

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA NORD

PROGETTO DEFINITIVO

**RADDOPPIO DELLA LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA
TRATTA FINALE LIGURE - ANDORA**

OPERE PRINCIPALI – GALLERIE ARTIFICIALI

Galleria artificiale Bastia 2 da km 85+792 a km 85+890
Relazione geotecnica galleria 3/3 – Galleria Bastia II

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I V 0 I 0 0 D 2 6 R B G A 1 3 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	C. Soave <i>C. Soave</i>	Gennaio 2022	M. Severi <i>M. Severi</i>	Gennaio 2022	G. Fadda <i>G. Fadda</i>	Gennaio 2022	A. Perego Gennaio 2022





INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA - VENTIMIGLIA - TRATTA FINALE L.
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE BASTIA 2 DA KM 85+792 A
KM 85+890 - RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RB	GA 13 00 001	A	2 di 21

File: IV0100D26RBGA1300001A.doc

n. Elab.: X



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [2] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE BASTIA 2 DA KM 85+792 A
KM 85+890 - RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RB	GA 13 00 001	A	3 di 21

INDICE

1	PREMESSA	4
2	SCOPO DEL DOCUMENTO	4
3	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
3.1	DOCUMENTI REFERENZIATI.....	5
3.2	DOCUMENTI CORRELATI	5
4	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	6
5	INQUADRAMENTO GEOTECNICO DELL'AREA	7
6	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	12
7	DESCRIZIONE DELL'OPERA E SCELTA DEGLI INTERVENTI.....	13
7.1	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	14
	<i>Acciaio per chiodi e reti di ancoraggio.....</i>	<i>14</i>
	<i>Acciaio per barre autoperforanti</i>	<i>15</i>
	<i>Miscela cementizia (cementazione chiodi)</i>	<i>15</i>
	<i>Spritz beton.....</i>	<i>15</i>
8	VERIFICHE GEOTECNICHE DELL'INTERVENTO IN ESAME	16
8.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO.....	16
8.2	COMBINAZIONE DEI CARICHI	19
8.3	RISULTATI DEL MODELLO.....	19
9	CONCLUSIONI.....	21



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE BASTIA 2 DA KM 85+792 A
KM 85+890 - RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RB	GA 13 00 001	A	4 di 21

1 PREMESSA

Il presente studio si colloca nell'ambito del potenziamento infrastrutturale previsto per la linea Genova - Ventimiglia per il raddoppio della tratta Finale Ligure - Andora.

La tratta in esame, della lunghezza totale di circa 33 km, corre prevalentemente all'interno di gallerie naturali, con tratte all'aperto e gallerie artificiali per 8 km circa.

La prima parte del presente documento è dedicata alla caratterizzazione geologico-geotecnica dell'area in esame.

Nel seguito si affrontano i principali aspetti geotecnici relativi alla stabilità degli scavi durante la realizzazione della galleria artificiale Bastia II ed il dimensionamento delle opere provvisorie necessarie a garantire con adeguati margini di sicurezza il sostegno degli scavi.

2 SCOPO DEL DOCUMENTO

Scopo del presente documento è quello di illustrare i risultati delle indagini in sito eseguite nell'area in esame e delle prove di laboratorio, descrivere i rapporti tra le opere in progetto ed i terreni, caratterizzare i terreni e le rocce dal punto di vista geotecnico, esaminare alcune criticità connesse con la realizzazione della galleria artificiale Bastia II.

Di seguito sono sviluppati i seguenti argomenti:

- inquadramento geotecnico dell'area (sintesi dei risultati delle indagini disponibili e descrizione dei rapporti opera terreni);
- caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce;
- descrizione dell'opera e scelta degli interventi;
- verifiche di stabilità dei fronti di scavo e dimensionamento degli interventi.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO</p>	<p>INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01</p> <p>All. [1] PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA</p>												
<p>GALLERIA ARTIFICIALE BASTIA 2 DA KM 85+792 A KM 85+890 - RELAZIONE GEOTECNICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IV01</td> <td>00</td> <td>D 26 RB</td> <td>GA 13 00 001</td> <td>A</td> <td>5 di 21</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IV01	00	D 26 RB	GA 13 00 001	A	5 di 21
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IV01	00	D 26 RB	GA 13 00 001	A	5 di 21								

3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

3.1 Documenti Referenziati

Nella presente relazione, si è fatto riferimento ai seguenti documenti:

- Rif. [1] ITALFERR, documenti n° L37100D69G7GE0005_001÷12 intitolati “Planimetria ubicazione indagini geognostiche” datato marzo 2006.
- Rif. [2] ITALFERR, documento n° L37100D69PRGE0005_001÷ 2 intitolato “Prove geotecniche di laboratorio” datato marzo 2006.
- Rif. [3] ITALFERR, documento n° L37100D69SGGE0005001 intitolato “Esecuzione indagini geognostiche-Relazione descrittiva”, datato febbraio 2006.
- Rif. [4] ITALFERR, documenti n° L37100D26 F7GE0005_001÷012 intitolati “Profilo geotecnico”, datati marzo 2006.
- Rif. [5] ITALFERR, documento n° L37100D26RBGE0005001A intitolato “Relazione geotecnica”, data 30/11/2006.
- Rif. [6] ITALFERR, documento n° IV1700EZZSGSG00010040 intitolato “Progetto esecutivo di prima fase - raddoppio della linea ferroviaria nella tratta s. Lorenzo al mare – Andora - Indagini geognostiche – Sondaggi tratti all’aperto 1999 (SV) – Stratigrafie dei sondaggi”, datato ottobre 2004.
- Rif. [7] ITALFERR, documento intitolato “Esecuzione di prove di laboratorio per la caratterizzazione dei terreni e delle rocce interessate dalla progettazione definitiva delle opere in galleria” datato novembre 2001 - marzo 2002.
- Rif. [8] ITALFERR, “Profili geologici” allegati al Progetto Definitivo.
- Rif. [9] ITALFERR, “Sezioni geologiche trasversali” allegate al Progetto Definitivo.

