzato considerando il profilo stratigrafico Strat. A. Saranno presi in esame anche i rilevati stradali delle seguenti opere:

- NI21_Intersezione con S.S.16 (Spalla A e Spalla B con Strat. SS16)
- NI22_Intersezione con via delle Caserme (Spalla A e Spalla B con Strat. Caserme 2)

Come evidenziato dalle aree di rischio idrauliche del PAI, di cui si riporta in seguito uno stralcio, i rilevati interessati da una possibile piena eccezionale sono solo quelli presenti nella zona limitrofa al "fosso Nuovo". Per tale motivo si ritiene necessario effettuare delle verifiche specifiche in un'ulteriore sezione alla progressiva km 0+925,00. Tali verifiche considerano il caso di piena eccezionale con $H_w=2.79$ m s.l.m. ($Tr=300$ anni) come specificato nella relativa relazione (IA1Y-00-E-ZZ-RI-ID0000-002_A).



APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 37 di 106

Figura 9.1 – Stralcio del PAI (2003)

Nelle seguenti figure si riportano le sezioni di calcolo considerate nell'analisi che risultano:

- Rilevato Ferroviario_Spalla A: rilevato con altezza massima di 5.00 m, larghezza sommitale 12.00 m e larghezza alla base di 27.00 m (pendenza longitudinale trascurabile)
- Rilevato Ferroviario_Spalla B: rilevato con altezza massima di 7.50 m, larghezza sommitale 12.00 m e larghezza alla base di 34.60 m (pendenza longitudinale trascurabile)
- Rilevato Ferroviario_km 0+925,00: rilevato con altezza di 3.60 m, larghezza sommitale 12.00 m e larghezza alla base di 23.00 m (pendenza longitudinale trascurabile), altezza piena +0.57m sopra la base del rilevato
- Rilevato SS16_Spalla A: rilevato con altezza massima di 5.30 m, larghezza sommitale 14.00 m e larghezza alla base di 29.70 m (pendenza longitudinale trascurabile)
- Rilevato SS16_Spalla B: rilevato con altezza massima di 5.80 m, larghezza sommitale 12.50 m e larghezza alla base di 21.20 m (pendenza longitudinale trascurabile)
- Rilevato Caserme_Spalla A: rilevato con altezza massima di 6.50 m, larghezza sommitale 13.50 m e larghezza alla base di 32.90 m (pendenza longitudinale trascurabile)
- Rilevato Caserme_Spalla B: rilevato con altezza massima di 4.80 m, larghezza sommitale 13.50 m e larghezza alla base di 27.90 m (pendenza longitudinale trascurabile)

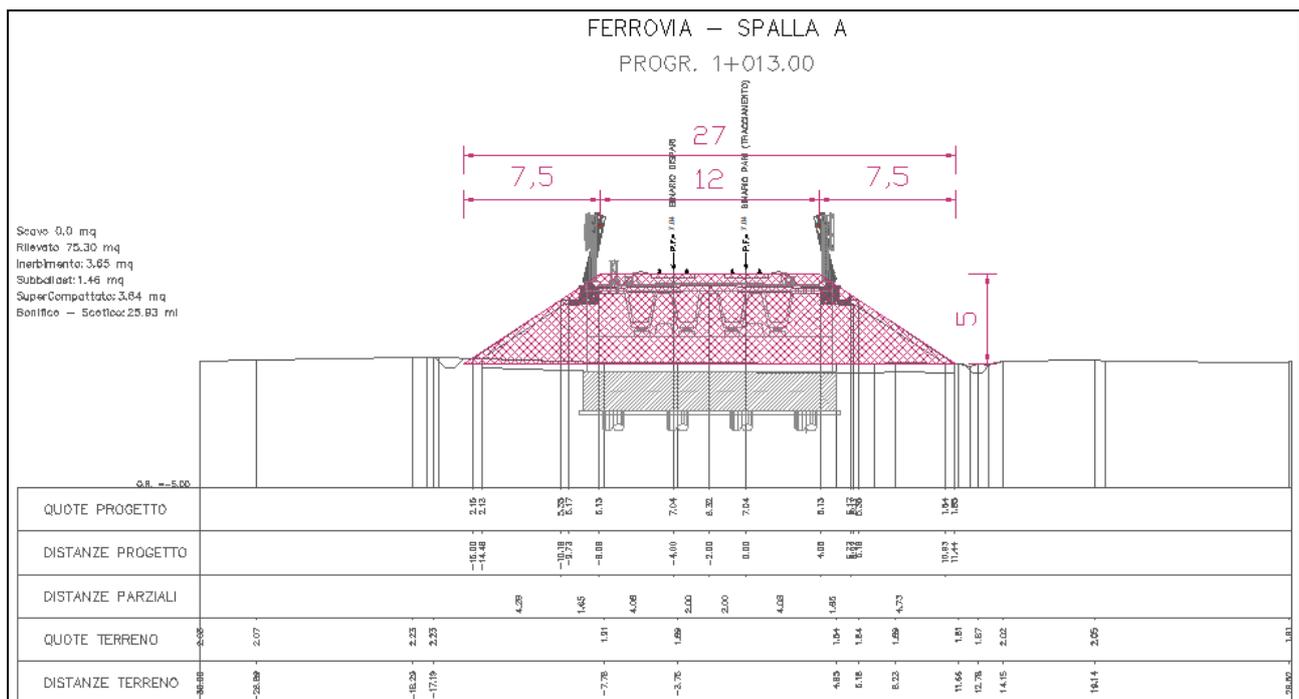


Figura 9.1a – Rilevato ferroviario spalla A

APPALTATORE



**RICCIARDELLO
COSTRUZIONI**
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI



ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Progetto
IA1Y

Lotto
00

Codifica Documento
RBGE0100001

Rev.
B

Foglio
38 di
106

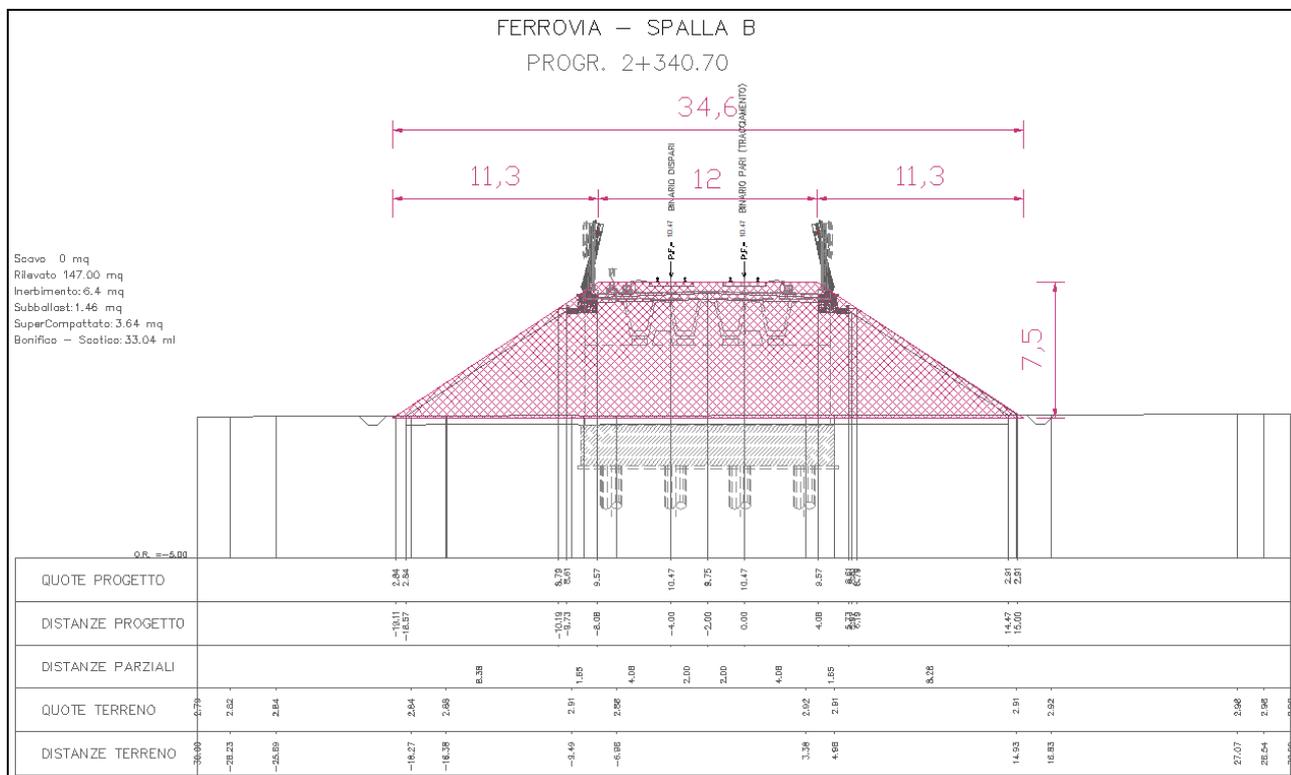


Figura 9.1b – Rilevato ferroviario spalla B

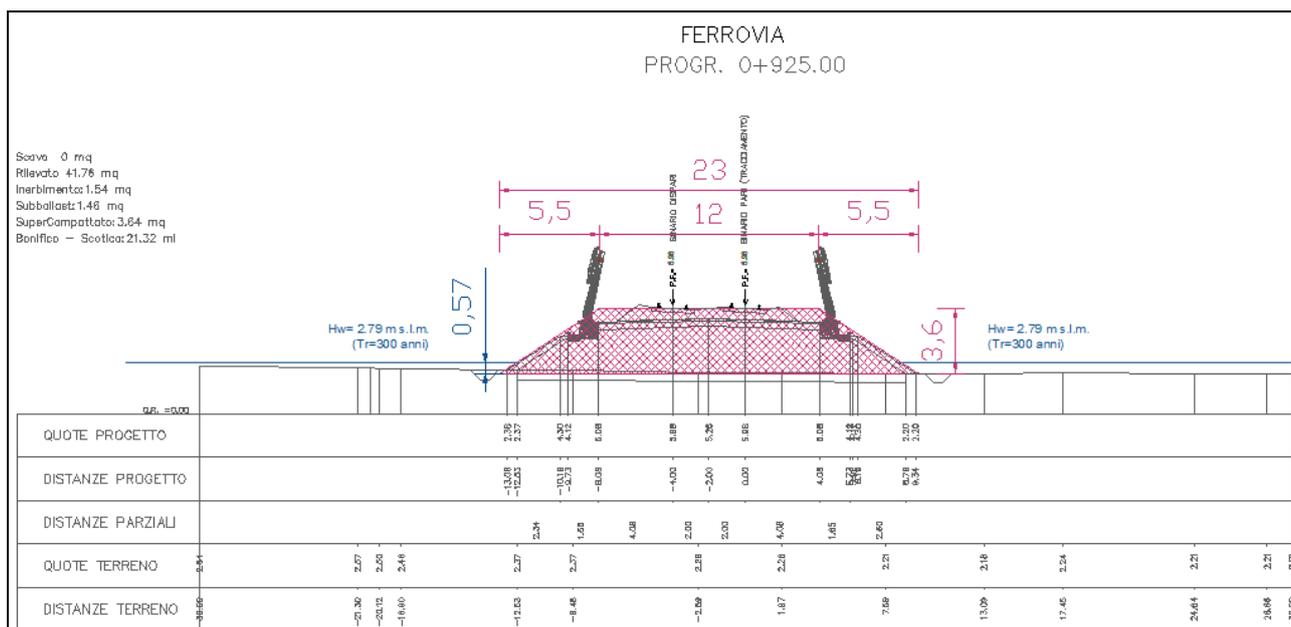


Figura 9.1c – Rilevato ferroviario prog. 0+925,00

APPALTATORE



**RICCIARDELLO
COSTRUZIONI**
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI



ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Progetto
IA1Y

Lotto
00

Codifica Documento
RBGE0100001

Rev.
B

Foglio
40 di
106

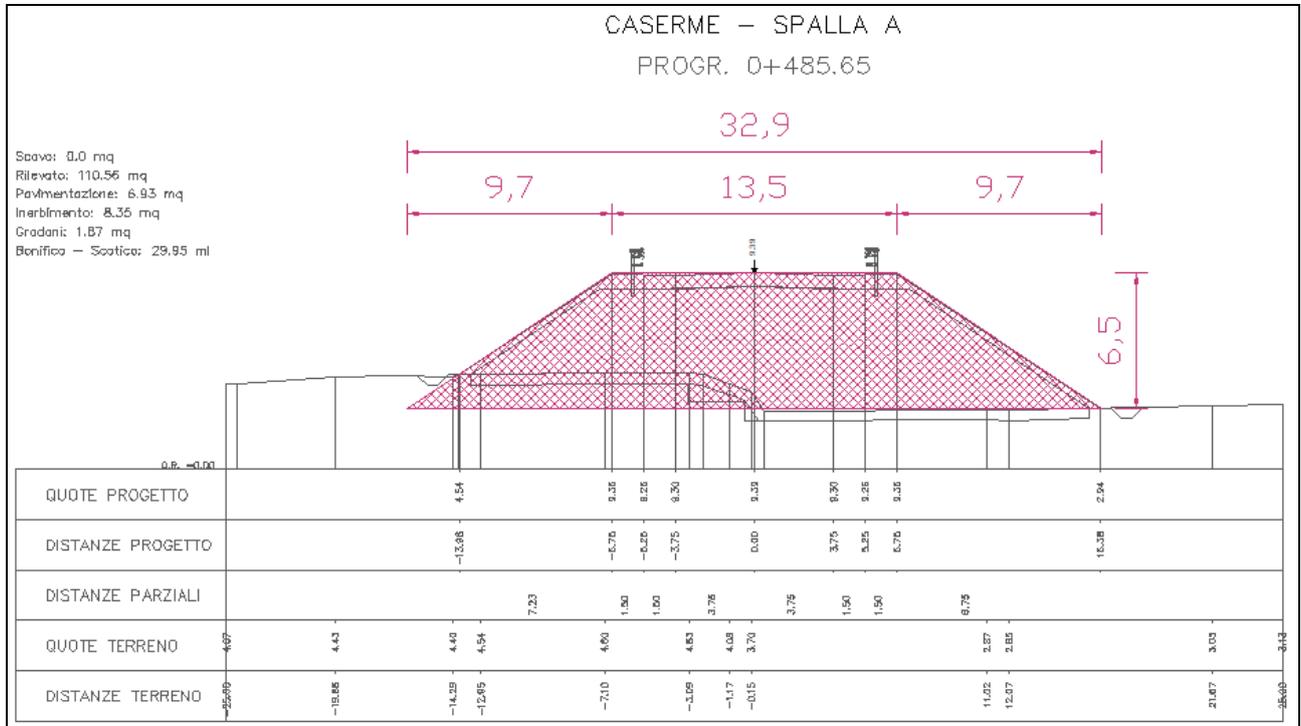


Figura 9.1f – Rilevato Caserme spalla A

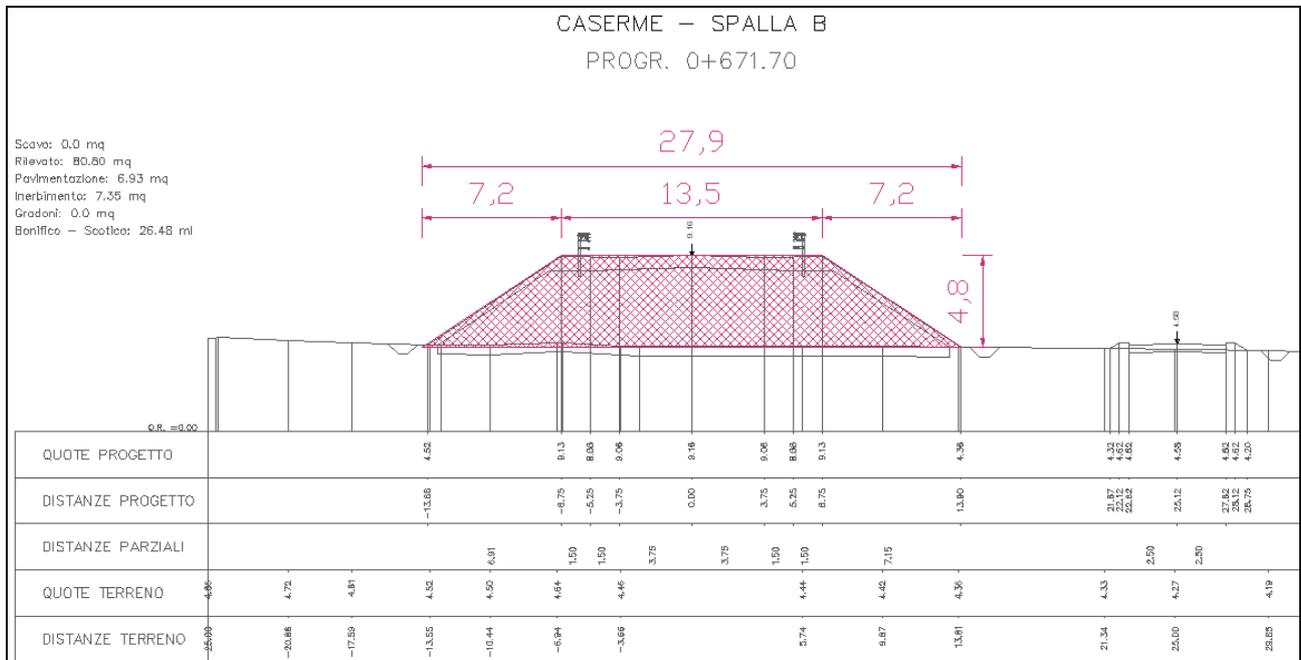


Figura 9.1g – Rilevato Caserme spalla B

APPALTATORE  RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 41 di 106

9.2 Analisi dei cedimenti

Per l'analisi dei cedimenti si è utilizzato il software Carl 10.0 (Aztec Informatica) il quale permette di affrontare il calcolo attraverso diversi approcci; nel caso specifico si è ricorso al metodo edometrico.

Lo spessore dello strato compressibile considerato nell'analisi dei cedimenti è stato determinato in funzione della percentuale della tensione di contatto calcolata con il metodo di Westergaard. Il metodo di Westergaard considera il terreno come un mezzo omogeneo elastico ed isotropo. Contrariamente all'equazione di Boussinesq l'equazione di Westergaard contiene il coefficiente di Poisson ν . Dato un carico concentrato Q applicato in superficie, l'equazione di Westergaard per la tensione verticale indotta in un punto $P(x,y,z)$ posto alla profondità z è:

$$q_v = \frac{Q a^{1/2}}{2\pi z^2 (a + (r/z)^2)^{3/2}}$$

dove: $r = (x^2 + y^2)^{1/2}$

$$a = (1 - 2\nu)/(2 - 2\nu).$$

Per ottenere la pressione indotta da un carico distribuito occorre integrare tale espressione su tutta l'area di carico, considerando il carico Q come un carico infinitesimo agente su una areola dA . L'integrazione analitica di questa espressione si presenta estremamente complessa specialmente nel caso di carichi distribuiti in modo non uniforme. Pertanto si ricorre a metodi di soluzione numerica. Dato il carico agente sulla fondazione, la tensione indotta in un punto $P(x,y,z)$, posto alla profondità z , si ottiene sommando i contributi di tutte le areole di carico calcolati come nella formula di Westergaard.

Per il calcolo dei cedimenti, è stata impostata un'altezza dello strato compressibile legato alla percentuale tensionale. In particolare la percentuale impostata è: 0,05 (%).

L'ipotesi edometrica è verificata con approssimazione tanto migliore quanto più ridotto è il valore del rapporto tra lo spessore dello strato compressibile e la dimensione in pianta della fondazione.

L'implementazione del metodo è espressa secondo la seguente espressione:

$$\Delta H = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \sigma_i}{E_{ed,i}} \Delta z_i$$

dove:

$\Delta \sigma$ è la tensione indotta nel terreno, alla profondità z , dalla pressione di contatto della fondazione;

E_{ed} è il modulo elastico determinato attraverso la prova edometrica e relativa allo strato i -esimo;

Δz rappresenta lo spessore dello strato i -esimo in cui è stato suddiviso lo strato compressibile e per il quale si conosce il modulo elastico.

Nei terreni coesivi è stato analizzato il decorso dei cedimenti nel tempo. Il coefficiente di

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 42 di 106

consolidazione del processo unidimensionale considerato, è stato ricavato dalla relazione:

$$C_v = k E_{ed} / \gamma_w$$

La curva teorica della consolidazione edometrica di Terzaghi prevede, nella parte terminale, un asintoto orizzontale. Le curve sperimentali mostrano invece un asintoto inclinato. Tale differenza, più o meno marcata a seconda del tipo di terreno, è dovuta alle deformazioni viscosi dello scheletro solido. Deformazioni che avvengono anche a pressione efficace costante, e quindi anche a consolidazione primaria esaurita. La pendenza dell'asintoto inclinato nel piano semilogaritmico e-log(t), è detto indice di compressione secondaria (C_α). Nei casi in esame il cedimento ottenuto con il metodo edometrico è stato incrementato andando a considerare un rapporto C_α / C_c pari a 0.025.

Per ciascuna sezione ferroviaria di calcolo è stato considerato un sovraccarico uniformemente distribuito in senso longitudinale pari a 40 kN/m sul rilevato; tale carico considera i pesi propri dovuti a:

- Peso proprio muretti porta-ballast (≈ 8 kN/m)
- Peso proprio cordoli laterali (≈ 8 kN/m)
- Peso proprio canalette porta impianti (≈ 5 kN/m)
- Peso proprio barriere fonoassorbenti (≈ 16 kN/m)

La sezione di progetto adottata per i rilevati, considera un materiale omogeneo che comprende anche gli strati di supercompattato, sub-ballast e ballast. Tale scelta risulta a vantaggio di sicurezza se si confrontano le caratteristiche sia fisiche che meccaniche del materiale considerato, rispetto a quelli realmente presenti.

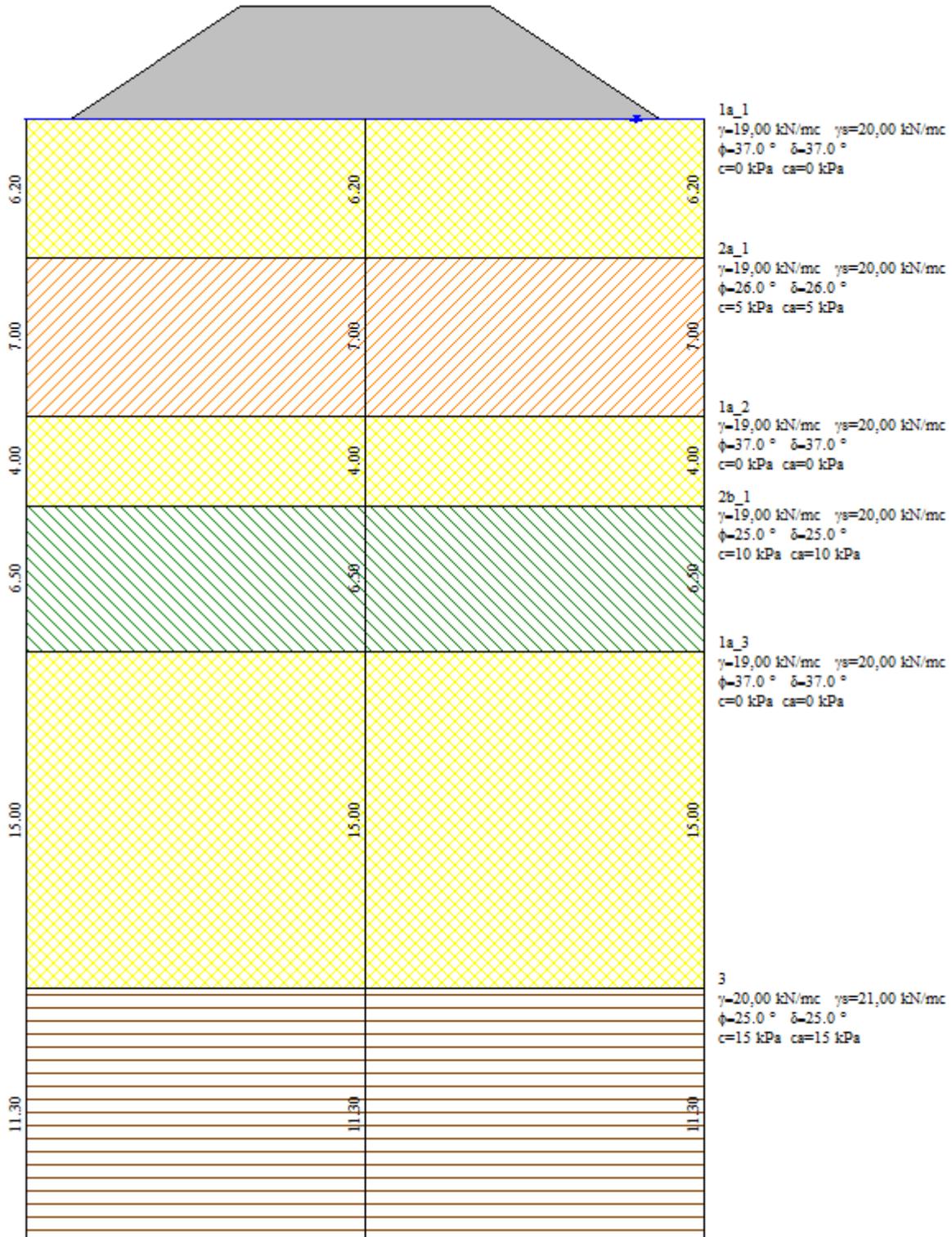
Nel caso del rilevato alla progressiva 0+925,00, la piena è stata considerata come un incremento di carico alla base del rilevato pari a $\gamma_w \times B \times H_w$.

Il calcolo dei cedimenti è stato effettuato in diversi punti al di sotto del rilevato (tra cui nel baricentro della base e agli estremi) caratterizzati da una coordinata X con origine nel baricentro della base.

In Appendice G si riportano i risultati completi.

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 43 di 106

9.2.1 Rilevato Ferroviario spalla A (Stratigrafia Tratto A)



APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B
					Foglio 44 di 106

Cedimento complessivo

Simbologia adottata

cmb Identificativo della combinazione

w_f cedimento finale espresso in [cm]

H spessore strato compressibile espresso in [m]

X coordinata X punto di calcolo cedimento espressa in [m]

Y coordinata Y punto di calcolo cedimento espressa in [m]

cmb	w_f	H	X	Y
	[cm]	[m]	[m]	[m]
1	9,49	34,80	0,00	0,00
1	3,66	29,50	-13,50	0,00
1	3,66	29,50	13,50	0,00
1	8,12	33,90	-6,00	0,00
1	8,12	33,90	6,00	0,00

Cedimento dei singoli strati

Simbologia adottata

Strato Identificativo dello strato

Terreno Terreno dello strato

ΔH Spessore dello strato espresso in [m]

Δw Cedimento dello strato espresso in [cm]

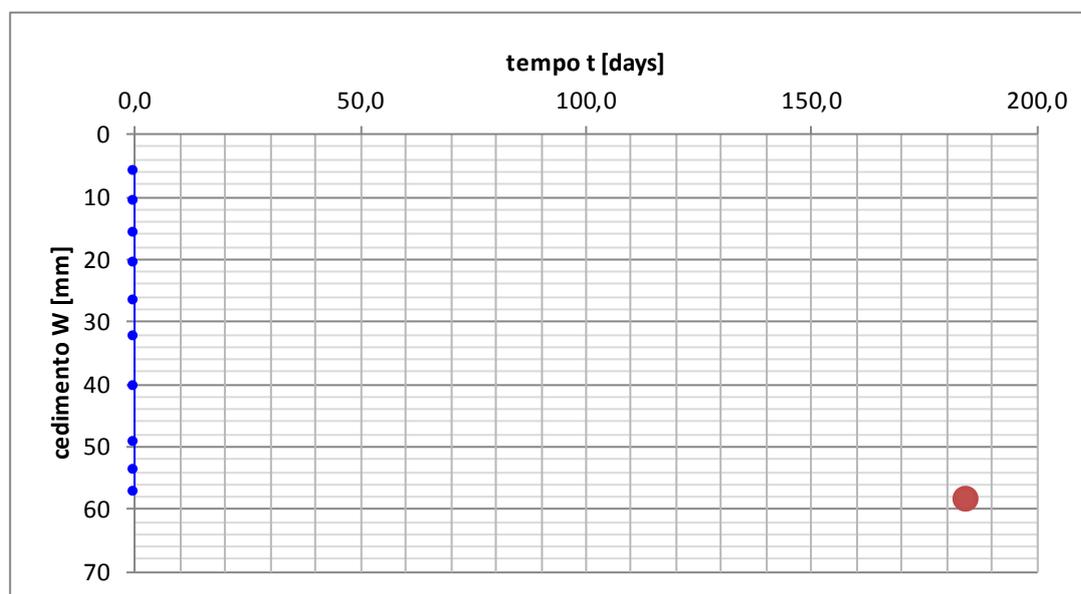
Strato	Terreno	ΔH	Δw
		[cm]	[cm]
1	1a_1	6,20	0,9095
2	2a_1	7,00	5,6412
3	1a_2	4,00	0,2354
4	2b_1	6,50	2,3885
5	1a_3	11,10	0,3203
		34,80	9,4950

Per i soli cedimenti che si sviluppano nei terreni coesivi (Unità 2a), si è analizzato il decorso dei cedimenti nel tempo. L'analisi è effettuata sullo strato più superficiale in quanto presenta cedimenti maggiori e percorsi di filtrazione maggiori. In considerazione del coefficiente di consolidazione ricavato a partire dal valore di permeabilità e dal modulo edometrico, i cedimenti residui che si sviluppano a seguito del piano di posa del ballast risultano ammissibili (ovvero inferiori al 10% del cedimento totale e comunque inferiori a 5cm). In particolare si nota che per l'elevata permeabilità e per i brevi percorsi di filtrazione, il processo di consolidazione è molto rapido. L'unità 3, caratterizzata da tempi di consolidazione più lunghi, è interessata da cedimenti trascurabili.

