

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



DIREZIONE TECNICA

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA

RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI

LOTTO 1 - TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO

GEOTECNICA

Relazione di calcolo rilevati e interventi di consolidamento n. 3/3

SCALA:

-

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

I A 4 S 0 1 D 2 9 C L G E 0 0 0 6 0 0 3 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	E. Lombardo	28/05/2019	L. Eboli	29/05/2019	T. Paoletti	30/05/2019	Arduini 05/2019
								ITALFERR S.p.A. Direzione Tecnica Infrastrutture Centro Dott. Ing. Fabrizio Arduini n. 15302-2019

File: IA4S01D29CLGE0006003A

n. Elab.: 4-9

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 2 di 219

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	5
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	6
2.1 DOCUMENTAZIONE DI PROGETTO E DI BASE.....	6
2.2 NORMATIVA E STANDARD DI RIFERIMENTO.....	6
2.3 SOFTWARE.....	7
3. CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE.....	8
3.1 CRITERI GENERALI DI VERIFICA.....	8
3.2 VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO STATICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI.....	9
3.2.1 Stati limite ultimi (SLU).....	9
3.2.2 Stati limite di esercizio (SLE).....	12
3.3 STABILITÀ DEL SITO NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE.....	12
3.4 VERIFICHE DI SICUREZZA IN CAMPO SISMICO PER OPERE IN MATERIALI SCIOLTI.....	13
3.4.1 Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche.....	13
3.4.2 Stati limite ultimi (SLU).....	15
3.4.3 Stati limite di esercizio (SLE).....	15
4. AZIONE SISMICA DI PROGETTO E VALUTAZIONE NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE.....	17
4.1 DETERMINAZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	17
4.2 COMPONENTI DELL'ACCELERAZIONE EQUIVALENTE.....	19
4.3 SINTESI DELLE VERIFICHE A LIQUEFAZIONE.....	20
5. CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA.....	25
5.1 CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI.....	25
5.1.1 Slope/W.....	25
5.1.2 Plaxis 2D.....	25
5.2 METODOLOGIE DI VERIFICA ADOTTATE.....	26
5.2.1 Verifiche di stabilità in assenza di materiali liquefacibili.....	26

5.2.2	Verifiche di stabilità in presenza di materiali liquefacibili	26
5.2.3	Valutazione degli spostamenti	27
6.	CARATTERISTICHE DEL CORPO STRADALE FERROVIARIO	29
6.1	DESCRIZIONE DEI RILEVATI FERROVIARI	29
6.2	MATERIALI COSTITUENTI IL RILEVATO	29
6.3	CARICHI DI PROGETTO	30
7.	CARATTERISTICHE DEGLI INTERVENTI DI TRATTAMENTO	32
7.1	COLONNE IN DEEP MIXING	32
7.1.1	Descrizione della tecnica	32
7.1.2	Dimensionamento dell'intervento.....	36
7.2	COLONNE DI GHIAIA.....	39
7.2.1	Descrizione della tecnica	39
7.2.2	Dimensionamento dell'intervento.....	42
8.	SELEZIONE DELLE SEZIONI DI CALCOLO SIGNIFICATIVE.....	44
9.	SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 4+750.....	46
9.1	DIMENSIONAMENTO DEL TRATTAMENTO IN COLONNE DI GHIAIA	46
9.1.1	Analisi dimensionamento colonne di ghiaia.....	47
10.	SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 5+300	48
10.1	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI.....	48
10.2	VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE	50
10.2.1	Verifiche SLU in condizioni statiche.....	50
10.2.2	Verifiche SLU in condizioni sismiche (co-sismica)	51
10.2.3	Verifiche SLU in condizioni di terreno liquefatto (post-sismica).....	53
10.3	DIMENSIONAMENTO DEL TRATTAMENTO IN COLONNE DI GHIAIA	59
10.3.1	Analisi dimensionamento colonne di ghiaia.....	59
10.4	VERIFICHE SLE – VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI	60
11.	SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 6+150.....	61

11.1	STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI	61
11.2	VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE	63
11.2.1	<i>Verifiche SLU in condizioni statiche.....</i>	63
11.2.2	<i>Verifiche SLU in condizioni sismiche (co-sismica)</i>	64
11.2.3	<i>Verifiche SLU in condizioni di terreno liquefatto (post-sismica).....</i>	65
11.3	VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE DEL RILEVATO CON TRATTAMENTO.....	70
11.3.1	<i>Analisi dimensionamento colonne di ghiaia.....</i>	70
11.4	VERIFICHE SLE – VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI	77
11.4.1	<i>Analisi preliminari del rilevato senza interventi.....</i>	77
11.4.2	<i>Analisi finali rilevato con interventi.....</i>	85
12.	CONSIDERAZIONI FINALI SUI RILEVATI DA 4+500 A 6+500.....	93
	ALLEGATO A – RISULTATI DA VERIFICHE A LIQUEFAZIONE (CON TRATTAMENTO)	95
	ALLEGATO B – RISULTATI ANALISI PLAXIS RIL. 6+150 SENZA INTERVENTI	99
	ALLEGATO C – RISULTATI ANALISI PLAXIS RIL. 6+150 CON INTERVENTI	157

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 5 di 219

1. INTRODUZIONE

Il presente documento riporta le verifiche, ai sensi della Normativa vigente (Doc. Rif.[7] e [8]), relative alle sezioni caratteristiche dei tratti in rilevato della sede ferroviaria tra la progressiva 4+500 e la progressiva 6+500 nella tratta Pescara Porta Nuova - Chieti (Lotto 1) nell'ambito del progetto di raddoppio ferroviario.

Per quanto concerne le opere stradali si rimanda ai documenti dedicati.

Il documento è così articolato:

Nel Cap. 2 si riportano i documenti di riferimento e la normativa citati nel testo.

Nel Cap. 3 si descrivono i criteri generali di progettazione in accordo alla Normativa vigente (Doc. Rif.[5] e [6]).

Nel Cap. 4 si definisce l'azione sismica di progetto e la valutazione del sito nei confronti della liquefazione.

Nel Cap. 5 si descrivono i codici di calcolo ed i criteri di verifica adottati.

Nel Cap. 6 si riporta la descrizione del corpo ferroviario in esame da un punto di vista geometrico, le caratteristiche geotecniche dei materiali costituenti il rilevato e i sovraccarichi presenti.

Nel Cap. 7 si riporta la descrizione tipologica degli interventi di trattamento utilizzabili per il progetto.

Nel Cap. 8 si definiscono le sezioni caratteristiche nell'ambito della tratta in esame.

Nel Cap. 9, 10, 11 si riportano, le sezioni caratteristiche selezionate per la tratta in esame, i dati geotecnici di calcolo, le descrizioni delle verifiche condotte e i risultati ottenuti.

Nel Cap. 12 sono invece riportate le considerazioni finali sulle valutazioni presentate e gli interventi proposti.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 6 di 219

2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Documentazione di progetto e di base

Si riporta di seguito l'elenco dei documenti utilizzati per la stesura della presente relazione:

- [1] PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA – Relazione geotecnica generale (Doc. rif. - IA4S01D29GEGE0006001B)
- [2] PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA – Plano-profilo geotecnico - Tav. 1 - (Doc. rif. - IA4S01D29F6GE0006001A)
- [3] PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA - Plano-profilo geotecnico - Tav. 2 - (Doc. rif. - IA4S01D29F6GE0006002A)
- [4] PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA - Plano-profilo geotecnico - Tav. 3 - (Doc. rif.- IA4S01D29F6GE0006003A)
- [5] PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA - Plano-profilo geotecnico - Tav. 4 - (Doc. rif. - IA4S01D29F6GE0006004A)
- [6] PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA - Plano-profilo geotecnico - Tav. 5 - (Doc. rif. - IA4S01D29F6GE0006005A)

2.2 Normativa e standard di riferimento

Si riporta di seguito l'elenco delle normative a cui si è fatto riferimento per la stesura della presente relazione:

- [7] Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. n.29 del 20.2.2018, Supplemento Ordinario n.30.
- [8] Circolare del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio superiore dei Lavori Pubblici recante “Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”
- [9] RFI DTC SI MA IFS 001 C del 21.12.2018- “MANUALE DI PROGETTAZIONE DELLE OPERE CIVILI”.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 7 di 219

- [10] RFI DTC INC CS LG IFS 001 A del 21.12.2011 – “Linee guida per il collaudo statico delle opere in terra”.
- [11] RFI DTC SI SP IFS 001 C del 21.12.2018- Capitolato generale tecnico di appalto delle opere civili – Parte II – Sezione 5 – “Opere in terra e scavi”– RFI.
- [12] 2008/217/CE - “Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario transeuropeo ad alta velocità (20/12/2007)”.
- [13] 2011/275/CE - “Specifiche tecniche di interoperabilità per il sottosistema «infrastruttura» del sistema ferroviario transeuropeo convenzionale (26/04/2011)”.
- [14] UNI EN 1997-1 : Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali
- [15] UNI EN 1998-5 : Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

2.3 Software

- [1] SLOPEW – GeoSlope (www.geo-slope.com)
- [2] PLAXIS B.V.. “Plaxis – Finite Element Code for Soil and Rock Analyses”. Plaxis 2D – AE.02. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherland. ([http:// w.plaxis.nl](http://w.plaxis.nl))

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 8 di 219

3. CRITERI DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE

3.1 Criteri generali di verifica

Per le opere in esame devono essere svolte le seguenti verifiche di sicurezza e delle prestazioni attese (par. 6.2.3. del Doc. Rif. [7]):

- Verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU);
- Verifiche agli Stati Limite d'Esercizio (SLE).

Per ogni **Stato Limite Ultimo (SLU)** deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq R_d \quad (\text{Eq. 6.2.1 del Doc. Rif. [7]})$$

dove:

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

R_d = valore di progetto della resistenza.

La verifica della condizione $E_d \leq R_d$ deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni ($A1$ e $A2$), per i parametri geotecnici ($M1$ e $M2$) e per le resistenze ($R1$, $R2$ e $R3$). I coefficienti da adottarsi nelle diverse combinazioni sono definiti in funzione del tipo di verifica da effettuare (si vedano i paragrafi seguenti). Si sottolinea che per quanto concerne le azioni di progetto E_d tali forze possono essere determinate applicando i coefficienti parziali di cui sopra alle azioni caratteristiche, oppure, a posteriori, sulle sollecitazioni prodotte dalle azioni caratteristiche (Par. 6.2.3.1 del Doc. Rif. [7]).

Per ogni **Stato Limite d'Esercizio (SLE)** deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq C_d \quad (\text{Eq. 6.2.7 del Doc. Rif. [7]})$$

dove:

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

C_d = valore limite prescritto dell'effetto delle azioni (definito Progettista Strutturale).

La verifica della condizione $E_d \leq C_d$ deve essere effettuata impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 9 di 219

3.2 Verifiche di sicurezza in campo statico per opere in materiali sciolti

In base a quanto indicato dalle NTC 2018 le verifiche di sicurezza che devono essere condotte per opere costituite da materiali sciolti sono le seguenti.

3.2.1 Stati limite ultimi (SLU)

Le verifiche di stabilità in campo statico di opere in materiali sciolti, quali rilevati, devono essere eseguite secondo il seguente approccio (Par. 6.8.2 del Doc. Rif.[7]):

Approccio 1:

- Combinazione 2 : $A2 + M2 + R2$

tenendo conto dei coefficienti parziali sotto definiti.

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 resistenza globale del sistema (Par. C.6.8.6.2 del Doc. Rif.[8]), calcolata sulla base delle azioni di progetto, dei parametri di progetto e della geometria di progetto

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

La stabilità globale dell'insieme manufatto-terreno di fondazione deve essere studiata nelle condizioni corrispondenti alle diverse fasi costruttive ed al termine della costruzione.

Facendo riferimento a quanto previsto al p.to 3.5.2.3.8 del Doc Rif. [9], per le verifiche agli stati limite ultimi si adottano i valori dei coefficienti parziali in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** (Tab. 5.2.V del Doc Rif. [7]) e i coefficienti di combinazione ψ in Tab. 5.2.VI.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S LOTTO 01 D29 CODIFICA CL DOCUMENTO GE0006 003 REV. A FOGLIO 10 di 219

Tabella 1: Coefficienti parziali sulle azioni (Tab. 5.2.V del Doc. Rif.[7])

		Coefficiente	EQU ¹	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Ballast	favorevoli	γ_B	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,45	1,45	1,25
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	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	1,00	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

In Errore. L'origine riferimento non è stata trovata. (Tab. 5.2.V del Doc. Rif. [7]) 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_B coefficiente parziale del peso proprio del ballast;
- γ_Q coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
- γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili.

¹ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.

Tabella 2: Coefficienti di combinazione ψ delle azioni (Tab. 5.2.VI del Doc. Rif.[7])

Azioni	Descrizione	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole da traffico	Carico sul rilevato a tergo delle spalle	0,80	0,50	0,0
	Azioni aerodinamiche generate dal transito dei convogli	0,80	0,50	0,0
Gruppi di carico	gr ₁	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽³⁾	0,0
	gr ₂	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽³⁾	-
	gr ₃	0,80 ⁽²⁾	0,80 ⁽³⁾	0,0
	gr ₄	1,00	1,00 ⁽³⁾	0,0
Azioni del vento	F _{wk}	0,60	0,50	0,0
Azioni da neve	in fase di esecuzione	0,80	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,00	0,0	0,0
Azioni termiche	T _k	0,60	0,60	0,50

 Tabella 3: Coefficienti di combinazione ψ delle azioni (Tab. 5.2.VII Doc. Rif.[7])

	Azioni	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Azioni singole da traffico	Treno di carico LM 71	0,80 ⁴	⁵	0,0
	Treno di carico SW /0	0,80 ⁽⁴⁾	0,80	0,0
	Treno di carico SW/2	0,00 ⁽⁴⁾	0,80	0,0
	Treno scarico	1,00 ⁽⁴⁾	-	-
	Centrifuga	⁽⁶⁾ ⁽⁴⁾	⁶	⁽⁶⁾
	Azione laterale (serpeggio)	1,00 ⁽⁴⁾	0,80	0,0

Tabella 4: Coefficienti parziali sui terreni (M1 ed M2) - (Tab. 6.2.II, del Doc. Rif.[7])

PARAMETRO	Coefficiente parziale	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\gamma_{\varphi'}$	1.0	1.25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.0	1.25
Resistenza non drenata	γ_{Cu}	1.0	1.4

² 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 0,00.

³ 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.

⁴ 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 0,00.

⁵ 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.

⁶ Si usano gli stessi coefficienti ψ adottati per i carichi che provocano dette azioni

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 12 di 219
Peso dell'unità di volume	γ_γ	1.0	1.0			

Tabella 5: Coefficienti parziali per le verifiche di stabilità globale (R2) - (Tab. 6.8.I, Doc. Rif. [7])

Coefficiente parziale	(R2)
γ_R	1.1

3.2.2 Stati limite di esercizio (SLE)

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. [7]), che gli spostamenti 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, come riportato nei Doc. Rif. [9][11], RFI stabilisce un valore soglia degli spostamenti residui attesi, corrispondenti ad uno Stato Limite di Esercizio (S_{SLE}), pari a 5 cm. Tale valore deve essere opportunamente confrontato con i valori calcolati al di sotto del rilevato.

Deve essere tenuto presente che le verifiche agli Stati Limite di Esercizio possono risultare più restrittive di quelle agli Stati Limite Ultimi.

3.3 Stabilità del sito nei confronti della liquefazione

In base a quanto indicato nelle NTC 2018 il sito presso il quale è ubicata l'opera deve essere stabile nei confronti della liquefazione. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

Le NTC2018 al paragrafo 7.11.3.4.2 stabiliscono che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

- Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di campo libero (cfr. a_{max}) minori di 0.1 g;
- Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 13 di 219

- Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche SPT normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche CPT, normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone comprese tra le curve tipiche per materiali con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ e coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

In caso contrario risulta necessario valutare il rischio di liquefazione e i potenziali effetti in superficie mediante procedimento descritto nel Doc. Rif. [1] basato sui risultati di prove CPT e SPT.

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

3.4.1 Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche

Le NTC 2018 (Doc. Rif. [7]) 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 e poi 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. [7]:

- **Stati Limite di Esercizio (SLE):**
 - Stato Limite di immediata Operatività **SLO** per le strutture ed apparecchiature che debbono restare operative a seguito dell'evento sismico. Tale stato limite non si applica per l'opera in oggetto.
 - Stato Limite di Danno **SLD** definito come lo stato limite da rispettare per garantire la sostanziale integrità dell'opera ed il suo immediato utilizzo.
- **Stati Limite Ultimi (SLU):**
 1. Stato Limite di Salvaguardia della Vita umana, **SLV**, definito come lo stato limite in cui la struttura subisce una significativa perdita della rigidità nei confronti dei carichi orizzontali ma non nei confronti dei carichi verticali. Permane un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 14 di 219

2. Stato Limite di Prevenzione del Collasso, **SLC**, stato limite nel quale la struttura subisce gravi danni strutturali, mantenendo comunque un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza a collasso per carichi orizzontali.

La Tabella 6 riporta, in funzione della classe d'uso della struttura, lo stato limite da considerare in funzione della verifica di sicurezza appropriata per l'opera (Tabella C7.3.I del Doc. Rif.[8]).

Tabella 6: Verifiche di sicurezza in funzione della Classe d'uso (Tab. C7.3.I, Doc. Rif.[8])

Stato Limite	Prestazione da verificare	Classe d'uso		
		I	II	III IV
SLO	Limitazione del danno degli elementi non strutturali o delle pareti delle costruzioni in muratura			X
	Funzionamento degli impianti			X
SLD	Controllo del danno degli elementi strutturali			X
	Controllo del danno degli elementi non strutturali o delle pareti delle costruzioni in muratura	X	X	
SLV	Livello di danno degli elementi strutturali coerente con il fattore di comportamento adottato, assenza di rotture fragili e meccanismi locali/globali instabili	X	X	X
	Assenza di crolli degli elementi non strutturali pericolosi per l'incolumità, pur in presenza di danni diffusi		X	X
	Capacità ultima degli impianti e dei collegamenti		X	X
SLC	Margine di sicurezza sufficiente per azioni verticali ed esiguo per azioni orizzontali		X	X
	Capacità di spostamento dei dispositivi nelle costruzioni con isolamento sismico		X	X

Con riferimento all'opera in oggetto, e considerando quanto riportato al punto C7.1 del Doc. Rif.[8], 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);

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 15 di 219

- Stato Limite Esercizio: **SLD** – Stato Limite di Danno (cui corrisponde una probabilità di superamento $P_{vr} = 63\%$ 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.