3.2 Documenti Correlati

I documenti correlati sono:

- Rif. [10] ITALFERR, documento n° IV0100D26W9GE0005003A intitolato Sezione geotecnica galleria 3/3 – Bastia II
- Rif. [11] ITALFERR, documenti n° IV0100D26RBGE0005001A intitolato Relazione geotecnica generale
- Rif. [12] ITALFERR, documento n° IV0100D26F6GE0005009A intitolato Profilo geotecnico 9/12



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE BASTIA 2 DA KM 85+792 A
KM 85+890 - RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RB	GA 13 00 001	A	6 di 21

4 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- Raccomandazioni AGI giugno 1977 “Programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”.
- ISRM “Raccomandazioni sulle Metodologie per la descrizione quantitativa delle discontinuità nelle masse rocciose” in RIG 2/93.
- Raccomandazioni AGI maggio 1994 “Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio”.
- Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”.
- Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018.

5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO DELL'AREA

L'area di interesse è stata investigata con alcuni sondaggi a carotaggio continuo eseguiti durante le campagne di indagini svolte tra il 2001 e il 2021.

In Figura 5-1 si riporta uno stralcio del profilo geotecnico della tratta di Albenga 1 con riferimento all'opera in esame.

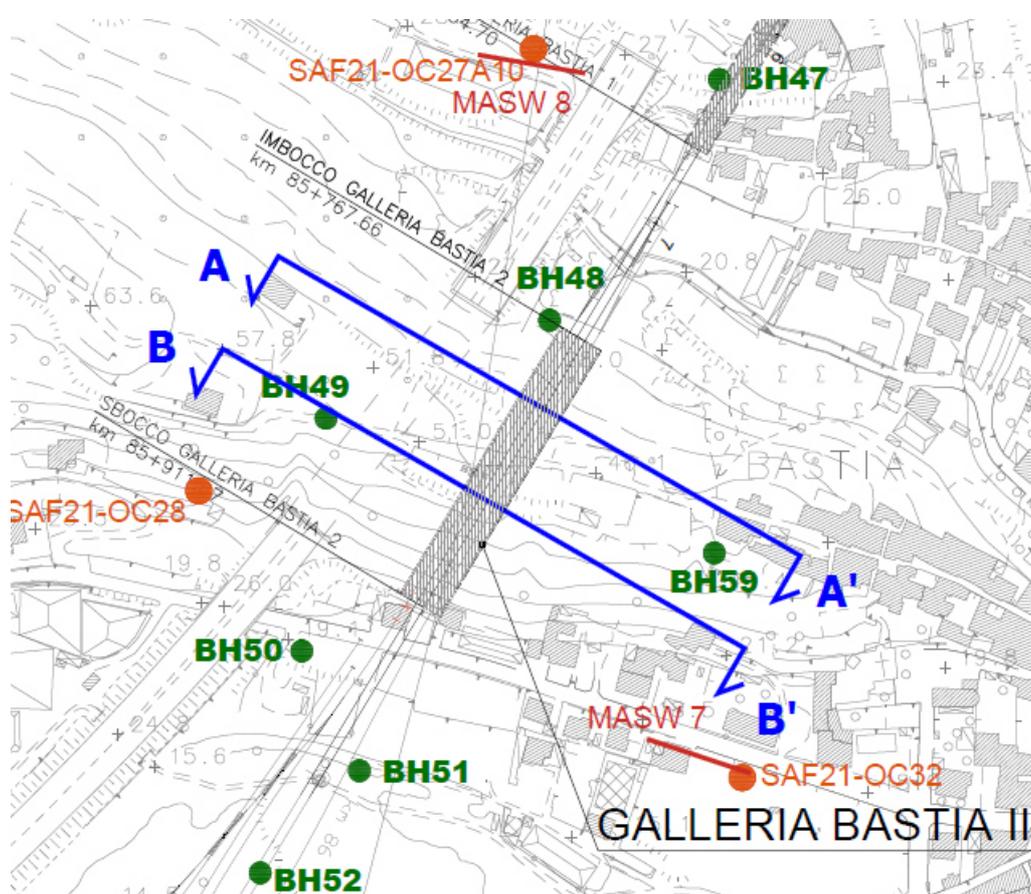


Figura 5-1. Inquadramento dell'area con indicazione delle campagne di indagini svolte

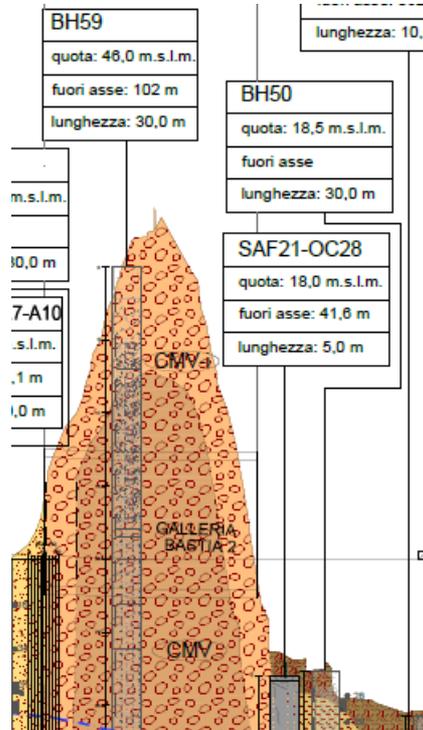


Figura 5-2. Profilo geotecnico dell'opera

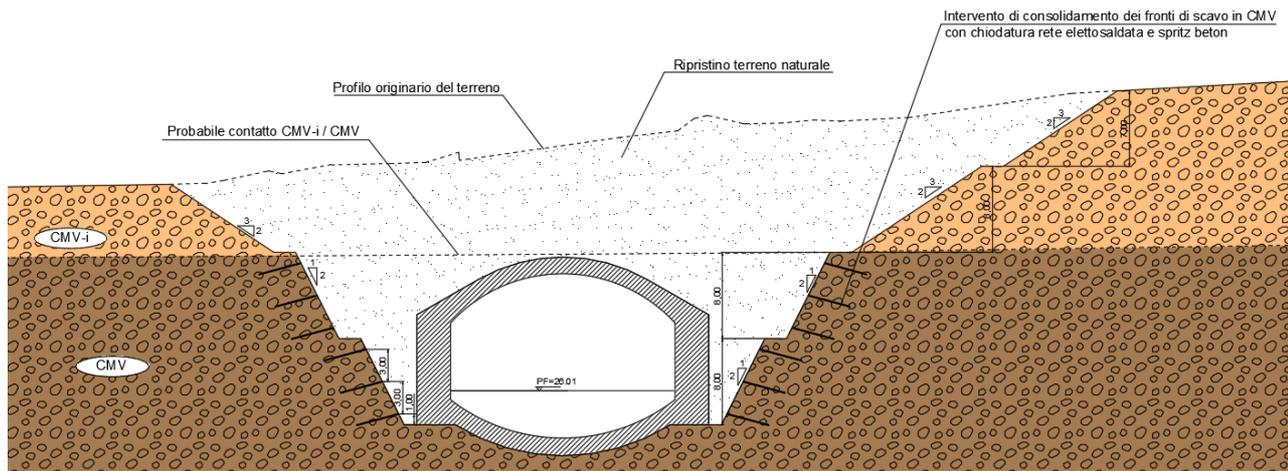


Figura 5-3. Sezione geotecnica BB' (Progressiva 85+850)