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 45 di 106

W_{TOTALE}	95	mm	cedimento totale
W_{COMP}	56	mm	cedimento edometrico dello strato compressibile
C_{α}/C_c	0,025		valore di riferimento dell'indice di consolidazione secondari
$W_{EDOMETRICO}$	58	mm	cedimento finale con consolidazione secondaria
C_v	6,83E-03	m ² /s	coefficiente di consolidazione
H	3,5	m	lunghezza percorso di filtrazione

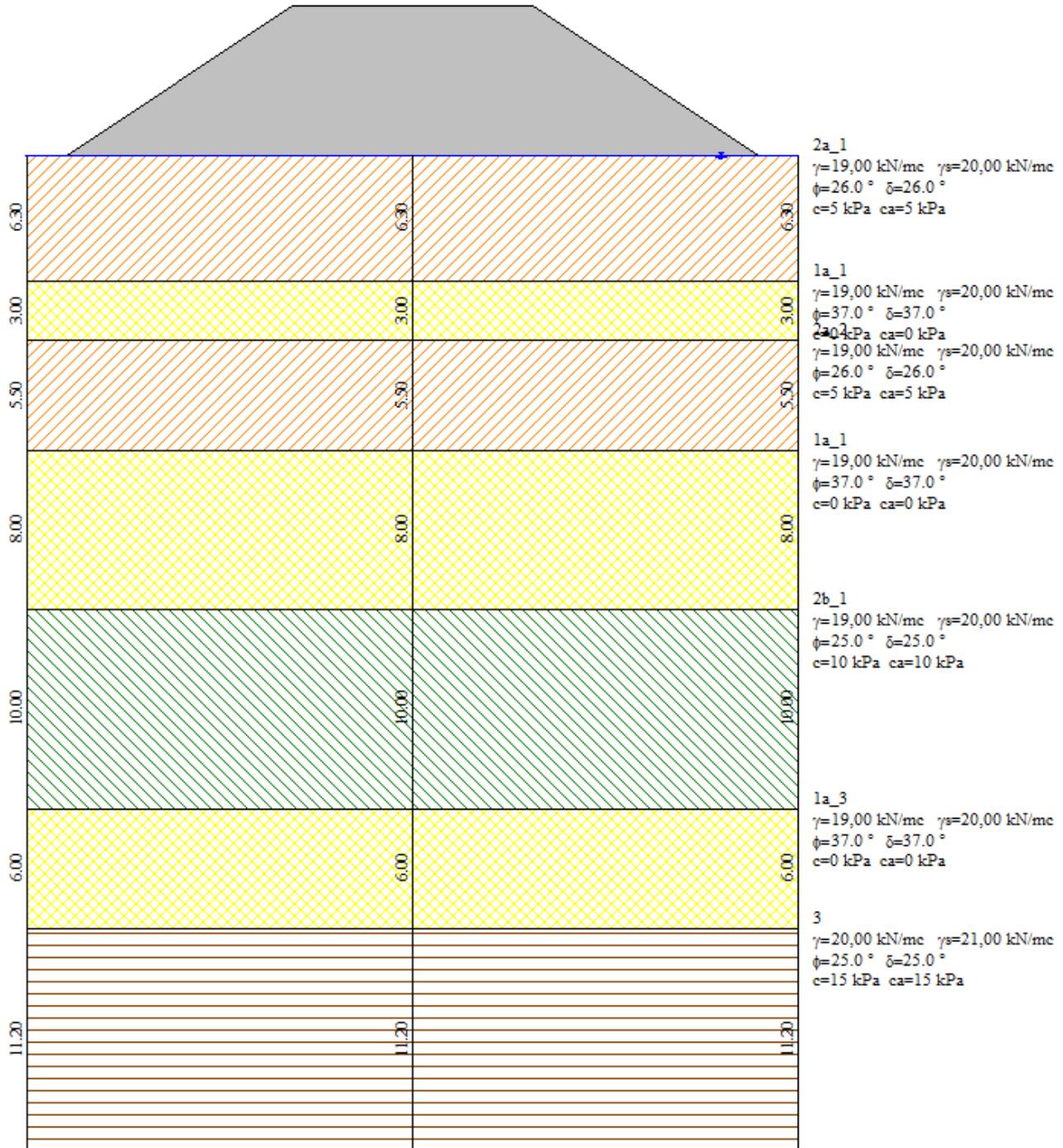
T	U	t				W (mm)
		(s)	(day)	(month)	(year)	
0,008	0,1038	1,44E+01	0,0	0,00	0,00	6
0,028	0,1889	5,03E+01	0,0	0,00	0,00	11
0,06	0,2764	1,08E+02	0,0	0,00	0,00	16
0,1	0,3562	1,79E+02	0,0	0,00	0,00	21
0,167	0,461	3,00E+02	0,0	0,00	0,00	27
0,25	0,5622	4,49E+02	0,0	0,00	0,00	33
0,4	0,6973	7,18E+02	0,0	0,00	0,00	40
0,7	0,8559	1,26E+03	0,0	0,00	0,00	49
1	0,9313	1,79E+03	0,0	0,00	0,00	54
2	0,9942	3,59E+03	0,0	0,00	0,00	57



$t_{residuo}$	184	day	giorni tra la realizzazione del rilevato e la fine dell'opera
$W_{avvenuto}$	58	mm	cedimento avvenuto
$W_{residuo}$	0	mm	cedimento residuo
W_{amm}	9	mm	cedimento residuo ammissibile

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B Foglio 46 di 106

9.2.2 Rilevato Ferroviario spalla B (Stratigrafia Tratto E)



APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B Foglio 47 di 106

Cedimento complessivo

Simbologia adottata

cmb Identificativo della combinazione

w_f cedimento finale espresso in [cm]

H spessore strato compressibile espresso in [m]

X coordinata X punto di calcolo cedimento espressa in [m]

Y coordinata Y punto di calcolo cedimento espressa in [m]

cmb	w_f	H	X	Y
	[cm]	[m]	[m]	[m]
1	20,43	45,80	0,00	0,00
1	5,86	39,50	-17,30	0,00
1	5,86	39,50	17,30	0,00
1	18,66	45,10	-6,00	0,00
1	18,66	45,10	6,00	0,00

Cedimento dei singoli strati

Simbologia adottata

Strato Identificativo dello strato

Terreno Terreno dello strato

ΔH Spessore dello strato espresso in [m]

Δw Cedimento dello strato espresso in [cm]

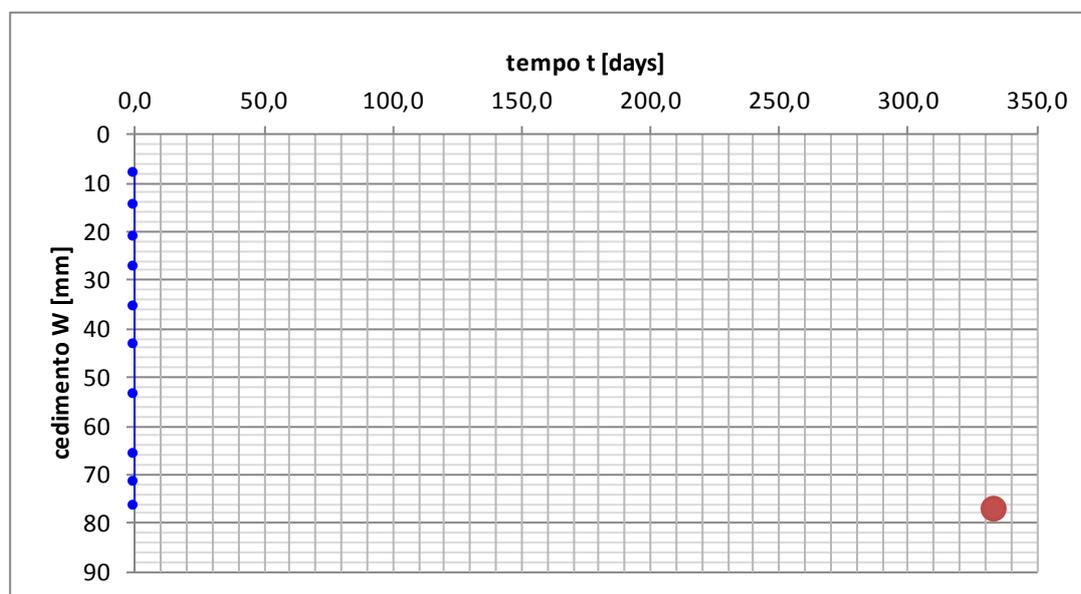
Strato	Terreno	ΔH	Δw
		[cm]	[cm]
1	2a_1	6,30	7,5255
2	1a_1	3,00	0,4863
3	2a_2	5,50	6,2918
4	1a_1	8,00	0,9012
5	2b_1	10,00	4,0327
6	1a_3	6,00	0,2452
7	3	7,00	0,9480
		45,80	20,4307

Per i soli cedimenti che si sviluppano nei terreni coesivi (Unità 2a), si è analizzato il decorso dei cedimenti nel tempo. L'analisi è effettuata sullo strato più superficiale in quanto presenta cedimenti maggiori e percorsi di filtrazione maggiori. In considerazione del coefficiente di consolidazione ricavato a partire dal valore di permeabilità e dal modulo edometrico, i cedimenti residui che si sviluppano a seguito del piano di posa del ballast risultano ammissibili (ovvero inferiori al 10% del cedimento totale e comunque inferiori a 5cm). In particolare si nota che per l'elevata permeabilità e per i brevi percorsi di filtrazione, il processo di consolidazione è molto rapido. L'unità 3, caratterizzata da tempi di consolidazione più lunghi, è interessata da cedimenti trascurabili.

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 48 di 106

W_{TOTALE}	204	mm	cedimento totale
W_{COMP}	75	mm	cedimento edometrico dello strato compressibile
C_{α}/C_c	0,025		valore di riferimento dell'indice di consolidazione secondari
$W_{EDOMETRICO}$	77	mm	cedimento finale con consolidazione secondaria
C_v	7,80E-03	m ² /s	coefficiente di consolidazione
H	3,15	m	lunghezza percorso di filtrazione

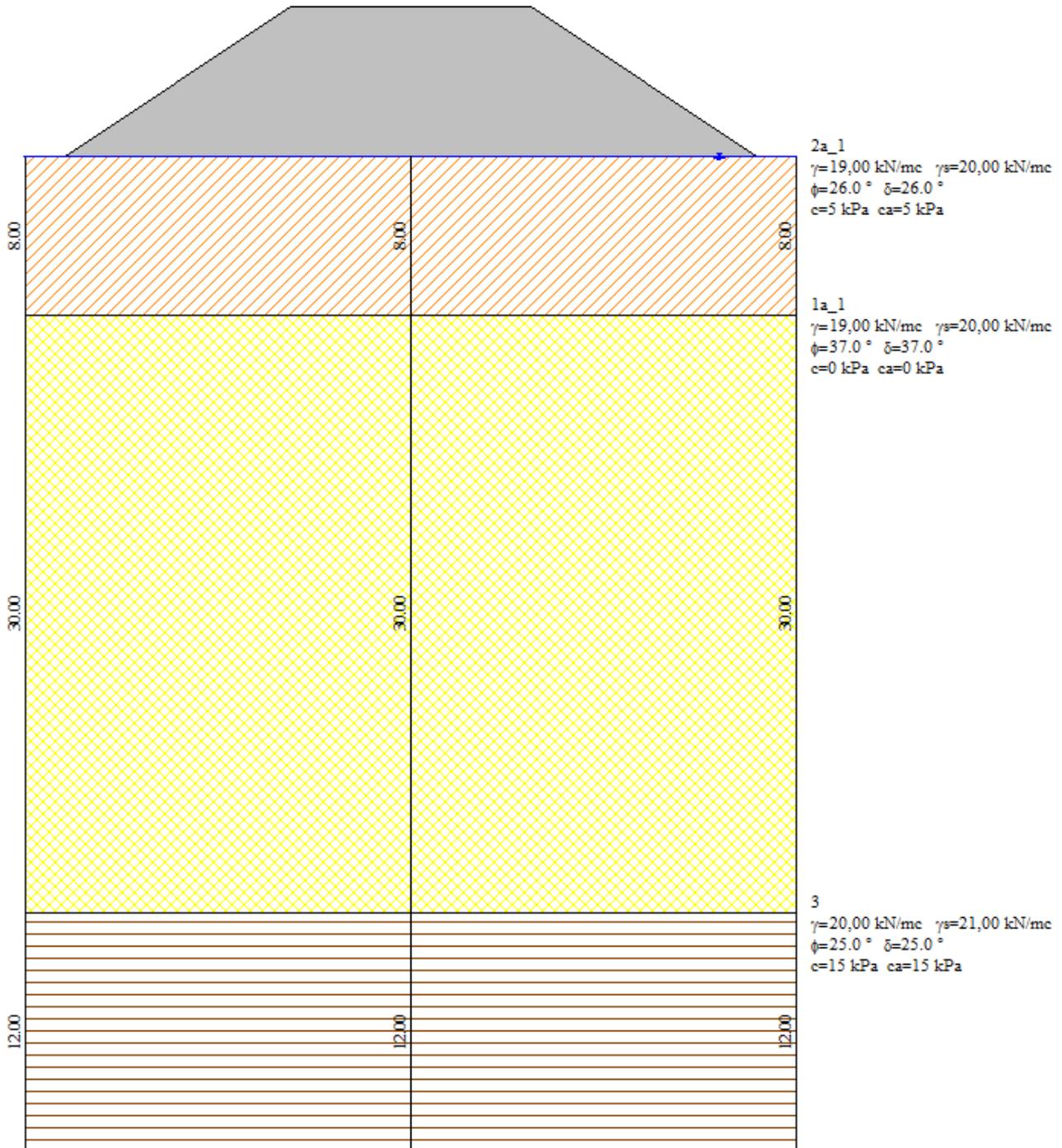
T	U	t				W (mm)
		(s)	(day)	(month)	(year)	
0,008	0,1038	1,02E+01	0,0	0,00	0,00	8
0,028	0,1889	3,56E+01	0,0	0,00	0,00	15
0,06	0,2764	7,63E+01	0,0	0,00	0,00	21
0,1	0,3562	1,27E+02	0,0	0,00	0,00	27
0,167	0,461	2,12E+02	0,0	0,00	0,00	36
0,25	0,5622	3,18E+02	0,0	0,00	0,00	43
0,4	0,6973	5,09E+02	0,0	0,00	0,00	54
0,7	0,8559	8,90E+02	0,0	0,00	0,00	66
1	0,9313	1,27E+03	0,0	0,00	0,00	72
2	0,9942	2,54E+03	0,0	0,00	0,00	77



$t_{residuo}$	333	day	giorni tra la realizzazione del rilevato e la fine dell'opera
$W_{avvenuto}$	77	mm	cedimento avvenuto
$W_{residuo}$	0	mm	cedimento residuo
W_{amm}	20	mm	cedimento residuo ammissibile

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B Foglio 49 di 106

9.2.3 Rilevato Ferroviario spalla B (Stratigrafia Tratto F)



APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 50 di 106

Cedimento complessivo

Simbologia adottata

cmb Identificativo della combinazione

w_f cedimento finale espresso in [cm]

H spessore strato compressibile espresso in [m]

X coordinata X punto di calcolo cedimento espressa in [m]

Y coordinata Y punto di calcolo cedimento espressa in [m]

cmb	w_f	H	X	Y
	[cm]	[m]	[m]	[m]
1	12,43	45,70	0,00	0,00
1	2,08	39,40	-17,30	0,00
1	2,08	39,40	17,30	0,00
1	11,38	45,00	-6,00	0,00
1	11,38	45,00	6,00	0,00

Cedimento dei singoli strati

Simbologia adottata

Strato Identificativo dello strato

Terreno Terreno dello strato

ΔH Spessore dello strato espresso in [m]

Δw Cedimento dello strato espresso in [cm]

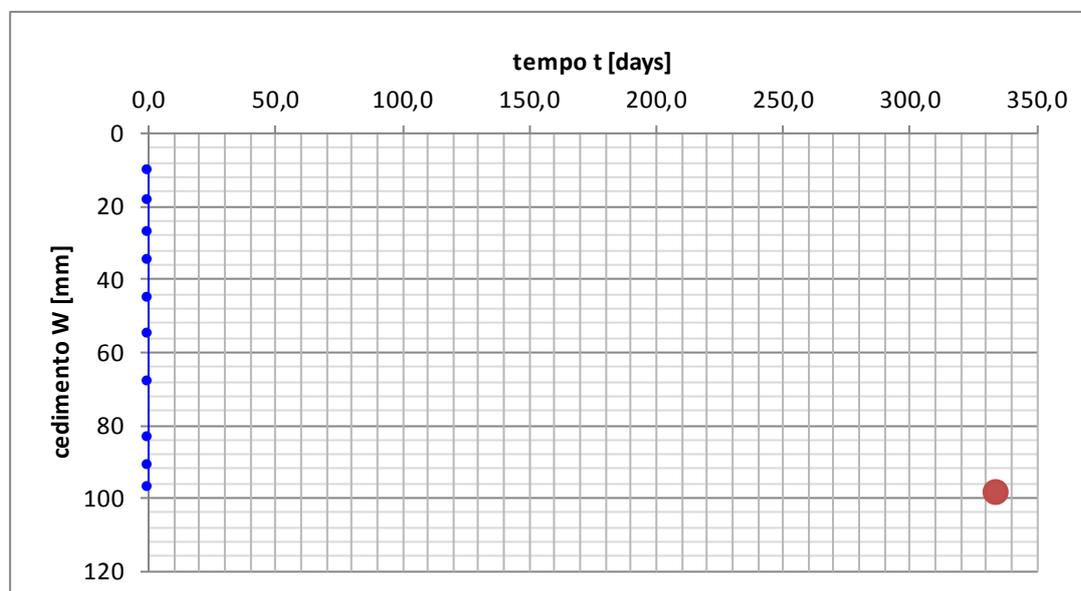
Strato	Terreno	ΔH	Δw
		[cm]	[cm]
1	2a_1	8,00	9,5424
2	1a_1	30,00	1,8322
3	3	7,70	1,0532
		45,70	12,4278

Per i soli cedimenti che si sviluppano nei terreni coesivi (Unità 2a), si è analizzato il decorso dei cedimenti nel tempo. L'analisi è effettuata sullo strato più superficiale in quanto presenta cedimenti maggiori e percorsi di filtrazione maggiori. In considerazione del coefficiente di consolidazione ricavato a partire dal valore di permeabilità e dal modulo edometrico, i cedimenti residui che si sviluppano a seguito del piano di posa del ballast risultano ammissibili (ovvero inferiori al 10% del cedimento totale e comunque inferiori a 5cm). In particolare si nota che per l'elevata permeabilità e per i brevi percorsi di filtrazione, il processo di consolidazione è molto rapido. L'unità 3, caratterizzata da tempi di consolidazione più lunghi, è interessata da cedimenti trascurabili.

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B Foglio 51 di 106

W_{TOTALE}	124	mm	cedimento totale
W_{COMP}	95	mm	cedimento edometrico dello strato compressibile
C_{α}/C_c	0,025		valore di riferimento dell'indice di consolidazione secondari
$W_{EDOMETRICO}$	98	mm	cedimento finale con consolidazione secondaria
C_v	7,80E-03	m ² /s	coefficiente di consolidazione
H	4	m	lunghezza percorso di filtrazione

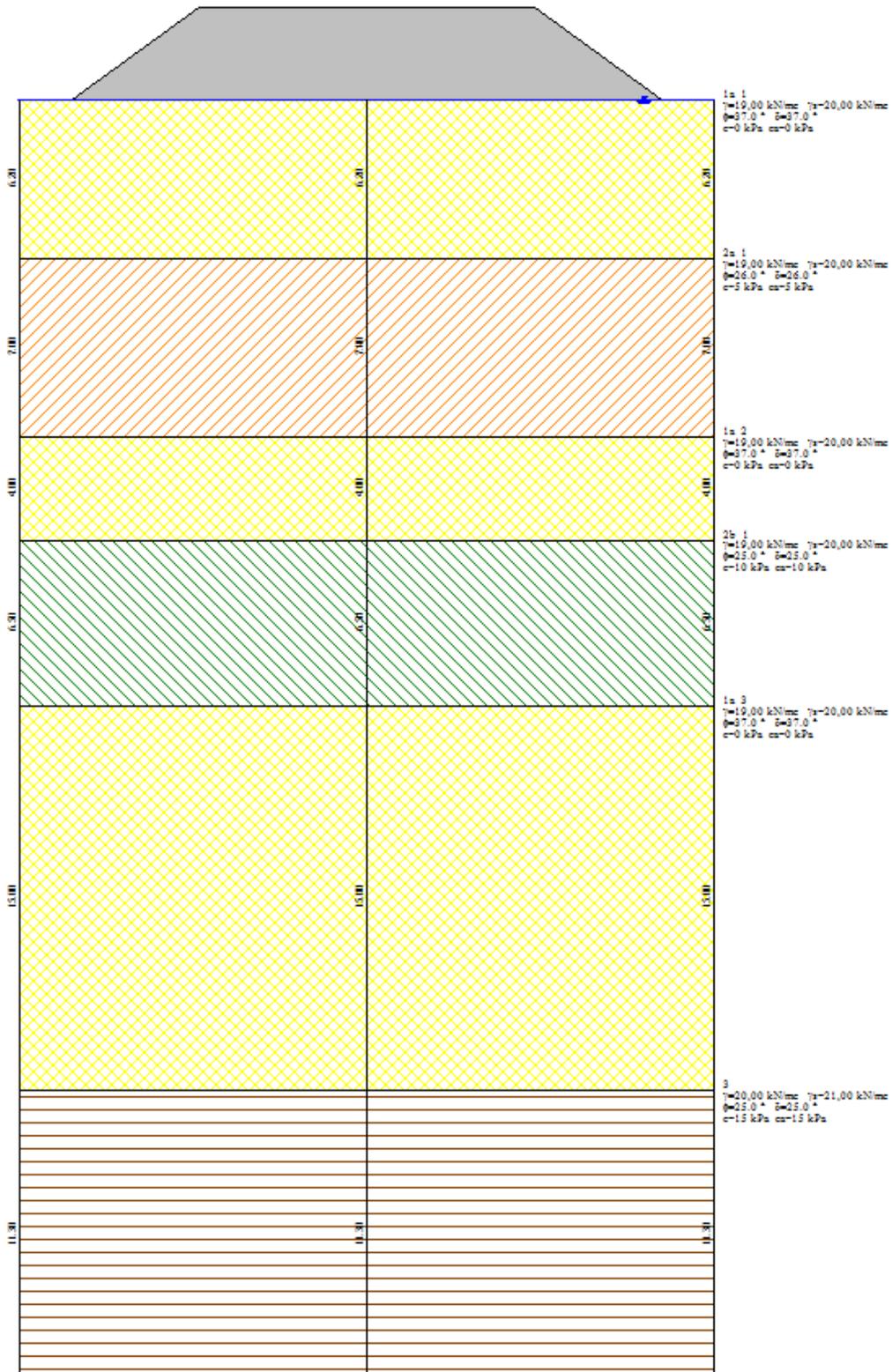
T	U	t				W (mm)
		(s)	(day)	(month)	(year)	
0,008	0,1038	1,64E+01	0,0	0,00	0,00	10
0,028	0,1889	5,74E+01	0,0	0,00	0,00	18
0,06	0,2764	1,23E+02	0,0	0,00	0,00	27
0,1	0,3562	2,05E+02	0,0	0,00	0,00	35
0,167	0,461	3,43E+02	0,0	0,00	0,00	45
0,25	0,5622	5,13E+02	0,0	0,00	0,00	55
0,4	0,6973	8,21E+02	0,0	0,00	0,00	68
0,7	0,8559	1,44E+03	0,0	0,00	0,00	84
1	0,9313	2,05E+03	0,0	0,00	0,00	91
2	0,9942	4,10E+03	0,0	0,00	0,00	97



$t_{residuo}$	333	day	giorni tra la realizzazione del rilevato e la fine dell'opera
$W_{avvenuto}$	98	mm	cedimento avvenuto
$W_{residuo}$	0	mm	cedimento residuo
W_{amm}	12	mm	cedimento residuo ammissibile

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 52 di 106

9.2.4 Rilevato Ferroviario prog. 0+925,00 (Stratigrafia Tratto A)



APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 53 di 106

Cedimento complessivo

Simbologia adottata

cmb Identificativo della combinazione

w_f cedimento finale espresso in [cm]

H spessore strato compressibile espresso in [m]

X coordinata X punto di calcolo cedimento espressa in [m]

Y coordinata Y punto di calcolo cedimento espressa in [m]

cmb	w_f	H	X	Y
	[cm]	[m]	[m]	[m]
1	9,26	33,70	0,00	0,00
1	4,16	29,80	-11,50	0,00
1	4,16	29,80	11,50	0,00
1	7,51	32,50	-6,50	0,00
1	7,51	32,50	6,50	0,00

Cedimento dei singoli strati

Simbologia adottata

Strato Identificativo dello strato

Terreno Terreno dello strato

ΔH Spessore dello strato espresso in [m]

Δw Cedimento dello strato espresso in [cm]

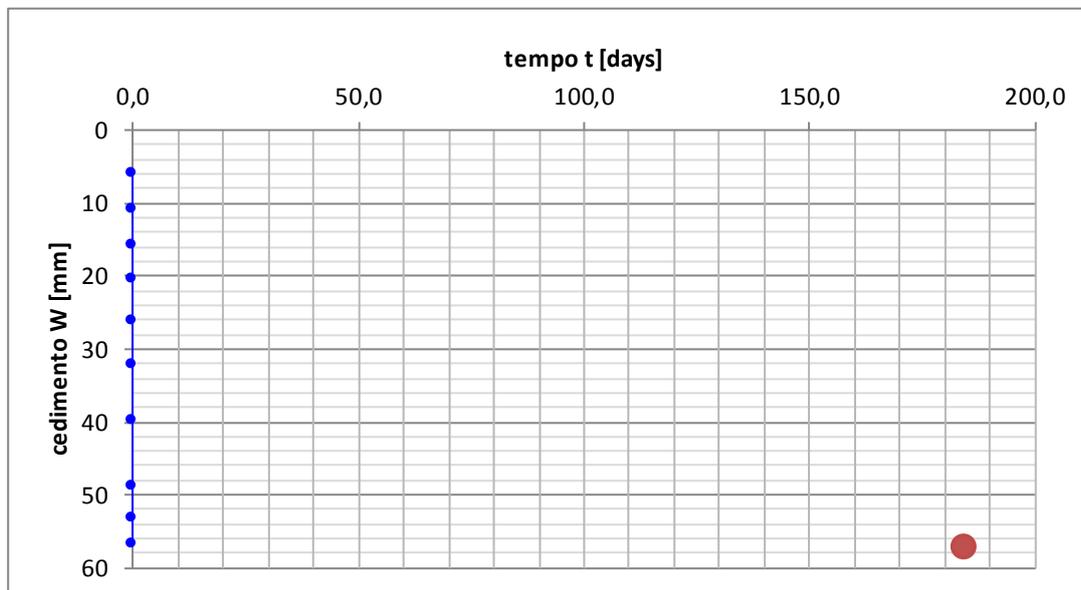
Strato	Terreno	ΔH	Δw
		[cm]	[cm]
1	1a_1	6,20	0,9031
2	2a_1	7,00	5,5689
3	1a_2	4,00	0,2276
4	2b_1	6,50	2,2803
5	1a_3	10,00	0,2765
		33,70	9,2564

Per i soli cedimenti che si sviluppano nei terreni coesivi (Unità 2a), si è analizzato il decorso dei cedimenti nel tempo. L'analisi è effettuata sullo strato più superficiale in quanto presenta cedimenti maggiori e percorsi di filtrazione maggiori. In considerazione del coefficiente di consolidazione ricavato a partire dal valore di permeabilità e dal modulo edometrico, i cedimenti residui che si sviluppano a seguito del piano di posa del ballast risultano ammissibili (ovvero inferiori al 10% del cedimento totale e comunque inferiori a 5cm). In particolare si nota che per l'elevata permeabilità e per i brevi percorsi di filtrazione, il processo di consolidazione è molto rapido. L'unità 3, caratterizzata da tempi di consolidazione più lunghi, è interessata da cedimenti trascurabili.

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 54 di 106

W_{TOTALE}	93	mm	cedimento totale
W_{COMP}	56	mm	cedimento edometrico dello strato compressibile
C_{α}/C_c	0,025		valore di riferimento dell'indice di consolidazione secondari
$W_{EDOMETRICO}$	57	mm	cedimento finale con consolidazione secondaria
C_v	6,83E-03	m ² /s	coefficiente di consolidazione
H	3,5	m	lunghezza percorso di filtrazione

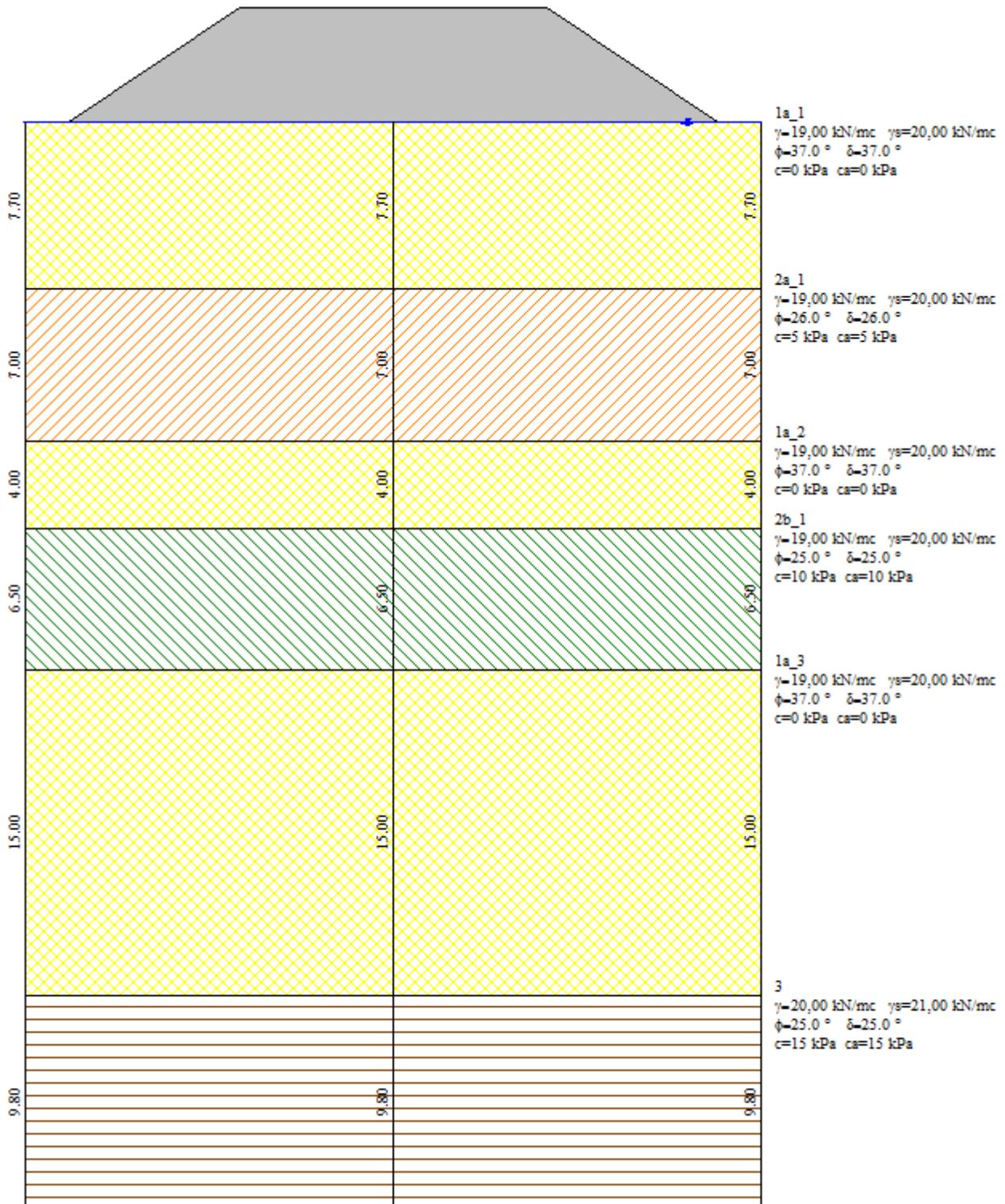
T	U	t				W (mm)
		(s)	(day)	(month)	(year)	
0,008	0,1038	1,44E+01	0,0	0,00	0,00	6
0,028	0,1889	5,03E+01	0,0	0,00	0,00	11
0,06	0,2764	1,08E+02	0,0	0,00	0,00	16
0,1	0,3562	1,79E+02	0,0	0,00	0,00	20
0,167	0,461	3,00E+02	0,0	0,00	0,00	26
0,25	0,5622	4,49E+02	0,0	0,00	0,00	32
0,4	0,6973	7,18E+02	0,0	0,00	0,00	40
0,7	0,8559	1,26E+03	0,0	0,00	0,00	49
1	0,9313	1,79E+03	0,0	0,00	0,00	53
2	0,9942	3,59E+03	0,0	0,00	0,00	57



$t_{residuo}$	184	day	giorni tra la realizzazione del rilevato e la fine dell'opera
$W_{avvenuto}$	57	mm	cedimento avvenuto
$W_{residuo}$	0	mm	cedimento residuo
W_{amm}	9	mm	cedimento residuo ammissibile

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 55 di 106

9.2.5 Rilevato SS16 spalla A (Stratigrafia Tratto SS16)



APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B
					Foglio 56 di 106

Cedimento complessivo

Simbologia adottata

cmb Identificativo della combinazione

w_f cedimento finale espresso in [cm]

H spessore strato compressibile espresso in [m]

X coordinata X punto di calcolo cedimento espressa in [m]

Y coordinata Y punto di calcolo cedimento espressa in [m]

cmb	w_f	H	X	Y
	[cm]	[m]	[m]	[m]
1	9,19	36,00	0,00	0,00
1	3,68	29,90	-14,85	0,00
1	3,68	29,90	14,85	0,00
1	7,80	34,80	-7,05	0,00
1	7,80	34,80	7,05	0,00

Cedimento dei singoli strati

Simbologia adottata

Strato Identificativo dello strato

Terreno Terreno dello strato

ΔH Spessore dello strato espresso in [m]

Δw Cedimento dello strato espresso in [cm]

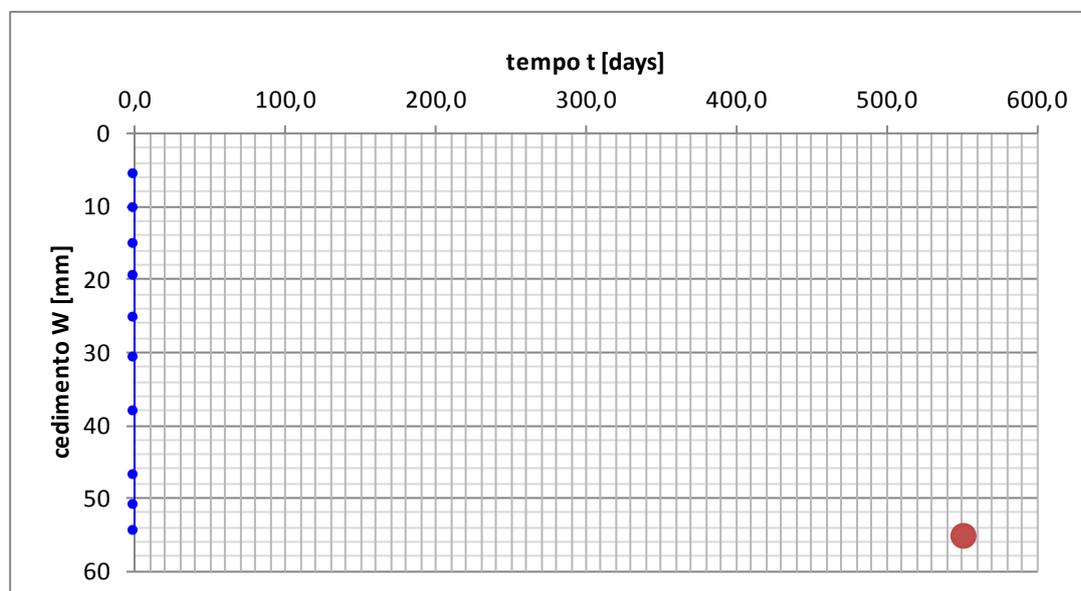
Strato	Terreno	ΔH	Δw
		[cm]	[cm]
1	1a_1	7,70	0,9239
2	2a_1	7,00	5,3573
3	1a_2	4,00	0,2186
4	2b_1	6,50	2,3728
5	1a_3	10,80	0,3178
		36,00	9,1904

Per i soli cedimenti che si sviluppano nei terreni coesivi (Unità 2a), si è analizzato il decorso dei cedimenti nel tempo. L'analisi è effettuata sullo strato più superficiale in quanto presenta cedimenti maggiori e percorsi di filtrazione maggiori. In considerazione del coefficiente di consolidazione ricavato a partire dal valore di permeabilità e dal modulo edometrico, i cedimenti residui che si sviluppano a seguito del piano di posa del ballast risultano ammissibili (ovvero inferiori al 10% del cedimento totale e comunque inferiori a 5cm). In particolare si nota che per l'elevata permeabilità e per i brevi percorsi di filtrazione, il processo di consolidazione è molto rapido. L'unità 3, caratterizzata da tempi di consolidazione più lunghi, è interessata da cedimenti trascurabili.

