

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



S. O. COORDINAMENTO TERRITORIALE SUD

PROGETTO DEFINITIVO

**LINEA TARANTO-BRINDISI
NUOVA STAZIONE DI TARANTO NASISI**

GEOTECNICA
Relazione di calcolo rilevati

SCALA:

-

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

I	A	8	E	0	0	D	7	8	R	H	G	E	0	0	0	6	0	0	2	A
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Definitiva	C. Soave <i>C. Soave</i>	Lug 2021	V. Maccaroni <i>V. Maccaroni</i>	Lug 2021	G. Lestingi <i>G. Lestingi</i>	Lug 2021	<i>[Signature]</i>

ITALFERR S.p.A.
 Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane
 Direzione Tecnica
 UO Infrastrutture Sud
 Dott. Ing. Carlo Tiberti
 Ordine degli Ingegneri Prov. di Napoli n. 10576



PROGETTO DEFINITIVO

Linea Taranto – Brindisi

NUOVA STAZIONE DI NASISI

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA8E	00	D 78 RH	GE0006 002	A	2 DI 53

Sommario

1	PREMESSA	4
2	DOCUMENTAZIONE, NORMATIVE E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO	6
2.1	NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI	6
2.2	DOCUMENTI DI PROGETTO	7
2.3	BIBLIOGRAFIA	7
3	INQUADRAMENTO DELL'AREA D'INTERVENTO	8
3.1	GEOMETRIA DEL RILEVATO	9
3.2	GEOMETRIA DEGLI SCAVI	9
3.3	DETTAGLI PALANCOLA PU-12	11
4	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	12
5	SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	18
6	VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA	20
7	CRITERI DI VERIFICA DEL RILEVATO FERROVIARIO IN ACCORDO ALLE NTC2018	23
7.1	VERIFICHE STATI LIMITE ULTIMI IN CAMPO STATICO	23
7.2	VERIFICHE STATI LIMITE DI ESERCIZIO.....	26
7.3	VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI	26
	<i>Verifiche Stati limite ultimi (SLU)</i>	26
	<i>Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale</i>	27
8	CRITERI DI VERIFICA SCAVO SOSTENUTO DA PALANCOLE	28
8.1	VERIFICHE SLU DI TIPO GEOTECNICO (GEO) – STABILITÀ GLOBALE.....	28
8.2	VERIFICHE SLU DI TIPO GEOTECNICO (GEO) – COLLASSO PER ROTAZIONE ATTORNO A UN PUNTO DELL'OPERA	28
8.3	VERIFICHE SLU DI TIPO STRUTTURALE (STR) – RAGGIUNGIMENTO DELLA RESISTENZA STRUTTURALE DELLA PARATIA 28	
8.4	VERIFICHE DI ESERCIZIO (SLE)	29
9	CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI	30
9.1	SLIDE 7.0 ROCSCIENCE	30
9.2	SETTLE 3D - ROCSCIENCE	30
9.3	PARATIE PLUS - HARPACEAS	30

**PROGETTO DEFINITIVO****Linea Taranto – Brindisi****NUOVA STAZIONE DI NASISI****RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA8E	00	D 78 RH	GE0006 002	A	3 DI 53

10	CARATTERISTICHE DEL CORPO FERROVIARIO DI PROGETTO	31
10.1	GEOMETRIA DEL RILEVATO FERROVIARIO IN ACCOSTO	31
10.2	MATERIALI E PARAMETRI GEOTECNICI DEL RILEVATO.....	31
10.3	CARICHI DI PROGETTO	32
	<i>Carichi ferroviari per le Verifiche SLU</i>	<i>33</i>
	<i>Carichi ferroviari per le Verifiche SLE.....</i>	<i>34</i>
11	RILEVATO - VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE	35
12	RILEVATO - VERIFICHE DEI CEDIMENTI.....	40
13	SCARPATA SOTTOPASSO FERROVIARIO - VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE.....	45
14	SCARPATA OPERA IN01	47
14.1	VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE	47
14.2	VERIFICA SLU (GEO) PER LA PALANCOLA	49
14.3	VERIFICA SLU (STR) PER LA PALANCOLA	51
14.4	VERIFICHE SLE PER LA PALANCOLA.....	53

	<p>PROGETTO DEFINITIVO</p> <p>Linea Taranto – Brindisi</p> <p>NUOVA STAZIONE DI NASISI</p>					
<p>RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI</p>	<p>PROGETTO IA8E</p>	<p>LOTTO 00</p>	<p>CODIFICA D 78 RH</p>	<p>DOCUMENTO GE0006 002</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 4 DI 53</p>

1 PREMESSA

Il presente documento ha per oggetto la verifica della stabilità dei rilevati e delle scarpate necessarie alla realizzazione degli interventi volti alla nuova configurazione della stazione Taranto-Nasisi della linea Taranto-Brindisi.

La località ferroviaria di Taranto Nasisi, posta al km 4 della linea Taranto-Brindisi, è oggi dotata di un solo binario e non è più abilitata a servizio viaggiatori, ma la sua posizione prossima al Quartiere «Paolo VI» la rende ideale per l’interscambio tra i servizi ferroviari e i numerosi servizi automobilistici extraurbani che penetrano nella città di Taranto da est. Pertanto, l’Accordo Quadro Regione Puglia-RFI prevede il prolungamento dei servizi Bari-Taranto sino a Nasisi e il potenziamento della stazione in oggetto. In particolare, l’intervento prevede la realizzazione di una stazione di n. 3 binari con modulo pari a 250 m e itinerari a 60 km/h, n. 2 marciapiedi a standard H55, un sottopasso con rampe di scale e ascensori, un nuovo fabbricato viaggiatori e un parcheggio ad esso antistante con capacità di 50 stalli per auto e 4 per bus.

La relazione descrive il modello geotecnico definito per il rilevato, ricavato sulla base delle indagini geognostiche e della relazione geotecnica. Vengono quindi presentate le verifiche di SLU condotte in base al modello geotecnico sopra definito, ed eseguite ai sensi della Normativa di riferimento (NTC2018, v. capitolo seguente).

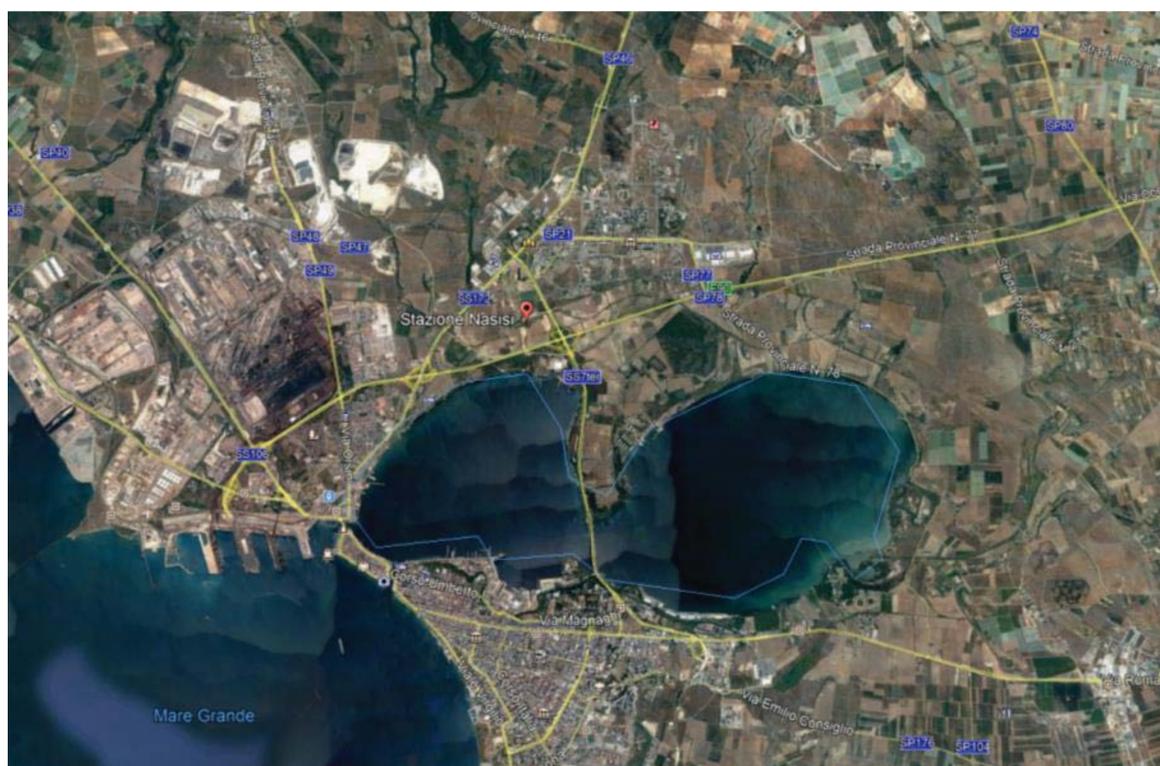


Figura 1 - Inquadramento dell’area di intervento



PROGETTO DEFINITIVO

Linea Taranto – Brindisi

NUOVA STAZIONE DI NASISI

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA8E	00	D 78 RH	GE0006 002	A	5 DI 53



Figura 2– Stazione di Taranto-Nasisi

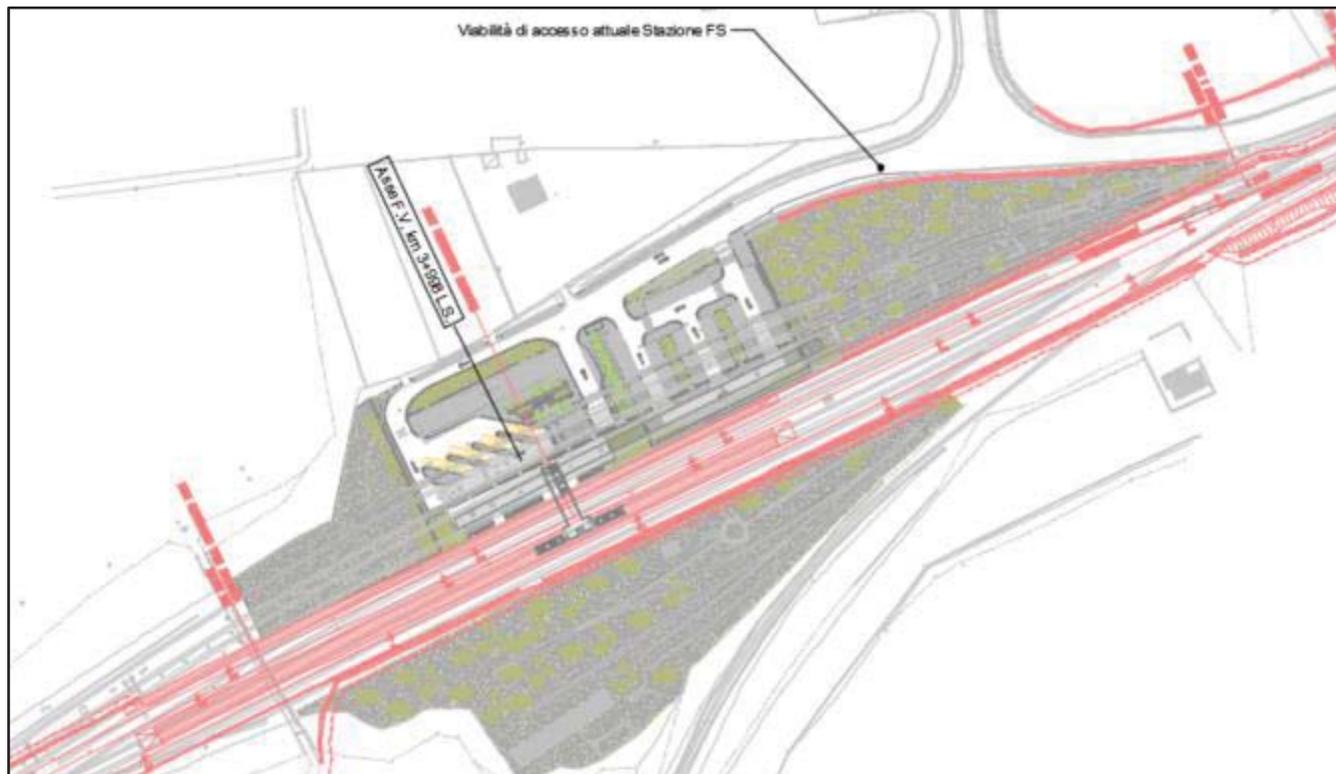


Figura 3– Configurazione di progetto (in rosso)

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A	FOGLIO 6 DI 53

2 DOCUMENTAZIONE, NORMATIVE E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

2.1 Normative e raccomandazioni

- [1] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni”, Supplemento Ordinario alla G.U. n.42 del 20.2.2018.
- [2] Circolare 21 gennaio 2019 n.7 ” Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”
- [3] RFI DTC SI CS MA IFS 001 E del 31/12/20: “Manuale di Progettazione delle Opere Civili” Parte II - Sezione 3: Corpo stradale;
- [4] RFI DTC SI CS SP IFS 004 E del 31/12/20: “Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili – Parte II Parte II - Sezione 5: Opere in Terra e scavi”;
- [5] UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.
- [6] UNI EN 1997-2 - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.
- [7] UNI EN del 1998 “Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica”;
- [8] Regione Calabria, Legge regionale del 12 ottobre 2012, n. 46, Modifiche ed integrazioni alla legge regionale del 16 ottobre 2009, n. 35, recante: «Procedure per la denuncia, il deposito e l'autorizzazione di interventi di carattere strutturale e per la pianificazione territoriale in prospettiva antisismica), (BUR n. 19 del 16 ottobre 2012, supplemento straordinario n. 2 del 20 ottobre 2012);
- [9] Regione Calabria, Regolamento regionale n. 7 del 28 giugno 2012 s.m.i. “procedure per la denuncia, il deposito e l'autorizzazione di interventi di carattere strutturale e per la pianificazione territoriale in prospettiva sismica di cui alla legge regionale n. 35 del 19 ottobre 2009 s.m.i.” (Testo coordinato con le modifiche ed integrazioni di cui al R.R. n. 3 del 24.02.2014, approvato con Delibera G.R. n° 51 del 20.02.2014 pubblicato sul BURC Parte I n. 9 del 03.03.2014 ripubblicato con avviso di errata corrige sul BURC Parte I n. 10 del 5.03.2014);
- [10] Regione Calabria, Deliberazione della Giunta Regionale del 10 febbraio 2004 n. 47, Prime disposizioni per l’attuazione dell’Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica»;
- [11] Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3316 del 02.10.2003 «Modifiche ed integrazioni all’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri»;

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A	FOGLIO 7 DI 53

- [12] Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20.03.2003 «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica»;
- [13] D.P.R. 380 del 06/06/2001 “Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia”;
- [14] Circolare n. 218/24/3 del 09.01.1996 «Istruzioni applicative per la redazione della Relazione Geologica e della Relazione Geotecnica»;
- [15] D.M. LL.PP. 11.03.1988 «Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione»;
- [16] Circ. Min. LL.PP. n. 30483 del 24.09.1988 che prevede l’obbligo di sottoporre tutte le opere civili pubbliche e private da realizzare nel territorio della Repubblica, alle verifiche per garantire la sicurezza e la funzionalità del complesso opere-terreni ed assicurare la stabilità complessiva del territorio nel quale si inseriscono»;
- [17] Legge n. 64 del 02.02.1974 «Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche», che prevede l’obbligatorietà dell’applicazione per tutte le opere, pubbliche e private, delle norme tecniche che saranno fissate con successivi decreti del Ministero per il Lavori Pubblici”;
- [18] D.lgs. 18 aprile 2016, n. 50 «Codice dei contratti pubblici»;

2.2 Documenti di progetto

- [19] IA8E00D78RGOC0000001A Relazione tecnica - Opere civili
- [20] IA8E00D69RGGE0001001A - Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e sismica
- [21] IA8E00D78RHGE0006001A – Relazione geotecnica

2.3 Bibliografia

- [22] Geotecnica, R. Lancellotta; Terza edizione, 2008, Zanichelli.
- [23] Prove geotecniche in sito, F. Cestari; II Edizione; Segrate 1996.
- [24] INGV (2006) – Mappa di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale per la G.U. n.108 del 11/05/2006. Disponibile in internet all’indirizzo <http://zonesismiche.mi.ingv.it/>
- [25] AGI (1977), Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A	FOGLIO 8 DI 53

3 INQUADRAMENTO DELL'AREA D'INTERVENTO

La configurazione attuale dell'armamento presenta un solo binario e non risulta abilitata al servizio viaggiatori nonostante la presenza di due banchine; sono presenti poi altri binari, sia di precedenza sia di ricovero non utilizzati. La velocità di percorrenza lungo il binario di corsa desunta dal fascicolo di linea è pari a 120 km/h.



Figura 4 – Marciapiedi e FV: stato attuale

Tutta la zona della stazione si trova più in alto rispetto al terreno circostante e sono presenti due attraversamenti idraulici che verranno mantenuti anche nella configurazione di progetto; rispettivamente sono il IN01 alla progressiva della linea storica 4+324 e il IN02 alla progressiva della linea storica 3+871.

E' presente inoltre un sottovia alla progressiva della linea storica 4+370 che permette di superare l'interferenza con la SS7ter "Superstrada Ponte Punta Penna – Pizzone. Il FV esistente si trova alla progressiva della linea storica 3+998.

Come detto in questa relazione si mostreranno le verifiche di stabilità globale delle sezioni del rilevato in allargamento necessarie alla costruzione delle nuove linee e delle scarpe dello scavo necessario alla costruzione del sottopasso ferroviario e dell'opera IN01. Nei seguenti paragrafi vengono definite le sezioni più critiche utilizzate per le verifiche.

3.1 Geometria del rilevato

La progettazione del nuovo rilevato consiste in un allargamento del rilevato esistente della linea storica, e per tanto risulta in affiancamento ad essa. Esistono due sezioni tipologiche differenti la prima con unica banca valida per le sezioni con altezza massima pari a 4.75m, la seconda con due banche separate da una berma di 2m di larghezza. Le sezione più critiche per le due configurazioni, ovvero con massima elevazione, risulta quella individuata alla pk 0+350 (sezione 15) riportata in Figura 5.

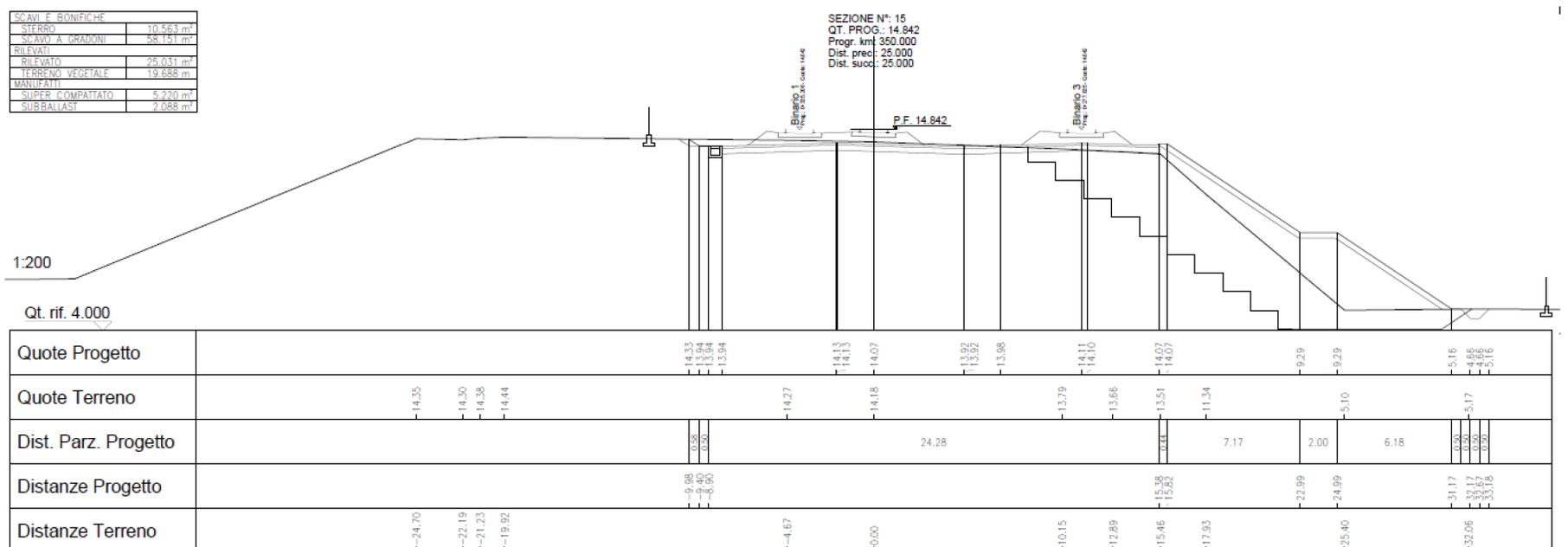


Figura 5 – Sezione di riferimento rilevato (Sezione N°15, progressiva 0+350)

3.2 Geometria degli scavi

Si evidenziano due scavi necessari il primo per la realizzazione del sottopasso ferroviario mentre il secondo per la realizzazione dell'opera IN01. Per il primo sbancamento nello scopo di questa relazione rientra solo il lato sud dello scavo, per il quale non si prevedono interventi di sostegno. La scarpata risulta essere inclinata di 30° e la sezione di riferimento è riportata in Figura 6. Per quanto riguarda invece il secondo sbancamento, per l'opera IN01, si prevede la realizzazione di una paratia temporanea necessaria a garantire la stabilità dello scavo, la sezioni di riferimento è riportata in Figura 7.