3.4.2 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 (vedasi Doc. Rif. [7]). 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. In particolare la stabilità globale in condizioni sismiche dei opere in materiali sciolti, quali rilevati, deve essere svolta 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. [7]). Le condizioni di stabilità del rilevato devono essere verificate affinché prima, durante e dopo il sisma la resistenza del sistema sia superiore alle azioni, ovvero gli spostamenti permanenti indotti dal sisma siano di entità tale da non pregiudicare le condizioni di sicurezza o di funzionalità delle strutture o infrastrutture medesime.

Come riportato al Par. 7.11.4 del Doc. Rif. [7] le verifiche possono essere condotte mediante metodi pseudo statici, metodi degli spostamenti e metodi di analisi dinamica.

3.4.3 Stati limite di esercizio (SLE)

Deve essere verificato, mediante analisi effettuate impiegando i valori caratteristici delle azioni e dei parametri geotecnici dei materiali, che gli spostamenti permanenti indotti dal sisma non alterino significativamente la resistenza della fondazione e devono essere compatibili con la funzionalità dell'opera.

L'azione sismica di progetto deve essere valutata sulla base degli Stati Limite relativi all'opera da verificare come definito nelle istruzioni per l'applicazione delle NTC2018. Per l'opera in oggetto,



VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA.
RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA
- CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM
SAN GIOVANNI TEATINO
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3

COMMESSA
IA4S

LOTTO
01 D29

CODIFICA
CL

DOCUMENTO
GE0006 003

REV.
A

FOGLIO
16 di 219

le verifiche agli Stati Limite di Esercizio verranno condotte con riferimento allo Stato Limite di Danno (**SLD**).

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 17 di 219

4. AZIONE SISMICA DI PROGETTO E VALUTAZIONE NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

4.1 Determinazione dell'azione sismica

La definizione dell'azione sismica di progetto per le opere afferenti il tracciato è stata condotta secondo quanto disposto dalle Norme Tecniche in vigore assunte alla base della progettazione in oggetto (Doc. Rif. [7]).

La descrizione di dettaglio della determinazione dell'azione sismica di riferimento per le verifiche geotecniche è riportata nella Relazione Geotecnica (Doc. Rif. [1]). Nel seguito si riprende tale descrizione nei contenuti e determinazioni principali.

In particolare, l'azione sismica in base alla quale è stato il rispetto dei diversi stati limite per le strutture in progetto, è stata definita a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, a sua volta espressa in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su suolo rigido, con superficie topografica orizzontale.

La definizione dell'azione sismica comprende la determinazione delle ordinate dello spettro di risposta elastica in accelerazione $S_e(T)$ “ancorato” al valore di a_g , facendo riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} , nel periodo di riferimento V_R per la vita utile della struttura.

In particolare, nel caso in esame delle opere lungo la linea ferroviaria di PD, trattandosi di una opera infrastrutturale di elevata importanza, ma non inquadrata all'interno del sistema di grande viabilità ferroviaria, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto è stato assunto in sede progettuale (Doc. Rif. [1]):

$$V_N = 75 \text{ anni}$$

e appartenente alla Classe d'Uso II, alla quale le NTC2018 fanno corrispondere un coefficiente d'uso:

$$C_U = 1.0.$$

Pertanto la vita di riferimento dell'opera V_R risulta pari a 75 anni.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 18 di 219

Data la probabilità di superamento nel periodo di riferimento considerato, funzione dello Stato Limite di verifica, la forma spettrale è definita a partire dai valori dei seguenti parametri relativi ad un sito di riferimento rigido e orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima su sito rigido e superficie topografica orizzontale;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_{c^*} periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Si è quindi proceduto alla definizione del tempo di ritorno T_R di riferimento per l'azione sismica, nel caso in esame corrispondente a 1068 anni (per lo stato limite SLV con P_{vr} del 10%) sulla base della classificazione delle opere in progetto, e successivamente sono stati definiti gli stati limite di interesse per la verifica strutturale, i periodi di ritorno corrispondenti dell'azione sismica per suolo rigido in corrispondenza dei punti di interesse collocati lungo il tracciato.

La determinazione della categoria di suolo (e topografica) è stata eseguita attraverso l'interpretazione delle indagini geotecniche e geofisiche, sulla base delle informazioni disponibili, ai fini della microzonazione.

In particolare, come specificato nel Doc. Rif. [1], ai fini normativi e di progetto l'intero tracciato ricade nella categoria stratigrafica C.

L'amplificazione dell'azione sismica viene determinata, secondo le NTC2018, attraverso l'impiego di un fattore di sito S funzione sia della categoria di sottosuolo (S_s) sopra determinata, sia dell'andamento della superficie topografica (S_T):

$$S = S_s \cdot S_T.$$

Per la **categoria di sottosuolo C**, Il coefficiente S_s si ottiene dalla seguente espressione (vedi Tabella 3.2.IV del par. 3.2.3 delle NTC2018):

$$S_s = 1.0 \leq 1.70 - 0.6 \cdot F_0 \cdot a_g / g \leq 1.50$$

Per ciò che concerne l'amplificazione topografica, secondo quanto riportato nel Doc. Rif.[1], il tracciato corre all'interno di un sito sostanzialmente pianeggiante e viene classificato in categoria

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 19 di 219

topografica T1 (Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$, v. Tabella 3.2.III al par.3.2.2. delle NTC2018). Pertanto, il fattore di amplificazione topografica risulta pari a:

$$S_T = 1$$

Il fattore di sito S e l'azione sismica di progetto $a_{max} = S \cdot a_g$ ottenuti per i diversi periodi di ritorno in corrispondenza dello stato limite di Salvaguardia della Vita (SLV).

Tabella 7-Parametri per la valutazione dell'azione sismica

SL	T_R (anni)	Lotto 1		
		a_g (g)	S (-)	a_{max} (g)
SLV	712	0.180	1.431	0.258

A partire dai valori sopra riportati risulta:

$$a_{max} [g] = S a_g [g] = 0.180 \times 1.431 \times 1.0 = 0.258.$$

4.2 Componenti dell'accelerazione equivalente

Come definito in normativa, a meno di specifiche analisi dinamiche, è possibile svolgere le verifiche di sicurezza mediante analisi pseudo-statiche o analisi agli spostamenti.

4.2.1.1 Coefficienti sismici per la verifica di stabilità globale

Come descritto al Par. C7.11.4 del Doc. Rif. [8], la verifica di stabilità globale va condotta mediante il metodo di analisi definito al Par. 7.11.3.5 del Doc. Rif.[7], inerente alla stabilità dei pendii.

Sulla base di quanto definito al Par.7.11.3.5.2 del Doc. Rif.[7], in mancanza di studi specifici, i coefficienti sismici k_h (orizzontale) e k_v (verticale) sono definiti come:

$$k_h = \beta_s a_{max}/g$$

$$k_v = \pm k_h / 2$$

essendo

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 20 di 219

Come chiarito al Par. 7.11.4 del Doc. Rif. [7] il valore del coefficiente β_s da assumere è pari a 0.38 per verifiche allo SLV su fronti di scavo o rilevati, come nel caso in oggetto.

In accordo alle espressioni di cui sopra, si ottengono i seguenti coefficienti per la verifica di stabilità globale allo SLV (Tabella 8):

Tabella 8: Valori dei coefficienti sismici per le verifiche di stabilità globale

STATO LIMITE	T_R	k_h	k_v
	[anni]	[g]	[g]
SLV	1068	0.098	± 0.049

4.3 Sintesi delle verifiche a liquefazione

Al fine di definire se nella tratta oggetto della presente relazione vi siano zone potenzialmente instabili nei confronti della liquefazione, sono state condotte una serie di verifiche per la cui descrizione di dettaglio si rimanda alla Relazione Geotecnica (Doc. Rif.[1]).

Le verifiche sono state condotte in accordo al “metodo semplificato” originariamente proposto da Seed e Idriss (1971,1982) e da Seed et al. (1985), confrontando lo sforzo di taglio ciclico normalizzato rispetto alla pressione verticale in sito (CSR) e la resistenza normalizzata del terreno al taglio ciclico (CRR). Il rapporto di resistenza ciclica CRR è stato valutato mediante relazioni empiriche che correlano la sollecitazione sismica ai risultati delle prove penetrometriche statiche (CPT) e dinamiche (SPT) eseguite in sito lungo il tracciato.

Il fattore di sicurezza FL rispetto al fenomeno della liquefazione, in accordo a Youd et al. (2001), vale:

$$FL = (CRR_{7.5}/CSR) MSF k_{\sigma}$$

L'indice di Potenziale di Liquefazione (in letteratura LPI, Liquefaction Potential Index) in accordo a Iwasaki et al. (1982) viene determinato come segue:

$$LPI = \int_0^{20} F(z) \cdot W(z) dz$$

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 21 di 219

dove $W(z)$ rappresenta un moltiplicatore (peso) linearmente decrescente con la profondità z (da 0 a 20 m) in grado di assegnare una maggiore importanza a ciò che avviene all'interno degli strati più superficiali

Oltre a queste verifiche, sono stati valutati anche i cedimenti da riconsolidazione post-terremoto, a seguito di generazione di sovrappressioni interstiziali durante la fase di scuotimento, sulla base di relazioni derivate da prove di laboratorio, in generale buona relazione con effetti osservati su scala reale (Idriss & Boulanger, 2008). In particolare, i cedimenti attesi sono stati determinati in accordo alla procedura proposta da Ishihara and Yoshimine (1992), la quale mette in relazione le deformazioni volumetriche post-sisma con i valori massimi di sforzo a taglio sviluppati durante i cicli di carico non drenato e la densità relativa iniziale del suolo.

In sintesi, gli spessori di materiale potenzialmente liquefacibile per la tratta in esame sono riportati nella seguente Tabella 9. Si osserva come gli strati a rischio di liquefazione in questa tratta sono generalmente piuttosto superficiali e di spessore rilevante.

Tabella 9: Sintesi dei risultati delle verifiche a liquefazione ed individuazione dei tratti potenzialmente liquefacibili

Tratto di linea	Indagini di riferimento	Quota media piano campagna	Spessore materiale potenzialmente liquefacibile	Elevazione		FL	LPI (*) Classe di pericolosità	Stima cedimento post-sisma atteso (*)
		[m slm]	[m]	da [m slm]	a [m slm]			
4+500 – 4+800	S7	+14.0	8	+11.3	+3.3	< 1	5.8 (Alta)	20.8
4+800 – 5+100	CPTU04	+15.5	2	+7.5	+5.5	< 1	1.5 (Bassa)	5.2
5+100 – 5+400	CPTU05	+18.5	4	+14.5	+10.5	< 1	2.9 (Moderata)	9
5+400 – 5+850	S8	+19.5	4	+8.9	+4.9	< 1	0.0 (Bassa)	2.8
5+850 – 6+500	CPTU06	+19.5	3	+19.5	+16.5	< 1	2.0 (Bassa/Moderata)	5.7

Nelle figure seguenti sono rappresentate le sezioni tipologiche rappresentative delle tratte indicate a rischio liquefazione e il terreno di fondazione sottostante con lo strato di materiale liquefacibile.

