

COMMITTENTE:



DIREZIONE INVESTIMENTI
DIREZIONE PROGRAMMI INVESTIMENTI
DIRETTRICE SUD - PROGETTO ADRIATICA

DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:

Mandataria



Mandanti



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA



MANDANTI



PROGETTO ESECUTIVO

LINEA PESCARA - BARI
RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI - LESINA
LOTTI 2 e 3 - RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA

GEOTECNICA
RILEVATI FERROVIARI – RELAZIONE DI STABILITÀ E CALCOLO DEI CEDIMENTI

L'Appaltatore
Ing. Gianguido Babini

A.A. D'AGOSTINO COSTRUZIONI GENERALI S.r.l.
Il Direttore Tecnico
(Ing. Gianguido Babini)

I progettisti (il Direttore della progettazione)
Ing. Massimo Facchini

Data Dicembre 2023

firma

Data Dicembre 2023

firma

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA / DISCIPLINA	PROGR	REV	SCALA
L I O B	0 2	E	Z Z	R H	G E 0 0 0 5	0 0 1	C	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato/Data
A	Prima emissione	Genchi	Dicembre 2022	Fusco	Dicembre 2022	Nesti	Dicembre 2022	 M. Facchini Dicembre 2023
B	Aggiornamento per RDV	Genchi	Luglio 2023	Fusco	Luglio 2023	Nesti	Luglio 2023	
C	Risposta rapporto Z-01	Genchi <i>Sofocla Genchi</i>	Dicembre 2023	Fusco <i>Chiaro</i>	Dicembre 2023	Nesti <i>Massimo Nesti</i>	Dicembre 2023	
								n. Elab.

File: LI0B.0.2.E.ZZ.RH.GE00.0.5.001.C

MANDATARIA  CONDIZIONE STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.	MANDANTI 	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 1 – RADDOPPIO RIPALTA-LESINA									
		Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC RH	OPERA 7 DISCIPLINA GE 00 05			PROGR 001

INDICE

1.. INTRODUZIONE	3
2.. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	4
2.1 Normativa di riferimento	4
2.2 Documenti di riferimento	4
2.3 Programmi di calcolo	4
3.. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA GENERALE	5
4.. METODOLOGIE E CRITERI PER LE VERIFICHE DI STABILITA' DELLE SCARPATE	7
4.1 Metodologia di calcolo	7
4.2 Verifiche di sicurezza	7
4.3 Soluzioni progettuali	11
5.. METODOLOGIE E CRITERI PER L'ANALISI DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI	13
5.1 Metodologia di calcolo	13
5.2 Verifiche di sicurezza	14
5.3 Soluzioni progettuali	15
6.. LOTTO 1 – DAL KM 0+000 AL KM 3+150	16
6.1 Sezione al km 2+950	17
7.. LOTTO 2 – DAL KM 3+150 AL KM 5+200	27
7.1 Sezione al km 3+350	28
8.. LOTTO 3 – DAL KM 5+200 AL KM 7+080	38
9.. LOTTO 4 – DAL KM 7+080 AL KM 8+380	39
9.1 Sezione al km 7+100	40
10. LOTTO 5 – DAL KM 8+380 AL KM 10+250	48
10.1 Sezione al km 10+000	49
11. LOTTO 6 – DAL KM 10+250 AL KM 15+050	57
11.1 Sezione al km 13+700	58
11.2 Sezione al km 14+900	66
12. LOTTO 7 – DAL KM 15+050 AL KM 20+150	73
12.1 Sezione al km 15+050	74
13. LOTTO 8 – DAL KM 20+150 AL KM 24+940	79
13.1 Sezione al km 22+775	80

LINEA PESCARA – BARI

**RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA
LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA**

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	2

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	3

1. INTRODUZIONE

Il presente documento riporta i dimensionamenti e le verifiche geotecniche relative ai rilevati ferroviari del Progetto Esecutivo per la realizzazione dei Lotti 2 e 3 Termoli – Ripalta del raddoppio della tratta ferroviaria Termoli – Lesina sulla Linea Pescara – Bari, dal km 0+000 al km 24+900, per uno sviluppo di circa 24.9 km.

Nel presente elaborato verranno affrontati i seguenti aspetti:

- Metodologie e criteri per le verifiche di stabilità delle scarpate dei rilevati;
- Metodologie e criteri per l'analisi dei cedimenti dei rilevati e stima del loro decorso nel tempo;
- Verifiche geotecniche delle sezioni più significative.

Facciamo notare che le elaborazioni di cui al presente documento saranno sottoposte a nuova verifica in fase di Progetto Esecutivo di Dettaglio.

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	4

2. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

2.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

[1] Manuale di progettazione delle opere civili – Parte II – Sezione 3 – Corpo stradale, RFI DTC SI CS MA IFS 001 B

[2] D.M. 14 gennaio 2008 – “Norme Tecniche per le Costruzioni” (GU Serie Generale n.29 del 04-02-2008 - Suppl. Ordinario n. 30)

2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

[1] LI0202D78RBGE0005001E - Linea Pescara-Bari – Raddoppio della tratta ferroviaria Termoli-Lesina: lotti 2 e 3 – raddoppio Termoli-Ripalta. Progetto Definitivo. Geotecnica: Relazione geotecnica generale, 09/2021;

[2] LI0202D78RHGE0005001B - Linea Pescara-Bari – Raddoppio della tratta ferroviaria Termoli-Lesina: lotti 2 e 3 – raddoppio Termoli-Ripalta. Progetto Definitivo. Geotecnica: Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti, 05/2019.

2.3 PROGRAMMI DI CALCOLO

Le verifiche geotecniche sono state eseguite con i seguenti programmi di calcolo:

- “Paratie Plus”, versione 23.0.0, programma bidimensionale prodotto da Harpaceas, per la verifica di stabilità;
- “Settle3”, versione 5.015, programma tridimensionale prodotto da Rocscience, per l’analisi dei cedimenti.

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	5

3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA GENERALE

Nel presente documento, la tratta ferroviaria Termoli – Lesina, che si estende per circa 24.9 km, è stata suddivisa nei seguenti otto lotti:

- Lotto 1: dal km 0+000 al km 3+150, per uno sviluppo di circa 3.15 km;
- Lotto 2: dal km 3+150 al km 5+200, per uno sviluppo di circa 2.05 km;
- Lotto 3: dal km 5+200 al km 7+080, per uno sviluppo di circa 1.88 km;
- Lotto 4: dal km 7+080 al km 8+380, per uno sviluppo di circa 1.3 km;
- Lotto 5: dal km 8+380 al km 10+250, per uno sviluppo di circa 1.87 km;
- Lotto 6: dal km 10+250 al km 15+050, per uno sviluppo di circa 4.8 km;
- Lotto 7: dal km 15+050 al km 20+150, per uno sviluppo di circa 5.1 km;
- Lotto 8: dal km 20+150 al km 24+940, per uno sviluppo di circa 4.79 km.

In ogni lotto sono state svolte le verifiche geotecniche per le sezioni ritenute più significative sia in relazione alla stratigrafia che alla geometria dei rilevati, in particolar modo all'altezza e alla presenza o meno della berma.

Al fine di eseguire tali verifiche è stato necessario definire dapprima la stratigrafia di progetto, e i relativi parametri geotecnici, per ciascuna di queste sezioni.

La progettazione dei rilevati ferroviari è stata eseguita in accordo a quanto indicato dal MdP RFI [1]:

- Parametri geotecnici caratteristici:
 - Peso di volume: $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$;
 - Angolo di attrito: $\varphi = 38^\circ$;
 - Coesione efficace: $c' = 0$.
- Pendenza delle scarpate:

pari a 3/2 (3 in orizzontale e 2 in verticale), con una berma intermedia di larghezza di 2.0 m per rilevati con altezza maggiore di 6.0 m.
- Scavo di scotico:

con spessore minimo di 0.50 m e larghezza pari all'ingombro del rilevato per l'asportazione del primo strato di terreno vegetale. A favore di sicurezza è stato effettuato anche in presenza di terreno naturale non vegetale. Lo scavo è stato riempito con materiale da rinterro, con caratteristiche geotecniche uguali a quelle del rilevato.

Nel seguito, per ogni sezione analizzata, vengono riportati:

- la stratigrafia di progetto e i parametri geotecnici;
- il livello di falda;
- l'altezza e l'ingombro del rilevato;
- lo spessore dello scavo di scotico;
- le verifiche geotecniche: verifiche di stabilità e analisi dei cedimenti.

Nelle verifiche è stata considerata, a favore di sicurezza, un'altezza del rilevato pari alla distanza tra la quota del terreno al piede della scarpata e la quota massima del rilevato, a cui sono stati aggiunti 0.12 m

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	6

corrispondenti allo spessore del sub-ballast. Definita l'altezza, l'ingombro del rilevato è stato dimensionato in modo tale da avere una pendenza 3/2, come mostrato in figura 3-1.

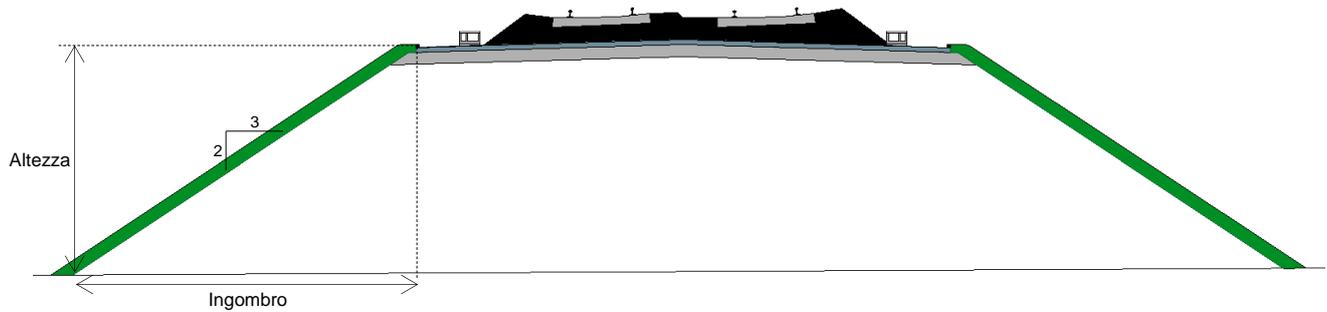


Figura 3-1 – Dimensioni del rilevato ferroviario

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	7

4. METODOLOGIE E CRITERI PER LE VERIFICHE DI STABILITA' DELLE SCARPATE

4.1 METODOLOGIA DI CALCOLO

Le verifiche di stabilità delle scarpate dei rilevati ferroviari sono state eseguite con il modulo di stabilità dei pendii (VSP) del programma bidimensionale Paratie Plus, versione 23.0.0, prodotto da Harpaceas.

Paratie Plus permette di effettuare il calcolo della stabilità per mezzo dei seguenti metodi:

- Metodo di Bishop semplificato;
- Metodo di Janbu semplificato;
- Metodo di Morgenstern & Price.

Questi, appartenenti alla famiglia dei metodi all'equilibrio limite, si basano sull'individuare una porzione di terreno instabile mobilitata lungo una potenziale superficie di scorrimento. Il coefficiente di sicurezza associato ad una superficie è calcolato imponendo le condizioni di equilibrio nelle quali vengono introdotte le resistenze offerte dal terreno affette da tale coefficiente di sicurezza. Tutti i metodi suddividono la regione di terreno mobilitata in conci verticali compresi tra la sommità del terreno e la superficie di scorrimento e istituiscono le condizioni di equilibrio generali e relative ai singoli conci. La differenza fra i diversi metodi risiede nel modo in cui il problema viene reso staticamente determinato: in generale vengono introdotte ulteriori ipotesi, diverse da un metodo all'altro, relativamente alle azioni di interazione fra conci adiacenti.

In questa sede si è deciso di svolgere le analisi di stabilità applicando il metodo di Bishop semplificato. Questo metodo assume che i vari conci si scambino azioni solo normali alle facce, ovvero azioni orizzontali, e determina il coefficiente di sicurezza imponendo l'equilibrio alla rotazione dell'ammasso attorno al centro della circonferenza, essendo la superficie di scivolamento un arco di cerchio.

Per definire il meccanismo di collasso associato al minimo coefficiente di sicurezza, Paratie Plus prevede i seguenti quattro criteri, i cui parametri geometrici sono definiti dall'utente:

- Archi di cerchio aventi centro noto e raggi compresi in un intervallo;
- Archi di cerchio entranti e uscenti in posizioni note;
- Griglia dei centri e limiti geometrici sui raggi;
- Superficie di scivolamento generica definita tramite una spezzata (non compatibile con il metodo di Bishop).

In questo caso il metodo di Bishop semplificato è stato applicato definendo una griglia quadrangolare dei centri, ove per ogni centro sono generati diversi archi, che identificano le possibili superfici di scivolamento. Con questa modalità è possibile ricavare la classica rappresentazione delle iso-asfaliche, ossia delle curve a egual coefficiente di sicurezza nella regione corrispondente alla griglia dei centri.

4.2 VERIFICHE DI SICUREZZA

Le verifiche di stabilità sono state svolte sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche in accordo al capitolo "3.8 Opere in terra" del MdP RFI [1] e ai capitoli "6.8 Opere di materiali sciolti e fronti di scavo" e "7.11.4 Fronti di scavo e rilevati" della normativa vigente [2].

Tali verifiche sono state inoltre eseguite sia a breve termine (BT, parametri geotecnici degli strati coesivi in termini di tensioni totali, c_u) sia a lungo termine (LT, parametri geotecnici degli strati coesivi in termini di tensioni efficaci, ϕ).

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	8

Nelle analisi sono state tralasciate le superfici più corticali in quanto poco significative e per le quali non risulta idonea un'analisi convenzionale all'equilibrio limite.

4.2.1 Verifiche di sicurezza agli stati limite ultimi (SLU) in condizioni statiche

Le verifiche di sicurezza nei riguardi degli SLU si intendono soddisfatte se è rispettata, per tutti i cinematismi di collasso, la condizione (6.2.1) delle NTC 2018 [2]:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

E_d = valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

R_d = valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

La verifica della suddetta condizione è stata effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, in cui i coefficienti parziali A2 sono moltiplicativi delle azioni, M2 sono riduttivi dei parametri geotecnici e R2 sono riduttivi della resistenza globale del sistema.

Le seguenti tabelle di figura 4.2.1-1 mostrano i coefficienti parziali adottati.

Tab. 5.2.V - Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Coefficiente			EQU ⁽¹⁾	A1	A2
Azioni permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Azioni permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast ⁽³⁾	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Azioni variabili da traffico ⁽⁴⁾	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Azioni variabili	favorevoli	γ_{Q1}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Precompressione	favorevole	γ_P	0,90	1,00	1,00
	sfavorevole		1,00 ⁽⁵⁾	1,00 ⁽⁶⁾	1,00
Ritiro, viscosità e cedimenti non imposti appositamente	favorevole	γ_{Ced}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevole		1,20	1,20	1,00

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori della colonna A2.

⁽²⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali, o di una parte di essi (ad esempio carichi permanenti portati), sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

⁽³⁾ Quando si prevedano variazioni significative del carico dovuto al ballast, se ne dovrà tener conto esplicitamente nelle verifiche.

⁽⁴⁾ Le componenti delle azioni da traffico sono introdotte in combinazione considerando uno dei gruppi di carico gr della Tab. 5.2.IV.

⁽⁵⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

⁽⁶⁾ 1,20 per effetti locali

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	9

Tab. 6.2.II - Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_f	γ^f	1,0	1,0

Tab. 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

Coefficiente	R2
γ_R	1,1

Figura 4.2.1- 1 – Coefficienti parziali per A2+M2+R2

Pertanto la verifica di stabilità risulta essere soddisfatta se:

$$FS_{\min} \geq 1.1$$

Le azioni che vengono considerate nella verifica di sicurezza agli SLU del rilevato ferroviario sono:

- Carico permanente dovuto alla sovrastruttura ferroviaria:

è il carico relativo al peso della massicciata e dell'armamento. Si assume, per linee in rettilineo, un peso di volume di 18.00 kN/m³ applicato sull'impronta del ballast, per un'altezza media fra il piano del ferro e l'estradosso del sub-ballast pari a 0.80 m.

Pertanto si considera, su una lunghezza pari all'impronta del ballast, il seguente carico permanente:

$$q_p = \gamma \cdot H_{\text{media}} = 18.00 \text{ kN/m}^3 \cdot 0.80 \text{ m} = 14.40 \text{ kPa}$$

- Carico variabile da traffico ferroviario:

è il carico dovuto al treno di carico SW2, che schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante, con $q_{vk} = 150 \text{ kN/m}$ e stesa di carico $a = 25 \text{ m}$.

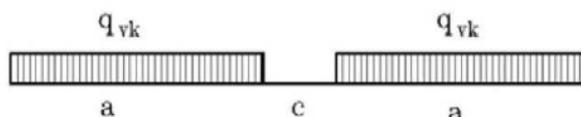


Figura 4.2.1- 2 – Modello di carico SW2

Le verifiche sono state condotte ipotizzando una larghezza di ripartizione dei carichi ferroviari al livello del piano di regolamento pari alla larghezza della traversa di 2.40 m più la larghezza dovuta alla diffusione a 45° del carico su un'altezza di 0.40 m all'interno del ballast. Il valore caratteristico del carico deve essere inoltre moltiplicato per un coefficiente di adattamento α e per un coefficiente di amplificazione dinamica Φ posti pari a 1.

Pertanto si considera, su una larghezza di 3.20 m, il seguente carico accidentale senza incremento dinamico:

$$q_{SW2} = \frac{q_{VK}}{L} \cdot \alpha \cdot \Phi = \frac{150 \text{ kN/m}}{3.20 \text{ m}} \cdot 1 \cdot 1 = 46.88 \text{ kPa}$$

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	10

4.2.1.1 Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi idraulici

I rilevati ferroviari che ricadono in una zona esondabile devono inoltre avere un adeguato coefficiente di sicurezza nei confronti dei fenomeni di sifonamento o di sfiancamento per perdita di stabilità globale.

Per questi, devono quindi essere svolte due ulteriori verifiche di stabilità:

- Verifica in presenza del moto di filtrazione indotto nel corpo del rilevato nella condizione di battente idrico tra i due lati del rilevato;
- Verifica in presenza del moto di filtrazione indotto nel corpo del rilevato nella condizione di rilevato saturo e assenza di battente idrico.

Nel presente documento queste verifiche non sono state eseguite; lo saranno durante la revisione dello stesso.

4.2.2 Verifiche di sicurezza allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV) in condizioni sismiche

Le verifiche di sicurezza nei riguardi del SLV si intendono soddisfatte se è rispettata, per tutti i cinematismi di collasso, la condizione (6.2.1) delle NTC 2018 [2]:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

E_d = valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione;

R_d = valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

La verifica della suddetta condizione è stata effettuata secondo la Combinazione 2 (A2+M2+R2) dell'Approccio 1, ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici e impiegando le resistenze di progetto calcolate con un coefficiente parziale pari a $\gamma_R = 1.2$.

Pertanto la verifica di stabilità risulta essere soddisfatta se:

$$FS_{\min} \geq 1.2$$

Le azioni che vengono considerate nella verifica di sicurezza allo SLV del rilevato ferroviario sono:

- Carico permanente dovuto alla sovrastruttura ferroviaria:
è il carico relativo al peso della massicciata e dell'armamento. Si assume quanto già riportato al paragrafo 4.2.1 per le verifiche statiche agli SLU.

Pertanto si considera, su una lunghezza pari all'impronta del ballast, il seguente carico permanente:

$$q_p = \gamma \cdot H_{\text{media}} = 18.00 \text{ kN/m}^3 \cdot 0.80 \text{ m} = 14.40 \text{ kPa}$$

- Carico variabile da traffico ferroviario:
è il carico dovuto al treno di carico SW2, che schematizza gli effetti statici prodotti dal traffico ferroviario pesante, con $q_{vk} = 150 \text{ kN/m}$ e stesa di carico $a = 25 \text{ m}$. Si assume quanto già riportato al paragrafo 4.2.1 per le verifiche statiche agli SLU, con l'aggiunta del coefficiente di combinazione ψ pari a 0.2.

Pertanto si considera, su una larghezza di 3.20 m, il seguente carico accidentale senza incremento dinamico:

$$q_{\text{SW2}} = \frac{q_{vK}}{L} \cdot \alpha \cdot \Phi \cdot \psi = \frac{150 \text{ kN/m}}{3.20 \text{ m}} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.2 = 9.38 \text{ kPa}$$

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	11

L'analisi di stabilità del rilevato in condizioni sismiche è stata eseguita mediante il metodo pseudostatico, in cui l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile. Le componenti orizzontali e verticali di tale forza possono essere espresse rispettivamente come:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = k_v \cdot W$$

dove:

$$k_h = \text{coefficiente sismico orizzontale: } k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g};$$

$$k_v = \text{coefficiente sismico verticale: } k_v = \pm 0.5 \cdot k_h;$$

con:

a_{\max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito (documento di riferimento [1]);

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito = 0.38 (NTC 2018 [2]).

4.3 SOLUZIONI PROGETTUALI

In ciascuna sezione, tra le varie verifiche di stabilità descritte al paragrafo precedente, è stata considerata dimensionante quella potenzialmente più critica. Pertanto, se tale condizione non ha garantito il fattore di sicurezza minimo necessario, si è proceduto con una o più delle seguenti modifiche:

- Riduzione della pendenza del rilevato:

come già menzionato al capitolo 3, le scarpate dei rilevati sono state progettate con pendenza 3/2 (3 in orizzontale e 2 in verticale) in accordo al MdP RFI [1]. Tuttavia, nelle sezioni in cui tale pendenza non ha garantito la stabilità dell'opera, sono stati svolti appositi calcoli di stabilità al fine di determinare la pendenza massima accettabile.

- Rimozione laterale del terreno vegetale:

in alcune sezioni è presente uno strato superficiale di terreno vegetale ai piedi del rilevato. Nei casi in cui la superficie di scivolamento con fattore di sicurezza minimo includa una porzione di questo materiale, si è provveduto a rimuovere il terreno vegetale a lato del piede della scarpata della larghezza necessaria per garantire la stabilità dell'opera.

- Miglioramento del terreno:

l'analisi a breve termine ha determinato in alcune sezioni superfici di scivolamento con un fattore di sicurezza inferiore al minimo richiesto a causa della presenza di uno strato superficiale coesivo. In questi casi è stato necessario migliorare le caratteristiche meccaniche del terreno, in termini di resistenza e deformabilità, attraverso l'esecuzione di colonne in ghiaia.

Le colonne in ghiaia vengono eseguite con la tecnica della vibroflottazione. La vibroflottazione consiste nell'esecuzione di colonne in materiale granulare, addensato tramite l'infissione di uno strumento, denominato "Vibroflot". La vibrazione indotta dallo strumento consente un addensamento del materiale che è proporzionale all'energia con cui avviene la vibrazione. Il foro, che si viene a formare durante l'avanzamento del Vibroflot, viene riempito di materiale granulare che viene a sua volta compattato ed addensato dall'azione vibrante.

Le colonne in ghiaia sono state progettate secondo uno schema planimetrico a maglia triangolare (a triangolo equilatero, strisce parallele sfalsate di mezzo passo), come raffigurato in figura 4.3-1. Le loro dimensioni, ovvero diametro e lunghezza, e il loro interasse sono stati definiti per ogni singolo caso.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	12

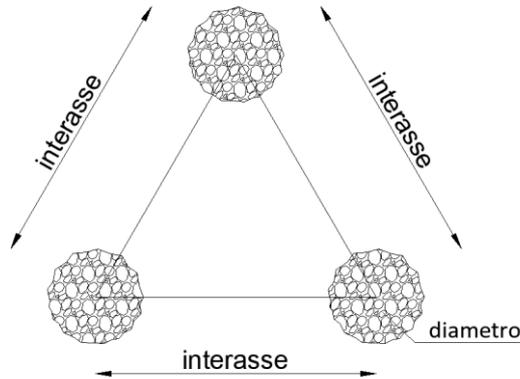


Figura 4.3- 1 – Disposizione planimetrica delle colonne in ghiaia

In seguito all'intervento di vibroflottazione, i valori del peso dell'unità di volume γ , dell'angolo d'attrito interno φ e del modulo di Young E subiscono un incremento.

Per quanto riguarda il peso di volume, nei calcoli è stato utilizzato, a favore di sicurezza e trascurando l'effetto addensante della vibroflottazione, il valore del terreno naturale.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito interno del terreno, il valore che si raggiunge nel terreno migliorato, a seguito della vibroflottazione, è stato calcolato attraverso la formula proposta da Goughnour et Al. (1991) e di seguito riportata:

$$\varphi_{eq} = \arctg \left(\frac{(1 - A_r) \cdot \tan\varphi_c + S_r A_r \cdot \tan\varphi_s}{1 + A_r(S_r - 1)} \right)$$

dove:

φ_c = angolo d'attrito terreno naturale;

A_r = rapporto tra le aree = $\frac{A_a}{A_c}$;

A_a = area colonna;

A_c = area d'influenza di ciascuna colonna;

S_r = rapporto tra gli sforzi (sforzo verticale nella colonna/sforzo verticale nel terreno);

φ_s = angolo d'attrito del materiale aggiunto.

L'angolo d'attrito della ghiaia che costituisce le colonne (φ_s) è supposto, a favore di sicurezza, pari a 40°.

Il modulo di Young del terreno, migliorato a seguito della vibroflottazione, è stato definito come la media pesata tra il modulo di Young del terreno naturale ed il modulo di Young del materiale aggiunto. Per quest'ultimo si assume un valore pari a 80 MPa.

$$E_{eq} = \frac{E_c(A_c - A_a) + E_a A_a}{A_c}$$

dove:

A_a = area colonna;

A_c = area d'influenza di ciascuna colonna;

E_c = modulo di Young del terreno naturale;

E_a = modulo di Young del terreno granulare.

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	13

5. METODOLOGIE E CRITERI PER L'ANALISI DEI CEDIMENTI DEI RILEVATI

5.1 METODOLOGIA DI CALCOLO

L'analisi dei cedimenti dei rilevati ferroviari è stata svolta attraverso il programma tridimensionale SETTLE3, versione 5.015, prodotto da RocScience Inc.

Il contributo degli strati al cedimento totale, è tenuto in considerazione fino a profondità per le quali lo sforzo verticale (indotto dal carico esterno) è minore del 10% dell'effettivo sforzo geostatico.

Il calcolo dei cedimenti di ogni sezione è stato compiuto adottando la sua stratigrafia di progetto, mediante la teoria di Westergaard. Per un terreno con coefficiente di Poisson ν , la tensione verticale σ_z dovuta a un carico Q secondo Westergaard è data da:

$$\sigma_z = \frac{Q}{z^2} \frac{\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1-2\nu}{2-2\nu}}}{\left[\left(\frac{1-2\nu}{2-2\nu} \right) + \left(\frac{r}{z} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}}$$

La tensione verticale sotto una generica area di carico può essere ottenuta analiticamente integrando la precedente equazione.

I cedimenti immediati sono dati da:

$$s_{imm} = \sum_i \varepsilon_{imm_i} \cdot \Delta h_i$$

essendo:

Δh_i = spessore di ogni strato;

ε_{imm} = deformazione, calcolata dalla seguente relazione (considerando tensione media):

$$\varepsilon_{imm} = \frac{(1 + \nu) \cdot \Delta \sigma_z - 3\nu \cdot \Delta \sigma_M}{E}$$

dove:

ν = coefficiente di Poisson;

$\Delta \sigma_z$ = incremento di tensione verticale;

$\Delta \sigma_M$ = incremento medio di tensione;

E = modulo di Young. Nel caso di uno strato di terreno a grana fine soggetto a consolidazione, il calcolo del suo cedimento immediato è stato eseguito utilizzando il valore del suo modulo di Young non drenato (E_u).

I cedimenti di consolidazione primaria sono calcolati attraverso la seguente correlazione lineare:

$$s_{cons} = \sum_i \varepsilon_{cons} \cdot \Delta h_i$$

essendo:

Δh_i = spessore di ogni strato;

ε_{cons} = deformazione di consolidazione primaria, calcolata dalla seguente relazione (considerando materiale elastico lineare):

$$\varepsilon_{cons} = m_v \cdot \Delta \sigma'$$

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	14

dove:

m_v = coefficiente di compressibilità = $1/M$;

$\Delta\sigma'$ = incremento delle tensioni efficaci nello strato i-esimo;

Il programma permette inoltre di valutare l'andamento nel tempo dei cedimenti di consolidazione primaria e secondaria, in funzione dei seguenti due parametri:

- c_v = coefficiente di consolidazione primaria verticale;
- c_α = coefficiente di consolidazione secondaria.

I cedimenti di consolidazione secondaria sono calcolati come:

$$s_{sec} = \sum_i \varepsilon_{sec} \cdot \Delta h_i$$

essendo:

Δh_i = spessore di ogni strato;

ε_{sec} = deformazione di consolidazione secondaria, calcolata dalla seguente relazione:

$$\varepsilon_{sec} = c_{\alpha\varepsilon} \cdot \log \frac{t_2}{t_1}$$

dove:

t_1-t_2 = intervallo di tempo in cui si ha il cambiamento nella deformazione verticale secondaria;

$c_{\alpha\varepsilon}$ = coefficiente di consolidazione secondaria modificato (se materiale lineare):

$$c_{\alpha\varepsilon} = \frac{c_\alpha}{1 + e_p}$$

con:

e_p = indice dei vuoti al termine della consolidazione primaria.

I cedimenti totali sono dati dalla somma dei cedimenti immediati, dei cedimenti di consolidazione primaria e dei cedimenti di consolidazione secondaria.

5.2 VERIFICHE DI SICUREZZA

L'analisi dei cedimenti è stata svolta in accordo al capitolo "3.8 Opere in terra" del MdP RFI [1].

5.2.1 Verifiche di sicurezza agli stati limite di esercizio (SLE) in condizioni statiche

Le verifiche di sicurezza nei riguardi degli SLE si intendono soddisfatte se gli assestamenti residui, ovvero i cedimenti di consolidazione, a far data dal completamento del piano di posa del ballast, sono non superiori al 10% dei cedimenti teorici totali e siano comunque inferiori a 5 cm.

L'analisi dei cedimenti è stata eseguita valutando i cedimenti immediati, di consolidazione primaria e di consolidazione secondaria, e il loro andamento nel tempo, in funzione delle caratteristiche dei terreni che costituiscono il sottosuolo al di sotto del rilevato ferroviario. Nelle sezioni in cui, a causa della scarsità dei dati derivanti dall'interpretazione delle indagini più vicine, non è stato possibile definire i parametri geotecnici c_v e c_α l'analisi è stata svolta solo in relazione ai cedimenti immediati e ai cedimenti di consolidazione primaria finale.

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	15

Le azioni che vengono considerate nella verifica di sicurezza agli SLE del rilevato ferroviario sono solo i seguenti carichi e sovraccarichi permanenti:

- Carico permanente dovuto al terreno del rilevato ferroviario:
è stato modellato con le sue reali dimensioni (altezza, larghezza e pendenza) e un peso di volume di 20.00 kN/m³;
- Carico permanente dovuto alla sovrastruttura ferroviaria:
è il carico relativo al peso della massicciata e dell'armamento. È stato modellato con le sue reali dimensioni (larghezza e pendenza), un'altezza media di 0.80 m e un peso di volume di 18.00 kN/m³.