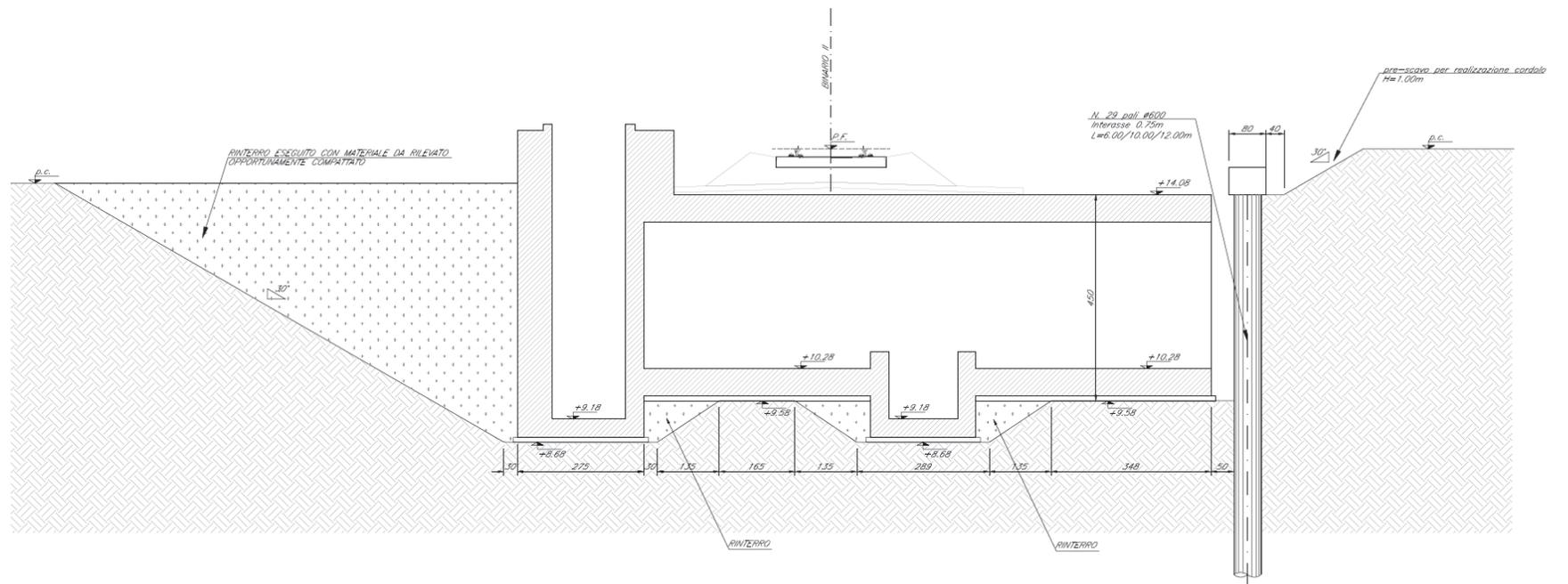


Figura 6 – Sezione di riferimento scavo sottopasso ferroviario

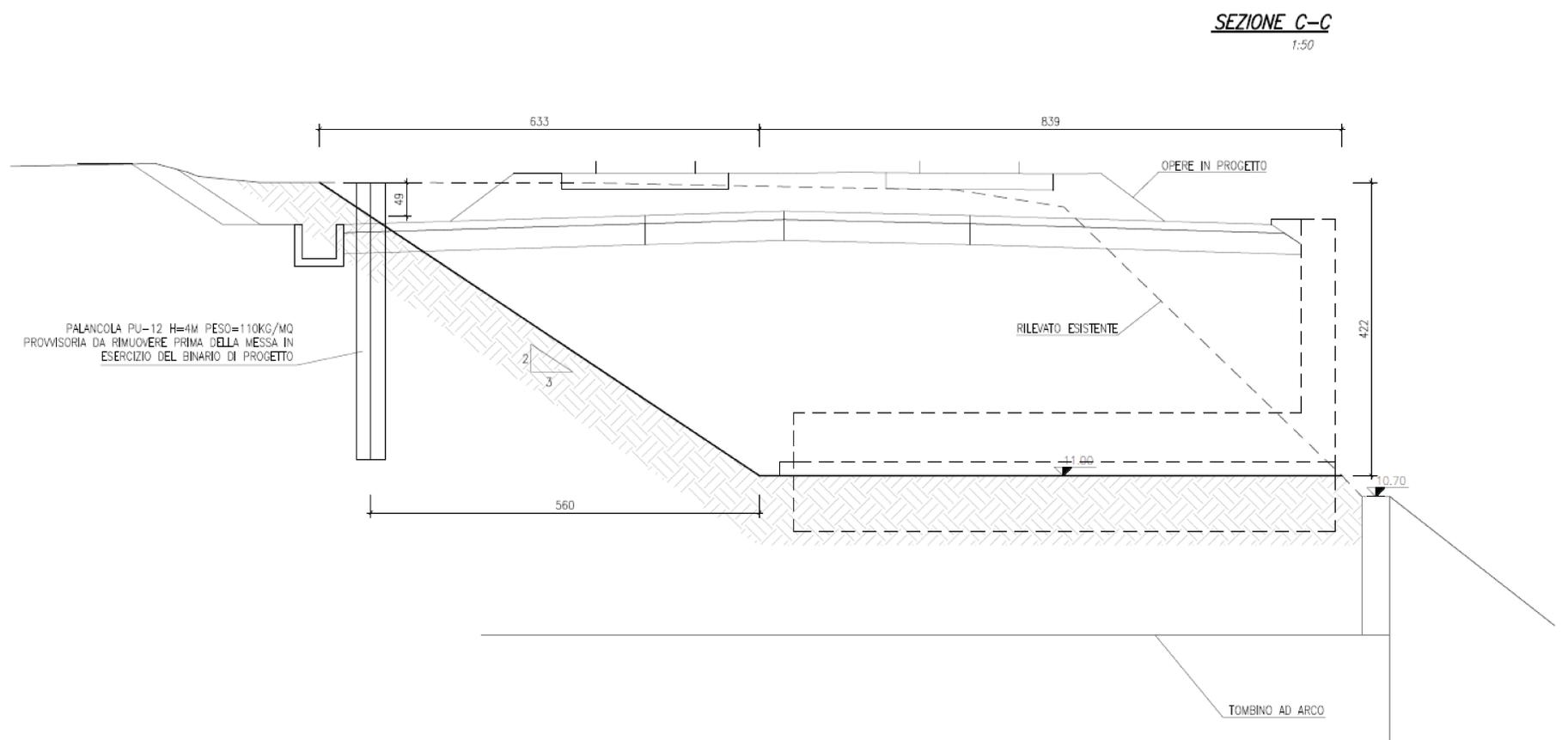
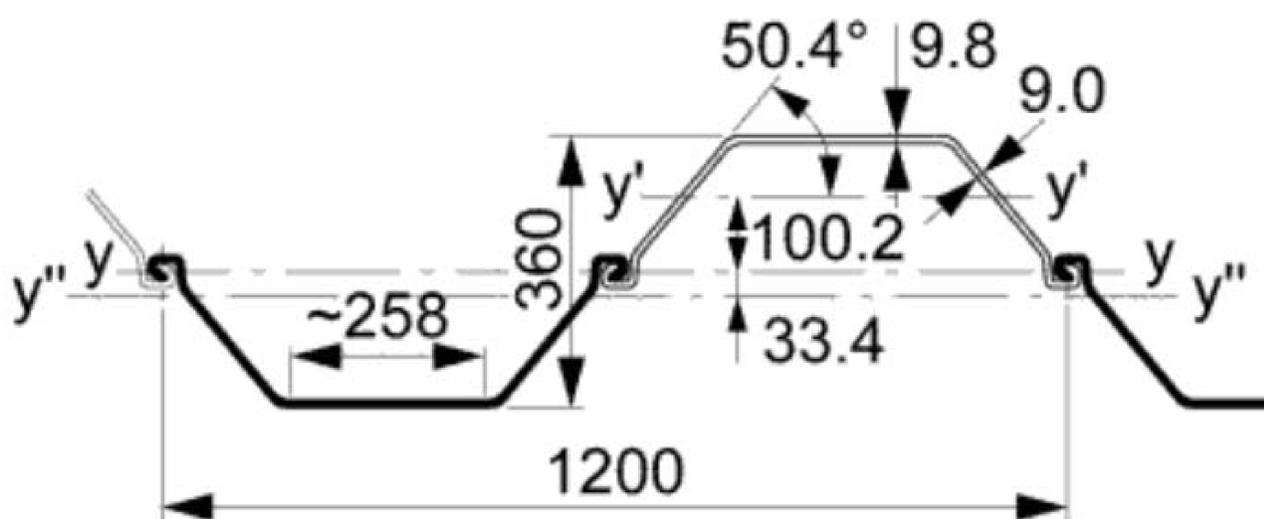


Figura 7 – Sezione di riferimento scavo per opera IN01

3.3 Dettagli Palanca PU-12

Come detto, per garantire la stabilità dello scavo per la realizzazione dell'opera IN01, si deve prevedere l'utilizzo di una palanca. Nei successivi capitoli lo scavo sarà verificato con la presenza di una palanca modello PU-12 realizzata con acciaio S235. Di seguito si riportano le proprietà geometriche della sezione della palanca.

PU 12



	Area della sezione	Massa per m	Momento d'inerzia	Modulo di resistenza elastico	Raggio giratore d'inerzia	Superficie di rivestimento*
	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm	m ² /m
Per S	84,2	66,1	4500	370	7,31	0,80
Per D	168,4	132,2	25920	1440	12,41	1,59
Per T	252,6	198,3	36060	1690	11,95	2,38
Per m di muro	140,0	110,1	21600	1200	12,41	1,32

Figura 8 – Dettagli palanca PU-12

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A	FOGLIO 12 DI 53

4 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Ai fini della caratterizzazione geotecnica si esaminano le prove eseguite in foro dei sondaggi S01 ed S02 ed i risultati di laboratorio disponibili. Nella seguente figura si riportano le posizioni dei sondaggi e le sezioni di interesse per le verifiche geotecniche.



Figura 9 – Posizione Indagini S01 e S02 e sezioni di interesse per le verifiche geotecniche

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A

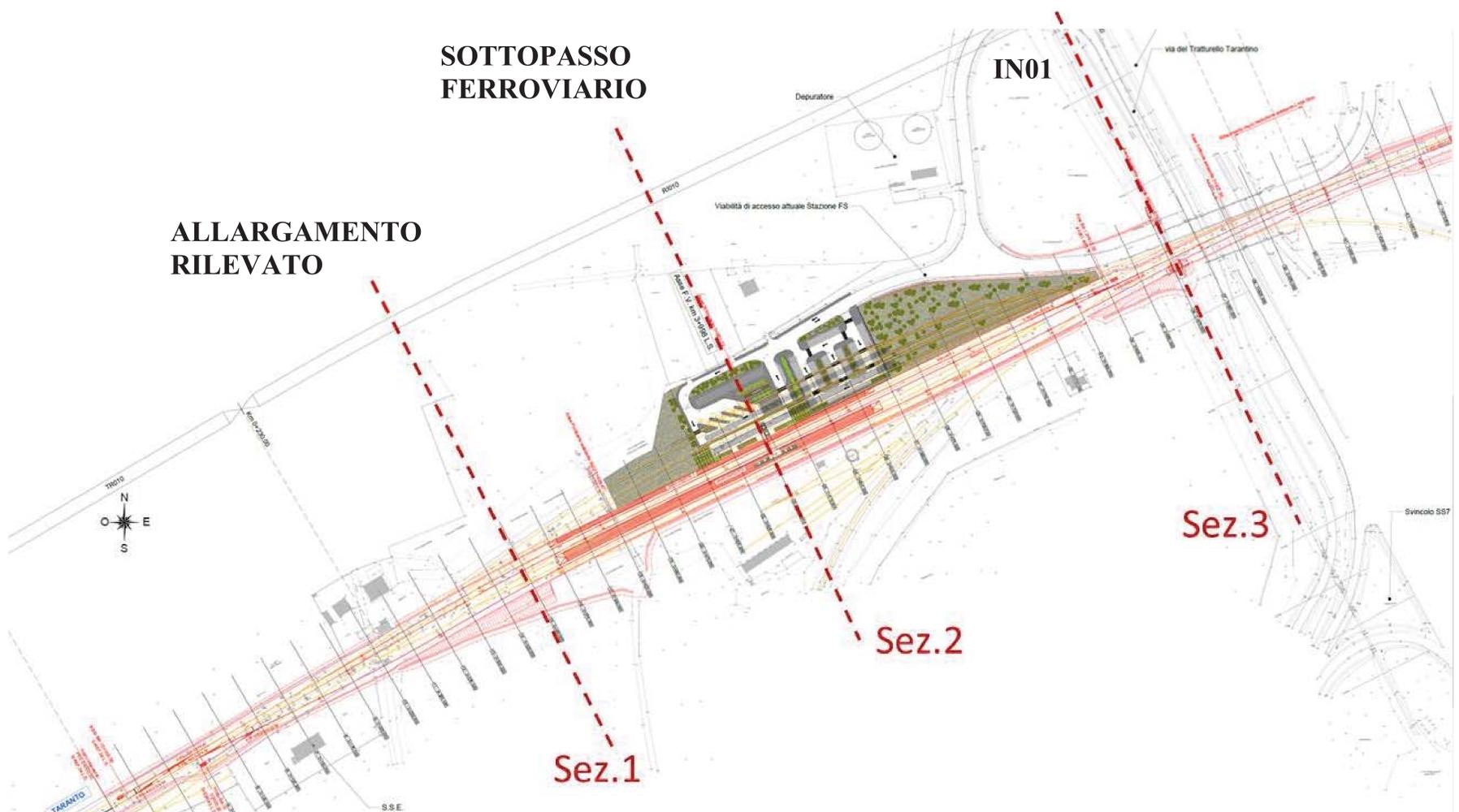


Figura 10 – Planimetria di progetto con sezioni

Il sottosuolo risulta essere interessato, per le profondità di interesse da spessori significativi di terreni di natura coesiva (mediamente sino a 15m dal p.c.) per cui per essi sarà necessario esprimere i parametri di resistenza de deformabilità sia in termini di tensioni totali che efficaci. Per ulteriori dettagli si rimanda alla relazione geotecnica, vedi [21].

Riferendosi al modello geologico del sito descritto nella relazione geologica di riferimento, vedi [20], si evidenzia che, anche sulla base dei dati geotecnici esperiti, la successione litotecnica di progetto può essere rappresentata dalle seguenti unità geotecniche:

Unità 1

Fino a profondità di circa 2m per il settore di interesse, è rilevata un'unità di natura incoerente composta da sabbie medio-fini limose, di natura carbonatica con sparsa sabbia grossa, da poco a mediamente addensata; appartenente alla formazione delle *Calcareniti di Monte Castiglione*; superficialmente è individuabile un terreno antropico di

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A

riporto granulometricamente assimilabile a limo e sabbia ghiaiosa, di colore scuro, di spessore indicativo sino a 0.5m per il settore di interesse.

Con riferimento, infine, alla stima di un valore dell'angolo di attrito di stato critico (angolo volume costante), nella tabella riassuntiva dei parametri geotecnici si fornisce una stima del valore medio dell'angolo di attrito a volume costante, calcolato con riferimento all'approccio introdotto in par. 6.1.

Unità 1		
ϕ_{cv}	24.0	[°]
γ	18.9	[kN/m ³]
H	1.25	[m]
σ'_{vo}	23.6	[Kpa] pressione geostatica media ricorrente
σ'_n	15.3	[Kpa] livello tens. medio a rottura $(\sigma'_{vo}+2\sigma'_h)/3$
Dr	0.40	
Ir	1.8	Indice di dilatanza (Bolton, 1986)
Q	10.0	
ϕ_{picco}	32.9	[°] ($\phi_p = \phi_{cv} + 5 \times Ir$)

Unità 2

Fino ad una profondità variabile da 13.5 a 17.20m dal p.c. (mediamente 15m circa), è rappresentata da unità coesiva (argille limose) ascrivibile alla formazione delle Argille di Bradano (Argille Subappennine), talora con presenza sporadica sabbiosa (debolmente sabbiosa); dal punto di vista geotecnico e funzionale (ai fini della sicurezza) al progetto, si è distinta tale unità in tre sotto-unità in relazione alla consistenza (da consistente a molto/estremamente consistente) e delle proprietà meccaniche esperite in sede di laboratorio e da prove in situ, laddove le prove (edometrica e rigidità del suolo da prove MASW) segnalano variazioni apprezzabili del parametro di deformabilità di lungo termine (modulo edometrico) nella fattispecie, unitamente al parametro di resistenza non drenata.

Unità 3

Fino ad una profondità variabile da 17.2 a 20.5m dal p.c. (mediamente 19m circa), è rappresentata da un'unità incoerente composta da sabbie medio-fini con presenza di livelli limo-argillosi, di natura carbonatica appartenenti alla *formazione delle Argille di Bradano (Argille Subappennine)*, mediamente addensate. A questo riguardo, e come per la precedente unità geotecnica incoerente (unità1), nella tabella riassuntiva dei parametri geotecnici si fornisce una stima del valore medio dell'angolo d'attrito a volume costante calcolato con riferimento all'approccio introdotto in par. 6.1.



PROGETTO DEFINITIVO

Linea Taranto – Brindisi

NUOVA STAZIONE DI NASISI

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA8E	00	D 78 RH GE0006 002	A	15 DI 53

Unità 3	
ϕ_{cv}	28.0 [°]
γ	19.5 [kN/m ³]
H	17 [m]
σ_{vo}	290.0 [Kpa] pressione geostatica media ricorrente
σ'_n	181.7 [Kpa] livello tens. medio a rottura $(\sigma'_{vo}+2\sigma'_h)/3$
Dr	0.50
Ir	1.2 Indice di dilatanza (Bolton, 1986)
Q	10.0
ϕ_{picco}	34.2 [°] ($\phi_p = \phi_{cv} + 5 \times Ir$)

Unità 4

Da 17.2 a 20.5m dal p.c. (mediamente 19m circa), è rappresentata un'unità geotecnica rappresentata da sabbie ghiaiose con presenza di livelli limosi; talora con apprezzabile presenza di ghiaie (oltre i 25m – vds. Sondaggio S02); talora con debole grado di cementazione; l'unità è di natura carbonatica e facente parte della medesima formazione geologica della precedente unità. Lo stato di addensamento è da addensato a molto addensato. Anche in questo caso, si fornisce una stima del valore medio conferibile per l'angolo di attrito a volume costante, determinato con riferimento all'approccio introdotto in par. 6.1.

Unità 4	
ϕ_{cv}	32.0 [°]
γ	19.5 [kN/m ³]
H	22 [m]
σ_{vo}	340.0 [Kpa] pressione geostatica media ricorrente
σ'_n	188.1 [Kpa] livello tens. medio a rottura $(\sigma'_{vo}+2\sigma'_h)/3$
Dr	0.70
Ir	2.1 Indice di dilatanza (Bolton, 1986)
Q	10.0
ϕ_{picco}	42.5 [°] ($\phi_p = \phi_{cv} + 5 \times Ir$)

Tutto ciò premesso ed in considerazione degli interventi previsti nell'ambito del progetto definitivo, della disponibilità/rappresentatività dei dati geognostici esperiti (misure dirette), si ritiene che il volume significativo possa essere rappresentato dalle unità geotecniche sinora descritte e riassunte in figura seguente, fino alla profondità rappresentativa di 25m p.c., da ritenersi adeguata alle esigenze di progetto.

La falda è rinvenuta a quota -13m circa dal p.c., ovvero 1.5m circa al di sopra della quota s.l.m.

Considerando la posizione dei sondaggi e la morfologia del terreno, per la Sezione 2 (in corrispondenza del sottopasso ferroviario, vedi Figura 9) vale la stratigrafia riportata nella seguente Tabella.