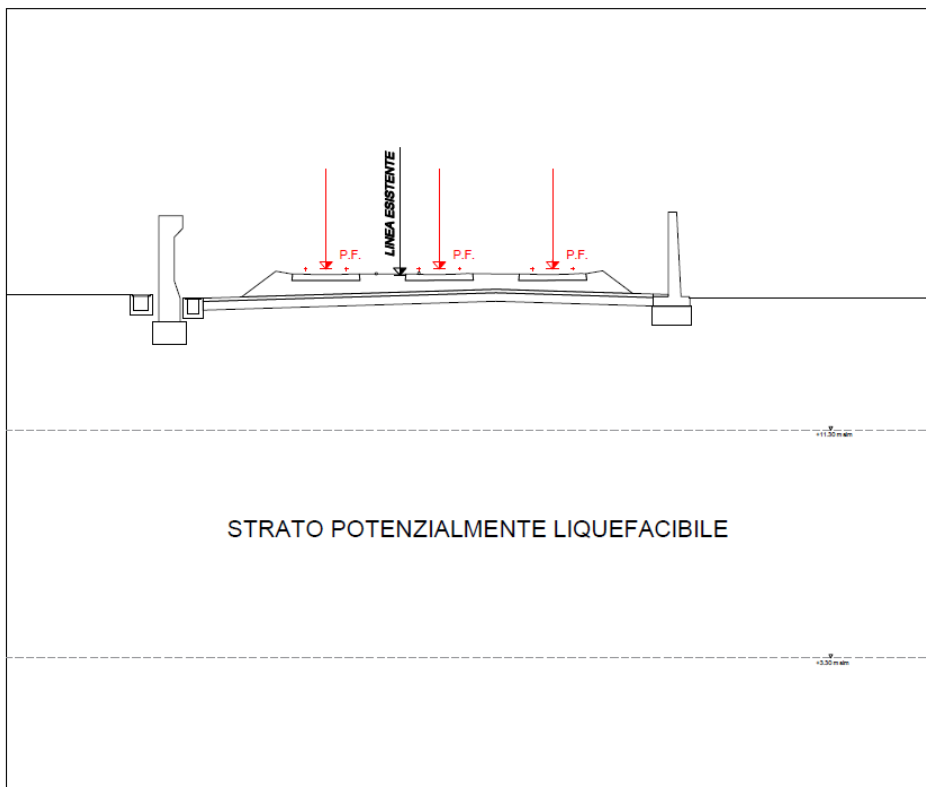


Figura 1- Sezione rilevato alla pk 4+750 su strato di terreno liquefacibile

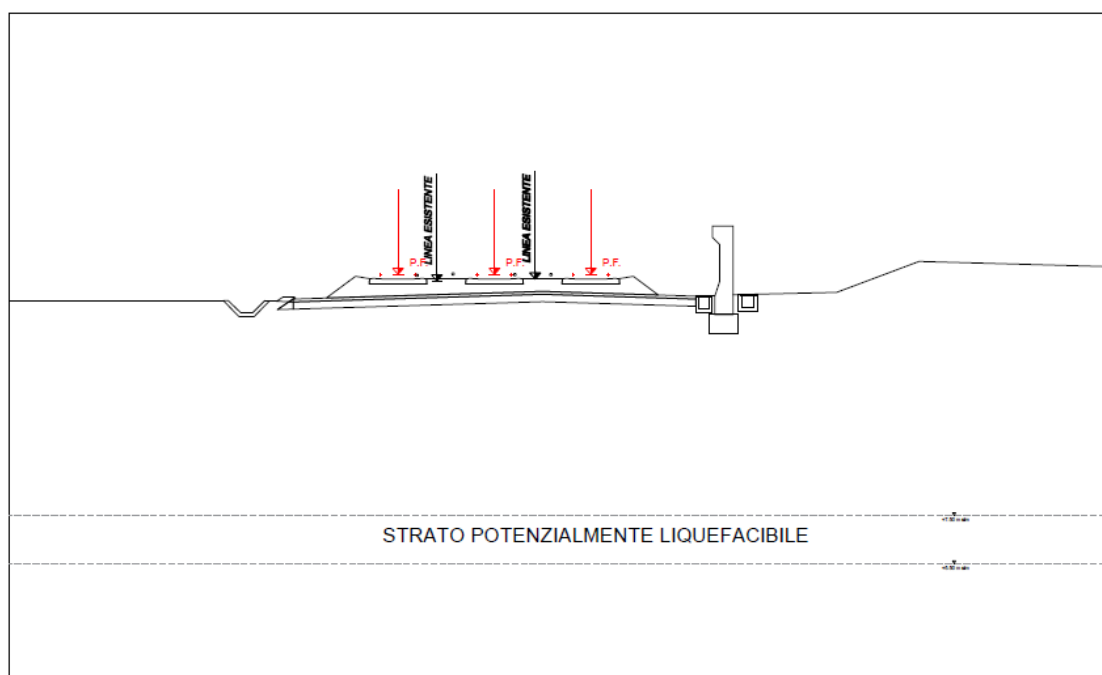


Figura 2- Sezione rilevato alla pk 5+050 su strato di terreno liquefacibile

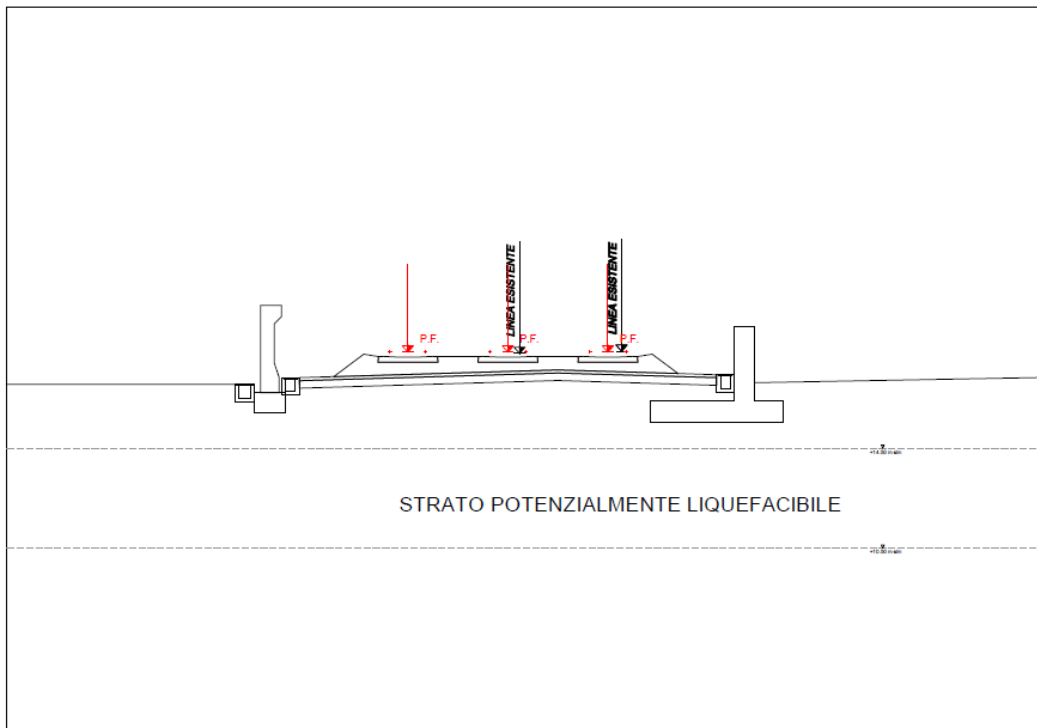


Figura 3- Sezione rilevato alla pk 5+300 su strato di terreno liquefacibile

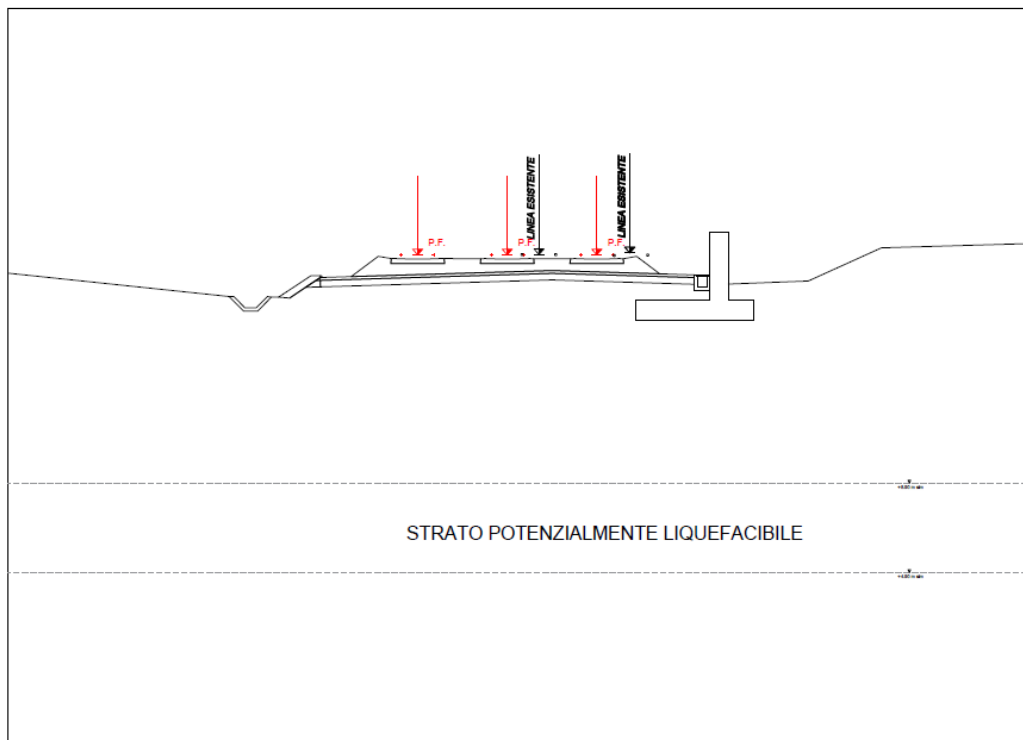


Figura 4- Sezione rilevato alla pk 5+500 su strato di terreno liquefacibile

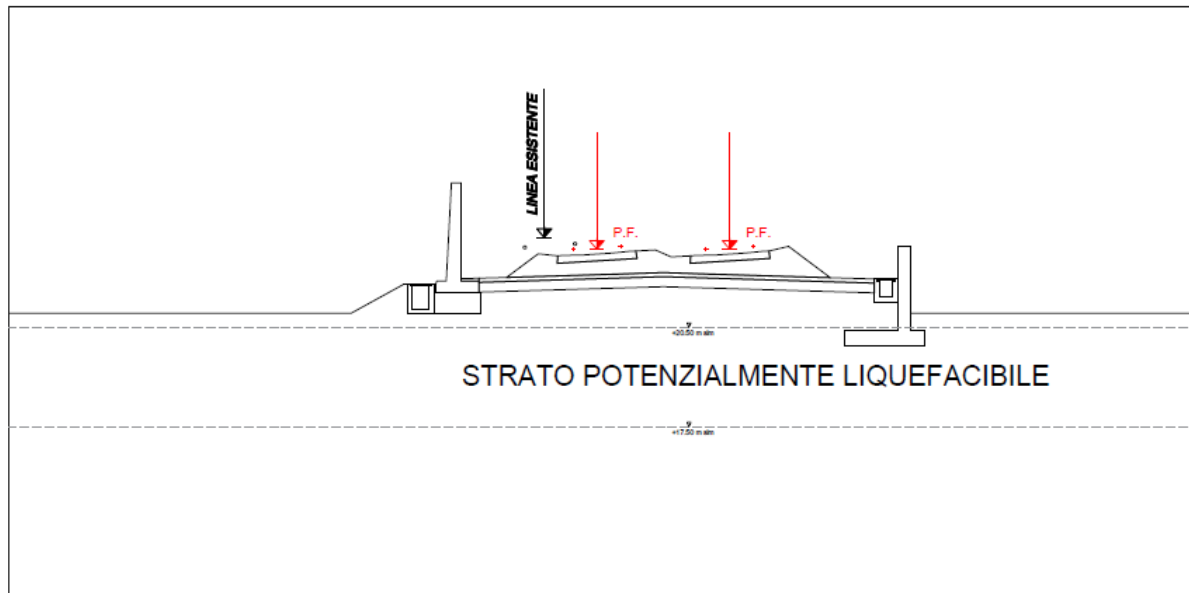


Figura 5- Sezione rilevato alla pk 6+150 su strato di terreno liquefacibile

Di tali valutazioni si è tenuto conto nel seguito per la selezione delle verifiche da eseguirsi e per la definizione di eventuali interventi di trattamento.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 25 di 219

5. CODICI DI CALCOLO E METODOLOGIE DI VERIFICA

5.1 Codici di calcolo utilizzati

5.1.1 Slope/W

Slope/W è un codice di calcolo dedicato allo studio della stabilità dei pendii che permette di calcolare il fattore di sicurezza dei pendii in terreno e in roccia.

Il codice Slope/W utilizza il metodo dell'equilibrio limite e permette di prendere in considerazione superfici di scorrimento definite in diversi modi, condizioni stratigrafiche e idrostratigrafiche complesse mediante l'utilizzo di diversi modelli costitutivi per i materiali e condizioni di pressioni neutre variabili. Sono inoltre utilizzabili diversi metodi di analisi e possono essere applicate condizioni di carico di vario tipo.

La versione del software adottata per le verifiche condotte nel presente documento è SLOpe/W – GeoSLOpe ver. 7.17 - GEOSTUDIO 2007.

5.1.2 Plaxis 2D

Plaxis 2D è un codice di calcolo agli elementi finiti (sviluppato dalla Delft University of Technology) bidimensionale in grado di tenere conto del comportamento del terreno seguendo la variazione dello stato tensionale e deformativo nei vari punti dell'ammasso considerato e negli eventuali elementi strutturali collegati con i quali interagisce.

E' utilizzabile per eseguire analisi di stabilità e di deformazione nell'ambito di molteplici applicazioni geotecniche. Il programma permette di simulare situazioni reali riconducibili a condizioni di deformazione piane (plane strain) o a condizioni assialsimmetriche (axisymmetric).

Plaxis consente di svolgere diversi tipi di calcolo agli elementi finiti distinguendo tra calcoli di tipo Plastico (plastic), Analisi di consolidazione (consolidation), Analisi di stabilità con il metodo della riduzione dei parametri di resistenza (phi-c reduction) e Analisi dinamiche (dynamic).

La versione del software adottata per le analisi condotte nel presente documento è Plaxis 2D AE.02.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 26 di 219

5.2 Metodologie di verifica adottate

5.2.1 Verifiche di stabilità in assenza di materiali liquefacibili

L'esame delle condizioni di stabilità dei rilevati è stato condotto utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite.

Il coefficiente di sicurezza a rottura lungo la superficie di scorrimento viene definito come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile lungo la superficie e quella effettivamente mobilitata:

$$F_s = \frac{T_{disp}}{T_{mob}}$$

Il codice Slope/W è stato utilizzato nel presente documento per condurre le analisi di stabilità sia in campo statico che in campo sismico (adottando il metodo pseudo-statico) costituenti le verifiche SLU richieste dalla Normativa per le opere in terreni sciolti.

Per le analisi in condizioni sismiche è stata adottata cautelativamente, come già anticipato al punto 4, l'azione riferita alle sezioni oggetto del presente documento tra quelle individuate lungo il tracciato nella Relazione Geotecnica (Doc. rif. [1]).

Nelle analisi sono state escluse, perché considerate non significative, le superfici di rottura superficiali che coinvolgono volumi di terreno ridotti. A tal proposito si sottolinea che, nei calcoli, a favore di sicurezza, non è stato preso in conto in alcun modo l'effetto che la finitura a verde delle scarpate darà necessariamente, in termini di coesione efficace, allo strato più superficiale delle scarpate, né il pacchetto di pavimentazione stradale ferroviaria che contribuisce anch'esso ad incrementare la resistenza allo scivolamento nella porzione di meccanismo che attraversa tali materiali.

5.2.2 Verifiche di stabilità in presenza di materiali liquefacibili

Anche le verifiche di stabilità per i tratti dove è stata individuata la presenza di materiale liquefacibile sono state condotte utilizzando gli usuali metodi dell'equilibrio limite mediante il codice Slope/W.

In particolare tali analisi sono finalizzate non solo alla valutazione della stabilità del rilevato in condizioni statiche di cui al punto precedente, ma anche a valutare l'eventuale impatto della

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 27 di 219

liquefazione in senso lato, compresa quindi la generazione di sovrappressioni interstiziali, sulla stabilità dei rilevati.

In particolare nelle analisi sono state considerate le seguenti situazioni rappresentative:

- Condizioni statiche;
- Condizioni co-sismiche, ipotizzando che nel terreno potenzialmente liquefacibile in concomitanza delle massime azioni sismiche di calcolo le sovrappressioni interstiziali siano pari al 50% della tensione verticale efficace applicata in condizioni statiche; le condizioni sismiche sono state simulate con un'analisi pseudo-statica adottando i seguenti coefficienti di accelerazione orizzontale k_h e verticale k_v definite al precedente punto 4.2.1.1:
- Condizioni post-sismiche, ipotizzando che nel terreno potenzialmente liquefacibile i terreni siano effettivamente liquefatti e sia disponibile la sola resistenza residua calcolata adoperando, a seconda delle prove disponibili (CPT e/o SPT), le relazioni tra $q_{c1Ncs-Sr}$ e/o $(N_1)_{60cs-Sr}$ e resistenza residua S_r proposte da Idriss e Boulanger (2008).

Le analisi sono state effettuate con il metodo semplificato dell'equilibrio limite implementato nel software Slope/W (GEOSLOPE). Per tali analisi è stato adottato il metodo di Morgenstern e Price utilizzando tutti i parametri di default del software.

5.2.3 Valutazione degli spostamenti

Il codice Plaxis 2D è stato utilizzato nel presente documento per condurre le analisi di spostamento in campo statico costituenti le verifiche SLE richieste dalla Normativa per le opere in terreni sciolti.

Il calcolo dei cedimenti attraverso il codice Plaxis 2D è stato condotto utilizzando un modello costitutivo di tipo elasto-plastico con criterio di rottura alla Mohr Coulomb per le formazioni ghiaioso-sabbiose (G,S), un modello costitutivo di tipo Hardening (Hardening Soil Model) per l'unità L(S) e con un modello costitutivo tipo Cam Clay (Soft Soil Model), sempre con criterio di rottura alla Mohr-Coulomb per le formazioni definite come coesive.

Attraverso questo calcolo è stato possibile ripercorrere la storia tenso-deformativa del sistema rilevato esistente-terreno di fondazione e valutare lo sviluppo nel tempo dei cedimenti di

consolidazione primaria dovuti alla costruzione del nuovo rilevato e alla successiva applicazione dei sovraccarichi dovuti al traffico ferroviario.

I parametri adottati nel calcolo sono quelli riportati al paragrafo relativo.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 29 di 219

6. CARATTERISTICHE DEL CORPO STRADALE FERROVIARIO

6.1 Descrizione dei rilevati ferroviari

Per quanto riguarda la geometria dei rilevati, si è fatto riferimento agli elaborati di progetto ad essi relativi ed in particolare alle sezioni trasversali, tipologiche e correnti.

In particolare i rilevati sono previsti con pendenza 3H:2V.

Al di sotto del rilevato è stato previsto uno scotico e bonifico per uno spessore pari a 1.0 m.

Per le scarpate è stata ipotizzata una finitura a verde.

Il rilevato è finito in sommità con la realizzazione di uno strato di super compattato di spessore pari a 30 cm, al di sopra del quale verrà realizzato uno strato di Sub-ballast di spessore pari a 12 cm.

Una volta completato il corpo del rilevato si posizioneranno ballast, traversine ed armamento ferroviario.

6.2 Materiali costituenti il rilevato

Per quanto riguarda il materiale costituente il corpo del rilevato è stato ipotizzato di ricorrere a materiale di natura granulare. Tale materiale dovrà avere le seguenti caratteristiche minime: peso specifico pari a 19 kN/m³, un angolo di attrito caratteristico ϕ'_k pari a 38° e coesione efficace nulla.

Lo strato di materiale supercompattato, di spessore pari a 30 cm, è caratterizzato da un peso specifico pari a 20 kN/m³, un angolo di attrito caratteristico ϕ'_k pari a 42° e coesione efficace nulla, mentre lo strato di Sub-ballast, di spessore pari a 12 cm, è caratterizzato da un peso specifico pari a 20 kN/m³, un angolo di attrito caratteristico ϕ'_k pari a 38° e coesione efficace pari a 600 kPa.

L'inerbimento superficiale delle scarpate non è stato considerato nelle analisi.

Una sintesi dei parametri geotecnici di calcolo per i materiali antropici è riportata alla successiva Tabella 10.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 30 di 219

Tabella 10: Parametri geotecnici di calcolo – materiali costituenti il rilevato

STRATO	Spessore	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		Modulo di Young operativo	Permeabilità
	[m]	γ_d	ϕ'_k	ϕ'_d M2	c'_k	c'_d M2	$E_{op.}$	k
		[kN/m ³]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[m/s]
SUB-BALLAST	0.12	20	38	32	600	480	400	1x10 ⁻⁹
SUPER-COMPATTATO	0.3	20	42	36	0	0	60	1x10 ⁻⁹
RILEVATO	Variabile	19	38	32	0	0	30	1x10 ⁻⁵
STRATO DI BONIFICO	1.0	19	38	32	0	0	15	1x10 ⁻⁵

6.3 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).
- Sovraccarico rappresentativo del traffico ferroviario.
- Carico da azione sismica.

L'armamento ferroviario è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 14,4 kPa, rappresentativo di uno strato di spessore pari a circa 0,80 m con un peso pari a 18,00 kN/m³. Il carico è stato applicato sulla sommità del rilevato per una larghezza complessiva di circa 10 m, escludendo le estremità laddove l'armamento non è effettivamente presente.

Il sovraccarico da traffico ferroviario è stato valutato in accordo a quanto riportato nel Doc. Rif. [9] per quanto riguarda il traffico normale (modello di carico LM71). 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 250 kN ad asse, con interasse pari a 1.6 m, (ossia $250/1.6 = 156.25$ kN/m);
- per riportare il carico ferroviario dalla traversina, di larghezza pari a 2.4 m, 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 3 m, centrata in corrispondenza dell'asse della linea ferroviaria (ossia $156.25/3 = 52.08$ kPa). In caso di doppio binario si sono considerate due fasce di larghezza pari a 3 m in corrispondenza delle due vie di corsa. In particolare per

La pressione considerata è stata assunta pertanto pari a 52.1 kPa. Da amplificarsi, sempre in base a quanto indicato dal Doc. Rif. [9] con un coefficiente α pari a 1.1. Pertanto il valore di pressione risultante è pari a 57.3 kPa.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto si rimanda al punto 4 del presente documento.

Tali carichi e sovraccarichi sono stati inseriti nelle diverse verifiche agli SLU (statiche e sismiche) e agli SLE applicando laddove necessario gli opportuni coefficienti parziali di amplificazione come previsti dalla Normativa vigente.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 32 di 219

7. CARATTERISTICHE DEGLI INTERVENTI DI TRATTAMENTO

In base alle caratteristiche delle opere in progetto in questa tratta e alla tipologia di terreni incontrati in sito, si possono riscontrare le seguenti problematiche da affrontare:

- cedimenti residui attesi per i rilevati di nuova costruzione durante la vita del rilevato stesso superiori al limite consentito di 5 cm in base a quanto indicato nei Doc. Rif. [9] e [11];
- Fattori di Sicurezza nei confronti della stabilità delle scarpate dei rilevati non soddisfacenti i requisiti minimi di normativa;
- presenza di materiali potenzialmente liquefacibili che, in concomitanza con l'evento sismico, possono mettere in discussione la stabilità del rilevato o generare cedimenti post-sisma ritenuti troppo elevati sia per l'opera ferroviaria sia per le opere adiacenti, il cui collasso può avere conseguenze sulla funzionalità dell'esercizio ferroviario in atto più gravi dei danni residui sulla piattaforma ferroviaria che saranno oggetto di successivo ripristino.

Al fine di risolvere tali problematiche si prevede, nell'ambito del progetto in esame, di poter utilizzare due tipologie diverse di trattamento del terreno: Colonne in Deep Mixing e Colonne di Ghiaia.

Nel seguito vengono presentate e descritte le due metodologie, con particolare riferimento alle caratteristiche specifiche delle due tecniche mirate alla risoluzione delle problematiche individuate.

7.1 Colonne in Deep Mixing

7.1.1 Descrizione della tecnica

Il trattamento in oggetto fa parte dei trattamenti colonnari che prevedono miscelazione profonda per mescolamento meccanico del terreno con miscele cementizie. Solitamente è identificato con il termine deep mixing oppure con gli acronimi DMM (Deep Mixing Method) o DCM (Deep Cement Mixing).

Si tratta di una particolare tecnica finalizzata a migliorare le caratteristiche meccaniche ed idrauliche del terreno miscelando lo stesso insieme ad un legante e/o ad altri materiali che vengono introdotti in forma secca o in forma umida (boiacca). Attualmente sono disponibili differenti metodi di miscelazione profonda, ognuno dei quali è conosciuto con un proprio nome in

funzione di come viene iniettato il legante (metodo secco e metodo umido) e di come viene eseguita la miscelazione. Il getto avviene a media-bassa pressione (20-40 bar).