5.3 SOLUZIONI PROGETTUALI

Nelle sezioni in cui si è ottenuto un cedimento di consolidazione totale maggiore di 5 cm, si è provveduto a migliorare le caratteristiche meccaniche del terreno, in termini di resistenza e deformabilità, attraverso l'esecuzione di colonne in ghiaia, come già descritte al paragrafo 4.3.

Questa soluzione progettuale è stata scelta in quanto il cedimento di consolidazione, in presenza di colonne in ghiaia, si sviluppa in tempi molto brevi. Questo è dovuto al fatto che queste colonne agiscono come grandi dreni, con la conseguente drastica riduzione del percorso di drenaggio. Tale intervento ha inoltre un impatto positivo sulla riduzione della manutenzione necessaria dell'opera.

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA								
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	16

6. LOTTO 1 – DAL KM 0+000 AL KM 3+150

Nel presente lotto i rilevati ferroviari sono presenti nelle sezioni dal km 2+750 al km 3+150.

È stata scelta come sezione più significativa:

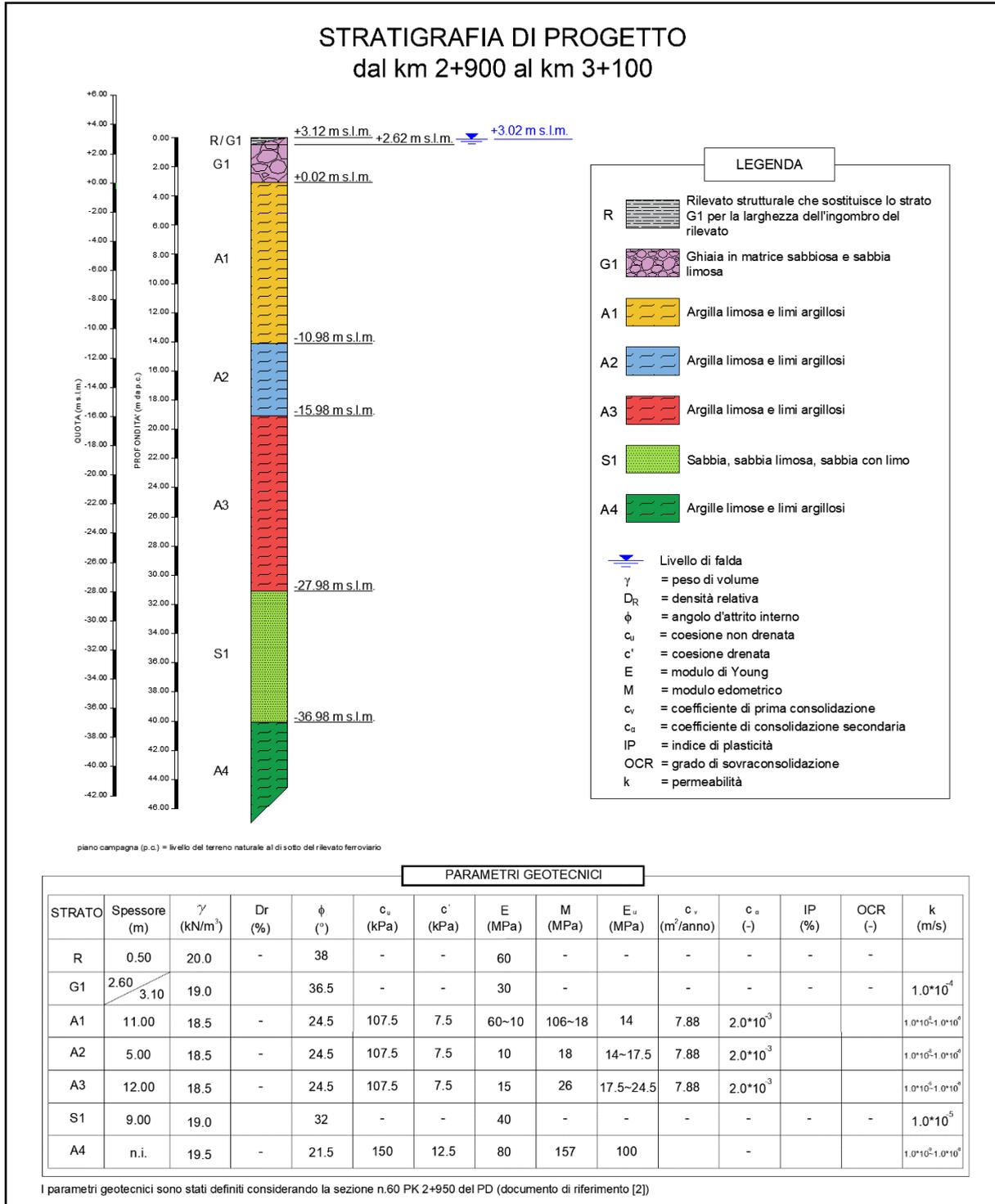
- Sezione al km 2+950: rilevato con berma e massima altezza.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	17

6.1 SEZIONE AL KM 2+950

La figura 6.1-1 mostra la stratigrafia di progetto e i parametri assunti nei calcoli della sezione al km 2+950.



6.1- 1 – Stratigrafia di progetto dal km 2+900 al km 3+100

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	18

6.1.1 Verifica di stabilità della scarpata del rilevato della sezione al km 2+950

La verifica di stabilità della scarpata del rilevato della sezione al km 2+950 è stata eseguita con le seguenti caratteristiche:

Sezione	Quota terreno (m s.l.m.)	Quota rilevato (m s.l.m.)	Altezza rilevato (m)	Ingombro rilevato (m)	Pendenza (-)	Spessore scavo scotico (cm)
km 2+950	2.85	11.20	8.35	14.50	3/2	0.50

Tabella 6.1.1- 1 – Caratteristiche della sezione al km 2+950

Essendo l'altezza del rilevato maggiore di 6.0 m, questa sezione è caratterizzata dalla presenza di una berma di larghezza di 2.0 m alla quota di 5.85 m s.l.m..

La condizione dimensionante per tale sezione è risultata essere la condizione sismica con i seguenti coefficienti:

$$k_h = 0.116;$$

$$k_v = -0.0579,$$

essendo $a_{max} = 0.305g$ (documento di riferimento [1]).

Il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto con l'analisi a BT è:

$$FS_{min} = 0.856 < 1.2$$

Pertanto, in tali condizioni, la verifica non è soddisfatta.

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A R.L.</small>	MANDANTI HYpro	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC RH	OPERA 7 DISCIPLINA GE 00 05			PROGR 001

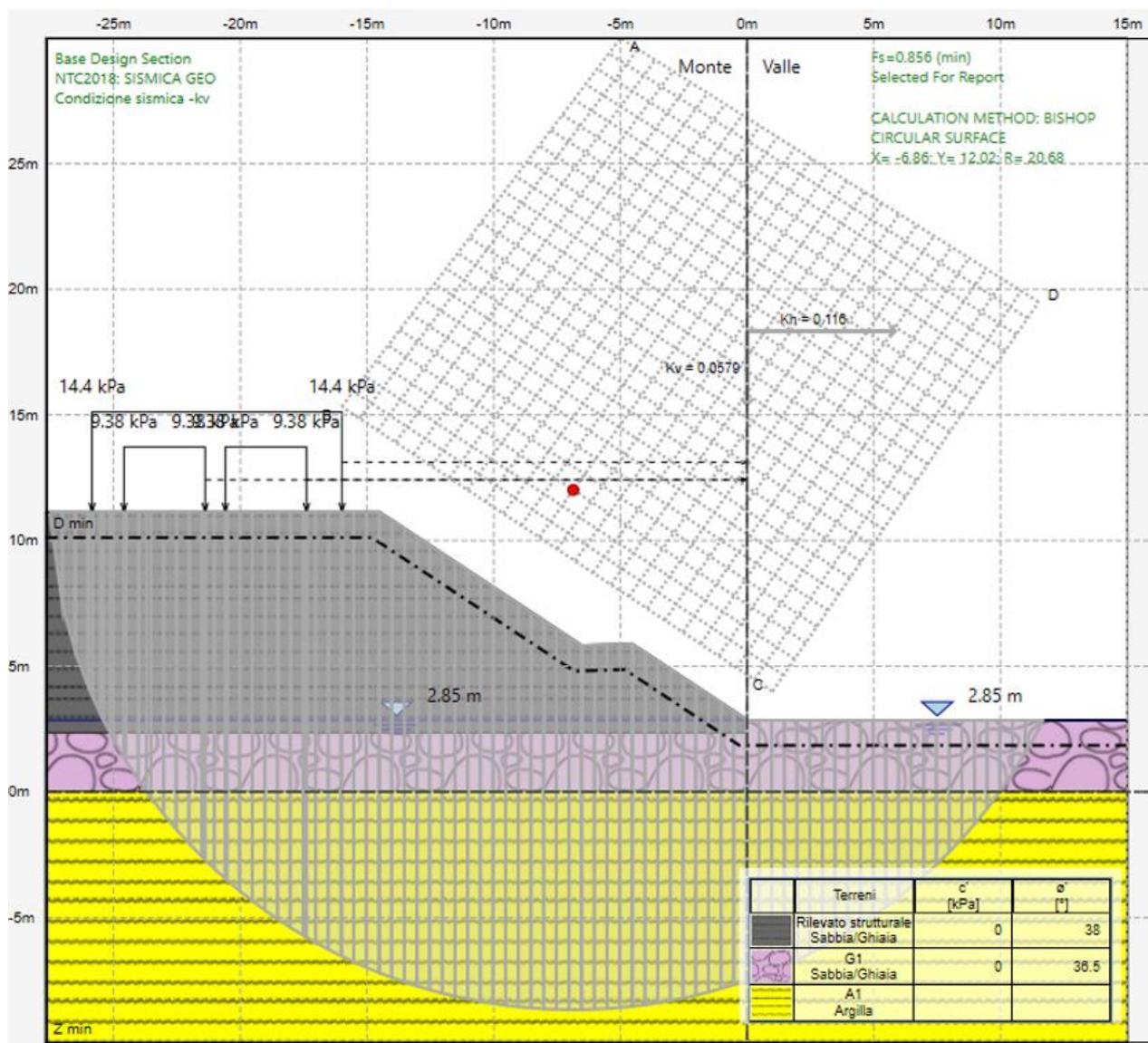


Figura 6.1.1- 1 – Sezione al km 2+950: Analisi sismica SLV (-kv); $F_{Smin} = 0.856$

6.1.1.1 Soluzione progettuale

Al fine di garantire la stabilità della scarpata è stato necessario modificare le caratteristiche iniziali del terreno.

In particolare, essendo presente uno strato superficiale coesivo (A1) che ha determinato una superficie di scivolamento nell'analisi a BT con un fattore di sicurezza inferiore al minimo richiesto, è stato eseguito un miglioramento delle caratteristiche meccaniche di questo terreno, attraverso l'esecuzione di colonne in ghiaia di diametro di 0.7 m, interasse di 2.0 m e lunghezza di 7.0 m. Sono stati quindi determinati i seguenti valori equivalenti dell'angolo di attrito e del modulo di Young per lo strato coesivo A1:

$$\phi_{eq} = 29^\circ;$$

$$E_{eq} = 62 \div 18 \text{ MPa}.$$

Il miglioramento di questo strato coesivo è stato eseguito per i primi 7.0 m del suo spessore e per un'estensione pari alla larghezza del rilevato più 4 m a lato di questo.

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE A R.L.</small>	MANDANTI HYpro	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC RH	OPERA 7 DISCIPLINA GE 00 05			PROGR 001

Il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{\min} = 1.152 < 1.2$$

Pertanto, in tali condizioni, la verifica non è ancora soddisfatta.

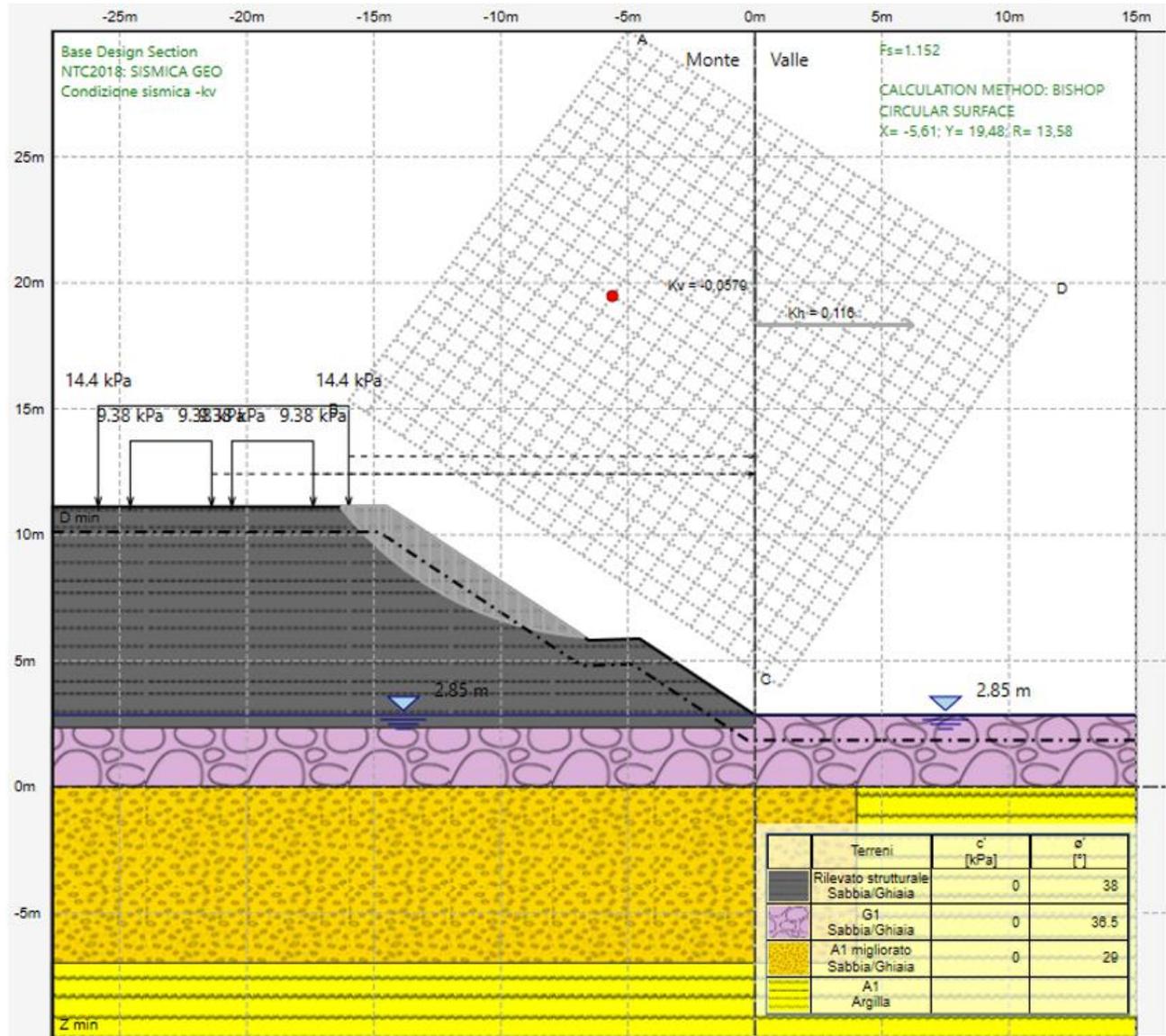


Figura 6.1.1.1- 1 – Sezione al km 2+950: Analisi sismica SLV (-k_v) con miglioramento terreno A1 (7.0 m): FS_{min} = 1.152

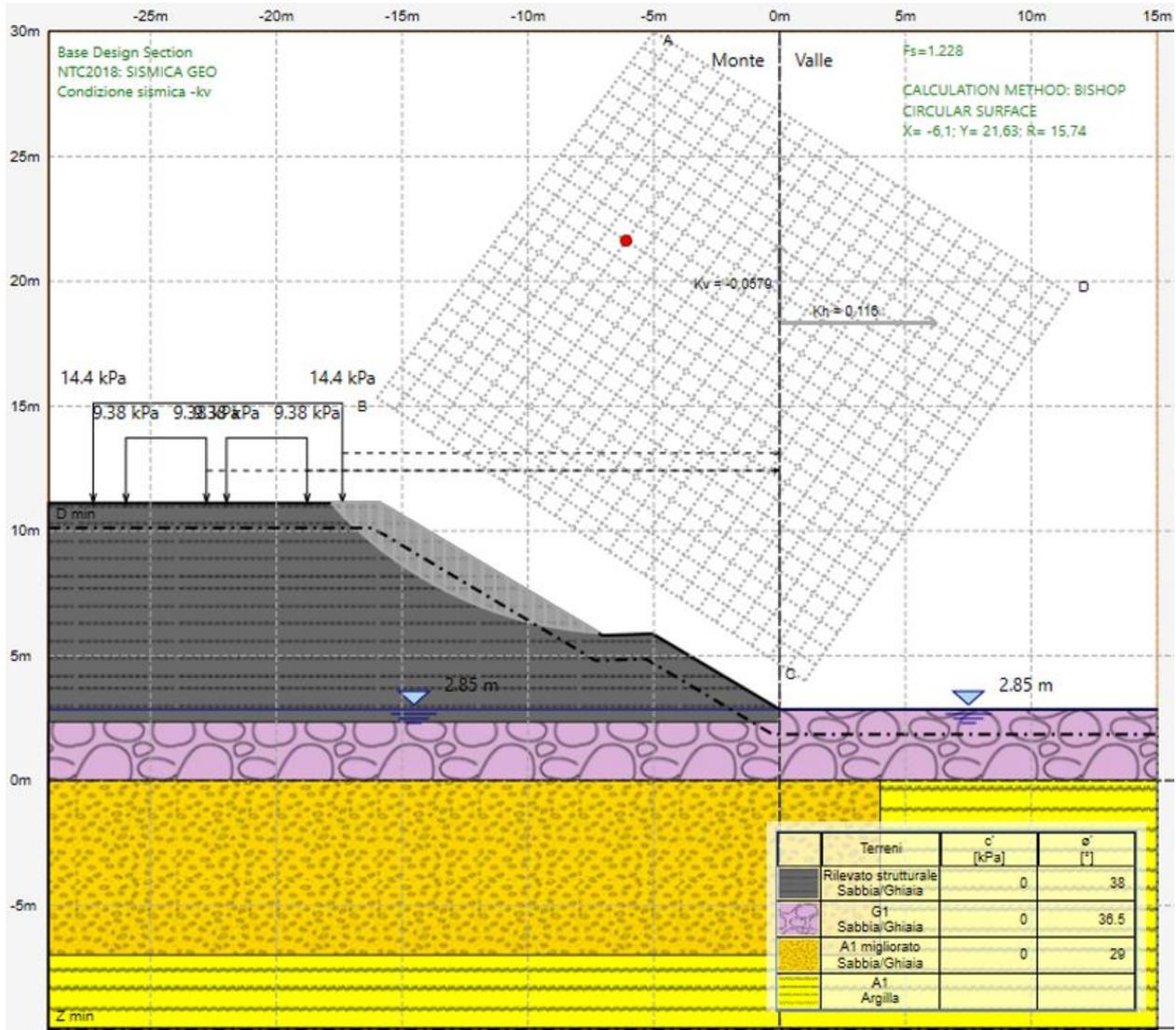
A seguito di questo miglioramento, la superficie di scivolamento critica non interessa più lo strato migliorato A1 ma bensì il rilevato. Riducendo quindi la pendenza del rilevato da 3/2 a 3/1.8, e aumentando conseguentemente il suo ingombro di 1.39 m, il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{\min} = 1.228 \geq 1.2$$

Pertanto, in tali condizioni, la verifica è soddisfatta.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	21



**Figura 6.1.1.1- 2 – Sezione al km 2+950: Analisi sismica SLV (-k_v) con miglioramento terreno A1 (7.0 m) e pendenza 3/1.8:
FS_{min} = 1.228**

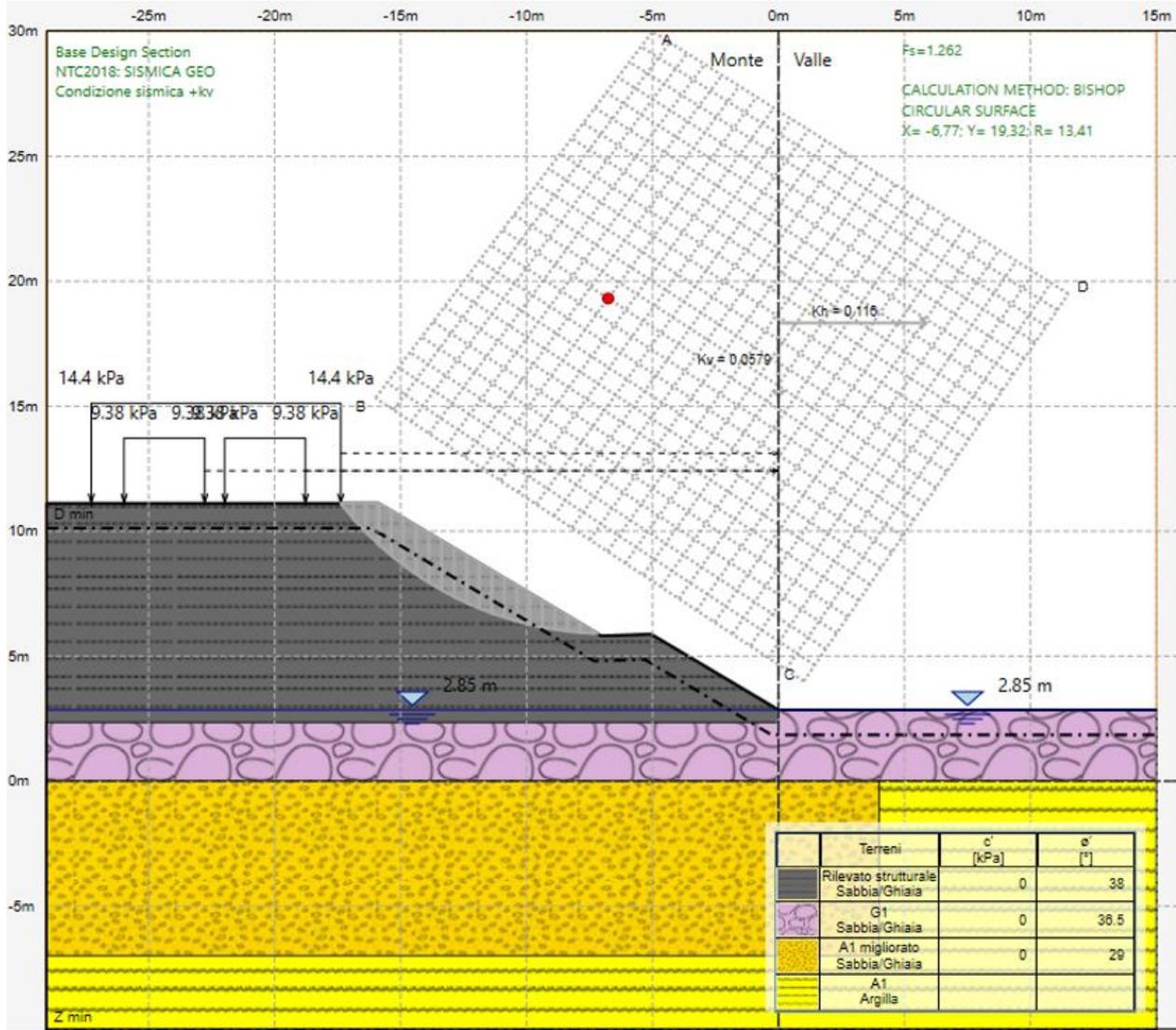
Considerando quest'ultima configurazione, sono state eseguite anche le altre analisi, che risultano essere soddisfatte.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	22

Nell'analisi in condizioni sismiche, con coefficiente sismico in direzione verticale positivo (+k_v), il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.262 \geq 1.2$$



**Figura 6.1.1.1- 3 – Sezione al km 2+950: Analisi sismica SLV (+k_v) con miglioramento terreno A1 (7.0 m) e pendenza 3/1.8:
FS_{min} = 1.262**

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>	MANDANTI HYpro	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC RH	OPERA 7 DISCIPLINA GE 00 05			PROGR 001

Nell'analisi in condizioni statiche il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{\min} = 1.266 \geq 1.1$$

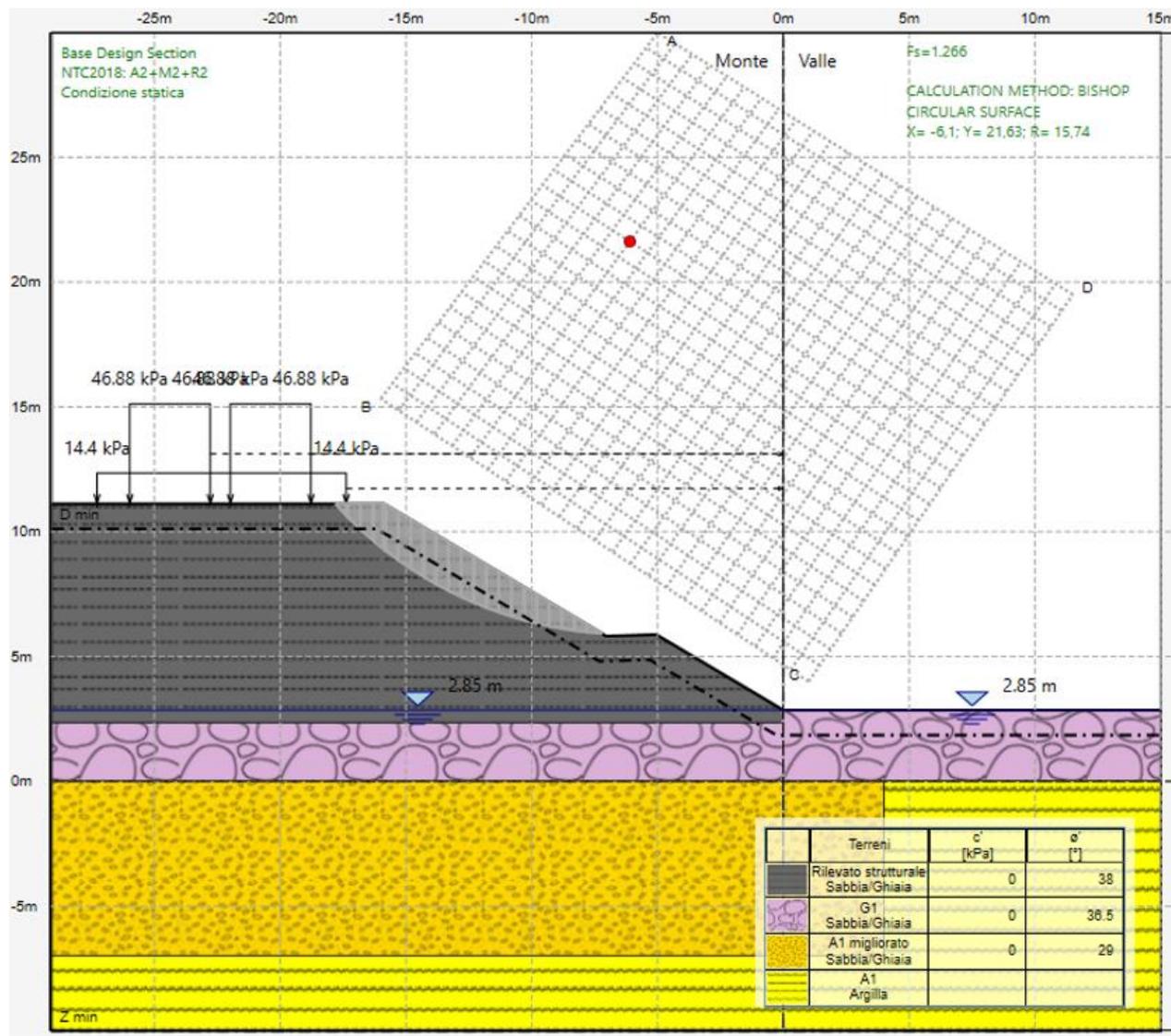


Figura 6.1.1.1- 4 – Sezione al km 2+950: Analisi statica SLU con miglioramento terreno A1 (7.0 m) e pendenza 3/1.8: $FS_{\min} = 1.266$

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA							
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	24

6.1.2 Analisi dei cedimenti del rilevato della sezione al km 2+950

L'analisi dei cedimenti del rilevato della sezione al km 2+950 è stata eseguita con la configurazione finale definita al paragrafo 6.1.1.1.

Nella caratterizzazione geotecnica degli strati coesivi A1, A2 e A3 (documento di riferimento [2]) sono stati definiti il coefficiente di consolidazione primaria verticale (c_v) e il coefficiente di consolidazione secondaria (c_a). Pertanto, per questa sezione l'analisi dei cedimenti è stata svolta in relazione al decorso del cedimento totale nel tempo.

Nell'analisi si è assunto che gli strati coesivi A1, A2 e A3 sono soggetti a consolidazione.

La valutazione del decorso del cedimento nel tempo è stata eseguita considerando il periodo compreso tra la fine della realizzazione del rilevato, considerato pari a 2 anni, e la vita nominale dell'opera ($V_N = 75$ anni). Il cedimento residuo (consolidazione primaria + consolidazione secondaria) calcolato in tale range temporale deve essere inferiore a 5 cm.

La verifica di sicurezza nei riguardi degli SLE non risulta essere soddisfatta essendo il cedimento residuo calcolato in tale range temporale superiore a 5 cm.

La figura 6.1.2-1 mostra l'andamento del cedimento totale nel tempo, mentre la tabella 6.1.2-1 riassume i cedimenti del rilevato.