PROGETTO DEFINITIVO

Linea Taranto – Brindisi

NUOVA STAZIONE DI NASISI

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA8E	00	D 78 RH	GE0006 002	A	16 DI 53

STAZIONE NASISI - MODELLO GEOTECNICO															
Unità geotecniche	Descrizione	z iniz (m da p.c.)	z fin (m da p.c.)	spessore (m)	Peso di volume (kN/m ³)	Tipo di terreno	Densità relativa (%)	Angolo di resistenza al taglio ϕ' (°)	Angolo di resistenza al taglio ϕ'_{cv} (°)	C' (kPa)	Cu (kPa)	Modulo elastico Eop (MPa)	Modulo edometrico (MPa)	Modulo Eu (non drenato) (MPa)	K media (m/s)
R	Riperto antropico (corpo stradale)	0	0.5	0.5	18	GG	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	Sabbie medio-fini limose da poco a mediam. addensate	0.5	2	1.5	19.5	GG	40 - 50	32 - 34	24 - 25	-	-	12 - 18	-	-	-
2a	Argille limose deb. sabbiose ed argille limose e/o con limo con sporadiche lamine sabbiose e, talora, rare screziature organiche. Da consistente a molto consistente	2	7.5	5.5	19.5	GF	-	24 - 25	-	5 - 10	80 - 100	-	8 - 12	50 - 70	3.50E-09
2b	Argille limose deb. sabbiose ed argille limose e/o con limo con sporadiche lamine sabbiose, talora rare screziature organiche. Consistenti	7.5	11.5	4	19.5	GF	-	24 - 25	-	5 - 10	70 - 80	-	6 - 8	30 - 50	7.00E-09
2c	Argille limose deb. sabbiose ed argille limose e/o con limo con sporadiche lamine sabbiose e, talora, rare screziature organiche. Molto consistenti.	11.5	15	3.5	19.5	GF	-	24 - 25	-	20 - 30	140 - 160	-	10 - 14	90 - 110	7.00E-09
3	Sabbia mediofine limosa e/o limo e sabbia mediamente addensata	15	19	4	20	GG	50	33 - 35	27 - 29	-	-	20 - 30	-	-	6.50E-07
4	Sabbia ghiaiosa e limosa con frazione sabbiosa da fine a medio-grossa; presenza di ghiaia arrotondata/subarrotondata. Molto addensato	19	25	6	20	GG	70	40 - 42	31 - 33	-	-	60 - 80	-	-	1.50E-07

Figura 11 – Modello geotecnico ai fini delle analisi di progetto

Per quanto riguarda la Sezione 1 e la Sezione 3 si considera la presenza di un rilevato con altezza variabile, realizzato sul terreno naturale coesivo Unità 2. La stratigrafia riportata nella tabella precedente risulta valida anche per queste sezioni partendo dall'Unità 2a posta subito sotto il rilevato e proseguendo con le altre unità mantenendo validi gli spessori indicati in tabella, a titolo di esempio si riporta la stratigrafia utilizzata per l'opera IN01.

Infine, per il rilevato si considera la seguente caratterizzazione:

- Rilevato esistente: $\phi' = 30^\circ$ $c' = 0$ kPa $\gamma = 19.5$ kN/m³
- Nuovo rilevato: $\phi' = 38^\circ$ $c' = 0$ kPa $\gamma = 20$ kN/m³

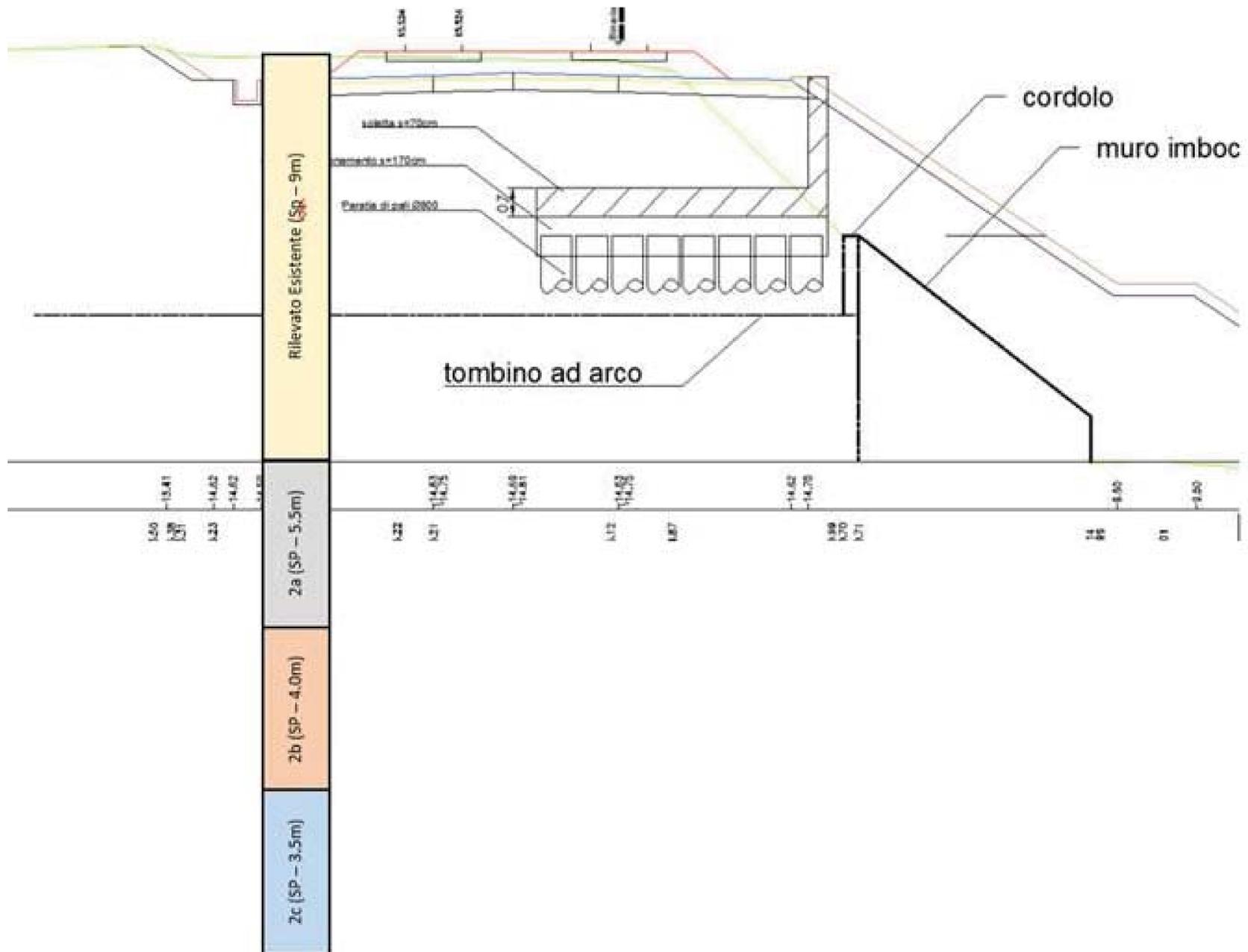


Figura 12 – Stratigrafia valida per l'opera IN01

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A	FOGLIO 18 DI 53

5 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Secondo quanto riportato nelle nuove “Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC-2018) è necessario controllare la presenza di strati di terreno sabbiosi che possono essere potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

La suscettibilità alla liquefazione è stata valutata ricavando il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione dato dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione (stato di sforzo critico associato alla condizione di liquefazione) e la sollecitazione indotta dall’azione sismica. Si definisce il rapporto di resistenza ciclica CRR, ovvero il parametro tensionale normalizzato rispetto alla tensione verticale efficace agente alla profondità esaminata, mentre CSR è il rapporto di tensione ciclica.

Come riportato nella seguente scheda di verifica la verifica di suscettibilità sismica risulta essere abbondantemente soddisfatta, con $CRR/CSR=4.13 \gg 1$. Per ulteriori dettagli si rimanda alla Relazione Geotecnica, vedi [21].



PROGETTO DEFINITIVO

Linea Taranto – Brindisi

NUOVA STAZIONE DI NASISI

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA8E	00	D 78 RH GE0006 002	A	19 DI 53

Verifica alla liquefazione da SPT

a_{max}/g al p.c.		0.153	Accelerazione di picco al piano campagna
σ_v	(tensione totale alla prof. considerata)	320 [kPa]	
σ'_v	(tensione efficace alla prof. considerata)	288 [kPa]	
z	(profondità considerata)	16.5 [m]	
	rd_M	0.57	
CSR	(rapporto di tensione ciclica)	0.063	
	Magnitudo	5.13 (http://esse1-gis.mi.ingv.it/)	LAT. 40.50824 - LONG. 17.2589111,314
	rapporto MSF ($CSR_M/CSR_{M=7,5}$)	1.8 1.863171	

Valutazione del rapporto di resistenza ciclica CRR da prove NSPT

Nspt		18																					
CN	0.565522074	0.57	(Boulangier e Idriss, 2004 - sull'esponente, vedi linee guida AGI pag.352)																				
CE		1	(Cestari, 1994 - vedi linee guida AGI pag.352)																				
CB		1																					
CR		1																					
CS		1																					
(N1)60	(valore normalizzato e corretto)	10.19																					
(N1)60 cs		15.77																					
	(si corregge il valore per la presenza del contenuto di fine FC che determina un aumento di CRR)																						
FC	(contenuto percentuale di fine)	49.0 %	0,075 mm vaglio 200																				
			<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Dr</td> <td>0.40</td> <td>inserire</td> </tr> <tr> <td>Cα</td> <td>0.097561</td> <td>0.097561</td> </tr> <tr> <td>Kσ</td> <td>0.896801</td> <td>0.896801</td> </tr> </tbody> </table>	Dr	0.40	inserire	C α	0.097561	0.097561	K σ	0.896801	0.896801											
Dr	0.40	inserire																					
C α	0.097561	0.097561																					
K σ	0.896801	0.896801																					
			<table border="1"> <tbody> <tr> <td>α</td> <td>0.2</td> <td>(0,1÷0,3)</td> <td>a</td> <td>0.789373</td> </tr> <tr> <td>Q</td> <td>10</td> <td>quarz</td> <td>b</td> <td>0.066047</td> </tr> <tr> <td>ξ_R</td> <td>-0.28817</td> <td></td> <td>c</td> <td>0.264</td> </tr> <tr> <td>Kα</td> <td>0.985466</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	α	0.2	(0,1÷0,3)	a	0.789373	Q	10	quarz	b	0.066047	ξ_R	-0.28817		c	0.264	K α	0.985466			
α	0.2	(0,1÷0,3)	a	0.789373																			
Q	10	quarz	b	0.066047																			
ξ_R	-0.28817		c	0.264																			
K α	0.985466																						
CRR	(Boulangier e Idriss - linee guida AGI pag.353)	0.163656																					
FSL	CRR / CSR	4.13	VERIFICATO																				
Coefficiente di sicurezza																							

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A

6 VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Secondo quanto previsto dalla normativa vigente, la pericolosità sismica dei siti è valutata in maniera probabilistica in relazione all'evento sismico di riferimento, definito sulla base dei risultati degli studi di microzonazione sismica e delle caratteristiche stratigrafiche e topografiche dell'area studiata.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale. Tale operazione può essere fatta con riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione delle categorie di sottosuolo di riferimento in accordo a quanto indicato nel § 3.2.2 delle NTC2018, sulla base dell'inquadramento del sito di interesse nel reticolo sismico nazionale



Figura 13 – Stazione di Nasisi: inquadramento reticolo sismico

Come richiesto dalle NTC, le categorie di suolo sono determinate sulla base dei risultati delle prove geofisiche tipo MASW eseguite nell'ambito del presente progetto.

Nel caso specifico, sulla base dei risultati della prova HVSR, vedi [21], i terreni di progetto possono ritenersi appartenere alla categoria di sottosuolo **C** per un valore di $V_{s,eq}$ è pari a **335m/s** con il substrato roccioso posto a profondità superiore a 30m: “*Depositi di terreni a grana mediamente addensati o a grana fina mediamente consistenti*”, caratterizzato da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A

In condizioni topografiche superficiali semplici si può adottare la classificazione proposta nelle NTC, secondo la quale le categorie individuate si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m. Nella fattispecie, l'area interessata risulta classificabile come **T1**: “*superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$* ”.

Per quanto premesso, a seguire, si forniscono i parametri sismici con riferimento alla destinazione d'uso delle opere in progetto (vita nominale V_N e Classe d'uso)

Le opere in oggetto previste nella stazione sono classificate come “*costruzione con livelli di prestazioni ordinarie*” e caratterizzate da una vita nominale di **50** anni. In relazione alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, l'opera appartiene alla classe d'uso **III**: “*Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi, industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso*”.

Pertanto, il coefficiente d'uso C_U è pari a 1.50 ed il periodo di riferimento $V_R = V_N * C_U = 50 * 1.5 = 75.0$ anni.



Figura 14– Parametri sismici di progetto: determinazione dell'azione di progetto

Parametri indipendenti		Punti dello spettro di risposta	
STATO LIMITE	SLV	T [s]	Se [g]
a_g	0.093 g	0.000	0.139
F_o	2.627	T_B ← 0.179	0.366
T_C^*	0.369 s	T_C ← 0.538	0.366
S_S	1.500	0.606	0.324
C_C	1.459	0.675	0.292
S_T	1.000	0.743	0.265
q	1.000	0.811	0.243
		0.879	0.224
		0.948	0.208
		1.016	0.194
		1.084	0.182
		1.152	0.171
		1.221	0.161
		1.289	0.153
		1.357	0.145
		1.425	0.138
		1.493	0.132
		1.562	0.126
		1.630	0.121
		1.698	0.116
		1.766	0.111
		1.835	0.107
		1.903	0.103
		T_D ← 1.971	0.100
		2.068	0.091
		2.164	0.083
		2.261	0.076
		2.358	0.070
		2.454	0.064

Parametri dipendenti	
Parametro	Valore
S	1.500
η	1.000
T_B	0.179 s
T_C	0.538 s
T_D	1.971 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$S = S_S \cdot S_T$ (NTC-08 Eq. 3.2.5)

$\eta = \sqrt{10 / (5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q$ (NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5)

$T_B = T_C / 3$ (NTC-07 Eq. 3.2.8)

$T_C = C_C \cdot T_C^*$ (NTC-07 Eq. 3.2.7)

$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$ (NTC-07 Eq. 3.2.9)

Figura 15 – Parametri sismici di progetto: parametri per lo Stati Limite SLV

I parametri spettrali di riferimento per lo scenario in esame sono richiamati di seguito.

a_g (g) (SLV)	0.093
Risposta Sismica Locale	
Coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S	1.5
Coefficiente di amplificazione topografica S_T	1.0
Accelerazione massima attesa al suolo	
a_{max} (g) ($a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$)	0.1395g

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A	FOGLIO 23 DI 53

7 CRITERI DI VERIFICA DEL RILEVATO FERROVIARIO IN ACCORDO ALLE NTC2018

In base a quanto indicato dalle NTC2018 le verifiche di sicurezza che devono essere condotte per opere costituite da materiali sciolti sono le seguenti.

7.1 Verifiche Stati Limite Ultimi in campo statico

Le verifiche di stabilità in campo statico di opere in materiali sciolti, quali rilevati, devono essere eseguite secondo il seguente approccio:

Approccio 1 - Combinazione 2: A2 + M2 + R2 tenendo conto dei coefficienti parziali definiti in Tabella 3, Tabella 4 e Tabella 5 (rispettivamente Tab.6.2.I, Tab.6.2.II e Tab.6.8.I del Doc. [1]). La verifica di stabilità globale si ritiene soddisfatta se:

$$\frac{R_d}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{\frac{1}{\gamma_R} \cdot R}{E_d} \geq 1 \Rightarrow \frac{R}{E_d} \geq \gamma_R$$

essendo R la resistenza globale del sistema (Par. C.6.8.6.2 del Doc. [1]), calcolata sulla base delle azioni di progetto, dei parametri di progetto e della geometria di progetto

$$R = R \left[\gamma_F \cdot F_k; \frac{X_k}{\gamma_m}; a_d \right].$$

Facendo riferimento a quanto previsto al p.to 3.5.2.3.8 del Manuale di Progettazione RFI DINIC MA CS 00 001 C, parte IV, per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali definiti in Tabella 1 (Tab. 6.2.I del Doc. Rif. [1]) e i coefficienti di combinazione ψ definiti in Tabella 2 e Tabella 3 (Tab. 5.2.VI e Tab. 5.2.VII del Doc. Rif. [1]).

Tabella 1: Coefficienti parziali sulle azioni (Tab. 6.2.I del Doc. Rif. [1])

Tab. 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

In Tabella 1 il significato dei simboli è il seguente:

γ_{G1} = coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;

γ_{G2} = coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili.

Tabella 2: Coefficienti di combinazione ψ delle azioni (Tab. 5.2.VI del Doc. [1])

Tab. 5.2.VI - Coefficienti di combinazione Ψ delle azioni

Azioni		ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
da traffico	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
	gr_1	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
Gruppi di	gr_2	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	-
carico	gr_3	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽¹⁾	0,0
	gr_4	1,00	1,00 ⁽¹⁾	0,0
Azioni del vento	F_{Wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
neve	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Azioni termiche	T_k	0,60	0,60	0,50

⁽¹⁾ 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.
⁽²⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle az

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A

Tabella 3: Coefficienti di combinazione ψ delle azioni (Tab. 5.2.VII Doc. [1])

	Azioni	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole da traffico	Treno di carico LM 71	0,80 ⁽³⁾	⁽¹⁾	0,0
	Treno di carico SW /0	0,80 ⁽³⁾	0,80	0,0
	Treno di carico SW/2	0,00 ⁽³⁾	0,80	0,0
	Treno scarico	1,00 ⁽³⁾	-	-
	Centrifuga	⁽²⁾ ⁽³⁾	⁽²⁾	⁽²⁾
	Azione laterale (serpeggio)	1,00 ⁽³⁾	0,80	0,0

⁽¹⁾ 0,80 se è carico solo un binario, 0,60 se sono carichi due binari e 0,40 se sono carichi tre o più binari.
⁽²⁾ Si usano gli stessi coefficienti ψ adottati per i carichi che provocano dette azioni.
⁽³⁾ Quando come azione di base venga assunta quella del vento, i coefficienti ψ_0 relativi ai gruppi di carico delle azioni da traffico vanno assunti pari a 0,0.

Tabella 4: Coefficienti parziali sui terreni (M1 ed M2) - (Tab. 6.2.II, del Doc. [1])

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	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_γ	γ_γ	1,0	1,0

Tabella 5 : Coefficienti parziali per le verifiche di stabilità globale (R2) in campo statico (Tab. 6.8.I, Doc. Rif. [1])

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A	FOGLIO 26 DI 53

7.2 Verifiche Stati limite di Esercizio

Deve essere verificato, mediante analisi effettuate impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali (Par. 6.5.3.2 del Doc. Rif. [1]), che gli spostamenti/cedimenti dell'opera in esame e del terreno circostante siano compatibili con la funzionalità della struttura e con la sicurezza e la funzionalità di manufatti adiacenti.

Nello specifico i valori soglia degli spostamenti totali sono definiti nel Manuale di Progettazione RFI Doc. Rif. [3]

7.3 Verifiche di sicurezza in campo sismico per opere in materiali sciolti

Le NTC 2018 stabiliscono differenti Stati Limite (sia d'Esercizio che Ultimi) in funzione, in primo luogo, dell'importanza dell'opera mediante l'identificazione della Classe d'Uso ed in funzione del danno conseguente ad un certo Stato Limite. In particolare, si definiscono i seguenti Stati Limite di Esercizio e Ultimi, come riportato al par. 3.2.1 del Doc. Rif. [1]:

Con riferimento all'opera in oggetto, le verifiche geotecniche in presenza di un evento sismico richiedono la verifica ai seguenti stati limite:

- Stato Limite Ultimo: SLV – Stato Limite di Salvaguardia della Vita (cui corrisponde una probabilità di superamento $P_{vr} = 10\%$ nel periodo V_r);

Le suddette probabilità, valutate nel periodo di riferimento V_r per l'azione sismica, consentono di determinare, per ciascuno stato limite, il tempo di ritorno del terremoto di progetto corrispondente.

Verifiche Stati limite ultimi (SLU)

Per tutte le verifiche l'azione sismica di progetto deve essere valutata sulla base degli Stati Limite relativi all'opera da verificare. Per l'opera in oggetto, le verifiche agli Stati Limite Ultimi verranno condotte con riferimento allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

Le verifiche di sicurezza agli SLU in campo sismico devono contemplare almeno le medesime verifiche definite in campo statico, 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 $\gamma_R = 1.2$. (vedasi Par.7.11.4 del Doc. Rif. [1]).

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A	FOGLIO 27 DI 53

Coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale

La verifica di stabilità globale in condizioni sismiche va condotta, in accordo a quanto riportato nel par.7.11.3.5.2 delle NTC2018, mediante analisi pseudo-statiche adottando i coefficienti sismici k_H (orizzontale) e k_V (verticale), definiti come segue:

$$k_H = \beta_s \cdot a_{\max}/g$$

$$k_V = \pm 0.5 \cdot k_H$$

essendo:

a_{\max} = accelerazione sismica di progetto, prima definita, qui assunto pari a 0.139g;

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito; il valore del coefficiente β_s da assumere per verifiche allo SLV su fronti di scavo o rilevati, è pari a $\beta_s = 0.38$.