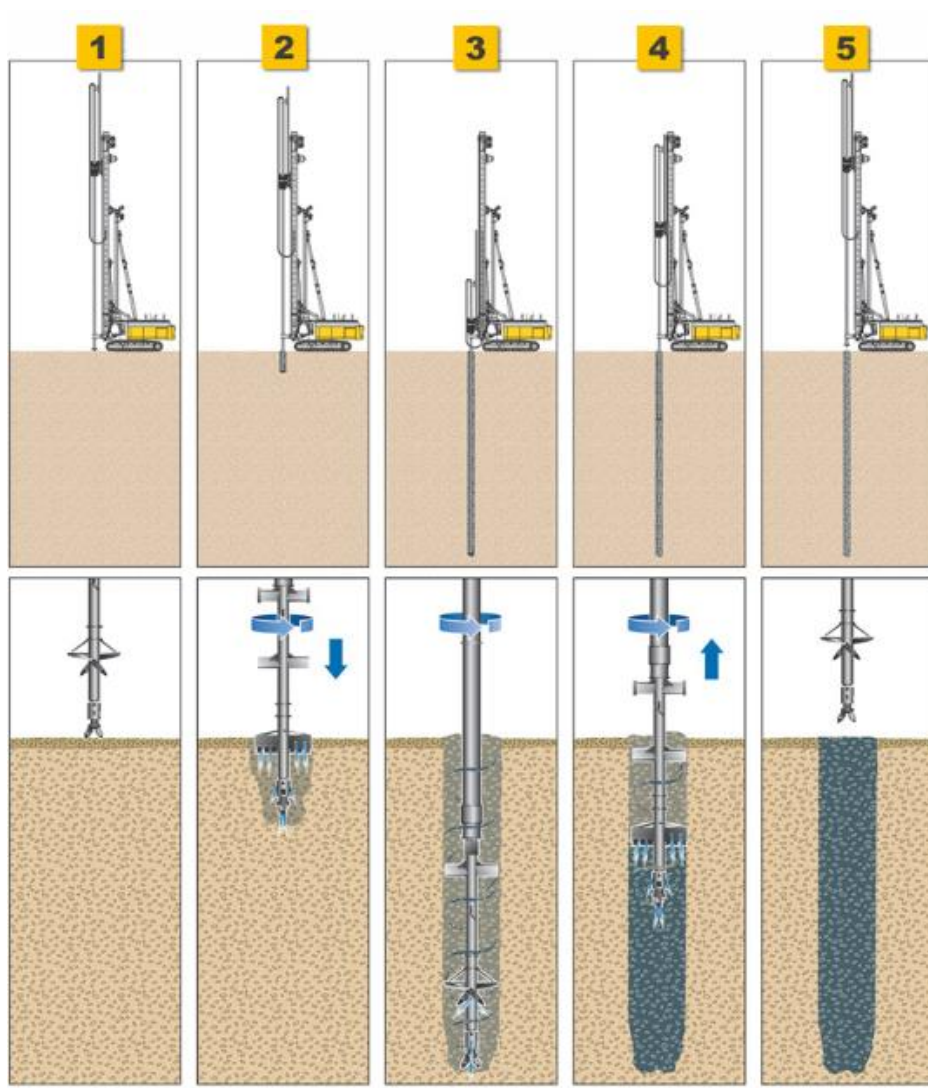


Figura 6: Schema di formazione colonne con la tecnica del deep mixing

Dry mixing

Il dry mixing è generalmente preferito per terreni limo-argillosi saturi, in virtù del loro elevato contenuto d'acqua necessario per sviluppare le reazioni di presa del legante. Ovviamente il

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 34 di 219

presupposto affinché possa avvenire la reazione di idratazione nel dry mixing è che il terreno sia immerso in falda o che comunque presenti un livello d'umidità sufficiente.

L'attrezzatura è costituita dal gruppo principale di perforazione e trattamento e da un gruppo di stoccaggio ed invio del legante in polvere; se necessario è presente anche un gruppo di alimentazione d'acqua per umidificare eventuali livelli aridi. La perforazione viene realizzata tramite una batteria di aste modulari cave, all'estremità della quale è montato l'utensile, con una doppia serie di lame, opportunamente sagomate. Durante la perforazione, eseguita con velocità di avanzamento e rotazione determinate in funzione della consistenza dei materiali da attraversare, le lame disgregano il terreno sino a portarlo ad una condizione prossima al limite liquido. In questa fase l'acqua necessaria per trattare i terreni aridi viene immessa in prossimità delle lame attraverso un'apposita conduttura. Ultimata la perforazione si inverte il senso di rotazione dell'utensile e si procede all'immissione del cemento attraverso gli ugelli posti in prossimità della zona di attacco delle lame all'asta. Il cemento viene trasportato da un flusso d'aria compressa utilizzando uno speciale dosatore che permette di immettere la quantità voluta di legante per metro cubo di volume trattato. In questa fase il cemento viene pertanto miscelato al terreno e la conformazione delle lame è tale da assicurare anche un costipamento verso il basso del materiale così miscelato. La qualità del prodotto viene assicurata dal controllo e dalla registrazione continua dei parametri operativi quali la velocità di avanzamento/recupero e di rotazione e la quantità di legante inviato per metro lineare di colonna.

Wet mixing

La tecnica di miscelazione per via umida consiste nella mescolazione in sito del terreno con una miscela a base di legante idraulico. L'attrezzatura è costituita da una macchina operatrice con una torre di perforazione costituita da una o più aste attrezzate con porzioni di spirale (terreni incoerenti) o lame (terreni coesivi). Ogni batteria termina con un utensile di perforazione provvisto di ugelli che consentono la fuoriuscita della miscela acqua-cemento necessaria. L'impianto di confezionamento e pompaggio prevede un agitatore dal quale la miscela viene inviata alle batterie di perforazione. Un sistema di rilevamento registra in continuo i seguenti parametri: pressione del circuito idraulico della macchina, velocità di rotazione, profondità, volume progressivo del fluido iniettato, portata e pressione dell'iniettore. La realizzazione degli elementi consolidati avviene

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 35 di 219

facendo penetrare nel terreno la batteria di attrezzi disagregatori sino alla quota di fine colonna; contemporaneamente alla discesa, dagli ugelli, viene iniettata la miscela cementizia ed è in questa fase che il terreno viene smosso e mescolato al legante. Terminata la perforazione, si inizia la fase di risalita invertendo il senso di rotazione della batteria ed eventualmente iniettando ulteriore miscela (eseguendo con ciò un'azione di compattazione del volume già trattato).



Figura 7: Particolare pulizia ugelli in wet deep mixing

Il volume di terreno trattato con deep mixing ha forma cilindrica, se si adotta la classica attrezzatura di scavo e iniezione della miscela ad elica (continua o discontinua), oppure una forma parallelepipedica a pannelli se si adotta una coppia di ruote fresanti. Nel nostro caso sono previste colonne di diametro 600 mm.

Per quanto riguarda la tecnica di miscelazione, vista la tipologia di materiali presenti e l'elevazione della falda, si ritiene preferibile adottare il dry-mixing.

Una volta eseguite le colonne di trattamento si provvederà a stendere uno strato di ripartizione, di spessore indicativo pari ad 1 m, costituito da materiale granulare opportunamente selezionato su cui costruire il rilevato ferroviario.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 36 di 219

Per tutti i dettagli dell'intervento e delle varie parti che lo compongono si rimanda ai plano-profili e alle sezioni tipologiche che fanno parte degli elaborati di progetto.

7.1.2 Dimensionamento dell'intervento

Da un punto di vista del dimensionamento dell'intervento si adottano due metodi diversi a seconda della funzione principale richiesta all'intervento: riduzione dei cedimenti dati dalla presenza di materiale cedevole o aumento delle caratteristiche di resistenza del materiale per eliminare il rischio di potenziale liquefazione e limitare i danni post-sisma.

1) Dimensionamento per riduzione dei cedimenti

In questo caso si procede nel seguente modo:

- si individua la sezione per la quale la valutazione dei cedimenti attesi in assenza di interventi risulta essere non compatibile con la funzionalità dell'opera e/o con la manutenzione ordinaria prevista;
- si ipotizza un trattamento, selezionando un diametro della colonna, un interasse e una profondità di intervento, valutata a partire dai calcoli dei cedimenti attesi di cui al punto precedente;
- si procede alla valutazione dei parametri di deformabilità equivalenti da associare al terreno trattato. Tale valutazione avviene mediante un calcolo con un modello assial-simmetrico ad elementi finiti, rappresentativo della singola colonna realizzata in Deep Mixing e del volume di terreno circostante che ricade nella zona di influenza della colonna stessa calcolato in funzione dell'interasse del trattamento;
- si calcolano nuovamente i cedimenti attesi per la sezione individuata, inserendo al di sotto dell'opera un volume di terreno rappresentativo del trattamento, a cui sono associati i parametri di deformabilità definiti al punto precedente;
- se i cedimenti così calcolati in presenza di trattamento risultano accettabili il dimensionamento dell'intervento è concluso, qualora non lo fossero perché ritenuti ancora troppo elevati, o al contrario, troppo bassi, si procede con una nuova ipotesi di intervento e si ripete la procedura.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 37 di 219

2) Dimensionamento per eliminazione rischio liquefazione

Innanzitutto si precisa che, mentre per gli interventi con colonne in Deep mixing mirati a ridurre i cedimenti si propongono maglie di trattamento omogenee classiche (quadrate o a quincce), per i trattamenti mirati a modificare le caratteristiche di resistenza del terreno naturale, fino a renderlo non più liquefacibile, si preferisce adottare un sistema di celle chiuse (setti perpendicolari tra loro) che con la loro geometria garantiscono maggiormente di offrire la resistenza al taglio prevista durante l'evento sismico (si veda a tal proposito le esperienze di Taki et al. 1991, Matsuo et al. 1996, Hausler et al. 2001 e Yamashita et al. 2008).

In questo caso si procede nel seguente modo:

- innanzitutto si verifica che le tensioni tangenziali indotte dal sisma possano essere adeguatamente assorbite dalla resistenza al taglio delle colonne di terreno trattato. Tale verifica viene effettuata calcolando il fattore di sicurezza disponibile dal rapporto tra $R_{tr,d}$ (capacità di resistenza a taglio delle colonne) ed E_d (forza indotta dal sisma).

$$FS = R_{tr,d} / E_d \geq 1.25$$

L'azione E_d viene calcolata in accordo alla procedura semplificata proposta da Seed e Idriss (1971) secondo cui il valore della tensione tangenziale di picco massima ad una data profondità è data dalla seguente espressione:

$$\tau_{max} = a_{max}/g * \sigma_v * r_d * 1/C_m$$

Dove:

a_{max} = accelerazione di picco massima

g = accelerazione di gravità

σ_v = pressione verticale totale alla quota di interesse

r_d = coefficiente di riduzione funzione della profondità di verifica = $(1 - 0.015 * z)$

C_m = fattore di conversione della magnitudo in accordo a Seed

Sempre in accordo a Seed e Idriss la tensione tangenziale ciclica media vale:

$$\tau_{cyc} = 0.65 * \tau_{max}$$

Pertanto le forze di taglio risultanti nell'area trattata A risultano essere:

$$E_{d, \max} = \tau_{\max} * A$$

$$E_{d, \text{cyc}} = \tau_{\text{cyc}} * A$$

Per la valutazione della resistenza a taglio disponibile si procede come segue:

Si considera di adottare un dosaggio di cemento predefinito e, in accordo alle correlazioni suggerite da Taki et al. 1991 (Figura 8), si valuta la resistenza a compressione non confinata q_u delle colonne.

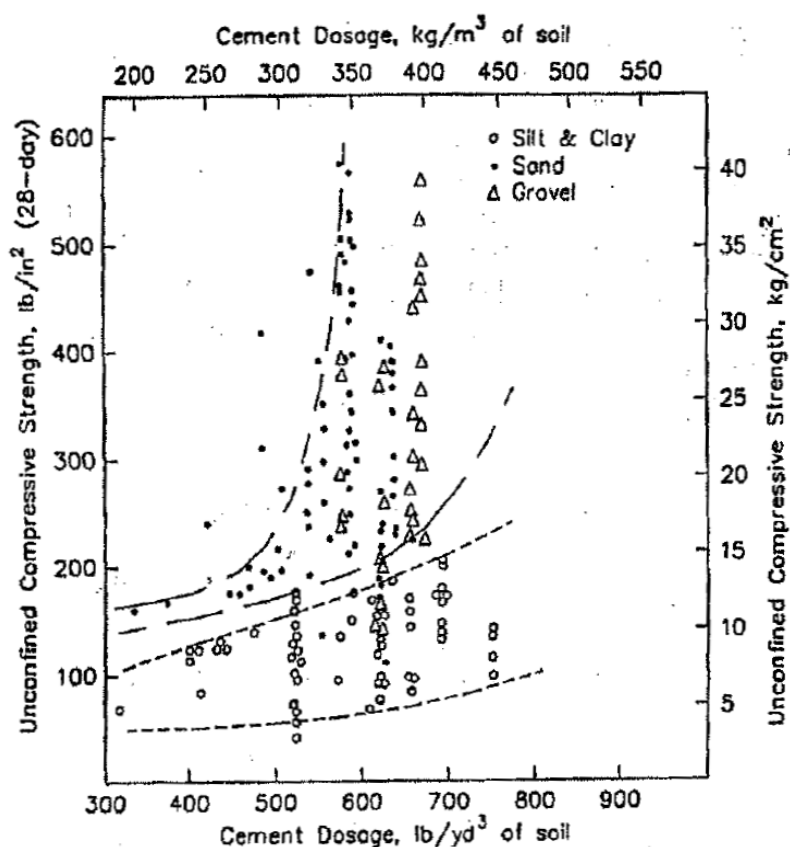


Figura 8: Resistenza del terreno trattato a cemento in funzione del dosaggio di cemento (Taki e Yang, 1991)

Utilizzando poi la relazione tra resistenza a compressione non confinata e resistenza al taglio proposta da Saitoh et al. 1980, secondo cui:

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 39 di 219

$$\tau_{rd} = 0.53 + 0.37 * q_u - 0.0014 * q_u^2$$

Quindi considerando l'area trattata A si ottiene la resistenza al taglio disponibile pari a:

$$R_{tr,d} = \tau_{rd} * A$$

- Successivamente si procede alla determinazione dei parametri di resistenza equivalenti da associare al volume di terreno trattato con le colonne e da utilizzare nelle verifiche di stabilità per valutare se, con la presenza del trattamento, le condizioni di stabilità in condizioni co-sismiche e post-sismiche siano soddisfacenti.

I parametri equivalenti vengono stimati omogeneizzando in funzione della percentuale di trattamento areale che viene eseguito, considerando che il terreno equivalente mantenga l'angolo di attrito interno del terreno di partenza e che la colonna cementata contribuisca, per la quota di pertinenza, con una coesione che dipende dal dosaggio di cemento usato nella miscelazione.

In particolare la coesione della colonna viene valutata a partire dal valore di resistenza a compressione non confinata della colonna q_u che dipende appunto dal dosaggio di cemento. Tale valore di partenza è quello usato per la verifica a liquefazione al punto precedente e proviene dal grafico di Taki et al. (1991) (Figura 8). Considerando che questo grafico riporta valori relativi a risultati di prove di laboratorio, si ipotizza di adottare una riduzione di tale valore, per tenere conto della effettiva resistenza disponibile in sito rispetto a quanto ottenuto da campioncini provati in laboratorio, e a partire da questa resistenza a compressione non confinata della colonna q_{u_sito} si calcola la coesione della colonna come $c = q_{u_sito} / 2$.

Per quanto riguarda i parametri di deformabilità si rimanda alla procedura descritta al precedente punto "Dimensionamento per riduzione dei cedimenti".

7.2 Colonne di Ghiaia

7.2.1 Descrizione della tecnica

Il trattamento in oggetto prevede di realizzare il miglioramento delle proprietà del terreno in sito mediante colonne di ghiaia realizzate con vibro-replacement mediante la tecnica con immissione della ghiaia a secco a fondo foro. Dove praticabili, infatti, tali tecniche risultano le più veloci ed

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 40 di 219

economiche. Tuttavia, l'ingombro e gli spazi di manovra delle macchine (si veda la Figura 9), la necessità di alimentarle con apporti solidi (sabbia/ghiaia) con il rischio di caduta di tali materiali sulla sede ferroviaria, le dimensioni delle aree di disturbo create in superficie potrebbero rendere queste tecniche applicabili solo limitatamente nel caso in esame e dovendo prevedere opportune protezioni laddove si eseguissero in prossimità della linea esistente in esercizio.



Figura 9: Tipica attrezzatura per colonne di ghiaia con immissione della ghiaia a secco a fondo foro

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 41 di 219

In dettaglio, si utilizza il vibro a carica pneumatica, dove il materiale ghiaioso di apporto fuoriesce direttamente, sotto pressione d'aria, alla punta dell'utensile (metodo Bottom Feed a secco). L'infissione a secco è ottenuta grazie ad un tirabasso montato su specifica torreguida.

L'azione del tirabasso comporta una ottimale compattazione della colonna in ghiaia (attivazione) ed una estensione in profondità dell'addensamento oltre la massima profondità raggiunta. La colonna viene formata per passi successivi di estrazione, fuoriuscita e schiacciamento della ghiaia sia verso il basso, sia lateralmente. In questo modo si ottengono elementi colonnari che, interagendo con il terreno contribuiscono al miglioramento della capacità portante delle stratificazioni consolidate, sostengono i carichi e consentono la limitazione dei cedimenti attesi nei limiti di progetto.



Figura 10: Tipica attrezzatura per colonne di ghiaia con immissione della ghiaia a secco a fondo foro – Dettaglio della punta dell'utensile (nota ugelli per l'iniezione di acqua o aria) e tubo di consegna ghiaia

Il metodo a secco, senza fluidi di perforazione, associato all'utilizzo di sola ghiaia naturale consente di operare nelle condizioni di massima compatibilità ambientale.

La tecnologia è particolarmente adatta a risolvere problematiche di mitigazione del rischio liquefazione grazie a tre effetti: l'irrigidimento del terreno per la presenza delle colonne di ghiaia, la

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 42 di 219

compattazione del terreno intercluso tra le colonne, il drenaggio che garantisce la dissipazione delle sovrappressioni interstiziali.

A completamento dell'intervento, al di sopra delle colonne, verrà realizzato uno strato di ripartizione dei carichi, costituito da materiale granulare selezionato, previa interposizione di un geotessuto di separazione, in modo da creare un cuscino tra il terreno trattato e la struttura sovrastante (rilevato o fondazione).

7.2.2 Dimensionamento dell'intervento

Al contrario di quanto visto per il trattamento in deep mixing, per le colonne di ghiaia si adotta un unico metodo di dimensionamento che permette di definire sia i parametri di deformabilità per una efficace riduzione dei cedimenti dati dalla presenza di materiale cedevole, sia i parametri di resistenza per garantire la stabilità ed eliminare il rischio di potenziale liquefazione.