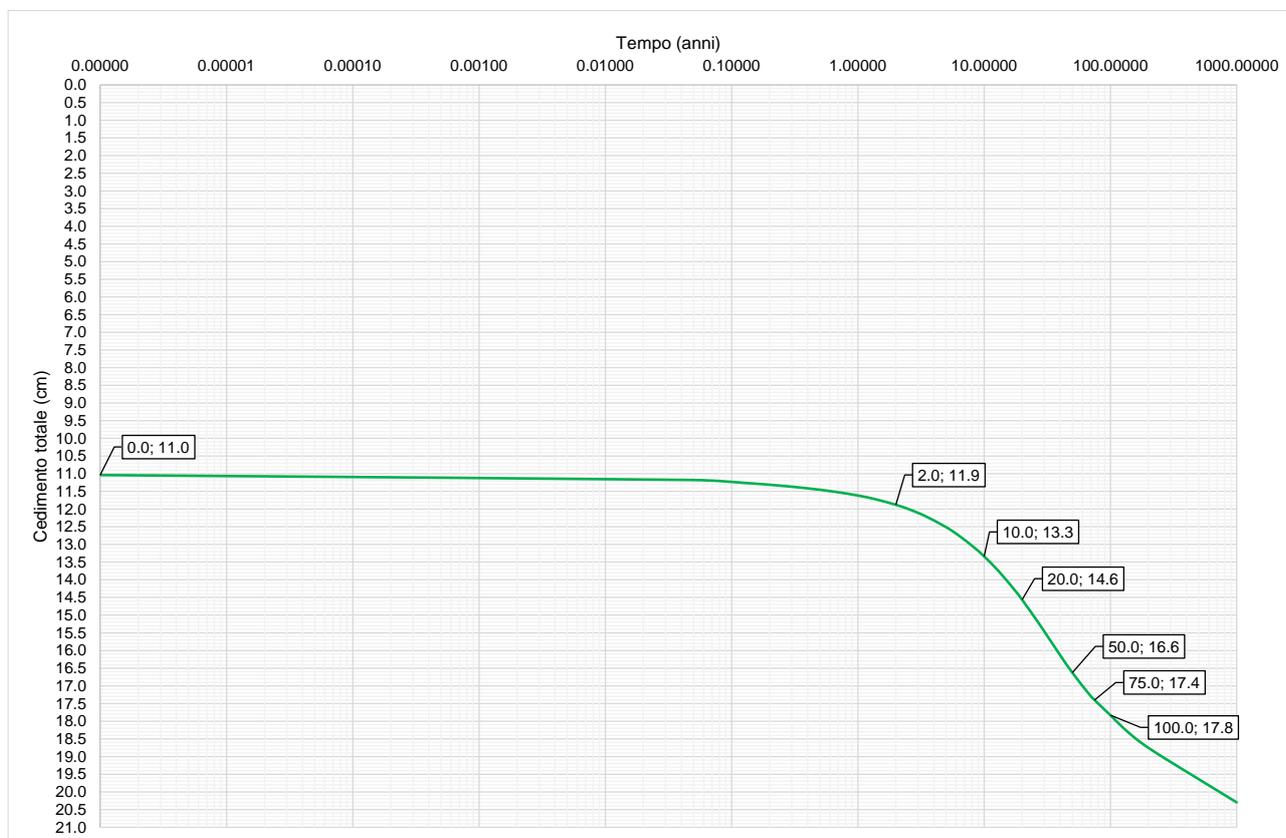


Figura 6.1.2- 1 – Sezione al km 2+950: andamento del cedimento totale (cm) nel tempo

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	25

Sezione	B (m)	L (m)	S _{imm} (cm)	S _{cons} + S _{sec} t = 2 anni (cm)	S _{cons} + S _{sec} t = 75 anni (cm)	Δ (S _{cons} + S _{sec}) t = 2÷75 anni (cm)
km 2+950	47.4	474.0	11.0	0.8	6.4	5.5

Tabella 6.1.2- 1 – Sezione al km 2+950: cedimenti del rilevato

6.1.2.1 Soluzione progettuale

Al fine di garantire la verifica di sicurezza nei riguardi degli SLE è stato necessario modificare le caratteristiche iniziali dei terreni coesivi presenti.

In particolare, è stato esteso il precedente miglioramento dello strato A1 (paragrafo 6.1.1.1) per tutto il suo spessore di 11.0 m.

A seguito di questo miglioramento, la verifica di sicurezza nei riguardi degli SLE risulta essere soddisfatta essendo il cedimento residuo calcolato in tale range temporale sempre inferiore a 5 cm.

La figura 6.1.2.1-1 mostra l'andamento del cedimento totale nel tempo, mentre la tabella 6.1.2.1-1 riassume i cedimenti del rilevato.

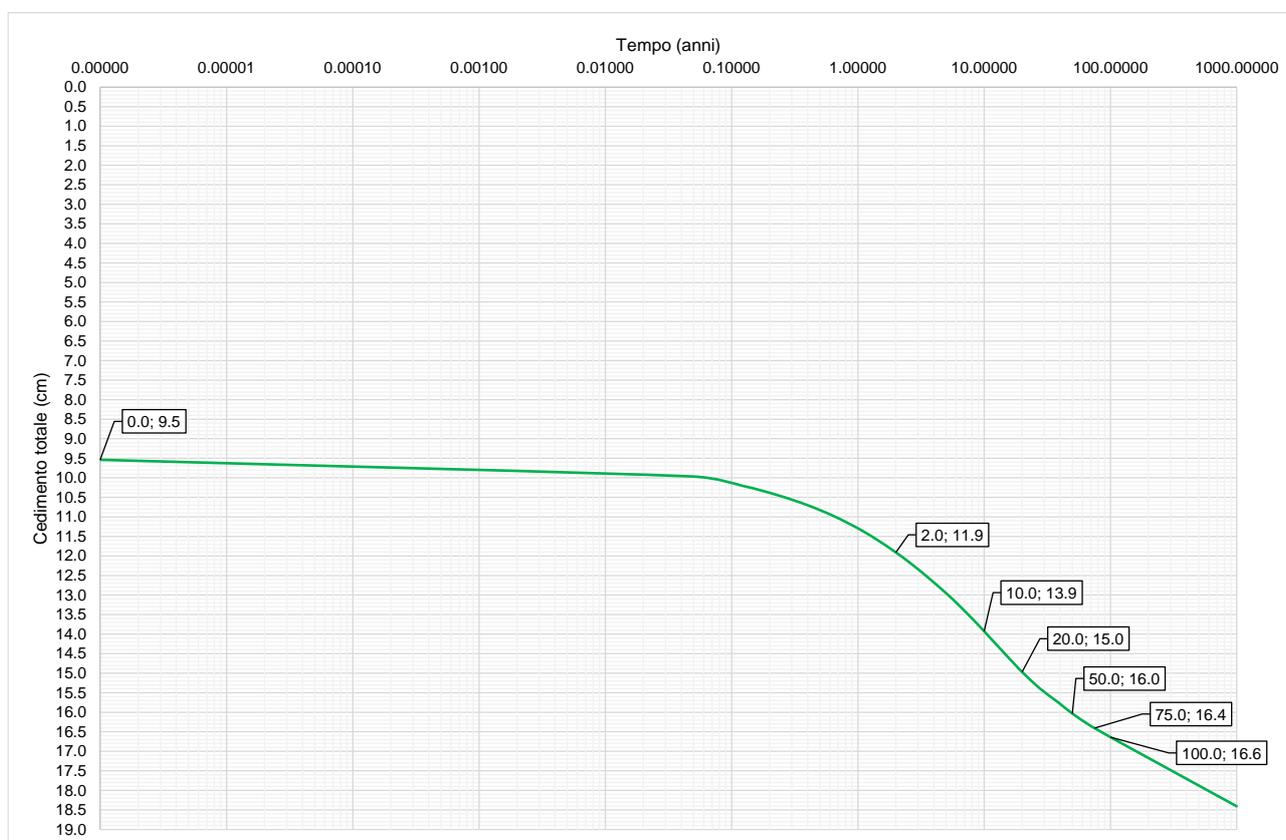


Figura 6.1.2.1- 1 – Sezione al km 2+950: andamento del cedimento totale (cm) nel tempo con miglioramento terreno A1 (11.0 m)

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	26

Sezione	B (m)	L (m)	S _{imm} (cm)	S _{cons} + S _{sec} t = 2 anni (cm)	S _{cons} + S _{sec} t = 75 anni (cm)	Δ (S _{cons} + S _{sec}) t = 2÷75 anni (cm)
km 2+950	47.4	474.0	9.5	2.4	6.9	4.5

Tabella 6.1.2.1- 1 – Sezione al km 2+950: cedimenti del rilevato con miglioramento terreno A1 (11.0 m)

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA							
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	27

7. LOTTO 2 – DAL KM 3+150 AL KM 5+200

Nel presente lotto i rilevati ferroviari sono presenti nelle sezioni dal km 3+150 al km 3+375.

È stata scelta come sezione più significativa:

- Sezione al km 3+350: rilevato con berma e massima altezza.

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	29

7.1.1 Verifica di stabilità della scarpata del rilevato della sezione al km 3+350

La verifica di stabilità della scarpata del rilevato della sezione al km 3+350 è stata eseguita con le seguenti caratteristiche:

Sezione	Quota terreno (m s.l.m.)	Quota rilevato (m s.l.m.)	Altezza rilevato (m)	Ingombro rilevato (m)	Pendenza (-)	Spessore scavo scotico (cm)
km 3+350	3.36	10.55	7.2	12.74	3/2	0.50

Tabella 7.1.1- 1 – Caratteristiche della sezione al km 3+350

Essendo l'altezza del rilevato maggiore di 6.0 m, questa sezione è caratterizzata dalla presenza di una berma di larghezza di 2.0 m alla quota di 5.19 m s.l.m..

La condizione dimensionante per tale sezione è risultata essere la condizione sismica con i seguenti coefficienti:

$$k_h = 0.116;$$

$$k_v = -0.0579,$$

essendo $a_{max} = 0.305g$ (documento di riferimento [1]).

Il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto con l'analisi a BT è:

$$FS_{min} = 1.089 < 1.2$$

Pertanto, in tali condizioni, la verifica non è soddisfatta.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	30

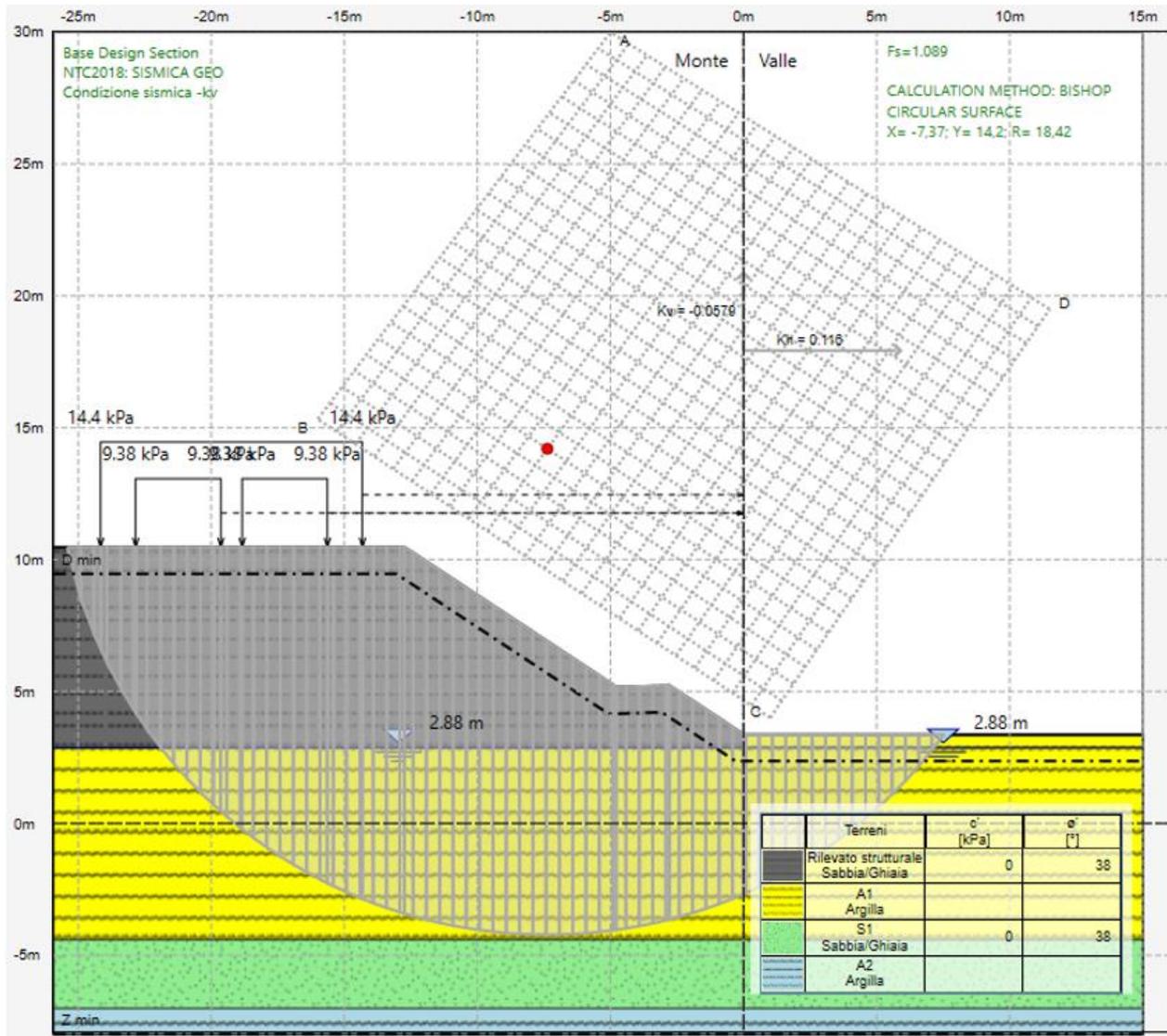


Figura 7.1.1- 1 – Sezione al km 3+350: Analisi sismica SLV (-k_v): FS_{min} = 1.089

7.1.1.1 Soluzione progettuale

Al fine di garantire la stabilità della scarpata è stato necessario modificare le caratteristiche iniziali del terreno.

In particolare, essendo presente uno strato superficiale coesivo (A1) che ha determinato una superficie di scivolamento nell'analisi a BT con un fattore di sicurezza inferiore al minimo richiesto, è stato eseguito un miglioramento delle caratteristiche meccaniche di questo terreno, attraverso l'esecuzione di colonne in ghiaia di diametro di 0.7 m, interasse di 2.0 m e lunghezza di 7.3 m. Sono stati quindi determinati i seguenti valori equivalenti dell'angolo di attrito e del modulo di Young per lo strato coesivo A1:

$$\phi_{eq} = 30^\circ;$$

$$E_{eq} = 12 \text{ MPa.}$$

Il miglioramento di questo strato coesivo è stato eseguito per tutto il suo spessore e per un'estensione pari alla larghezza del rilevato più 4 m a lato di questo.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	31

Il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.126 < 1.2$$

Pertanto, in tali condizioni, la verifica non è ancora soddisfatta.

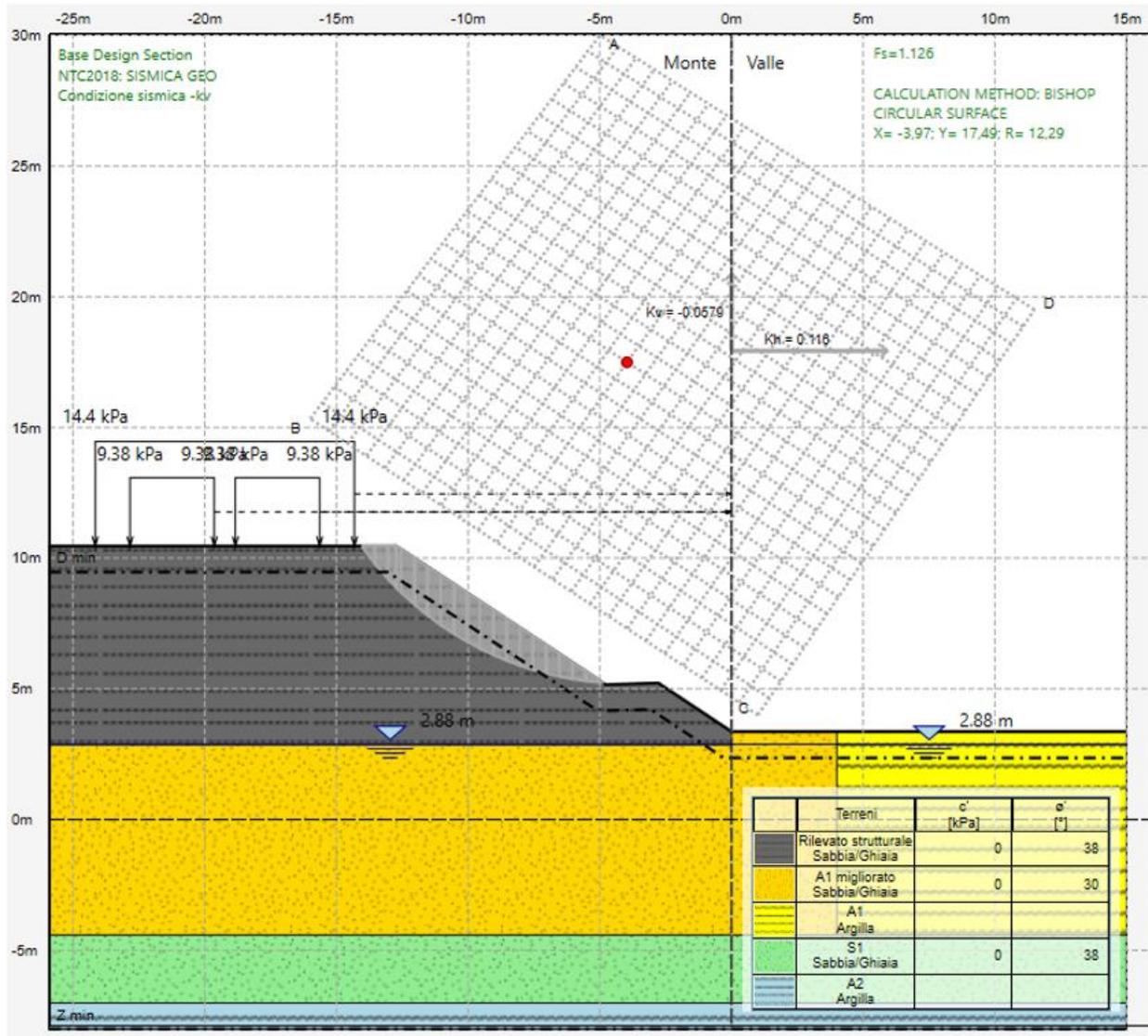


Figura 7.1.1.1- 1 – Sezione al km 3+350: Analisi sismica SLV (-kv) con miglioramento terreno A1 (7.1 m): $FS_{min} = 1.126$

A seguito di questo miglioramento, la superficie di scivolamento critica non interessa più lo strato migliorato A1 ma bensì il rilevato. Riducendo quindi la pendenza del rilevato da 3/2 a 3/1.8, e aumentando conseguentemente il suo ingombro di 1.2 m, il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.215 \geq 1.2$$

Pertanto, in tali condizioni, la verifica è soddisfatta.

Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	32

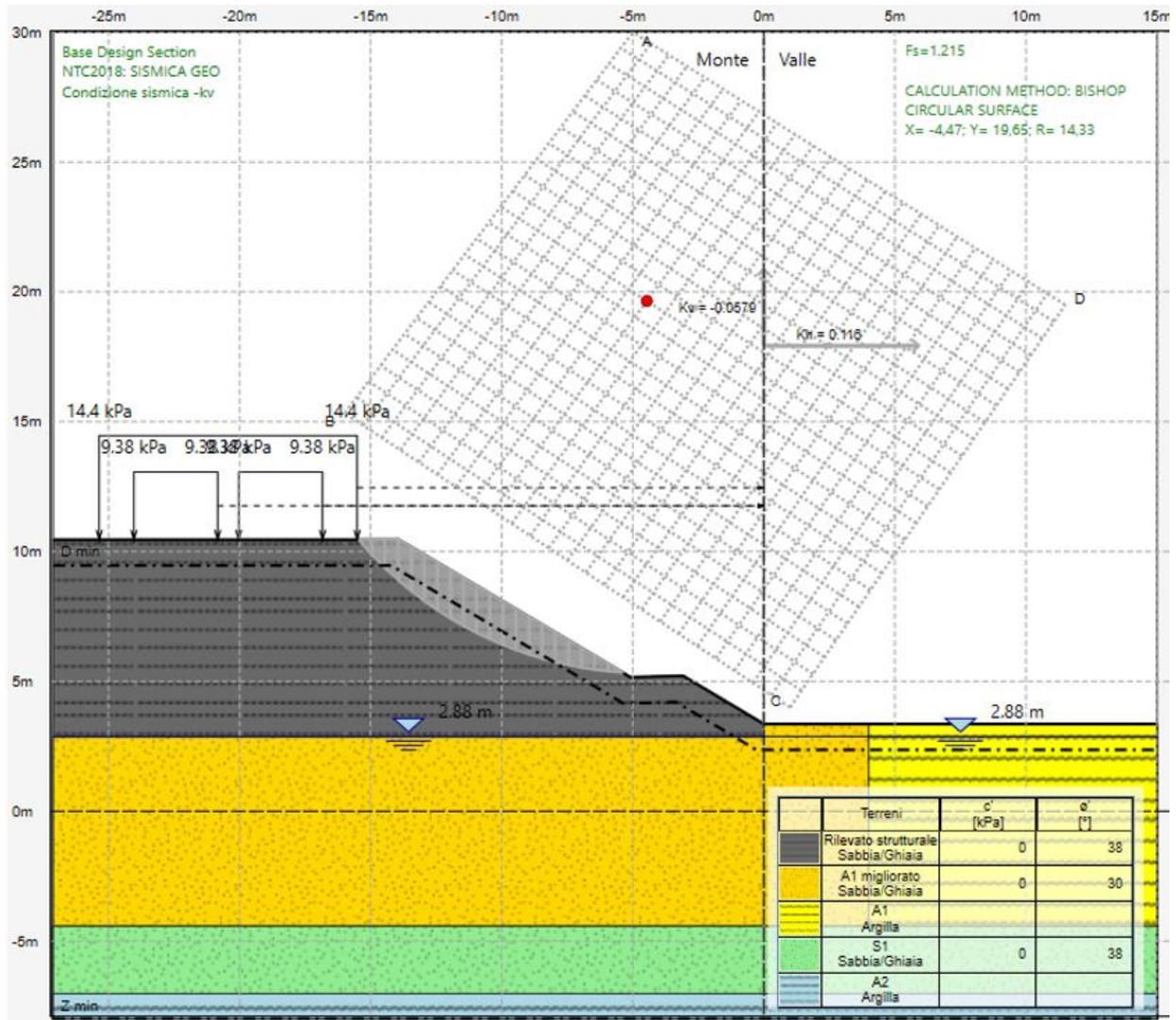


Figura 7.1.1.1- 2 – Sezione al km 3+350: Analisi sismica SLV ($-k_v$) con miglioramento terreno A1 (7.1 m) e pendenza 3/1.8:
 $FS_{min} = 1.215$

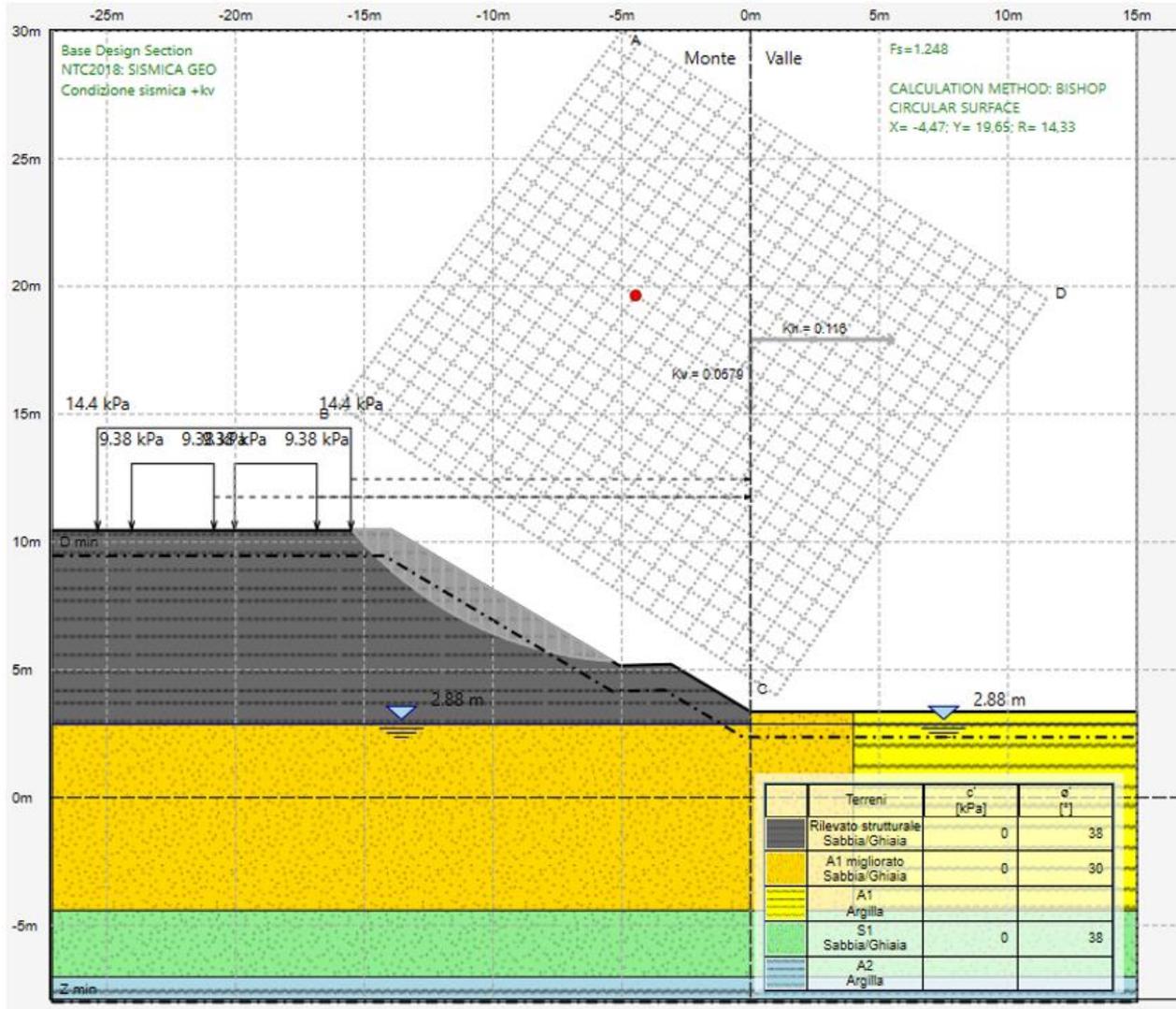
Considerando quest'ultima configurazione, sono state eseguite anche le altre analisi, che risultano essere soddisfatte.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	33

Nell'analisi in condizioni sismiche, con coefficiente sismico in direzione verticale positivo ($+k_v$), il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{\min} = 1.248 \geq 1.2$$



**Figura 7.1.1.1- 3 – Sezione al km 3+350: Analisi sismica SLV ($+k_v$) con miglioramento terreno A1 (7.1 m) e pendenza 3/1.8:
 $FS_{\min} = 1.248$**

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	34

Nell'analisi in condizioni statiche il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.261 \geq 1.1$$

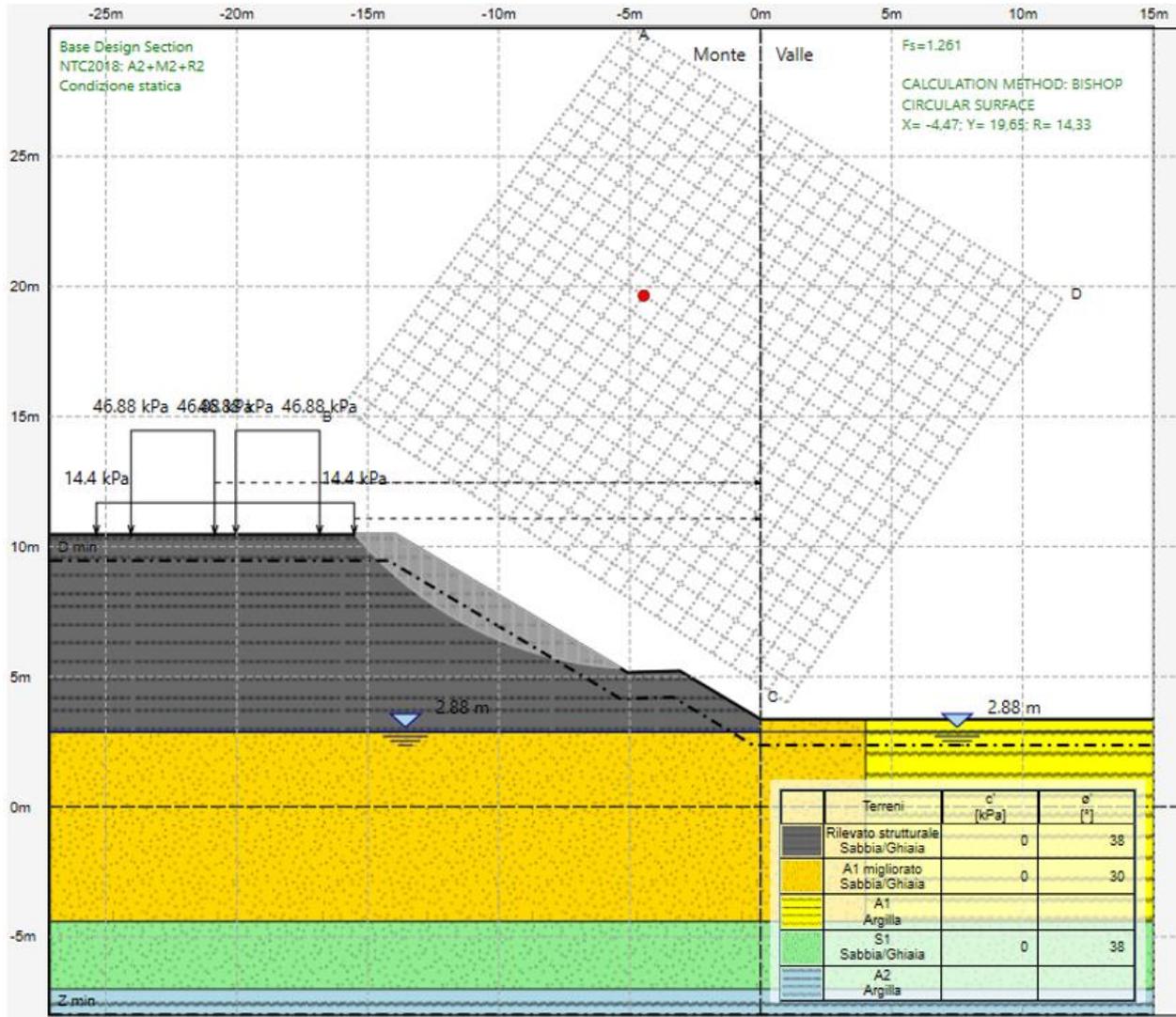


Figura 7.1.1.- 4 – Sezione al km 3+350: Analisi statica SLU con miglioramento terreno A1 (7.1 m) e pendenza 3/1.8: $FS_{min} = 1.261$

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA							
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	35

7.1.2 Analisi dei cedimenti del rilevato della sezione al km 3+350

L'analisi dei cedimenti del rilevato della sezione al km 3+350 è stata eseguita con la configurazione finale definita al paragrafo 7.1.1.1.

A causa della scarsità dei dati derivanti dall'interpretazione delle indagini presenti nel tratto dal km 3+150 al km 3+375, non è stato possibile definire il coefficiente di consolidazione primaria verticale (c_v) e il coefficiente di consolidazione secondaria (c_α). Pertanto, per questa sezione l'analisi dei cedimenti è stata svolta solo in relazione ai cedimenti immediati e ai cedimenti di consolidazione primaria finale.

Nell'analisi si è assunto che gli strati coesivi A2 e A3 sono soggetti a consolidazione.

La verifica di sicurezza nei riguardi degli SLE non risulta essere soddisfatta essendo il cedimento massimo di consolidazione totale pari a:

$$s_{\text{cons}} = 38.0 \text{ cm} > 5.0 \text{ cm}$$

La figura 7.1.2-1 mostra i cedimenti immediati e i cedimenti di consolidazione totale calcolati, mentre la tabella 7.1.2-1 riassume i cedimenti del rilevato.