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 57 di 106

W_{TOTALE}	92	mm	cedimento totale
W_{COMP}	54	mm	cedimento edometrico dello strato compressibile
C_{α}/C_c	0,025		valore di riferimento dell'indice di consolidazione secondari
$W_{EDOMETRICO}$	55	mm	cedimento finale con consolidazione secondaria
C_v	6,83E-03	m ² /s	coefficiente di consolidazione
H	3,5	m	lunghezza percorso di filtrazione

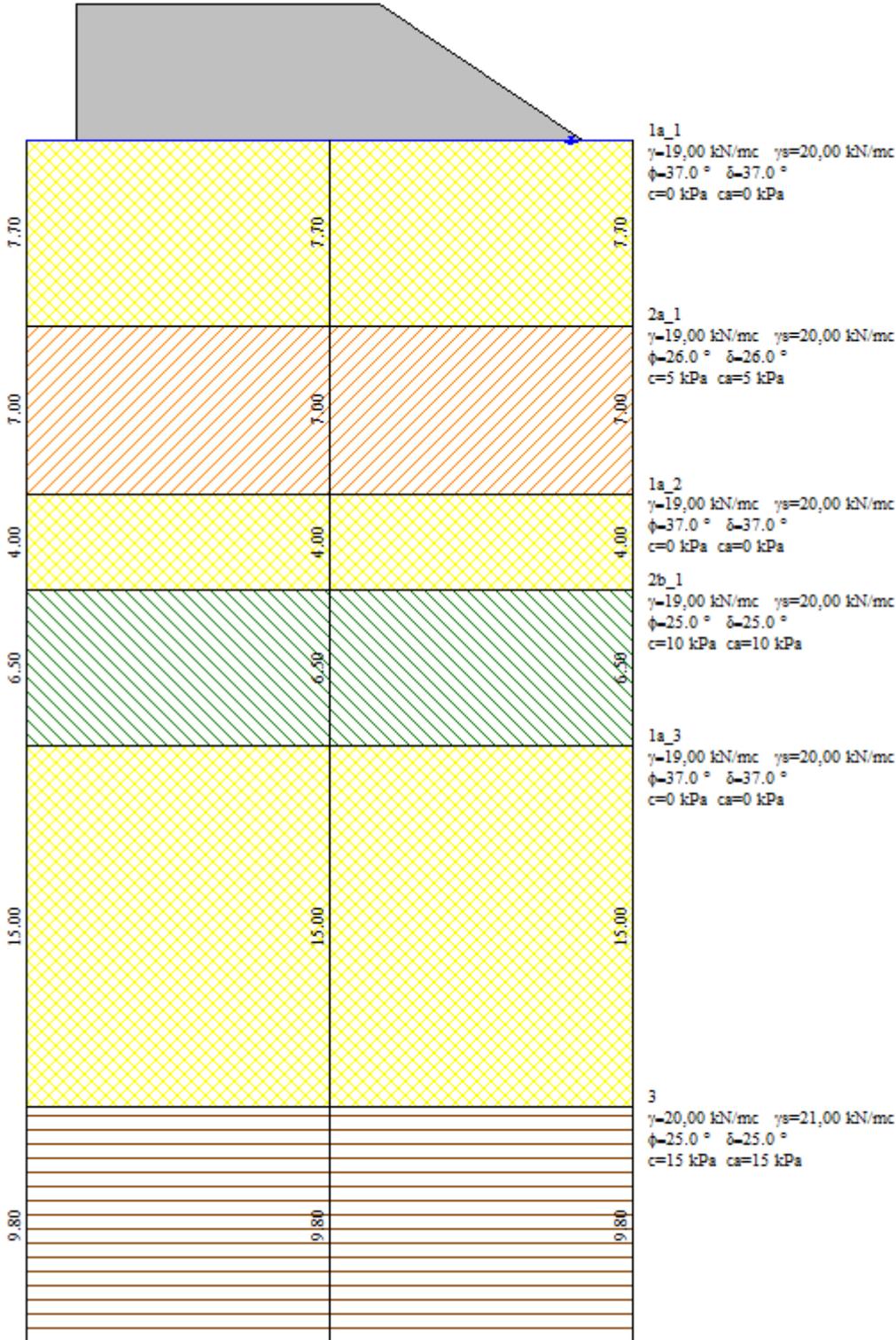
T	U	t				W (mm)
		(s)	(day)	(month)	(year)	
0,008	0,1038	1,44E+01	0,0	0,00	0,00	6
0,028	0,1889	5,03E+01	0,0	0,00	0,00	10
0,06	0,2764	1,08E+02	0,0	0,00	0,00	15
0,1	0,3562	1,79E+02	0,0	0,00	0,00	20
0,167	0,461	3,00E+02	0,0	0,00	0,00	25
0,25	0,5622	4,49E+02	0,0	0,00	0,00	31
0,4	0,6973	7,18E+02	0,0	0,00	0,00	38
0,7	0,8559	1,26E+03	0,0	0,00	0,00	47
1	0,9313	1,79E+03	0,0	0,00	0,00	51
2	0,9942	3,59E+03	0,0	0,00	0,00	55



$t_{residuo}$	550	day	giorni tra la realizzazione del rilevato e la fine dell'opera
$W_{avvenuto}$	55	mm	cedimento avvenuto
$W_{residuo}$	0	mm	cedimento residuo
W_{amm}	9	mm	cedimento residuo ammissibile

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 58 di 106

9.2.6 Rilevato SS16 spalla B (Stratigrafia Tratto SS16)



APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B
					Foglio 59 di 106

Cedimento complessivo

Simbologia adottata

cmb Identificativo della combinazione

w_f cedimento finale espresso in [cm]

H spessore strato compressibile espresso in [m]

X coordinata X punto di calcolo cedimento espressa in [m]

Y coordinata Y punto di calcolo cedimento espressa in [m]

cmb	w_f	H	X	Y
	[cm]	[m]	[m]	[m]
1	8,54	33,20	0,00	0,00
1	5,89	31,30	-10,60	0,00
1	3,58	28,40	10,60	0,00
1	8,01	32,90	1,90	0,00

Cedimento dei singoli strati

Simbologia adottata

Strato Identificativo dello strato

Terreno Terreno dello strato

ΔH Spessore dello strato espresso in [m]

Δw Cedimento dello strato espresso in [cm]

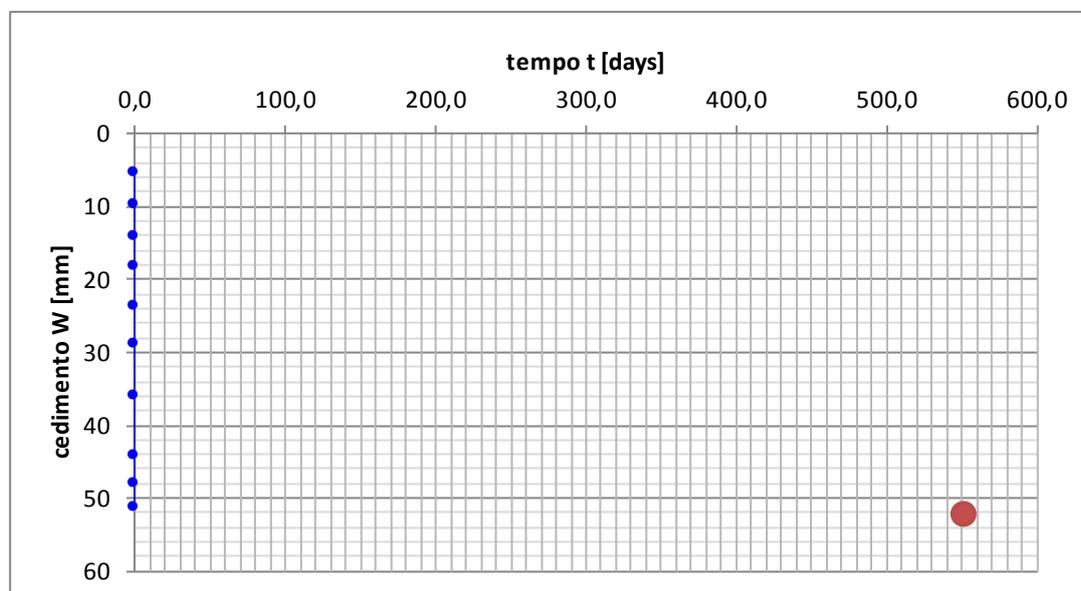
Strato	Terreno	ΔH	Δw
		[cm]	[cm]
1	1a_1	7,70	1,0070
2	2a_1	7,00	5,0364
3	1a_2	4,00	0,1969
4	2b_1	6,50	2,0921
5	1a_3	8,00	0,2116
		33,20	8,5439

Per i soli cedimenti che si sviluppano nei terreni coesivi (Unità 2a), si è analizzato il decorso dei cedimenti nel tempo. L'analisi è effettuata sullo strato più superficiale in quanto presenta cedimenti maggiori e percorsi di filtrazione maggiori. In considerazione del coefficiente di consolidazione ricavato a partire dal valore di permeabilità e dal modulo edometrico, i cedimenti residui che si sviluppano a seguito del piano di posa del ballast risultano ammissibili (ovvero inferiori al 10% del cedimento totale e comunque inferiori a 5cm). In particolare si nota che per l'elevata permeabilità e per i brevi percorsi di filtrazione, il processo di consolidazione è molto rapido. L'unità 3, caratterizzata da tempi di consolidazione più lunghi, è interessata da cedimenti trascurabili.

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 60 di 106

W_{TOTALE}	85	mm	cedimento totale
W_{COMP}	50	mm	cedimento edometrico dello strato compressibile
C_{α}/C_c	0,025		valore di riferimento dell'indice di consolidazione secondari
$W_{EDOMETRICO}$	52	mm	cedimento finale con consolidazione secondaria
C_v	6,83E-03	m ² /s	coefficiente di consolidazione
H	3,5	m	lunghezza percorso di filtrazione

T	U	t				W (mm)
		(s)	(day)	(month)	(year)	
0,008	0,1038	1,44E+01	0,0	0,00	0,00	5
0,028	0,1889	5,03E+01	0,0	0,00	0,00	10
0,06	0,2764	1,08E+02	0,0	0,00	0,00	14
0,1	0,3562	1,79E+02	0,0	0,00	0,00	18
0,167	0,461	3,00E+02	0,0	0,00	0,00	24
0,25	0,5622	4,49E+02	0,0	0,00	0,00	29
0,4	0,6973	7,18E+02	0,0	0,00	0,00	36
0,7	0,8559	1,26E+03	0,0	0,00	0,00	44
1	0,9313	1,79E+03	0,0	0,00	0,00	48
2	0,9942	3,59E+03	0,0	0,00	0,00	51



$t_{residuo}$	550	day	giorni tra la realizzazione del rilevato e la fine dell'opera
$W_{avvenuto}$	52	mm	cedimento avvenuto
$W_{residuo}$	0	mm	cedimento residuo
W_{amm}	9	mm	cedimento residuo ammissibile

APPALTATORE



**RICCIARDELLO
COSTRUZIONI**
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI



ITALFERR

GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Progetto
IA1Y

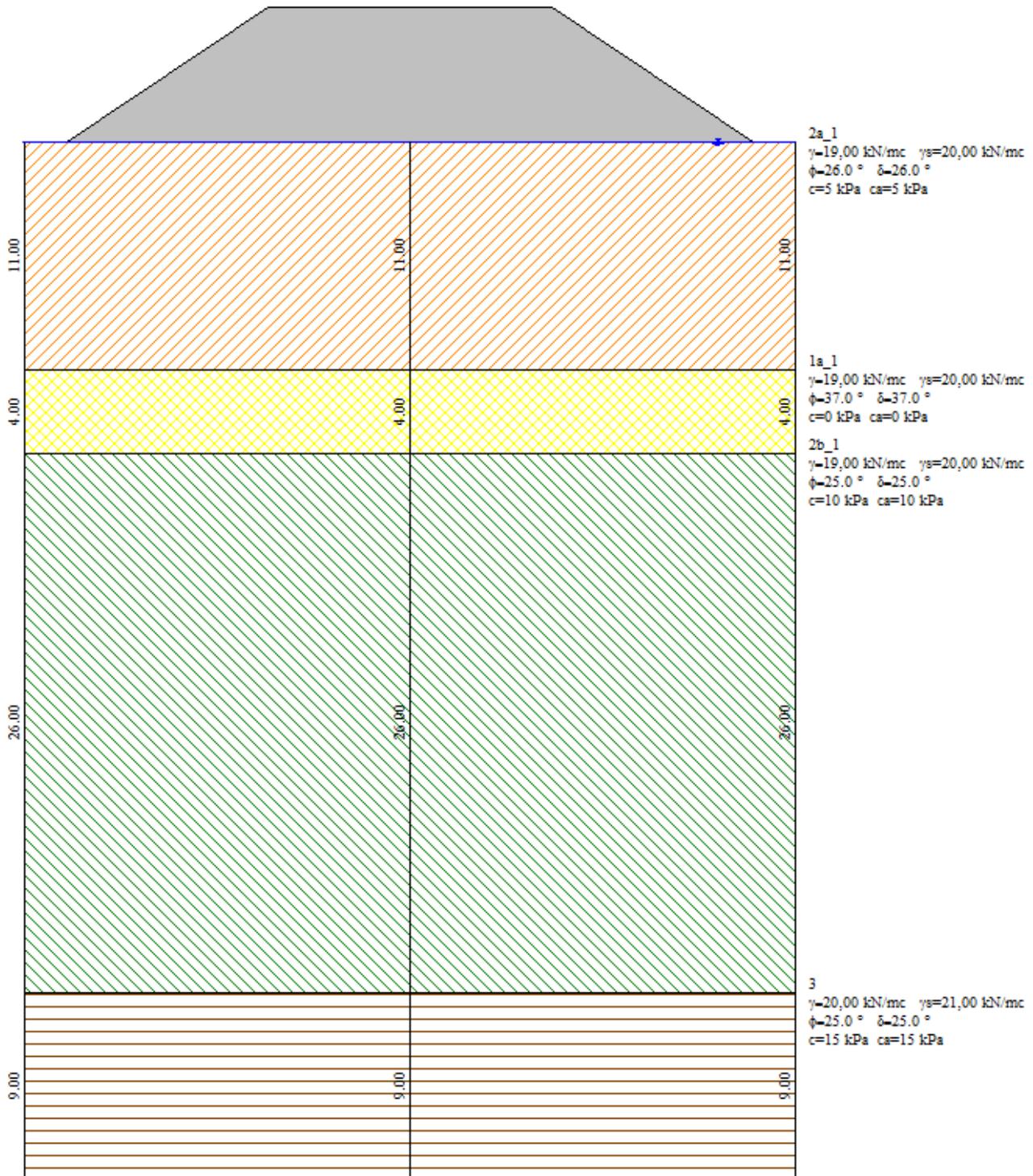
Lotto
00

Codifica Documento
RBGE0100001

Rev.
B

Foglio
61 di
106

9.2.7 Rilevato Caserme spalla A (Stratigrafia Tratto Caserme 2)



APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO CONSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 62 di 106

Cedimento complessivo

Simbologia adottata

cmb Identificativo della combinazione

w_f cedimento finale espresso in [cm]

H spessore strato compressibile espresso in [m]

X coordinata X punto di calcolo cedimento espressa in [m]

Y coordinata Y punto di calcolo cedimento espressa in [m]

cmb	w_f	H	X	Y
	[cm]	[m]	[m]	[m]
1	28,13	41,10	0,00	0,00
1	7,72	34,50	-16,45	0,00
1	7,72	34,50	16,45	0,00
1	24,50	40,20	-6,75	0,00
1	24,50	40,20	6,75	0,00

Cedimento dei singoli strati

Simbologia adottata

Strato Identificativo dello strato

Terreno Terreno dello strato

ΔH Spessore dello strato espresso in [m]

Δw Cedimento dello strato espresso in [cm]

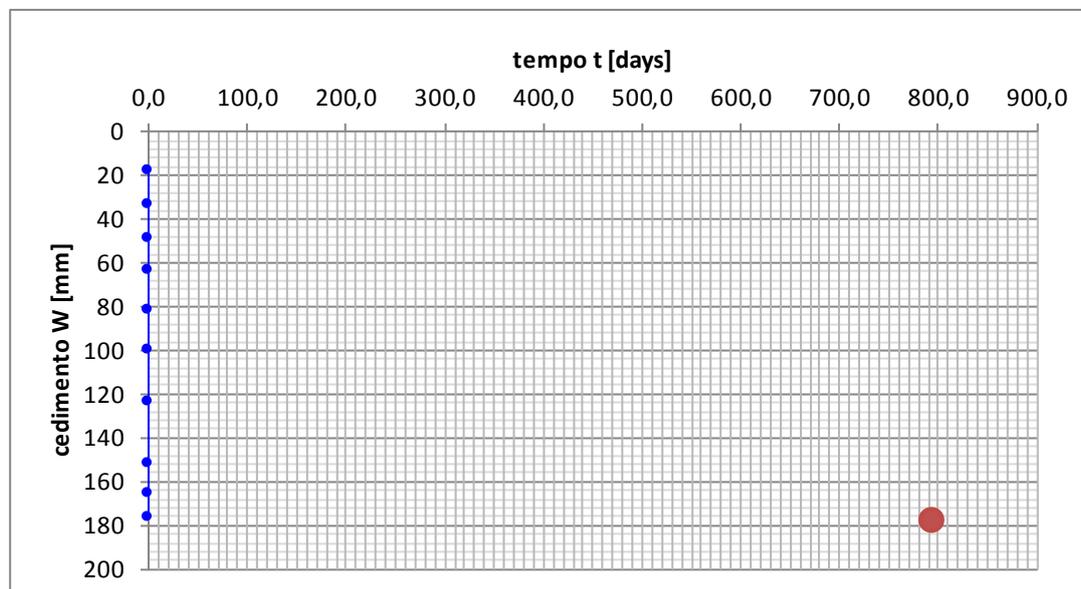
Strato	Terreno	ΔH	Δw
		[cm]	[cm]
1	2a_1	11,00	17,3121
2	1a_1	4,00	0,3765
3	2b_1	26,00	10,4296
4	3	0,10	0,0112
		41,10	28,1293

Per i soli cedimenti che si sviluppano nei terreni coesivi (Unità 2a, Unità 2b) si è analizzato il decorso dei cedimenti nel tempo. In considerazione del coefficiente di consolidazione ricavato a partire dal valore di permeabilità e dal modulo edometrico, i cedimenti residui che si sviluppano a seguito del piano di posa del ballast risultano ammissibili (ovvero inferiori al 10% del cedimento totale e comunque inferiori a 5cm). In particolare si nota che per l'elevata permeabilità e per i brevi percorsi di filtrazione (almeno per quanto riguarda l'unità 2a, nella quale la filtrazione può avvenire sia verso l'alto che verso il basso) il processo di consolidazione è molto rapido. L'unità 3, caratterizzata da tempi di consolidazione più lunghi, è interessata da cedimenti trascurabili.

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 63 di 106

W_{TOTALE}	281	mm	cedimento totale
W_{COMP}	173	mm	cedimento edometrico dello strato compressibile
C_{α}/C_c	0,025		valore di riferimento dell'indice di consolidazione secondari
$W_{EDOMETRICO}$	177	mm	cedimento finale con consolidazione secondaria
C_v	4,88E-03	m ² /s	coefficiente di consolidazione
H	5,5	m	lunghezza percorso di filtrazione

T	U	t				W (mm)
		(s)	(day)	(month)	(year)	
0,008	0,1038	4,96E+01	0,0	0,00	0,00	18
0,028	0,1889	1,74E+02	0,0	0,00	0,00	34
0,06	0,2764	3,72E+02	0,0	0,00	0,00	49
0,1	0,3562	6,21E+02	0,0	0,00	0,00	63
0,167	0,461	1,04E+03	0,0	0,00	0,00	82
0,25	0,5622	1,55E+03	0,0	0,00	0,00	100
0,4	0,6973	2,48E+03	0,0	0,00	0,00	124
0,7	0,8559	4,34E+03	0,1	0,00	0,00	152
1	0,9313	6,21E+03	0,1	0,00	0,00	165
2	0,9942	1,24E+04	0,1	0,00	0,00	176

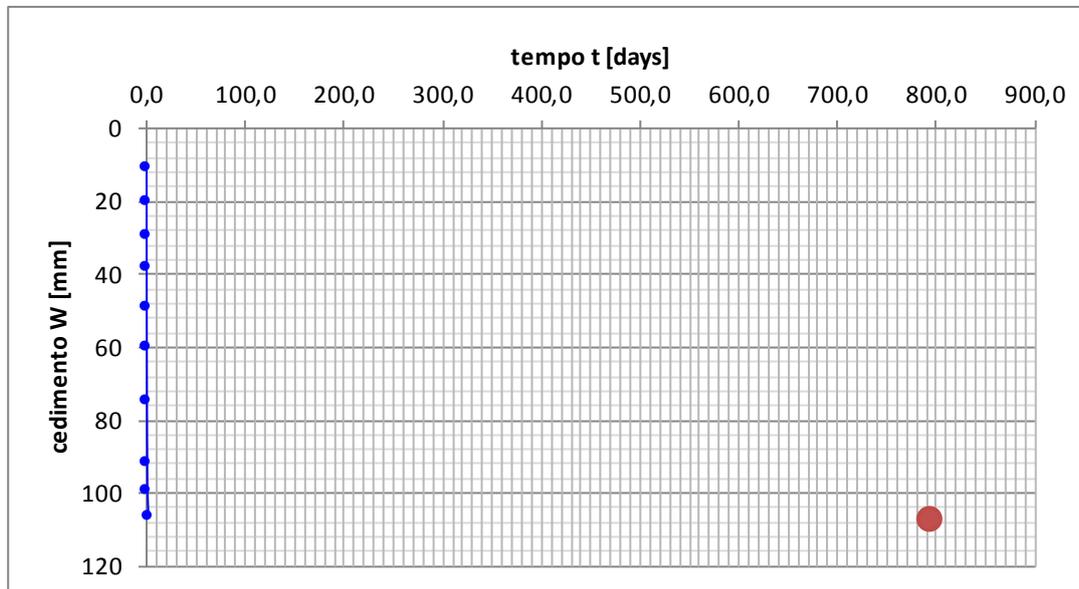


$t_{residuo}$	791	day	giorni tra la realizzazione del rilevato e la fine dell'opera
$W_{avvenuto}$	177	mm	cedimento avvenuto
$W_{residuo}$	0	mm	cedimento residuo
W_{amm}	28	mm	cedimento residuo ammissibile

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 64 di 106

W_{TOTALE}	281	mm	cedimento totale
W_{COMP}	104	mm	cedimento edometrico dello strato compressibile
C_{α}/C_c	0,025		valore di riferimento dell'indice di consolidazione secondari
$W_{EDOMETRICO}$	107	mm	cedimento finale con consolidazione secondaria
C_v	9,75E-03	m ² /s	coefficiente di consolidazione
H	26	m	lunghezza percorso di filtrazione

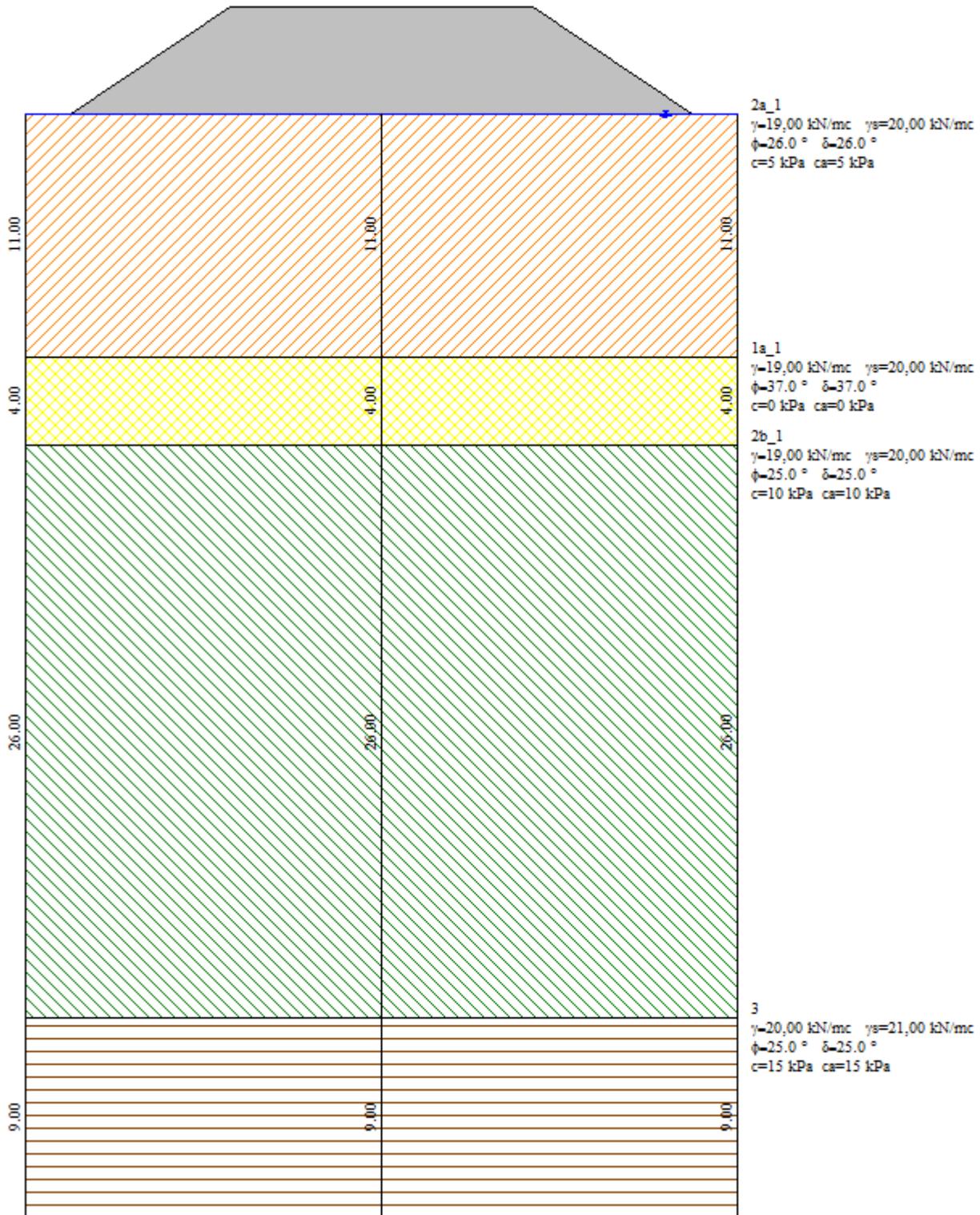
T	U	t				W (mm)
		(s)	(day)	(month)	(year)	
0,008	0,1038	5,55E+02	0,0	0,00	0,00	11
0,028	0,1889	1,94E+03	0,0	0,00	0,00	20
0,06	0,2764	4,16E+03	0,0	0,00	0,00	30
0,1	0,3562	6,93E+03	0,1	0,00	0,00	38
0,167	0,461	1,16E+04	0,1	0,00	0,00	49
0,25	0,5622	1,73E+04	0,2	0,01	0,00	60
0,4	0,6973	2,77E+04	0,3	0,01	0,00	75
0,7	0,8559	4,85E+04	0,6	0,02	0,00	91
1	0,9313	6,93E+04	0,8	0,03	0,00	100
2	0,9942	1,39E+05	1,6	0,05	0,00	106



$t_{residuo}$	791	day	giorni tra la realizzazione del rilevato e la fine dell'opera
$W_{avvenuto}$	107	mm	cedimento avvenuto
$W_{residuo}$	0	mm	cedimento residuo
W_{amm}	28	mm	cedimento residuo ammissibile

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B
					Foglio 65 di 106

9.2.8 Rilevato Caserme spalla B (Stratigrafia Tratto Caserme 2)



APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B
					Foglio 66 di 106

Cedimento complessivo

Simbologia adottata

cmb Identificativo della combinazione

w_f cedimento finale espresso in [cm]

H spessore strato compressibile espresso in [m]

X coordinata X punto di calcolo cedimento espressa in [m]

Y coordinata Y punto di calcolo cedimento espressa in [m]

cmb	w_f	H	X	Y
	[cm]	[m]	[m]	[m]
1	18,28	33,20	0,00	0,00
1	5,02	27,40	-13,95	0,00
1	5,02	27,40	13,95	0,00
1	15,42	32,00	-6,75	0,00
1	15,42	32,00	6,75	0,00

Cedimento dei singoli strati

Simbologia adottata

Strato Identificativo dello strato

Terreno Terreno dello strato

ΔH Spessore dello strato espresso in [m]

Δw Cedimento dello strato espresso in [cm]

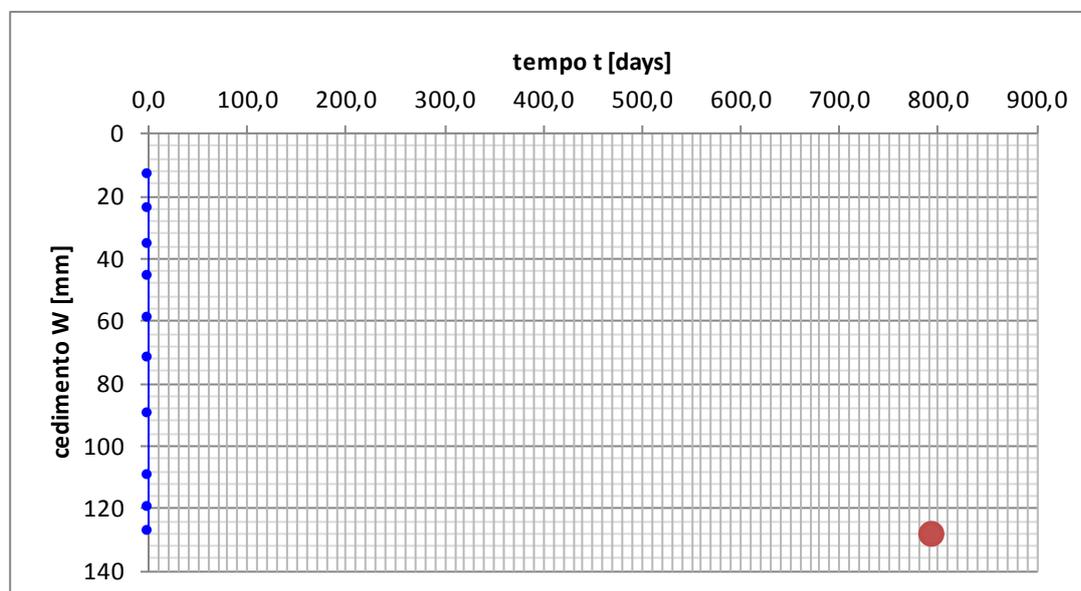
Strato	Terreno	ΔH	Δw
		[cm]	[cm]
1	2a_1	11,00	12,5246
2	1a_1	4,00	0,2652
3	2b_1	18,20	5,4935
		33,20	18,2833

Per i soli cedimenti che si sviluppano nei terreni coesivi (Unità 2a, Unità 2b) si è analizzato il decorso dei cedimenti nel tempo. In considerazione del coefficiente di consolidazione ricavato a partire dal valore di permeabilità e dal modulo edometrico, i cedimenti residui che si sviluppano a seguito del piano di posa del ballast risultano ammissibili (ovvero inferiori al 10% del cedimento totale e comunque inferiori a 5cm). In particolare si nota che per l'elevata permeabilità e per i brevi percorsi di filtrazione (almeno per quanto riguarda l'unità 2a, nella quale la filtrazione può avvenire sia verso l'alto che verso il basso) il processo di consolidazione è molto rapido. L'unità 3, caratterizzata da tempi di consolidazione più lunghi, è interessata da cedimenti trascurabili.