A partire dal piano campagna si riscontra la parte incoerente dei Conglomerati di Monte Villa (CMV-i) costituita prevalentemente da sabbia e ghiaia in matrice limosa argillosa, da addensata a ben addensata; a tratti si rilevano livelli di limo argilloso (come riscontrato durante l'esecuzione del sondaggio BH49).



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA

GALLERIA ARTIFICIALE BASTIA 2 DA KM 85+792 A KM 85+890 - RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RB	GA 13 00 001	A	9 di 21

Il substrato costituito dai conglomerati CMV si rinviene ad una profondità di circa 11 m dal boccaforo dei sondaggi BH49 e BH59.

Dalle indagini disponibili in questa fase è possibile affermare che entrambi gli imbocchi della galleria interesseranno prevalentemente la porzione incoerente CMV-i, mentre la parte centrale sarà realizzata, con molta probabilità all'interno della formazione dei conglomerati pliocenici (CMV).

Considerata la natura e la variabilità dei risultati ottenuti, in particolare per quanto riguarda il termine CMV, dovranno essere previste indagini integrative a supporto delle informazioni disponibili in questa fase, al fine di confermare i rapporti opere – terreni qui indicati ed illustrati nell'elaborato specifico.

Le misure piezometriche disponibili nell'area in esame evidenziano la presenza della falda a quota sempre inferiore rispetto alla posizione della galleria (circa 10 m sotto l'arco rovescio). Pertanto, le operazioni di scavo per la realizzazione della galleria saranno effettuate al di sopra il livello della falda.

Nel seguito si descrivono le unità geotecniche sopra richiamate:

UNITÀ 2: Sabbia e ghiaia in matrice limosa, di colore marrone, da moderatamente addensata ad addensata. Si rinviene in corrispondenza del sondaggio BH48 fino ad una profondità di 17 m circa. Livelli di limo argilloso si riscontrano da 10 m a 10,4 m e da 16,4 m a 16,6 m.

Facies incoerente dei conglomerati di Monte Villa (CMV-i): sabbia e ghiaia in matrice limosa argillosa, di colore marrone, da addensata a ben addensata.

Conglomerati di Monte Villa (CMV): conglomerato poligenico da parzialmente a ben cementato. A tratti sono presenti livelli sabbiosi ghiaiosi sciolti.

Ai fini della caratterizzazione geotecnica sono disponibili solo i risultati di prove SPT effettuate in corrispondenza dei sondaggi BH48, BH49 e BH59. Considerato il numero ridotto di prove si è fatto riferimento anche ai risultati delle prove SPT effettuate con i sondaggi BH45, BH46 e BH47 in prossimità della limitrofa galleria Bastia I e dei più recenti sondaggi SAF21-OC27-A10 e SAF21-OC28.

Nelle figure seguenti si riportano i valori dell'angolo di resistenza a taglio ϕ' e del modulo di elasticità E' in corrispondenza del termine CMV-i e dell'unità 2, ricavati dall'elaborazione delle prove SPT.

I risultati delle prove in corrispondenza dell'unità 2 mostrano valori di angolo di resistenza al taglio variabili tra 31° e 44°, mentre il modulo di elasticità varia tra 30 MPa e 60 MPa.

I risultati delle prove relativi all'unità CMV-i mostrano valori di angolo di resistenza al taglio variabili tra 36° e 44°, mentre il modulo di elasticità varia tra 40 MPa e 60 MPa. I valori più elevati sono stati ricavati in corrispondenza delle prove a rifiuto, per le quali è stato considerato un numero di colpi pari a 100.