La dimensione delle colonne e la spaziatura tra esse necessarie per raggiungere gli obiettivi di progetto sono calcolate secondo il metodo proposto da Priebe (1998). Il metodo prende in considerazione il rinforzo del terreno dato dalla presenza delle colonne, ma trascura gli effetti benefici della possibilità di drenaggio fornito dalle colonne costituite da materiale grossolano e della compattazione (addensamento) del materiale tra le colonne stesse. Pertanto l'applicazione di questo metodo in cui si utilizzano quali dati di partenza i risultati delle indagini pre-trattamento, costituisce una stima conservativa dell'efficacia reale dell'intervento.

La procedura di dimensionamento prevede di ipotizzare una densità di trattamento (diametro della colonna e spaziatura dell'intervento) che corrisponde ad un rapporto r tra area del trattamento A e area della colonna A_c

Dove: $r = A / A_c$

Con questo valore di rapporto A / A_c si valuta, in base al grafico proposto da Priebe e riportato nella successiva Figura 11, il valore di CSR (cyclic stress ratio) residuo come frazione della CSR totale. Il beneficio dato dalla presenza del trattamento con colonne di ghiaia è valutato quindi come riduzione dell'azione CSR agente e pertanto può essere espresso anche come riduzione della PGA. Se la verifica a liquefazione dell'area condotta nuovamente con il nuovo valore ridotto di PGA risulta soddisfatta, allora l'intervento è dimensionato correttamente e si considera che l'effetto

benefico dato dalla presenza delle colonne di ghiaia sia tale da non permettere nemmeno l'innesco del fenomeno di liquefazione.

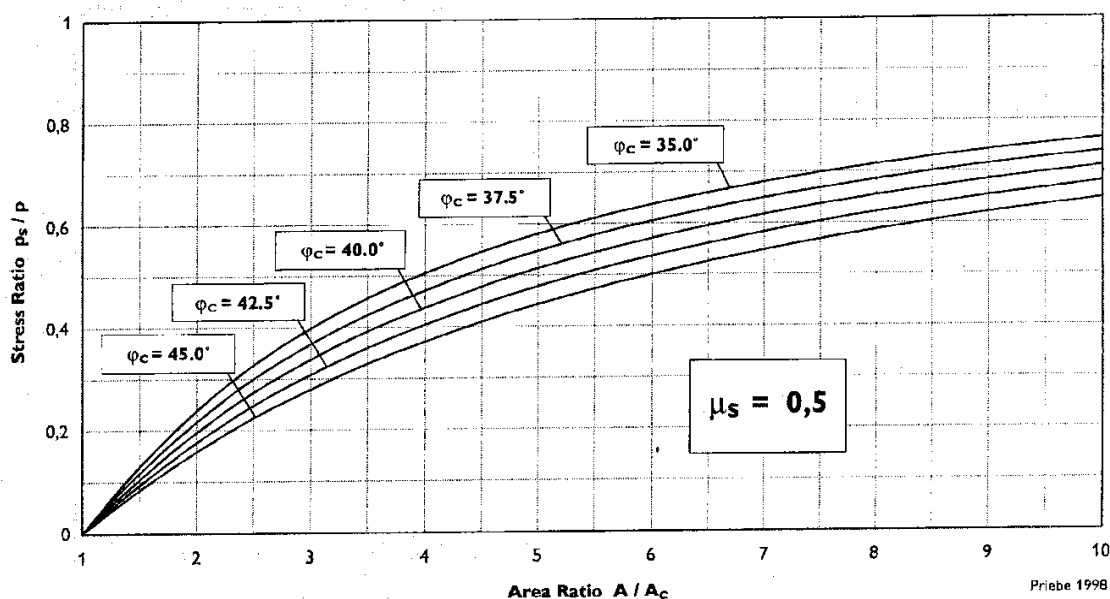


Figura 11: Grafico per stimare la resistenza residua da associare al terreno tra le colonne (Priebe 1998)

Una volta che l'intervento è dimensionato, sempre facendo riferimento alle teorie proposte da Priebe ("The design of Vibro-replacement", Ground Engineering, 1995), a partire dai parametri della colonna (diametro, spaziature, modulo di deformabilità, angolo di attrito interno del materiale costituente la colonna) e dai parametri del terreno naturale in sito (spessore dei diversi strati attraversati, pesi specifici, moduli di deformabilità, angoli di attrito interno dei diversi strati) è possibile determinare i parametri equivalenti da associare al volume di terreno trattato.

Per il dettaglio sulla procedura di calcolo si rimanda all'articolo suddetto.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 44 di 219

8. SELEZIONE DELLE SEZIONI DI CALCOLO SIGNIFICATIVE

Oggetto della presente relazione sono i rilevati lungo la tratta di linea ferroviaria compresa tra il km 4+500 e il km 6+500. La sede ferroviaria si sviluppa quasi totalmente a raso con il piano campagna e, in tratte di lunghezza limitata, con rilevati di altezza massima di progetto pari a circa 1-2 m. Di conseguenza, data la modesta altezza dei rilevati, la ricerca è mirata soprattutto all'individuazione di sezioni significative per le verifiche della stabilità globale del sistema rilevato-terreno di fondazione caratterizzato dalla presenza di materiali suscettibili a liquefazione.

Pertanto, sono state scelte le sezioni rappresentative di tratte in cui la presenza di materiali potenzialmente liquefacibili tra gli strati del terreno di fondazione potrebbe compromettere le condizioni di stabilità del sistema, in particolare:

- Sezione al km 4+750 per la tratta da 4+500 a 4+800;
- Sezione al km 5+300 per la tratta da 5+100 a 5+400;
- Sezione al km 6+150 per la tratta da 5+850 a 6+500.

Per quanto riguarda la tratta tra il km 4+500 e il km 4+800 la probabilità di occorrenza del fenomeno della liquefazione è rilevante, con un valore di LPI pari a 5.8, e ad essa è associato un cedimento post-sisma stimato pari a 20.8 cm, come riportato nella precedente Tabella 9. Pertanto per questa tratta specifica è stato deciso di prevedere un intervento di consolidamento mirato ad eliminare il rischio di liquefazione, a prescindere dai risultati delle verifiche di stabilità globale in condizioni statiche e sismiche. Di conseguenza per la sezione al km 4+750, tipologica della tratta, si è proceduto direttamente al dimensionamento dell'intervento di consolidamento.

Per le altre sezioni rappresentative, si è invece proceduto con la verifica delle condizioni di stabilità e la valutazione dell'effettiva necessità di prevedere o meno degli interventi di consolidamento.

Nella tratta compresa tra il km 5+850 e il km 6+500 i rilevati ferroviari raggiungono altezze di progetto fra le massime nella tratta oggetto della presente relazione, pertanto è stato ritenuto opportuno verificare che i cedimenti residui attesi, calcolati alla sezione 6+150 rappresentativa della tratta, fossero tali da rispettare quanto riportato al punto 3.2.2.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 45 di 219

Nei paragrafi seguenti, sono pertanto riportate le verifiche di stabilità globale relative alle sezioni 5+300 e 6+150 e le verifiche dei cedimenti attesi per la sezione 6+150, per le quali è stata definita la stratigrafia di riferimento ed i relativi parametri geotecnici di progetto, per la cui definizione si rimanda alla Relazione Geotecnica (Doc. rif. [1]).

Per quanto riguarda, invece, le tratte restanti tra il km 4+800 e il km 5+100 e tra il km 5+400 e il km 5+850, è stato valutato, vista la bassa pericolosità, la maggiore profondità dello strato liquefacibile e valori di cedimenti attesi post-sisma irrisori (cfr. Tabella 9), di non effettuare alcuna verifica.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 46 di 219

9. SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 4+750

Nella tratta compresa tra il km 4+500 e il km 4+800 è stato stimato un valore di cedimento atteso post-sisma, quale effetto del fenomeno della liquefazione del terreno di fondazione, pari a 20.8 cm con una probabilità di occorrenza alta. È stato necessario, dunque, dimensionare un intervento di consolidamento mirato ad eliminare il rischio di liquefazione e gli effetti che da esso ne conseguono.

9.1 Dimensionamento del trattamento in Colonne di Ghiaia

Per tutta la tratta compresa tra la progressiva 4+500 e la progressiva 4+800 si prevede di realizzare un intervento di trattamento con colonne di ghiaia. La scelta di questa soluzione deriva dalle seguenti considerazioni:

- Presenza di strati liquefacibili di spessore significativo ad una quota media superficiale nell'ambito della stratigrafia di riferimento, situazioni nelle quali l'intervento in colonne di ghiaia è stato valutato il più adatto a massimizzare la capacità di dissipazione delle sovrappressioni interstiziali in fase sismica (condizioni co-sisma) migliorando le condizioni di stabilità globali (e locali delle opere lungo linea) e garantendo allo stesso tempo un aumento dei parametri di resistenza dei terreni trattati e dunque un migliore comportamento delle opere anche in fase post-sismica (oltre che ovviamente in quella di esercizio);
- Configurazione della piattaforma ferroviaria con rilevati di altezza inferiore o nulla, con minori ripercussioni/problematiche delle lavorazioni per affiancamento in confronto al caso delle altre tratte del lotto 1 in cui l'uso delle colonne di ghiaia comporterebbe minori margini di libertà nelle fasi costruttive di cantiere rispetto alle colonne in DM (sia per la diversa tecnologia da impiegare che per i maggiori diametri da realizzare).

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 47 di 219

Il dimensionamento dell'intervento e la sua efficacia nella mitigazione del rischio liquefazione e nel miglioramento delle caratteristiche meccaniche del materiale sono riportati a paragrafi seguenti.

9.1.1 Analisi dimensionamento colonne di ghiaia

La procedura seguita nel dimensionamento di questo intervento è descritta al precedente punto 7.2.2.

In particolare, al fine di eliminare il rischio di liquefazione nei primi strati del terreno di fondazione del rilevato di altezza inferiore a 1 m è stato ipotizzato un trattamento con colonne di ghiaia del diametro di 800 mm disposte secondo maglia quadrata di lato pari ad 1.9 m. Ne risulta un'area del terreno trattata pari a 3.66 m² e quindi un rapporto $r = A/A_c = 7.3$, dove A rappresenta l'area trattata e A_c l'area della singola colonna di ghiaia.

Attraverso il grafico proposto da Priebe (1998) (Figura 11) e ipotizzando di utilizzare un materiale granulare caratterizzato da un angolo di attrito interno pari a 40°, viene determinato un valore dello Stress Ratio pari a 0.62, corrispondente al suddetto rapporto A/A_c .

Moltiplicando, dunque, il valore di accelerazione massima attesa nella tratta di interesse ($a_{max}=0.258g$) per 0.62 si ottiene un valore di accelerazione massima ridotta pari a 0.16g.

Con tale valore di accelerazione massima attesa vengono nuovamente effettuate le verifiche a liquefazione sulla base dei risultati delle prove CPT/SPT così da verificare se il trattamento ipotizzato sia sufficiente ad eliminare il rischio liquefazione.

I risultati di tale verifica sono riportati in

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 48 di 219

ALLEGATO A – RISULTATI DA VERIFICHE A LIQUEFAZIONE (con trattamento) e da questi si evince che ad ogni profondità indagata il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione FL è sempre maggiore di 1 con valori di cedimenti attesi post-sisma inferiori a 2.5 cm, dunque il trattamento risulta **efficace per la mitigazione del rischio liquefazione.**

10. SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 5+300

10.1 Stratigrafia e parametri geotecnici

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica (Doc. rif. [1]) e sulla base di quanto descritto nel Cap. 3, nella Tabella 11 e

Tabella 12 sono riportati la stratigrafia ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto, fattorizzati utilizzando i coefficienti M2 contenuti nella Tabella 4 della presente relazione.

Si rimanda invece alla Tabella 10 per i valori dei parametri geotecnici relativi ai materiali antropici utilizzati per il corpo del rilevato, per lo strato di bonifico (100 cm al di sotto del rilevato) e per il pacchetto di armamento ferroviario.

Si ricorda che, come definito al Cap. 7 del Doc. Rif.[4], le verifiche geotecniche SLU di stabilità globale dei rilevati, in campo statico, richiedono l'adozione della sola Combinazione 2 dell'Approccio 1 e pertanto l'applicazione dei soli coefficienti parziali M2, mentre per le verifiche

sismiche e per le verifiche SLE, finalizzate alla determinazione dei cedimenti, sono richiesti i parametri caratteristici.

Tabella 11: Stratigrafia di calcolo per la sezione 5+300

Strato	Profondità da [m da p.c.]	Profondità a [m da p.c.]	Descrizione
A,L2	0.0	3	A(L),L(A)
L(S)	3	7	L(S); L(S)[A]
G,S	7	8	S; S(G);G(S);G
L,A2	8	18.5	L(A); L(A)[S]; L(A),S
M	18.5	-	A(M); M

Tabella 12: Parametri geotecnici di calcolo per la sezione 5+300 – Materiali in sito

STRATO	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		Resistenza al taglio non drenata		Modulo di Young operativo	Rapporto di compressione	Rapporto di ricompressione	Permeabilità
	γ_d	ϕ'_k	ϕ'_d M2	c'_k	c'_d M2	c_u	c_u M2	$E_{op.}$	CR	RR	k
	[kN/m ³]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[-]	[-]	[m/s]
A,L2	17.5	20.5	16.65	5	4	30-40	24-32	-	0.19	0.03	1.00E-09
L(S)	19	30	24	0	0	-	-	3-4	-	-	1.00E-06
G,S	19	36	28.8	0	0	-	-	50	-	-	1.00E-04
L,A2	19	27	22.2	0	0	30-60	24-48	-	0.14	0.017	1.00E-06
M	21	26	20.8	20	16	150-400	120-320	-	0.10	0.017	1.00E-09

La falda di progetto è stata assunta nei calcoli ad una quota di 16 m slm.

Da un punto di vista della stabilità nei confronti della liquefazione, come anticipato nei paragrafi precedenti, la sezione di calcolo alla progressiva 5+300 ricade in un tratto in cui le verifiche

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 50 di 219

condotte, sulla base dei risultati delle indagini in sito disponibili, hanno dato esito positivo e pertanto vi è presenza di materiale potenzialmente liquefacibile.

In particolare è stato individuato come liquefacibile lo spessore di terreno compreso tra 3 m e 6.5 m di profondità da base rilevato e corrisponde all'unità geotecnica L(S).

Pertanto per questa sezione le verifiche di stabilità in condizioni sismiche sono state condotte secondo la procedura esplicitata al precedente paragrafo 5.2.2 e, sempre secondo quanto indicato al medesimo paragrafo, per il materiale indicato come liquefacibile sono stati definiti i parametri di resistenza residua da utilizzare nelle verifiche.

I parametri di resistenza residua per il materiale potenzialmente liquefacibile per le verifiche a liquefazione sono stati valutati considerando che in condizioni post-sismiche i terreni siano effettivamente liquefatti e sia disponibile la sola resistenza residua, valutabile adoperando, a seconda delle prove disponibili, le relazioni tra q_{c1Ncs} - S_r o $(N_1)_{60cs}$ - S_r e resistenza residua S_r proposte da Idriss e Boulanger (2008).

In particolare, dall'interpretazione delle prove CPT è stato calcolato un valore di q_{c1Ncs} per il materiale L(S) nello strato di interesse compreso tra 50 kPa e 70 kPa perciò si ipotizza che a seguito della liquefazione i terreni in esame siano caratterizzati da valori di $S_r \approx 0.09 \sigma'_v$. Nelle analisi ciò si traduce assegnando un angolo di attrito fittizio massimo pari a $\phi'_k = \tan^{-1}(0.09) = 5.5^\circ$ per L(S).

10.2 Verifiche SLU – Stabilità globale

Le verifiche SLU della stabilità globale del rilevato (sia in condizioni statiche che sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo Slope/W (Doc. Rif. [1]). 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. Tali coefficienti sono contenuti nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e nella Tabella 4 della presente relazione.

Come da NTC 2018 (Doc. Rif. [7]), la verifica SLU di stabilità globale è soddisfatta se la relazione:

$$FS \geq R2 = 1.1$$

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 51 di 219

è verificata in condizioni statiche e la relazione:

$$FS \geq R2 = 1.2$$

È verificata in condizioni sismiche.

Il coefficiente R2 è contenuto nella Tabella 5 della presente relazione.

10.2.1 Verifiche SLU in condizioni statiche

L'analisi di stabilità globale in campo statico del rilevato tipologico con altezza pari a 1 m, comprensiva di tutto il pacchetto di armamento ferroviario è stata condotta in accordo alla combinazione DA1C2 assumendo i parametri geotecnici M2 di cui in Tabella 12 e in Tabella 10 rispettivamente per i materiali in sito e per i materiali antropici.

Il carico da traffico ferroviario (q), assunto pari a 57.3 kPa, è stato modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è di tipo variabile/sfavorevole pertanto, in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2 riportato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**; il valore di calcolo è stato assunto pari a:

$$q_d = q_k \times \gamma_{Qi} [A2] = 57.3 \text{ kPa} \times 1.3 = 74.5 \text{ kPa}.$$

L'armamento ferroviario è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 14,4 kPa, rappresentativo di uno strato di spessore pari a circa 0,80 m con un peso pari a 18,00 kN/m³. Tale carico è di tipo permanente sfavorevole pertanto in accordo al coefficiente parziale sulle azioni A2 riportato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**; il valore di calcolo è stato assunto pari a:

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

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.

Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 52 di 219

In Figura 12, sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2; il fattore di sicurezza FS relativo a tali meccanismi, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS^{MIN} (DA1C2) = 2.011$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS^{MIN} \geq R2 = 1.1,$$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

10.2.2 Verifiche SLU in condizioni sismiche (co-sismica)

L'analisi di stabilità globale in campo sismico del rilevato tipologico con altezza pari a 1 m alla sezione 5+300 è stata condotta assumendo i parametri geotecnici caratteristici di cui in

Tabella 12 e in Tabella 10 rispettivamente per i materiali in sito e per i materiali antropici.