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 67 di 106

W_{TOTALE}	183	mm	cedimento totale
W_{COMP}	125	mm	cedimento edometrico dello strato compressibile
C_{α}/C_c	0,025		valore di riferimento dell'indice di consolidazione secondari
$W_{EDOMETRICO}$	128	mm	cedimento finale con consolidazione secondaria
C_v	4,88E-03	m ² /s	coefficiente di consolidazione
H	5,5	m	lunghezza percorso di filtrazione

T	U	t				W (mm)
		(s)	(day)	(month)	(year)	
0,008	0,1038	4,96E+01	0,0	0,00	0,00	13
0,028	0,1889	1,74E+02	0,0	0,00	0,00	24
0,06	0,2764	3,72E+02	0,0	0,00	0,00	35
0,1	0,3562	6,21E+02	0,0	0,00	0,00	46
0,167	0,461	1,04E+03	0,0	0,00	0,00	59
0,25	0,5622	1,55E+03	0,0	0,00	0,00	72
0,4	0,6973	2,48E+03	0,0	0,00	0,00	90
0,7	0,8559	4,34E+03	0,1	0,00	0,00	110
1	0,9313	6,21E+03	0,1	0,00	0,00	120
2	0,9942	1,24E+04	0,1	0,00	0,00	128

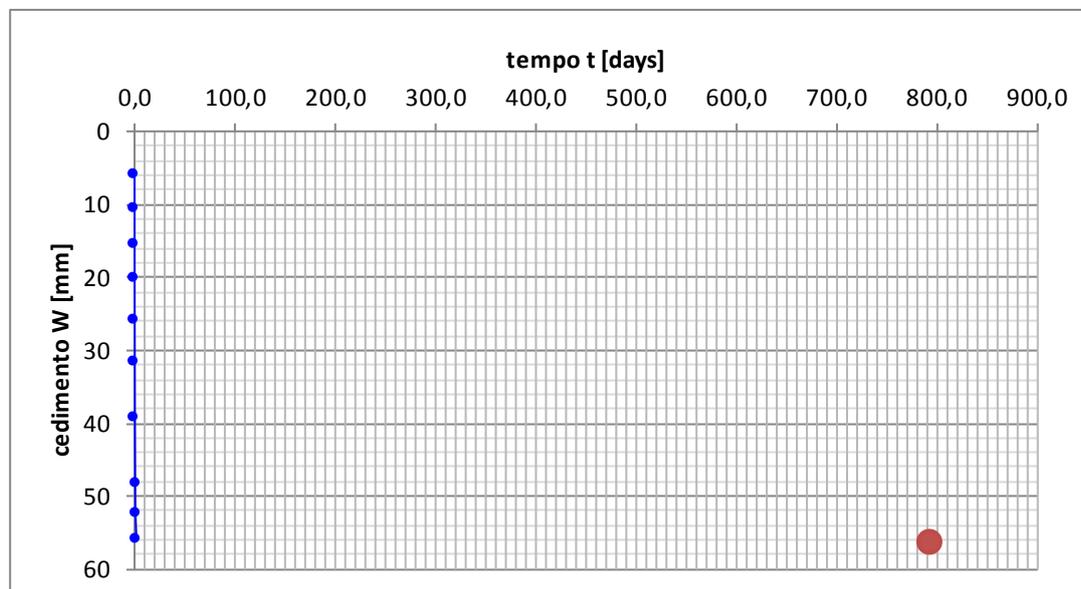


$t_{residuo}$	791	day	giorni tra la realizzazione del rilevato e la fine dell'opera
$W_{avvenuto}$	128	mm	cedimento avvenuto
$W_{residuo}$	0	mm	cedimento residuo
W_{amm}	18	mm	cedimento residuo ammissibile

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 68 di 106

W_{TOTALE}	183	mm	cedimento totale
W_{COMP}	55	mm	cedimento edometrico dello strato compressibile
C_{α}/C_c	0,025		valore di riferimento dell'indice di consolidazione secondari
$W_{EDOMETRICO}$	56	mm	cedimento finale con consolidazione secondaria
C_v	9,75E-03	m ² /s	coefficiente di consolidazione
H	26	m	lunghezza percorso di filtrazione

T	U	t				W (mm)
		(s)	(day)	(month)	(year)	
0,008	0,1038	5,55E+02	0,0	0,00	0,00	6
0,028	0,1889	1,94E+03	0,0	0,00	0,00	11
0,06	0,2764	4,16E+03	0,0	0,00	0,00	16
0,1	0,3562	6,93E+03	0,1	0,00	0,00	20
0,167	0,461	1,16E+04	0,1	0,00	0,00	26
0,25	0,5622	1,73E+04	0,2	0,01	0,00	32
0,4	0,6973	2,77E+04	0,3	0,01	0,00	39
0,7	0,8559	4,85E+04	0,6	0,02	0,00	48
1	0,9313	6,93E+04	0,8	0,03	0,00	52
2	0,9942	1,39E+05	1,6	0,05	0,00	56



$t_{residuo}$	791	day	giorni tra la realizzazione del rilevato e la fine dell'opera
$W_{avvenuto}$	56	mm	cedimento avvenuto
$W_{residuo}$	0	mm	cedimento residuo
W_{amm}	18	mm	cedimento residuo ammissibile

APPALTATORE  RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 69 di 106

9.3 Analisi di stabilità globale dei rilevati

9.3.1 Descrizione metodo di calcolo

La valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità viene condotta attraverso il programma di calcolo Stap Full (Aztec Software). I dati di input e i risultati in forma estesa sono presenti nell'appendice H.

La verifica alla stabilità del pendio deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a **1.30**. Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. In particolare il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione. Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate.

Metodo di Bishop

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Bishop semplificato** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum_i \left(\frac{c_i b_i + (N_i / \cos(\alpha_i) - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine **m** è espresso da

$$m = \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \phi_i \operatorname{tg} \alpha_i}{F} \right) \cos \alpha_i$$

In questa espressione **n** è il numero delle strisce considerate, **b_i** e **α_i** sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia **i_{esima}** rispetto all'orizzontale, **W_i** è il peso della striscia **i_{esima}**, **c_i** e **φ_i** sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed **u_i** è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di **Bishop semplificato** contiene al secondo membro il termine **m** che è funzione di **F**. Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per **F** da inserire nell'espressione di **m** ed iterare fin quando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

9.3.2 Dati

La sezione di progetto adottata per i rilevati, considera un materiale omogeneo che comprende anche gli strati di supercompattato, sub-ballast e ballast. Tale scelta risulta a vantaggio di sicurezza se si confrontano le caratteristiche sia fisiche che meccaniche del materiale considerato, rispetto a quelli realmente presenti.

Carichi

Per ciascuna sezione ferroviaria di calcolo la verifica di stabilità viene effettuata nelle

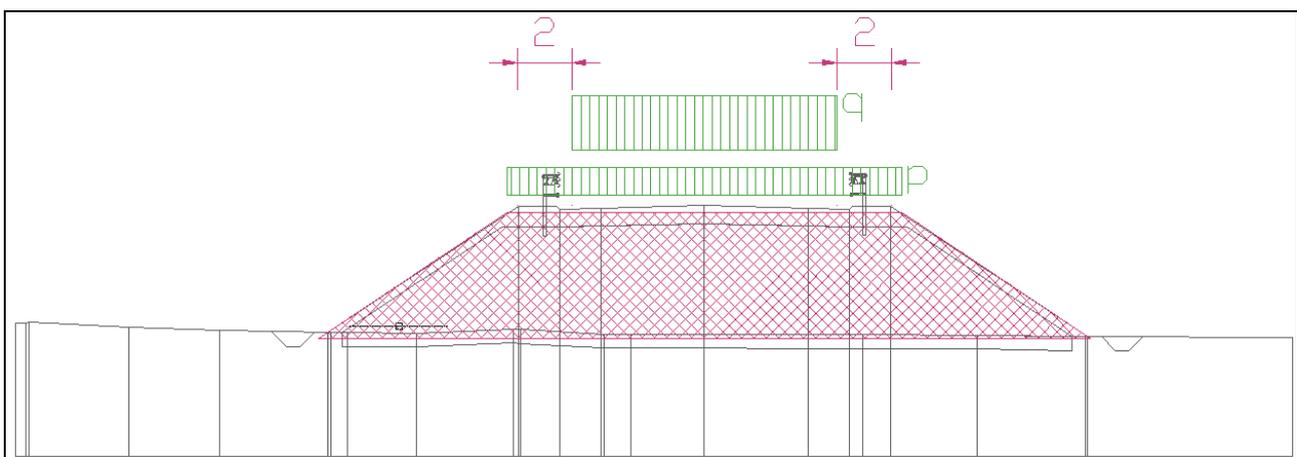
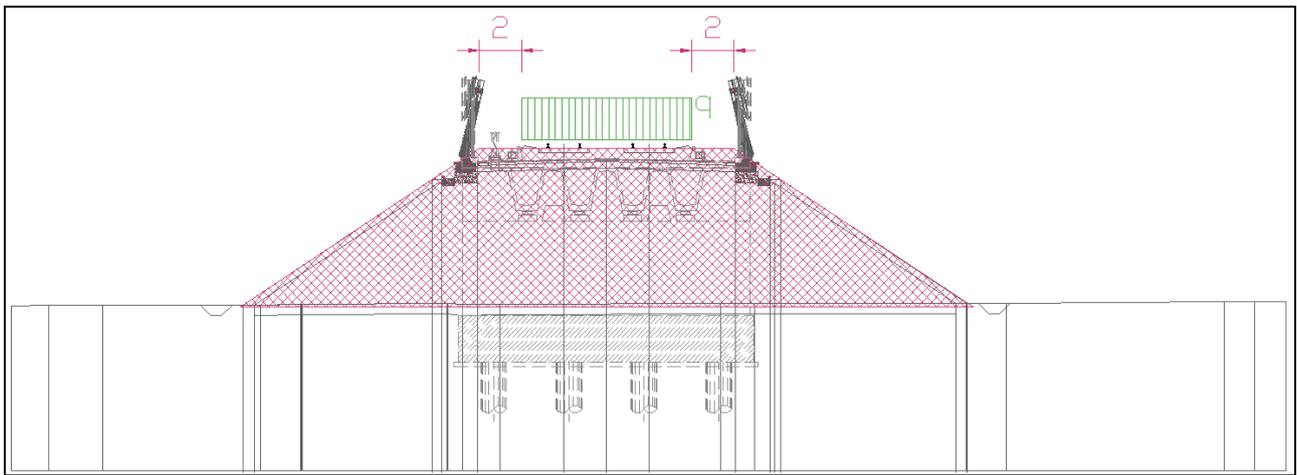
APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B Foglio 70 di 106

seguenti due condizioni:

- condizione statica in presenza di un sovraccarico pari a 40 kPa uniformemente distribuito sul rilevato ad una distanza di 2m dall'inizio della scarpata;
- condizione sismica in presenza di un sovraccarico pari a 20 kPa uniformemente distribuito sul rilevato ad una distanza di 2m dall'inizio della scarpata.

Per ciascuna sezione stradale di calcolo la verifica di stabilità viene effettuata nelle seguenti due condizioni:

- condizione statica in presenza di un sovraccarico pari a 30 kPa uniformemente distribuito sul rilevato ad una distanza di 2m dall'inizio della scarpata;
- condizione sismica in presenza di un sovraccarico pari a 15 kPa uniformemente distribuito sul rilevato ad una distanza di 2m dall'inizio della scarpata.



Inoltre nei primi 25 cm delle sezioni stradali è stata considerata la presenza di materiali legati; la sezione di calcolo del rilevato è stata considerata 25 cm più bassa, ma allo stesso tempo è stato introdotto un carico uniformemente distribuito pari a 5 kPa riferito al peso degli strati eliminati.

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 71 di 106

Dati zona sismica

Coefficiente sismico orizzontale (per cento)	7.00
Coefficiente sismico verticale (per cento)	3.50
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50

Impostazioni delle superfici di rottura

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite una maglia di centri. La posizione della maglia di centri, così come l'intervallo di lunghezza dei raggi, è stato valutato di volta in volta per i diversi modelli.

Opzioni di calcolo

Per l'analisi è stato utilizzato il metodo di calcolo: BISHOP.

Le superfici sono state analizzate sia in condizioni **statiche** che **sismiche**.

Analisi condotta sia in termini di **tensioni efficaci** che di **tensioni totali**; a seconda del tipo di terreno (grana grossa o grana fina); tali scelte identificano verifiche a lungo e a breve termine. Presenza di falda e presenza di carichi distribuiti.

Condizioni di esclusione

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a	1,00	m
- freccia inferiore a	0,50	m
- volume inferiore a	2,00	mc
- pendenza media della superficie inferiore a	1.00	[%]

Bonifica

Al di sotto dei rilevati è stato considerato uno strato di bonifica con le medesime caratteristiche geotecniche del materiale da rilevato, ad esclusione del caso della SS16 per il quale lo strato di bonifica è stato considerato in materiale arido aventi le seguenti caratteristiche geotecniche:

- $\gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$	peso di volume
- $c' = 0 \text{ kPa}$	coesione efficace
- $\phi' = 40$	angolo di attrito