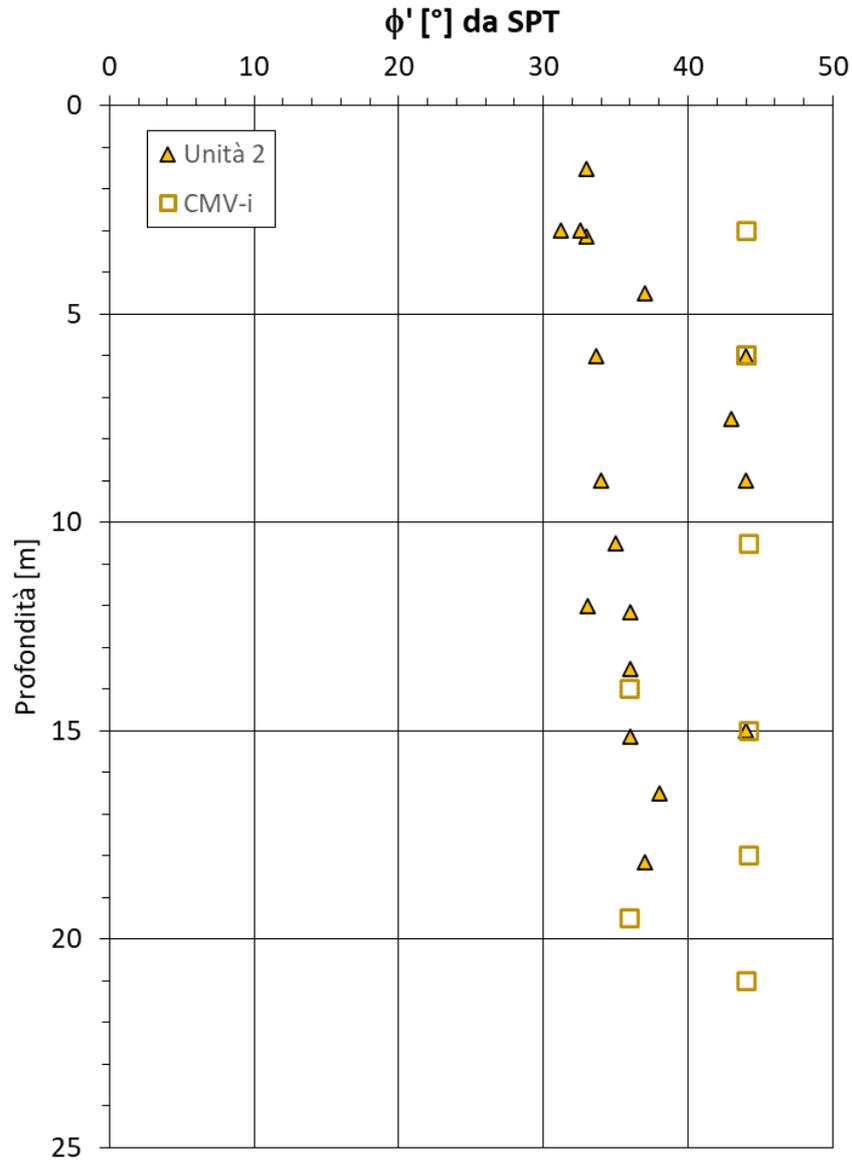


Figura 5-4. Angolo di resistenza al taglio efficace da prove SPT eseguite nei sondaggi BH45, BH46, BH47, BH48, BH49, BH59, SAF21-OC27-A10

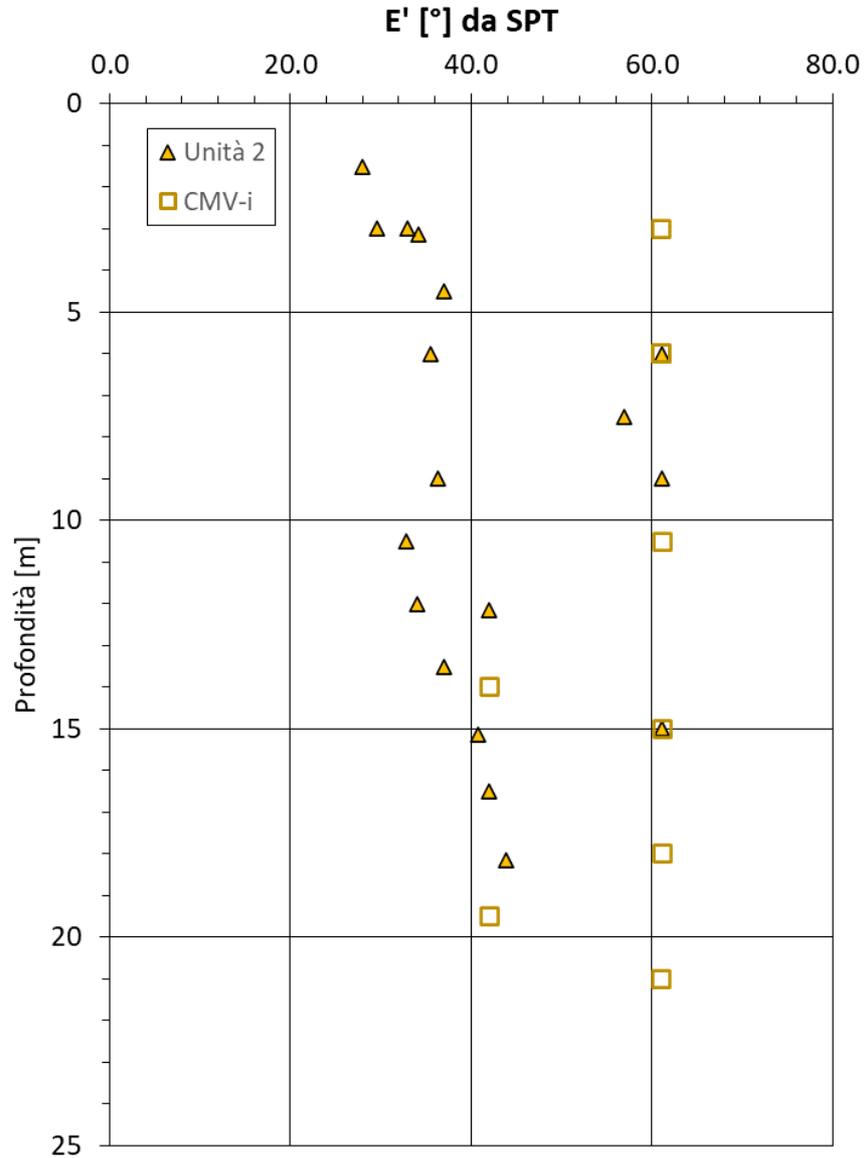


Figura 5-5. Modulo elastico da prove SPT eseguite nei sondaggi BH45, BH46, BH47, BH48, BH49, BH59, SAF21-OC27-A10

6 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Di seguito si indicano i principali parametri geotecnici dei terreni adottati nelle verifiche.

Come già accennato, la stima dei parametri geotecnici dell'Unità 2 e dei conglomerati CMV-i è stata effettuata considerando i risultati delle prove SPT nella zona di interesse, presentati al paragrafo precedente. Pertanto, a seguito di tale affinamento dell'analisi, i valori ottenuti potrebbero localmente ricadere al di fuori degli intervalli indicati nella Relazione Geotecnica Generale per la tratta di riferimento (Albenga).

Per quanto riguarda i conglomerati CMV, i parametri di resistenza secondo il criterio di Mohr-Coulomb sono stati ricavati per linearizzazione del criterio di Hoek-Brown, i cui parametri di input sono definiti nella Relazione Geotecnica Generale, considerando 8 punti nell'intervallo 0 e $\sigma_3 = 2$ MPa. Tale intervallo tensionale è coerente con le pressioni agenti al contorno della galleria. Tale linearizzazione porta a:

$$\phi = 44^\circ$$

$$c = 620 \text{ kPa}$$

Il contributo della coesione è successivamente ridotto a 50 kPa al fine di considerare una eventuale perdita di cementazione del materiale (a seguito di decompressione in fase di scavo, degradazione del materiale, fenomeni di erosione interna causati da moti di filtrazione, infiltrazione di acque meteoriche, ecc.). La coppia c, ϕ così ottenuta rappresenta dunque una stima cautelativa dei parametri di resistenza del conglomerato CMV, coerente con gli approcci empirici riportati in letteratura.