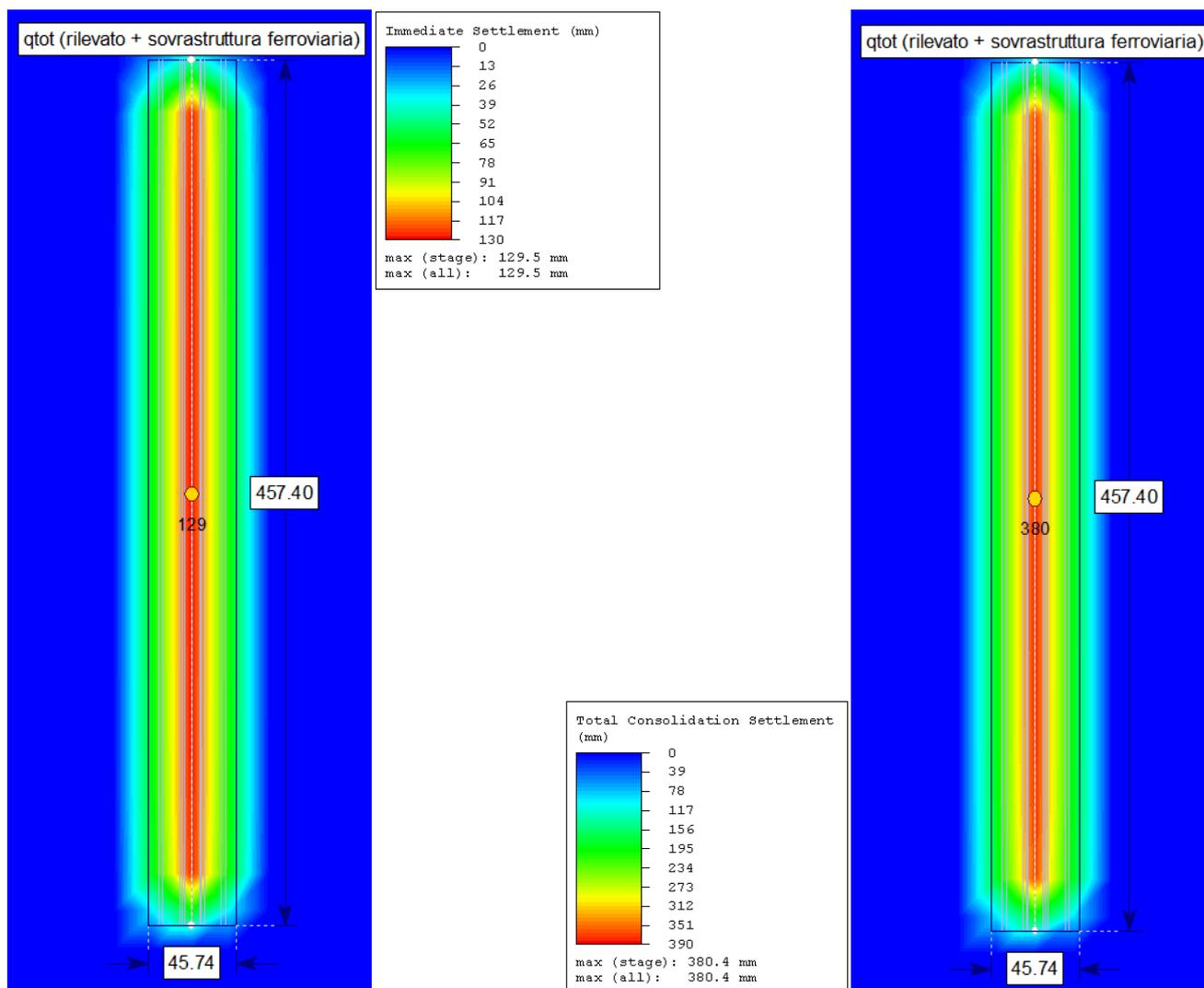


Figura 7.1.2- 1 – Sezione al km 3+350: sinistra: cedimenti immediati (mm), destra: cedimenti di consolidazione totale (mm)

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	36

Sezione	B (m)	L (m)	S _{imm} (cm)	S _{cons} (cm)	S _{tot} (cm)
3+350	45.74	457.4	13.0	38.0	51.0

Tabella 7.1.2- 1 – Sezione al km 3+350: cedimenti del rilevato

7.1.2.1 Soluzione progettuale

Al fine di garantire la verifica di sicurezza nei riguardi degli SLE è stato necessario modificare le caratteristiche iniziali dei terreni coesivi presenti.

In particolare, è stato eseguito un miglioramento delle caratteristiche meccaniche dei terreni coesivi A2 e A3, attraverso l'esecuzione di colonne in ghiaia di diametro di 0.7 m, interasse di 2.0 m e lunghezza di 16.0 m. Sono stati quindi determinati i seguenti valori equivalenti dell'angolo di attrito e del modulo di Young per i due strati coesivi:

- A2:

$$\phi_{eq} = 26^\circ;$$

$$E_{eq} = 11 \text{ MPa};$$

- A3:

$$\phi_{eq} = 18^\circ;$$

$$E_{eq} = 12 \text{ MPa};$$

A seguito di questo miglioramento, la verifica di sicurezza nei riguardi degli SLE risulta essere soddisfatta essendo il cedimento massimo di consolidazione totale pari a:

$$s_{cons} = 4.9 \text{ cm} < 5.0 \text{ cm}$$

La figura 7.1.2.1-1 mostra i cedimenti immediati e i cedimenti di consolidazione totale calcolati, mentre la tabella 7.1.2.1-1 riassume i cedimenti del rilevato.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	37

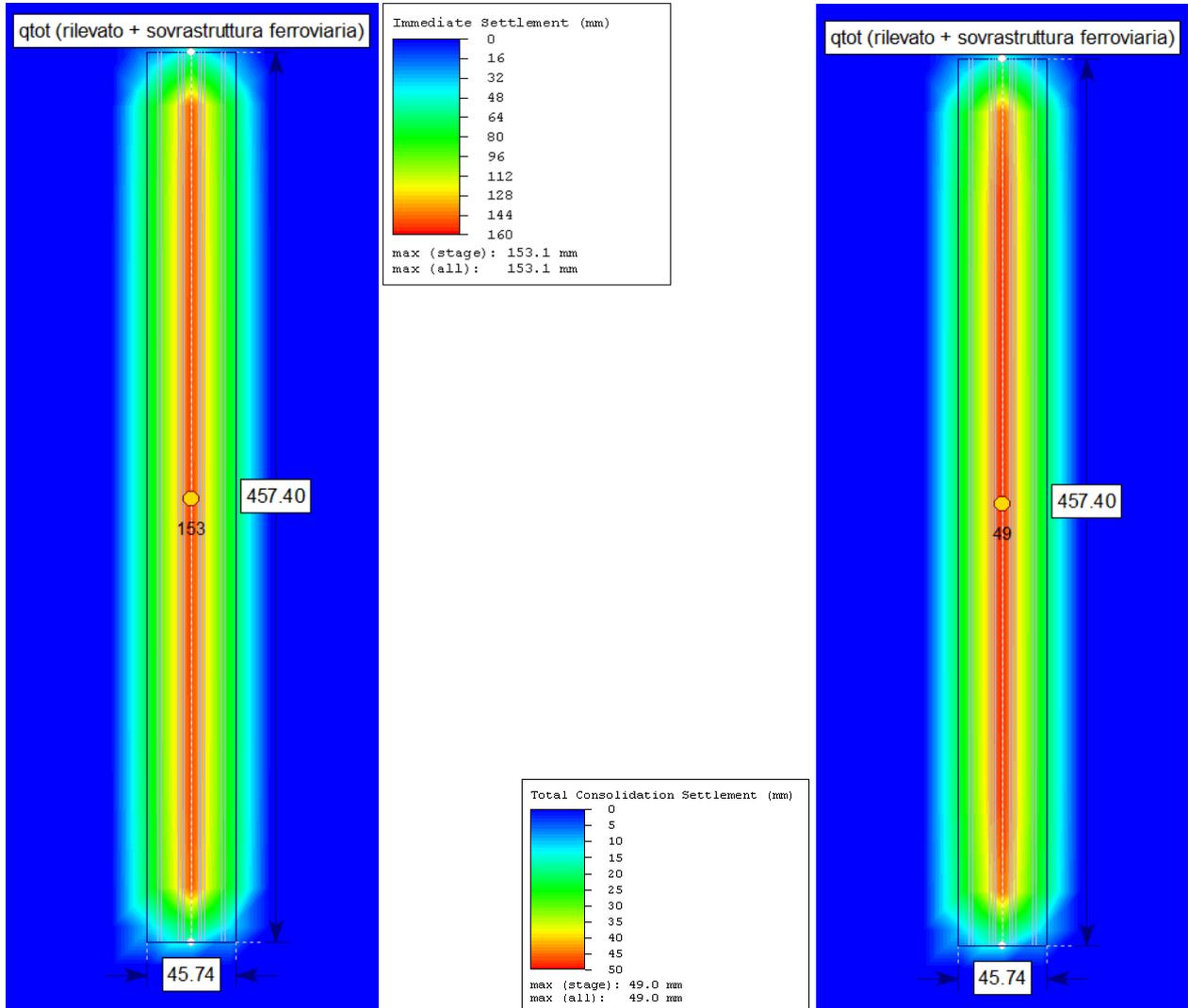


Figura 7.1.2.1- 1 – Sezione al km 3+350 con miglioramento terreni A2 e A3: sinistra: cedimenti immediati (mm), destra: cedimenti di consolidazione totale (mm)

Sezione	B (m)	L (m)	S _{imm} (cm)	S _{cons} (cm)	S _{tot} (cm)
3+350	45.74	457.4	15.3	4.9	20.2

Tabella 7.1.2.1- 1 – Sezione al km 3+350 con miglioramento terreni A2 e A3: cedimenti del rilevato

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	38

8. LOTTO 3 – DAL KM 5+200 AL KM 7+080

Nel presente lotto non sono presenti rilevati ferroviari.

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	39

9. LOTTO 4 – DAL KM 7+080 AL KM 8+380

Nel presente lotto i rilevati ferroviari sono presenti nelle sezioni al km 7+100 e al km 7+125, dal km 7+225 al km 7+325 e dal km 8+250 al km 8+375.

È stata scelta come sezione più significativa:

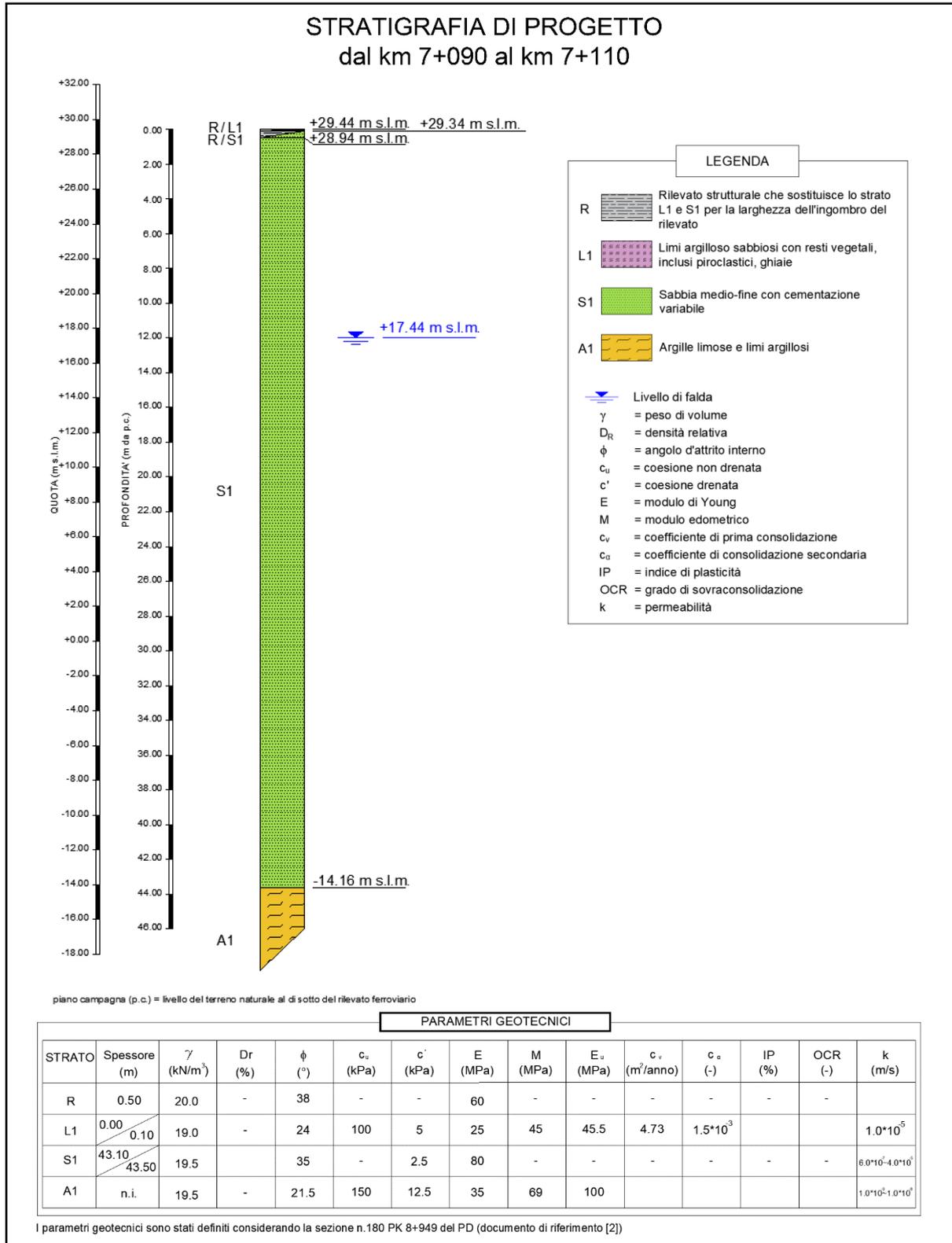
- Sezione al km 7+100: rilevato a scarpata unica e massima altezza.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	40

9.1 SEZIONE AL KM 7+100

La figura 9.1-1 mostra la stratigrafia di progetto e i parametri assunti nei calcoli della sezione al km 7+100.



9.1- 1 – Stratigrafia di progetto dal km 7+090 al km 7+110

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	41

9.1.1 Verifica di stabilità della scarpata del rilevato della sezione al km 7+100

La verifica di stabilità della scarpata del rilevato della sezione al km 7+100 è stata eseguita con le seguenti caratteristiche:

Sezione	Quota terreno (m s.l.m.)	Quota rilevato (m s.l.m.)	Altezza rilevato (m)	Ingombro rilevato (m)	Pendenza (-)	Spessore scavo scotico (cm)
km 7+100	29.44	35.03	5.59	8.39	3/2	0.50

Tabella 9.1.1- 1 – Caratteristiche della sezione al km 7+100

La condizione dimensionante per tale sezione è risultata essere la condizione sismica con i seguenti coefficienti:

$$k_h = 0.104;$$

$$k_v = -0.052,$$

essendo $a_{max} = 0.274g$ (documento di riferimento [1]).

Il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.143 < 1.2$$

Pertanto, in tali condizioni, la verifica non è soddisfatta.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	42

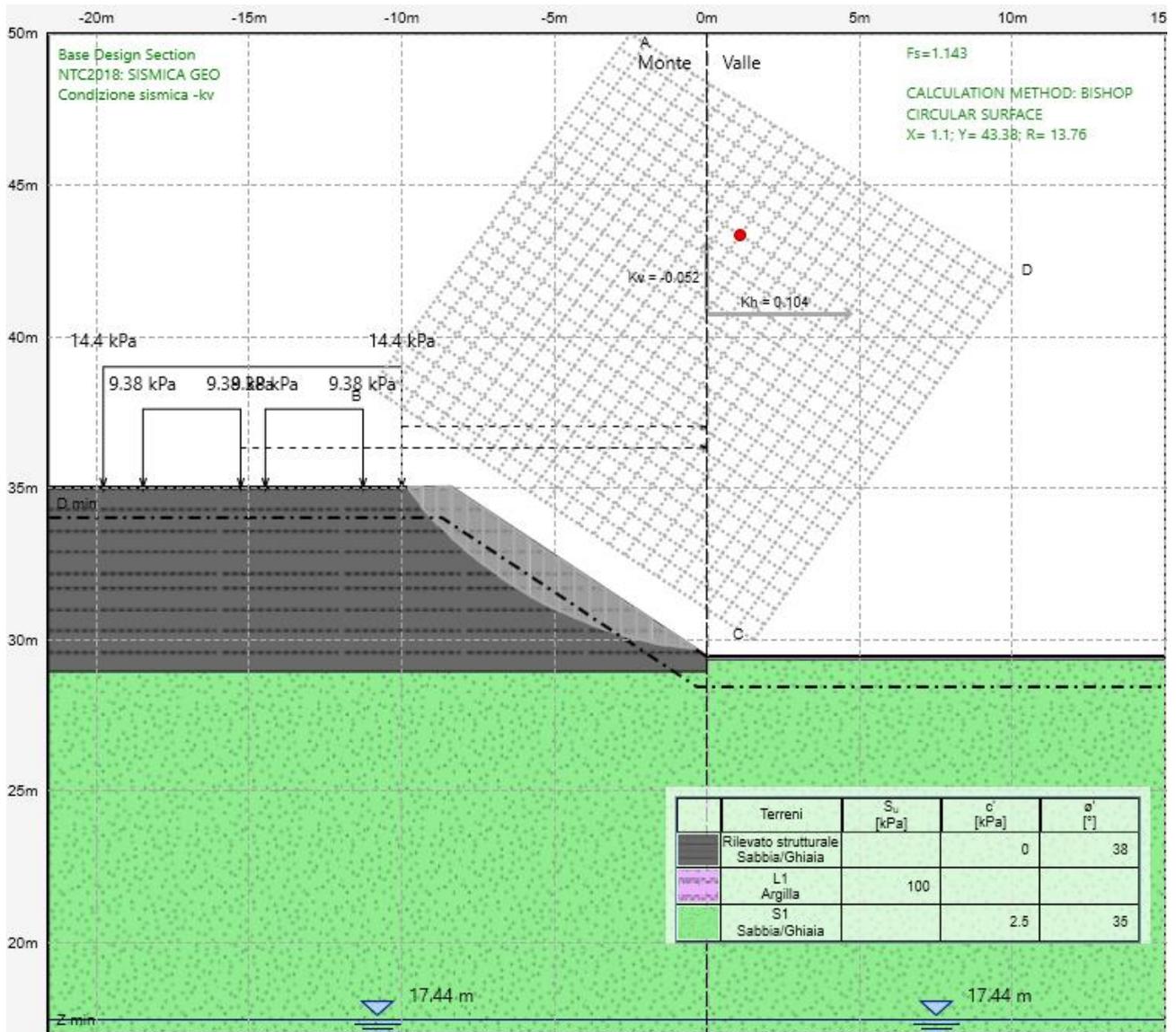


Figura 9.1.1- 1 – Sezione al km 7+100: Analisi sismica SLV (-k_v): FS_{min} = 1.143

9.1.1.1 Soluzione progettuale

Al fine di garantire la stabilità della scarpata è stato necessario modificare le caratteristiche iniziali dell'opera.

In particolare, riducendo la pendenza del rilevato da 3/2 a 3/1.8, e aumentando conseguentemente il suo ingombro di 0.93 m, il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.232 \geq 1.2$$

Pertanto, in tali condizioni, la verifica è soddisfatta.

Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	43

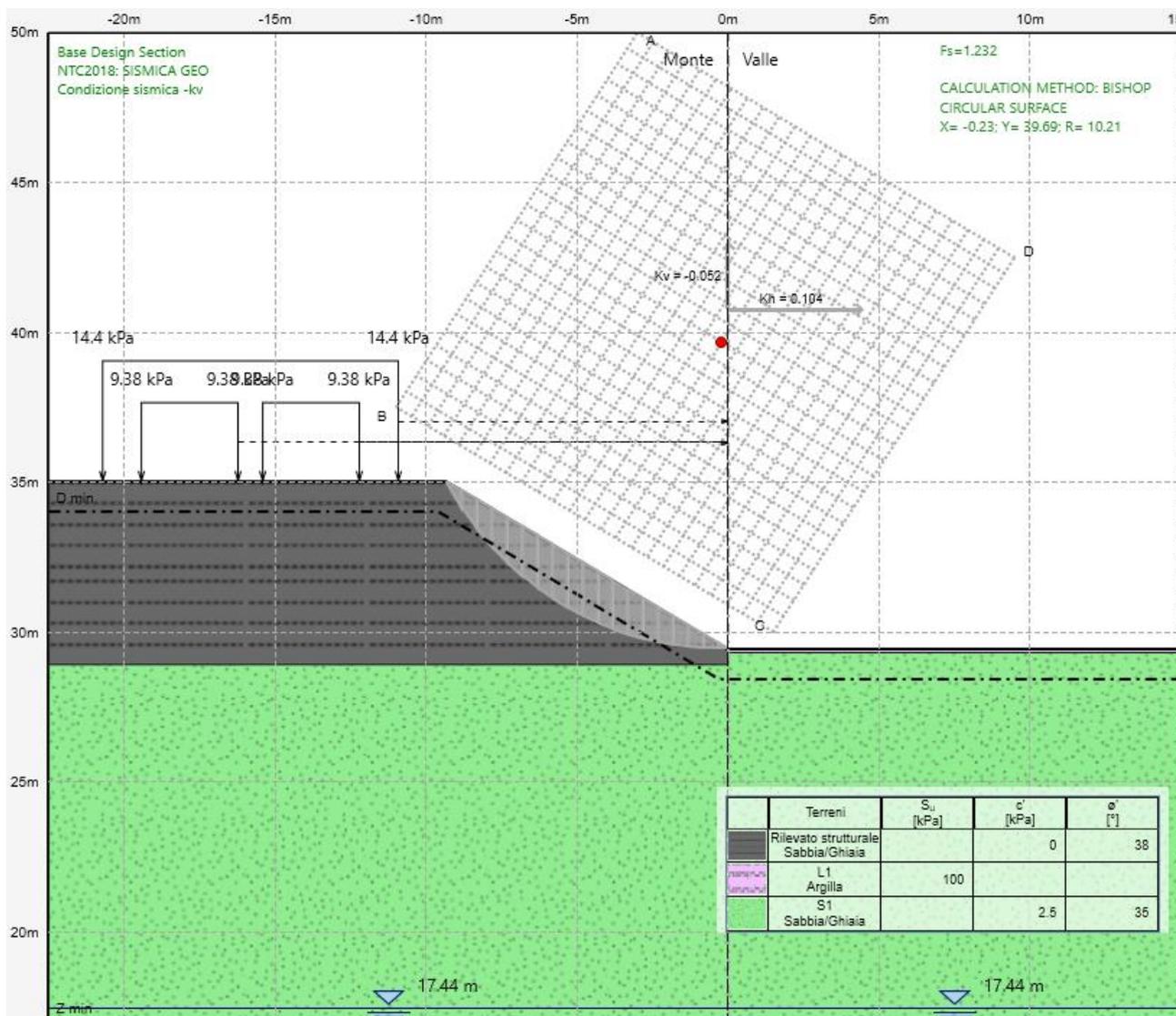


Figura 9.1.1.1- 1 – Sezione al km 7+100: Analisi sismica SLV (-k_v) con pendenza 3/1.8: FS_{min} = 1.232

Considerando quest'ultima configurazione, sono state eseguite anche le altre analisi, che risultano essere soddisfatte.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	44

Nell'analisi in condizioni sismiche, con coefficiente sismico in direzione verticale positivo (+k_v), il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.275 \geq 1.2$$

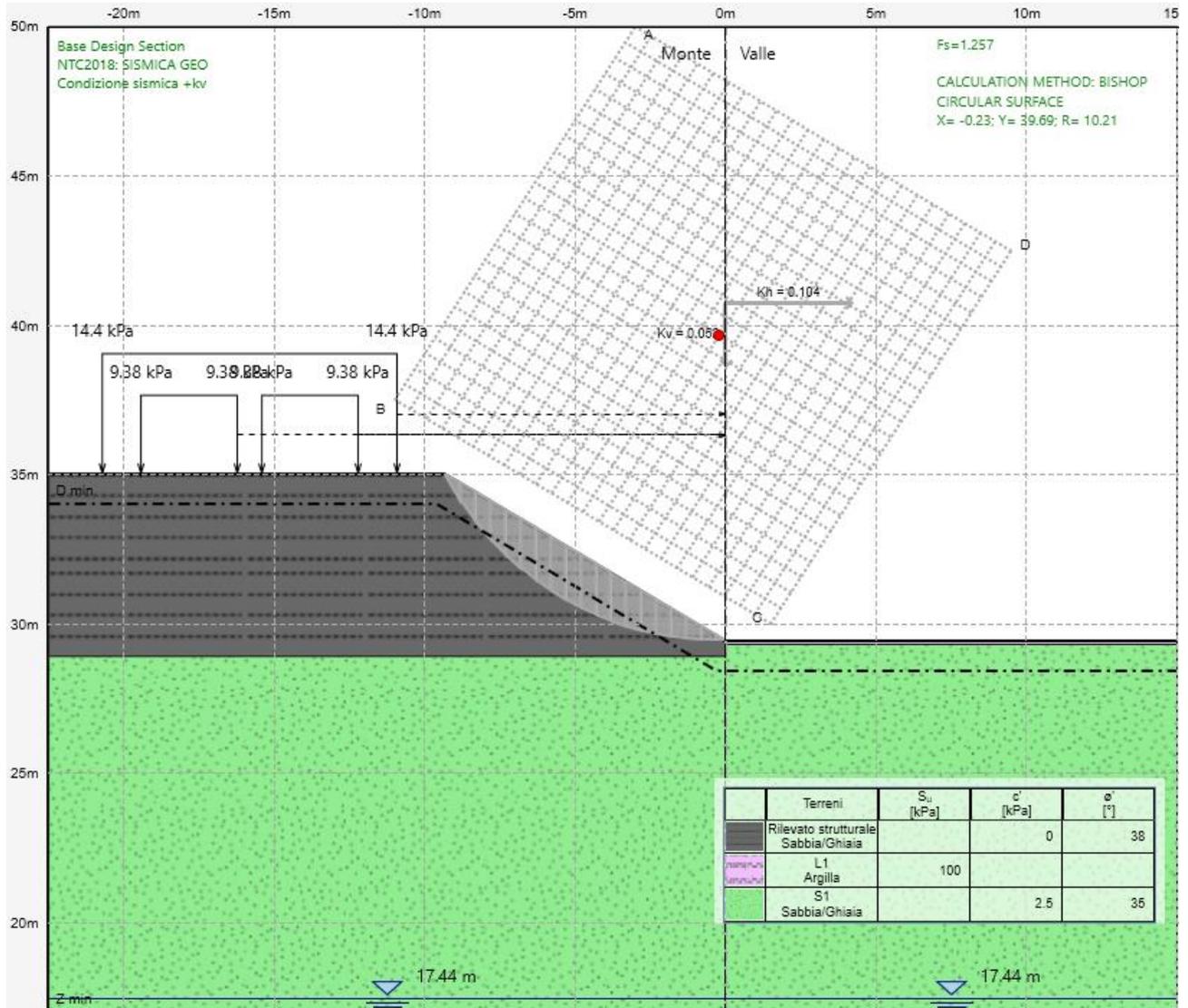


Figura 9.1.1.1- 2 – Sezione al km 7+100: Analisi sismica SLV (+k_v) con pendenza 3/1.8: FS_{min} = 1.257

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	45

Nell'analisi in condizioni statiche il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.229 \geq 1.1$$

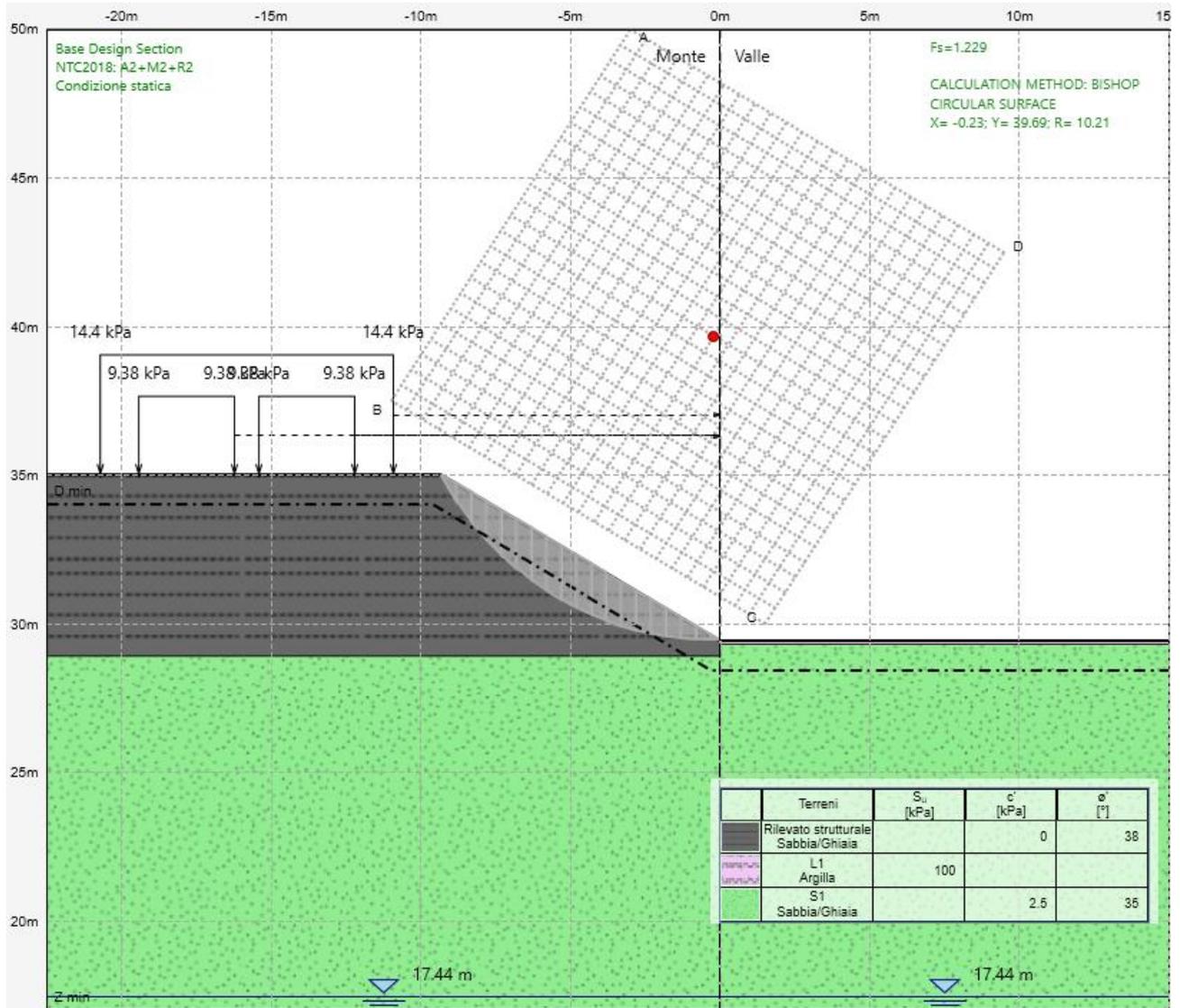


Figura 9.1.1.1- 3 – Sezione al km 7+100: Analisi statica SLU con pendenza 3/1.8: $FS_{min} = 1.229$

MANDATARIA  CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA							
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	46

9.1.2 Analisi dei cedimenti del rilevato della sezione al km 7+100

L'analisi dei cedimenti del rilevato della sezione al km 7+100 è stata eseguita con la configurazione finale definita al paragrafo 9.1.1.1.