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 72 di 106

9.3.3 Risultati analisi

Rilevato ferroviario Spalla A – Sismica

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	4184	1.683	1	1777.708	4184

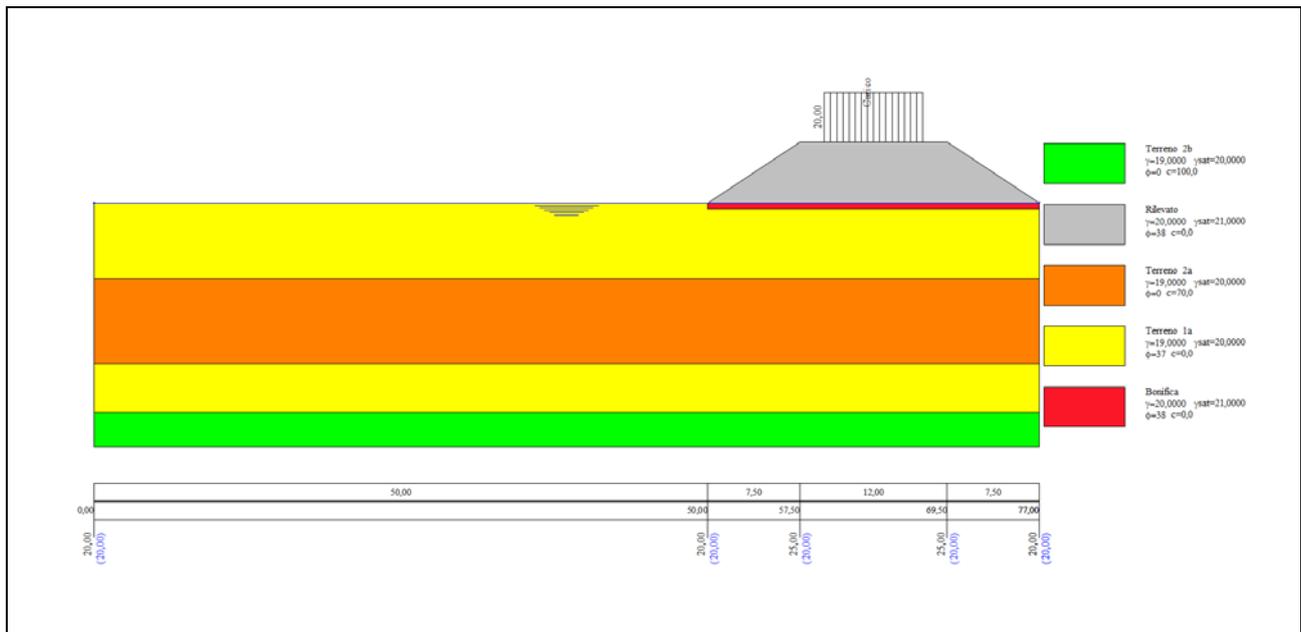


Figura 9.1 – Modello di calcolo

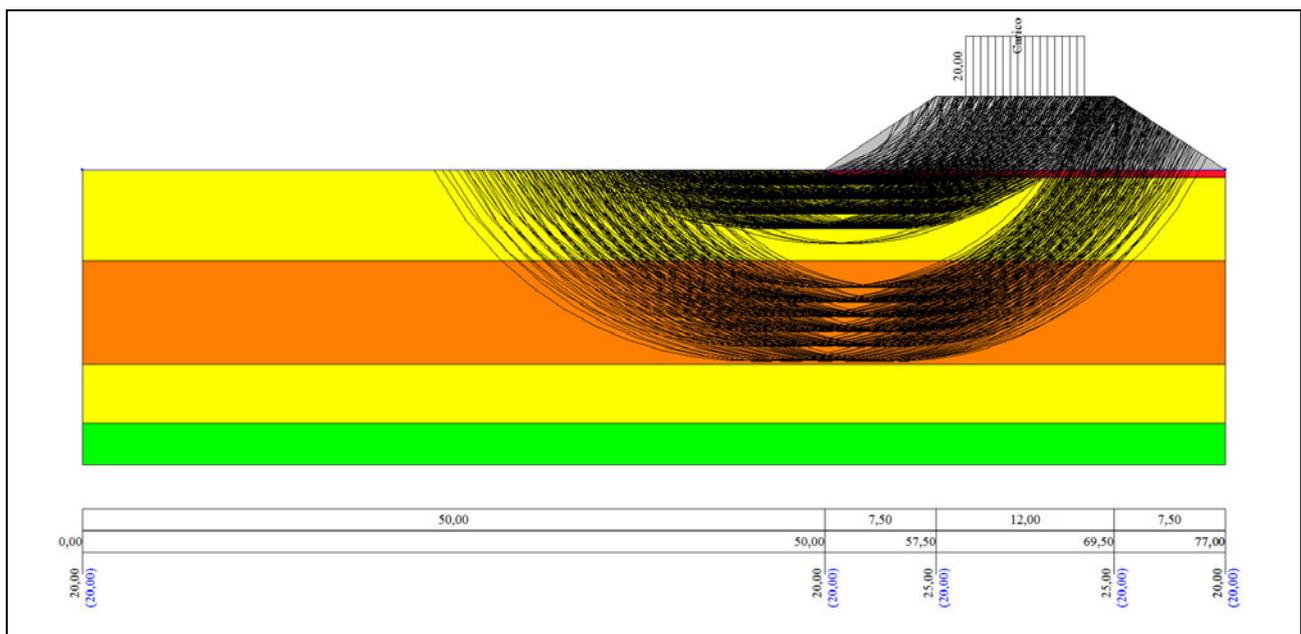


Figura 9.2 – Superfici di scorrimento con FS < 3

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 73 di 106

Rilevato ferroviario Spalla A – Statica

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	3614	1.391	1	907.167	3614

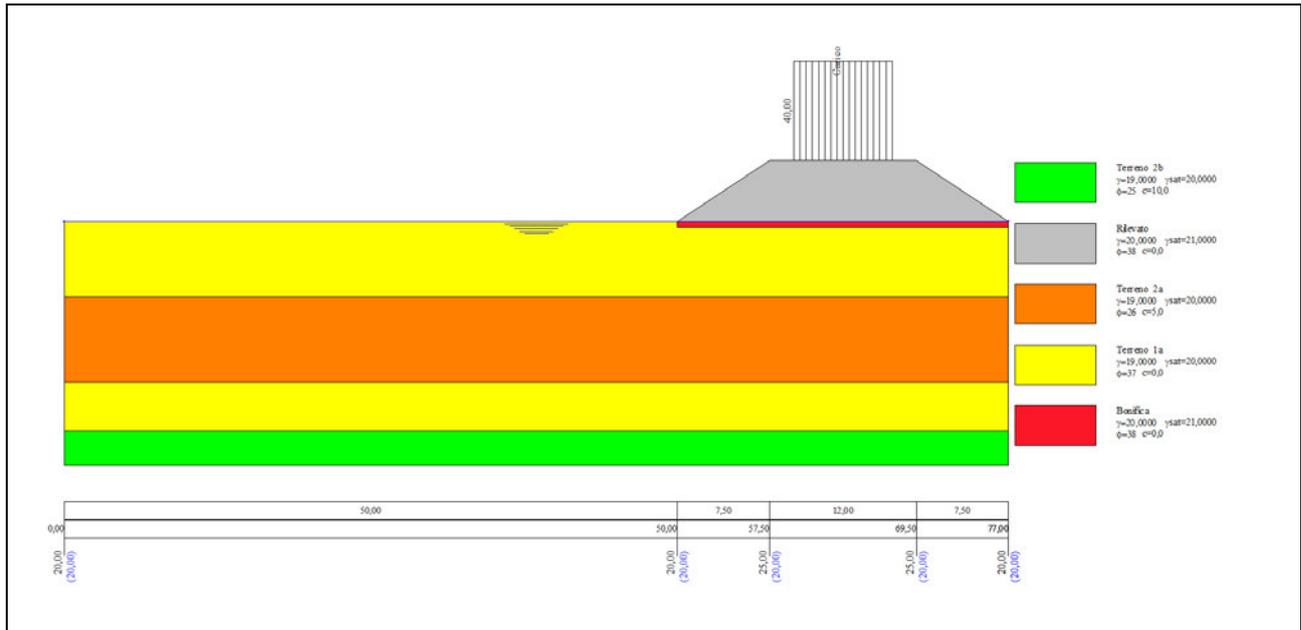


Figura 9.3 – Modello di calcolo

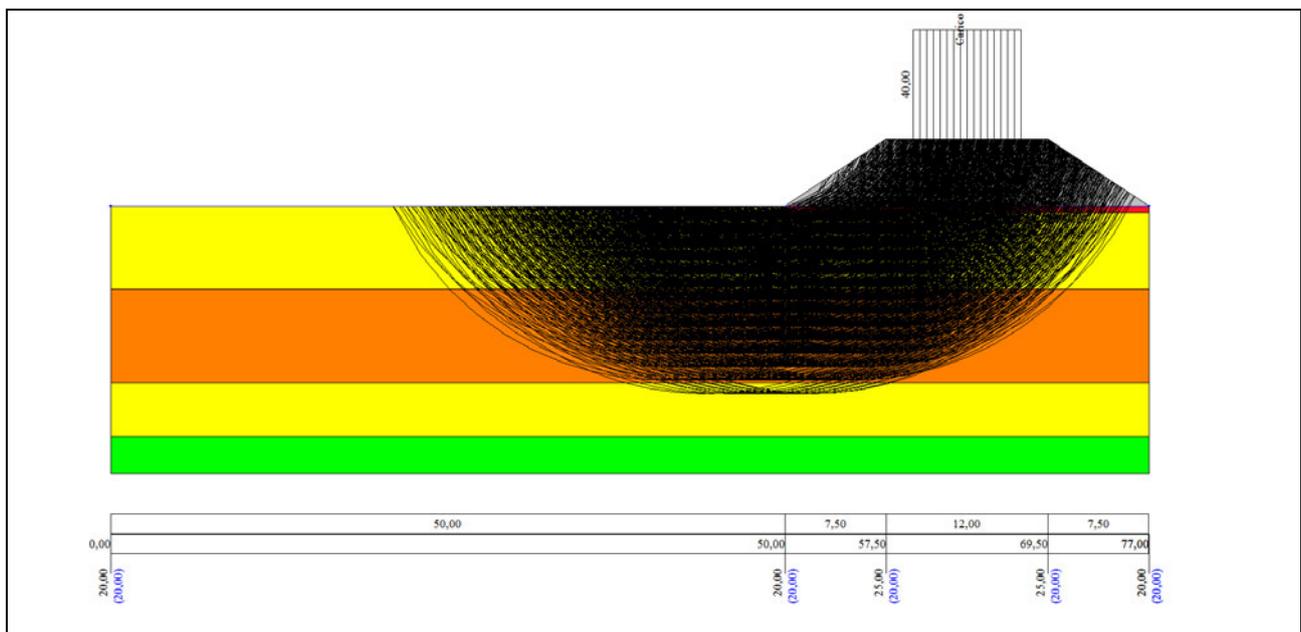


Figura 9.4 – Superfici di scorrimento con FS<3

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B
					Foglio 74 di 106

Rilevato ferroviario Spalla B – Sismica

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	3670	1.939	1	4172.228	3670

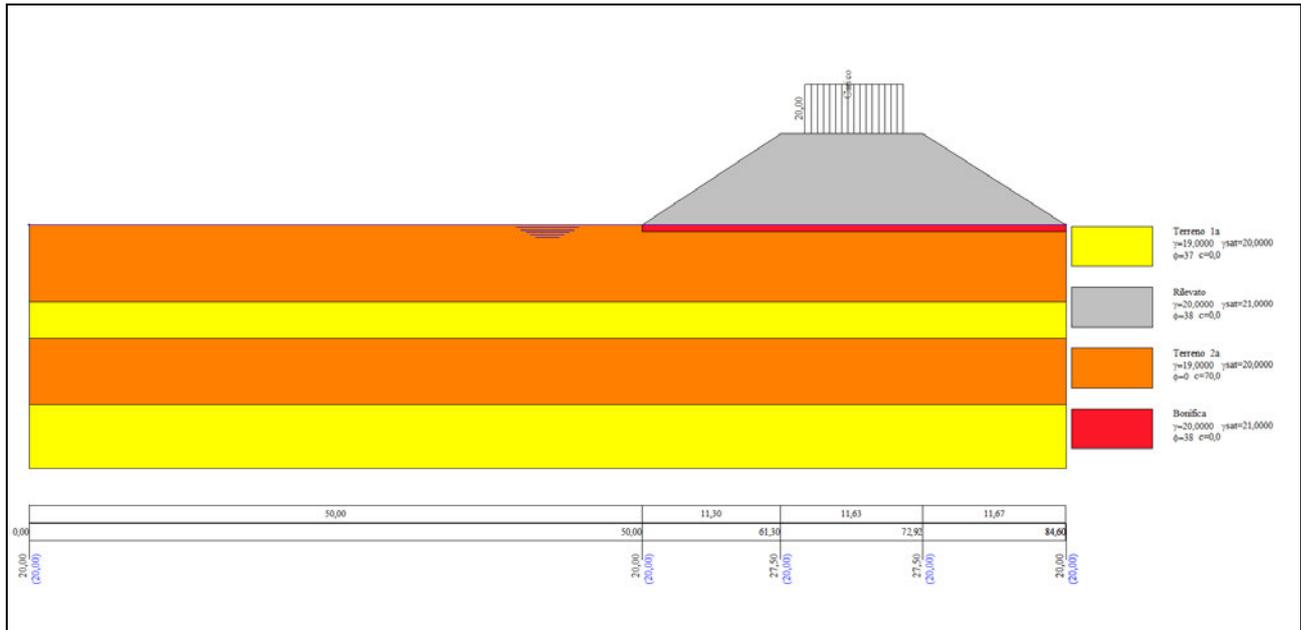


Figura 9.5 – Modello di calcolo

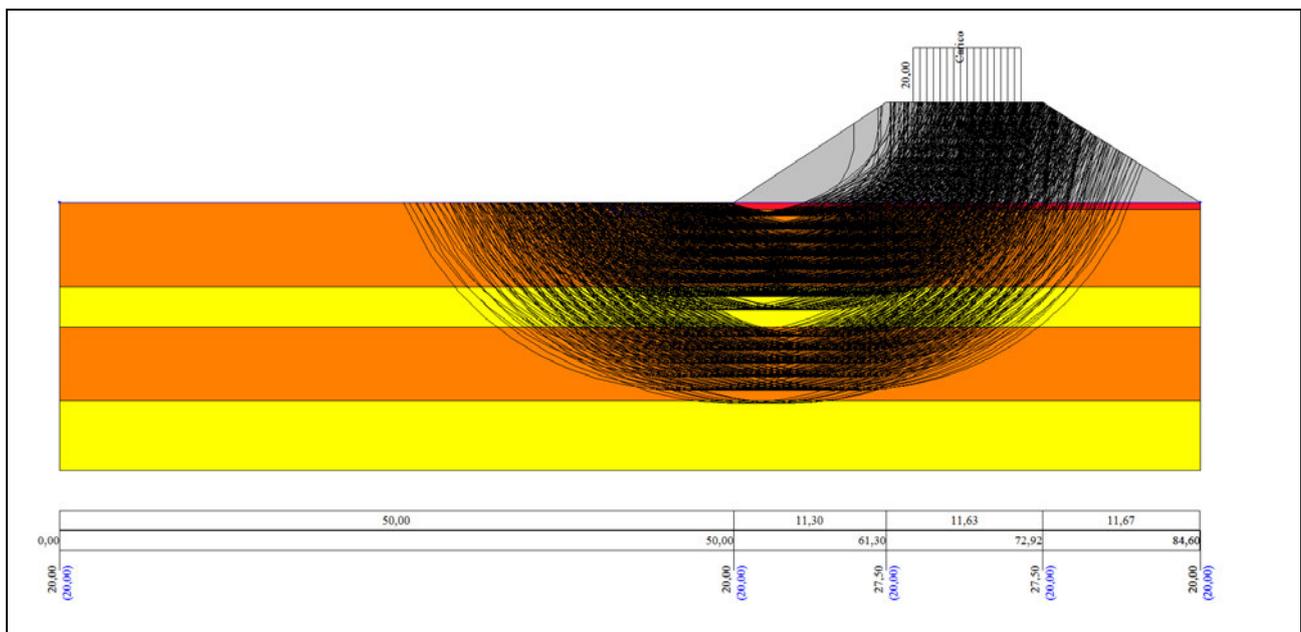


Figura 9.6 – Superfici di scorrimento con FS<3

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 75 di 106

Rilevato ferroviario Spalla B – Statica

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	3670	1.317	1	891.930	3670

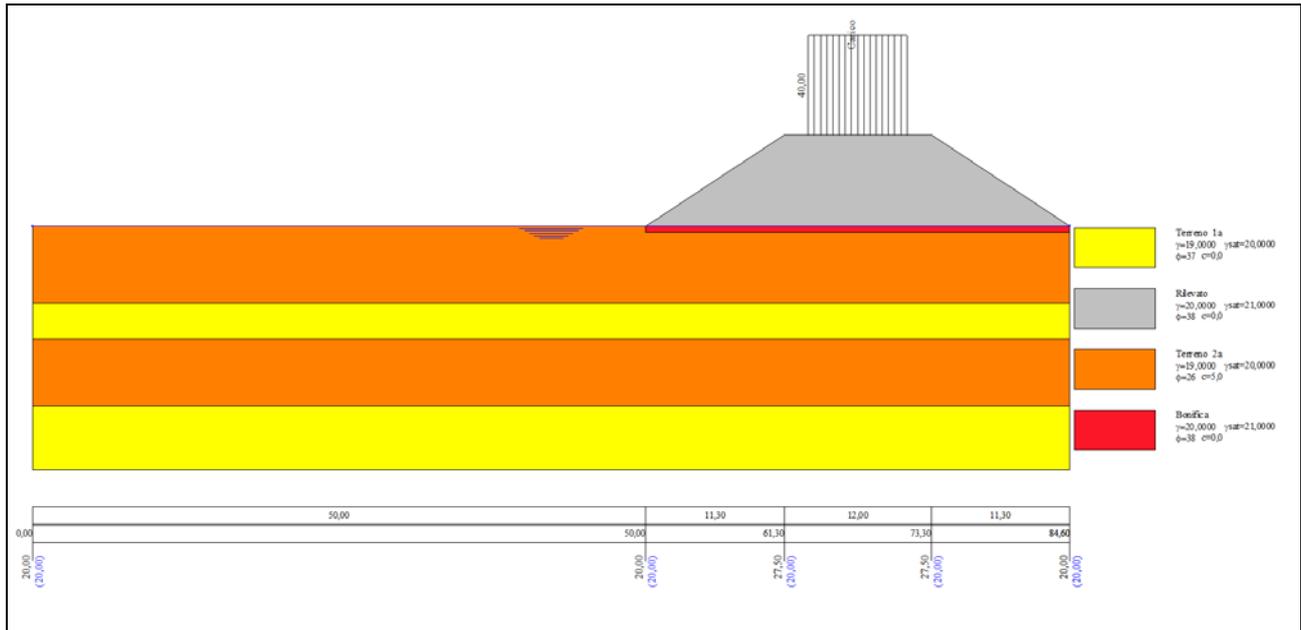


Figura 9.7 – Modello di calcolo

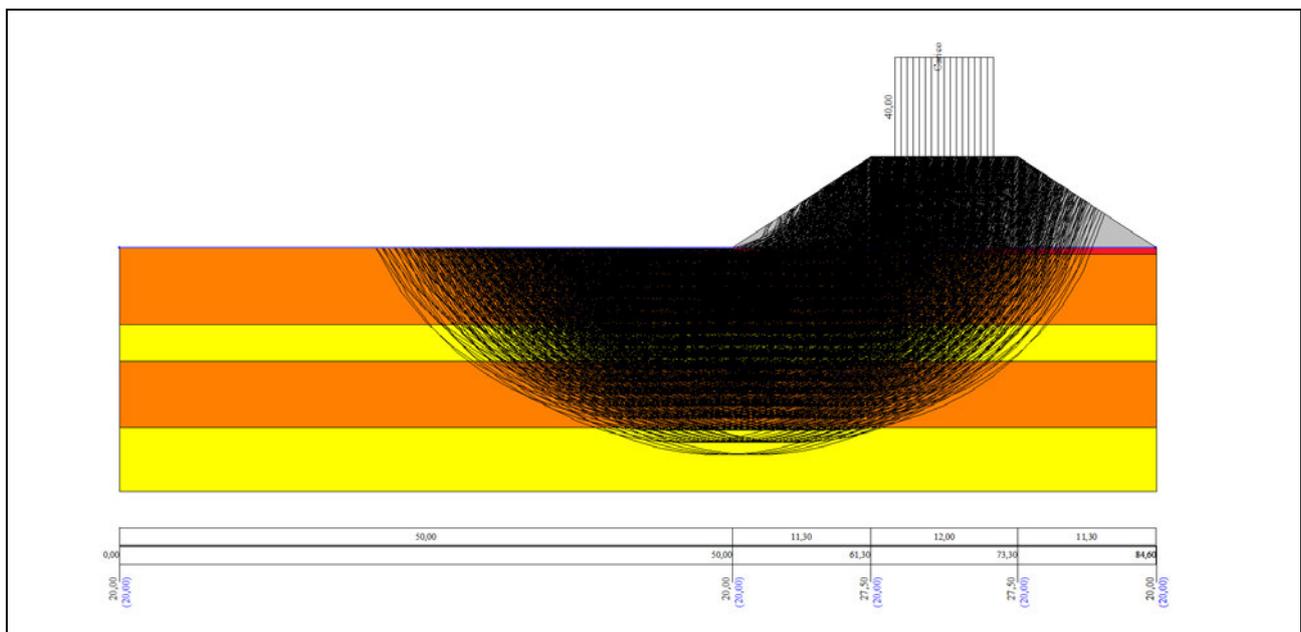


Figura 9.8 – Superfici di scorrimento con FS<3

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 76 di 106

Rilevato ferroviario 0+925,00 – Sismica

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	3888	2.108	1	4536.316	3888

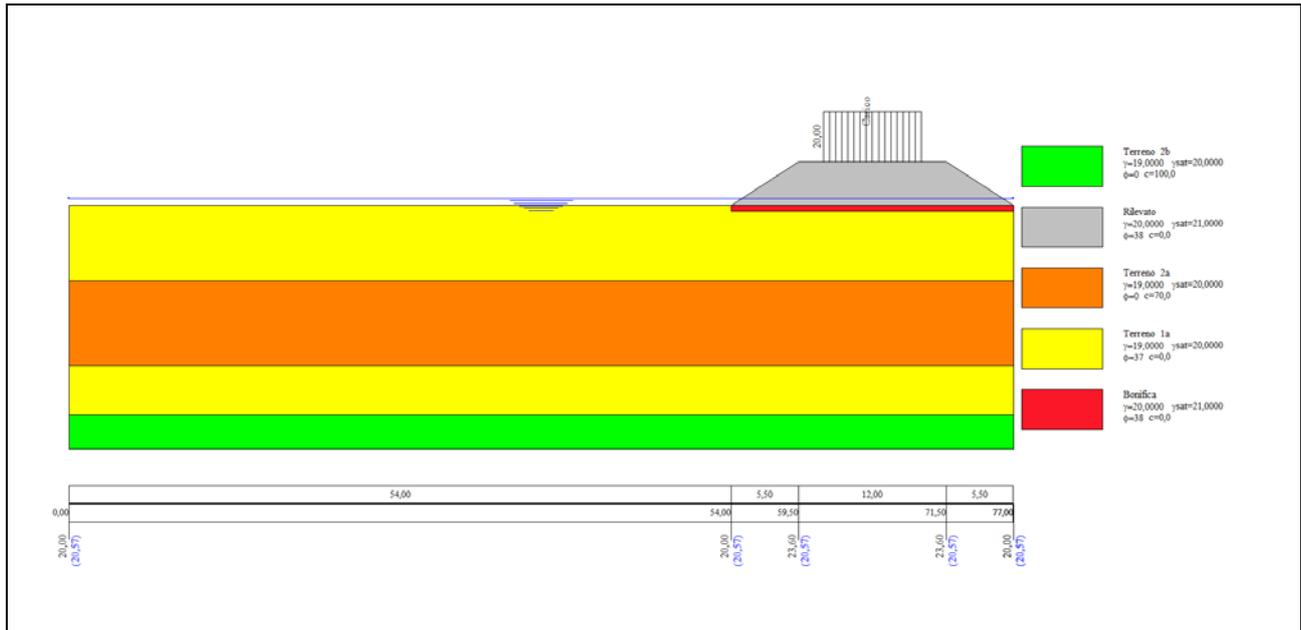


Figura 9.1 – Modello di calcolo

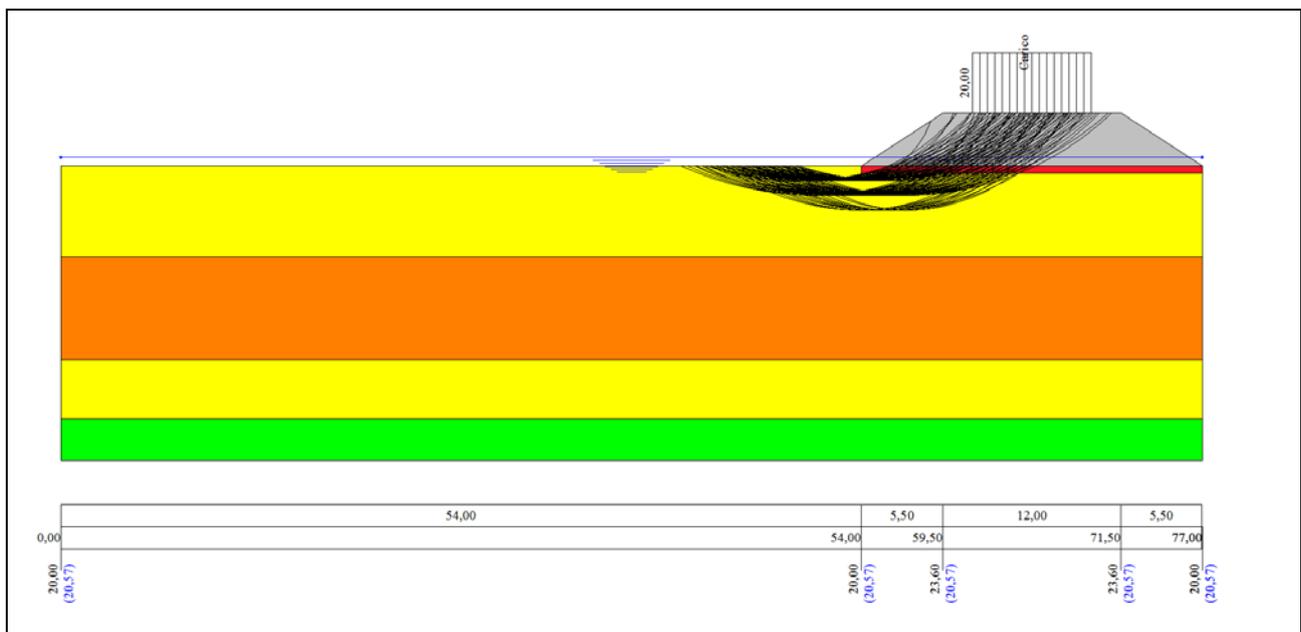


Figura 9.2 – Superfici di scorrimento con FS<3

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B
					Foglio 77 di 106

Rilevato ferroviario 0+925,00 – Statica

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	3888	1.424	1	2278.866	3888

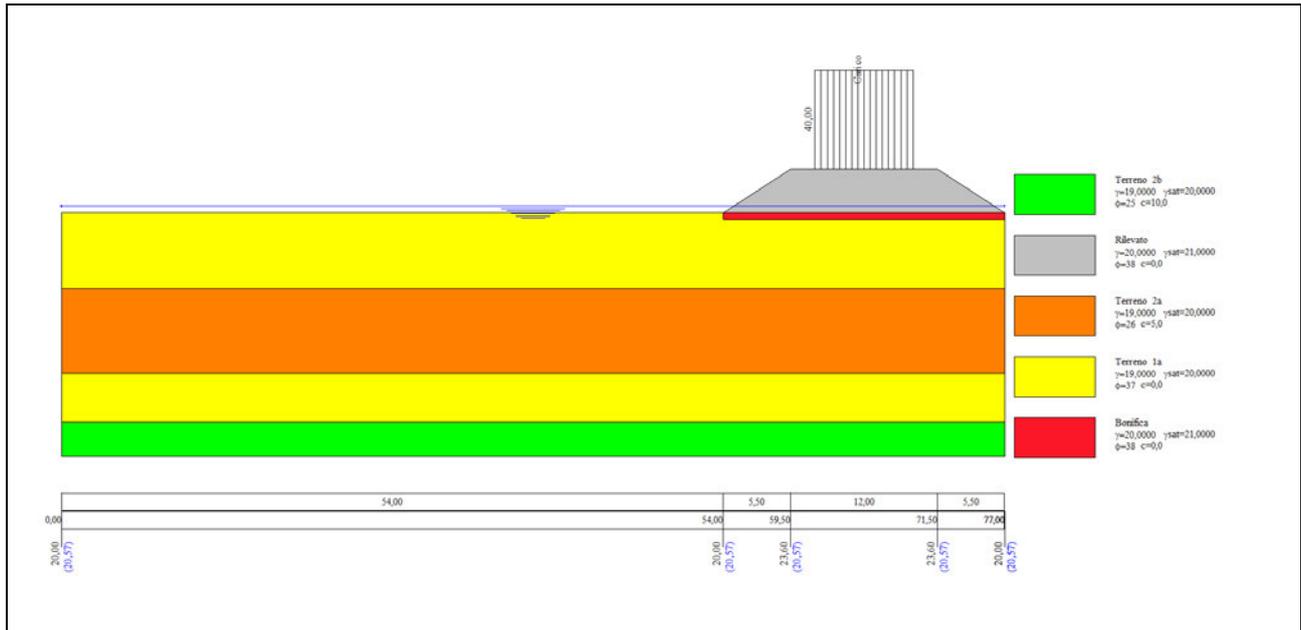


Figura 9.3 – Modello di calcolo

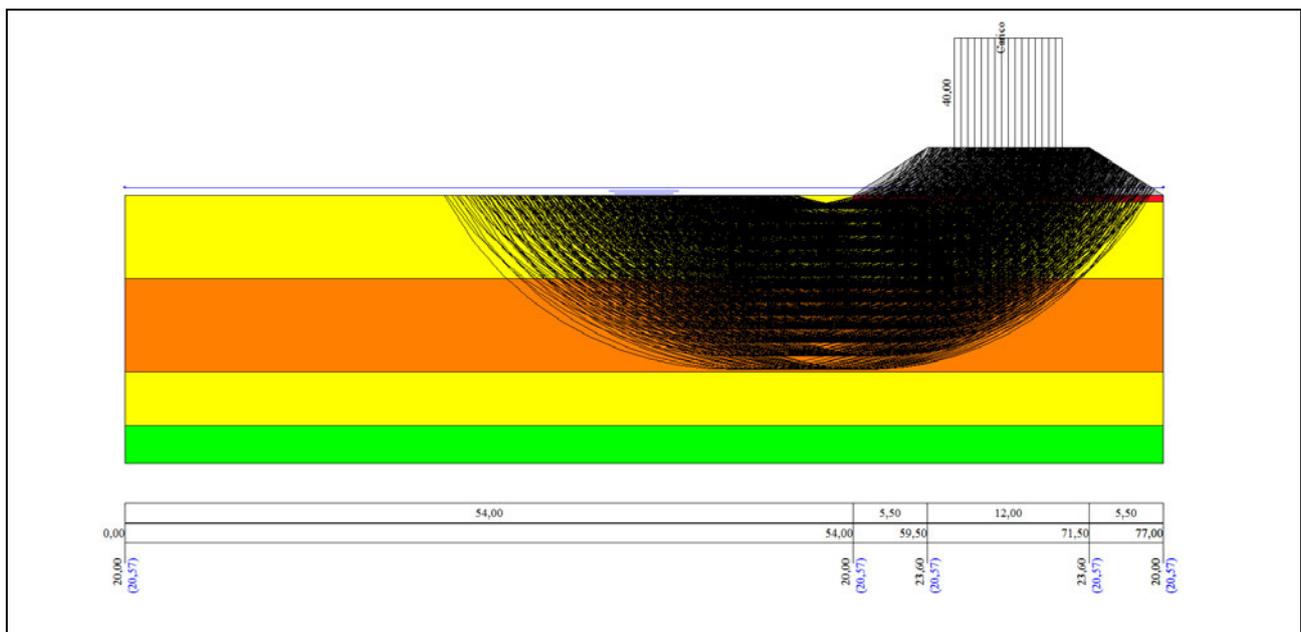


Figura 9.4 – Superfici di scorrimento con FS<3

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 78 di 106

Rilevato SS16 Spalla A – Sismica

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	3624	1.605	1	1829.876	3624

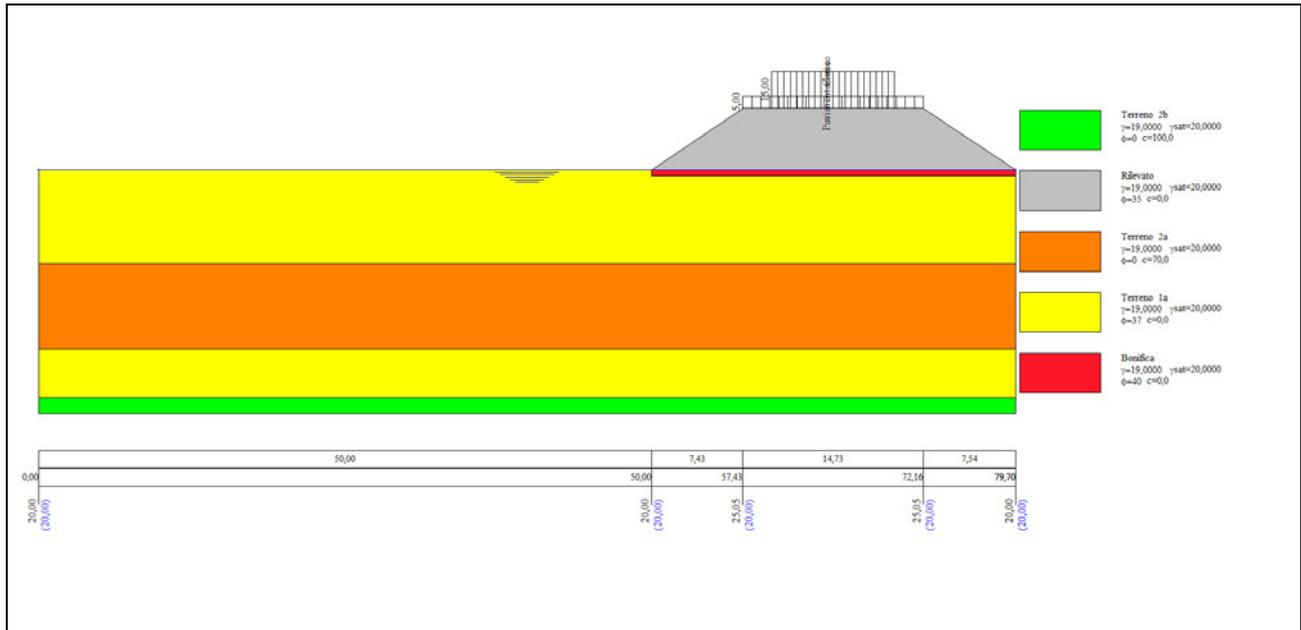


Figura 9.9 – Modello di calcolo

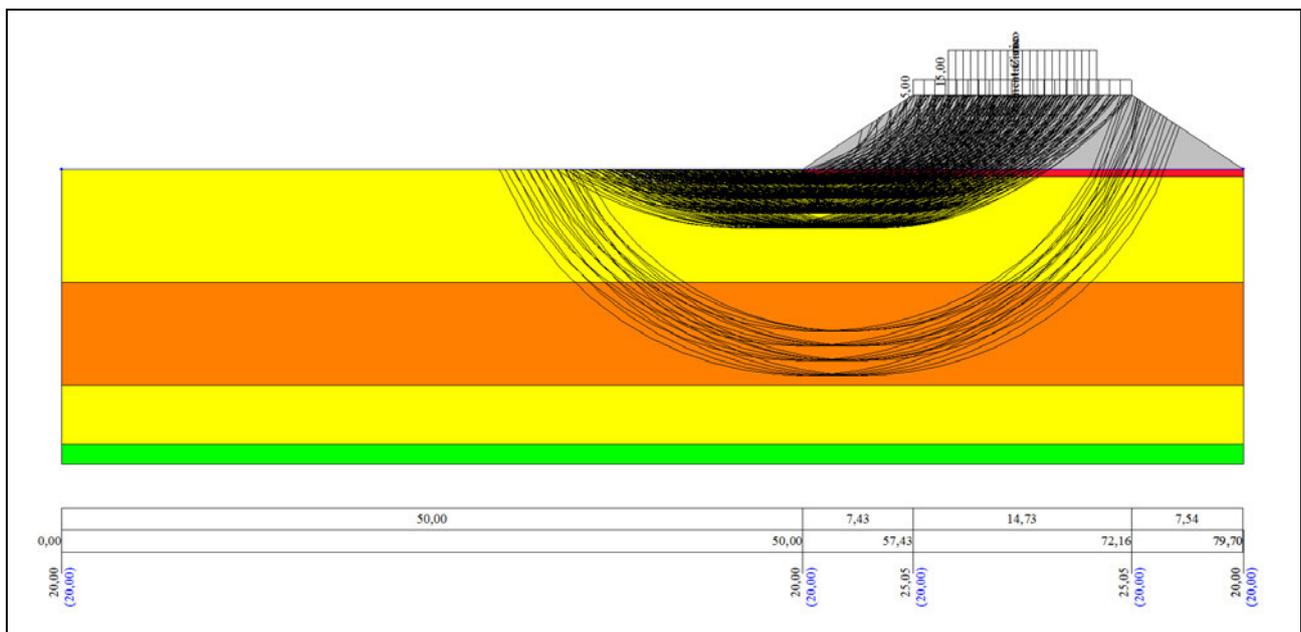


Figura 9.10 – Superfici di scorrimento con FS<3

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 79 di 106

Rilevato SS16 Spalla A – Statica

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	3576	1.318	1	1859.572	3576

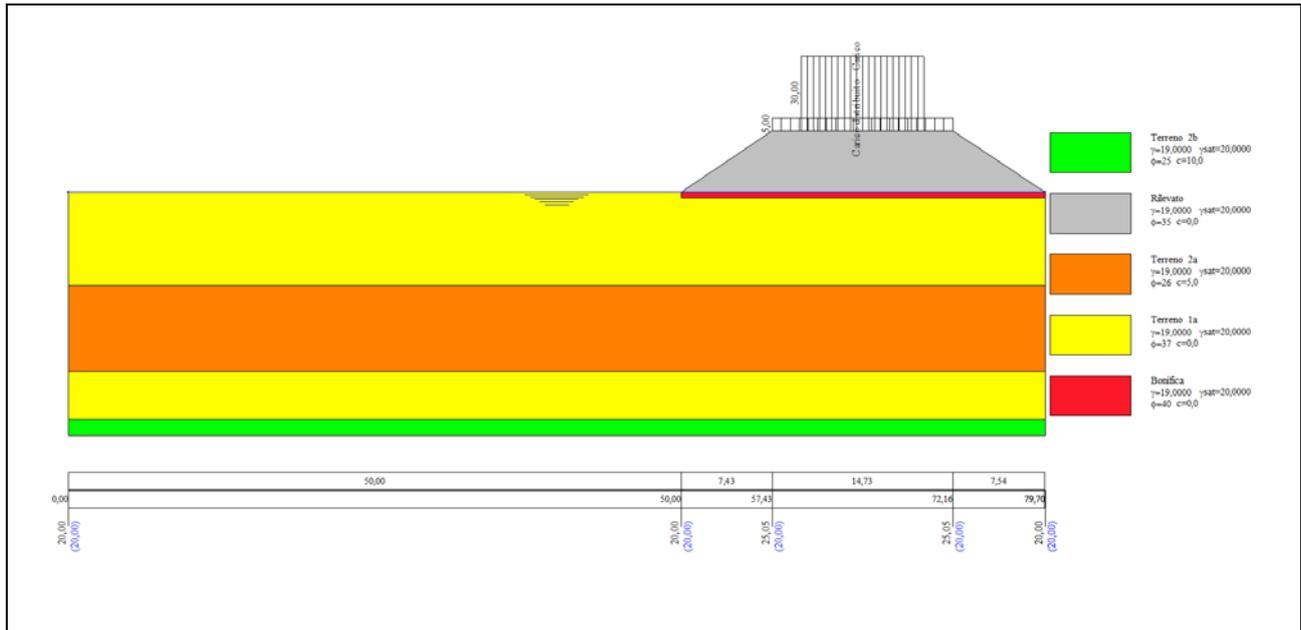


Figura 9.11 – Modello di calcolo

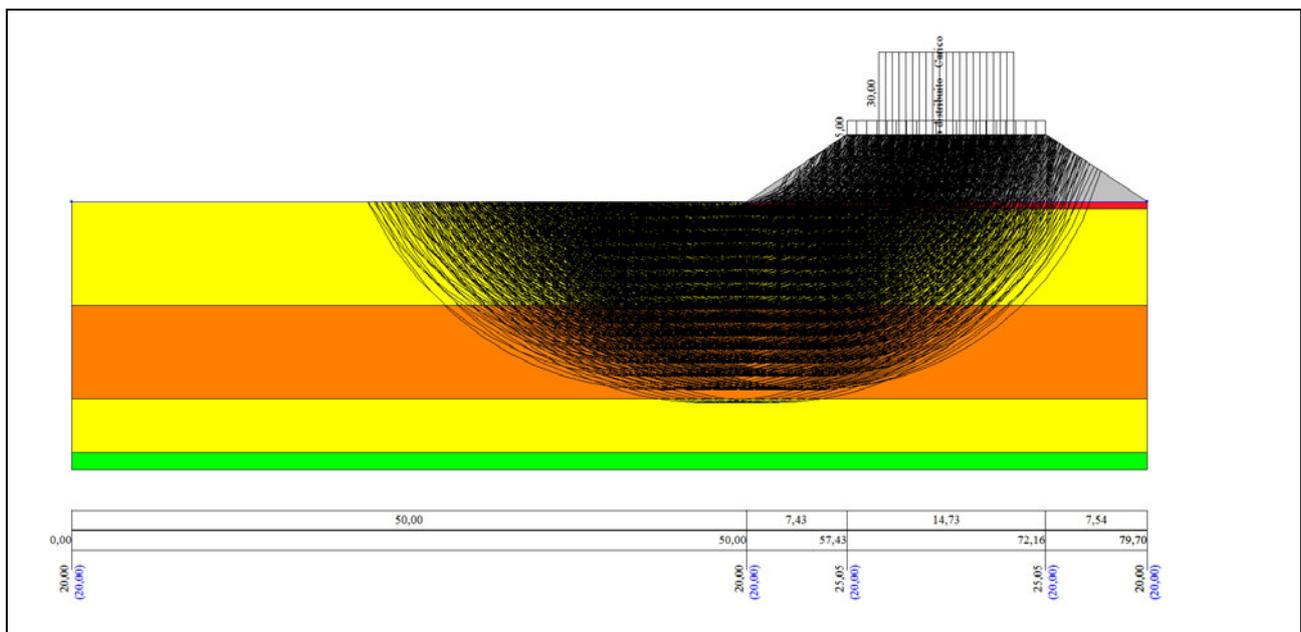


Figura 9.12 – Superfici di scorrimento con FS<3

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 80 di 106

Rilevato SS16 Spalla B – Sismica

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	2928	1.569	1	1915.078	2928

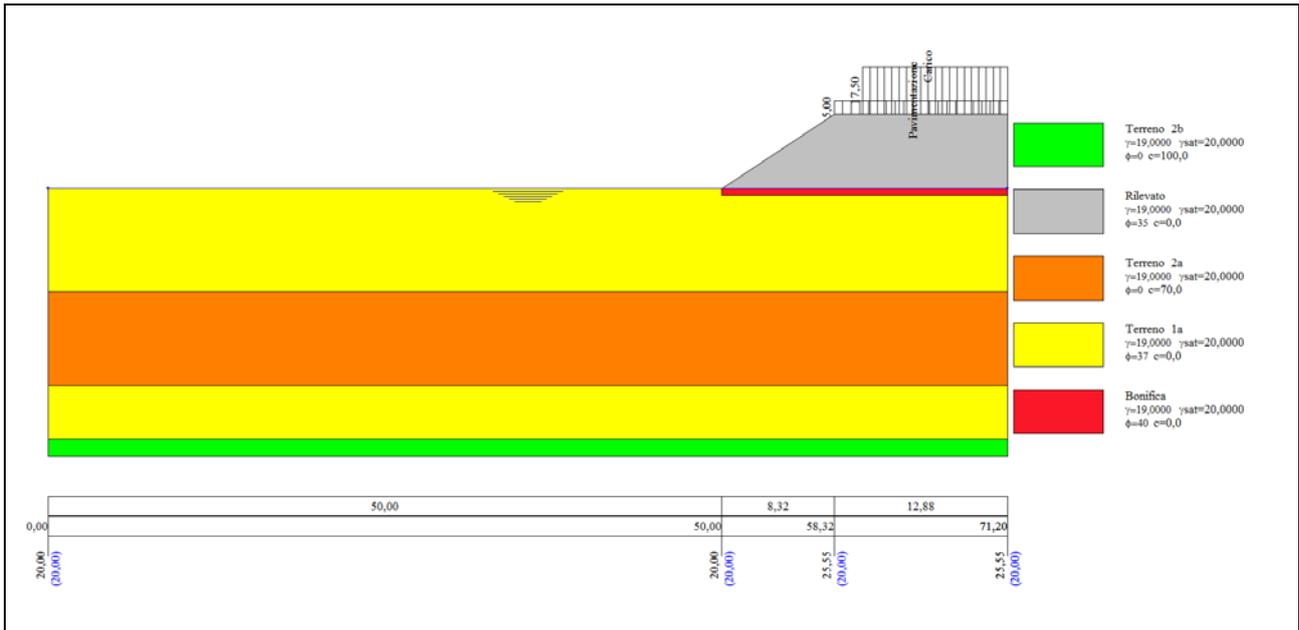


Figura 9.9 – Modello di calcolo

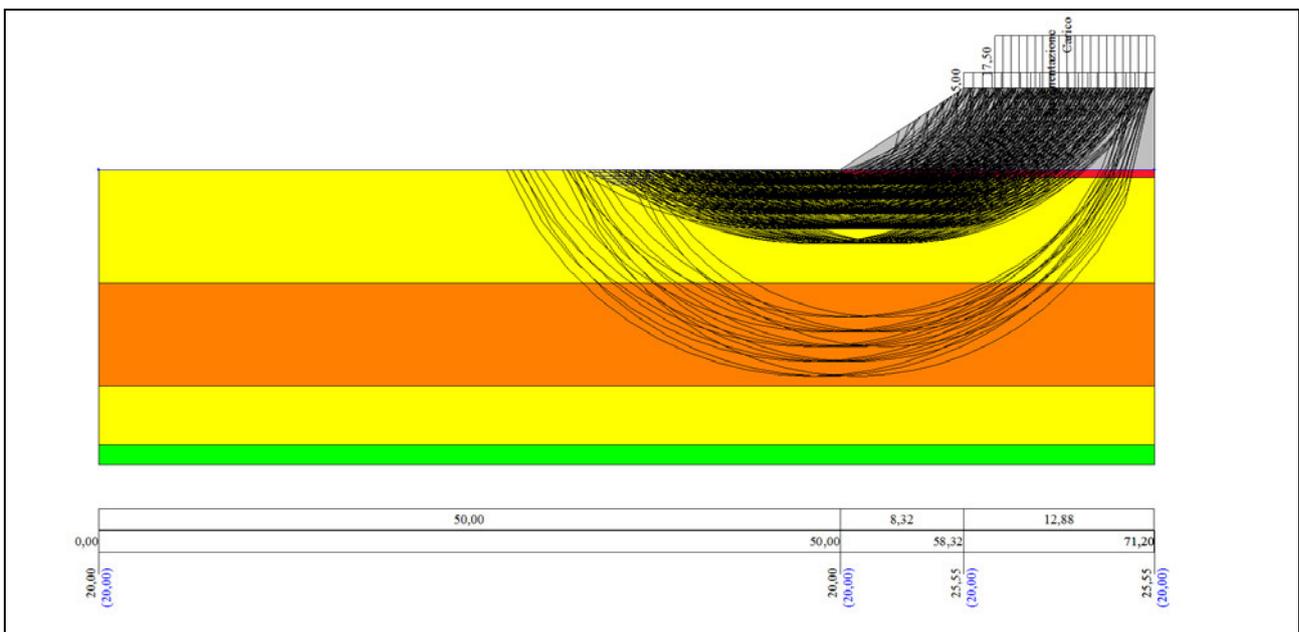


Figura 9.10 – Superfici di scorrimento con FS<3

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B
					Foglio 81 di 106

Rilevato SS16 Spalla B – Statica

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	2928	1.306	1	977.158	2928

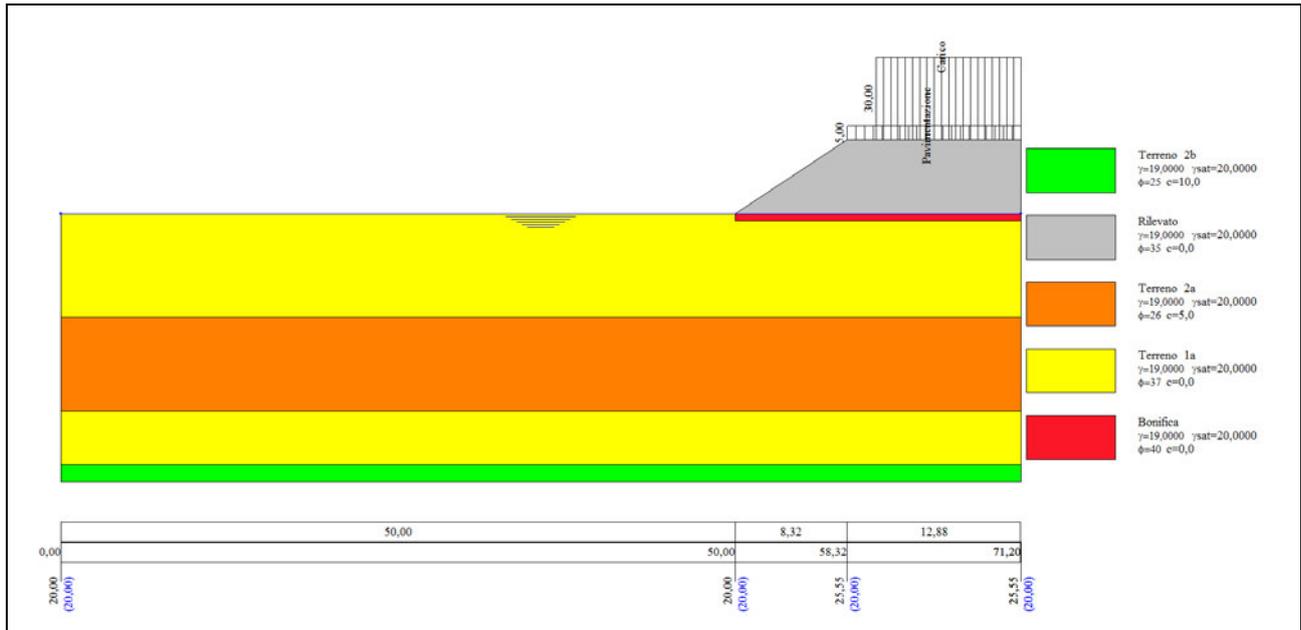


Figura 9.11 – Modello di calcolo

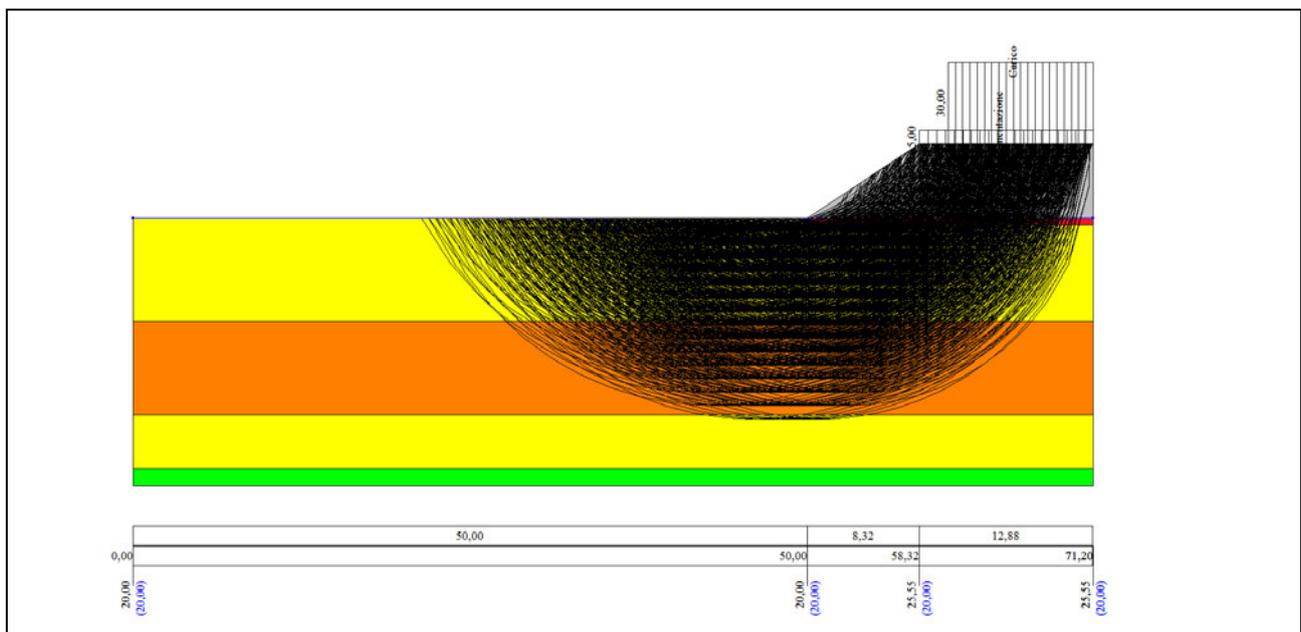


Figura 9.12 – Superfici di scorrimento con FS<3

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 82 di 106

Rilevato via delle Caserme Spalla A – Sismica

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	3622	2.179	1	4403.661	3622

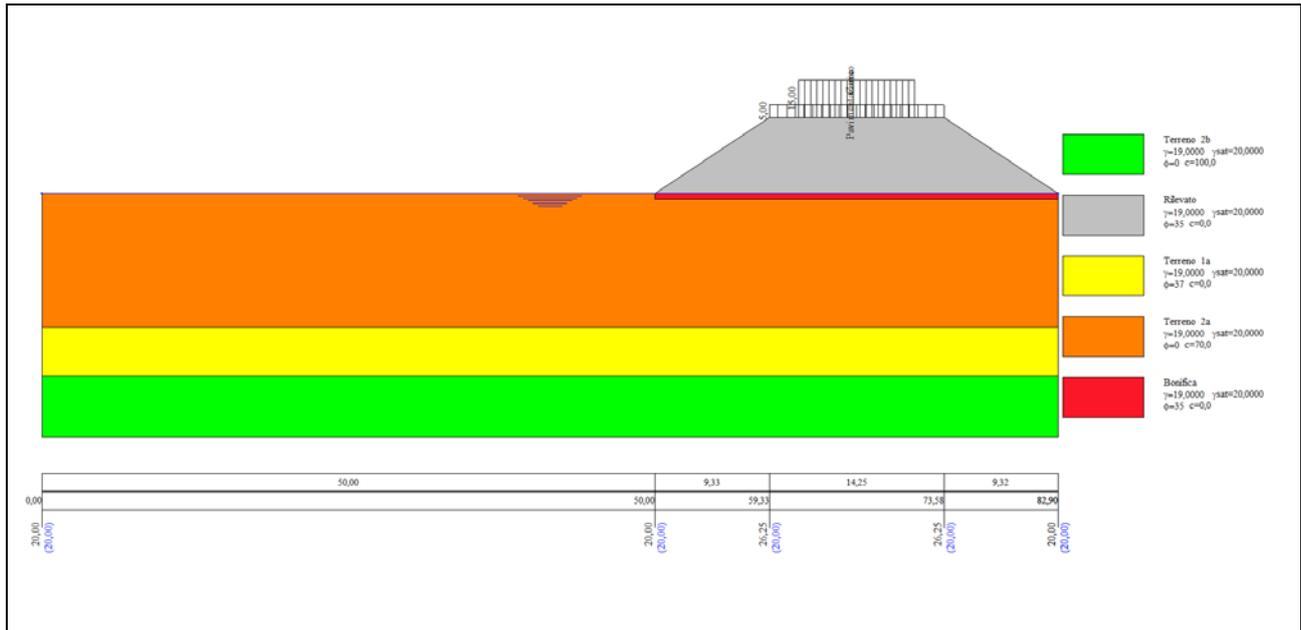


Figura 9.9 – Modello di calcolo

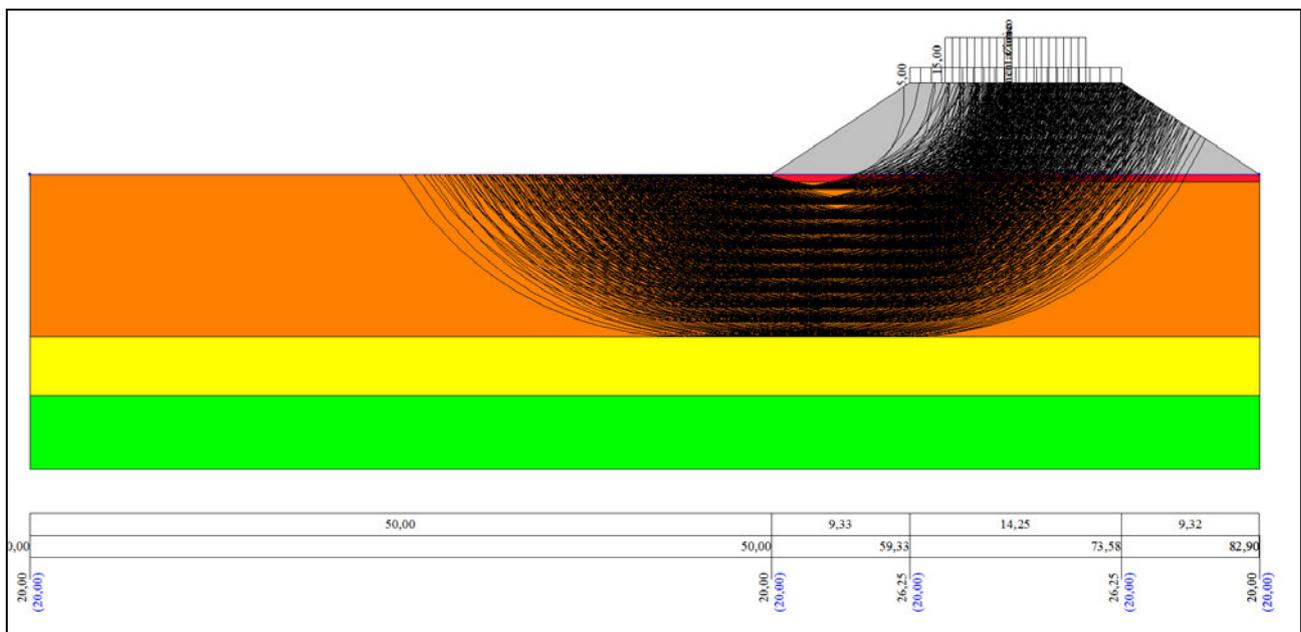


Figura 9.10 – Superfici di scorrimento con FS<3

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 83 di 106

Rilevato via delle Caserme Spalla A – Statica