Sulla base di quanto esposto sopra, è sottolineato il fatto che i parametri geotecnici indicati nella tabella seguente sono da ritenersi preliminari. Nelle successive fasi di progettazione, si suggerisce di effettuare una campagna di indagini in sito e prove di laboratorio integrative al fine di confermare i valori qui indicati.

	γ [kN/m ³]	c' [kPa]	ϕ' [°]	E [MPa]
Unità 2	20.0	0	35	35
CMV-i	21.0	0	40	50
CMV	22.0	50	45	500

Tabella 6-1. Parametri geotecnici di riferimento - Galleria artificiale Bastia II



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE BASTIA 2 DA KM 85+792 A
KM 85+890 - RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RB	GA 13 00 001	A	13 di 21

7 DESCRIZIONE DELL'OPERA E SCELTA DEGLI INTERVENTI

La galleria artificiale Bastia II si sviluppa tra il km 85+776,99 e 85+904,99, nella zona di Albenga, per una lunghezza complessiva di 128 m.

La galleria artificiale, a sezione policentrica, sarà realizzata a “cielo aperto”. La massima profondità di scavo, misurata in corrispondenza della progressiva 85+850 è pari a 29 m circa.

Sulla base delle informazioni disponibili in questa fase, gli scavi di sbancamento interessano la frazione incoerente dei Conglomerati di Monte Villa CMV-i ed inferiormente il substrato CMV.

Si prevede di aprire gli scavi con pendenza 3/2 (orizzontale/verticale) a partire dal p.c. in corrispondenza del terreno CMV-i. In tale unità, è prevista una berma di larghezza pari a 1.5 m per profondità di scavo maggiori di 8 m. In presenza dei conglomerati ben cementati CMV, la pendenza sarà modificata con un rapporto 1/2 (orizzontale/verticale). In corrispondenza della variazione di pendenza si realizza una berma di larghezza pari a 1.5 m. Per profondità di scavo maggiori di 8 m, lo scavo sarà interrotto da una berma intermedia di larghezza pari a 1.5 m.

In tale configurazione, nell'ipotesi di conglomerati CMV siano caratterizzati da elevata coesione (v. paragrafo precedente), i fronti di scavo risultano praticamente stabili anche senza interventi. Tuttavia, poiché il valore della coesione può risultare localmente inferiore a quello sopra stimato in presenza di zone meno cementate, si è ipotizzato cautelativamente un intervento di chiodatura delle pareti di scavo per garantire adeguati margini di sicurezza in presenza di fronti di scavo di notevole altezza.

L'intervento di rinforzo delle pareti di scavo sarà realizzato mediante la messa in opera di barre di acciaio autopercoranti aventi diametro pari a 32 mm e lunghezza 4 m; il diametro di perforazione è pari a 76mm e le barre saranno iniettate con miscela cementizia. I chiodi, inclinati di 15° rispetto all'orizzontale, saranno realizzati a quinconce, con interasse orizzontale e verticale pari a 3 m.

Contestualmente all'avanzamento degli scavi all'interno dei conglomerati CMV sarà posto in opera uno strato di spritz-beton dello spessore medio di 20 cm, armato con una rete elettrosaldada \varnothing 8 mm maglia 200x200 mm, ancorata alle teste dei chiodi mediante una piastra d'acciaio e relativo dado di bloccaggio. Il rivestimento esterno dell'opera con rete e spritz non esplica un ruolo fondamentale nella stabilità globale dell'insieme, ma ha lo scopo di contenere l'eventuale distacco localizzato di materiale, di garantire la stabilità locale dei chiodi e di proteggere la parete temporaneamente dagli agenti esogeni.

Nel seguito si riportano le fasi esecutive riferite alla sezione di massima altezza:

1. scavo a partire dal p.c. in corrispondenza dei termini CMV-i con pendenza 3/2 (orizzontale/verticale), per una profondità massima stimata di 12 m; lo scavo sarà interrotto da una berma di larghezza 1.5m per altezze di scavo superiori a 6-8 m.
2. esecuzione della berma di larghezza pari a 1.5 m al contatto tra CMV-i e CMV
3. scavo dei conglomerati CMV con pendenza 2/1 (orizzontale/verticale), per una profondità di 2 m;
4. posa in opera della prima fila di chiodi (-1 m dalla berma);



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE BASTIA 2 DA KM 85+792 A
KM 85+890 - RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RB	GA 13 00 001	A	14 di 21

- consolidamento del fronte di scavo interessato dai conglomerati CMV con uno strato di spritz beton armato con rete elettrosaldata;
- scavo dei conglomerati CMV con pendenza 2/1 (orizzontale/verticale), per una profondità di 5 m dalla berma;
- posa in opera della seconda fila di chiodi (-4 m dalla berma);
- consolidamento del fronte di scavo interessato dai conglomerati CMV con uno strato di spritz beton armato con rete elettrosaldata;
- scavo dei conglomerati CMV con pendenza 2/1 (orizzontale/verticale), per una profondità massima di 8 m dalla berma;
- posa in opera della terza fila di chiodi (-7 m dalla berma);
- consolidamento del fronte di scavo interessato dai conglomerati CMV con uno strato di spritz beton armato con rete elettrosaldata;
- esecuzione della seconda berma nel CMV di larghezza pari a 1.5 m;

Le operazioni relative alle fasi 3÷12 saranno ripetute fino ad arrivare alla quota finale dello scavo.

L'approfondimento degli scavi dovrà essere effettuato a maturazione avvenuta sia delle iniezioni dei chiodi che dello spritz-beton.

Per consentire l'intercettazione e l'allontanamento di eventuali venute d'acqua dovrà essere prevista la messa in opera di un drenaggio corticale.

Sulla sommità della scarpata deve essere eseguito un fosso di guardia con il compito di intercettare, raccogliere e smaltire le acque meteoriche, al fine di evitarne il dilavamento.

A sostegno della soluzione progettuale e considerata l'importanza degli scavi necessari per la realizzazione della galleria, si suggerisce di integrare i dati disponibili in questa fase con indagini puntuali che confermino le caratteristiche meccaniche dei conglomerati CMV qui indicati.

7.1 Caratteristiche dei materiali

Acciaio per chiodi e reti di ancoraggio

È previsto l'utilizzo di acciaio appartenente alla classe B450C, con le seguenti caratteristiche:

Resistenza caratteristica a snervamento $f_{yk} = 450 \text{ N/mm}^2$;

Resistenza caratteristica a rottura $f_{tk} = 540 \text{ N/mm}^2$;

Modulo elastico $E_s = 206000 \text{ N/mm}^2$.