Nella caratterizzazione geotecnica dello strato coesivo A1 (documento di riferimento [2]) non sono stati definiti il coefficiente di consolidazione primaria verticale (c_v) e il coefficiente di consolidazione secondaria (c_α). Pertanto, per questa sezione l'analisi dei cedimenti è stata svolta solo in relazione ai cedimenti immediati e ai cedimenti di consolidazione primaria finale.

Sebbene lo strato coesivo A1 si trova a una profondità di circa 44 m da p.c., nell'analisi si è assunto che è soggetto a consolidazione.

La verifica di sicurezza nei riguardi degli SLE risulta essere soddisfatta essendo il cedimento massimo di consolidazione totale pari a:

$$s_{\text{cons}} = 0.0 \text{ cm} < 5.0 \text{ cm}$$

La figura 9.1.2-1 mostra i cedimenti immediati e i cedimenti di consolidazione totale calcolati, mentre la tabella 9.1.2-1 riassume i cedimenti del rilevato.

Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	47

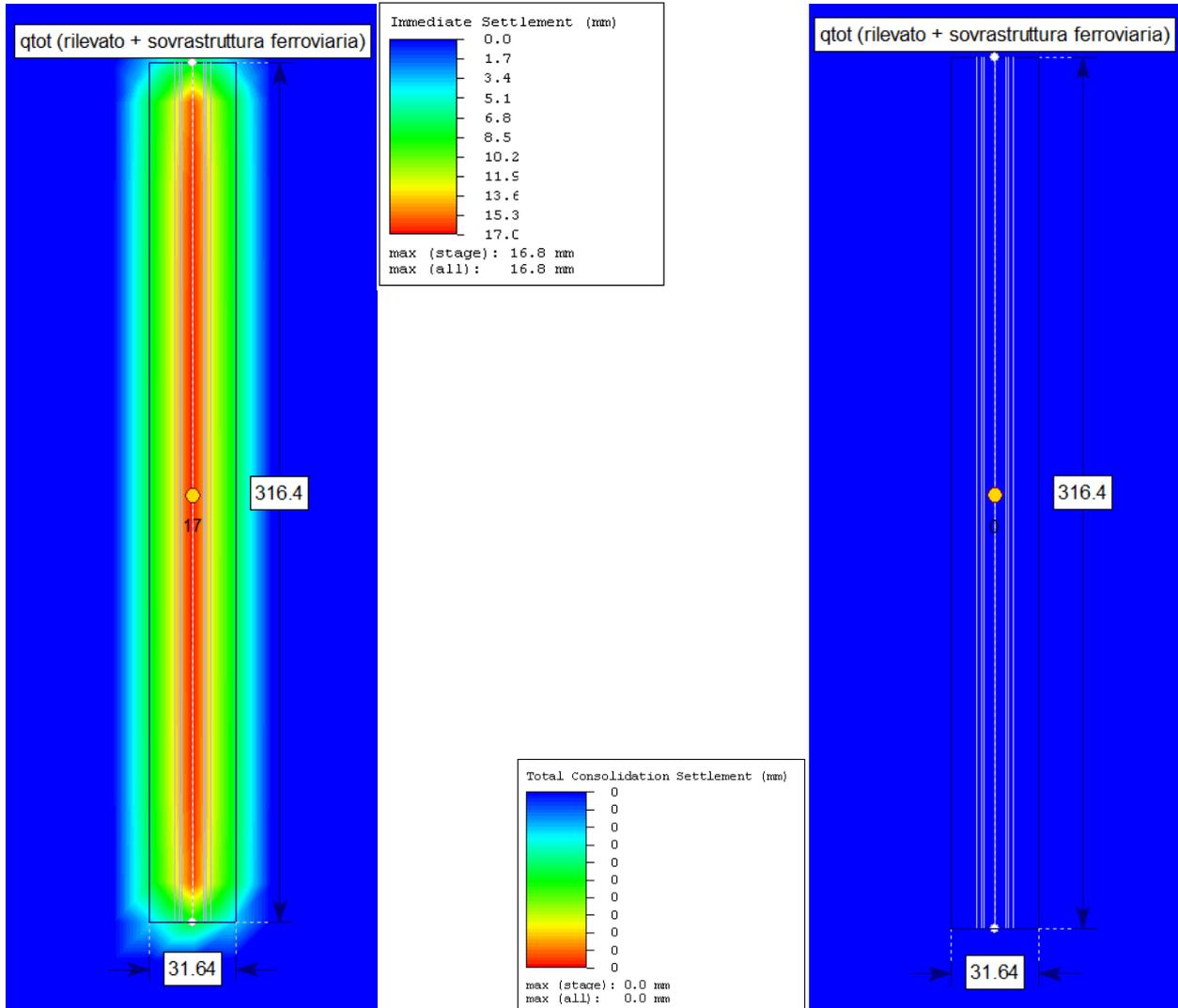


Figura 9.1.2- 1 – Sezione al km 7+100: sinistra: cedimenti immediati (mm), destra: cedimenti di consolidazione totale (mm)

Sezione	B (m)	L (m)	S _{imm} (cm)	S _{cons} (cm)	S _{tot} (cm)
km 7+100	31.64	316.4	1.7	0.0	1.7

Tabella 9.1.2- 1 – Sezione al km 7+100: cedimenti del rilevato

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA							
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	48

10. LOTTO 5 – DAL KM 8+380 AL KM 10+250

Nel presente lotto i rilevati ferroviari sono presenti nelle sezioni dal km 8+400 al km 8+475, dal km 8+925 al km 9+650 e dal km 9+975 al km 10+250.

È stata scelta come sezione più significativa:

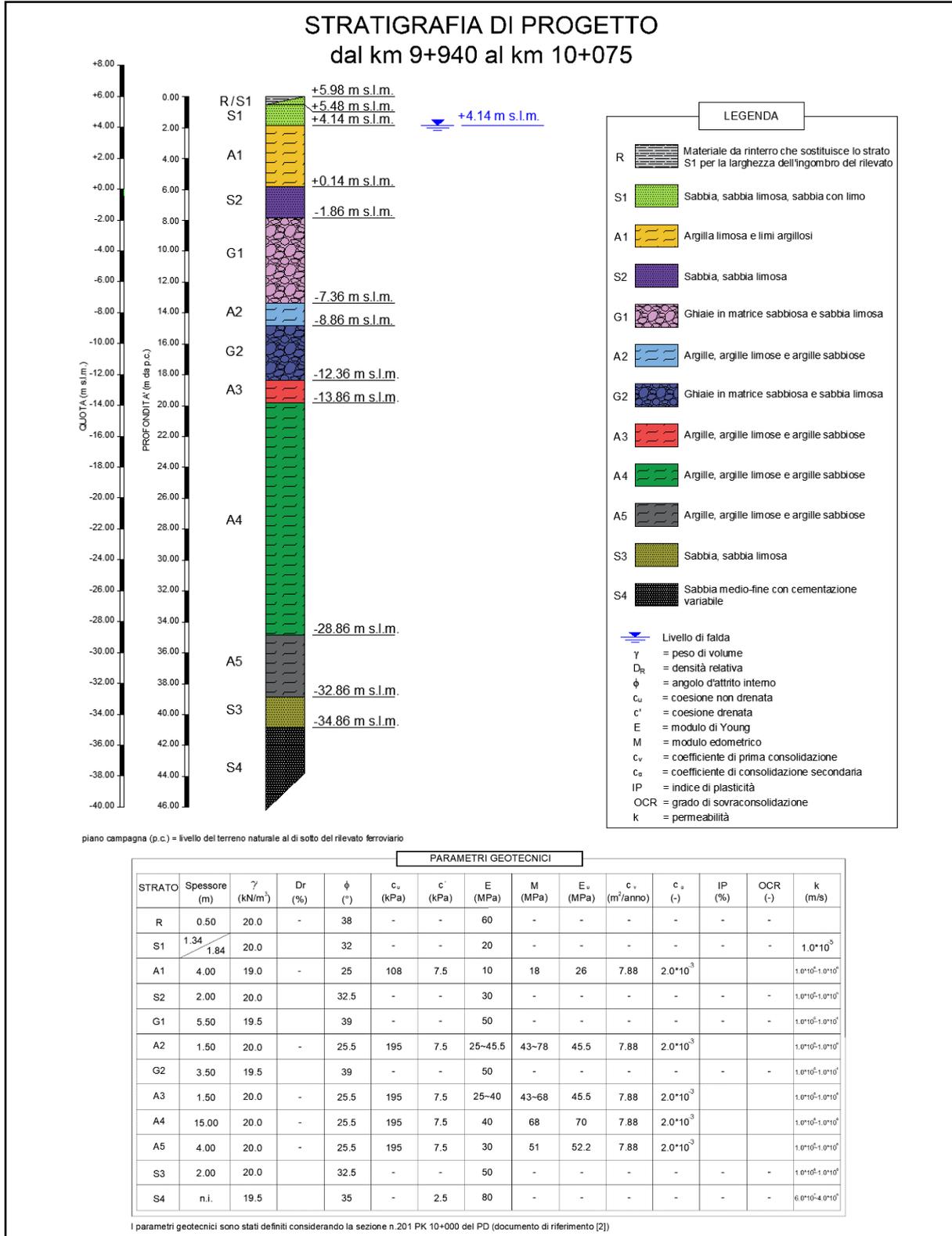
- Sezione al km 10+000: rilevato a scarpata unica e massima altezza.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	49

10.1 SEZIONE AL KM 10+000

La figura 10.1-1 mostra la stratigrafia di progetto e i parametri assunti nei calcoli della sezione al km 10+000.



10.1- 1 – Stratigrafia di progetto dal km 9+940 al km 10+075

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	50

10.1.1 Verifica di stabilità della scarpata del rilevato della sezione al km 10+000

La verifica di stabilità della scarpata del rilevato della sezione al km al 10+000 è stata eseguita con le seguenti caratteristiche:

Sezione	Quota terreno (m s.l.m.)	Quota rilevato (m s.l.m.)	Altezza rilevato (m)	Ingombro rilevato (m)	Pendenza (-)	Spessore scavo scotico (cm)
km 10+000	5.98	11.94	5.96	8.94	3/2	0.50

Tabella 10.1.1- 1 – Caratteristiche della sezione al km 10+000

La condizione dimensionante per tale sezione è risultata essere la condizione sismica con i seguenti coefficienti:

$$k_h = 0.104;$$

$$k_v = -0.052,$$

essendo $a_{max} = 0.274g$ (documento di riferimento [1]).

Il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.119 < 1.2$$

Pertanto, in tali condizioni, la verifica non è soddisfatta.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	51

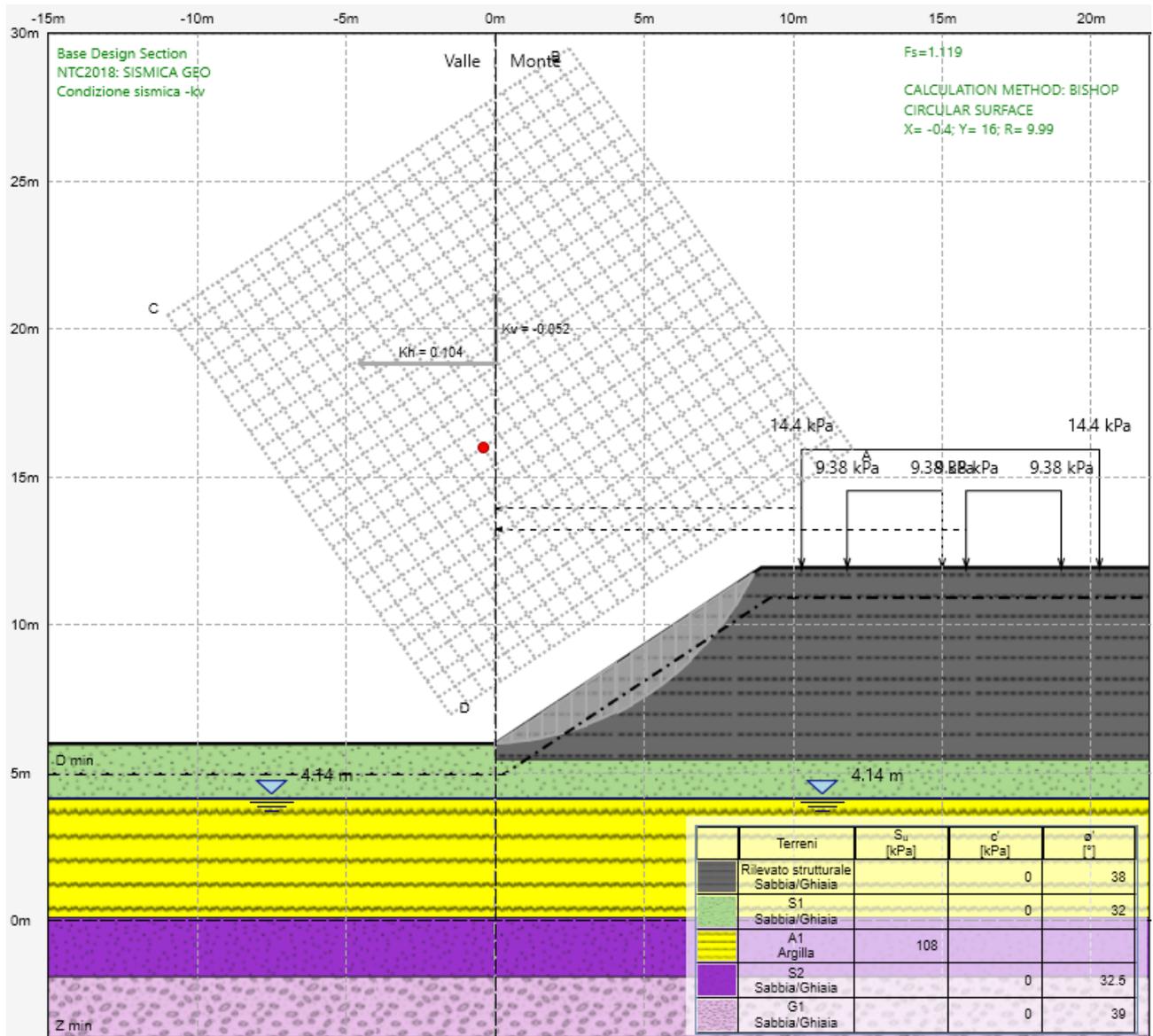


Figura 10.1.1- 1 – Sezione al km 10+000: Analisi sismica SLV (-k_v): $FS_{min} = 1.119$

10.1.1.1 Soluzione progettuale

Al fine di garantire la stabilità della scarpata è stato necessario modificare le caratteristiche iniziali dell'opera.

In particolare, riducendo la pendenza del rilevato da 3/2 a 3/1.7, e aumentando conseguentemente il suo ingombro di 1.58 m, il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.234 \geq 1.2$$

Pertanto, in tali condizioni, la verifica è soddisfatta.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	52

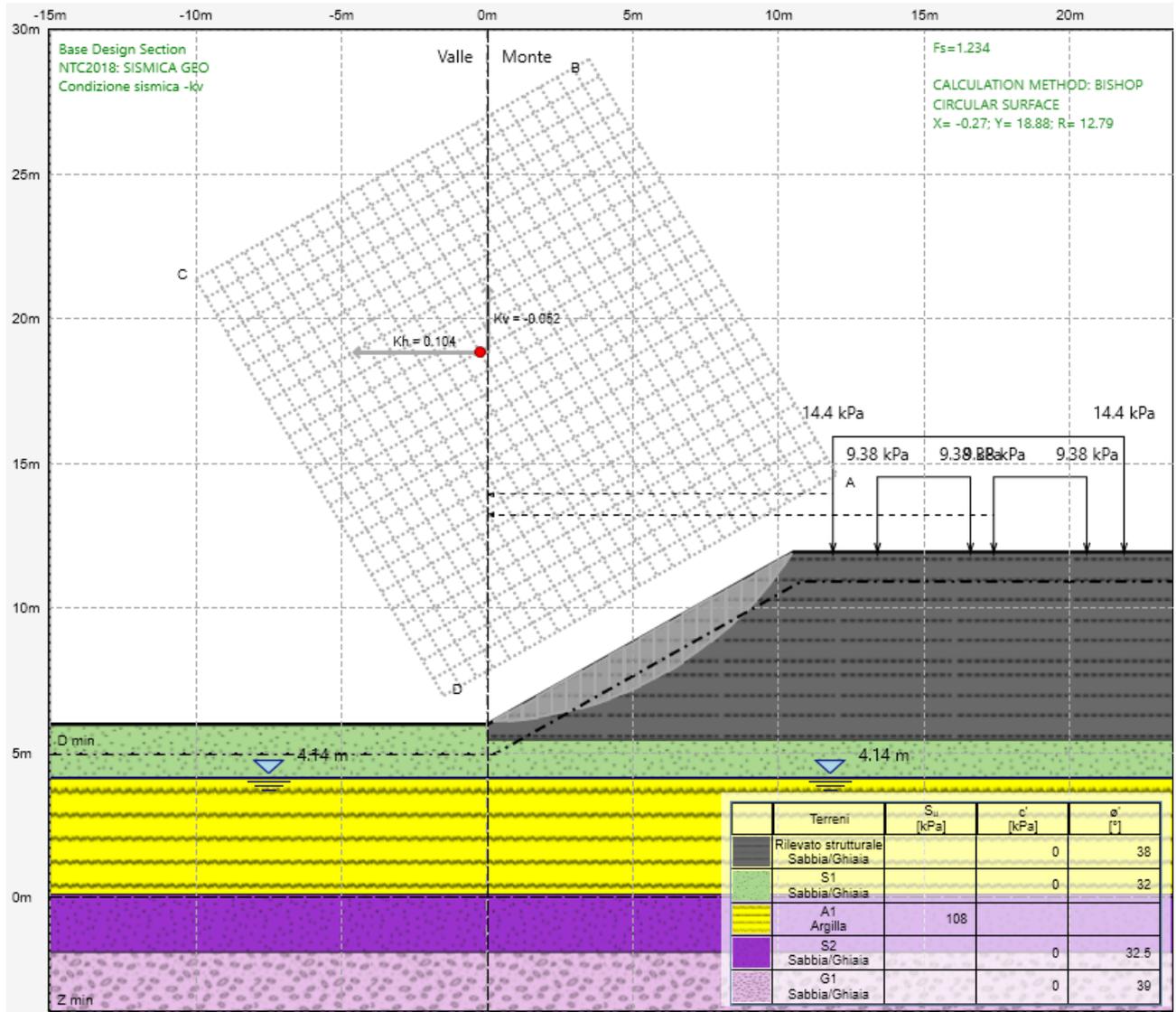


Figura 10.1.1.1- 1 – Sezione al km 10+000: Analisi sismica SLV (-kv) con pendenza 3/1.7: $F_{Smin} = 1.234$

Considerando quest'ultima configurazione, sono state eseguite anche le altre analisi, che risultano essere soddisfatte.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	53

Nell'analisi in condizioni sismiche, con coefficiente sismico in direzione verticale positivo (+k_v), il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.261 \geq 1.2$$

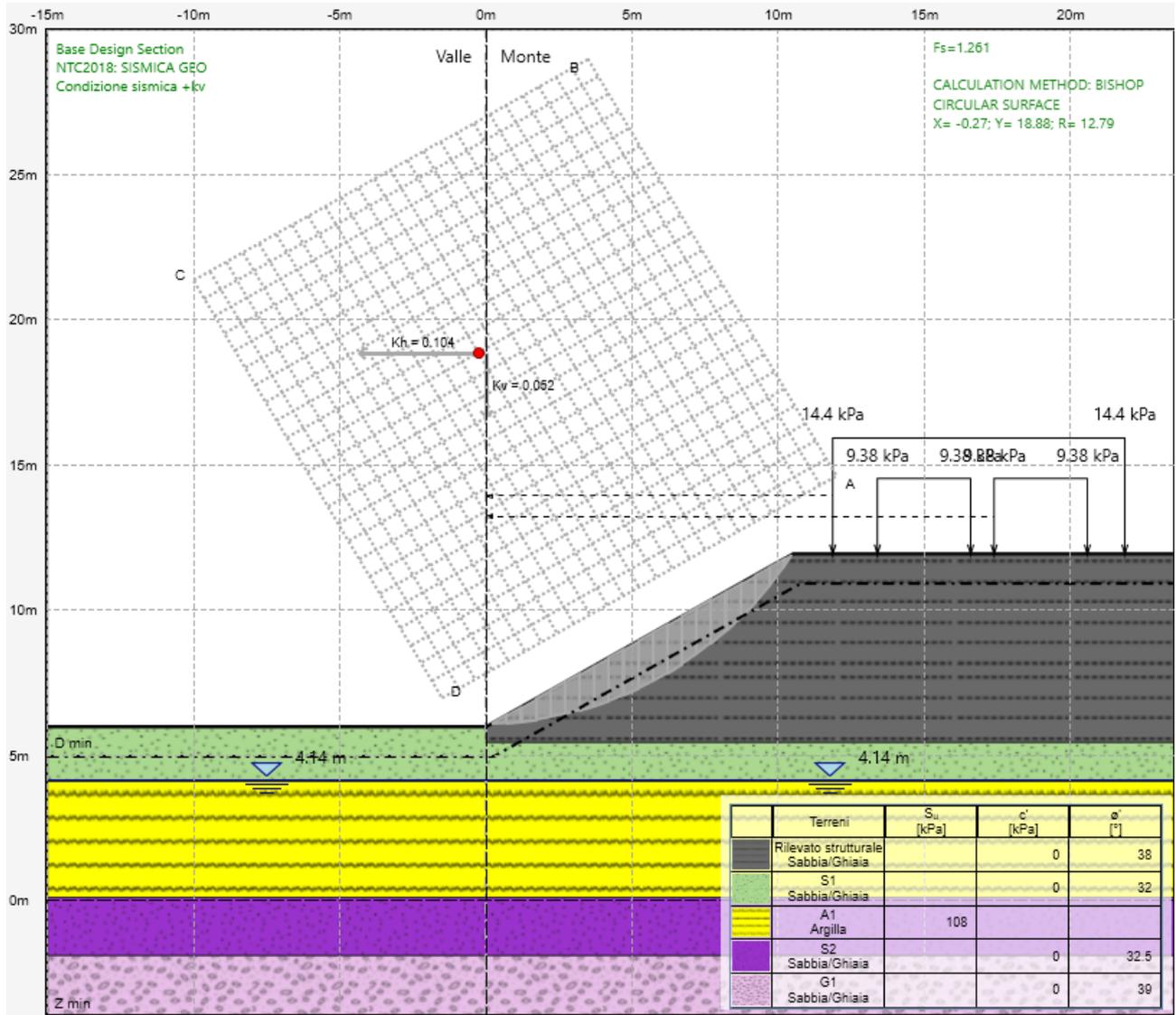


Figura 10.1.1.1- 2 – Sezione al km 10+000: Analisi sismica SLV (+k_v) con pendenza 3/1.7: FS_{min} = 1.261

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	54

Nell'analisi in condizioni statiche il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.243 \geq 1.1$$

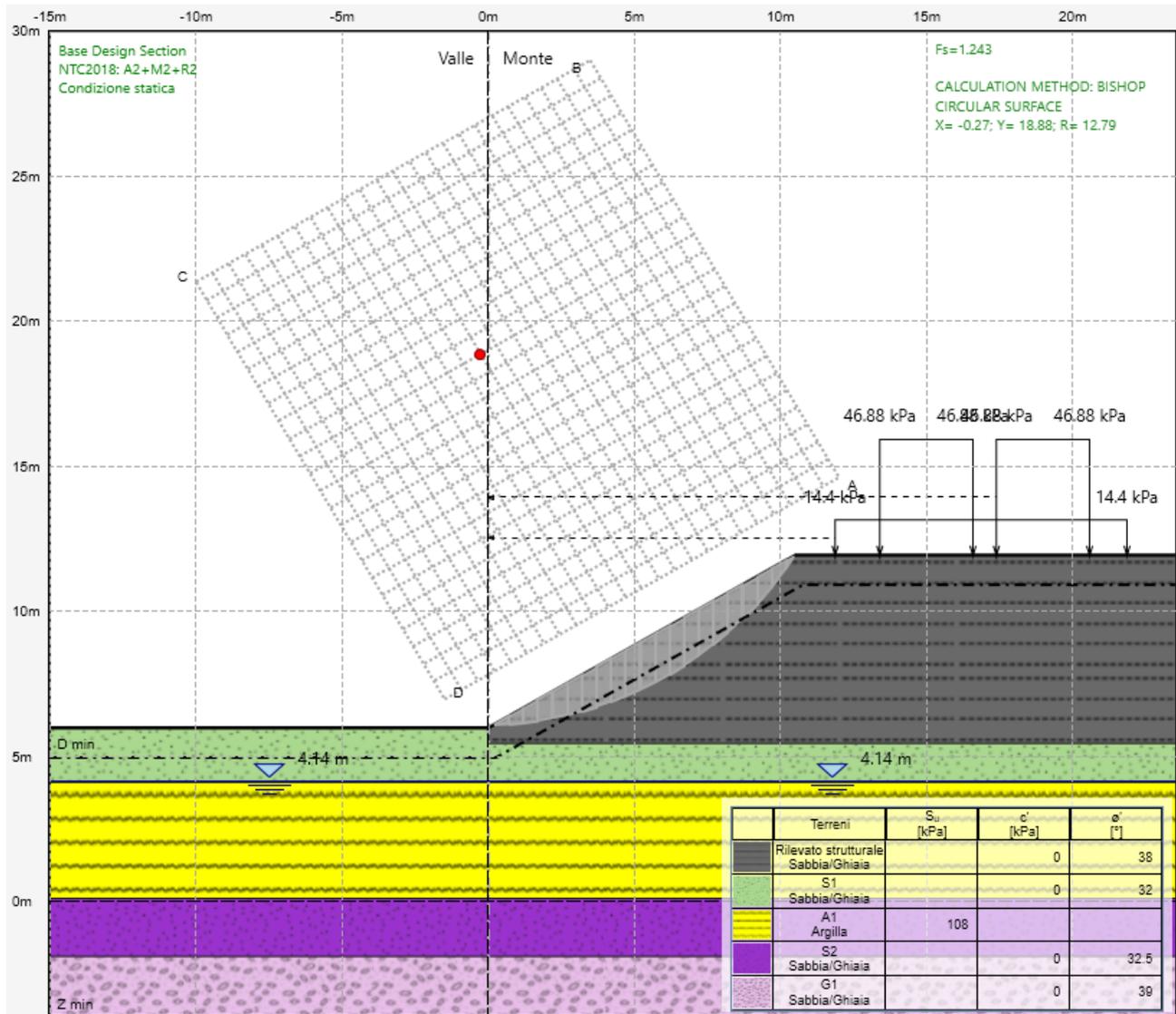


Figura 10.1.1.1- 3 – Sezione al km 10+000: Analisi statica SLU con pendenza 3/1.7: $FS_{min} = 1.243$

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA							
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	55

10.1.2 Analisi dei cedimenti del rilevato della sezione al km 10+000

L'analisi dei cedimenti del rilevato della sezione al km 10+000 è stata eseguita con la configurazione finale definita al paragrafo 10.1.1.1.

Nella caratterizzazione geotecnica degli strati coesivi presenti (documento di riferimento [2]) sono stati definiti il coefficiente di consolidazione primaria verticale (c_v) e il coefficiente di consolidazione secondaria (c_α). Pertanto, per questa sezione l'analisi dei cedimenti è stata svolta in relazione al decorso del cedimento totale nel tempo.

Nell'analisi si è assunto che tutti gli strati coesivi presenti sono soggetti a consolidazione.

La valutazione del decorso del cedimento nel tempo è stata eseguita considerando il periodo compreso tra la fine della realizzazione del rilevato, considerato pari a 2 anni, e la vita nominale dell'opera ($V_N = 75$ anni). Il cedimento residuo (consolidazione primaria + consolidazione secondaria) calcolato in tale range temporale deve essere inferiore a 5 cm.

La verifica di sicurezza nei riguardi degli SLE risulta essere soddisfatta essendo il cedimento residuo calcolato in tale range temporale sempre inferiore a 5 cm.

La figura 10.1.2-1 mostra l'andamento del cedimento totale nel tempo, mentre la tabella 10.1.2-1 riassume i cedimenti del rilevato.

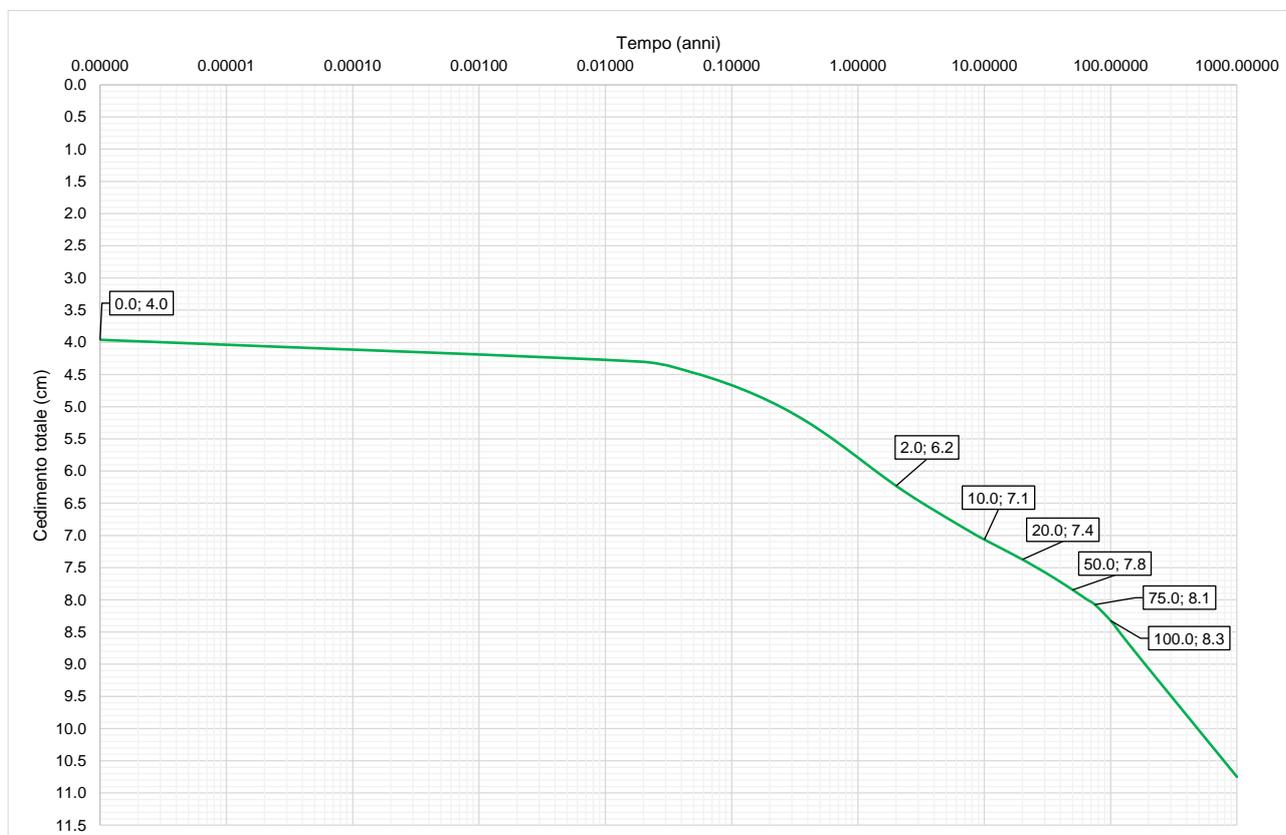


Figura 10.1.2- 1 – Sezione al km 10+000: andamento del cedimento totale (cm) nel tempo

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	56

Sezione	B (m)	L (m)	S _{imm} (cm)	S _{cons} + S _{sec} t = 2 anni (cm)	S _{cons} + S _{sec} t = 75 anni (cm)	Δ (S _{cons} + S _{sec}) t = 2÷75 anni (cm)
km 10+000	34.04	340.4	4.0	2.2	4.1	1.9

Tabella 10.1.2- 1 – Sezione al km 10+000: cedimenti del rilevato

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA								
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti		COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
		LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	57

11. LOTTO 6 – DAL KM 10+250 AL KM 15+050

Nel presente lotto i rilevati ferroviari sono presenti in tutto il tratto.