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	3622	1.306	1	941.143	3622

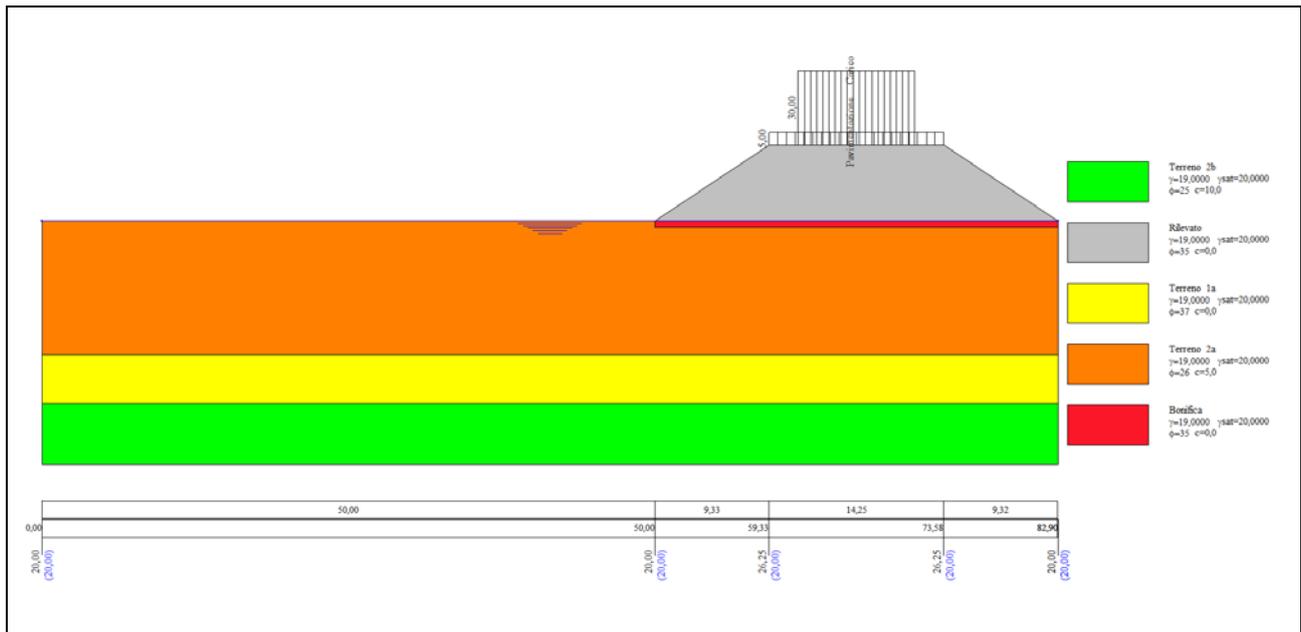


Figura 9.11 – Modello di calcolo

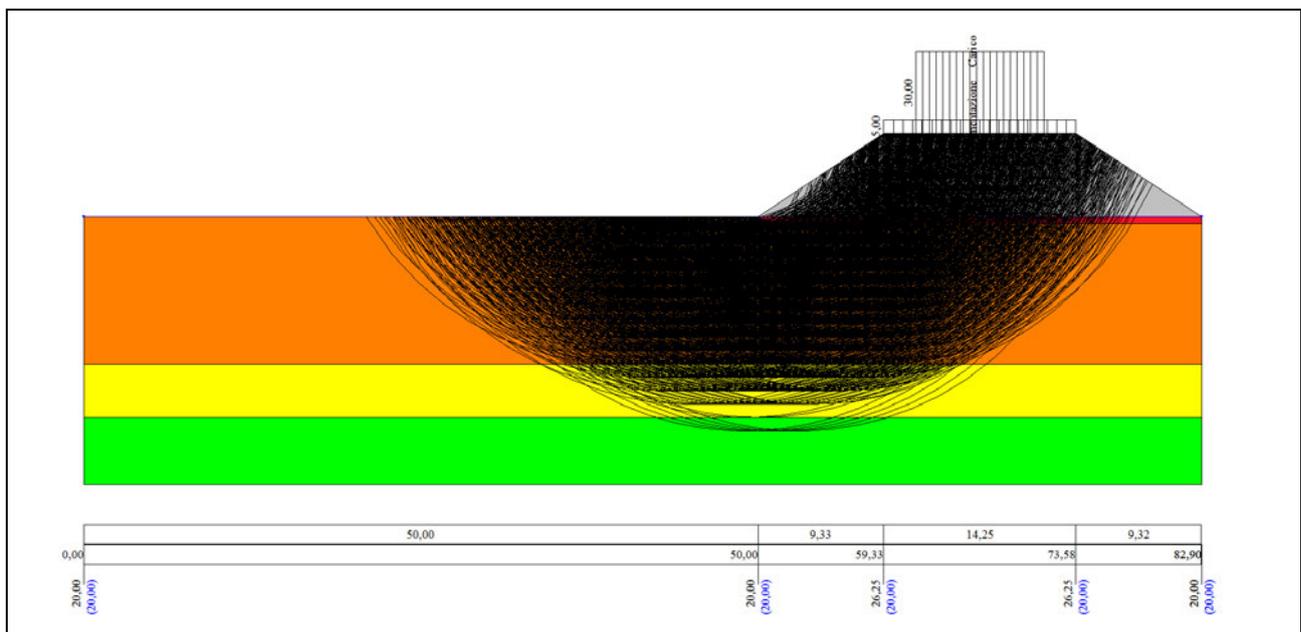


Figura 9.12 – Superfici di scorrimento con FS<3

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
						
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 84 di 106

Rilevato via delle Caserme Spalla B – Sismica

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	3610	2.624	1	4447.117	3610

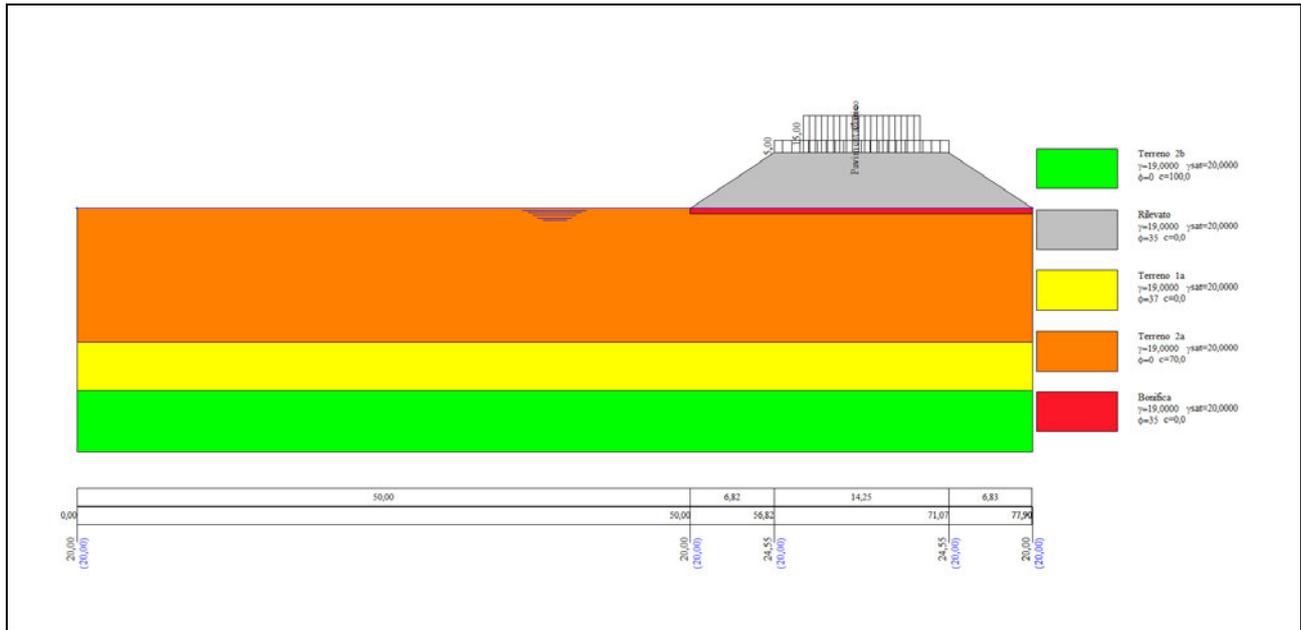


Figura 9.9 – Modello di calcolo

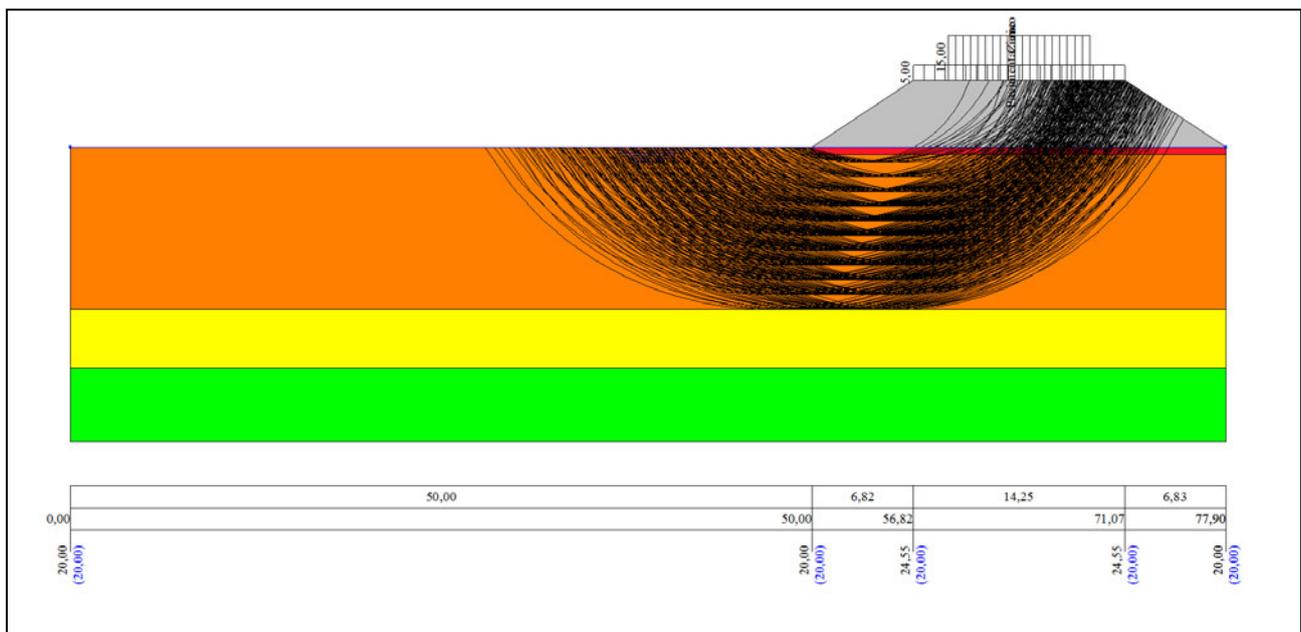


Figura 9.10 – Superfici di scorrimento con FS<3

APPALTATORE 		DIREZIONE LAVORI 				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 85 di 106

Rilevato via delle Caserme Spalla B – Statica

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	3610	1.381	1	950.419	3609

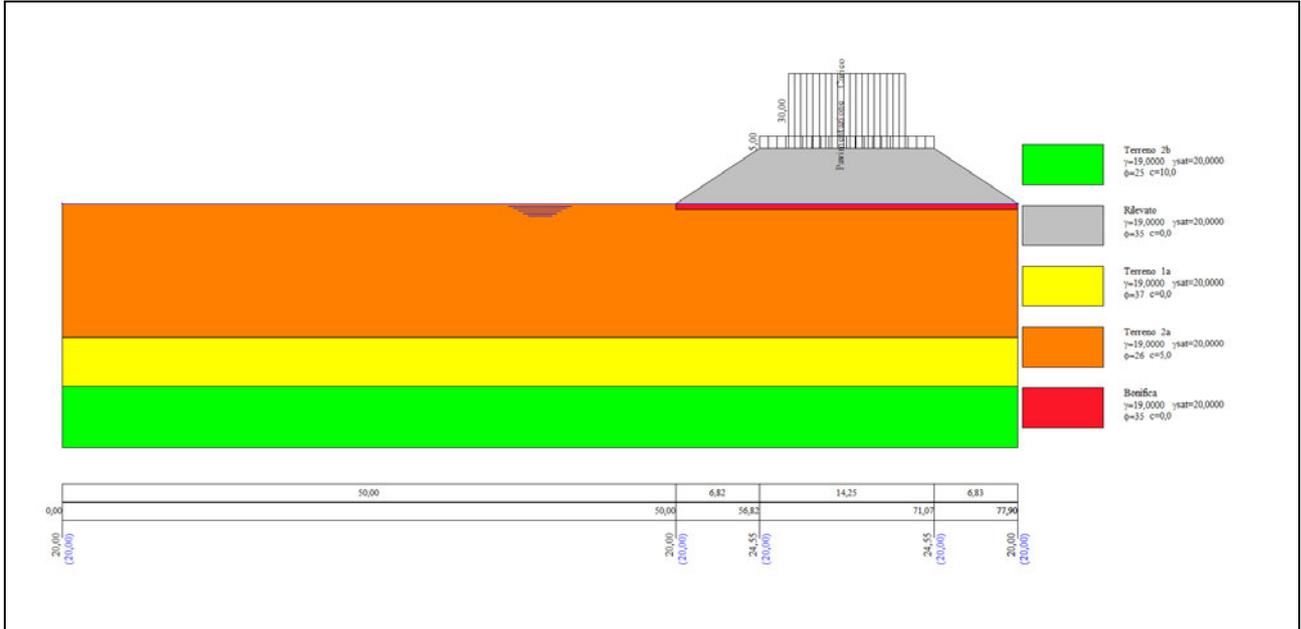


Figura 9.11 – Modello di calcolo

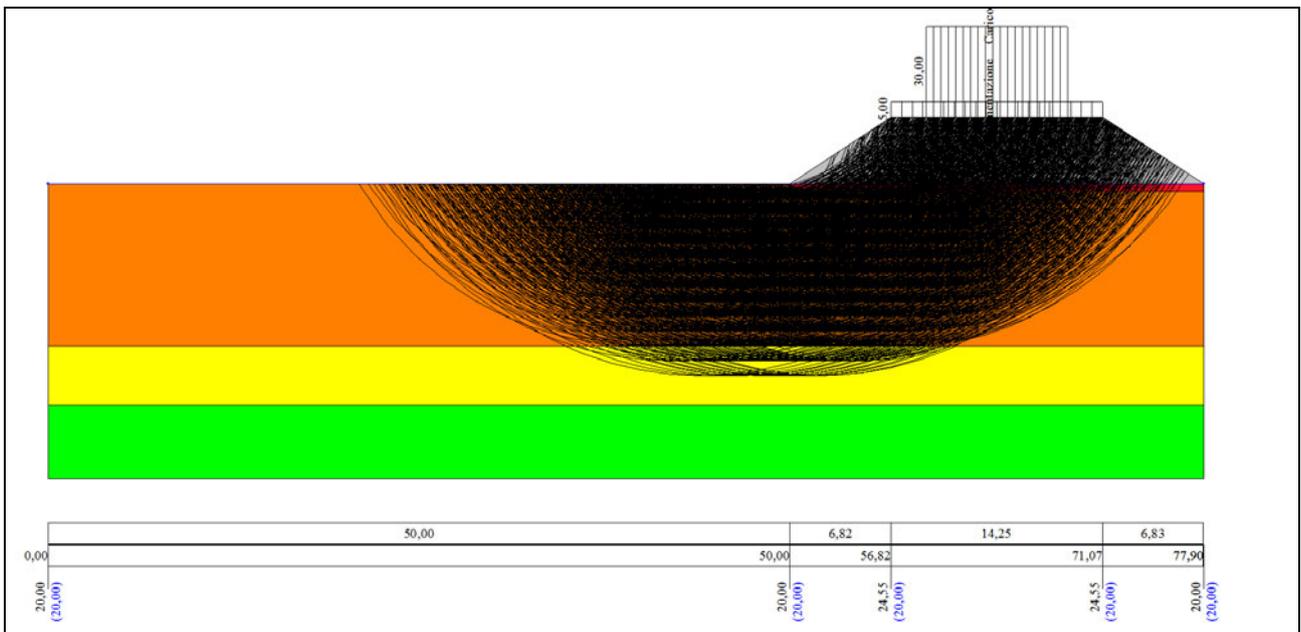


Figura 9.12 – Superfici di scorrimento con FS<3

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 86 di 106

10 VERIFICA ARGINI ESINO

10.1 Descrizione metodo di calcolo

La valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità viene condotta attraverso il programma di calcolo Stap Full (Aztec Software). I dati di input e i risultati in forma estesa sono presenti nell'appendice I.

La verifica alla stabilità del pendio deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a **1.30**. Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. In particolare il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione. Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate.

Metodo di Bishop

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Bishop semplificato** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum_i \left(\frac{c_i b_i + (N_i / \cos(\alpha_i) - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine **m** è espresso da

$$m = \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \phi_i \operatorname{tg} \alpha_i}{F} \right) \cos \alpha_i$$

In questa espressione **n** è il numero delle strisce considerate, **b_i** e **α_i** sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia **i_{esima}** rispetto all'orizzontale, **W_i** è il peso della striscia **i_{esima}**, **c_i** e **φ_i** sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed **u_i** è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di **Bishop semplificato** contiene al secondo membro il termine **m** che è funzione di **F**. Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per **F** da inserire nell'espressione di **m** ed iterare fin quando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

10.2 Dati

Descrizione terreno

Simbologia adottata

Nr. Indice del terreno

Descrizione Descrizione terreno

γ Peso di volume del terreno espresso in kN/mc

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B
					Foglio 88 di 106

Combinazione SISMA

N _{pila} [kN]	H _{pila} [kN]	B _{fondazione} [m]	L _{fondazione} [m]	N _{distribuito} [kN/m/m]	H _{distribuito} [kN/m/m]
31345	5557	21	9	170	30

Dati zona sismica

Coefficiente sismico orizzontale (per cento)	7.00
Coefficiente sismico verticale (per cento)	3.50
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50

Impostazioni delle superfici di rottura

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite una maglia di centri. La posizione della maglia di centri, così come l'intervallo di lunghezza dei raggi, è stato valutato di volta in volta per i diversi modelli.

Opzioni di calcolo

Per l'analisi è stato utilizzato il metodo di calcolo: BISHOP.

Le superfici sono state analizzate sia in condizioni **statiche** che **sismiche**.

Analisi condotta sia in termini di **tensioni efficaci** che di **tensioni totali**. Presenza di falda e presenza di carichi distribuiti.

Condizioni di esclusione

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a	1,00	m
- freccia inferiore a	0,50	m
- volume inferiore a	2,00	mc
- pendenza media della superficie inferiore a	1.00	[%]