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE BASTIA 2 DA KM 85+792 A
KM 85+890 - RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RB	GA 13 00 001	A	15 di 21

Acciaio per barre autoperforanti

È previsto l'utilizzo di acciaio con le seguenti caratteristiche:

Resistenza caratteristica a snervamento

$F_{yk} = 160 \text{ N};$

Resistenza caratteristica a rottura

$F_{tk} = 210 \text{ kN};$

Miscela cementizia (cementazione chiodi)

Classe di resistenza caratteristica a compressione

C25/30

Spritz beton

Classe di resistenza caratteristica a compressione

C25/30

8 VERIFICHE GEOTECNICHE DELL'INTERVENTO IN ESAME

8.1 Descrizione del modello di calcolo

Nelle verifiche di seguito presentate, è stata presa in esame la sezione di massimo scavo, in corrispondenza della progressiva 85+850. Dalla sezione geotecnica trasversale, redatta sulla base dei sondaggi disponibili, si evince che il substrato costituito dai Conglomerati di Monte Villa (CMV), si rinviene ad una profondità di circa 12 m dal p.c., mentre superiormente si rinviene la frazione incoerente CMV-i costituita prevalentemente da sabbia e ghiaia in matrice limosa argillosa.

A partire dal piano campagna, in presenza dei terreni CMV-i, l'apertura degli scavi per la realizzazione della galleria dovrà essere realizzata con una pendenza 3/2 (orizzontale/verticale). Quando l'altezza della scarpata è maggiore di 6-8 m, si realizzeranno berme intermedie di larghezza pari a 1.5 m.

Inferiormente, laddove con gli scavi si risconterà la presenza dei conglomerati cementati CMV, gli scavi saranno sagomati con pendenza 1/2 (orizzontale/verticale). In corrispondenza del cambio di pendenza viene eseguita una berma larga 1.5 m.

Quando l'altezza della scarpata nei conglomerati CMV è superiore a 8 m, si realizzeranno berme di larghezza 1.5 m.

Nella parte inferiore degli scavi, in presenza dei terreni CMV, sarà realizzato l'intervento di chiodatura procedendo per fasi, come precedentemente descritto.

Gli scavi in corrispondenza della sezione presa in esame (massima profondità di scavo pari a 30 m circa) saranno dunque sagomati come mostrato nella figura seguente.

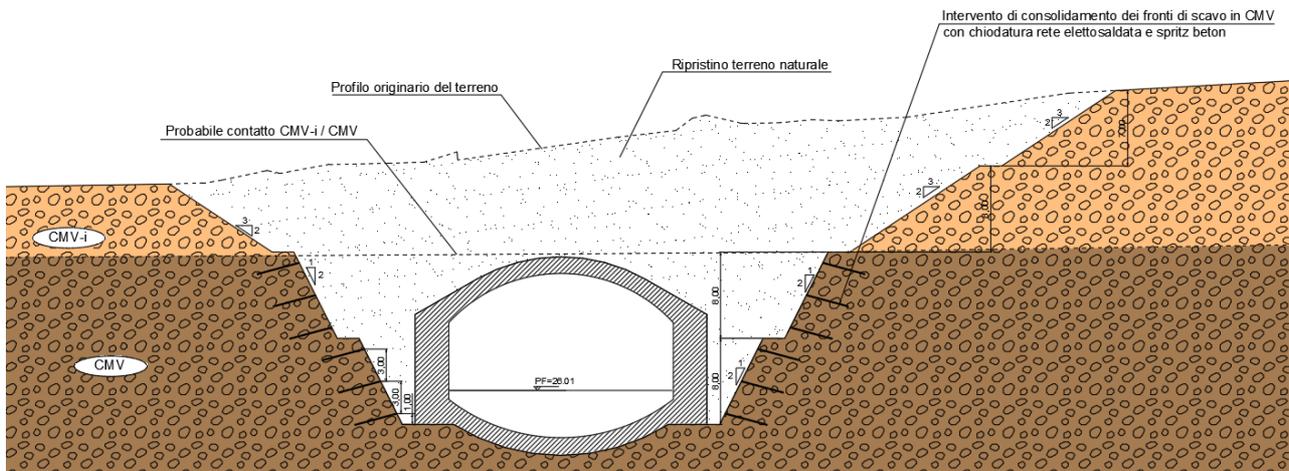


Figura 8-1 Sezione in esame

Le verifiche di stabilità globale dello scavo sono state condotte mediante modelli di calcolo implementati per mezzo del codice di calcolo SLOPE/W (GeoStudio) che consente di analizzare la stabilità dei fronti di scavo con il

	INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01 All. [1] PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA					
GALLERIA ARTIFICIALE BASTIA 2 DA KM 85+792 A KM 85+890 - RELAZIONE GEOTECNICA	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RB	DOCUMENTO GA 13 00 001	REV. A	FOGLIO 17 di 21

metodo dell' equilibrio limite.

I parametri geotecnici assegnati ai terreni sono quelli riportati nel capitolo 6.

Nel modello di calcolo sono stati inseriti i chiodi autoperforanti in corrispondenza dell'unità CMV, secondo lo schema descritto nel capitolo 7. I chiodi sono stati modellati introducendo degli elementi di tipo Nail, con interasse pari a 3m, caratterizzati da un valore di resistenza allo sfilamento e da un valore di resistenza a trazione dell'acciaio pari al 70% dei rispettivi valori di calcolo, riportati nel seguito. Si considera quindi un tasso di lavoro pari al 70% delle resistenze di progetto.

La resistenza a snervamento delle barre è stata valutata adottando un coefficiente di sicurezza pari a 1,8 (cfr. "Minimum Recommended Factors of Safety for the Design of Soil Nail Walls using the ASD -Allowable Stress Design- Method").

Il valore della resistenza a snervamento di calcolo R_d risulta pari a:

$$R_d = \frac{f_{yk} \cdot A_{nom}}{FS} = \frac{470 \cdot 340}{1.8} = 89 \text{ kN}$$

Dove f_{yk} e A_{nom} indicano la tensione di snervamento e l'area nominale della barra prevista.