Sono state scelte come sezioni più significative:

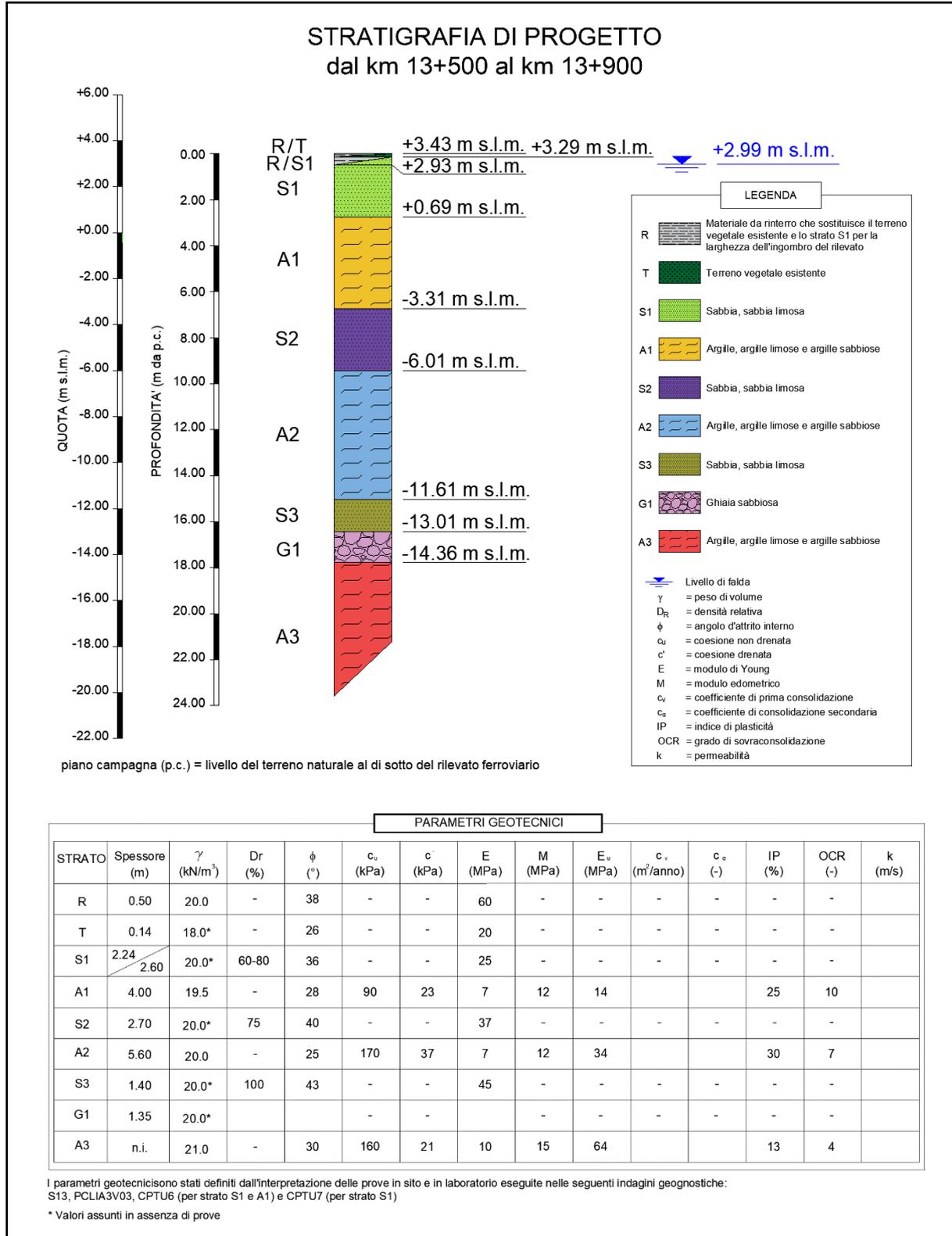
- Sezione al km 13+700: rilevato con berma e massima altezza;
- Sezione al km 14+900: rilevato a scarpata unica e massima altezza.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	58

11.1 SEZIONE AL KM 13+700

La figura 11.1-1 mostra la stratigrafia di progetto e i parametri assunti nei calcoli della sezione al km 13+700.



11.1- 1 – Stratigrafia di progetto dal km 13+500 al km 13+900

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	59

11.1.1 Verifica di stabilità della scarpata del rilevato della sezione al km 13+700

La verifica di stabilità della scarpata del rilevato della sezione al km 13+700 è stata eseguita con le seguenti caratteristiche:

Sezione	Quota terreno (m s.l.m.)	Quota rilevato (m s.l.m.)	Altezza rilevato (m)	Ingombro rilevato (m)	Pendenza (-)	Spessore scavo scotico (cm)
km 13+700	3.43	11.36	7.93	13.96	3/2	0.50

Tabella 11.1.1- 1 – Caratteristiche della sezione al km 13+700

Essendo l'altezza del rilevato maggiore di 6.0 m, questa sezione è caratterizzata dalla presenza di una berma di larghezza di 2.0 m alla quota di 7.83 m s.l.m..

La condizione dimensionante per tale sezione è risultata essere la condizione sismica con i seguenti coefficienti:

$$k_h = 0.116;$$

$$k_v = -0.0581,$$

essendo $a_{max} = 0.306g$ (documento di riferimento [1]).

Il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.164 < 1.2$$

Pertanto, in tali condizioni, la verifica non è soddisfatta.

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>	MANDANTI HYpro	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC RH	OPERA 7 DISCIPLINA GE 00 05			PROGR 001

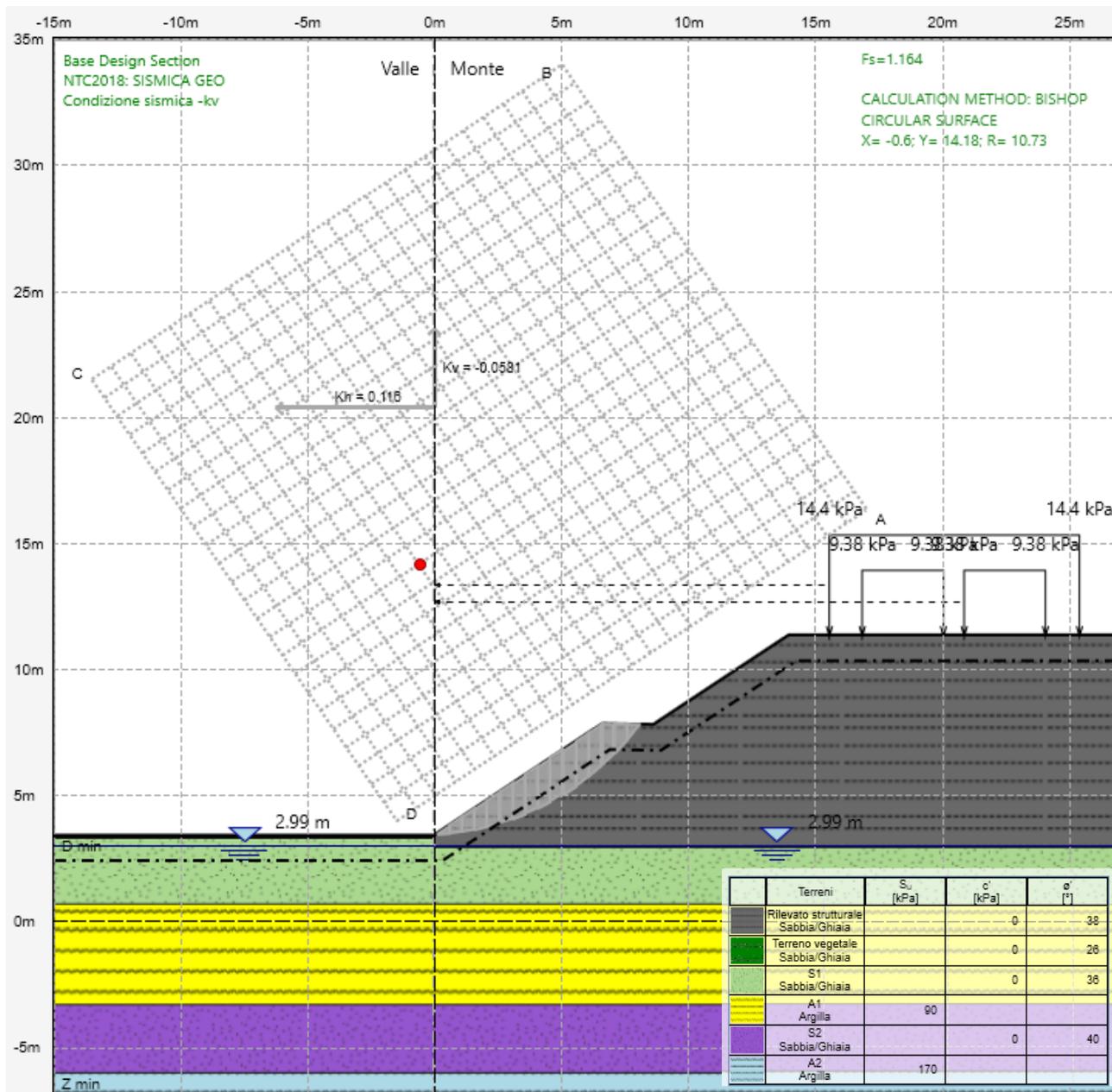


Figura 11.1.1- 1 – Sezione al km 13+700: Analisi sismica SLV (-k_v): $FS_{min} = 1.164$

11.1.1.1 Soluzione progettuale

Al fine di garantire la stabilità della scarpata è stato necessario modificare le caratteristiche iniziali dell'opera.

In particolare, riducendo la pendenza del rilevato da 3/2 a 3/1.8, e aumentando conseguentemente il suo ingombro di 1.33 m, il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.248 \geq 1.2$$

Pertanto, in tali condizioni, la verifica è soddisfatta.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	61

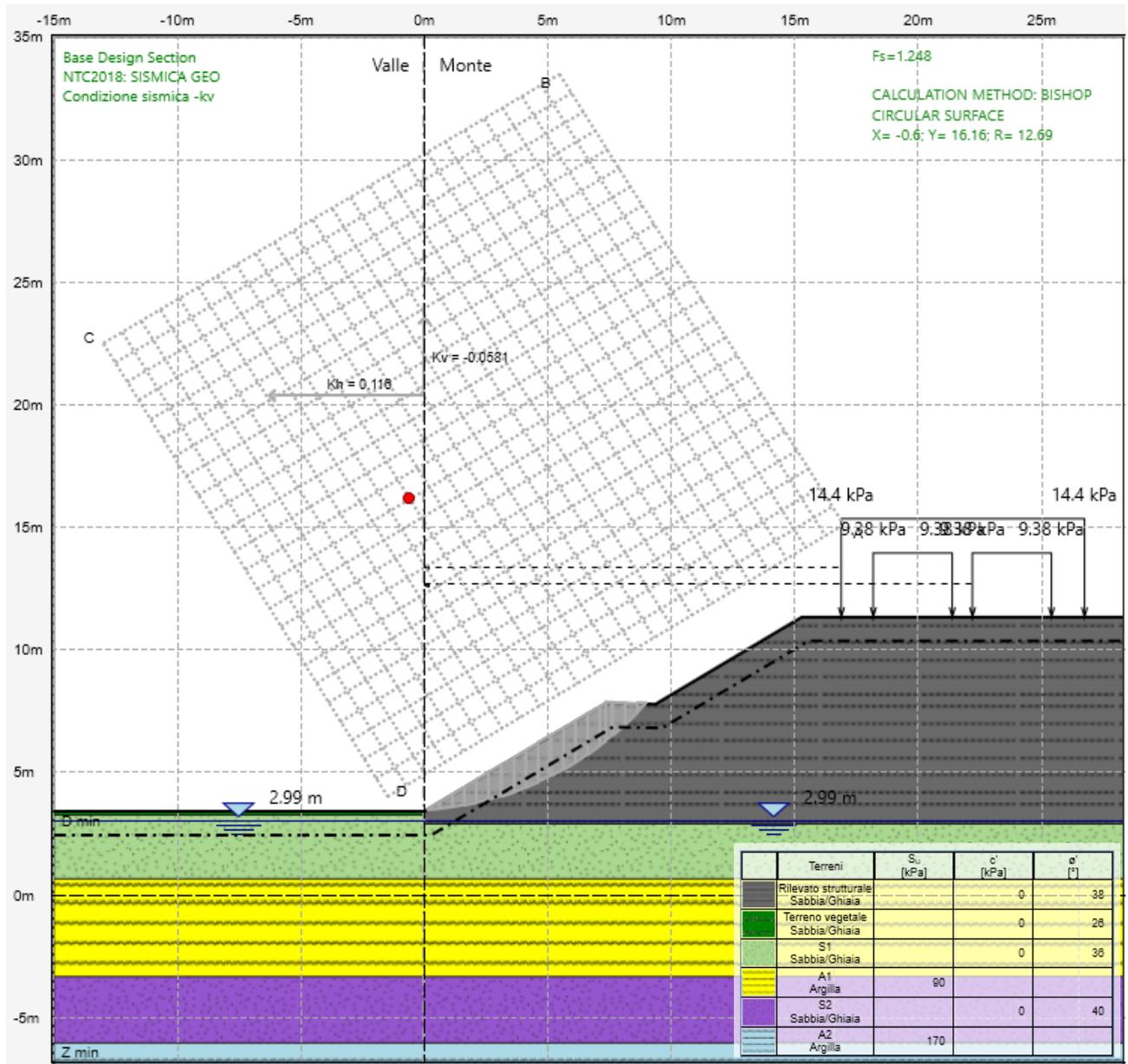


Figura 11.1.1.1- 1 – Sezione al km 13+700: Analisi sismica SLV (-kv) con pendenza 3/1,8: $FS_{min} = 1.248$

Considerando quest'ultima configurazione, sono state eseguite anche le altre analisi, che risultano essere soddisfatte.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	62

Nell'analisi in condizioni sismiche, con coefficiente sismico in direzione verticale positivo (+k_v), il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.282 \geq 1.2$$

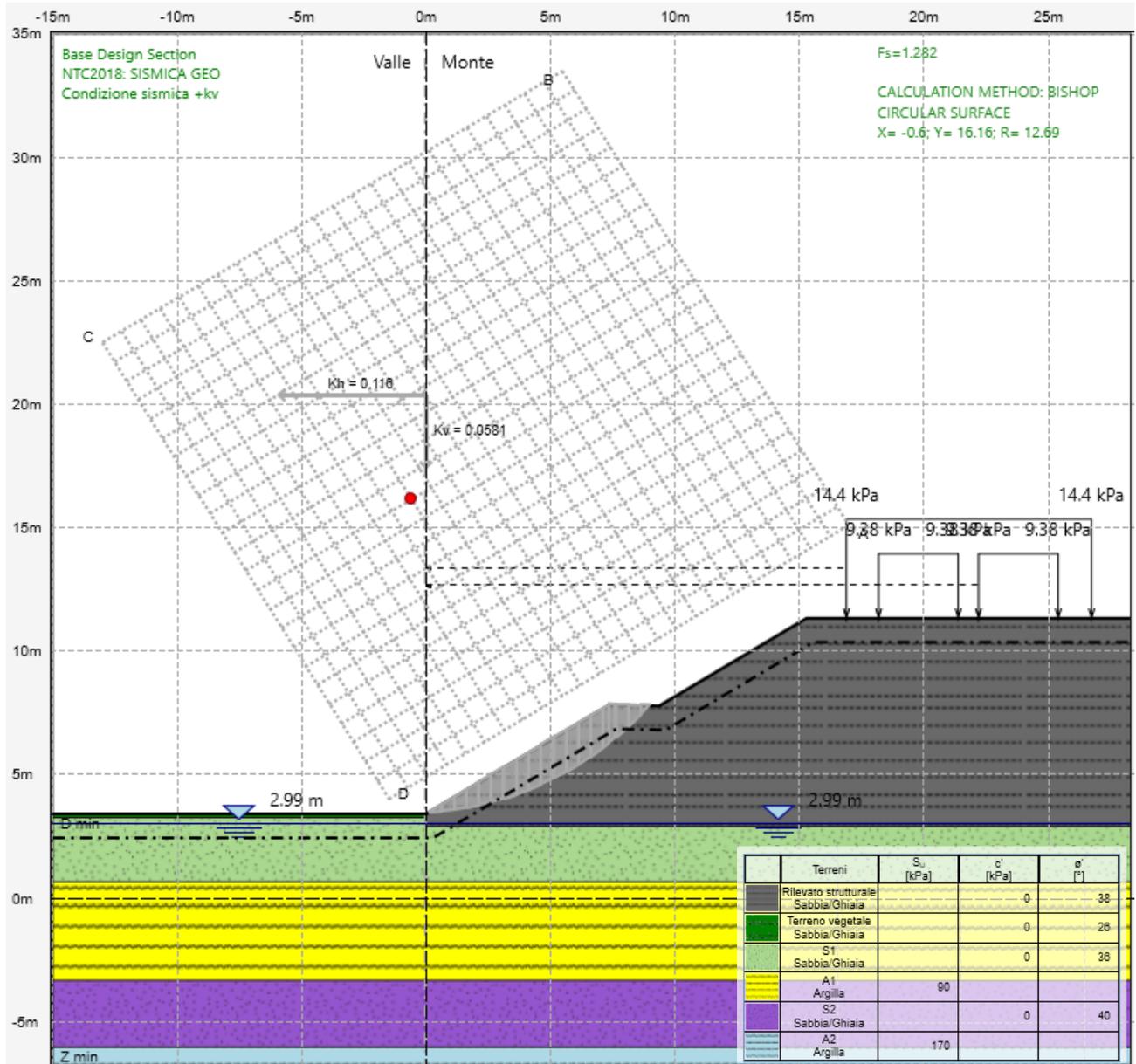


Figura 11.1.1- 2 – Sezione al km 13+700: Analisi sismica SLV (+k_v) con pendenza 3/1.8: FS_{min} = 1.282

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	63

Nell'analisi in condizioni statiche il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{\min} = 1.301 \geq 1.1$$

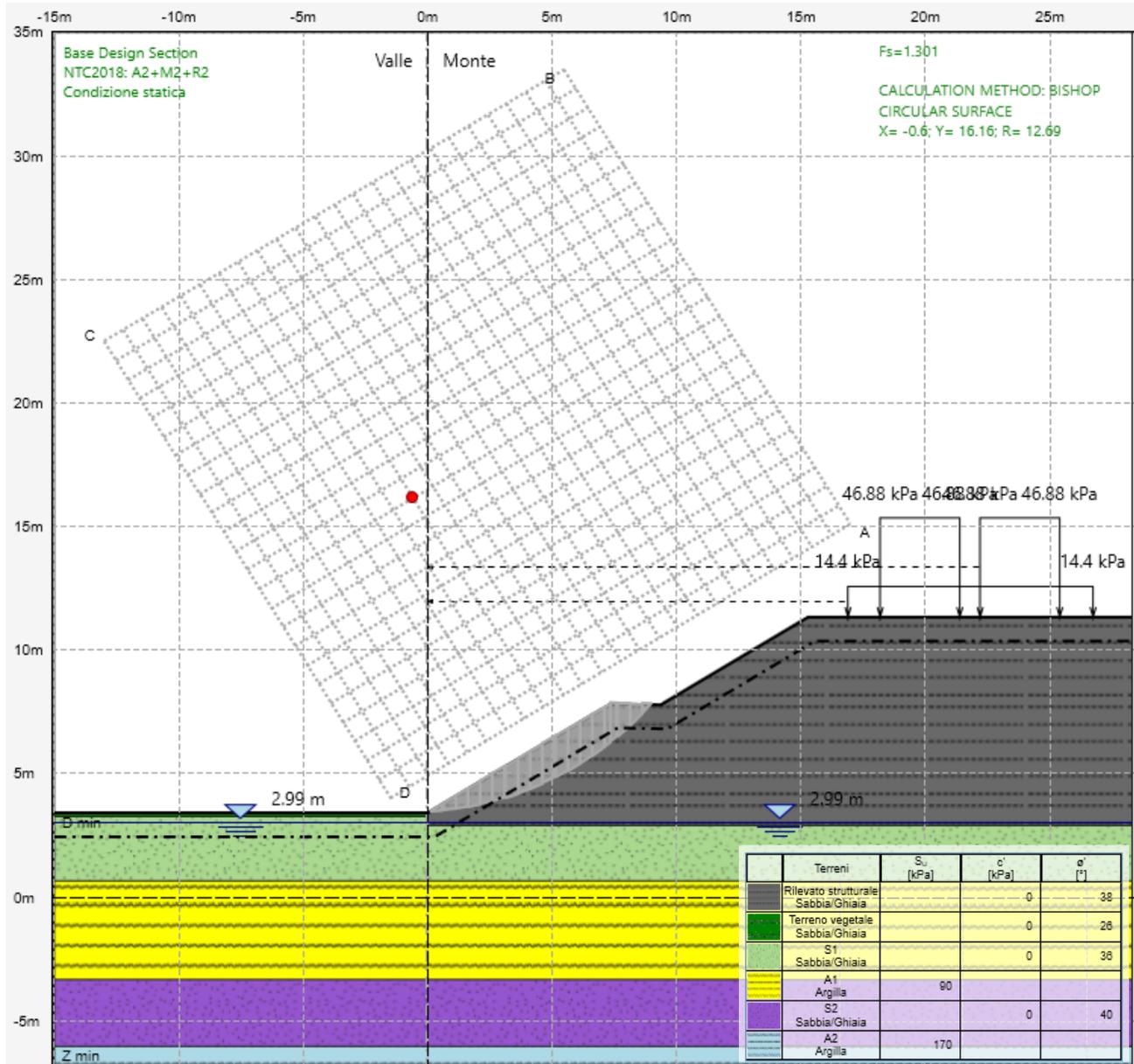


Figura 11.1.1.1- 3 – Sezione al km 13+700: Analisi statica SLU con pendenza 3/1.8: $FS_{\min} = 1.301$

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA							
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	64

11.1.2 Analisi dei cedimenti del rilevato della sezione al km 13+700

L'analisi dei cedimenti del rilevato della sezione al km 13+700 è stata eseguita con la configurazione finale definita al paragrafo 11.1.1.1.

A causa della scarsità dei dati derivanti dall'interpretazione delle indagini presenti nel tratto dal km 13+500 al km 13+900, non è stato possibile definire il coefficiente di consolidazione primaria verticale (c_v) e il coefficiente di consolidazione secondaria (c_a). Pertanto, per questa sezione l'analisi dei cedimenti è stata svolta solo in relazione ai cedimenti immediati e ai cedimenti di consolidazione primaria finale.

Nell'analisi si è assunto che solo lo strato coesivo A1 è soggetto a consolidazione.

La verifica di sicurezza nei riguardi degli SLE risulta essere soddisfatta essendo il cedimento massimo di consolidazione totale pari a:

$$s_{cons} = 3.9 \text{ cm} < 5.0 \text{ cm}$$

La figura 11.1.2-1 mostra i cedimenti immediati e i cedimenti di consolidazione totale calcolati, mentre la tabella 11.1.2-1 riassume i cedimenti del rilevato.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	65

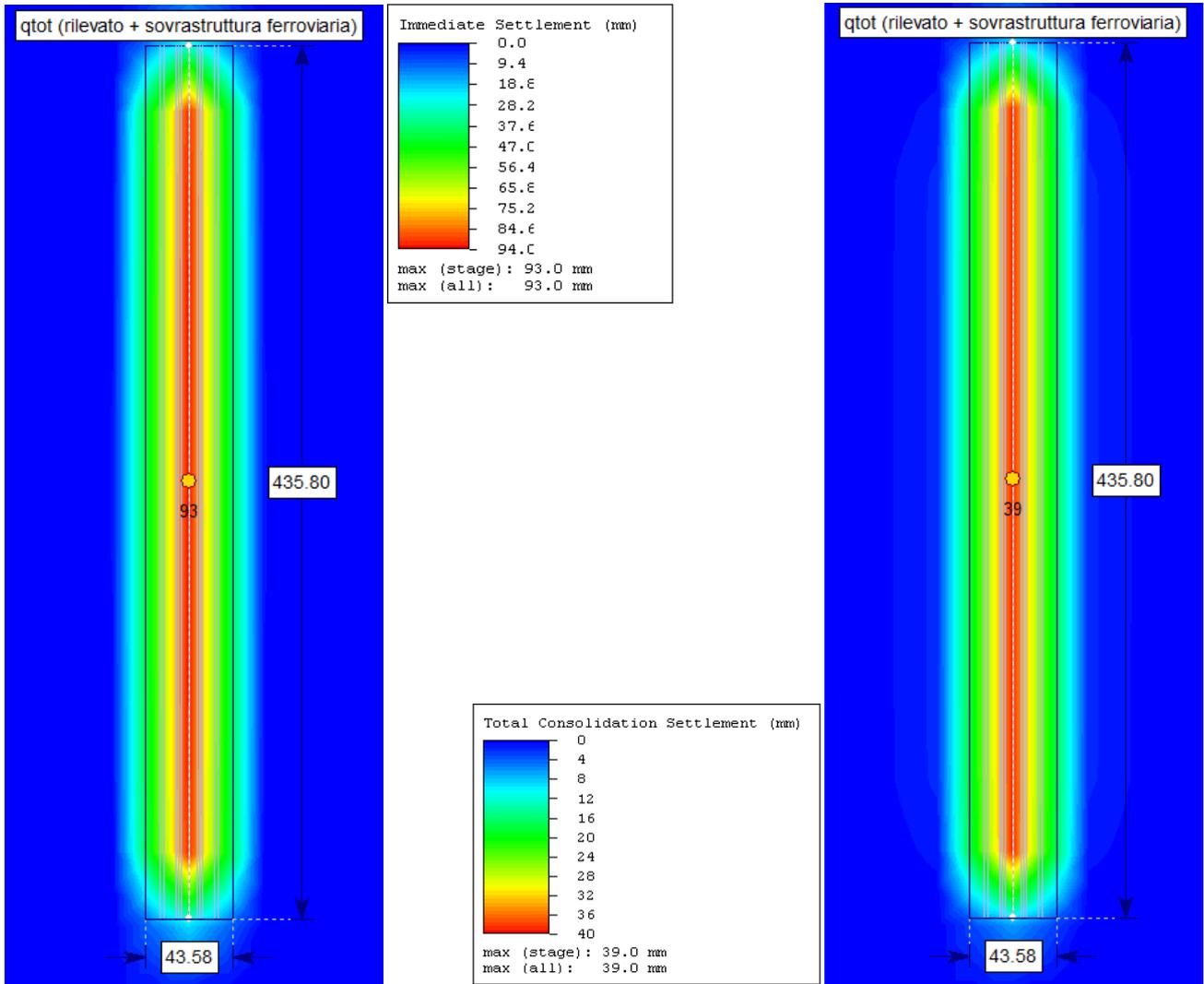


Figura 11.1.2- 1 – Sezione al km 13+700: sinistra: cedimenti immediati (mm), destra: cedimenti di consolidazione totale (mm)

Sezione	B (m)	L (m)	S _{imm} (cm)	S _{cons} (cm)	S _{tot} (cm)
km 13+700	43.58	435.8	9.3	3.9	13.2

Tabella 11.1.2- 1 – Sezione al km 13+700: cedimenti del rilevato

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	67

11.2.1 Verifica di stabilità della scarpata del rilevato della sezione al km 14+900

La verifica di stabilità della scarpata del rilevato della sezione al km 14+900 è stata eseguita con le seguenti caratteristiche:

Sezione	Quota terreno (m s.l.m.)	Quota rilevato (m s.l.m.)	Altezza rilevato (m)	Ingombro rilevato (m)	Pendenza (-)	Spessore scavo scotico (cm)
km 14+900	2.72	8.58	5.86	8.79	3/2	0.50

Tabella 11.2.1- 1 – Caratteristiche della sezione al km 14+900

La condizione dimensionante per tale sezione è risultata essere la condizione sismica con i seguenti coefficienti:

$$k_h = 0.116;$$

$$k_v = -0.0581,$$

essendo $a_{max} = 0.306g$ (documento di riferimento [1]).