APPALTATORE



**RICCIARDELLO
COSTRUZIONI**
S.r.l.

DIREZIONE LAVORI



ITALFERR

GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

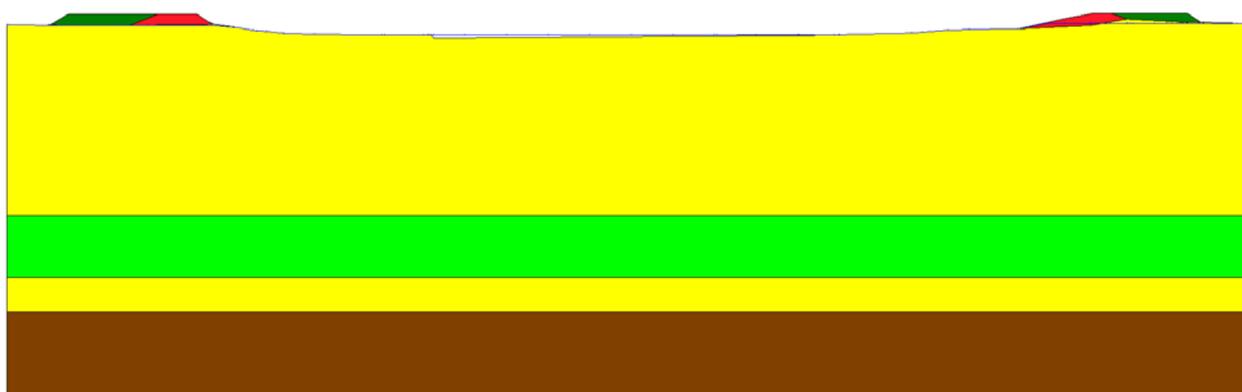
Progetto
IA1Y

Lotto
00

Codifica Documento
RBGE0100001

Rev.
B

Foglio
89 di
106



Terreno 3
 $\gamma=20,0000$ $\gamma_{sat}=21,0000$
 $\phi=25$ $c=15,0$



Terreno 1a_2
 $\gamma=19,0000$ $\gamma_{sat}=20,0000$
 $\phi=37$ $c=0,0$



Terreno 1a_1
 $\gamma=19,0000$ $\gamma_{sat}=20,0000$
 $\phi=37$ $c=0,0$



Terreno 6
 $\gamma=20,0000$ $\gamma_{sat}=21,0000$
 $\phi=38$ $c=0,0$



Terreno 2b_1
 $\gamma=19,0000$ $\gamma_{sat}=20,0000$
 $\phi=25$ $c=10,0$



Terreno 5
 $\gamma=19,0000$ $\gamma_{sat}=20,0000$
 $\phi=30$ $c=15,0$

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 90 di 106

10.3 Risultati analisi

Argine destro – Tensioni totali – Falda 1

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	1248	2.245	1	51.898	1248

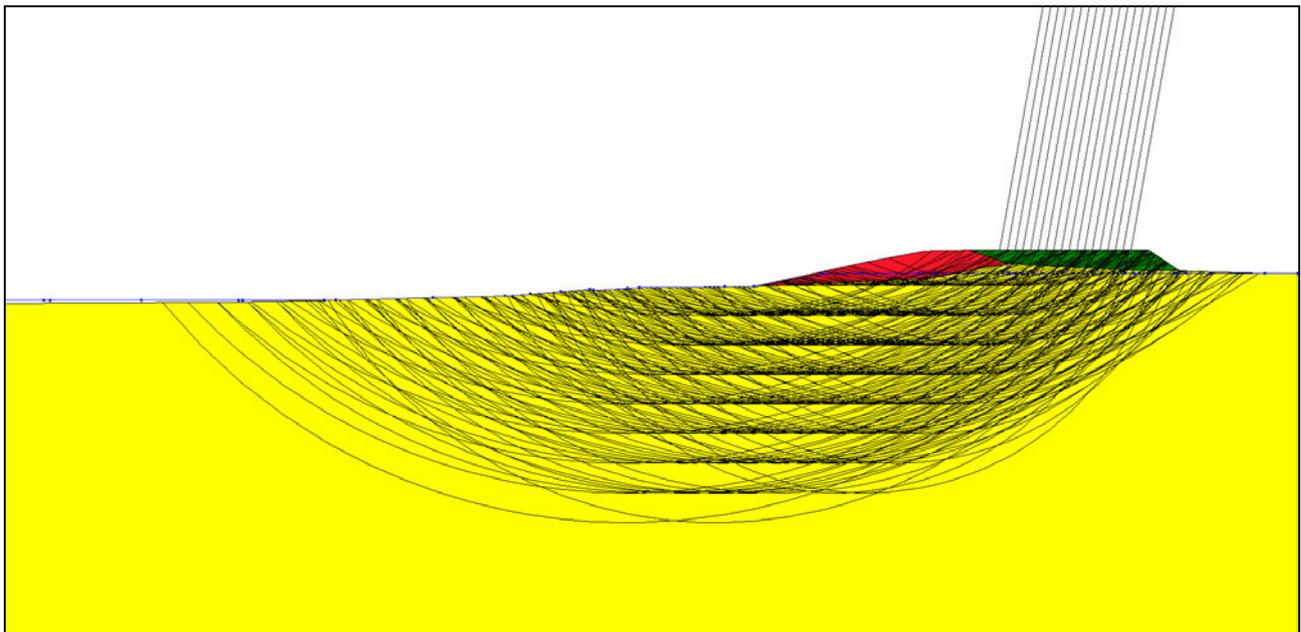


Figura 10.1 – Superfici di scorrimento con FS<5

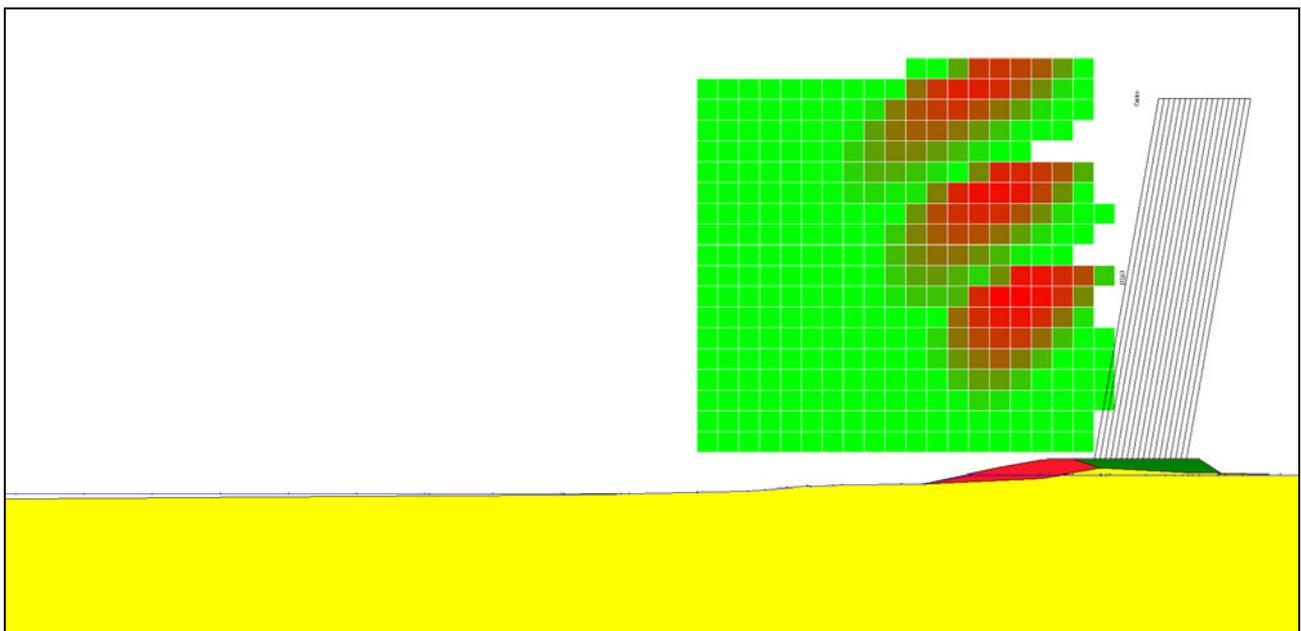


Figura 10.2 – Mappa coefficienti di sicurezza

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 91 di 106

Argine destro – Tensioni totali – Falda 2

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	1248	2.407	1	110.573	1248

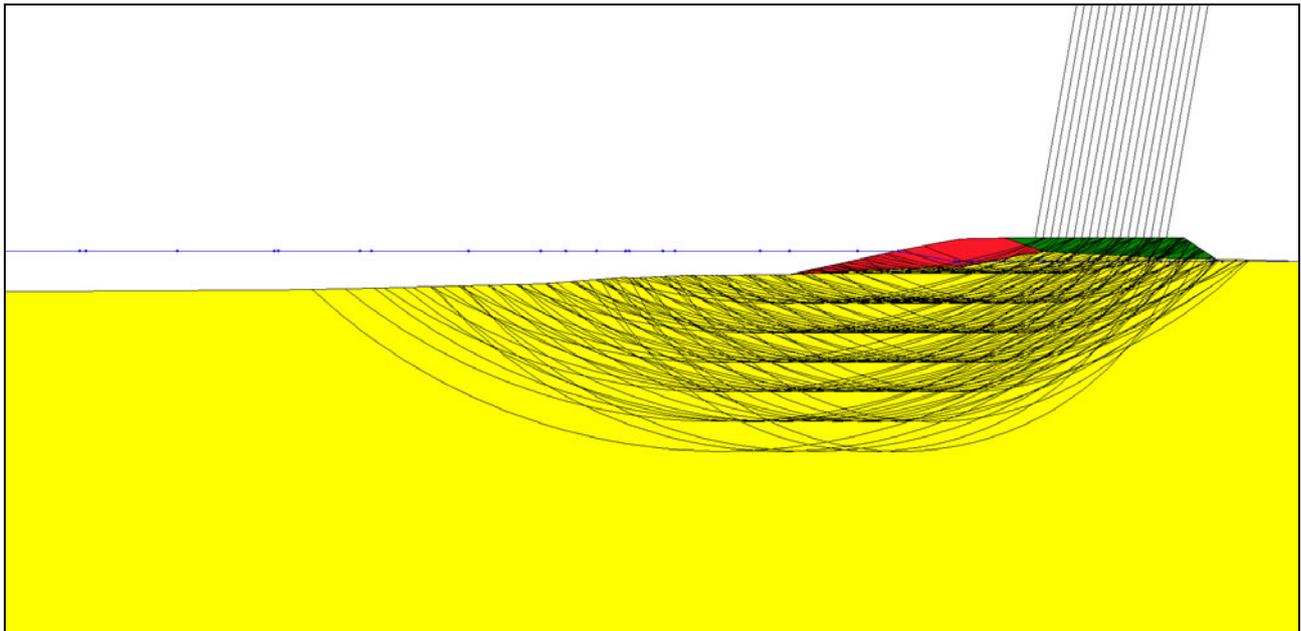


Figura 10.3 – Superfici di scorrimento con FS<5

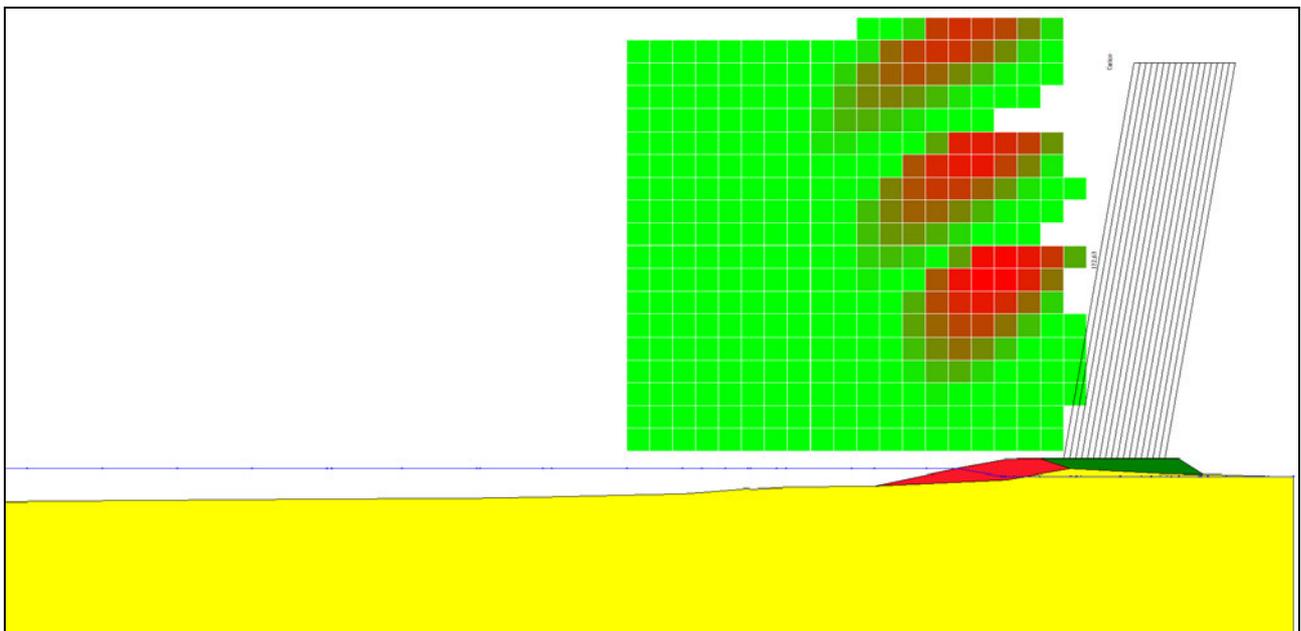


Figura 10.4 – Mappa coefficienti di sicurezza

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 92 di 106

Argine destro – Tensioni efficaci – Falda 1

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	1248	1.719	1	26.402	1248

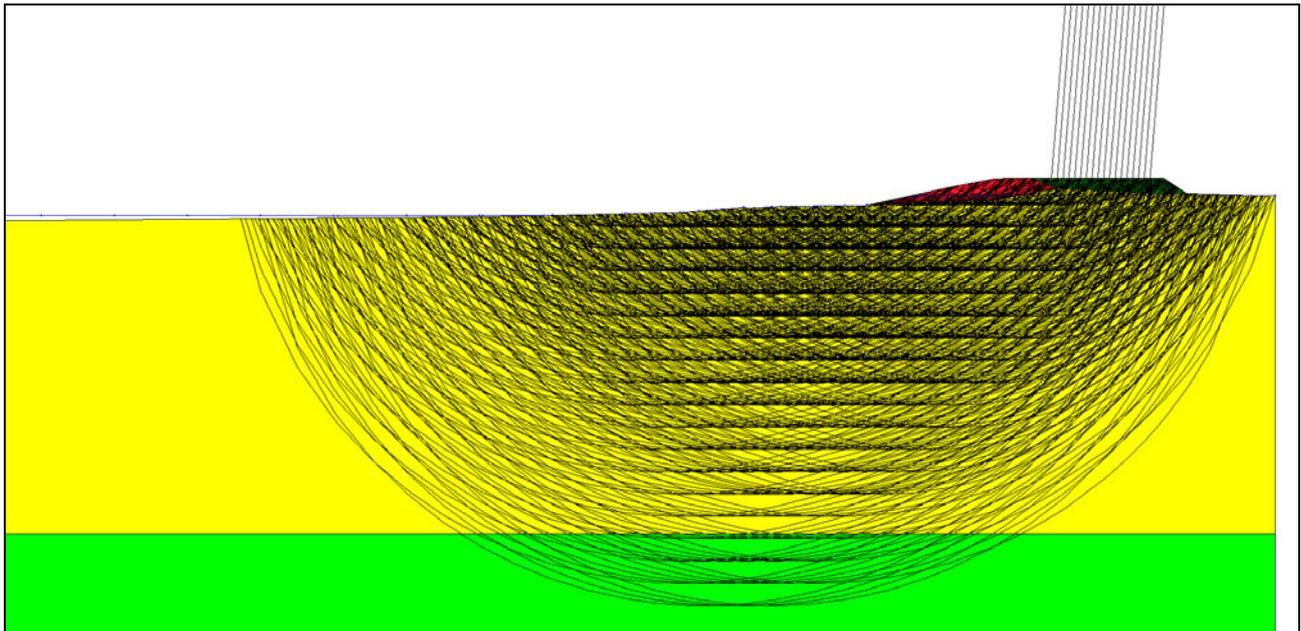


Figura 10.5 – Superfici di scorrimento con FS<5

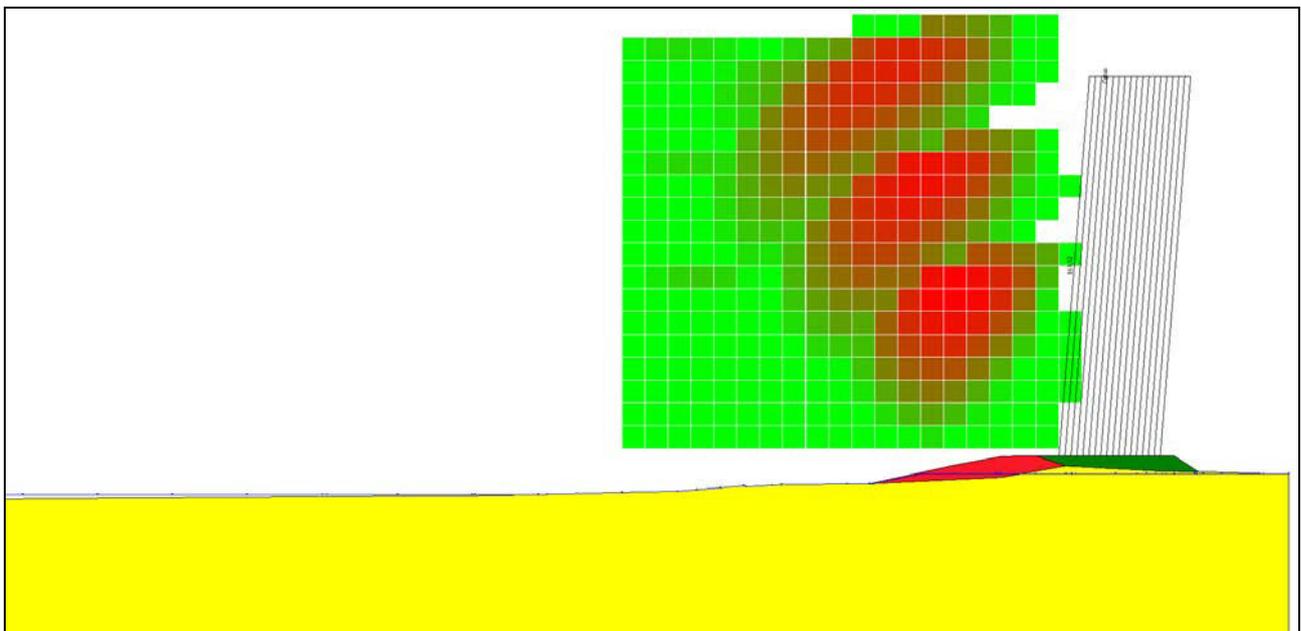


Figura 10.6 – Mappa coefficienti di sicurezza

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 93 di 106

Argine destro – Tensioni efficaci – Falda 2

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	1248	1.808	1	49.699	1248

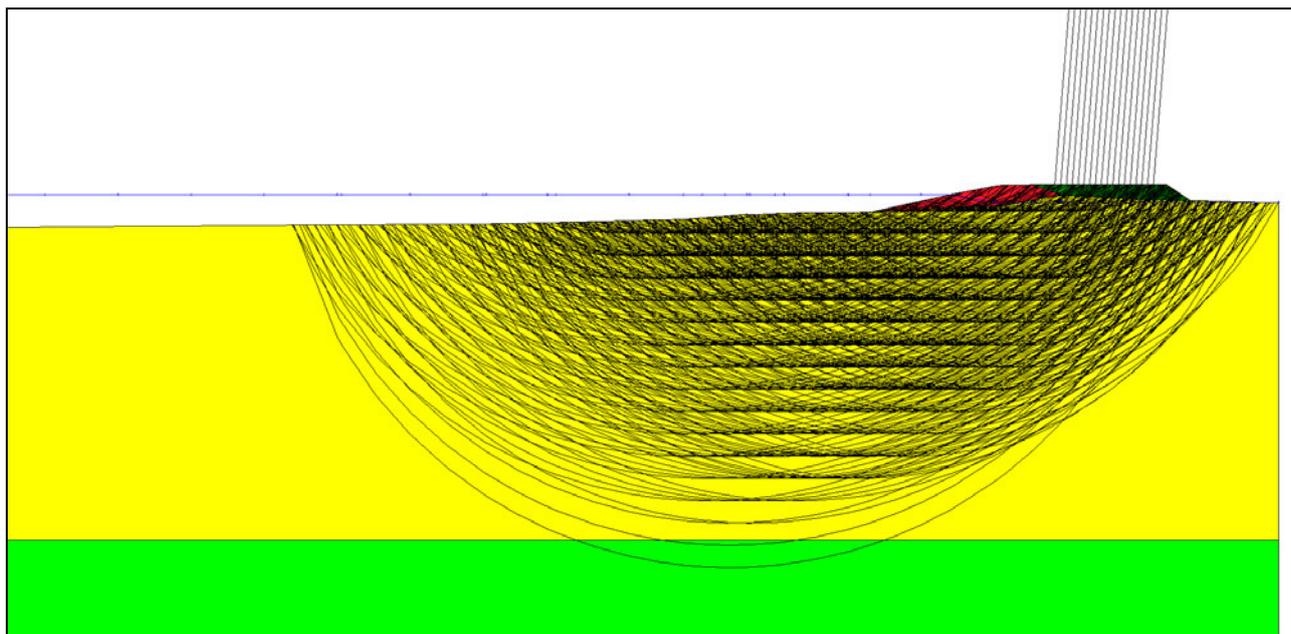


Figura 10.7 – Superfici di scorrimento con FS<5

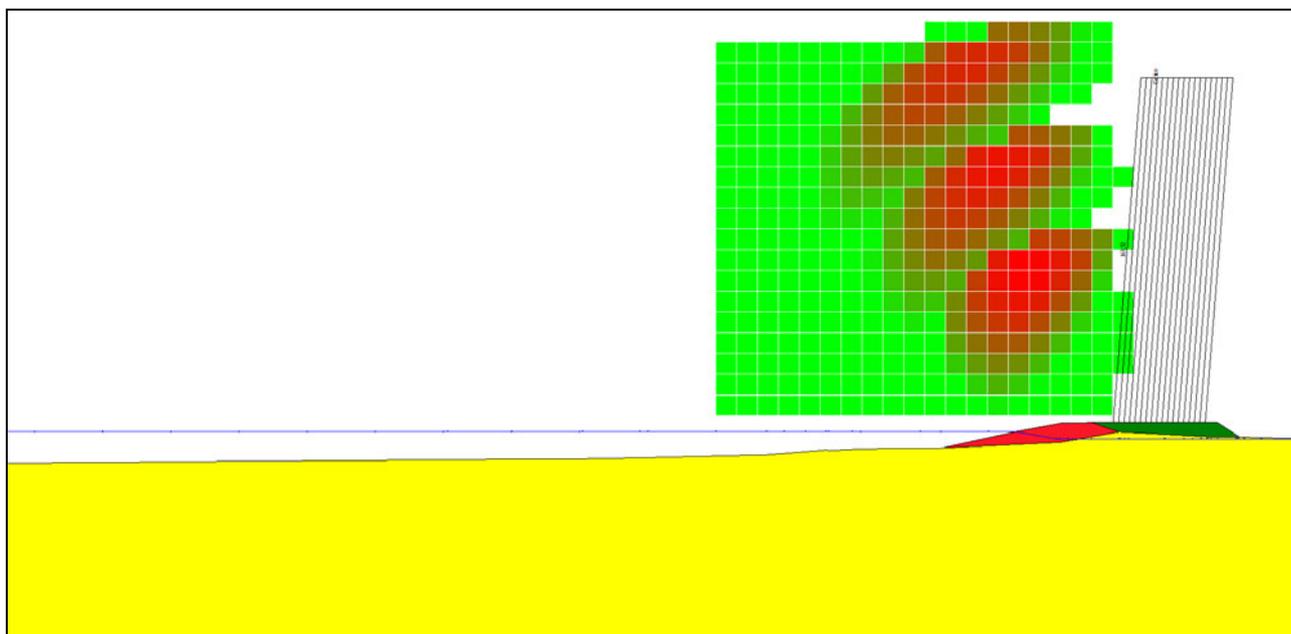


Figura 10.8 – Mappa coefficienti di sicurezza

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 94 di 106

Argine sinistro (modello specchiato) – Tensioni totali – Falda 1

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	1324	2.339	1	137.161	1324

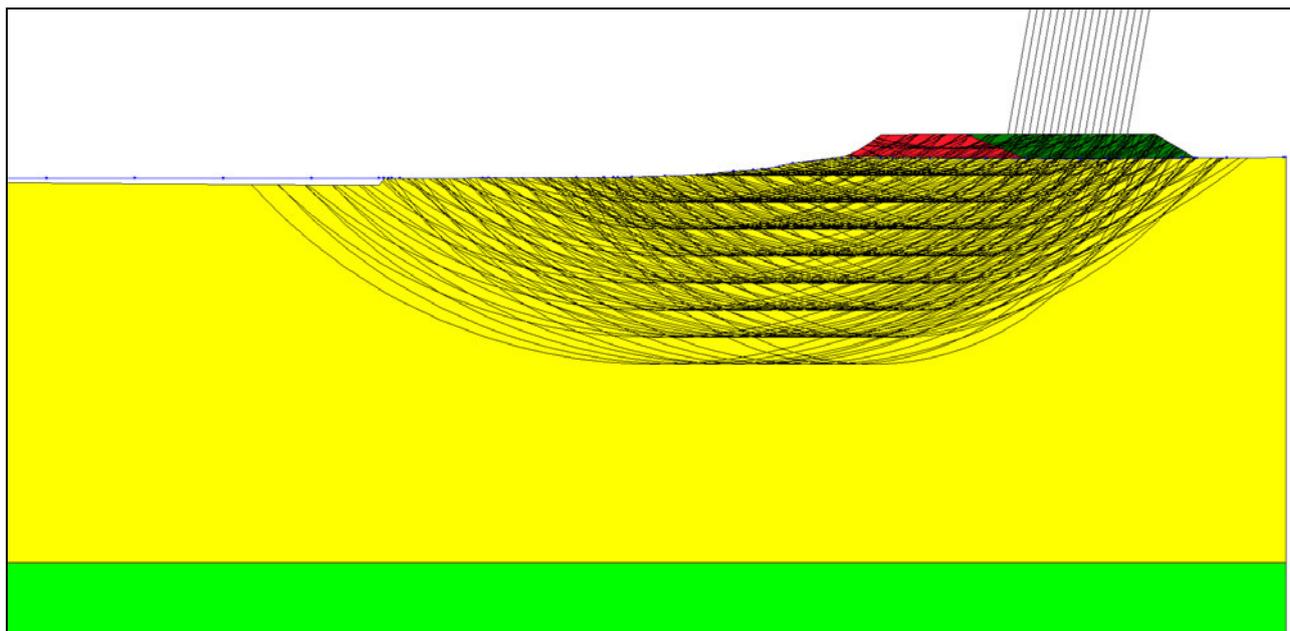


Figura 10.9 – Superfici di scorrimento con FS<5

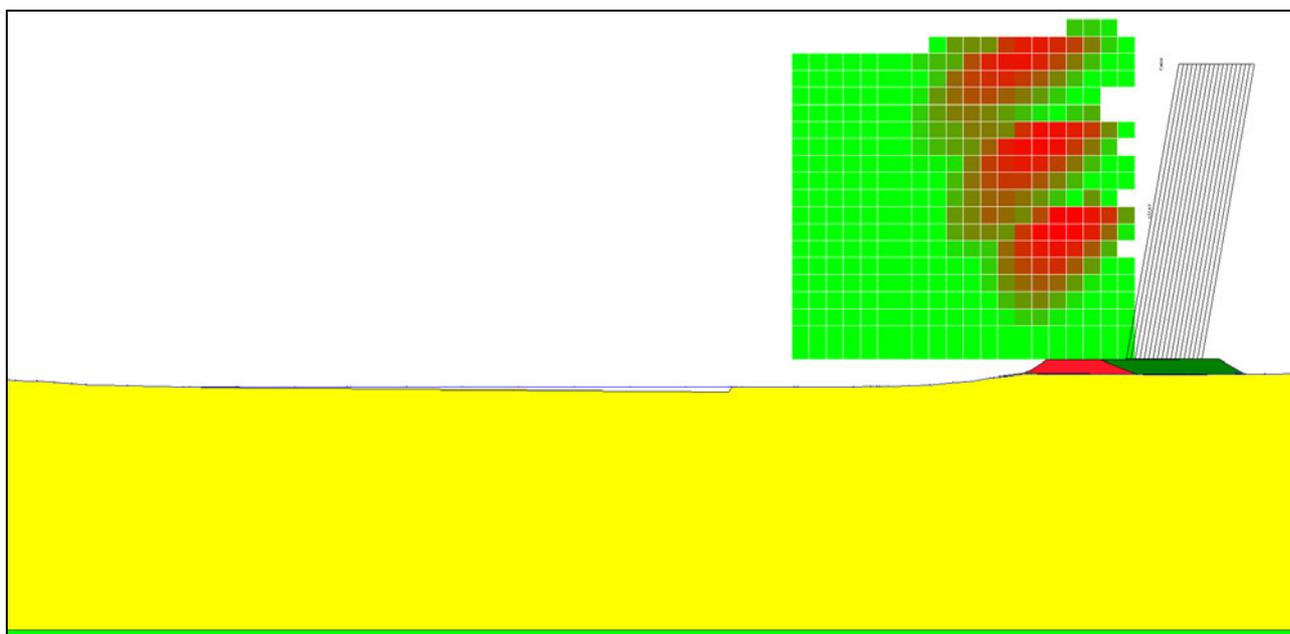


Figura 10.10 – Mappa coefficienti di sicurezza

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 95 di 106

Argine sinistro (modello specchiato) – Tensioni totali – Falda 2

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	1324	2.442	1	529.836	1324

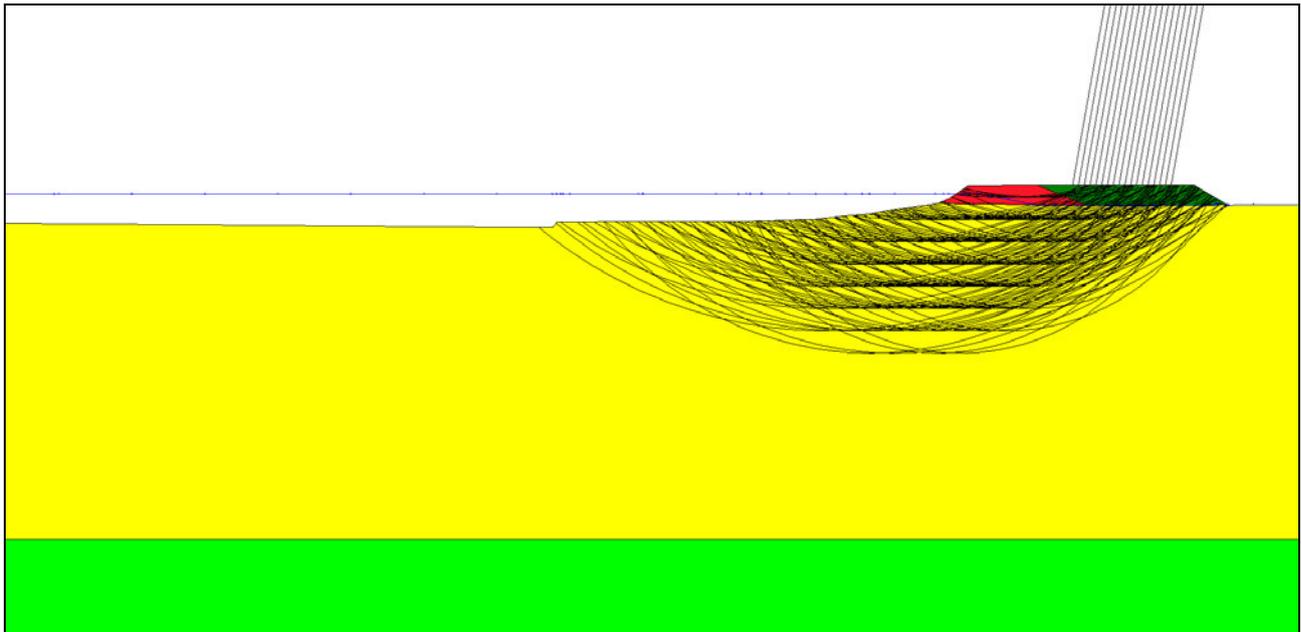


Figura 10.11 – Superfici di scorrimento con FS<5

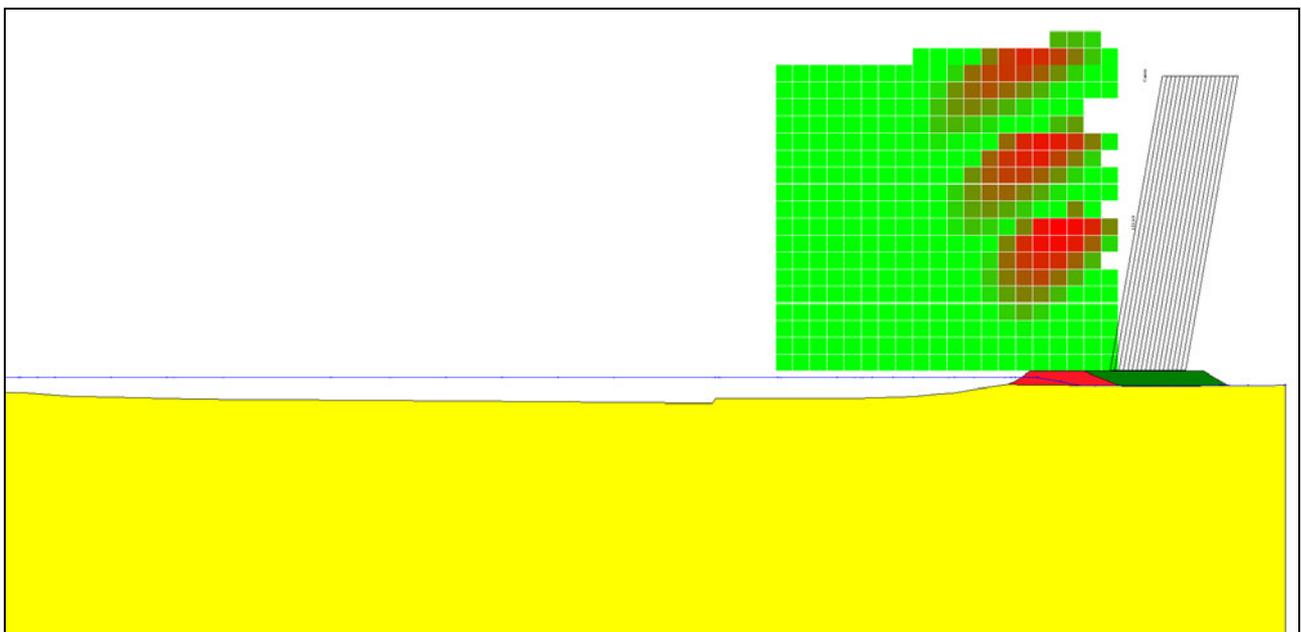


Figura 10.12 – Mappa coefficienti di sicurezza

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 96 di 106

Argine sinistro (modello specchiato) – Tensioni efficaci – Falda 1

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	1324	1.781	1	69.897	1324

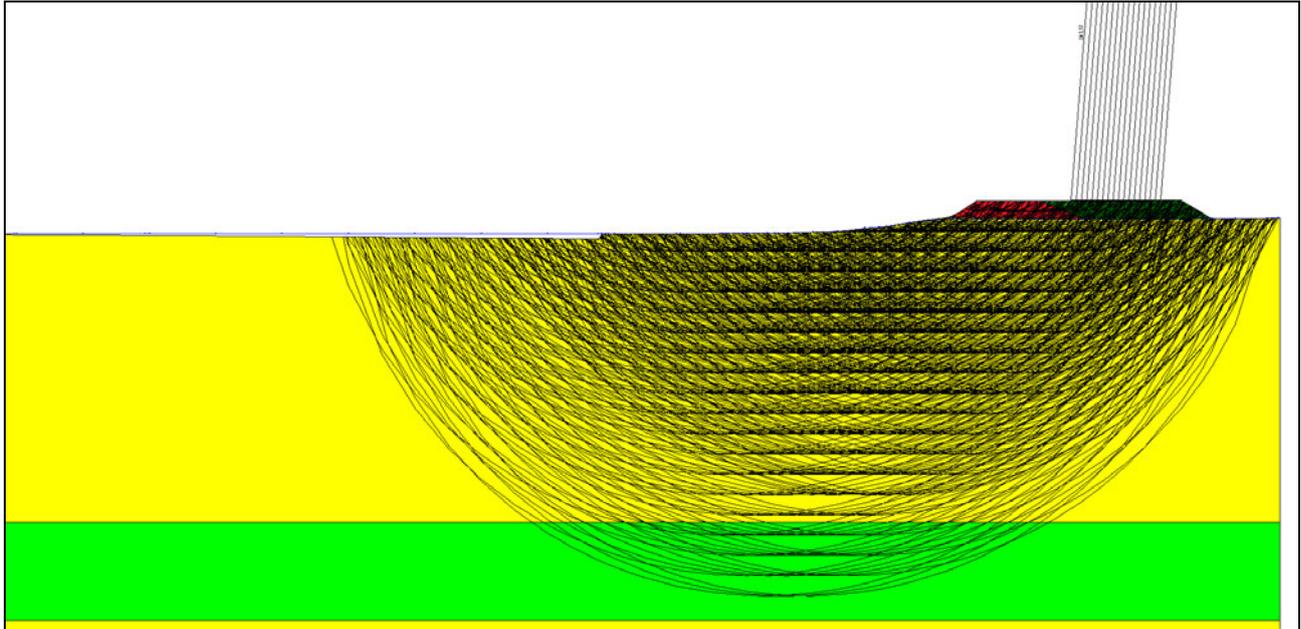


Figura 10.13 – Superfici di scorrimento con FS<5

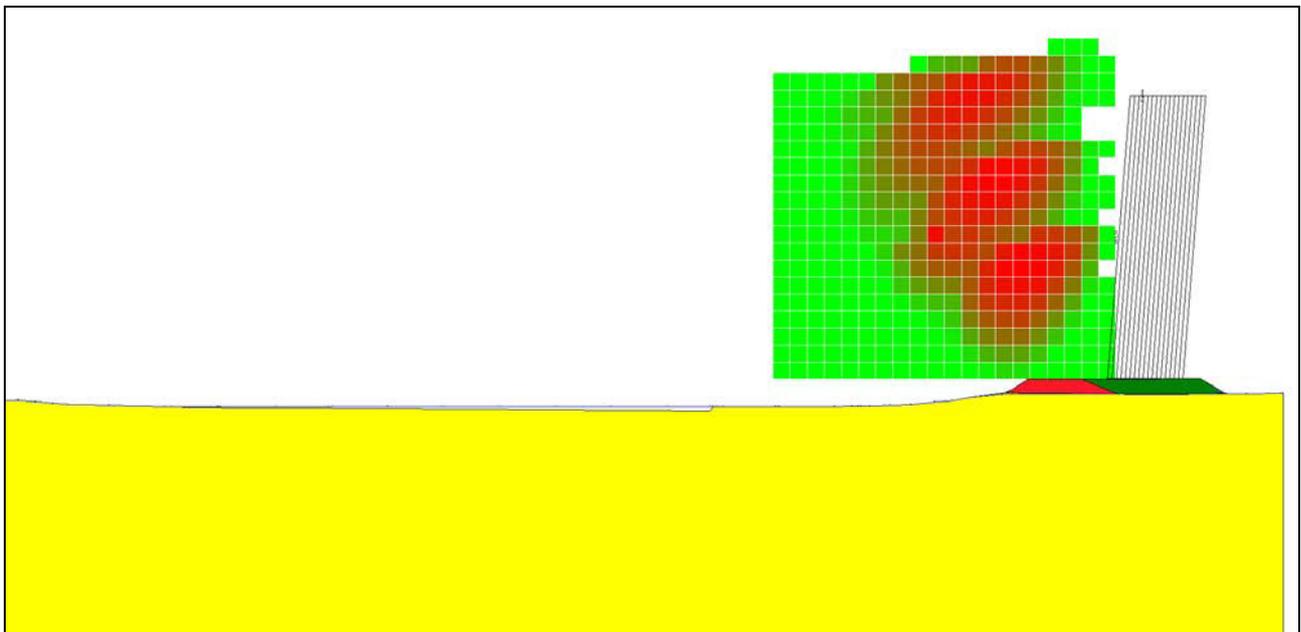


Figura 10.14 – Mappa coefficienti di sicurezza

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 97 di 106

Argine sinistro (modello specchiato) – Tensioni efficaci – Falda 2

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	1324	1.873	1	135.686	1324

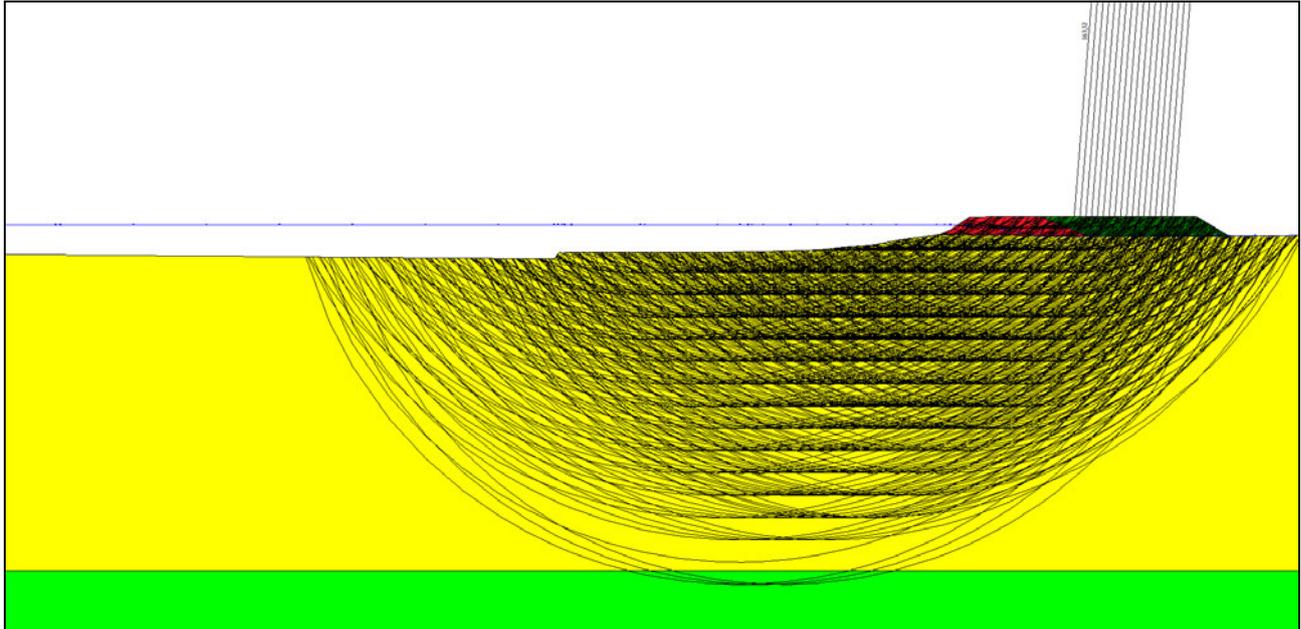


Figura 10.15 – Superfici di scorrimento con FS<5

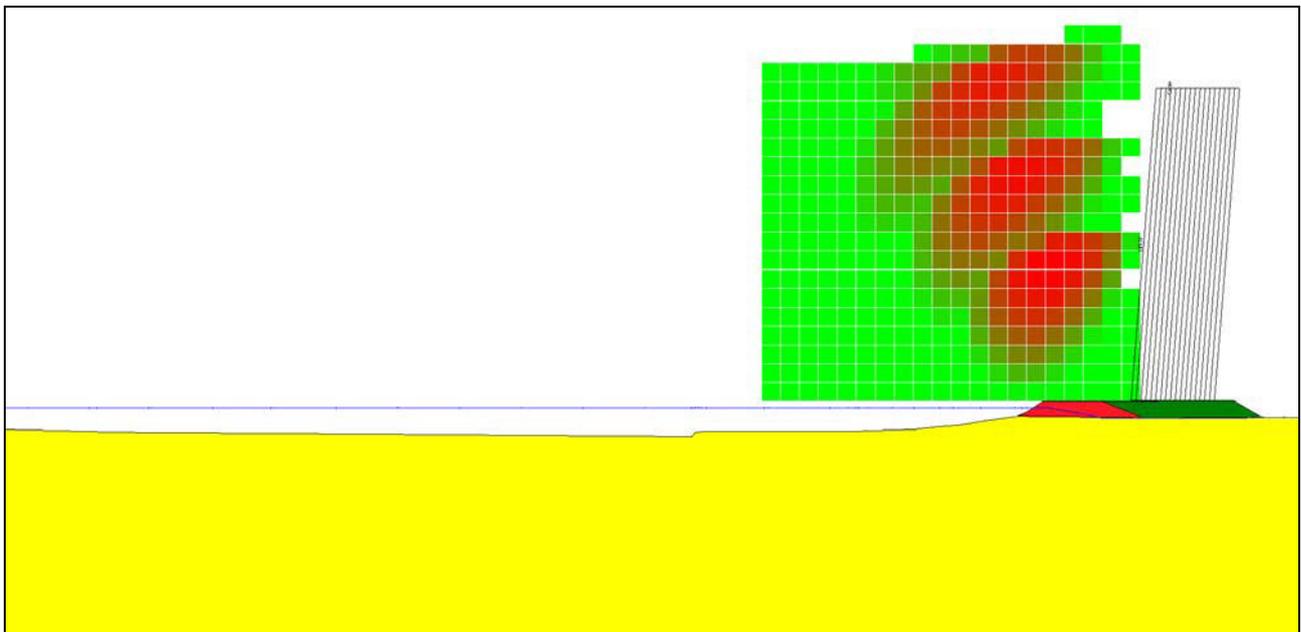


Figura 10.16 – Mappa coefficienti di sicurezza

APPALTATORE  RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 98 di 106

11 VERIFICA ARGINI PROVVISORI

11.1 Descrizione opera

Durante la fase di realizzazione del ponte ad arco sul fiume Esino si rende necessario la posa in opera di argini provvisori che verranno verificati per le condizioni di piena specificate nella relativa relazione (IA1Y-00-E-ZZ-RI-ID0000-003_A). Il sistema di ritegno per corpo fluviale non risulta ovviamente adeguato per un evento di piena, durante il quale si prevede la naturale interruzione dei lavori.

11.2 Descrizione metodo di calcolo

La valutazione dei fattori di sicurezza alla stabilità viene condotta attraverso il programma di calcolo Stap Full (Aztec Software). I dati di input e i risultati in forma estesa sono presenti nell'appendice L.

La verifica alla stabilità del pendio deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a **1.30**. Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. In particolare il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione. Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate.

Metodo di Bishop

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Bishop semplificato** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum_i \left(\frac{c_i b_i + (N_i / \cos(\alpha_i) - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine **m** è espresso da

$$m = \left(1 + \frac{\operatorname{tg} \phi_i \operatorname{tg} \alpha_i}{F} \right) \cos \alpha_i$$

In questa espressione **n** è il numero delle strisce considerate, **b_i** e **α_i** sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia **i_{esima}** rispetto all'orizzontale, **W_i** è il peso della striscia **i_{esima}**, **c_i** e **φ_i** sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed **u_i** è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di **Bishop semplificato** contiene al secondo membro il termine **m** che è funzione di **F**. Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per **F** da inserire nell'espressione di **m** ed iterare fin quando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

APPALTATORE  RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 99 di 106

11.3 Caratteristiche dei terreni

L'argine sarà composto da un nucleo realizzato con ciottoli di medio/grande diametro al fine di garantire la stabilità dell'opera. Dovendo soddisfare a requisiti funzionali di carattere idraulico e meccanico, dovrà presentare le seguenti caratteristiche (minime in termini di resistenza al taglio):

- angolo di attrito $\varphi = 40^\circ$
- coesione drenata $c' = 0 \text{ kPa}$
- peso di volume $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
- permeabilità $k \leq 10^{-5} \text{ m/s}$

Le terre poste a copertura del nucleo preferibilmente da utilizzare saranno di tipo A2 sabbioso-limoso con passante minimo al vaglio ASTM 200 superiore al 20% e inferiore a 35% e con indice di plasticità inferiore a 25 ed internamente stabile (Kenney & Lau, 1985), e, dovendo soddisfare a requisiti funzionali di carattere idraulico e meccanico, dovrà presentare le seguenti caratteristiche (minime in termini di resistenza al taglio):