La resistenza di calcolo allo sfilamento si ricava con la seguente relazione:

$$R_{ad} = \frac{R_{a,c}}{\gamma_R \xi_{a3}}$$

Il coefficiente di correlazione ξ_{a3} è stato assunto cautelativamente pari a 1,8, in virtù del ridotto numero di indagini disponibili nell'area di interesse, mentre il coefficiente di sicurezza è assunto pari a 1.1, trattandosi di un rinforzo provvisorio.

La resistenza allo sfilamento della barra è stata valutata come illustrato nella seguente formulazione:

$$R_{ac} = \pi \cdot D_f \cdot L \cdot \tau_{lim}$$

Dove D_f e L indicano il diametro di perforazione (76mm) e la lunghezza (4m) della barra e τ_{lim} indica la tensione limite di aderenza tra bulbo e terreno. In merito alla tensione limite di aderenza, è stato fatto riferimento alla seguente tabella proposta nel testo "Micropile Design and Construction (FHWA NHI-05-039)".

Table 5-3. Summary of Typical α_{bond} (Grout-to-Ground Bond) Values for Micropile Design.

Soil / Rock Description	Grout-to-Ground Bond Ultimate Strengths, kPa (psi)			
	Type A	Type B	Type C	Type D
Silt & Clay (some sand) (soft, medium plastic)	35-70 (5-10)	35-95 (5-14)	50-120 (5-17.5)	50-145 (5-21)
Silt & Clay (some sand) (stiff, dense to very dense)	50-120 (5-17.5)	70-190 (10-27.5)	95-190 (14-27.5)	95-190 (14-27.5)
Sand (some silt) (fine, loose-medium dense)	70-145 (10-21)	70-190 (10-27.5)	95-190 (14-27.5)	95-240 (14-35)
Sand (some silt, gravel) (fine-coarse, med.-very dense)	95-215 (14-31)	120-360 (17.5-52)	145-360 (21-52)	145-385 (21-56)
Gravel (some sand) (medium-very dense)	95-265 (14-38.5)	120-360 (17.5-52)	145-360 (21-52)	145-385 (21-56)
Glacial Till (silt, sand, gravel) (medium-very dense, cemented)	95-190 (14-27.5)	95-310 (14-45)	120-310 (17.5-45)	120-335 (17.5-48.5)
Soft Shales (fresh-moderate fracturing, little to no weathering)	205-550 (30-80)	N/A	N/A	N/A
Slates and Hard Shales (fresh- moderate fracturing, little to no weathering)	515-1,380 (75-200)	N/A	N/A	N/A
Limestone (fresh-moderate fracturing, little to no weathering)	1,035-2,070 (150-300)	N/A	N/A	N/A
Sandstone (fresh-moderate fracturing, little to no weathering)	520-1,725 (75.5-250)	N/A	N/A	N/A
Granite and Basalt (fresh- moderate fracturing, little to no weathering)	1,380-4,200 (200-609)	N/A	N/A	N/A

Type A: Gravity grout only

Type B: Pressure grouted through the casing during casing withdrawal

Type C: Primary grout placed under gravity head, then one phase of secondary "global" pressure grouting

Type D: Primary grout placed under gravity head, then one or more phases of secondary "global" pressure grouting

Figura 8-2 Valori limite di aderenza per vari tipi di terreno (FHWA NHI-05-039)

Considerando iniezioni a gravità e terreni cementati, è stato cautelativamente assunto un valore di aderenza pari a 80 kPa.

La resistenza a sfilamento di progetto per un chiodo risulta quindi:

$$R_{ad} = \frac{\pi \cdot D_f \cdot L \cdot \tau_{lim}}{\gamma_R \cdot \xi_{a3}} = \frac{3.14 \cdot 76\text{mm} \cdot 4\text{m} \cdot 80\text{kPa}}{1.1 \cdot 1.8} = 39 \text{ kN}$$

ossia circa 13kN per metro lineare di chiodo.

Le verifiche sono state effettuate ipotizzando la presenza di un carico variabile a monte pari a 10 kPa.

	INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N.443/01 All. [1] PROGETTO DEFINITIVO RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L. ANDORA				
	GALLERIA ARTIFICIALE BASTIA 2 DA KM 85+792 A KM 85+890 - RELAZIONE GEOTECNICA	COMMESSA IV01	LOTTO 00	CODIFICA D 26 RB	DOCUMENTO GA 13 00 001

La falda è stata trascurata dal momento che con le misure piezometriche disponibili nell'area in esame essa è stata riscontrata a quota sempre inferiore rispetto alla posizione della galleria e pertanto non interferisce con l'esecuzione degli scavi.

Le verifiche sono state sviluppate in condizioni statiche, tenuto conto che si tratta di opere provvisionali.

La seguente figura illustra il modello di calcolo implementato.

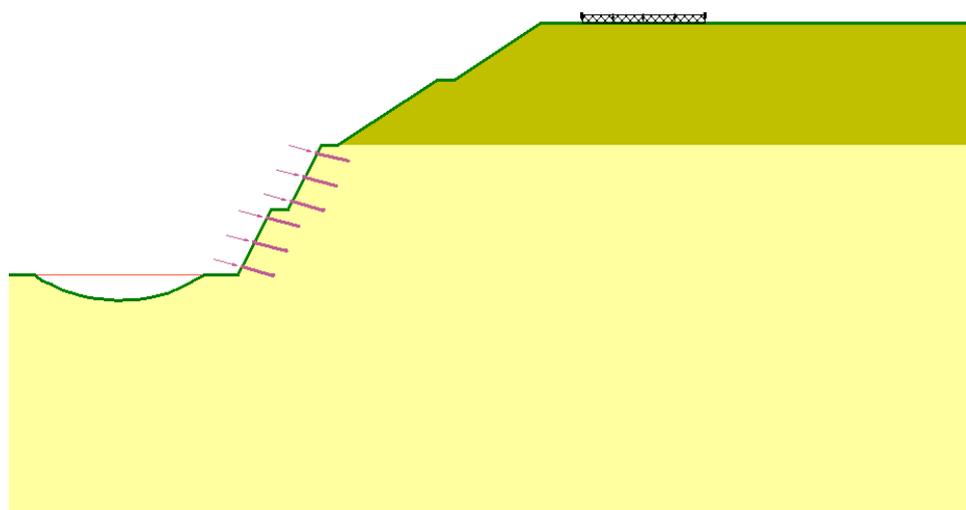


Figura 8-3 Modello di calcolo implementato con il software Slope

8.2 Combinazione dei carichi

Le verifiche strutturali e geotecniche di seguito riportate vengono effettuate facendo riferimento al metodo semi-probabilistico agli stati limite, in cui la sicurezza geotecnica e strutturale deve essere verificata tramite il confronto tra la resistenza e l'effetto delle azioni.