Il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.097 < 1.2$$

Pertanto, in tali condizioni, la verifica non è soddisfatta.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	68

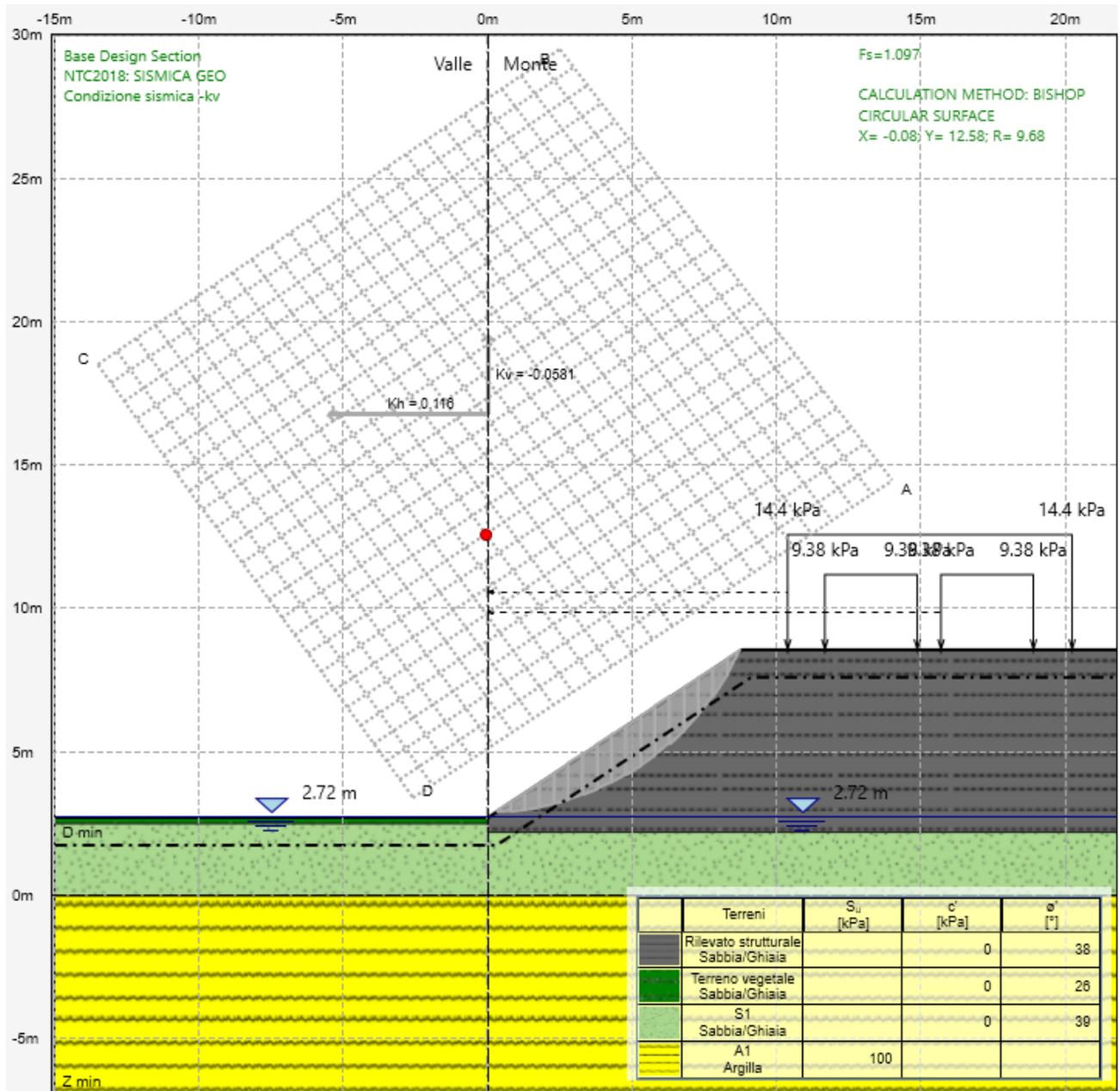


Figura 11.2.1- 1 – Sezione al km 14+900: Analisi sismica SLV (-k_v): FS_{min} = 1.097

11.2.1.1 Soluzione progettuale

Al fine di garantire la stabilità della scarpata è stato necessario modificare le caratteristiche iniziali dell'opera.

In particolare, riducendo la pendenza del rilevato da 3/2 a 3/1.7, e aumentando conseguentemente il suo ingombro di 1.55 m, il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.209 \geq 1.2$$

Pertanto, in tali condizioni, la verifica è soddisfatta.

Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	69

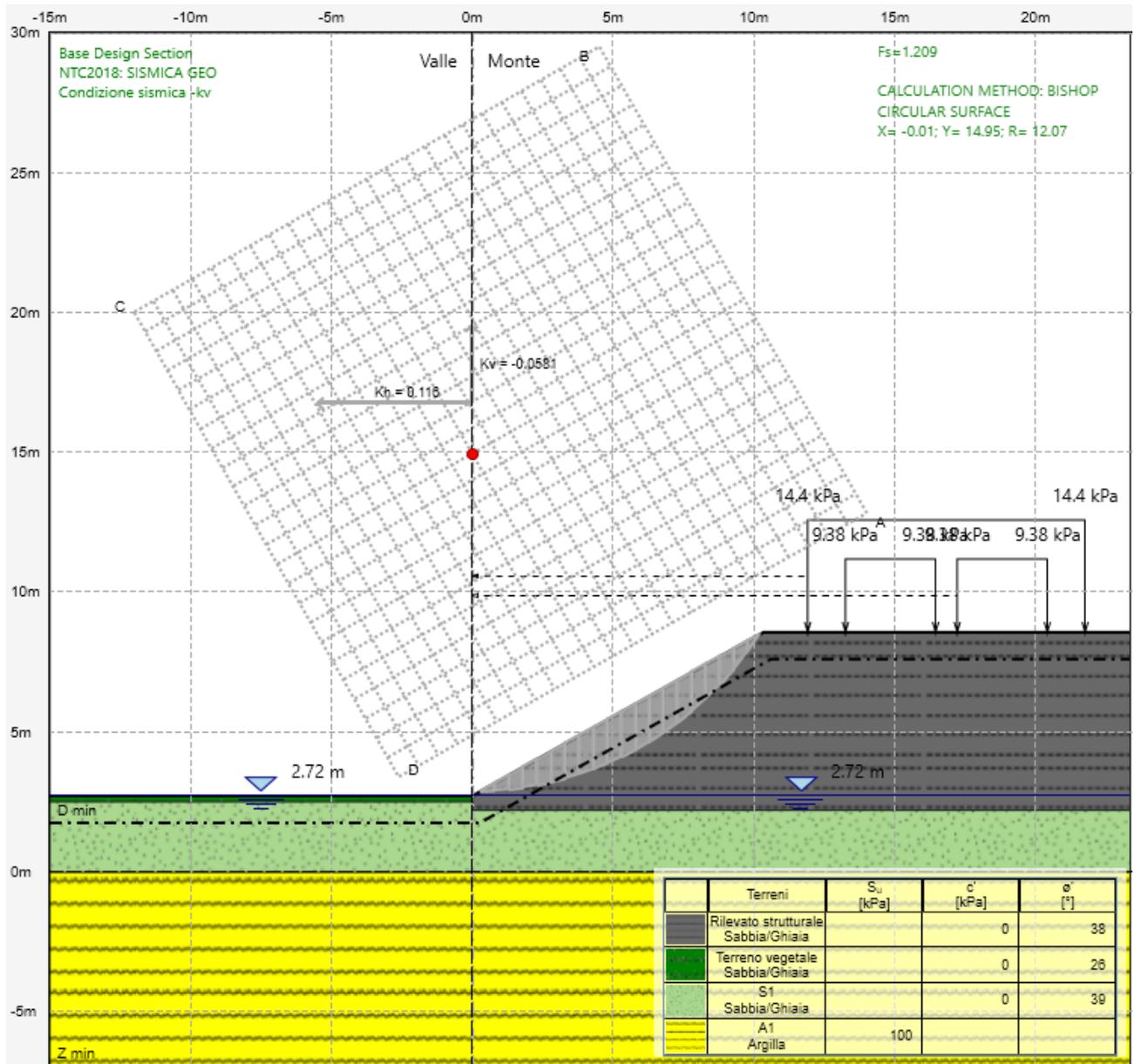


Figura 11.2.1.1- 1 – Sezione al km 14+900: Analisi sismica SLV (-kv) con pendenza 3/1.7: $FS_{min} = 1.209$

Considerando quest'ultima configurazione, sono state eseguite anche le altre analisi, che risultano essere soddisfatte.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	70

Nell'analisi in condizioni sismiche, con coefficiente sismico in direzione verticale positivo (+k_v), il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{\min} = 1.242 \geq 1.2$$

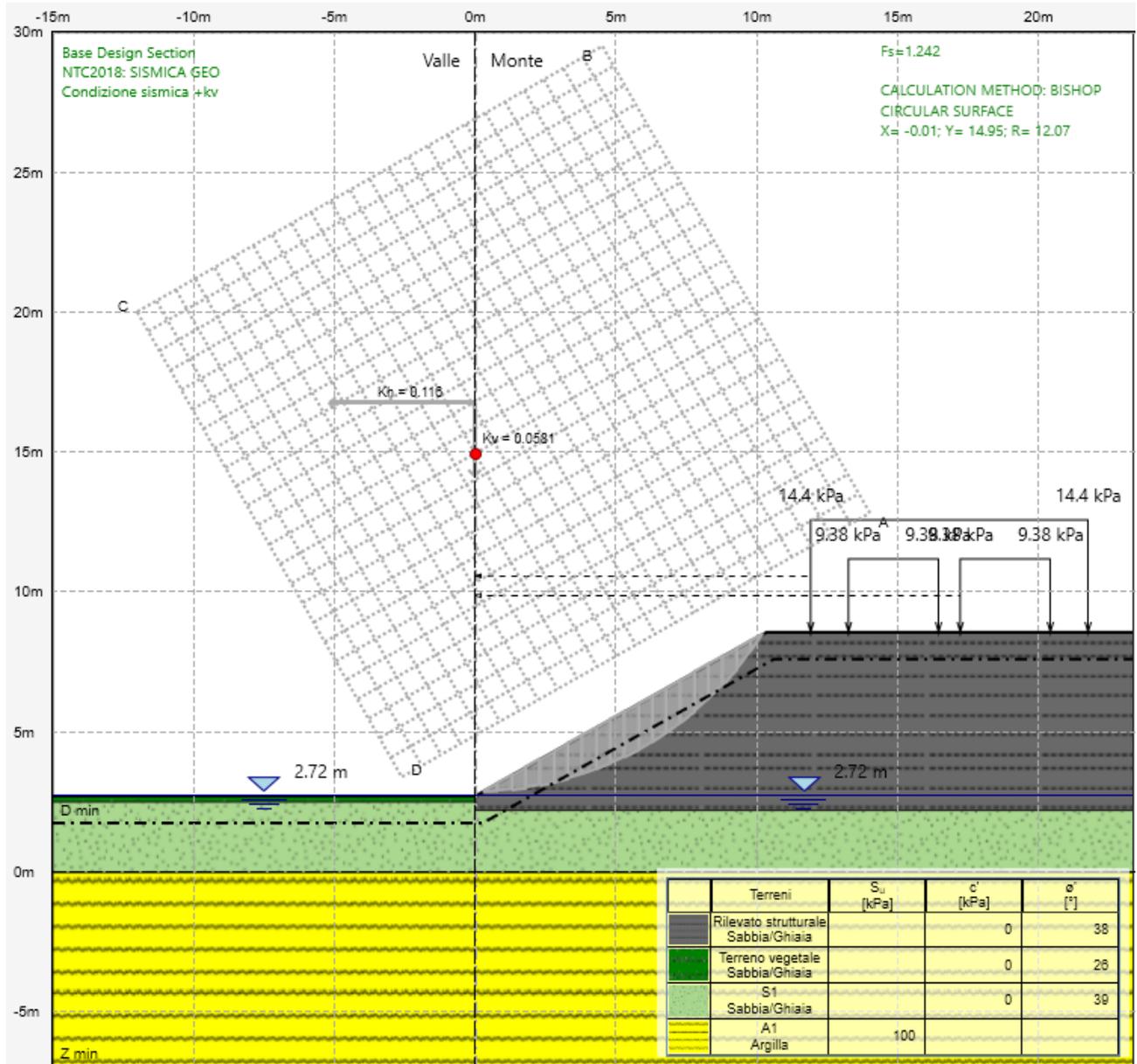


Figura 11.2.1.1- 2 – Sezione al km 14+900: Analisi sismica SLV (+k_v) con pendenza 3/1.7: FS_{min} = 1.242

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	71

Nell'analisi in condizioni statiche il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{\min} = 1.25 \geq 1.1$$

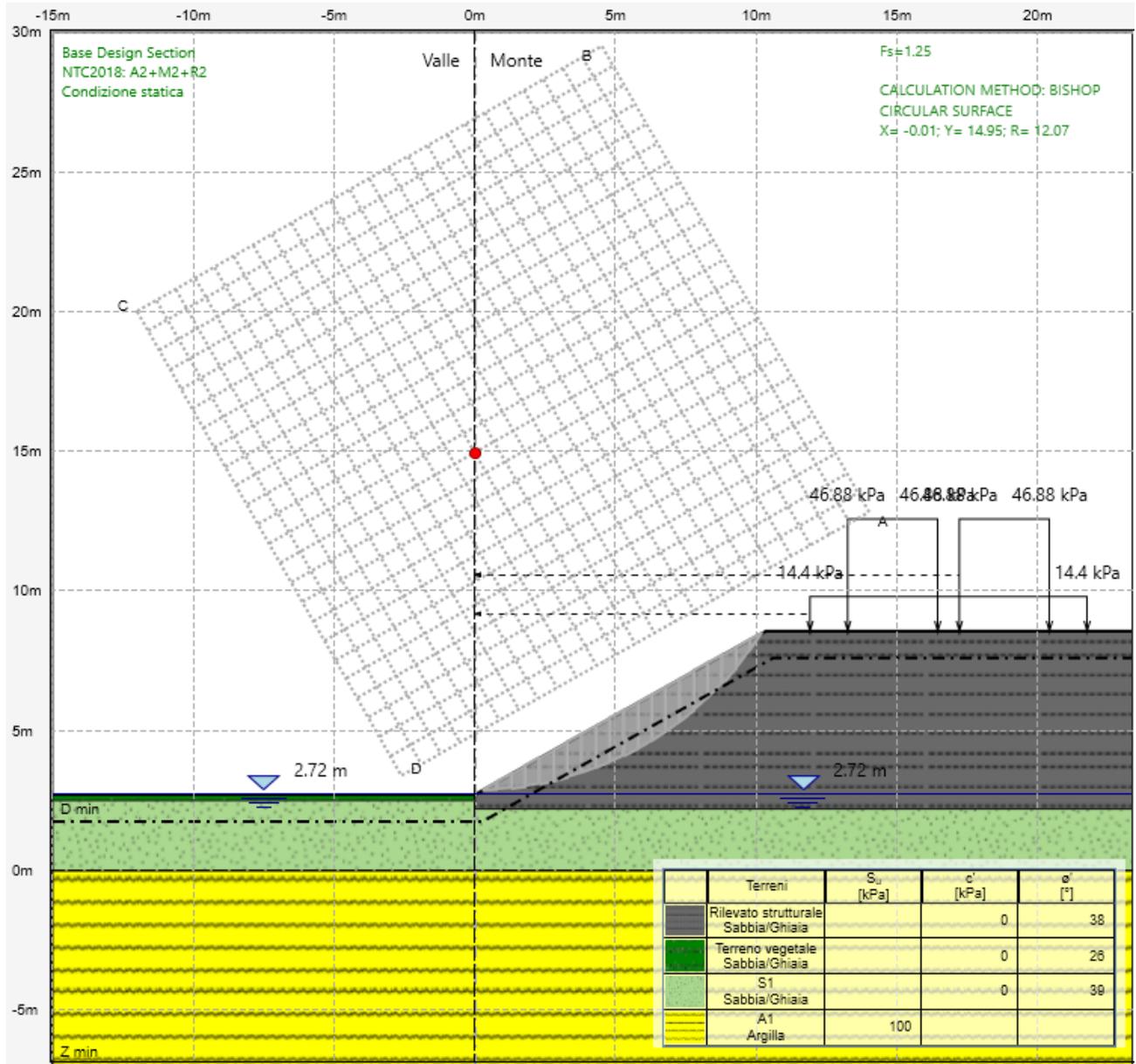


Figura 11.2.1.1- 3 – Sezione al km 14+900: Analisi statica SLU con pendenza 3/1.7: $FS_{\min} = 1.25$

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA							
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	72

11.2.2 Analisi dei cedimenti del rilevato della sezione al km 14+900

L'analisi dei cedimenti del rilevato della sezione al km 14+900 è stata eseguita con la configurazione finale definita al paragrafo 11.2.1.1.

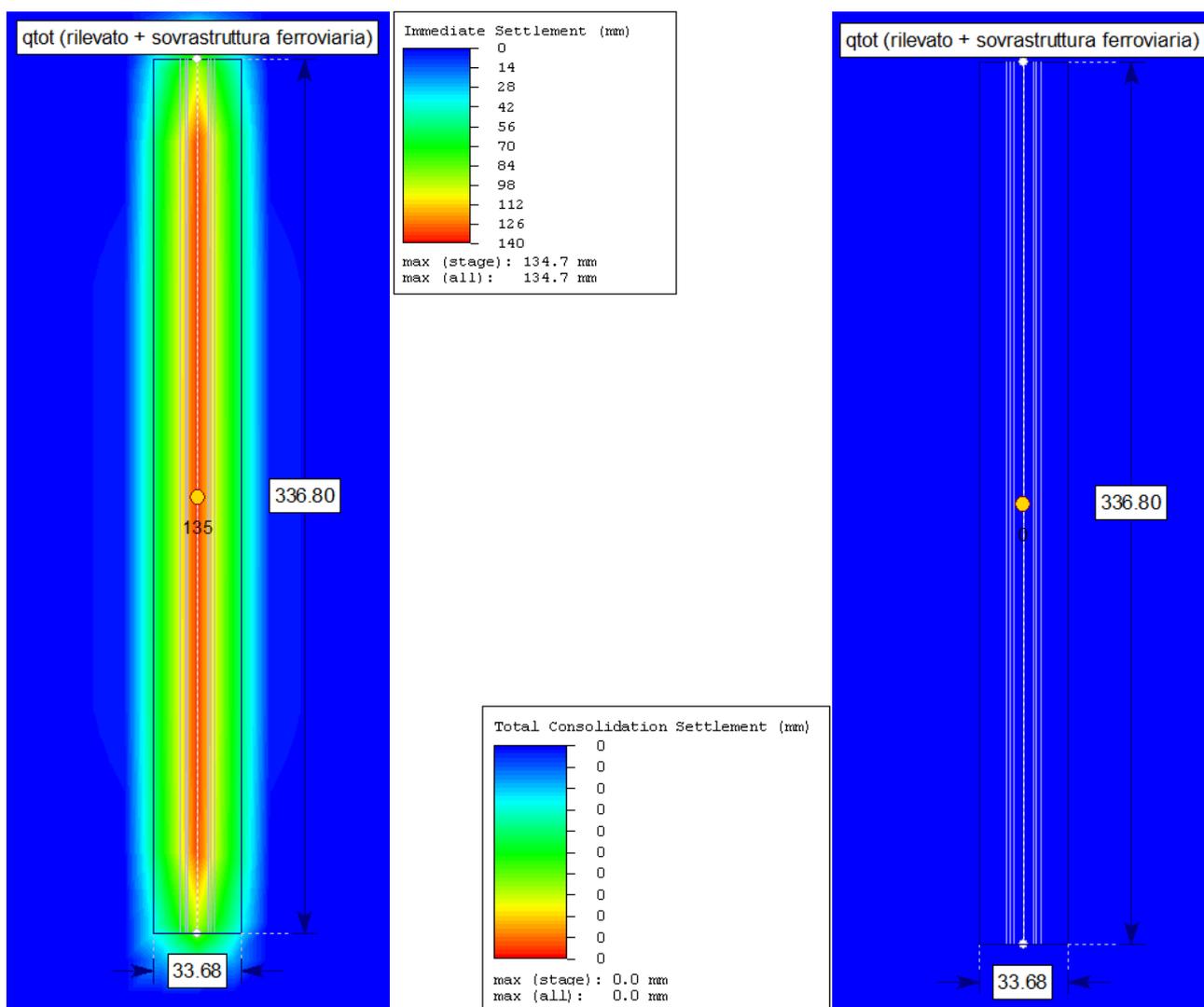
A causa della scarsità dei dati derivanti dall'interpretazione delle indagini presenti nel tratto dal km 14+600 al km 15+050, non è stato possibile definire il coefficiente di consolidazione primaria verticale (c_v) e il coefficiente di consolidazione secondaria (c_α). Pertanto, per questa sezione l'analisi dei cedimenti è stata svolta solo in relazione ai cedimenti immediati e ai cedimenti di consolidazione primaria finale.

Nell'analisi si è assunto che nessuno strato coesivo è soggetto a consolidazione.

La verifica di sicurezza nei riguardi degli SLE risulta essere soddisfatta essendo il cedimento massimo di consolidazione totale pari a:

$$s_{\text{cons}} = 0.0 \text{ cm} < 5.0 \text{ cm}$$

La figura 11.2.2-1 mostra i cedimenti immediati e i cedimenti di consolidazione totale calcolati, mentre la tabella 11.2.2-1 riassume i cedimenti del rilevato.



MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA							
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	73

12. LOTTO 7 – DAL KM 15+050 AL KM 20+150

Nel presente lotto i rilevati ferroviari sono presenti in tutto il tratto.

È stata scelta come sezione più significativa:

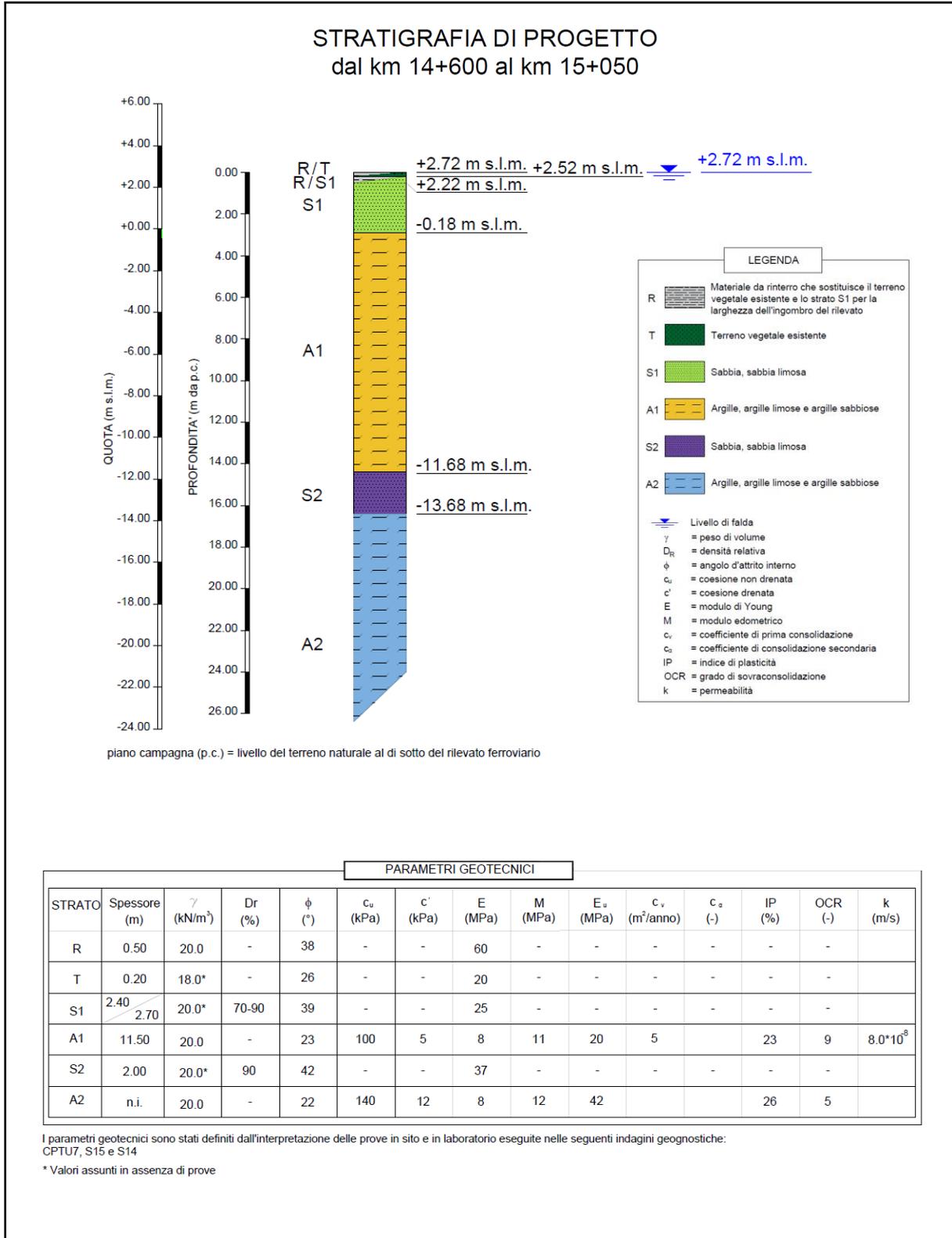
- Sezione al km 15+050: rilevato con berma e massima altezza.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	74

12.1 SEZIONE AL KM 15+050

La figura 12.1-1 mostra la stratigrafia di progetto e i parametri assunti nei calcoli della sezione al km 15+050.



12.1- 2 – Stratigrafia di progetto dal km 14+600 al km 15+050

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	75

12.1.1 Verifica di stabilità della scarpata del rilevato della sezione al km 15+050

La verifica di stabilità della scarpata del rilevato della sezione al km 15+050 è stata eseguita con le seguenti caratteristiche:

Sezione	Quota terreno (m s.l.m.)	Quota rilevato (m s.l.m.)	Altezza rilevato (m)	Ingombro rilevato (m)	Pendenza (-)	Spessore scavo scotico (cm)
km 15+050	2.68	9.6	6.92	12.48	3/2	0.50

Tabella 12.1.1- 1 – Caratteristiche della sezione al km 15+050

Essendo l'altezza del rilevato maggiore di 6.0 m, questa sezione è caratterizzata dalla presenza di una berma di larghezza di 2.0 m alla quota di 4.33 m s.l.m..

La condizione dimensionante per tale sezione è risultata essere la condizione sismica con i seguenti coefficienti:

$$k_h = 0.116;$$

$$k_v = -0.0581,$$

essendo $a_{max} = 0.306g$ (documento di riferimento [1]).

Il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.266 < 1.2$$

Pertanto, in tali condizioni, la verifica è soddisfatta e non è necessario procedere ad alcuna modifica della geometria del rilevato.

Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	76

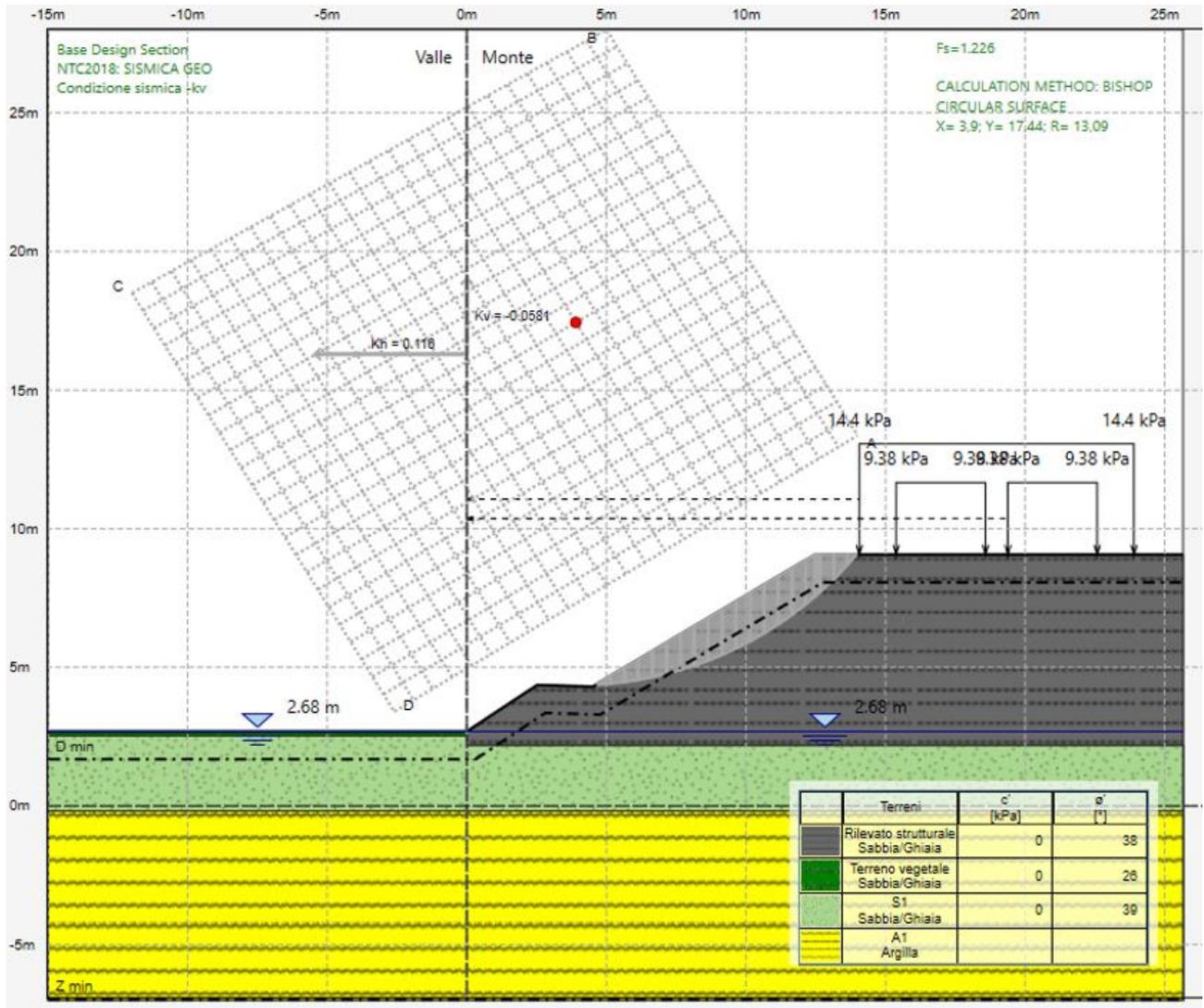


Figura 12.1.1- 1 – Sezione al km 15+050: Analisi sismica SLV (-kv): $FS_{min} = 1.266$

Anche le altre analisi, che sono state effettuate, risultano essere soddisfatte. Di seguito si riportano i risultati ottenuti.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	77

Nell'analisi in condizioni sismiche, con coefficiente sismico in direzione verticale positivo ($+k_v$), il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.259 \geq 1.2$$