In accordo a quanto riportato al punto 4, la forza sismica è stata modellata tramite i coefficienti sismici:

$$K_H = + 0.098 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.049 \quad (\text{verificando la più cautelativa tra negativo e positivo})$$

In base alla procedura esplicitata al precedente paragrafo 5.2.2, per la condizione concomitante il sisma (co-sismica) si ipotizza che nel terreno potenzialmente liquefacibile in concomitanza delle massime azioni sismiche di calcolo le sovrappressioni interstiziali siano pari al 50% della tensione verticale efficace applicata in condizioni statiche. Quanto detto si traduce in un valore del rapporto di sovrappressioni interstiziali r_u pari a 0.30 da assegnare allo strato di materiale L(S) suscettibile a liquefazione.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 53 di 219

Il carico ferroviario (q), assunto pari a 57.3 kPa, è stato moltiplicato per un coefficiente $\psi=0.2$ in accordo a Doc. Rif. [7] e modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è stato inserito nei calcoli col proprio valore caratteristico in accordo a quanto specificato dalle NTC 2018 (vedasi Par.7.11.1 del Doc. Rif. [7]) che indicano per le analisi in condizioni sismiche di porre tutti pari ad uno i coefficienti parziali sulle azioni. Pertanto:

$$q_d = 0.2q_k = 11.45 \text{ kPa.}$$

L'armamento ferroviario è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 14,4 kPa, rappresentativo di uno strato di spessore pari a circa 0,80 m con un peso pari a 18,00 kN/m³. Tale carico è stato inserito nei calcoli col proprio valore caratteristico in accordo a quanto specificato dalle NTC 2018 (vedasi Par.7.11.1 del Doc. Rif. [7]) che indicano per le analisi in condizioni sismiche di porre tutti pari ad uno i coefficienti parziali sulle azioni. Pertanto:

$$q_d = q_k = 14.4 \text{ kPa.}$$

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.

Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

In Figura 13 e Figura 14 è riportata la superficie di rottura critica; il fattore di sicurezza FS relativo a tale meccanismo, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS^{MIN}=1.681$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS^{MIN} \geq R2 = 1.2,$$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta.

10.2.3 Verifiche SLU in condizioni di terreno liquefatto (post-sismica)

L'analisi di stabilità globale della situazione immediatamente successiva all'evento sismico per il rilevato tipologico con altezza pari a 1 m alla sezione 5+300 è stata condotta assumendo i parametri geotecnici caratteristici di cui in

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 54 di 219

Tabella 12 e in Tabella 10 rispettivamente per i materiali in sito e per i materiali antropici.

In base alla procedura esplicitata al precedente paragrafo 5.2.2, per la condizione immediatamente successiva al sisma (post-sismica) si ipotizza che nel terreno potenzialmente liquefacibile i terreni siano effettivamente liquefatti e sia disponibile la sola resistenza residua. Pertanto nel calcolo si sono adottati i parametri residui definiti al precedente punto 10.1

Il carico ferroviario (q), assunto pari a 57.3 kPa, è stato moltiplicato per un coefficiente $\psi=0.2$ in accordo al Doc. Rif. [7] e modellato come un carico distribuito applicato in corrispondenza delle impronte delle traversine ferroviarie. Tale sovraccarico è stato inserito nei calcoli col proprio valore caratteristico in accordo a quanto specificato dalle NTC 2018 (vedasi Par.7.11.1 del Doc. Rif. [7]) che indicano per le analisi in condizioni sismiche di porre tutti pari ad uno i coefficienti parziali sulle azioni. Pertanto:

$$q_d = 0.2 q_k = 11.45 \text{ kPa.}$$

L'armamento ferroviario è stato schematizzato per mezzo di una pressione uniformemente distribuita pari a 14,4 kPa, rappresentativo di uno strato di spessore pari a circa 0,80 m con un peso pari a 18,00 kN/m³. Tale carico è stato inserito nei calcoli col proprio valore caratteristico in accordo a quanto specificato dalle NTC 2018 (vedasi Par.7.11.1 del Doc. Rif. [7]) che indicano per le analisi in condizioni sismiche di porre tutti pari ad uno i coefficienti parziali sulle azioni. Pertanto:

$$q_d = q_k = 14.4 \text{ kPa.}$$

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.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 55 di 219

Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

In Figura 12 è riportata la superficie di rottura critica; il fattore di sicurezza FS relativo a tale meccanismo, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS^{MIN}=1.85$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS^{MIN} \geq R2 = 1.2,$$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta soddisfatta

RADDOPPIO FERROVIARIO PESCARA P.N.-CHIETI (LOTTO 1)

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 5+300

Condizioni statiche A2+M2

Sovraccarico permanente armamento 18.72 kPa

Sovraccarico Ferroviario 74.5 KpA

Name: A,L2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 17.5 kN/m ³	Cohesion: 4 kPa	Phi: 16.65 °
Name: L,A2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 22.2 °
Name: G,S	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 28.8 °
Name: SC	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 36 °
Name: SB	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m ³	Cohesion: 480 kPa	Phi: 32 °
Name: CLS	Model: Undrained (Phi=0)	Unit Weight: 25 kN/m ³	Cohesion: 500 kPa	
Name: L(S)	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 24 °

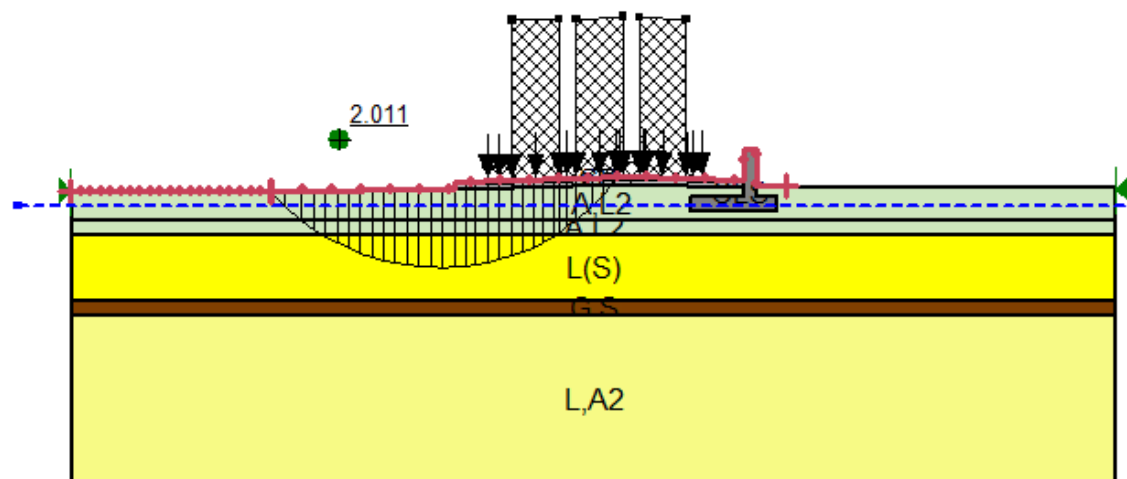


Figura 12: Rilevato H=1 m, sez. 5+300 - Analisi di stabilità globale in campo statico DA1C2

RADDOPPIO FERROVIARIO PESCARA P.N.-CHIETI (LOTTO 1)

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 5+300

Condizioni co-sismiche $k_h=0.098$ $k_v=-0.049$

Sovraccarico permanente armamento 14.4 kPa

Sovraccarico Ferroviario 11.45 kPa

Name: A,L2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 17.5 kN/m³	Cohesion: 5 kPa	Phi: 20.5 °
Name: L,A2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 27 °
Name: G,S	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 36 °
Name: SC	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 42 °
Name: SB	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m³	Cohesion: 600 kPa	Phi: 38 °
Name: CLS	Model: Undrained (Phi=0)	Unit Weight: 25 kN/m³	Cohesion: 500 kPa	
Name: liq	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 30 ° Ru: 0.3

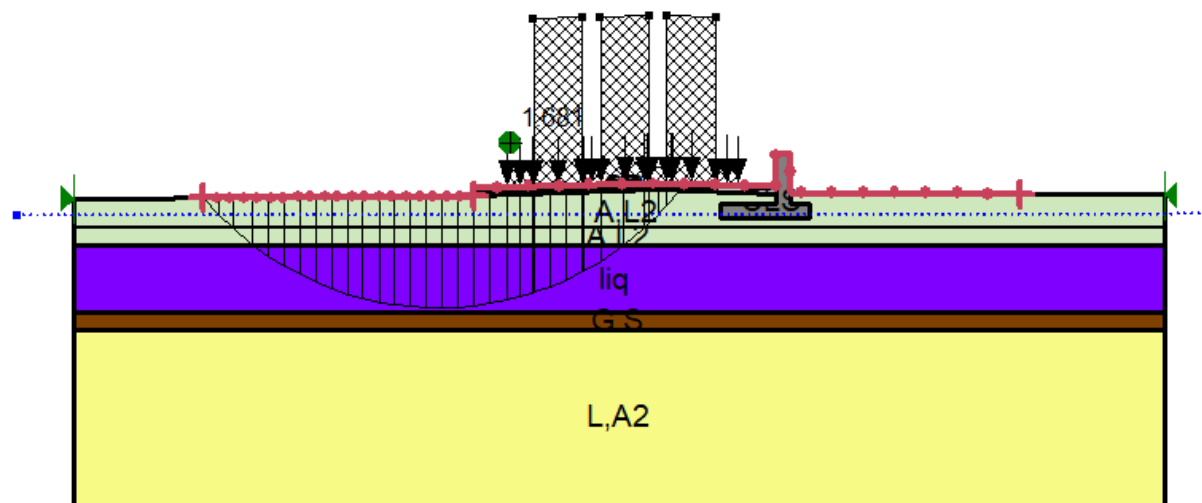


Figura 13: Rilevato $H=1$ m, sez. 5+300 - Analisi di stabilità globale in campo sismico-condizioni co-sismiche (+)

RADDOPPIO FERROVIARIO PESCARA P.N.-CHIETI (LOTTO 1)

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 5+300

Condizioni co-sismiche $k_h=0.098$ $k_v=0.049$

Sovraccarico permanente armamento 14.4 kPa

Sovraccarico Ferroviario 11.45 kPa

Name: A,L2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 17.5 kN/m ³	Cohesion: 5 kPa	Phi: 20.5 °
Name: L,A2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 27 °
Name: G,S	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 36 °
Name: SC	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 42 °
Name: SB	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m ³	Cohesion: 600 kPa	Phi: 38 °
Name: CLS	Model: Undrained (Phi=0)	Unit Weight: 25 kN/m ³	Cohesion: 500 kPa	
Name: liq	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 30 ° Ru: 0.3

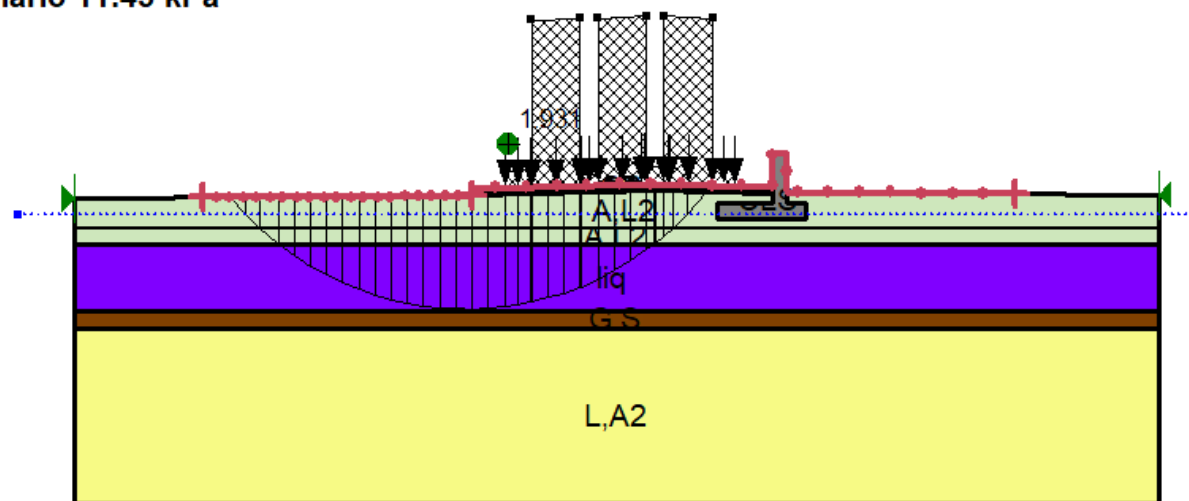


Figura 14: Rilevato H=1 m, sez. 5+300 - Analisi di stabilità globale in campo sismico-condizioni co-sismiche (-)

RADDOPPIO FERROVIARIO PESCARA P.N.-CHIETI (LOTTO 1)

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 5+300

Condizioni post-sismiche

Sovraccarico permanente armamento 14.4 kPa

Sovraccarico Ferroviario 11.45 KPa

Name: A,L2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 17.5 kN/m ³	Cohesion: 5 kPa	Phi: 20.5 °
Name: L,A2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 27 °
Name: G,S	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 36 °
Name: SC	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 42 °
Name: SB	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m ³	Cohesion: 600 kPa	Phi: 38 °
Name: CLS	Model: Undrained (Phi=0)	Unit Weight: 25 kN/m ³	Cohesion: 500 kPa	
Name: liq	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 5.5 °

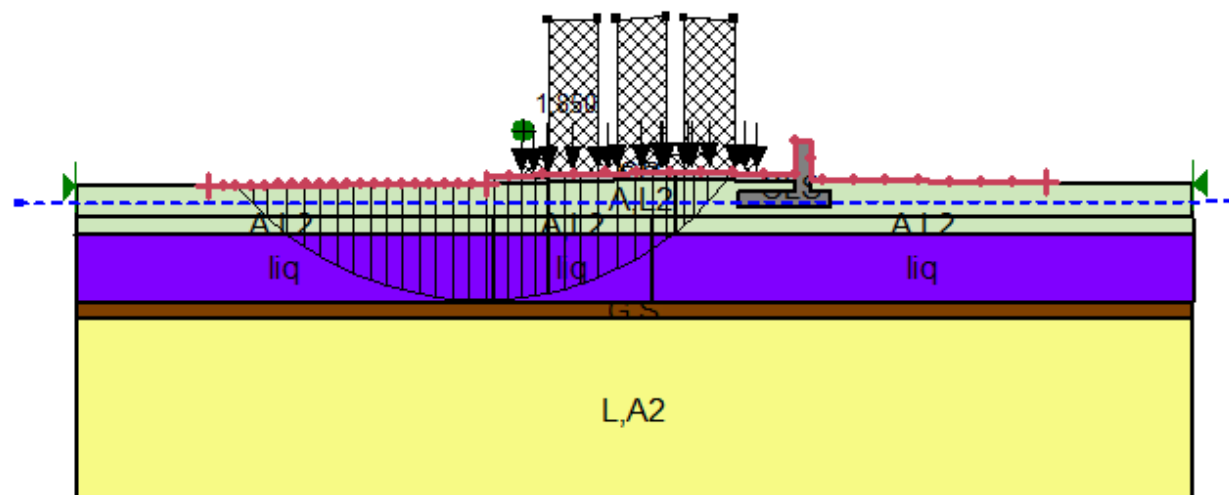


Figura 15: Rilevato H=1 m, sez. 5+300 - Analisi di stabilità globale in campo sismico – condizioni post-sismiche

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 60 di 219

Sebbene vi sia presenza di materiale potenzialmente liquefacibile nel terreno di fondazione, questo non compromette le condizioni di stabilità dell'opera.

Tuttavia, dai risultati delle verifiche a liquefazione sintetizzati in Tabella 9 si evince che il cedimento atteso post-sisma nella tratta tra il km 5+100 e il km 5+300 è pari a 9 cm, con un LPI stimato pari a 2.9 (livello moderato), pertanto anche per questa sezione sono rilevanti gli eventuali effetti post-sisma sull'opera in oggetto connessi al fenomeno della liquefazione del terreno di fondazione.

È stato necessario, dunque, dimensionare un intervento di consolidamento mirato ad irrigidire lo strato di materiale suscettibile a liquefazione e ad incrementare la capacità di resistenza al taglio dello stesso in modo da mitigare il rischio di liquefazione.

10.3 Dimensionamento del trattamento in Colonne di Ghiaia

Per questa sezione, e per tutta la tratta compresa tra la progressiva 5+100 e la progressiva 5+400, si prevede di realizzare quindi un intervento di trattamento con colonne di ghiaia. Il dimensionamento dell'intervento e la sua efficacia nella mitigazione del rischio liquefazione e nel miglioramento delle caratteristiche meccaniche del materiale sono riportati a paragrafi seguenti.

10.3.1 Analisi dimensionamento colonne di ghiaia

La procedura seguita nel dimensionamento di questo intervento è descritta al precedente punto 7.2.2.

In particolare, al fine di eliminare il rischio di liquefazione nei primi strati del terreno di fondazione del rilevato di altezza pari a 1 m è stato ipotizzato un trattamento con colonne di ghiaia del diametro di 800 mm disposte secondo maglia quadrata di lato pari ad 1.7 m. Ne risulta un'area del terreno trattata pari a 2.9 m² e quindi un rapporto $r = A/A_c = 5.8$, dove A rappresenta l'area trattata e A_c l'area della singola colonna di ghiaia.

Attraverso il grafico proposto da Priebe (1998) (Figura 11) e ipotizzando di utilizzare un materiale granulare caratterizzato da un angolo di attrito interno pari a 40°, viene determinato un valore dello Stress Ratio pari a 0.58, corrispondente al suddetto rapporto A/A_c.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 61 di 219

Moltiplicando, dunque, il valore di accelerazione massima attesa nella tratta di interesse ($a_{max}=0.258g$) per 0.58 si ottiene un valore di accelerazione massima ridotta pari a 0.15g.

Con tale valore di accelerazione massima attesa vengono nuovamente effettuate le verifiche a liquefazione sulla base dei risultati delle prove CPT/SPT così da verificare se il trattamento ipotizzato sia sufficiente ad eliminare il rischio liquefazione.

I risultati di tale verifica sono riportati in

ALLEGATO A – RISULTATI DA VERIFICHE A LIQUEFAZIONE (con trattamento) e da questi si evince che ad ogni profondità indagata il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione FL è sempre maggiore di 1 con valori di cedimenti attesi post-sisma inferiori a 2.5 cm, dunque il trattamento risulta **efficace per la mitigazione del rischio liquefazione.**

10.4 Verifiche SLE – Valutazione dei cedimenti

Per quanto riguarda le verifiche SLE della sezione 5+300, vista la geometria della sede ferroviaria che è praticamente a raso con il terreno naturale, sono state ritenute superflue. Tale scelta è stata confermata anche dai risultati in termini di cedimenti attesi ottenuti per la successiva sezione tipologica (progressiva 6+150, vedi par. 11.4) dove il rilevato ferroviario ha altezze superiori e per la quale i cedimenti attesi sono ritenuti accettabili.