Si ottengono pertanto i seguenti coefficienti per la verifica di stabilità globale allo SLV (Tabella 6):

Tabella 6: Valori dei coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale

a_{\max} (g)	k_H	k_V
0.139	0.053	± 0.027

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A	FOGLIO 28 DI 53

8 CRITERI DI VERIFICA SCAVO SOSTENUTO DA PALANCOLE

In base a quanto indicato dalle NTC2018 le verifiche di sicurezza che devono essere condotte per costruzioni e interventi atti a sostenere un corpo di terreno sono le seguenti.

8.1 Verifiche SLU di tipo geotecnico (GEO) – stabilità globale

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata allo stesso modo dei rilevati, vedi 7.1. In particolare, la verifica deve essere effettuata secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2 + M2 + R2) tenendo conto dei coefficienti parziali definiti in Tabella 3, Tabella 4 e Tabella 5 (rispettivamente Tab.6.2.I, Tab.6.2.II e Tab.6.8.I del Doc. [1]).

8.2 Verifiche SLU di tipo geotecnico (GEO) – collasso per rotazione attorno a un punto dell'opera

Per rotazione intorno a un punto dell'opera deve intendersi uno stato limite in cui si raggiungano le condizioni di equilibrio limite nel terreno interagente con l'opera e sia cinematicamente possibile, al raggiungimento della resistenza del terreno, un atto di moto rigido per la paratia. Le analisi devono essere condotte secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2 + M2 + R1), con coefficienti γ_R sulla resistenza globale (R1) unitari.

8.3 Verifiche SLU di tipo strutturale (STR) – raggiungimento della resistenza strutturale della paratia

Nelle verifiche nei confronti di stati limite per raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali, l'analisi deve essere svolta utilizzando l'Approccio 1 – Combinazione 1 (A1+M1+R1). Per le palancole si è optato di utilizzare il modello PU-12 (S235), vedi dettagli in Figura 8, per tanto si deve verificare che:

- FLESSIONE MONOASSIALE (RETTA)

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1$$

Dove la resistenza di progetto a flessione retta della sezione in esame vale:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el,min} \cdot f_{yk}}{\gamma_{M0}} = 269 \text{ kNm/m}$$

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A	FOGLIO 29 DI 53

- TAGLIO

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1$$

Dove la resistenza di progetto a taglio della sezione in esame vale:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot f_{yk}}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = 679 \text{ kN/m}$$

8.4 Verifiche di esercizio (SLE)

Nelle condizioni di esercizio, gli spostamenti dell'opera di sostegno devono essere valutati per verificarne la compatibilità con la funzionalità dell'opera e con la sicurezza e funzionalità dei manufatti adiacenti.

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A	FOGLIO 30 DI 53

9 CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI

9.1 Slide 7.0 Rocscience

Le verifiche geotecniche di stabilità globale del corpo di rilevato saranno condotte con il codice di calcolo numerico *Rocscience – Slide 7.0*.

Il software determina la superficie di scorrimento critica caratterizzata dal valore minimo del coefficiente di sicurezza, definito come il rapporto tra la resistenza di progetto del sistema R_d (momenti stabilizzanti) e l'azione di progetto E_d (momenti ribaltanti). Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento ai coefficienti parziali (A2+M2). Come da NTC 2018 la verifica SLU di stabilità globale è soddisfatta se la relazione:

$$FS > R2=1.1$$

Le verifiche saranno condotte facendo ricorso al metodo di Bishop modificato e al metodo di Morgenstern-Price.

9.2 Settle 3D - Rocscience

La determinazione del campo di spostamenti è stata svolta mediante l'utilizzo del codice di calcolo *Rocscience-Settle 3D*, che calcola gli incrementi di tensione nei terreni utilizzando il classico modello di terreno come mezzo elastico, omogeneo ed isotropo, assumendo i valori caratteristici sia sulle azioni che sui materiali.

Il calcolo dei cedimenti utilizza quindi le variazioni di tensione calcolate con questa ipotesi, e tenendo comunque conto delle diverse caratteristiche di deformabilità dei vari strati.

9.3 Paratie Plus - Harpaceas

Le verifiche geotecniche di stabilità della paratia saranno condotte con il codice di calcolo numerico *Paratie Plus*, che permette la modellazione, l'analisi e la verifica di opere di sostegno flessibili. In particolare, è possibile determinare il fattore di sicurezza rispetto alla stabilità della paratia a partire dalle risultanti delle spinte e determinare le azioni agenti sulla palancola nelle diverse fasi di scavo.

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A

10 CARATTERISTICHE DEL CORPO FERROVIARIO DI PROGETTO

10.1 Geometria del rilevato ferroviario in accosto

Si analizza la sezione di progetto numero 15 alla progressiva 0+350. La sezione è contraddistinta dalla presenza di tre binari di progetto. Per le sezioni con altezza superiore a 4.75m si prevede la realizzazione di due banche con l'esecuzione di una berma larga 2m. Al di sotto del rilevato è previsto uno scotico per uno spessore pari a 1m per le sezioni a 2 banche, mentre si prevede uno scotico pari a 0.5m per le sezioni a una sola banca. In figura seguente si riporta la sezione tipologica del rilevato ferroviario.

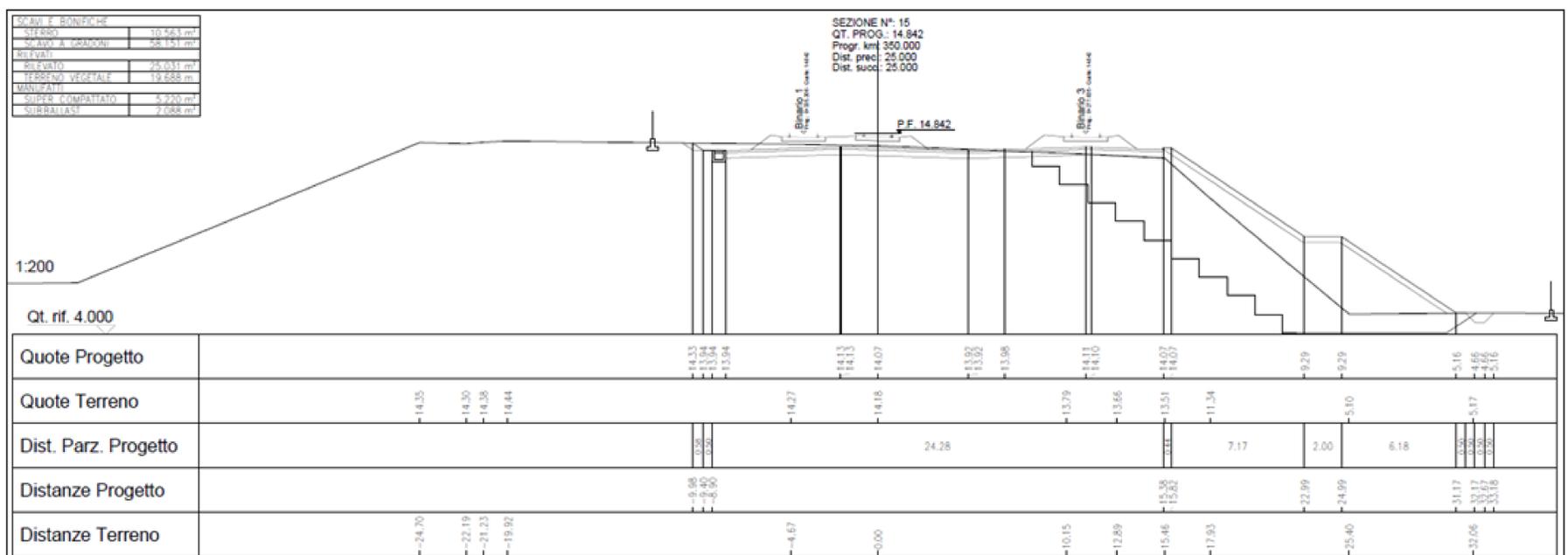


Figura 16: - Stralcio di sezione tipologica rilevato ferroviario in accosto

Le scarpate del rilevato sono rifinite con una finitura a verde di spessore pari a circa 30 cm. Il rilevato è finito in sommità con la realizzazione di uno strato di super compattato di spessore pari a 30cm, al di sopra del quale verrà realizzato il ballast, traversine ed armamento ferroviario.

10.2 Materiali e parametri geotecnici del rilevato

Il materiale costituente il corpo del rilevato sarà materiale a grana grossa con i valori minimi dei parametri caratteristici riportati nella seguente tabella.

Si segnala che, in via conservativa, in sede di calcolo lo strato di super compattato è stato caratterizzato con i medesimi parametri di resistenza del rilevato ferroviario ed inoltre, non è stato modellato lo strato di ballast ma introdotti i relativi pesi quali carichi permanenti; non le caratteristiche intrinseche di resistenza.

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A

Tabella 7: Parametri di resistenza geotecnici di calcolo – materiali costituenti il rilevato

STRATO	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace	
	γ_d	ϕ'_k	ϕ'_d M2	c'_k	c'_d M2
	[kN/m ³]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]
RILEVATO ESISTENTE	19.5	30	24.79	0	0
NUOVO RILEVATO	20	38	32	0	0

10.3 Carichi di progetto

I carichi di progetto considerati nelle analisi oggetto del presente documento sono i seguenti:

- Carico rappresentativo del pacchetto di armamento ferroviario (ballast, traversine, rotaie).
- Carico rappresentativo del traffico ferroviario.
- Carico da azione sismica.

L'armamento ferroviario (ballast) è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 14.4 kPa, rappresentativo di uno strato di spessore pari a circa 0.80m con un peso pari a 18kN/m³. Il carico è stato applicato sulla sommità del rilevato.

Per la definizione del sovraccarico da traffico ferroviario si sono valutate le pressioni equivalenti dovute sia al treno per traffico normale LM71 sia per quello da traffico pesante SW/2, secondo quanto definito sia dalle NTC2018 sia dal "Manuale di progettazione delle opere civili" (RFI DTC SI MA IFS 001 D del 20.12.2019).

In particolare, assumendo per il sovraccarico da traffico ferroviario il modello di carico LM71 (traffico normale). In base a quanto indicato nella specifica di riferimento si è definita la pressione equivalente secondo le seguenti considerazioni:

il carico dato dal treno LM71 risulta essere pari a 250kN ad asse, con interasse pari a 1.6m, (ossia $250/1.6 = 156.25\text{kN/m}$); per riportare il carico ferroviario dalla traversina, di larghezza pari a 2.4m, al piano al di sotto dell'armamento si è considerata una diffusione con pendenza 1:4. Pertanto, la pressione equivalente è stata valutata come applicata su una fascia di larghezza pari a 3m, centrata in corrispondenza dell'asse della linea ferroviaria (ossia $156.25/3 = 52.08 \text{ kPa}$). Per il tipo di traffico caratterizzante la linea (LM71), si è assunto un coefficiente di

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A	FOGLIO 33 DI 53

amplificazione α pari a 1.1. Pertanto, il valore di pressione risultante è pari a 57.29 kPa.

Assumendo per il sovraccarico da traffico ferroviario il modello di carico SW/2 (traffico pesante), si è definita la pressione equivalente secondo le seguenti considerazioni:

il carico dato dal treno SW/2 risulta essere pari a 150kN/m; in modo analogo a quanto detto sopra per riportare il carico ferroviario dalla traversina, di larghezza pari a 2.4m, al piano al di sotto dell'armamento si è considerata una diffusione con pendenza 1:4. Pertanto, la pressione equivalente è pari a $150/3 = 50$ kPa da amplificarsi, con un coefficiente a pari a 1. Il valore di pressione risultante è quindi pari a 50 kPa.

Alla luce di quanto sopra, si impiega il carico da treno tipo LM71.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto si rimanda al quanto già precedentemente trattato.

Tali carichi e sovraccarichi sono stati inseriti nelle diverse verifiche applicando laddove necessario gli opportuni coefficienti parziali di amplificazione e di combinazione come previsti dalla Normativa vigente.

Carichi ferroviari per le Verifiche SLU

Nelle verifiche di stabilità in condizioni statiche delle sezioni in rilevato sono stati applicati i seguenti carichi:

- Il carico del pacchetto di armamento ferroviario è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 14.4kPa su una lunghezza di 10m. Tale carico è di tipo permanente sfavorevole pertanto, in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2, il valore di calcolo assunto è pari a:

$$q_d = q_k \times \gamma_{Gi} [A2] = 14.4 \text{ kPa} \times 1.3 = 18.72 \text{ kPa};$$

- Il carico da traffico ferroviario (q), assunto pari a 61.38 kPa, è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita applicata in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie e diffuse sino all'intradosso del ballast. Tale sovraccarico è di tipo variabile/sfavorevole pertanto, in accordo al coefficiente parziale sulle azioni; il valore di calcolo è stato assunto pari a:

$$q_d = q_k \times \gamma_{Qi} [A2] = 57.29 \text{ kPa} \times 1.3 = 74.48 \text{ kPa}.$$

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A	FOGLIO 34 DI 53

Nelle verifiche di stabilità in condizioni sismiche delle sezioni in rilevato sono stati applicati i seguenti carichi:

- Il carico del pacchetto di armamento ferroviario è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 14.4 kPa. Tale carico è stato inserito nei calcoli col proprio valore caratteristico;
- Il carico da traffico ferroviario (q), sopra menzionato è moltiplicato per un coefficiente $\psi=0.2$ ed è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita applicata pari a:

$$q_d = 0.2q_k = 11.46 \text{ kPa.}$$

Carichi ferroviari per le Verifiche SLE

Infine, per quanto riguarda i carichi ferroviari per le verifiche SLE, nel calcolo dei cedimenti sono stati considerati i seguenti carichi:

- Il carico del pacchetto di armamento ferroviario è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 14.4 kPa in accordo a quanto specificato dalle NTC 2018 ($q_d = q_k = 14.4$ kPa);
- Viene omesso nell'analisi il sovraccarico da traffico ferroviario in accordo a quanto specificato in MdP RFI, Doc. Rif. [3].

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
	RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A

11 RILEVATO - VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE

Le verifiche SLU della stabilità globale del rilevato (sia in condizioni statiche che sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo *Slide 7.0 - Rocscience*. Le combinazioni di carico adottate nelle analisi fanno riferimento rispettivamente ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico e ai valori caratteristici per le analisi sismiche.

L'analisi di stabilità globale è stata finalizzata all'individuazione delle superfici di rottura tali da intercettare il carico ferroviario. Tra esse, è definita critica quella a cui corrisponde il fattore di sicurezza FS minimo. Come da NTC 2018, la verifica SLU di stabilità globale risulta soddisfatta quando la superficie di scivolamento più critica, tra tutte quelle cinematicamente possibili, ha un fattore di sicurezza pari almeno ad 1.1 in condizioni statiche e pari almeno a 1.2 in condizioni sismiche, ossia risultino soddisfatte le seguenti disuguaglianze:

- analisi statica: $Rd/Ed \geq \gamma R$ con $\gamma R=1.1$
- analisi sismica: $Rd/Ed \geq \gamma R$ con $\gamma R=1.2$

Come mostrato nelle seguenti immagini le verifiche risultano soddisfatte sia in condizione statica che in condizione sismica per entrambe le sezioni di riferimento:

- Sezione ad 1 banca, altezza massima pari a 4.75m
- Sezione a 2 banche con berma, altezza massima pari a 8.90m.

Nella seguente tabella si riassumono i fattori di sicurezza ottenuti e i risultati delle verifiche.

Tabella 8 – Risultati verifiche di stabilità globale dei rilevati in accosto

SEZIONE	CONDIZIONE	FS	VERIFICA
1 banca (H=4.75m)	Statica	1.108>1.1	OK
1 banca (H=4.75m)	Sismica	1.482>1.2	OK
2 banche (H=8.90m)	Statica	1.108>1.1	OK
2 banche (H=8.90m)	Sismica	1.311>1.2	OK

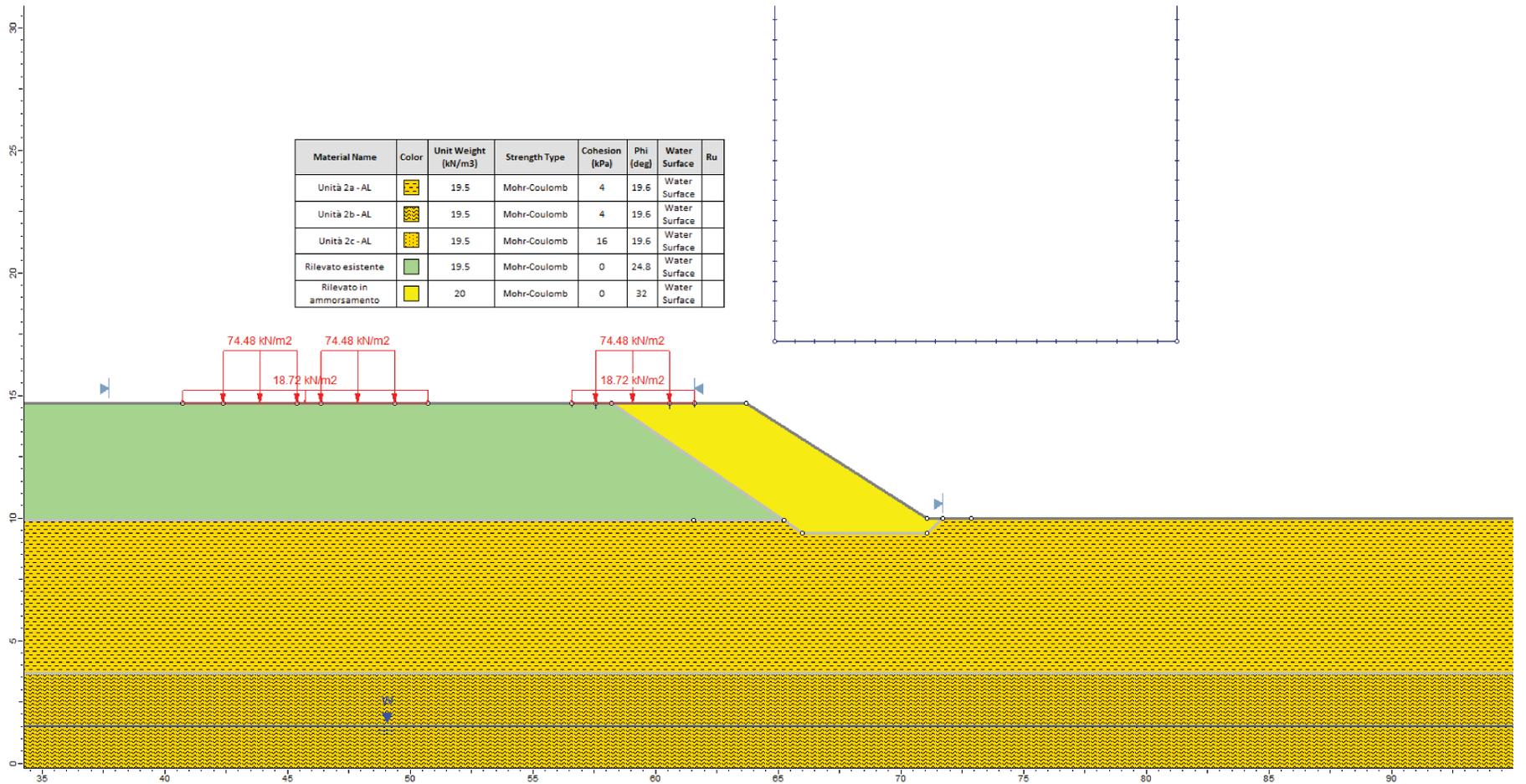


Figura 17 – Modello Slide – Rilevato 1 banca – Condizione Statica

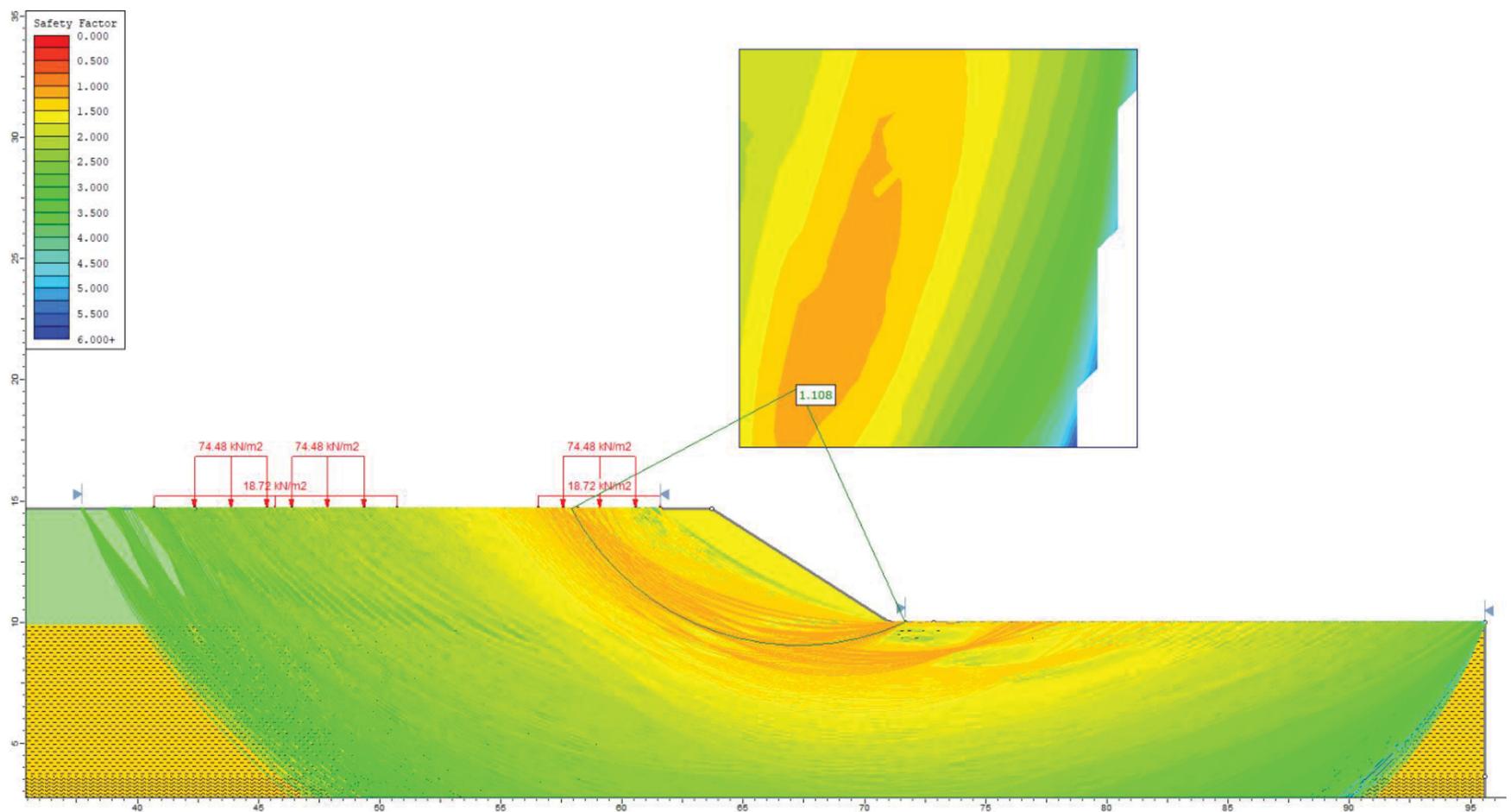


Figura 18 – Risultati Slide – Rilevato 1 banca – Condizione Statica – FS = 1.108 > 1.1