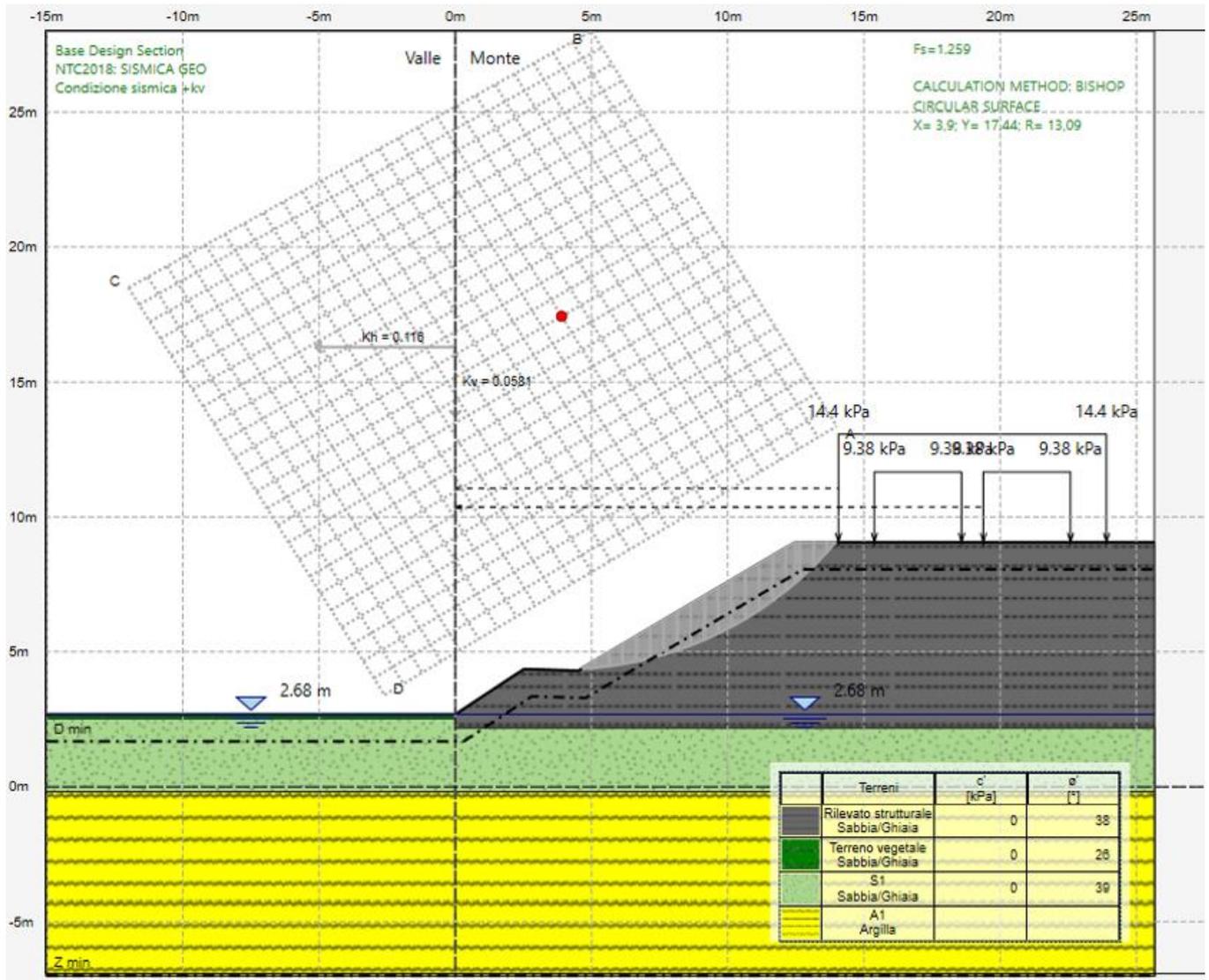


Figura 12.1.1- 2 – Sezione al km 15+050: Analisi sismica SLV ($+k_v$): $FS_{min} = 1.259$

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA							
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	78

Nell'analisi in condizioni statiche il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{\min} = 1.274 \geq 1.1$$

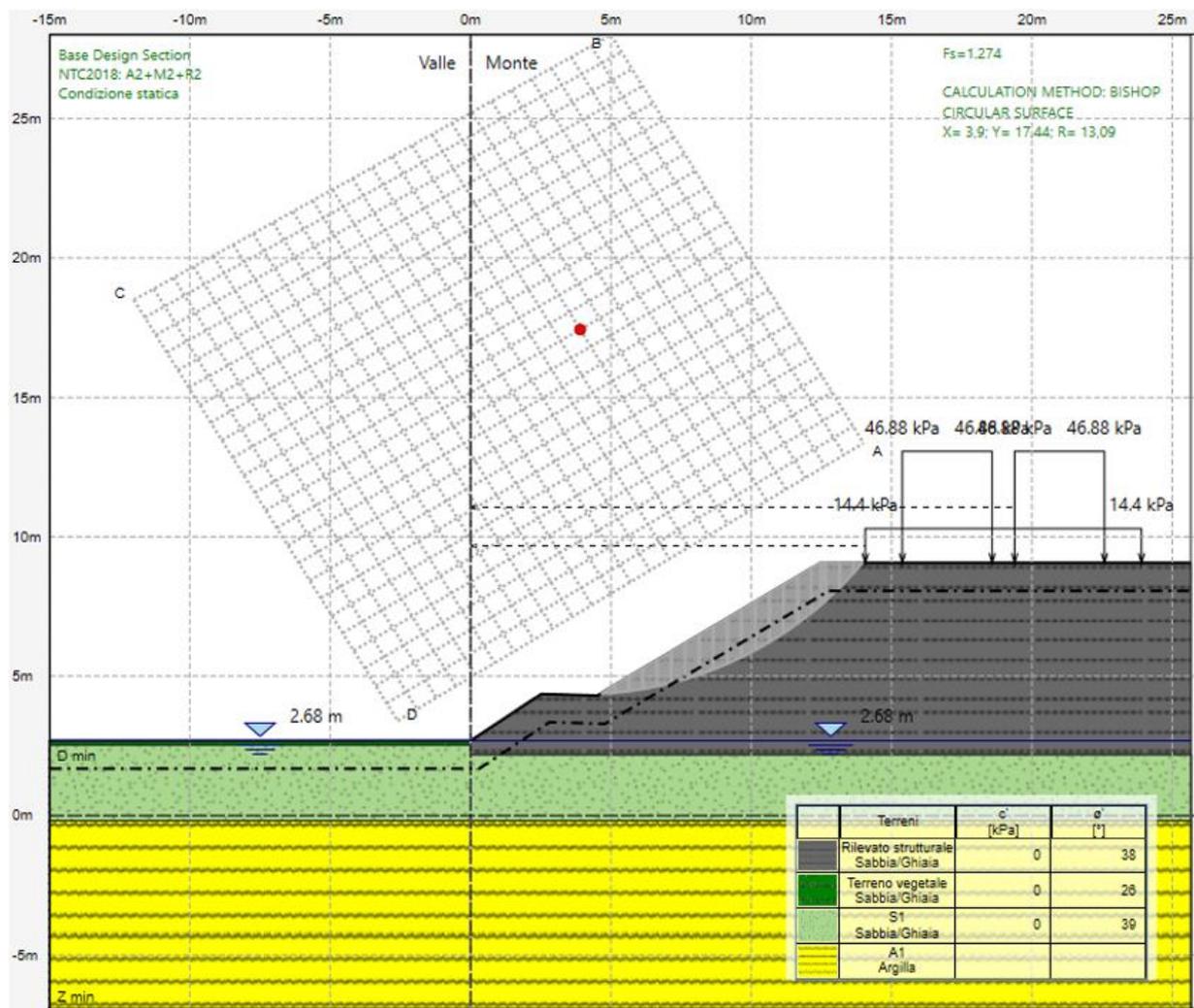


Figura 12.1.1- 3 – Sezione al km 15+050: Analisi statica SLU: $FS_{\min} = 1.274$

12.1.2 Analisi dei cedimenti del rilevato della sezione al km 15+050

L'analisi dei cedimenti del rilevato della sezione al km 15+050 è stata eseguita con la configurazione finale definita ai precedenti paragrafi.

A causa della scarsità dei dati derivanti dall'interpretazione delle indagini presenti nel tratto dal km 15+050 al km 20+150, non è stato possibile definire il coefficiente di consolidazione primaria verticale (c_v) e il coefficiente di consolidazione secondaria (c_{α}). Pertanto, per questa sezione l'analisi dei cedimenti è stata svolta solo in relazione ai cedimenti immediati e ai cedimenti di consolidazione primaria finale.

Nell'analisi si è assunto che nessuno strato coesivo è soggetto a consolidazione.

La verifica di sicurezza nei riguardi degli SLE risulta essere soddisfatta essendo il cedimento massimo di consolidazione totale pari a:

$$s_{\text{cons}} = 0.0 \text{ cm} < 5.0 \text{ cm}$$

MANDATARIA 		MANDANTI 		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA							
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
	LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	79

13. LOTTO 8 – DAL KM 20+150 AL KM 24+940

Nel presente lotto i rilevati ferroviari sono presenti in tutto il tratto.

È stata scelta come sezione più significativa:

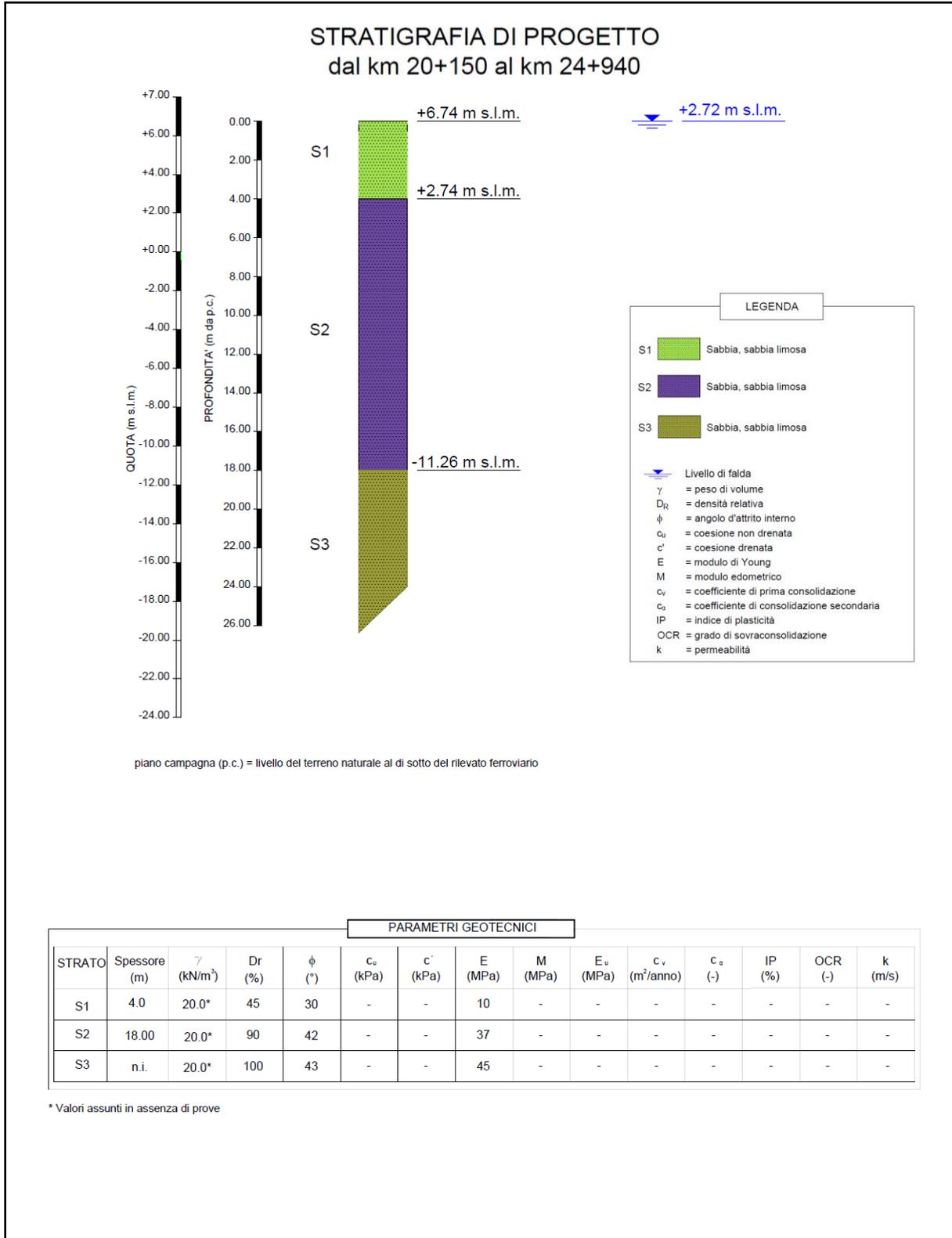
- Sezione al km 22+775: rilevato con berma e massima altezza.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	80

13.1 SEZIONE AL KM 22+775

La figura 13.1-1 mostra la stratigrafia di progetto e i parametri assunti nei calcoli della sezione al km 22+775.



13.1- 3 – Stratigrafia di progetto dal km 20+150 al km 24+940

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>		MANDANTI HYpro		LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti				COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
				LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	81

13.1.1 Verifica di stabilità della scarpata del rilevato della sezione al km 22+775

La verifica di stabilità della scarpata del rilevato della sezione al km 22+775 è stata eseguita con le seguenti caratteristiche:

Sezione	Quota terreno (m s.l.m.)	Quota rilevato (m s.l.m.)	Altezza rilevato (m)	Ingombro rilevato (m)	Pendenza (-)	Spessore scavo scotico (cm)
km 22+775	6.17	13.88	7.71	13.63	3/2	0.50

Tabella 12.1.1- 1 – Caratteristiche della sezione al km 22+775

Essendo l'altezza del rilevato maggiore di 6.0 m, questa sezione è caratterizzata dalla presenza di una berma di larghezza di 2.0 m alla quota di 8.59 m s.l.m..

La condizione dimensionante per tale sezione è risultata essere la condizione sismica con i seguenti coefficienti:

$$k_h = 0.107;$$

$$k_v = -0.052,$$

essendo $a_{max} = 0.281g$ (documento di riferimento [1]).

Il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{min} = 1.145 < 1.2$$

Pertanto, in tali condizioni, la verifica non è soddisfatta.

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>	MANDANTI HYpro	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA									
		Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti	COMMESSA LI0B	LOTTO 02	FASE E	ENTE ZZ	TIPO DOC RH	OPERA 7 DISCIPLINA GE 00 05			PROGR 001

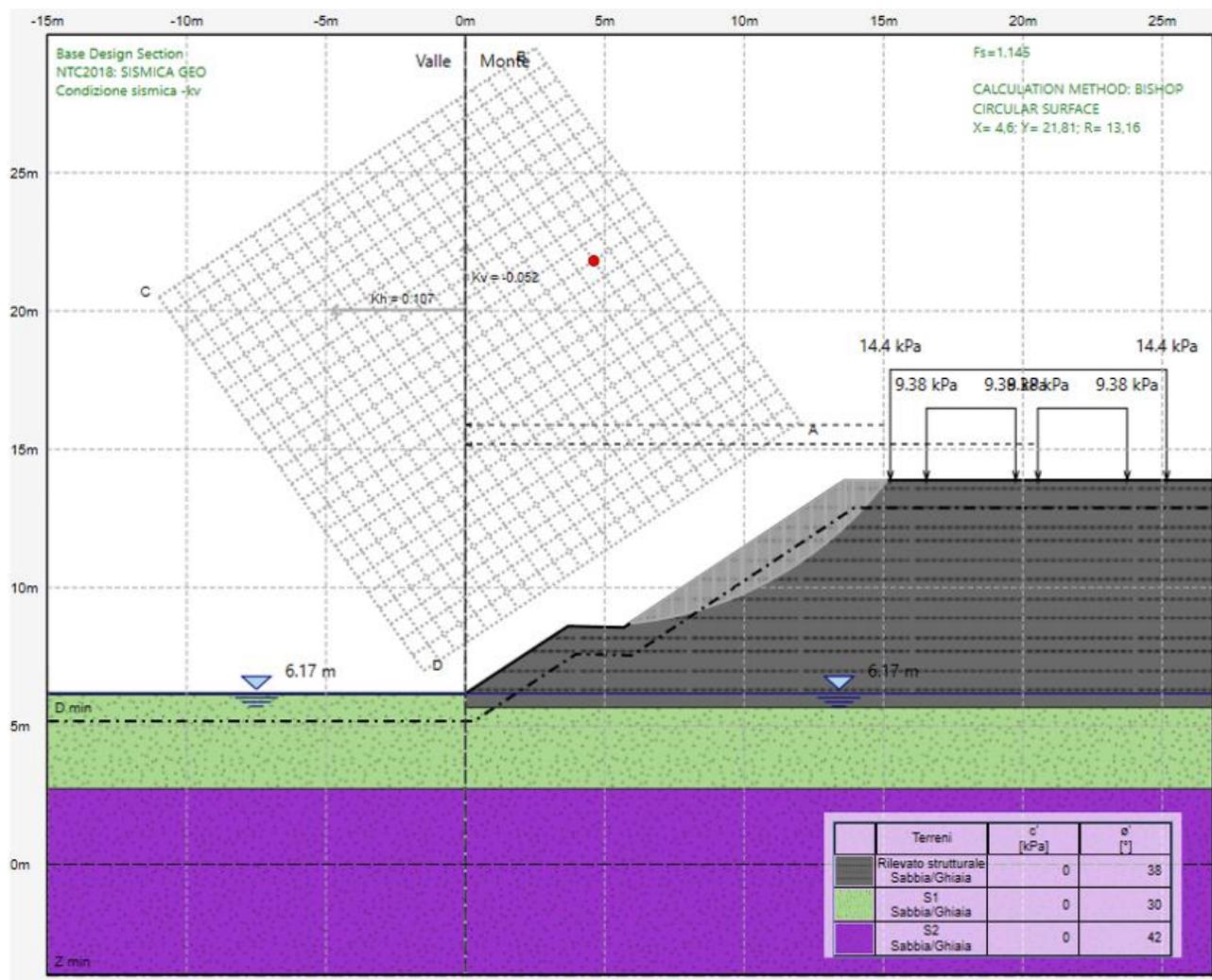


Figura 13.1.1- 1 – Sezione al km 22+775: Analisi sismica SLV (-k_v): FS_{min} = 1.145

13.1.1.1 Soluzione progettuale

Al fine di garantire la stabilità della scarpata è stato necessario modificare le caratteristiche iniziali dell'opera.

In particolare, riducendo la pendenza del rilevato da 3/2 a 3/1.8, e aumentando conseguentemente il suo ingombro di 1.3 m, il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{\min} = 1.228 \geq 1.2$$

Pertanto, in tali condizioni, la verifica è soddisfatta.

Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	83

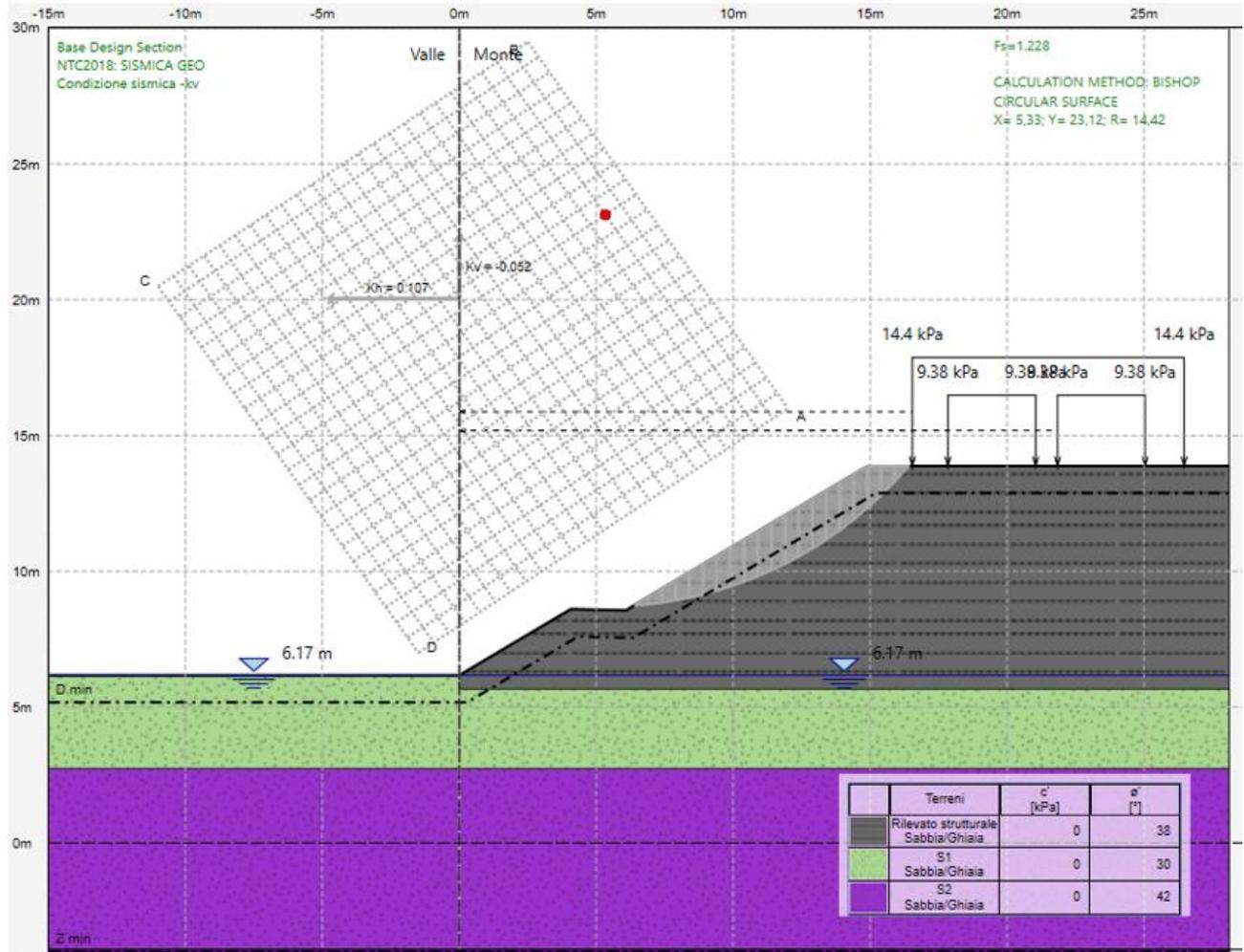


Figura 11.1.1.1- 1 – Sezione al km 22+775: Analisi sismica SLV (-k_v) con pendenza 3/1.8: FS_{min} = 1.228

Considerando quest'ultima configurazione, sono state eseguite anche le altre analisi, che risultano essere soddisfatte.

**Rilevati ferroviari - Relazione di
stabilità e calcolo dei cedimenti**

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV	FOGLIO
LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	84

Nell'analisi in condizioni sismiche, con coefficiente sismico in direzione verticale positivo ($+k_v$), il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{\min} = 1.256 \geq 1.2$$

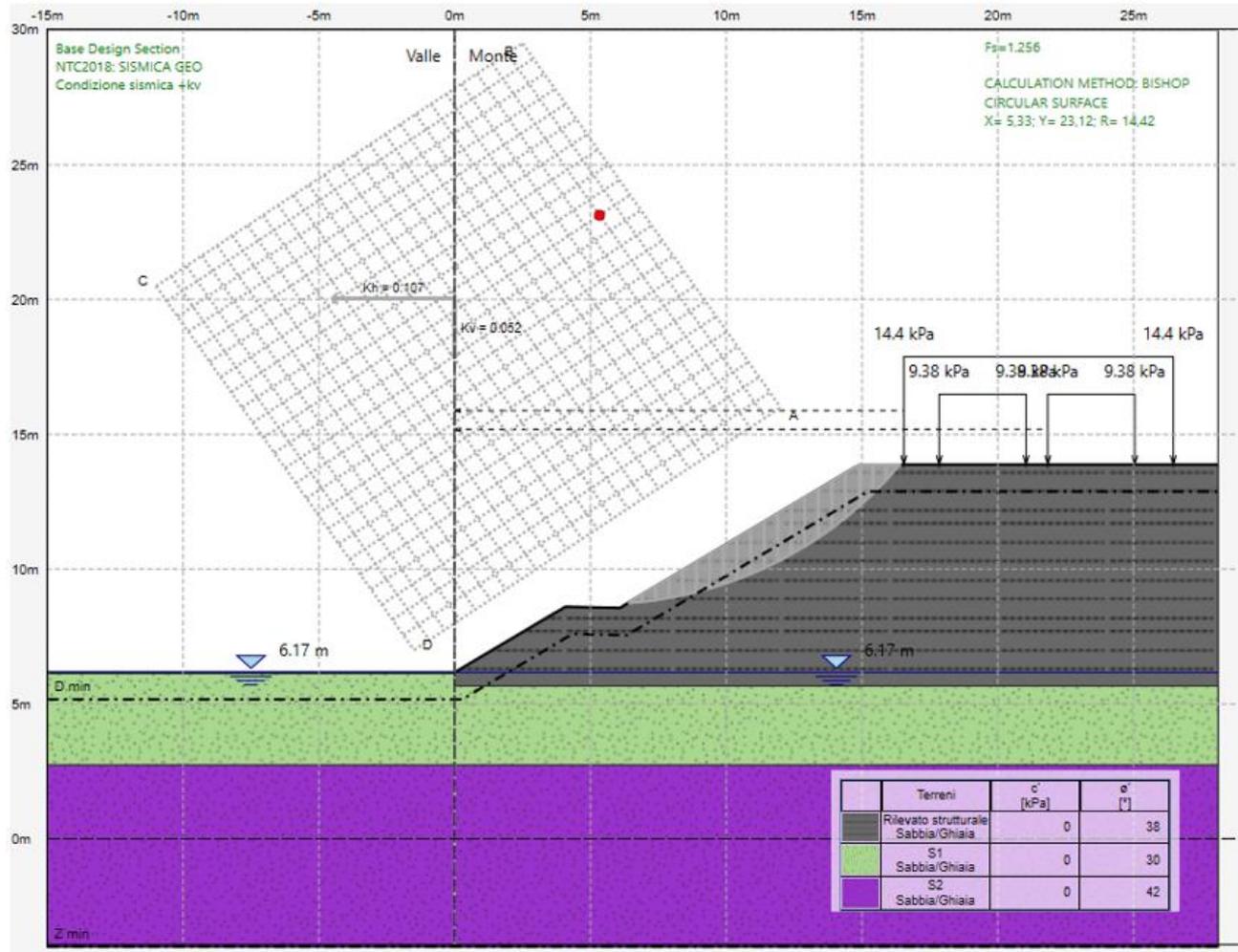


Figura 11.1.1.1- 2 – Sezione al km 22+775: Analisi sismica SLV ($+k_v$) con pendenza 3/1.8: $FS_{\min} = 1.256$

MANDATARIA HUB ENGINEERING <small>CONSORZIO STABILE SOCIETÀ CONSORTILE & S.R.L.</small>	MANDANTI HYpro	LINEA PESCARA – BARI RADDOPPIO DELLA TRATTA FERROVIARIA TERMOLI-LESINA LOTTO 2 e 3 – RADDOPPIO TERMOLI - RIPALTA										
		Rilevati ferroviari - Relazione di stabilità e calcolo dei cedimenti	COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC	OPERA 7 DISCIPLINA			PROGR	REV
		LI0B	02	E	ZZ	RH	GE	00	05	001	A	85

Nell'analisi in condizioni statiche il valore del coefficiente di sicurezza minimo ottenuto, sia con l'analisi a BT che a LT, è:

$$FS_{\min} = 1.249 \geq 1.1$$

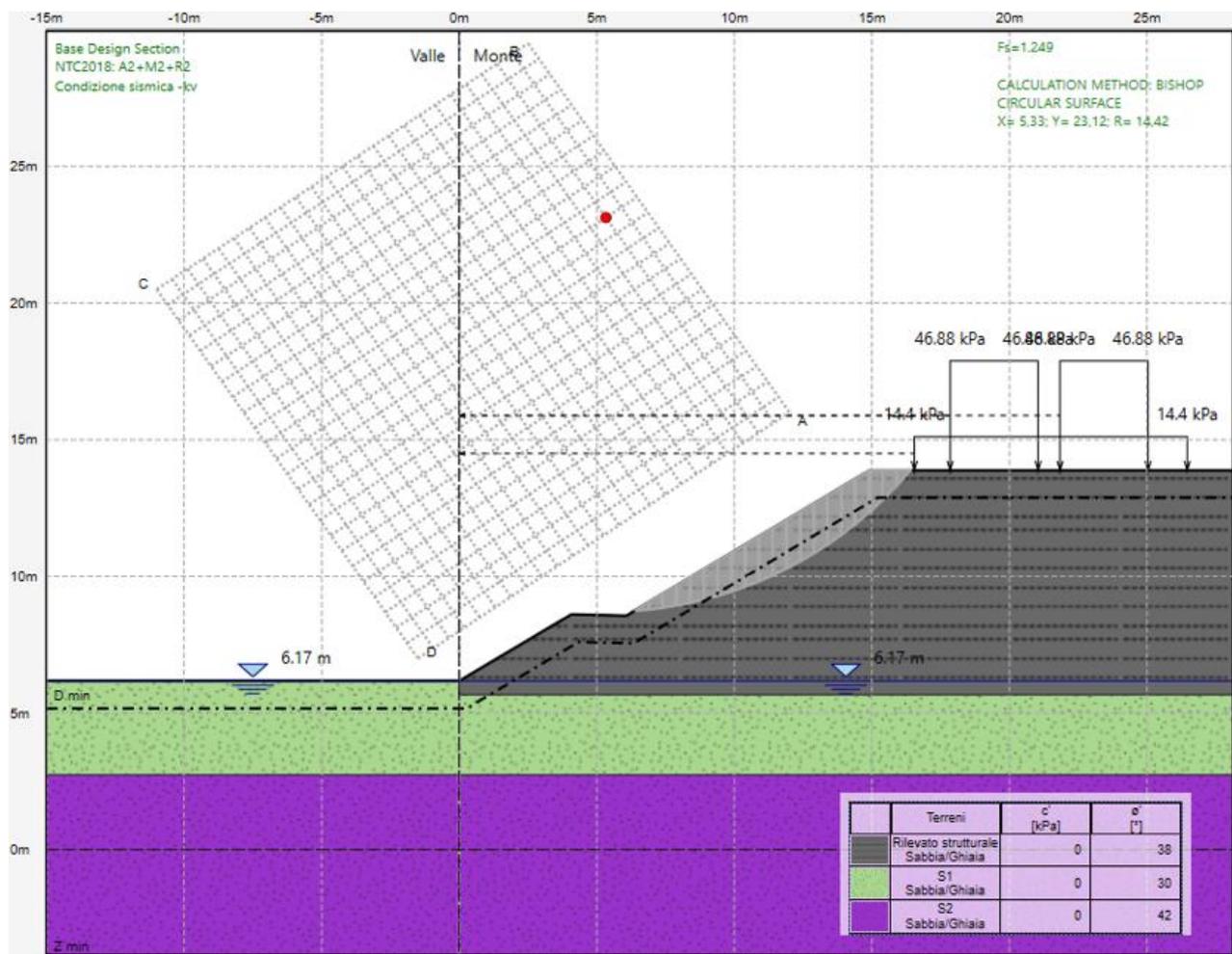


Figura 11.1.1.1- 3 – Sezione al km 22+775: Analisi statica SLU con pendenza 3/1.8: $FS_{\min} = 1.249$

13.1.2 Analisi dei cedimenti del rilevato della sezione al km 22+775

L'analisi dei cedimenti del rilevato della sezione al km 22+775 è stata eseguita con la configurazione finale definita ai precedenti paragrafi.

A causa della scarsità dei dati derivanti dall'interpretazione delle indagini presenti nel tratto dal km 20+150 al km 24+940, non è stato possibile definire il coefficiente di consolidazione primaria verticale (c_v) e il coefficiente di consolidazione secondaria (c_a). Pertanto, per questa sezione l'analisi dei cedimenti è stata svolta solo in relazione ai cedimenti immediati e ai cedimenti di consolidazione primaria finale.

Nell'analisi si è assunto che nessuno strato coesivo è soggetto a consolidazione.

La verifica di sicurezza nei riguardi degli SLE risulta essere soddisfatta essendo il cedimento massimo di consolidazione totale pari a:

$$s_{\text{cons}} = 0.0 \text{ cm} < 5.0 \text{ cm}$$