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 62 di 219

11. SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 6+150

11.1 Stratigrafia e parametri geotecnici

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica (Doc. rif. [1]) e sulla base di quanto descritto nel Cap. 3, nella Tabella 13 e Tabella 14 sono riportati la stratigrafia ed i valori dei parametri geotecnici caratteristici e di progetto, fattorizzati utilizzando i coefficienti M2 contenuti nella Tabella 4 della presente relazione.

Si rimanda invece alla Tabella 10 per i valori dei parametri geotecnici relativi ai materiali antropici utilizzati per il corpo del rilevato, per lo strato di bonifico (100 cm al di sotto del rilevato) e per il pacchetto di armamento ferroviario.

Si ricorda che, come definito al Cap. 7 del Doc. Rif.[4], le verifiche geotecniche SLU di stabilità globale dei rilevati, in campo statico, richiedono l'adozione della sola Combinazione 2 dell'Approccio 1 e pertanto l'applicazione dei soli coefficienti parziali M2, mentre per le verifiche sismiche e per le verifiche SLE, finalizzate alla determinazione dei cedimenti, sono richiesti i parametri caratteristici.

Tabella 13: Stratigrafia di calcolo per la sezione 6+1500

Strato	Profondità da [m da p.c.]	Profondità a [m da p.c.]	Descrizione
A,L1	0.0	3.0	L,A; L(A)[S]
A,L2	3.0	4.8	A(L),L(A)
L,A2	4.8	16	L(A); L(A)[S]; L(A),S
L,A1	16	17	L(A); L(A)[S]
M	17	-	A(M);M

Tabella 14: Parametri geotecnici di calcolo per la sezione 6+150 – Materiali in sito

STRATO	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		Resistenza al taglio non drenata		Modulo di Young operativo	Rapporto di compressione	Rapporto di ricompressione	Permeabilità
	γ_d	ϕ'_k	ϕ'_d M2	c'_k	c'_d M2	c_u	c_u M2	$E_{op.}$	CR	RR	k
	[kN/m³]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[-]	[-]	[m/s]
A,L1	18	22	17.9	10	8	80-100	64-80	-	0.15	0.01	1.00E-09

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3

 COMMESSA
IA4S

 LOTTO
01 D29

 CODIFICA
CL

 DOCUMENTO
GE0006 003

 REV.
A

 FOGLIO
63 di 219

STRATO	Peso di volume	Angolo di resistenza al taglio		Coesione efficace		Resistenza al taglio non drenata		Modulo di Young operativo	Rapporto di compressione	Rapporto di ricompressione	Permeabilità
	γ_d	ϕ'_k	ϕ'_d M2	c'_k	c'_d M2	c_u	c_u M2	$E_{op.}$	CR	RR	k
	[kN/m ³]	[°]	[°]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[kPa]	[MPa]	[-]	[-]	[m/s]
A,L2	17.5	20.5	16.65	5	4	30-40	24-32	7	0.19	0.03	1.00E-09
L,A2	19	27	22.2	0	0	30-60	24-48	-	0.14	0.017	1.00E-06
L,A1	18.5	23.5	19.2	12	9.6	60	48	-	0.20	0.04	1.00E-07
M	21	26	20.8	20	16	150-400	120-320	-	0.10	0.017	1.00E-09

La falda di progetto è stata assunta nei calcoli ad una quota di 17 m slm.

Da un punto di vista della stabilità nei confronti della liquefazione, come anticipato nei paragrafi precedenti, la sezione di calcolo alla progressiva 6+150 ricade in un tratto in cui le verifiche condotte, sulla base dei risultati delle indagini in sito disponibili, hanno dato esito positivo e pertanto vi è presenza di materiale potenzialmente liquefacibile.

In particolare è stato individuato come liquefacibile lo spessore di terreno compreso tra 0 m e 3 m di profondità da base rilevato e corrisponde all'unità geotecnica A,L1.

Pertanto per questa sezione le verifiche di stabilità in condizioni sismiche sono state condotte secondo la procedura esplicitata al precedente paragrafo 5.2.2 e, sempre secondo quanto indicato al medesimo paragrafo, per il materiale indicato come liquefacibile sono stati definiti i parametri di resistenza residua da utilizzare nelle verifiche.

I parametri di resistenza residua per il materiale potenzialmente liquefacibile per le verifiche a liquefazione sono stati valutati considerando che in condizioni post-sismiche i terreni siano effettivamente liquefatti e sia disponibile la sola resistenza residua, valutabile adoperando, a seconda delle prove disponibili, le relazioni tra $q_{c1Ncs-Sr}$ o $(N_1)_{60cs-Sr}$ e resistenza residua S_r proposte da Idriss e Boulanger (2008).

In particolare, dall'interpretazione delle prove CPT è stato calcolato un valore medio di q_{c1Ncs} per il materiale A,L1 nello strato di interesse pari a 50 kPa perciò si ipotizza che a seguito della liquefazione i terreni in esame siano caratterizzati da valori di $S_r \approx 0.08 \sigma'_v$. Nelle analisi ciò si traduce assegnando un angolo di attrito fittizio massimo pari a $\phi'_k = \tan^{-1}(0.08) = 4.3^\circ$ per A,L1.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 64 di 219

11.2 Verifiche SLU – Stabilità globale

Le verifiche SLU della stabilità globale del rilevato (sia in condizioni statiche che sismiche) sono state condotte tramite il codice di calcolo Slope/W (Doc. Rif. [1]). 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. Tali coefficienti sono contenuti nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e nella Tabella 4 della presente relazione.

Come da NTC 2018 (Doc. Rif. [7]), la verifica SLU di stabilità globale è soddisfatta se la relazione:

$$FS \geq R2 = 1.1$$

è verificata in condizioni statiche e la relazione:

$$FS \geq R2 = 1.2$$

È verificata in condizioni sismiche.

Il coefficiente R2 è contenuto nella Tabella 5 della presente relazione.

11.2.1 Verifiche SLU in condizioni statiche

L'analisi di stabilità globale in campo statico del rilevato tipologico con altezza pari a 1,8 m, comprensiva dell'intero pacchetto di armamento ferroviario è stata condotta in accordo alla combinazione DA1C2 assumendo i parametri geotecnici M2 di cui in Tabella 12 e in Tabella 10 rispettivamente per i materiali in sito e per i materiali antropici.

Il carico da traffico ferroviario (q) e il sovraccarico permanente da armamento ferroviario sono stati modellati come già descritto al precedente paragrafo 10.2.1.

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.

Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 65 di 219

In Figura 16, sono riportate le superfici di rottura critica per la combinazione DA1C2; il fattore di sicurezza FS relativo a tali meccanismi, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS^{\text{MIN}} (\text{DA1C2}) = 1.580$$

Essendo soddisfatta la relazione:

$$FS^{\text{MIN}} \geq R2 = 1.1,$$

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

11.2.2 Verifiche SLU in condizioni sismiche (co-sismica)

L'analisi di stabilità globale in campo sismico del rilevato tipologico con altezza pari a 1.8 m alla sezione 6+150 è stata condotta assumendo i parametri geotecnici caratteristici di cui in

Tabella 12 e in Tabella 10 rispettivamente per i materiali in sito e per i materiali antropici.

In accordo a quanto riportato al punto 4, la forza sismica è stata modellata tramite i coefficienti sismici:

$$K_H = + 0.098 \quad (\text{concorde alla direzione di scivolamento})$$

$$K_V = \pm 0.049 \quad (\text{verificando la più cautelativa tra negativo e positivo})$$

In base alla procedura esplicitata al precedente paragrafo 5.2.2, per la condizione concomitante il sisma (co-sismica) si ipotizza che nel terreno potenzialmente liquefacibile in concomitanza delle massime azioni sismiche di calcolo le sovrappressioni interstiziali siano pari al 50% della tensione verticale efficace applicata in condizioni statiche. Quanto detto si traduce in un valore del rapporto di sovrappressioni interstiziali r_u pari a 0.30 da assegnare allo strato di materiale A,L1 suscettibile a liquefazione.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 66 di 219

Il carico da traffico ferroviario (q) e il sovraccarico permanente da armamento ferroviario sono stati modellati come già descritto al precedente paragrafo 10.2.2.

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.

Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

In Figura 17 Figura 18 è riportata la superficie di rottura critica; il fattore di sicurezza FS relativo a tale meccanismo, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS^{MIN}=1.081$$

Non essendo soddisfatta la relazione:

$$FS^{MIN} \geq R2 = 1.2,$$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta non soddisfatta.

11.2.3 Verifiche SLU in condizioni di terreno liquefatto (post-sismica)

L'analisi di stabilità globale della situazione immediatamente successiva all'evento sismico per il rilevato tipologico con altezza pari a 1.80 m alla sezione 6+150 è stata condotta assumendo i parametri geotecnici caratteristici di cui in

Tabella 12 e in Tabella 10 rispettivamente per i materiali in sito e per i materiali antropici.

In base alla procedura esplicitata al precedente paragrafo 5.2.2, per la condizione immediatamente successiva al sisma (post-sismica) si ipotizza che nel terreno potenzialmente

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 67 di 219

liquefacibile i terreni siano effettivamente liquefatti e sia disponibile la sola resistenza residua. Pertanto nel calcolo si sono adottati i parametri residui definiti al precedente punto 11.1.

Il carico da traffico ferroviario (q) e il sovraccarico permanente da armamento ferroviario sono stati modellati come già descritto al precedente paragrafo 10.2.3.

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.

Si sottolinea che nella ricerca delle superfici di rottura critiche sono state escluse tutte quelle superfici di spessore ridotto e che non interessano la sede ferroviaria.

In Figura 19 è riportata la superficie di rottura critica; il fattore di sicurezza FS relativo a tale meccanismo, e quindi il minore tra tutti i fattori di sicurezza FS calcolati, è pari a:

$$FS^{MIN}=0.493$$

Non essendo soddisfatta la relazione:

$$FS^{MIN} \geq R2 = 1.2,$$

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta non soddisfatta.

RADDOPPIO FERROVIARIO PESCARA P.N.-CHIETI (LOTTO 1)

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 6+150

Condizioni statiche A2+M2

Sovraccarico permanente armamento 18.72 kPa

Sovraccarico Ferroviario 74.5 KpA

Name: A,L2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 17.5 kN/m³	Cohesion: 4 kPa	Phi: 16.65 °
Name: L,A2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 22.2 °
Name: L,A1	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 18.5 kN/m³	Cohesion: 9.6 kPa	Phi: 18.8 °
Name: R	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 32 °
Name: SC	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 36 °
Name: SB	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m³	Cohesion: 600 kPa	Phi: 32 °
Name: CLS	Model: Undrained (Phi=0)	Unit Weight: 25 kN/m³	Cohesion: 500 kPa	
Name: A,L1	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 18 kN/m³	Cohesion: 8 kPa	Phi: 17.9 °

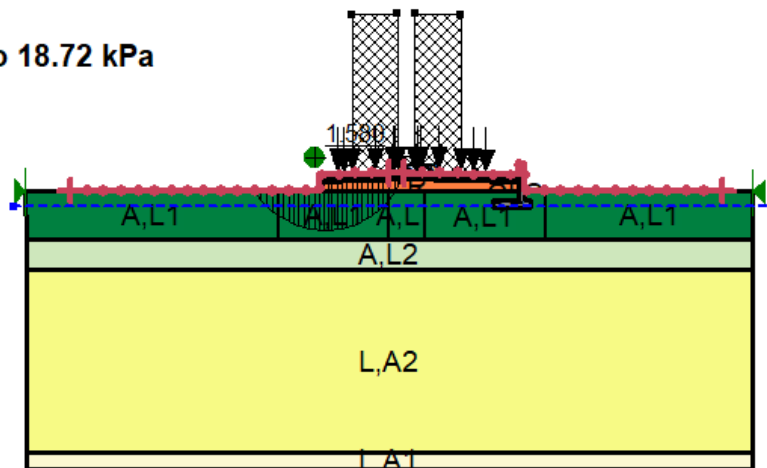


Figura 16: Rilevato H=1.8 m, sez. 6+150 - Analisi di stabilità globale in campo statico DA1C2

RADDOPPIO FERROVIARIO PESCARA P.N.-CHIETI (LOTTO 1)

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 6+150

Condizioni co-sismiche $k_h=0.098$ $k_v=-0.049$

Sovraccarico permanente armamento 14.4 kPa

Sovraccarico Ferroviario 11.45 KpA

Name: A,L2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 17.5 kN/m³	Cohesion: 5 kPa	Phi: 20.5 °
Name: L,A2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 27 °
Name: L,A1	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 18.5 kN/m³	Cohesion: 12 kPa	Phi: 23.5 °
Name: R	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 38 °
Name: SC	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 42 °
Name: SB	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m³	Cohesion: 600 kPa	Phi: 38 °
Name: CLS	Model: Undrained (Phi=0)	Unit Weight: 25 kN/m³	Cohesion: 500 kPa	
Name: LIQ	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 18 kN/m³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 22 ° Ru: 0.3

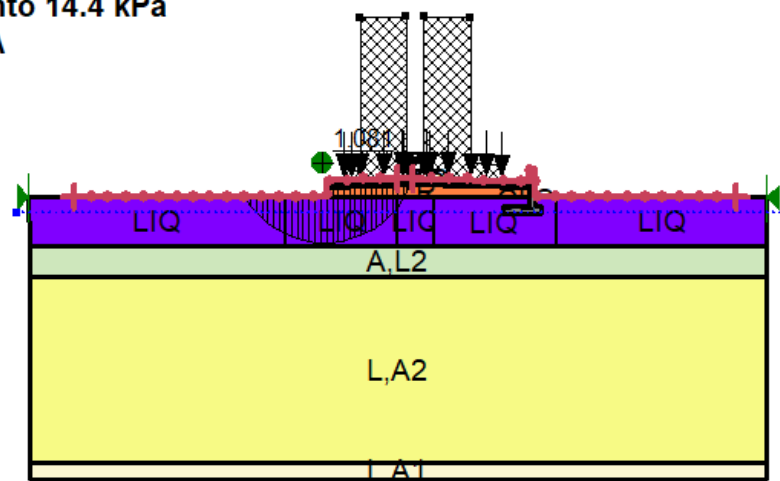


Figura 17: Rilevato H=1.8 m, sez. 6+150 - Analisi di stabilità globale in campo sismico-condizioni co-sismiche (+)

RADDOPPIO FERROVIARIO PESCARA P.N.-CHIETI (LOTTO 1)

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 6+150

Condizioni co-sismiche $k_h=0.098$ $k_v=0.049$

Sovraccarico permanente armamento 14.4 kPa

Sovraccarico Ferroviario 11.45 KpA

Name: A,L2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 17.5 kN/m³	Cohesion: 5 kPa	Phi: 20.5 °
Name: L,A2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 27 °
Name: L,A1	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 18.5 kN/m³	Cohesion: 12 kPa	Phi: 23.5 °
Name: R	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 38 °
Name: SC	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 42 °
Name: SB	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m³	Cohesion: 600 kPa	Phi: 38 °
Name: CLS	Model: Undrained (Phi=0)	Unit Weight: 25 kN/m³	Cohesion: 500 kPa	
Name: LIQ	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 18 kN/m³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 22 ° Ru: 0.3

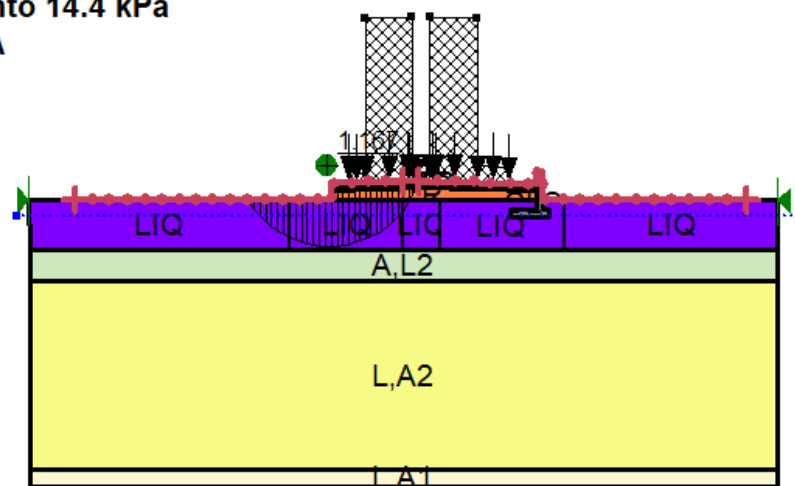


Figura 18: Rilevato H=1.8 m, sez. 6+150 - Analisi di stabilità globale in campo sismico-condizioni co-sismiche (-)

RADDOPPIO FERROVIARIO PESCARA P.N.-CHIETI (LOTTO 1)

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 6+150

Condizioni post-sismiche

Sovraccarico permanente armamento 14.4 kPa

Sovraccarico Ferroviario 11.45 KpA

Name: A,L2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 17.5 kN/m³	Cohesion: 5 kPa	Phi: 20.5 °
Name: L,A2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 27 °
Name: L,A1	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 18.5 kN/m³	Cohesion: 12 kPa	Phi: 23.5 °
Name: R	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 38 °
Name: SC	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 42 °
Name: SB	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m³	Cohesion: 600 kPa	Phi: 38 °
Name: CLS	Model: Undrained (Phi=0)	Unit Weight: 25 kN/m³	Cohesion: 500 kPa	
Name: LIQ	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 18 kN/m³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 4.3 °

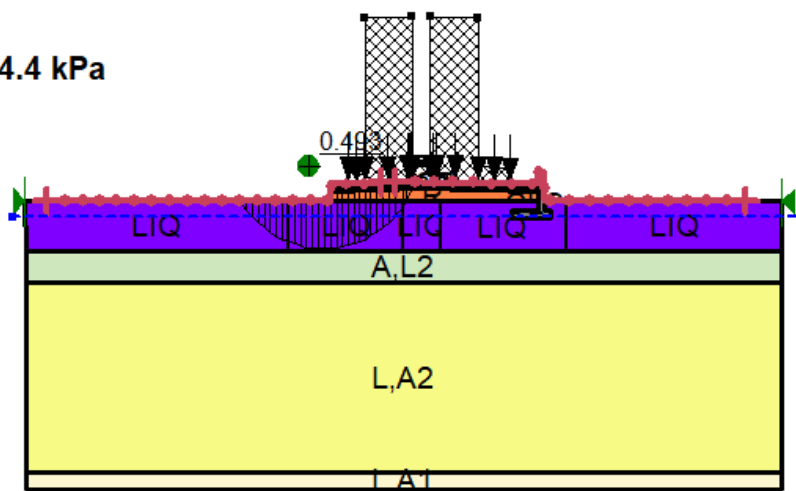


Figura 19: Rilevato H=1.8 m, sez. 6+150 - Analisi di stabilità globale in campo sismico – condizioni post-sismich

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 72 di 219

Per questa sezione, la presenza di materiale potenzialmente liquefacibile nel terreno di fondazione non permette di garantire le condizioni di stabilità dell'opera.