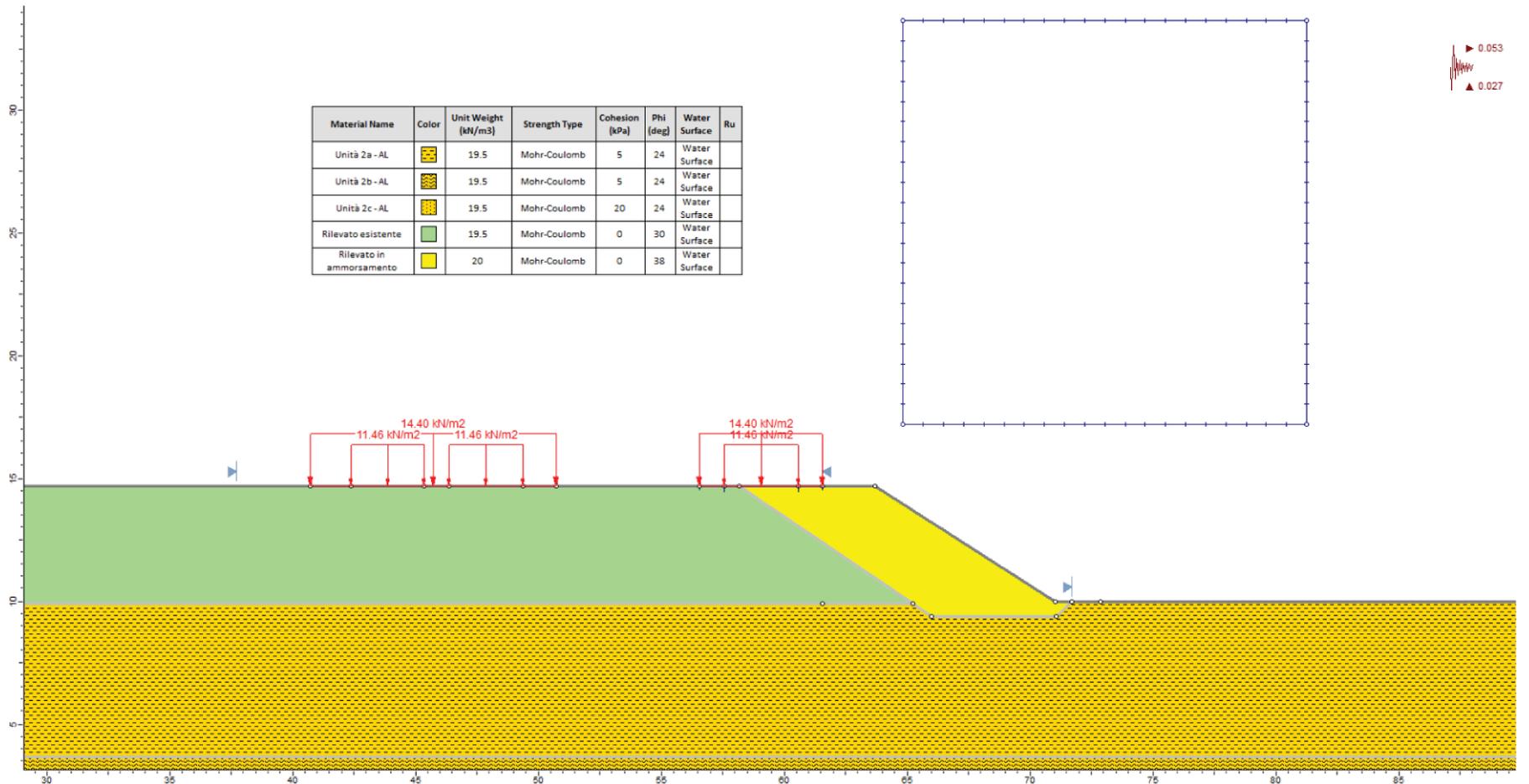


Figura 19 – Modello Slide – Rilevato 1 banca – Condizione Sismica

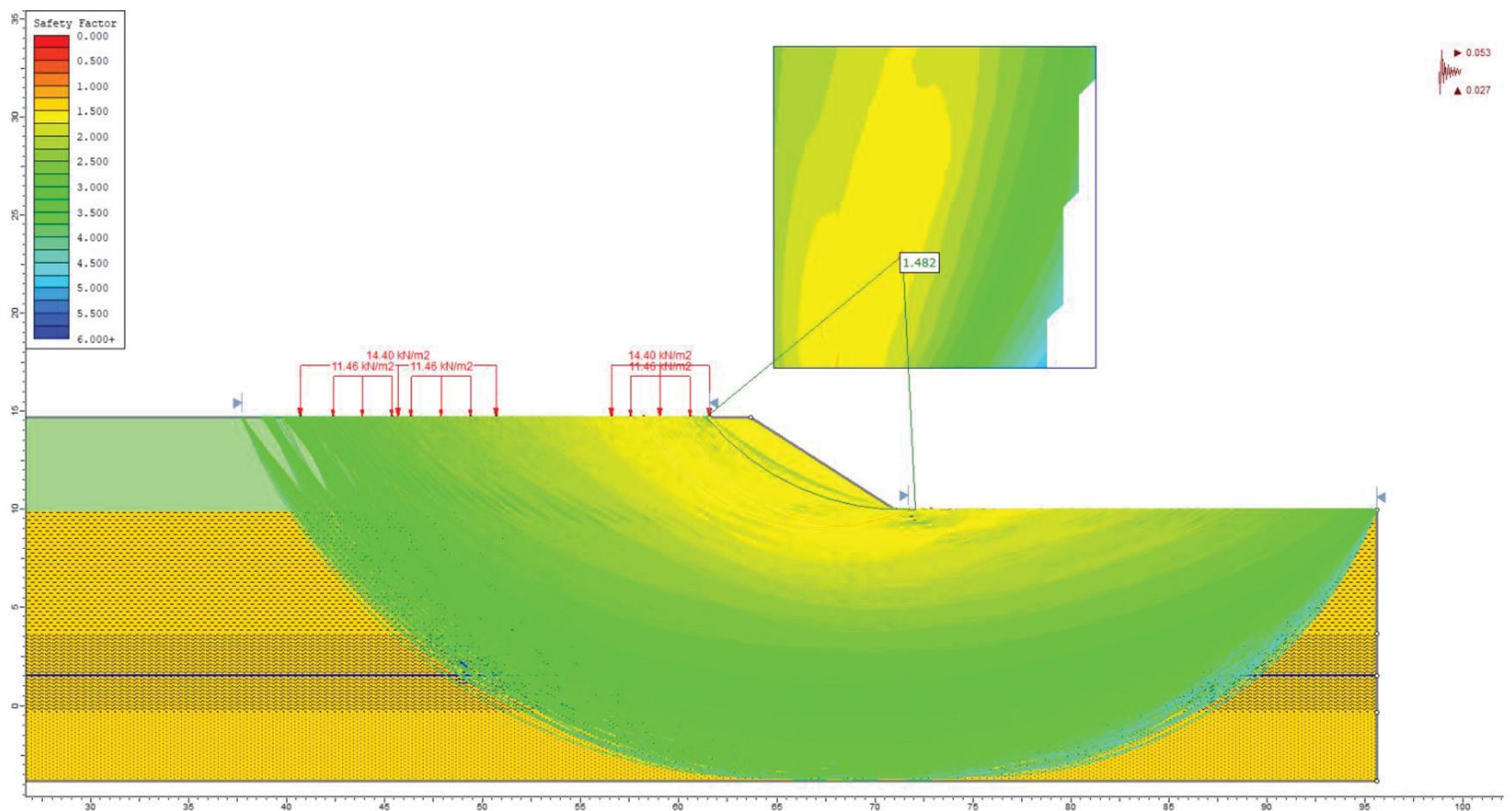


Figura 20 – Risultati Slide – Rilevato 1 banca – Condizione Sismica – FS = 1.482 > 1.2

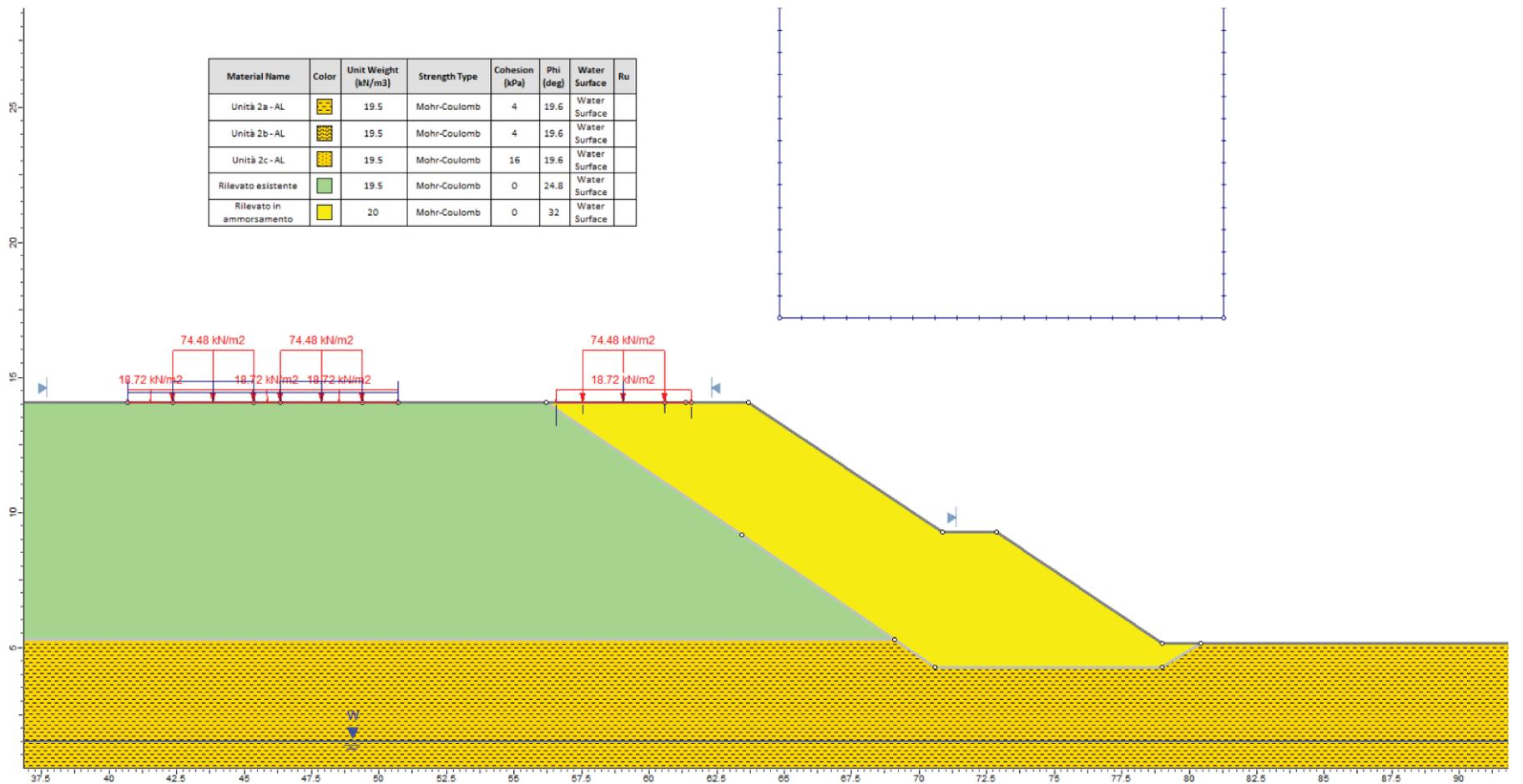


Figura 21 – Modello Slide – Rilevato 2 banche – Condizione Statica

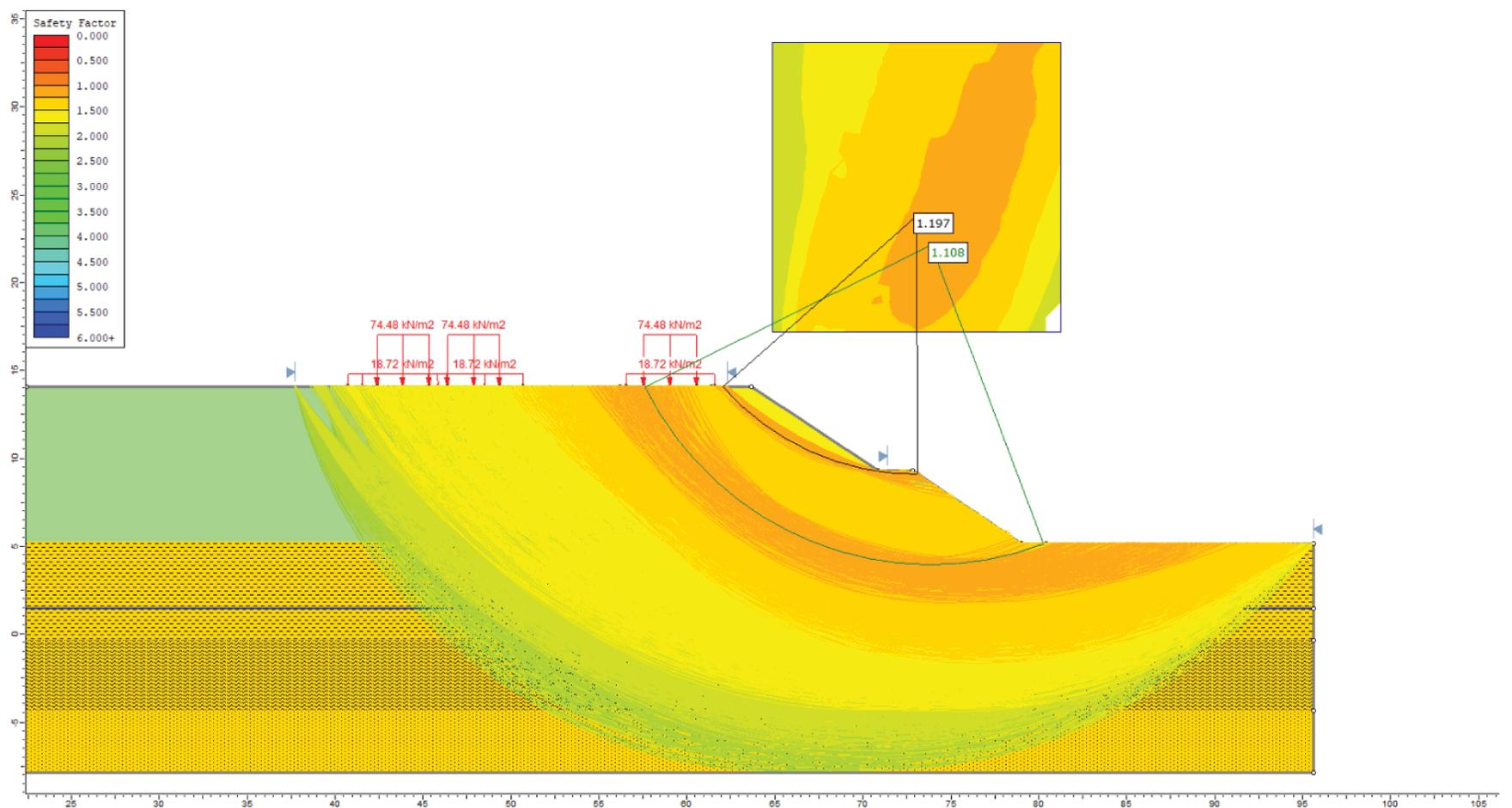


Figura 22 – Risultati Slide – Rilevato 1 banca – Condizione Statica – FS = 1.108 > 1.1