- angolo di attrito $\varphi = 35^\circ$
- coesione drenata $c' = 10 \text{ kPa}$
- peso di volume umido $\gamma_{\text{wet}} = 18 \text{ kN/m}^3$
- peso di volume saturo $\gamma_{\text{sat}} = 21 \text{ kN/m}^3$
- permeabilità $k \leq 10^{-7} \text{ m/s}$

Tale materiale dovrà essere opportunamente compattato (con contenuto d'acqua pari a $\omega_{\text{OPT}} \pm 5\%$) fino a raggiungere un'adeguata densità, resistenza meccanica e permeabilità. Dal lato del fiume è posto un telo impermeabilizzante appositamente ancora al corpo arginale. Al fine di proteggere il telo dal trasporto solido del fiume sopra il telo si prevedono delle lastre di cls; tali lastre sono provviste di un gancio per il sollevamento che ne garantisce la veloce e sicura posa in opera.

11.4 Geometria

L'argine ha forma trapezoidale con dimensioni:

Base maggiore $B = 10.00 \text{ m}$
Base minore $b = 1.00 \text{ m}$
Altezza $H = 3.00 \text{ m}$

L'altezza massima di piena di progetto è stata considerata fino a 0.5m dalla testa dell'argine. Al fine di garantire un'adeguata sicurezza nei confronti del fenomeno di sifonamento, al piede dell'argine sul lato del corso d'acqua si prevede un taglione impermeabile di lunghezza pari almeno a 4,50m

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
					
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 100 di 106

11.5 Verifica di stabilità globale

La verifica di stabilità globale è stata condotta considerando l'argine costituito dal nucleo e dallo strato più esterno di spessore 30 cm. Le lastre di cls sul lato dove insiste il fiume Esino (lato esterno) sono state considerate attraverso l'applicazione di un carico verticale di 5 kN/m (25 kN/m³ x 20 cm di spessore). Le verifiche sono state condotte nel caso di falda a piano campagna (caso 1) e nel caso di piena (caso 2). In quest'ultimo caso, a vantaggio di sicurezza, all'interno dell'argine si è considerata una linea d'infiltrazione rettilinea di pendenza 1:5 a partire dal livello di massima piena.

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	1937	1.444	1	56.844	1937

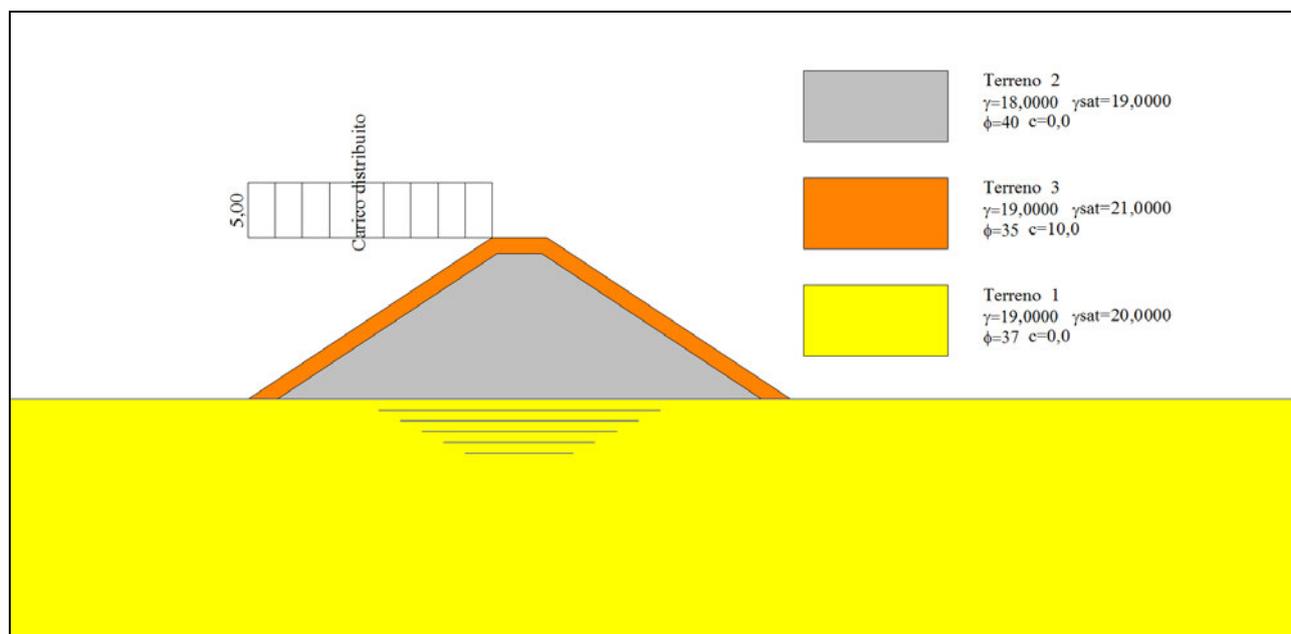


Figura 11.1 – Modello (Caso 1)

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B Foglio 101 di 106

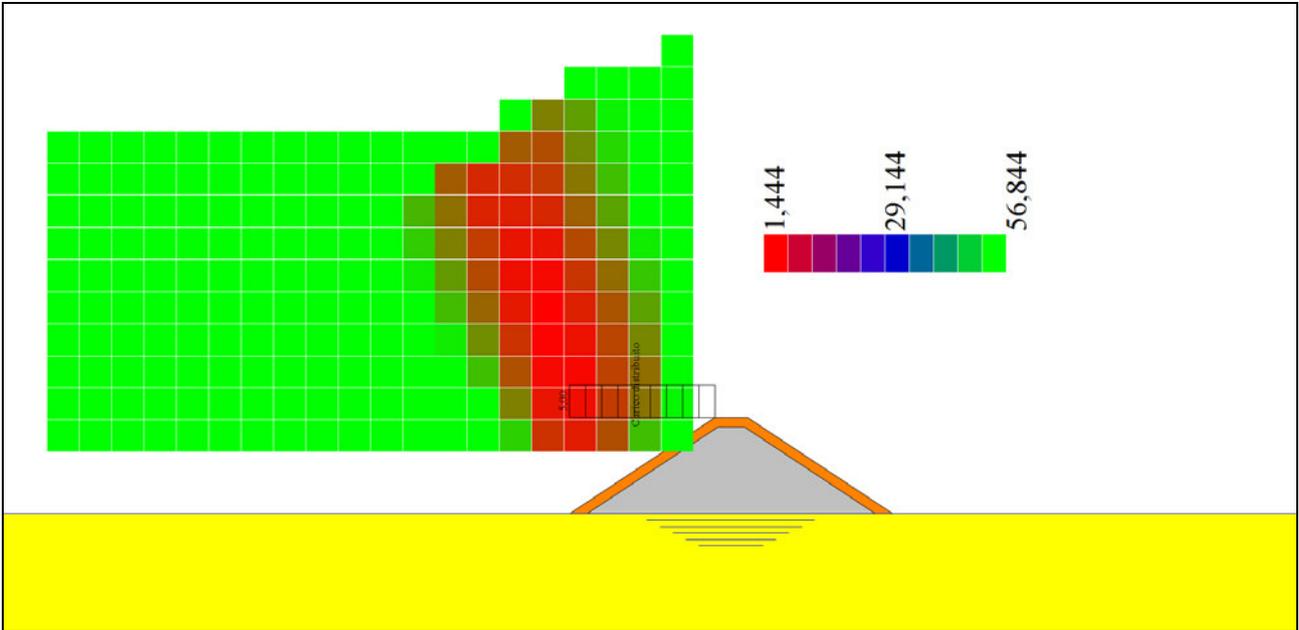


Figura 11.2 – Mappa coefficienti di sicurezza (Caso 1)

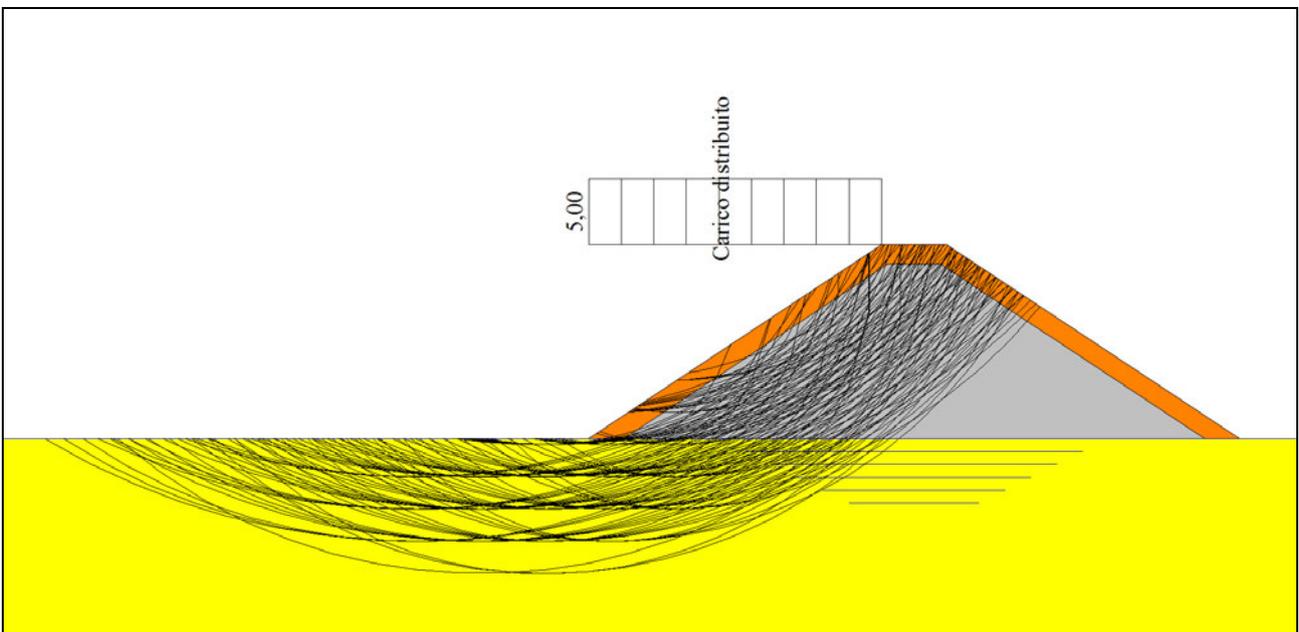


Figura 11.3 – Superfici di scorrimento con FS < 2 (Caso 1)

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 102 di 106

Metodo	Nr. superfici	FS _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
BISHOP	1857	1.402	1	36.444	1857

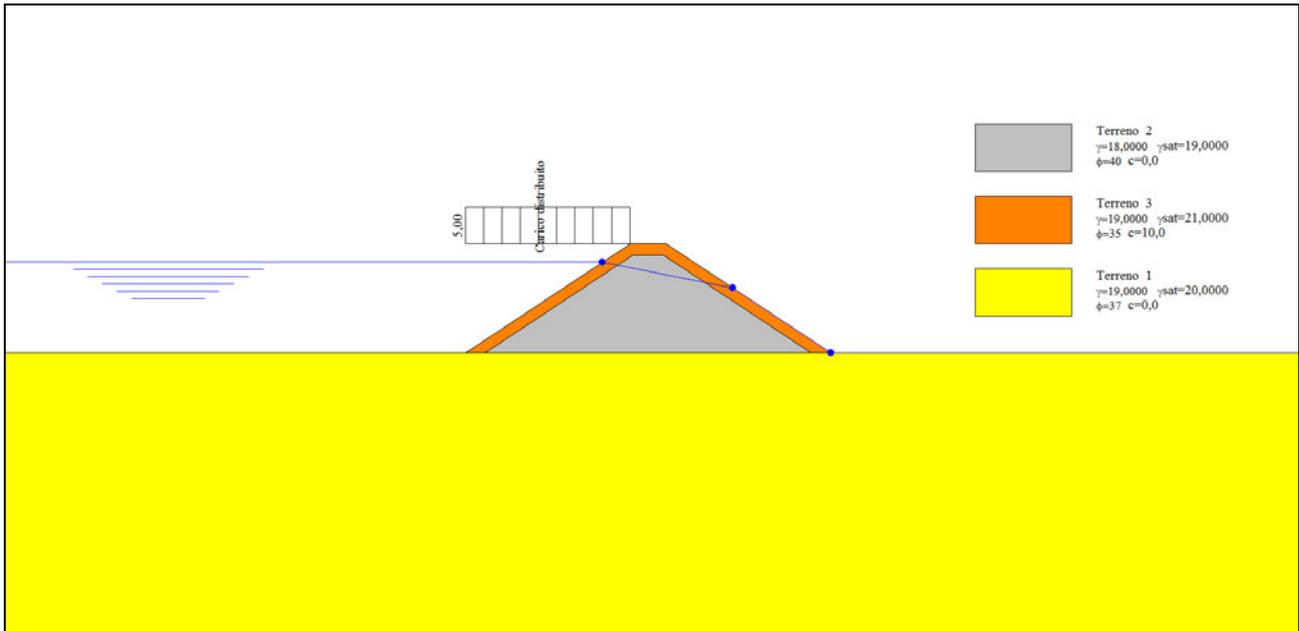


Figura 11.4 – Modello (Caso 2)

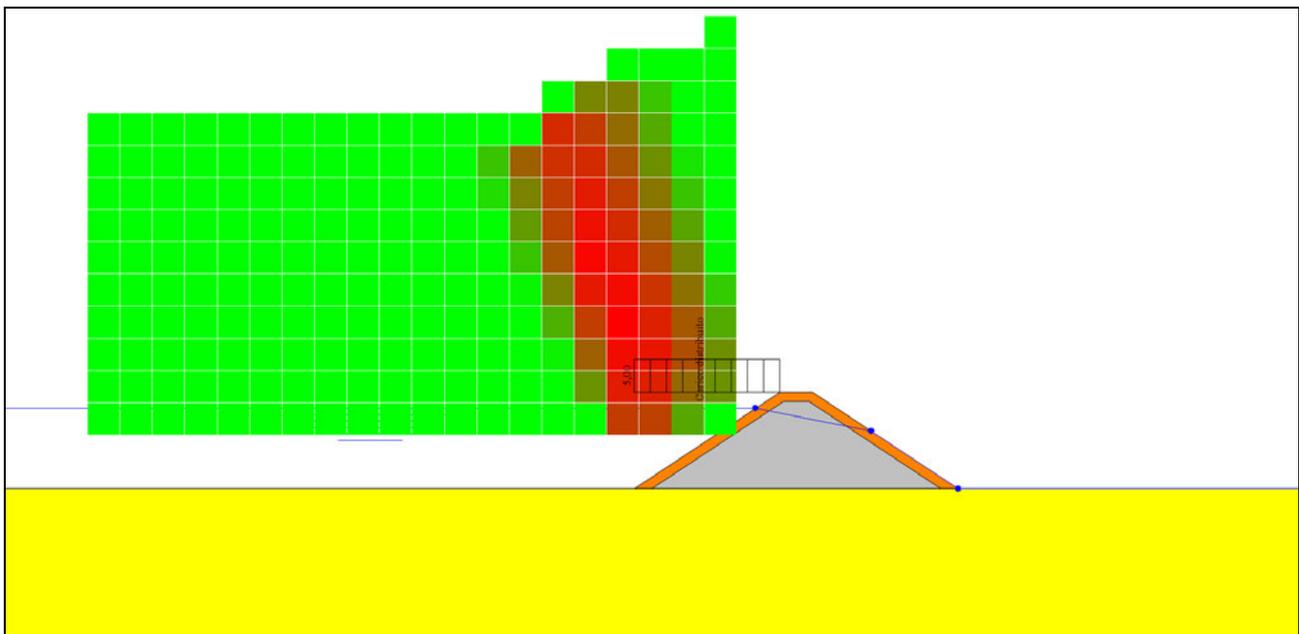


Figura 11.5 – Mappa coefficienti di sicurezza (Caso 2)

APPALTATORE  RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 103 di 106

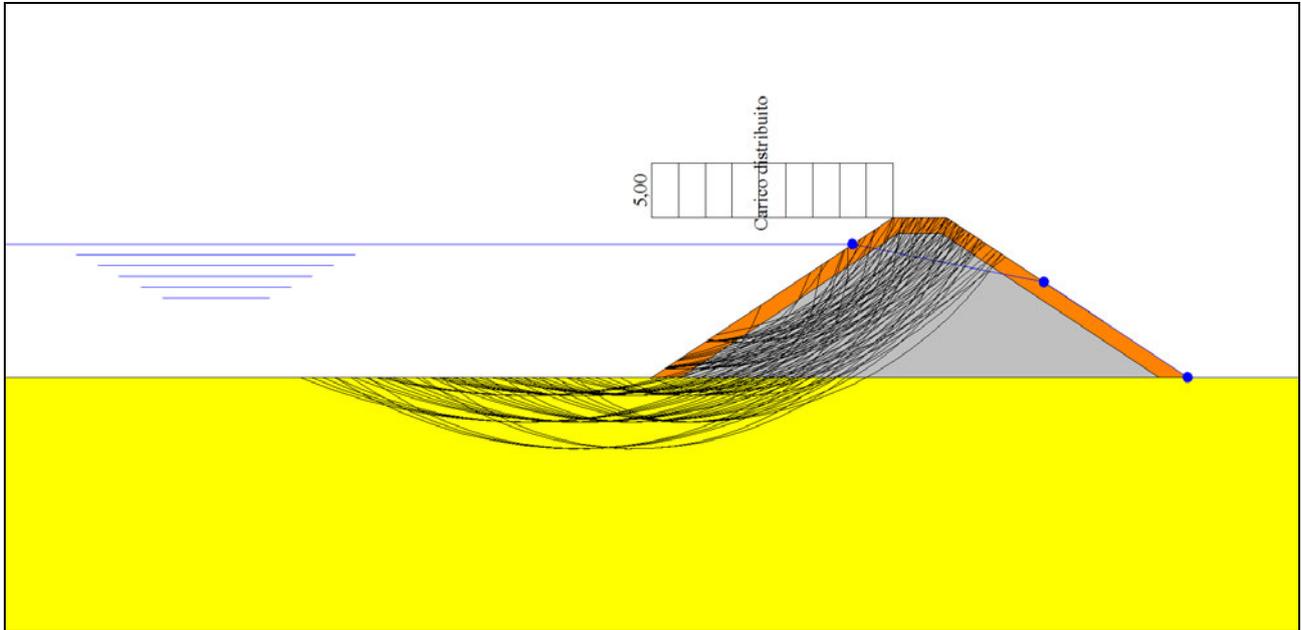


Figura 11.6 – Superfici di scorrimento con FS<2 (Caso 2)

APPALTATORE  RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.	DIREZIONE LAVORI  ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 104 di 106

11.6 Verifica sifonamento

La verifica al sifonamento è soddisfatta quando il valore della pressione interstiziale instabilizzante di progetto ($u_{inst,d}$) risulti non superiore al valore di progetto della tensione totale stabilizzante (σ_{stab}).

Occorre effettuare la verifica a sifonamento dal momento che l'esistenza della differenza di quota tra il pelo libero di monte e di valle produce un moto di filtrazione attraverso il mezzo poroso costituito dal terreno di fondazione dell'opera. Definita H la differenza di potenziale relativo ad una traiettoria qualsiasi, secondo la legge di Darcy si ha

$$v = k \frac{\Delta H}{L_{filtrazione}} \quad [m/s]$$

In modo semplificato può essere valutato con il moto di filtrazione monodimensionale, considerando il percorso più breve compiuto dall'acqua di filtrazione da monte a valle. Secondo tale ipotesi, il percorso più breve viene assunto cautelativamente pari allo sviluppo del contorno dell'opera a contatto con il terreno. Per tener conto della maggiore resistenza che l'acqua incontra lungo i percorsi verticali rispetto a quelli orizzontali, la lunghezza di questi ultimi viene moltiplicata per un fattore di riduzione pari a 1/3.

In condizioni di flusso monodimensionale si ha

$$u_w = \gamma_w (h - z') = \gamma_w \left(\frac{\Delta h}{L} z + z \right) = \gamma_w z + \gamma_w z i$$

$$\sigma'_v = \sigma_v - u_w = (\gamma - \gamma_w) z + \gamma_w z i$$

$$\sigma'_v = 0 \quad \Rightarrow \quad i_{cr} = \frac{\gamma - \gamma_w}{\gamma_w}$$

Nelle condizioni di progetto per il calcolo delle tensioni si ha

$$\sigma'_v = (\gamma - \gamma_w) z + \gamma_w z i$$

$$\sigma'_v > 0 \quad \Rightarrow \quad (\gamma - \gamma_w) z > \gamma_w z i \quad \Rightarrow \quad i < \frac{\gamma - \gamma_w}{\gamma_w} = i_{cr}$$

Il coefficiente di sicurezza può essere stimato quindi come

$$\eta = \frac{i_{cr}}{i}$$

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI				
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO				
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE		Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 105 di 106

ΔH	2,5	m	perdita di carico
L_v	9	m	lunghezza percorso di filtrazione verticale
L_o	0	m	lunghezza percorso di filtrazione orizzontale
$L_{filtrazione}$	9	m	lunghezza percorso di filtrazione
$i_{progetto}$	0,278		gradiente di efflusso
$\gamma_{terreno}$	19	kN/m^3	peso specifico terreno interessato dalla filtrazione
γ_w	10	kN/m^3	peso specifico acqua
$i_{critico}$	0,900		gradiente idraulico critico
η	3,240		coefficiente di sicurezza

A vantaggio di sicurezza si è considerato nullo il tratto orizzontale del percorso di filtrazione. La verifica nei confronti del sifonamento risulta soddisfatta.

APPALTATORE		DIREZIONE LAVORI			
 RICCIARDELLO COSTRUZIONI S.r.l.		 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO			
RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE	Progetto IA1Y	Lotto 00	Codifica Documento RBGE0100001	Rev. B	Foglio 106 di 106

12 ELENCO APPENDICI

- **APPENDICE A**
Tabelle riassuntive risultati prove di laboratorio
- **APPENDICE B**
Figure risultati prove di laboratorio
- **APPENDICE C**
Figure prove penetrometriche SPT
- **APPENDICE D**
Prove penetrometriche statiche
- **APPENDICE E**
Prove pressiometriche
- **APPENDICE F**
Prove geofisiche
- **APPENDICE G**
Analisi cedimenti rilevati
- **APPENDICE H**
Analisi di stabilità dei rilevati
- **APPENDICE I**
Analisi di stabilità degli argini del fiume Esino
- **APPENDICE L**
Analisi di stabilità degli argini provvisori