Come illustrato al Par. 6.2.4. delle NTC2018, per ogni stato limite deve essere rispettata la condizione $E_d \leq R_d$, dove E_d è il valore di progetto dell'azione instabilizzante e R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Le verifiche devono essere effettuate secondo la combinazione 2 (A2+M2+R1) dell'Approccio 1, tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I delle NTC2018.

8.3 Risultati del modello

Le seguenti figure riepilogano i risultati ottenuti dal modello di calcolo.

Come illustrato, il meccanismo con minimo fattore di sicurezza, pari a 1.17, si sviluppa all'interno dello strato incoerente superiore (unità CMV-i); mentre il minimo fattore di sicurezza per un meccanismo di instabilità che interessa anche lo strato inferiore del conglomerato CMV risulta pari a 1.47.

Il fattore di sicurezza risulta superiore a 1.1 e pertanto la verifica di stabilità globale è verificata.

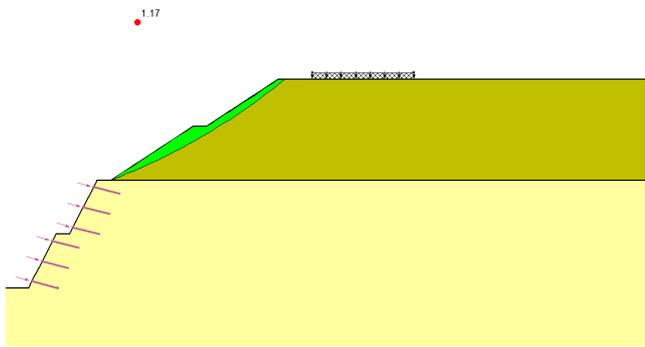


Figura 8-4 Individuazione del meccanismo di instabilità che interessa lo strato superiore (CMV-i) - FS=1.17

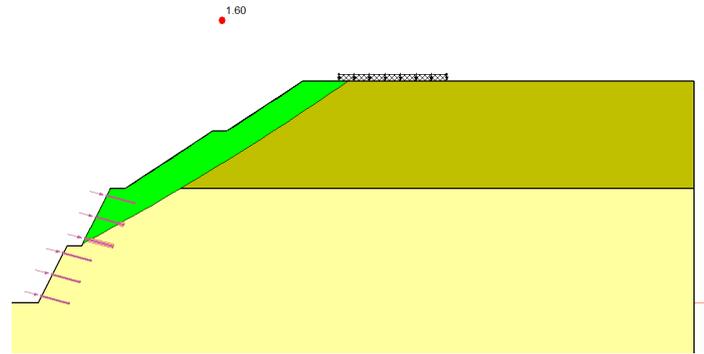


Figura 8-5 Individuazione del meccanismo di instabilità che interessa lo strato superiore (CMV-i) e il primo fronte di scavo nello strato inferiore (CMV) – FS=1.60

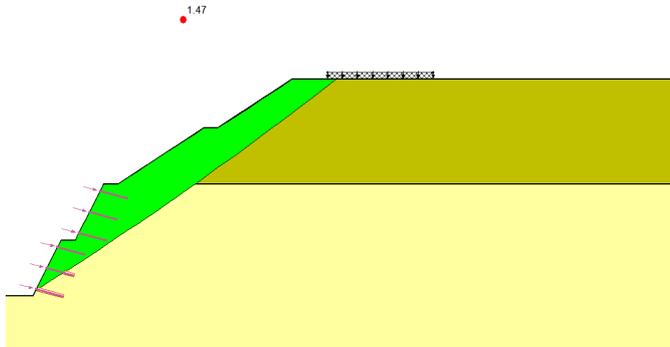


Figura 8-6 Individuazione del meccanismo di instabilità che interessa tutto il fronte di scavo – FS=1.47

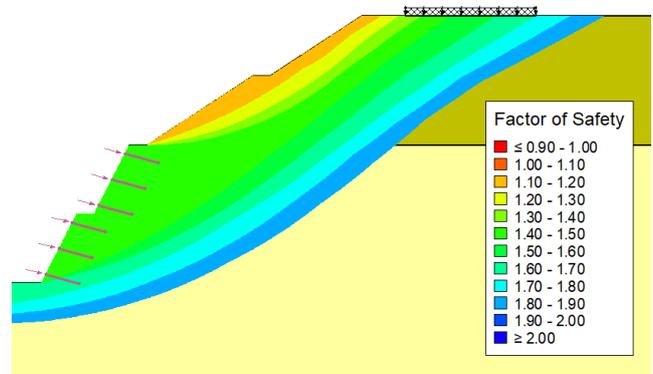


Figura 8-7 Meccanismi di instabilità individuati tramite il software di calcolo



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N.443/01

All. [1] **PROGETTO DEFINITIVO**

**RADDOPPIO LINEA GENOVA – VENTIMIGLIA – TRATTA FINALE L.
ANDORA**

GALLERIA ARTIFICIALE BASTIA 2 DA KM 85+792 A
KM 85+890 - RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IV01	00	D 26 RB	GA 13 00 001	A	21 di 21

9 CONCLUSIONI

Nell'ambito della progettazione definitiva per il potenziamento infrastrutturale previsto per la linea Genova - Ventimiglia per il raddoppio della tratta Finale Ligure - Andora, sono stati esaminati gli aspetti geotecnici connessi con l'esecuzione degli scavi per la realizzazione della galleria artificiale Bastia II.

La caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dall'opera in esame è stata effettuata sulla base dei risultati delle indagini in sito effettuate nell'area.

Lo studio ha riguardato inoltre la verifica degli interventi da adottare per la protezione degli scavi durante le fasi di costruzione della galleria artificiale.

È evidente che durante le fasi progettuali più avanzate sarà necessario verificare ed analizzare tali aspetti con maggiore dettaglio, al fine di chiarire con precisione le problematiche qui indicate.

In particolare si rende necessario effettuare, nell'area in esame, una campagna di indagini integrative di carattere geologico e geotecnico allo scopo di verificare i valori dei parametri di resistenza e di deformabilità dei materiali interessati dall'opera.