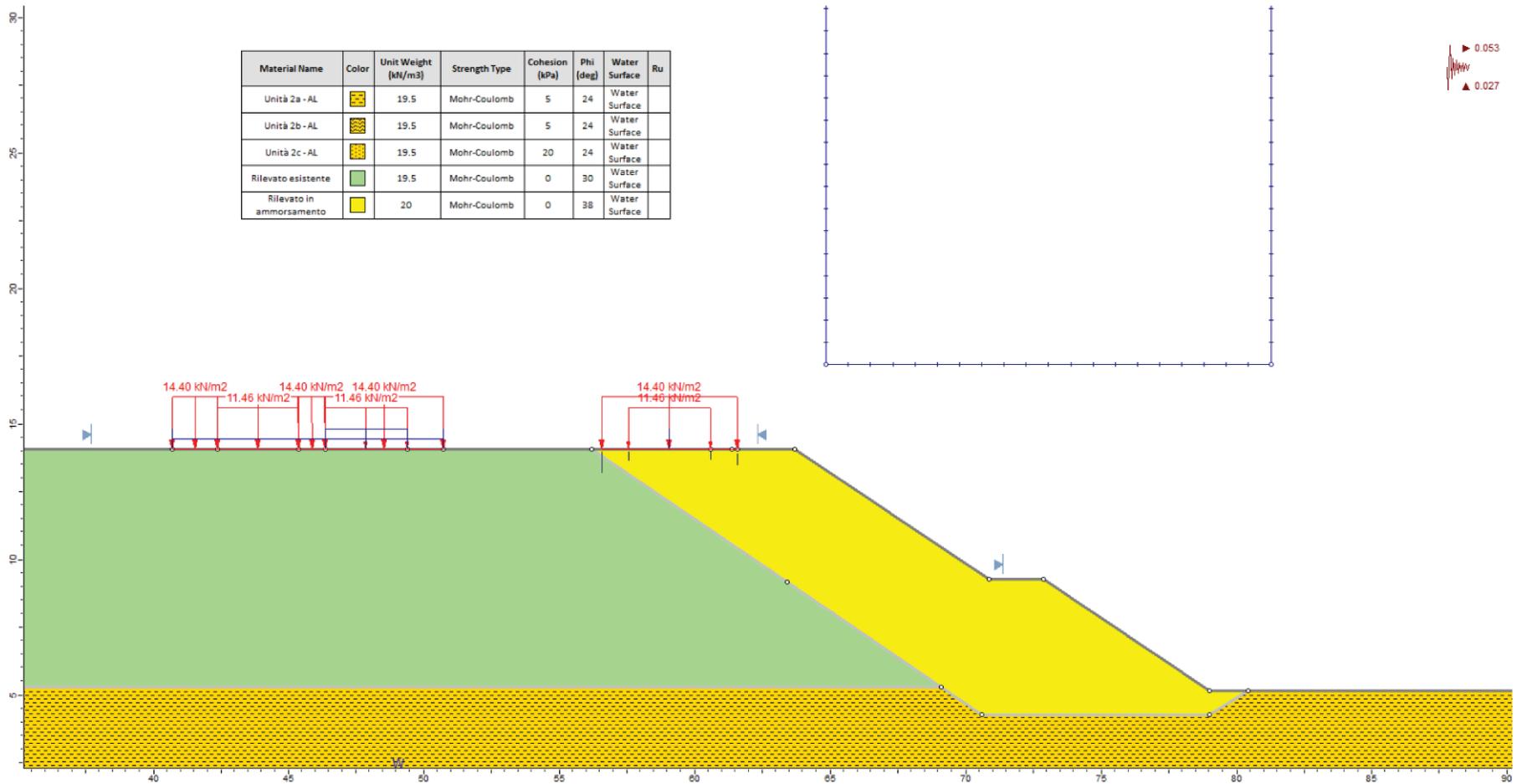


Figura 23 – Modello Slide – Rilevato 2 banche – Condizione Sismica

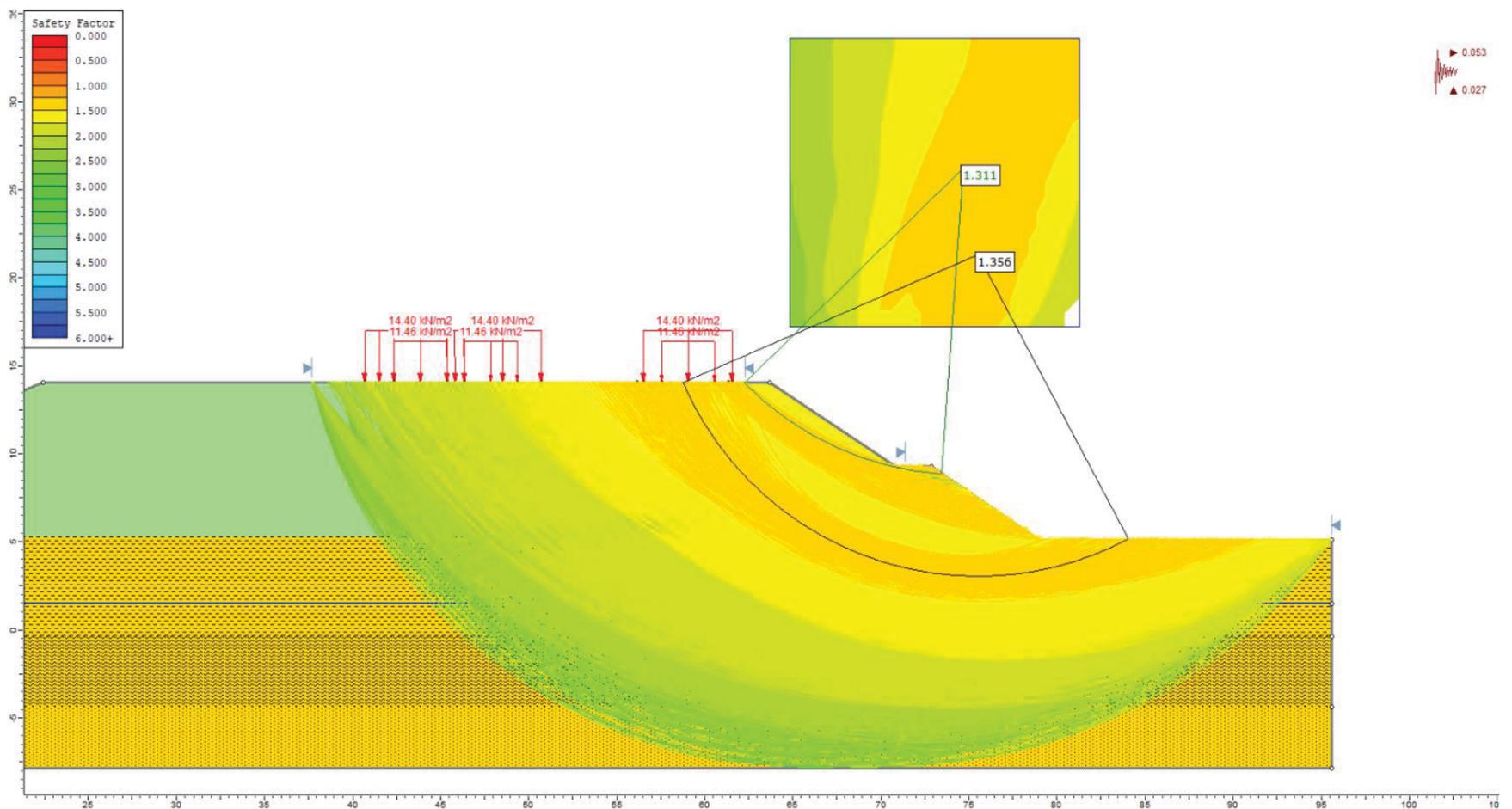


Figura 24 – Risultati Slide – Rilevato 1 banca – Condizione Sismica – FS = 1.311 > 1.2

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A	FOGLIO 40 DI 53

12 RILEVATO - VERIFICHE DEI CEDIMENTI

La verifica SLE dei possibili spostamenti (cedimenti) conseguibili a seguito della formazione del rilevato in accosto all'esistente piattaforma ferroviaria è stata condotta attraverso la determinazione del campo di spostamenti con il codice di calcolo *Rocscience-Settle 3D*, che calcola gli incrementi di tensione nei terreni utilizzando il classico modello di terreno come mezzo elastico, omogeneo ed isotropo, secondo la teoria di Boussinesq, assumendo i valori caratteristici sia sulle azioni che sui materiali. Il calcolo dei cedimenti utilizza quindi le variazioni di tensione calcolate con questa ipotesi, e tenendo comunque conto delle diverse caratteristiche di deformabilità delle varie unità geotecniche.

Il modello di analisi è organizzato secondo uno schema stratigrafico che riprende, la distribuzione stratigrafica delle unità geotecniche di calcolo descritte nel capitolo 4 e riportate nella seguente immagine (Figura 25). Si fa notare che il valore del coefficiente di compressibilità edometrica m_v è stato definito a partire dal valore del modulo edometrico M come segue:

$$m_v = \frac{1}{M}$$

Come sezione di riferimento si è scelta quella con altezza massima, riportata in Figura 5 (Sez. 15, pk 0+350).

Considerato l'approccio allo studio delle deformazioni indotte, si considerano due step di analisi non vincolate alla cronologia delle attività:

- Step 1: Realizzazione del rilevato esistente (Figura 26);
- Step 2: Realizzazione del nuovo rilevato in accosto e del ballast ferroviario (Figura 27).

Per le verifiche si sono estratti i campi di spostamento dalle due fasi di calcolo e si è valutata la differenza fra i due cedimenti al fine di determinare il cedimento totale atteso dovuto all'allargamento del rilevato e alla costruzione del ballast. I cedimenti totali risultano verificati essendo minori dei limiti previsti nel Manuale di Progettazione RFI [3]. Nella Figura 28 si mostra il campo di spostamenti totali calcolati alla fine del secondo step. In Figura 29 si riporta il diagramma dei cedimenti dovuti all'allargamento del rilevato e alla costruzione del ballast. Nella seguente tabella si riassumono i cedimenti attesi per i punti più significativi e le rispettive verifiche.

**PROGETTO DEFINITIVO****Linea Taranto – Brindisi****NUOVA STAZIONE DI NASISI****RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI**

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA8E	00	D 78 RH	GE0006 002	A	41 DI 53

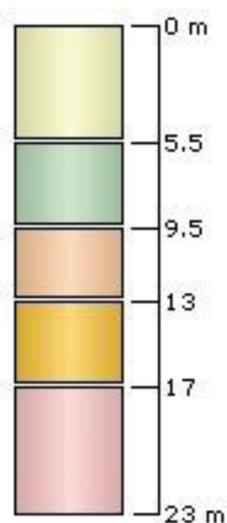
Tabella 9 – Risultati verifiche dei cedimenti dovuti all'argamento del rilevato

SEZIONE	CEDIMENTO TOTALE	VERIFICA
Binario 1	1.8cm < 5cm	OK
Binario 2	1.9cm < 5cm	OK
Binario 3	2.4cm < 5cm	OK

Soil Layers

Layer #	Type	Thickness [m]	Depth [m]	Drained at Bottom
1	Unità 2a	5.5	0	No
2	Unità 2b	4	5.5	No
3	Unità 2c	3.5	9.5	Yes
4	Unità 3	4	13	Yes
5	Unità 4	6	17	Yes

Ground Surface Drained: Yes



Soil Properties

Property	Unità 2a	Unità 2b	Unità 2c	Unità 3	Unità 4
Color					
Unit Weight [kN/m ³]	19.5	19.5	19.5	20	20
Saturated Unit Weight [kN/m ³]	19.5	19.5	19.5	20	20
Immediate Settlement	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled	Enabled
Primary Consolidation	Enabled	Enabled	Enabled	Disabled	Disabled
Material Type	Linear	Linear	Linear		
mv [m ² /kN]	0.0001	0.0001428	8.3333e-005		
mvur [m ² /kN]	0.0001	0.0001428	8.3333e-005		
Cv [m ² /s]	5e-008	5e-008	5e-008		
B-bar	1	1	1		

Figura 25 – Modello geotecnico utilizzato

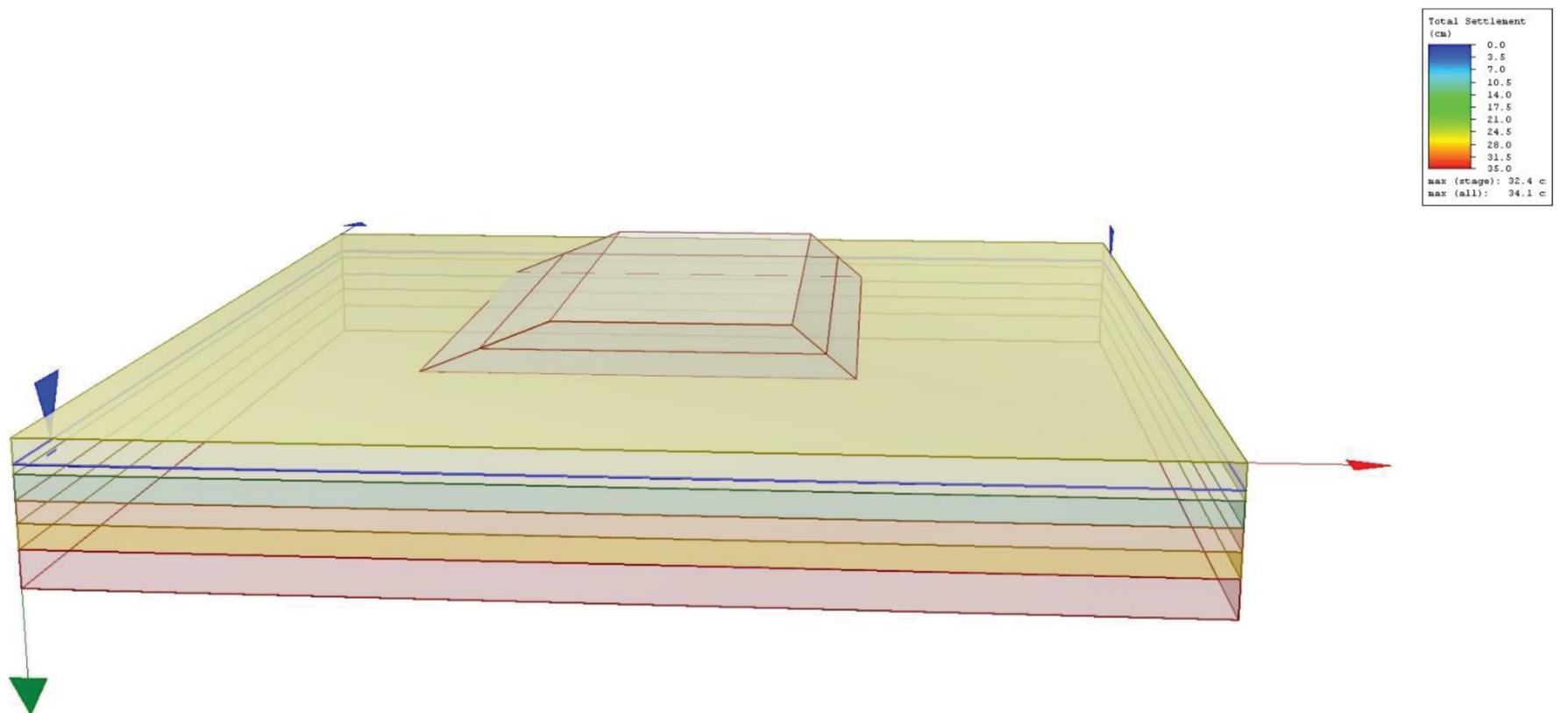


Figura 26 - Step 1: Realizzazione del rilevato esistente

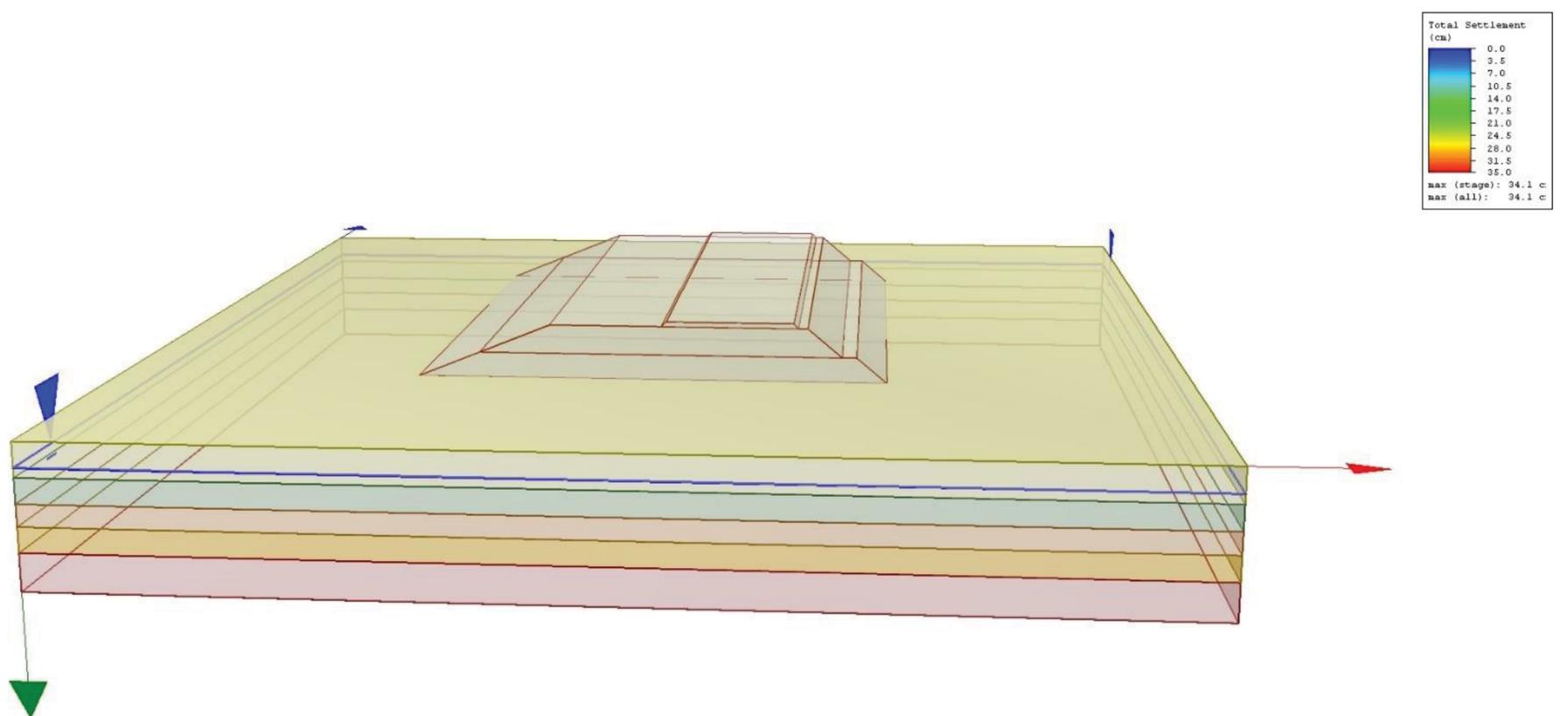


Figura 27 - Step 2: Realizzazione del nuovo rilevato in accosto e del ballast ferroviario

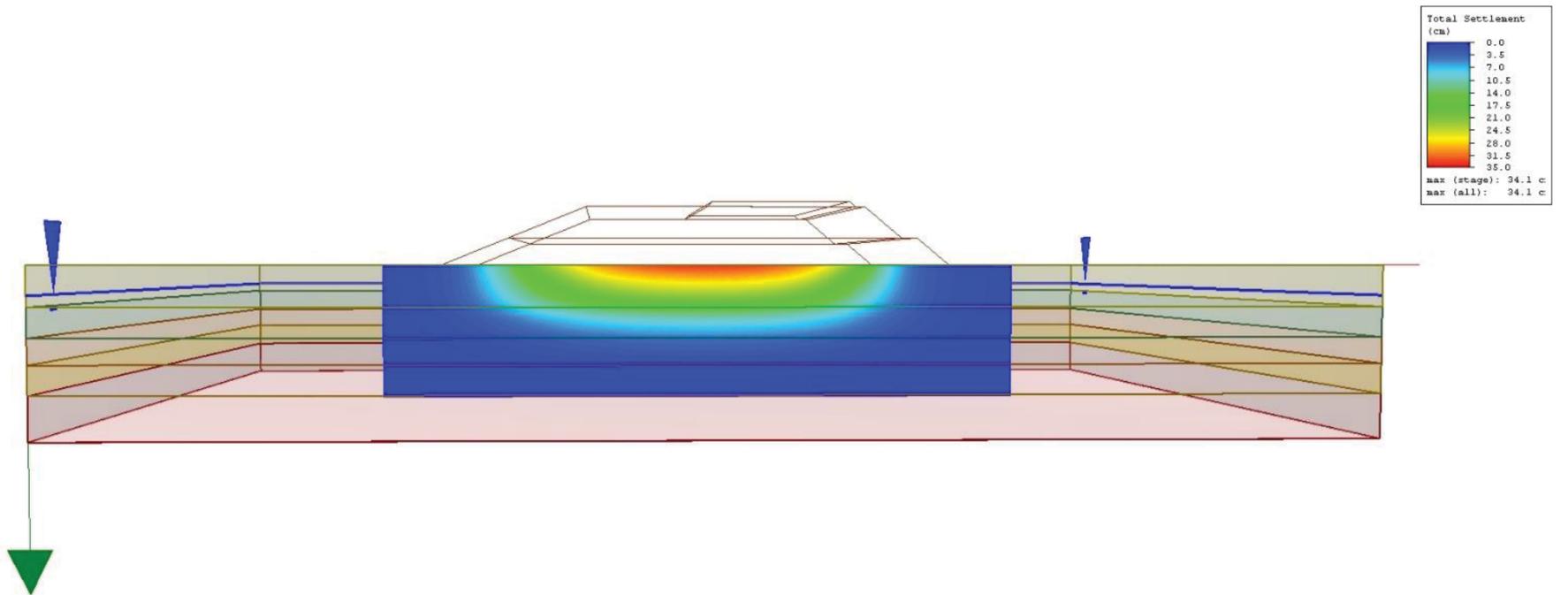


Figura 28 – Campo di spostamenti totali – Step 2

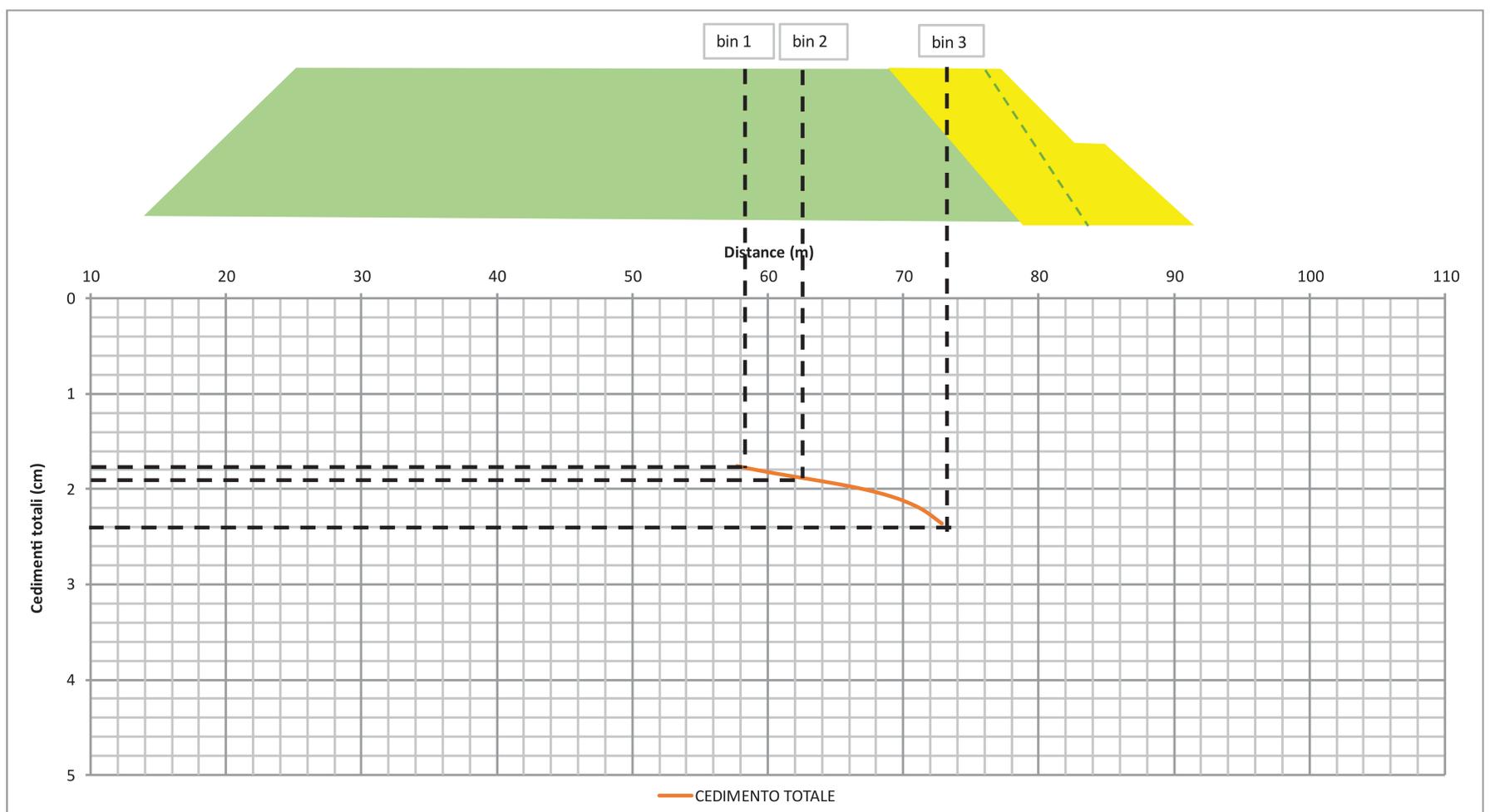


Figura 29 – Cedimenti totali dovuti all'allargamento del rilevato e alla costruzione del ballast

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A	FOGLIO 45 DI 53

13 SCARPATA SOTTOPASSO FERROVIARIO - VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE

La verifica SLU della stabilità globale della scarpata necessaria alla realizzazione del sottopasso ferroviario è stata condotta tramite il codice di calcolo *Slide 7.0 - Rocscience*. La combinazione di carico adottata nell'analisi fa riferimento ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico. Data la natura temporanea dello scavo, in accordo con le NTC2018, la verifica in condizione sismiche può essere omessa. Per la scarpata è stata prevista una inclinazione pari a 30°.

Nell'analisi è stato inserito un sovraccarico dovuto alle attività di cantiere, con riferimento ai risultati dell'analisi, per garantire la stabilità dello scavo è necessario prevedere un'area di pertinenza (larga 2 metri da bordo scavo) priva di carico. Come da NTC 2018, la verifica SLU di stabilità globale risulta soddisfatta quando la superficie di scivolamento più critica, tra tutte quelle cinematicamente possibili, ha un fattore di sicurezza pari almeno ad 1.1 in condizioni statiche.

Come mostrato nelle seguenti immagini la verifica di stabilità risulta soddisfatta. Nella seguente tabella si riassumono i fattori di sicurezza ottenuti e i risultati delle verifiche.

Tabella 10 – Risultati verifiche di stabilità globale della scarpata prevista per la realizzazione del sottopasso

SEZIONE	CONDIZIONE	FS	VERIFICA
Scarpata sottopasso	Statica	1.138>1.1	OK



PROGETTO DEFINITIVO

Linea Taranto – Brindisi

NUOVA STAZIONE DI NASISI

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA8E	00	D 78 RH	GE0006 002	A	46 DI 53

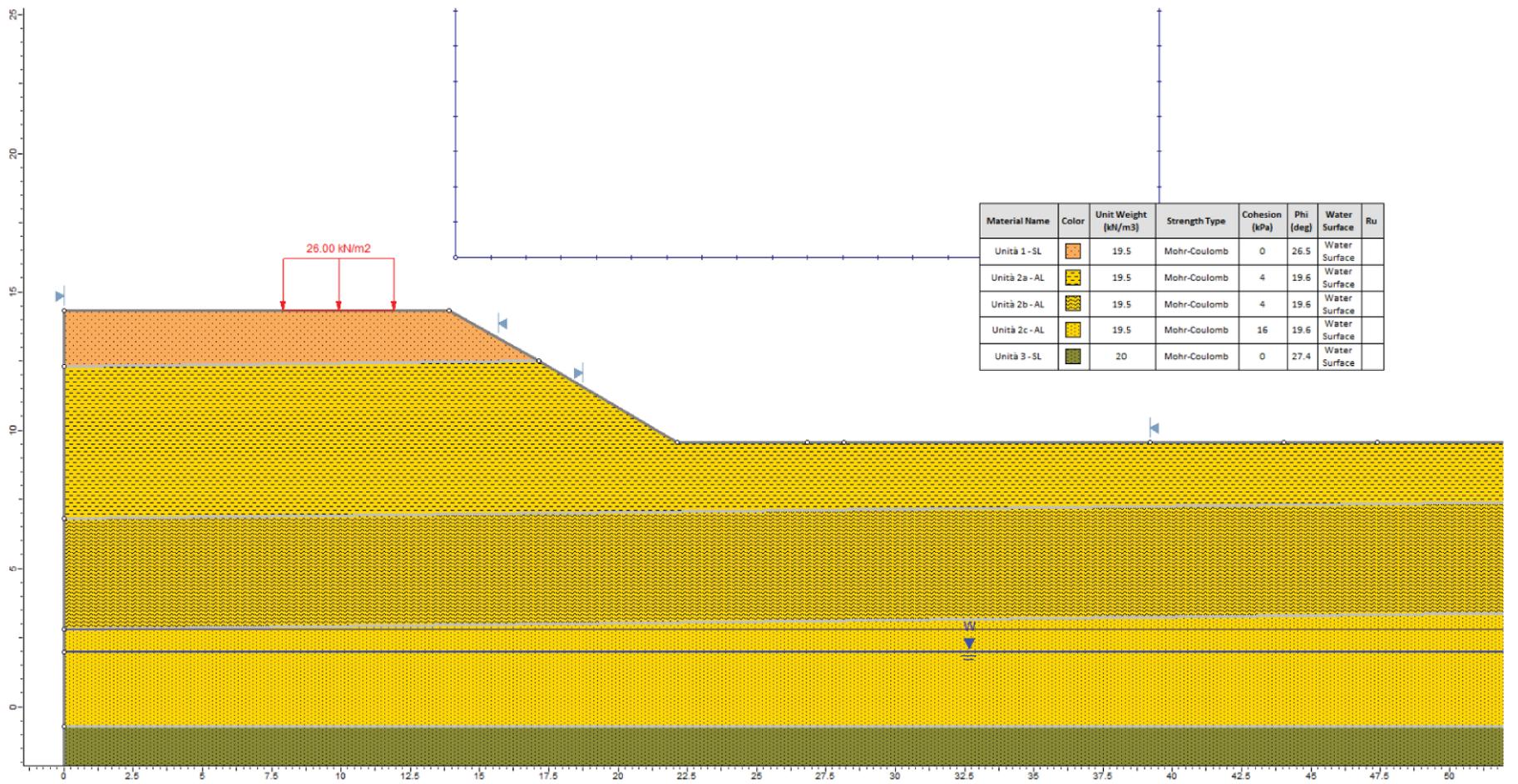


Figura 30 – Modello Slide – Scarpata sottopasso – Condizione Statica

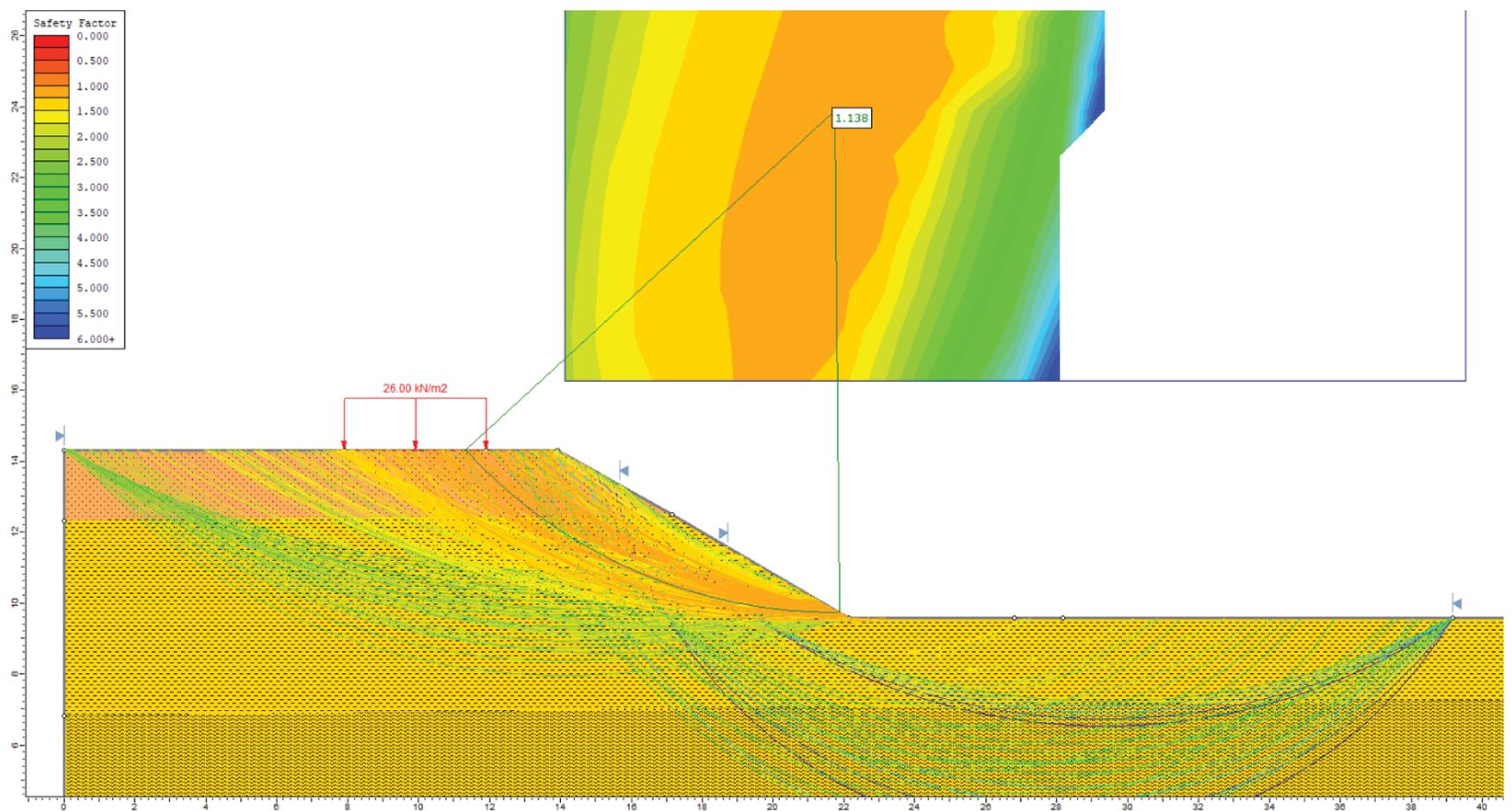


Figura 31 – Risultati Slide – Scarpata sottopasso – Condizione Statica – FS = 1.138 > 1.1

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A	FOGLIO 47 DI 53

14 SCARPATA OPERA IN01

14.1 Verifiche di stabilità globale

La verifica SLU della stabilità globale della scarpata necessaria alla realizzazione dell'opera IN01 è stata condotta tramite il codice di calcolo *Slide 7.0 - Rocscience*. La combinazione di carico adottata nell'analisi fa riferimento ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico. Al fine di garantire la stabilità della scarpata è necessario prevedere l'utilizzo di una palanca metallica PU-12 (S235) dell'altezza pari a 4m, vedi Figura 7.

Data la natura temporanea dello scavo, in accordo con le NTC2018, la verifica in condizione sismiche può essere omessa. Per la scarpata è stata prevista una inclinazione pari a 3:2, la palanca resterà scoperta per un'altezza di circa 0.5m.

La verifica SLU di stabilità globale risulta soddisfatta quando la superficie di scivolamento più critica, tra tutte quelle cinematicamente possibili, ha un fattore di sicurezza pari almeno ad 1.1 in condizioni statiche.

Come mostrato nelle seguenti immagini la verifica di stabilità risulta soddisfatta. Nella seguente tabella si riassumono i fattori di sicurezza ottenuti e i risultati delle verifiche.

Tabella 11 – Risultati verifiche di stabilità globale della scarpata prevista per la realizzazione dell'opera IN01

SEZIONE	CONDIZIONE	FS	VERIFICA
Scarpata sottopasso	Statica	1.103 > 1.1	OK



PROGETTO DEFINITIVO

Linea Taranto – Brindisi

NUOVA STAZIONE DI NASISI

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI

PROGETTO	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IA8E	00	D 78 RH	GE0006 002	A	48 DI 53

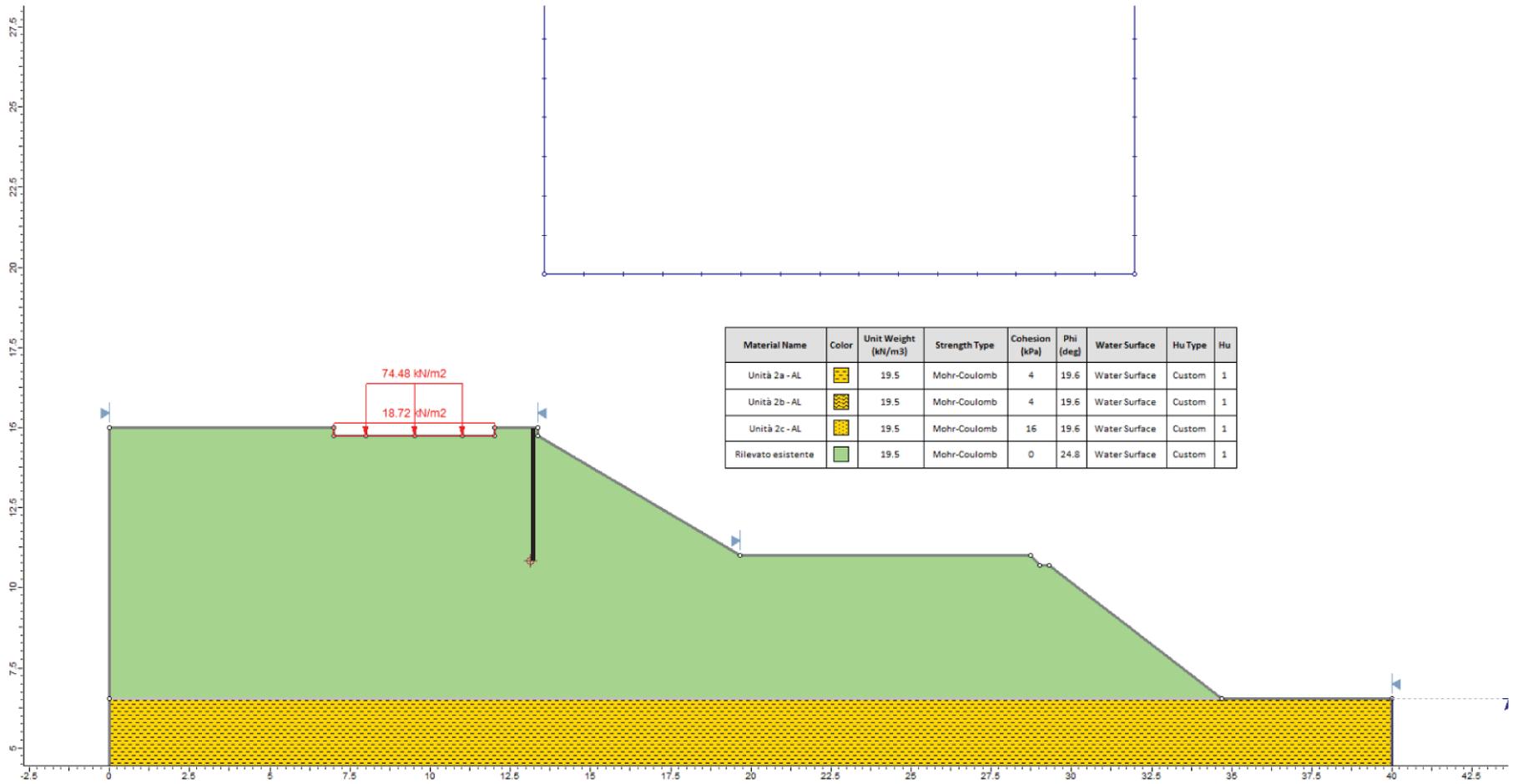


Figura 32 – Modello Slide – Scarpa opera IN01 – Condizione Statica

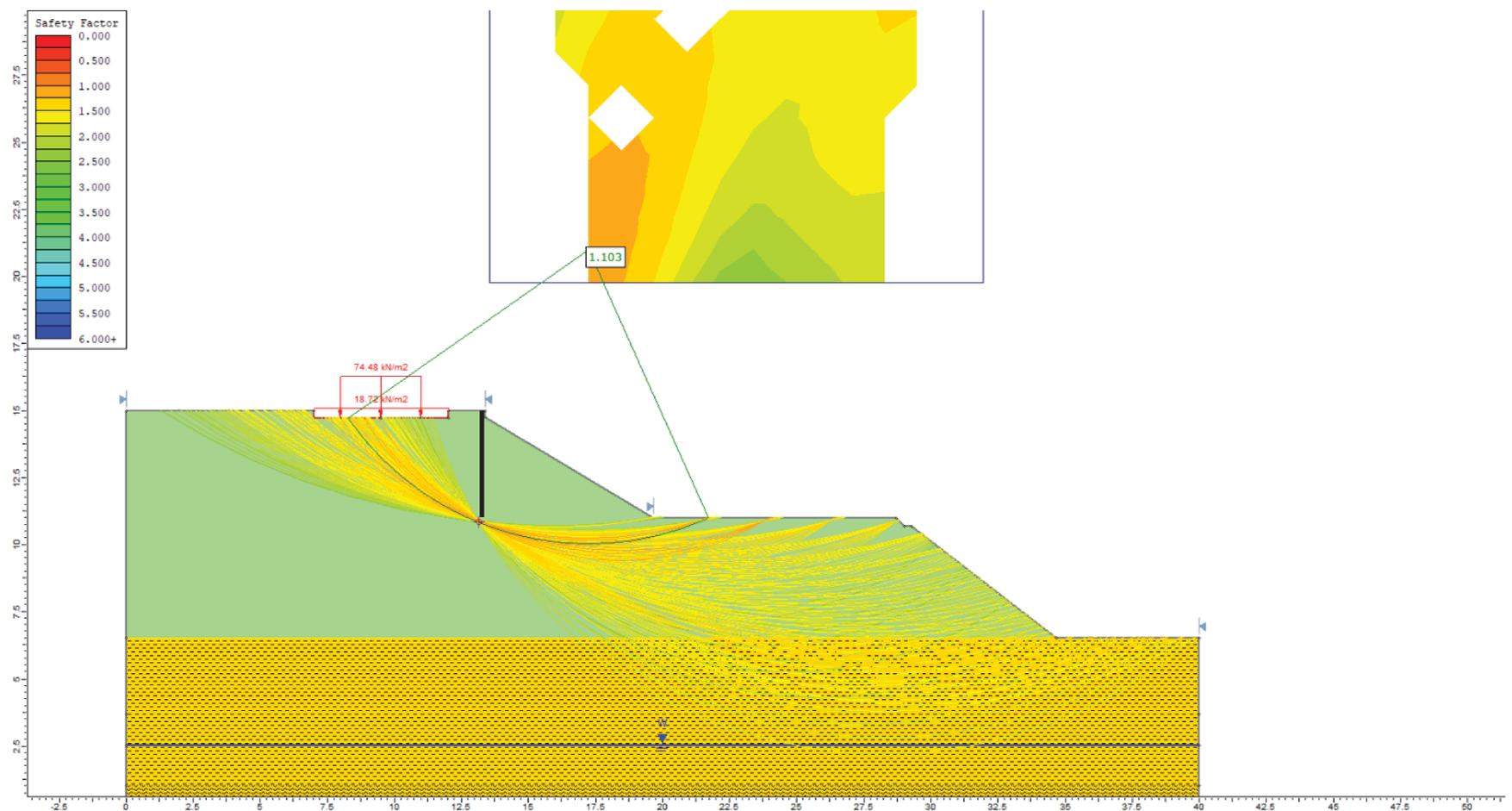


Figura 33 – Risultati Slide – Scarpa opera IN01 – Condizione Statica – FS = 1.103 > 1.1

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A	FOGLIO 49 DI 53

14.2 Verifica SLU (GEO) per la palanca

La verifica SLU della stabilità di tipo geotecnico (GEO) della palanca è stata condotta tramite il codice di calcolo *Paratie Plus*. La combinazione di carico adottata nell'analisi fa riferimento ai coefficienti parziali (A2+M2) per le analisi in campo statico. Considerando l'utilizzo di una palanca metallica PU-12 (S235) dell'altezza pari a 4m. Data la natura temporanea dello scavo, in accordo con le NTC2018, la verifica in condizione sismiche può essere omessa.

Lo scavo libero a valle della paratia è pari a 0.5m per tenere in considerazione e simulare l'effetto della berma di terreno inclinata 3:2, vedi sezione riportata in Figura 7, è stato modellato uno scavo orizzontale di altezza pari a 1.5m (Figura 34).

Nelle Figura 35 si mostrano le distribuzioni di pressioni orizzontali. In generale, integrando i valori dello sforzo orizzontale nel terreno a valle si può determinare il contributo dell'effetto stabilizzante. Si può concludere che la verifica risulta soddisfatta con un coefficiente di utilizzo pari a:

$$UC = \frac{\textit{spinta reale}}{\textit{massima spinta ammissibile}} = 0.49 < 1 \rightarrow OK$$

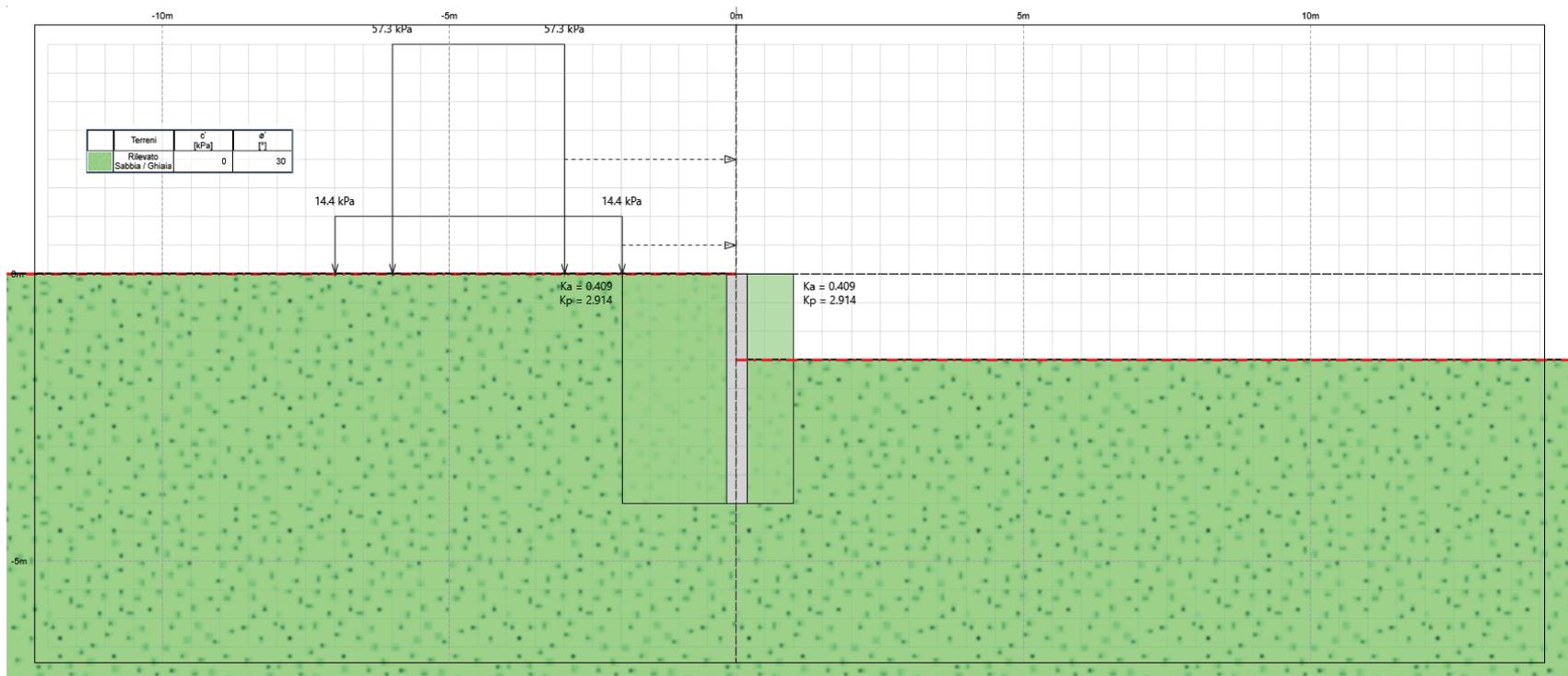


Figura 34 – Modello con scavo orizzontale di altezza pari a 1.5m

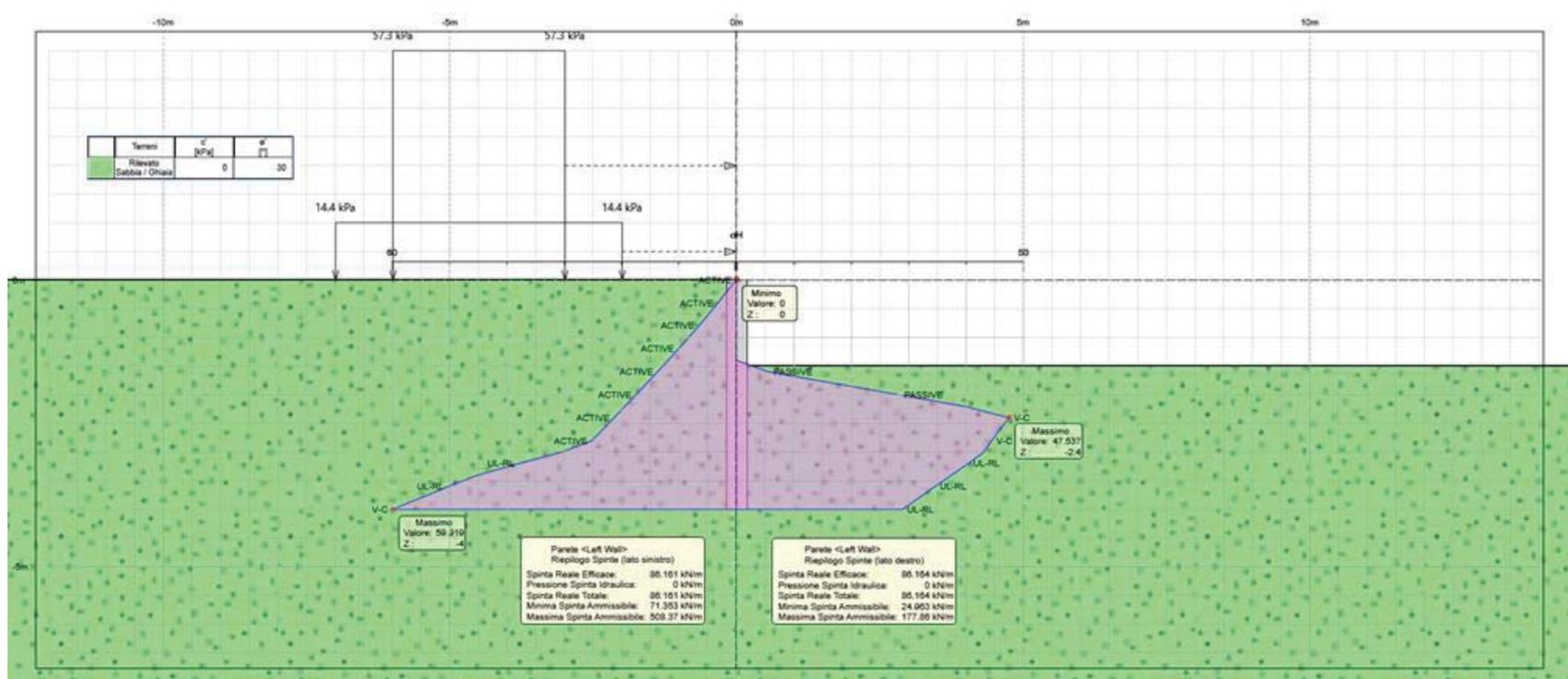


Figura 35 – Sforzi orizzontali e confronto spinte - Modello con scavo orizzontale di altezza pari a 1.5m

	PROGETTO DEFINITIVO Linea Taranto – Brindisi NUOVA STAZIONE DI NASISI					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI	PROGETTO IA8E	LOTTO 00	CODIFICA D 78 RH	DOCUMENTO GE0006 002	REV. A	FOGLIO 51 DI 53

14.3 Verifica SLU (STR) per la palanca

La verifica SLU della stabilità di tipo strutturale (STR) della palanca è stata condotta tramite il codice di calcolo *Paratie Plus*. La combinazione di carico adottata nell'analisi fa riferimento ai coefficienti parziali (A1+M1) per le analisi in campo statico. Considerando l'utilizzo di una palanca metallica PU-12 (S235) dell'altezza pari a 4m. Data la natura temporanea dello scavo, in accordo con le NTC2018, la verifica in condizione sismiche può essere omessa.

Partendo dal modello utilizzato per le verifiche GEO, Figura 34, e modificando le combinazioni dei coefficienti parziali si possono effettuare le verifiche strutturali della palanca.

Di seguito si riportano i risultati in termini di momento flettente e azione di taglio.

Le verifiche risultano abbondantemente verificate. Come detto questa verifica non risulta dimensionante.

- FLESSIONE MONOASSIALE (RETTA)

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{10.24}{269} = 0.04 < 1 \rightarrow \text{OK}$$

- TAGLIO

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{10.76}{679} = 0.02 < 1 \rightarrow \text{OK}$$

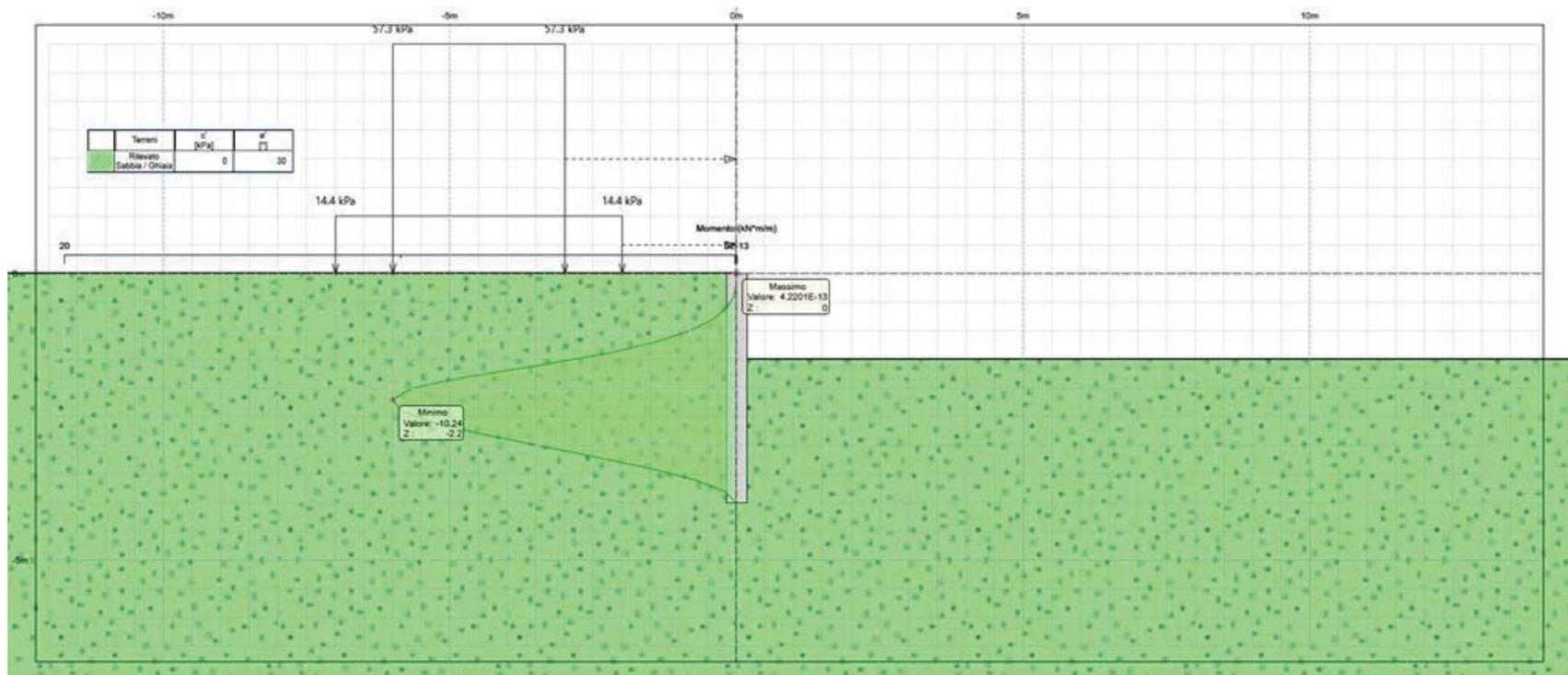


Figura 36 – Momento Flettente - Modello con scavo orizzontale di altezza pari a 1.5m

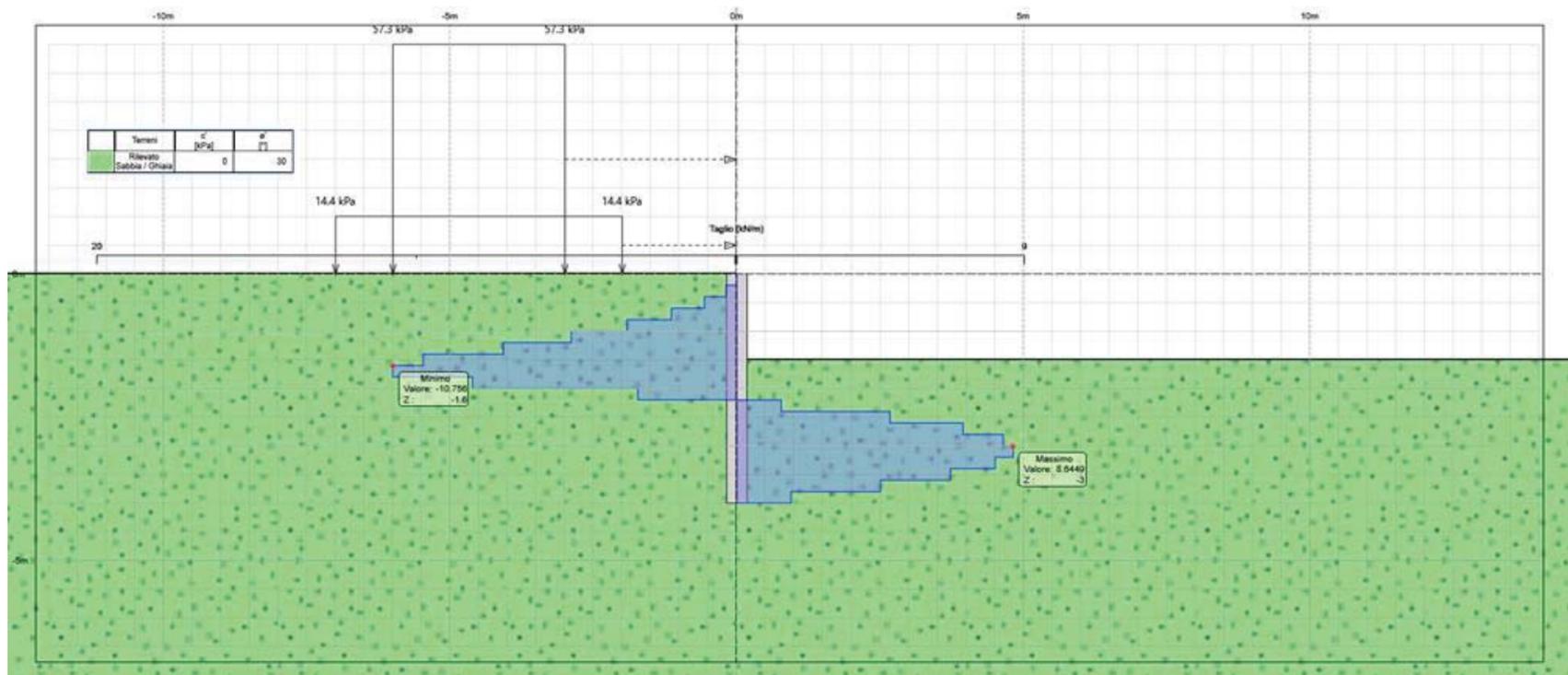


Figura 37 – Azione di taglio - Modello con scavo orizzontale di altezza pari a 1.5m

14.4 Verifiche SLE per la palanca

La verifica SLE dei cedimenti della palanca è stata condotta tramite il codice di calcolo *Paratie Plus*. La combinazione di carico adottata nell'analisi fa riferimento ai parametri caratteristici. Considerando l'utilizzo di una palanca metallica PU-12 (S235) dell'altezza pari a 4m. Data la natura temporanea dello scavo, in accordo con le NTC2018, la verifica in condizione sismiche può essere omessa.

Di seguito si riportano la deformata della palanca. Lo spostamento massimo è inferiore ai 2mm e per tanto la verifica risulta soddisfatta. Come detto questa verifica non risulta dimensionante.

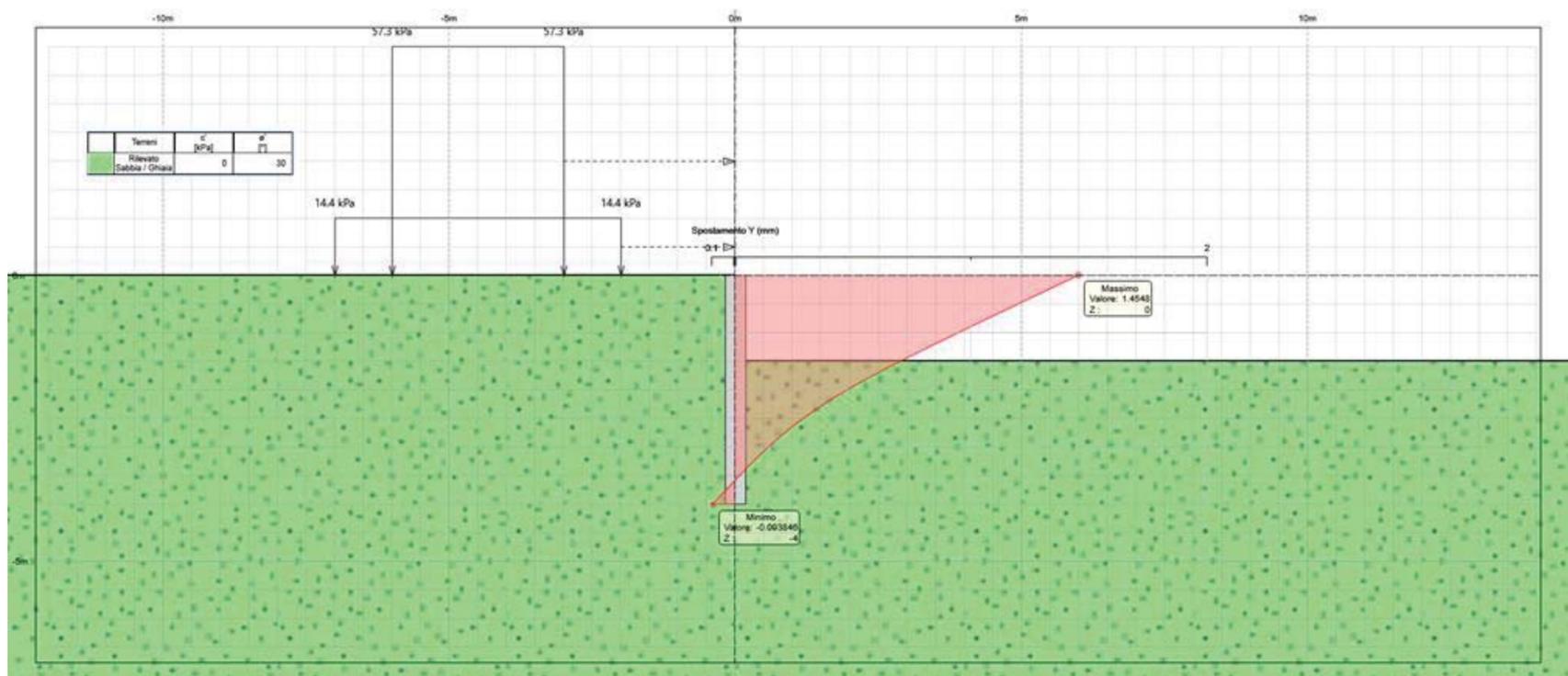


Figura 38 – Deformata - Modello con scavo orizzontale di altezza pari a 1.5m