Pertanto si rende necessario un intervento di consolidamento mirato ad irrigidire lo strato di materiale A,L1, nei primi 3 metri di profondità da piano campagna, in modo da renderlo non più potenzialmente liquefacibile.

11.3 Verifiche SLU – Stabilità globale del rilevato con trattamento

Per questa sezione, e per tutta la tratta compresa tra la progressiva 5+850 e la progressiva 6+500, si prevede di realizzare quindi un intervento di trattamento con colonne di ghiaia. Il dimensionamento dell'intervento e la sua efficacia nella mitigazione del rischio liquefazione e nel miglioramento delle caratteristiche meccaniche del materiale sono riportati a paragrafi seguenti.

11.3.1 Analisi dimensionamento colonne di ghiaia

La procedura seguita nel dimensionamento di questo intervento è descritta al precedente punto 7.2.2.

In particolare, al fine di eliminare il rischio di liquefazione nei primi strati del terreno di fondazione del rilevato di altezza pari a 1.8 m è stato ipotizzato un trattamento con colonne di ghiaia del diametro di 800 mm disposte secondo maglia quadrata di lato pari ad 2.15 m. Ne risulta un'area del terreno trattata pari a 4.62 m² e quindi un rapporto $r = A/A_c = 9.2$, dove A rappresenta l'area trattata e A_c l'area della singola colonna di ghiaia.

Attraverso il grafico proposto da Priebe (1998) (Figura 11) e ipotizzando di utilizzare un materiale granulare caratterizzato da un angolo di attrito interno pari a 40°, viene determinato un valore dello Stress Ratio pari a 0.7, corrispondente al suddetto rapporto A/A_c.

Moltiplicando, dunque, il valore di accelerazione massima attesa nella tratta di interesse ($a_{max}=0.258g$) per 0.7 si ottiene un valore di accelerazione massima ridotta pari a 0.18g.

Con tale valore di accelerazione massima attesa vengono nuovamente effettuate le verifiche a liquefazione sulla base dei risultati delle prove CPT/SPT così da verificare se il trattamento ipotizzato sia sufficiente ad eliminare il rischio liquefazione. I risultati di tale verifica sono riportati in

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 73 di 219

ALLEGATO A – RISULTATI DA VERIFICHE A LIQUEFAZIONE (con trattamento) e da questi si evince che ad ogni profondità indagata il fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione FL è sempre maggiore di 1 con valori di cedimenti attesi post-sisma inferiori a 2.5 cm, dunque il trattamento risulta **efficace per la mitigazione del rischio liquefazione**.

Successivamente si esegue una seconda verifica, valutando se il dimensionamento dell'intervento sia tale da garantire anche la stabilità dell'opera in oggetto. Si procede quindi a verificare la stabilità globale del sistema rilevato ferroviario-terreno di fondazione in condizioni sismiche in presenza del trattamento di consolidamento. Per tale scopo sono state ripetute le analisi di stabilità presentate nel Par. 11.2 relative al rilevato di altezza pari a 1.80 metri rappresentativo della tratta tra la progressiva 5+850 e la progressiva 6+500, in condizioni co-sismiche e post-sismiche, inserendo nelle analisi le zone di trattamento come zone in cui non si tiene in conto il degrado dei parametri di resistenza associato alla generazione di sovrappressioni interstiziali e alla liquefazione.

Lo strato di terreno trattato è stato modellato con un materiale equivalente avente caratteristiche meccaniche proporzionali all'entità del trattamento stesso. Nello specifico i parametri di resistenza e deformabilità del materiale trattato sono stati calcolati secondo il metodo di Priebe (1995) citato al punto 7.2.2 e vengono di seguito riportati:

$$\varphi'_{eq} = 26.7^{\circ}$$

$$c'_{eq} = 7.7 \text{ kPa}$$

$$E_{eq} = 19.40 \text{ Mpa}$$

Con tali parametri è stato modellato lo strato più superficiale di terreno di fondazione caratterizzato dall'unità geotecnica A,L1, al di sotto del rilevato, in particolare localizzando il trattamento al di sotto delle due scarpate destra e sinistra del rilevato di nuova costruzione.

I risultati delle analisi sono riportati da Figura 20 a Figura 23 e sintetizzati in Tabella 15, da cui si evince che la presenza del trattamento fino alla profondità di 3 metri da piano campagna migliora le condizioni di stabilità del sistema con valori di FS adeguati ad assicurare le condizioni di stabilità.

RADDOPPIO FERROVIARIO PESCARA P.N.-CHIETI (LOTTO 1)

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 6+150

Condizioni statiche A2+M2

Sovraccarico permanente armamento 18.72 kPa

Sovraccarico Ferroviario 74.5 KpA

Trattamento in colonne di ghiaia

Name: A,L2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 17.5 kN/m ³	Cohesion: 4 kPa	Phi: 16.65 °
Name: L,A2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 22.2 °
Name: L,A1	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 18.5 kN/m ³	Cohesion: 9.6 kPa	Phi: 18.8 °
Name: R	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 32 °
Name: SC	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 36 °
Name: SB	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m ³	Cohesion: 600 kPa	Phi: 32 °
Name: CLS	Model: Undrained (Phi=0)	Unit Weight: 25 kN/m ³	Cohesion: 500 kPa	
Name: trattamento AL1	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m ³	Cohesion: 6.2 kPa	Phi: 21.36 °
Name: A,L1	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 18 kN/m ³	Cohesion: 8 kPa	Phi: 17.9 °

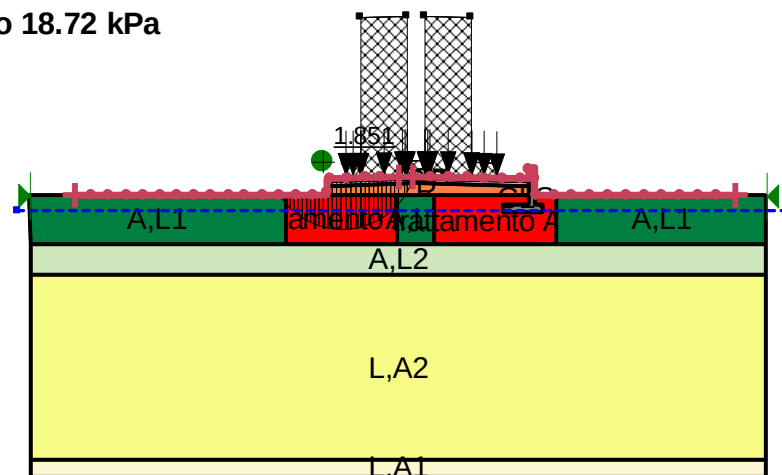


Figura 20: Rilevato H=1.8 m, sez. 6+150 – con interventi - Analisi di stabilità globale in campo statico DA1C2

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 76 di 219

RADDOPPIO FERROVIARIO PESCARA P.N.-CHIETI (LOTTO 1)

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 6+150

Condizioni co-sismiche $k_h=0.098$ $k_v=-0.049$

Sovraccarico permanente armamento 14.4 kPa

Sovraccarico Ferroviario 11.45 kPa

Trattamento in colonne di ghiaia

Name: A,L2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 17.5 kN/m ³	Cohesion: 5 kPa	Phi: 20.5 °
Name: L,A2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 27 °
Name: L,A1	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 18.5 kN/m ³	Cohesion: 12 kPa	Phi: 23.5 °
Name: R	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 38 °
Name: SC	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 42 °
Name: SB	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m ³	Cohesion: 600 kPa	Phi: 38 °
Name: CLS	Model: Undrained (Phi=0)	Unit Weight: 25 kN/m ³	Cohesion: 500 kPa	
Name: trattamento AL1	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m ³	Cohesion: 7.7 kPa	Phi: 26.7 °
Name: LIQ	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 18 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 22 ° Ru: 0.3

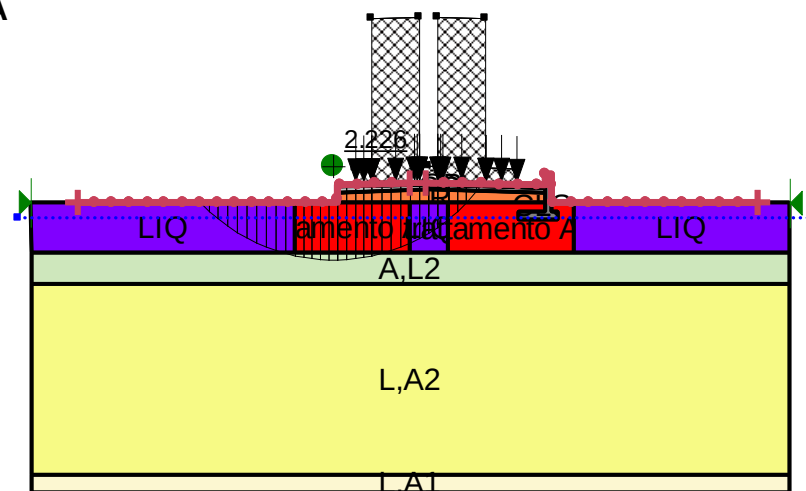


Figura 21: Rilevato $H=1.8$ m, sez. 6+150 – con interventi - Analisi di stabilità globale in campo sismico-condizioni co-sismiche (+)

RADDOPPIO FERROVIARIO PESCARA P.N.-CHIETI (LOTTO 1)

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 6+150

Condizioni co-sismiche $k_h=0.098$ $k_v=0.049$

Sovraccarico permanente armamento 14.4 kPa

Sovraccarico Ferroviario 11.45 KPa

Trattamento in colonne di ghiaia

Name: A,L2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 17.5 kN/m ³	Cohesion: 5 kPa	Phi: 20.5 °
Name: L,A2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 27 °
Name: L,A1	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 18.5 kN/m ³	Cohesion: 12 kPa	Phi: 23.5 °
Name: R	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 38 °
Name: SC	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 42 °
Name: SB	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m ³	Cohesion: 600 kPa	Phi: 38 °
Name: CLS	Model: Undrained (Phi=0)	Unit Weight: 25 kN/m ³	Cohesion: 500 kPa	
Name: trattamento AL1	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m ³	Cohesion: 7.7 kPa	Phi: 26.7 °
Name: LIQ	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 18 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 22 ° Ru: 0.3

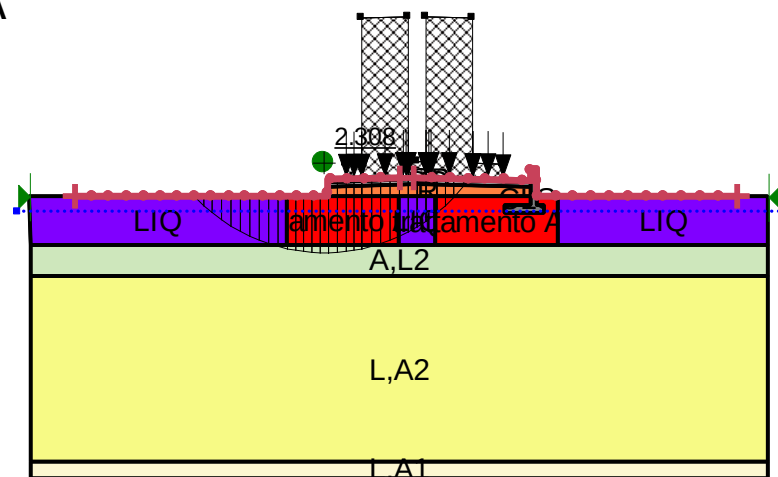


Figura 22: Rilevato $H=1.8$ m, sez. 6+150 – con interventi - Analisi di stabilità globale in campo sismico-condizioni co-sismiche (-)

RADDOPPIO FERROVIARIO PESCARA P.N.-CHIETI (LOTTO 1)

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 6+150

Condizioni post-sismiche

Sovraccarico permanente armamento 14.4 kPa

Sovraccarico Ferroviario 11.45 KpA

Trattamento in colonne di ghiaia

Name: A,L2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 17.5 kN/m ³	Cohesion: 5 kPa	Phi: 20.5 °
Name: L,A2	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 27 °
Name: L,A1	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 18.5 kN/m ³	Cohesion: 12 kPa	Phi: 23.5 °
Name: R	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 19 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 38 °
Name: SC	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 42 °
Name: SB	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m ³	Cohesion: 600 kPa	Phi: 38 °
Name: CLS	Model: Undrained (Phi=0)	Unit Weight: 25 kN/m ³	Cohesion: 500 kPa	
Name: LIQ	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 18 kN/m ³	Cohesion: 0 kPa	Phi: 4.3 °
Name: trattamento	Model: Mohr-Coulomb	Unit Weight: 20 kN/m ³	Cohesion: 7.7 kPa	Phi: 26.7 °

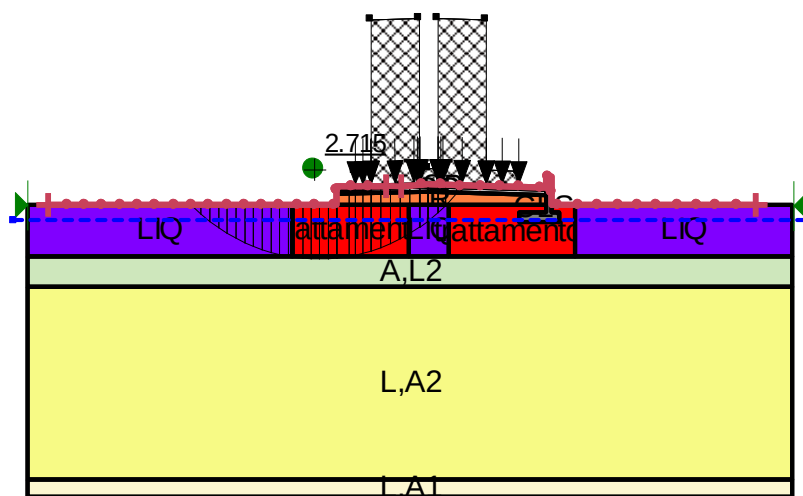


Figura 23: Rilevato H=1.8 m, sez. 6+150 – con interventi - Analisi di stabilità globale in campo sismico – condizioni post-sismiche

Tabella 15: Stratigrafia di calcolo per la sezione 6+1500

Trattamento in CG	
Verifiche SLU	FS ^{MIN}
Statiche	1.851
Co-sismiche	2.223
Post-sismiche	2.715

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 80 di 219

11.4 Verifiche SLE – Valutazione dei cedimenti

Dai risultati delle precedenti verifiche si evince la necessità di un trattamento di consolidamento per migliorare le caratteristiche del terreno di fondazione suscettibile a liquefazione nella tratta tra il km 5+850 e il km 6+500 e pertanto le relative verifiche SLE con valutazione dei cedimenti attesi saranno fatte tenendo conto della presenza di tali trattamenti al di sotto del rilevato. Tuttavia le analisi per il calcolo dei cedimenti attesi in sommità al rilevato ferroviario sono state condotte considerando anche una configurazione in assenza di trattamento. In questo modo è stato possibile verificare che anche in tratte precedenti e successive a quella in esame caratterizzate da condizioni stratigrafiche simili o migliori e da altezze dei rilevati simili o inferiori ma per le quali il trattamento non è previsto, i cedimenti attesi siano accettabili secondo quanto riportato in Doc. Rif. [9][11].

11.4.1 Analisi preliminari del rilevato senza interventi

11.4.1.1 Modelli e fasi di calcolo

Il modello utilizzato per queste analisi è mostrato nella Figura 24 e rappresenta il rilevato di progetto alla progressiva 6+150. L'altezza del rilevato in oggetto è pari a circa 1.80 metri incluso il pacchetto di armamento ferroviario (ballast, traversine e rotaie) che ha uno spessore totale di 0.65 metri (non rappresentato nel modello ma convertito in sovraccarico).

La stratigrafia di calcolo utilizzata è riportata in Tabella 14.

Si tratta di modelli bi-dimensionali in cui è mostrato il rilevato in sezione, con la propria geometria ed i sovraccarichi.

Per definire l'andamento dei cedimenti nel tempo viene omesso nell'analisi il sovraccarico da traffico ferroviario in accordo a quanto specificato in Doc. Rif. [9].

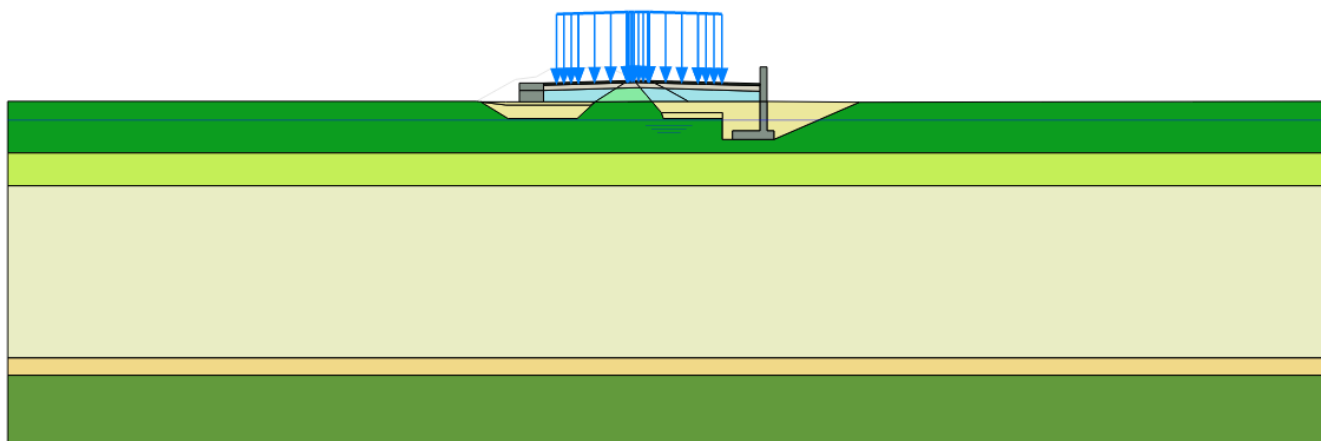


Figura 24: Modello rilevato Sez. 6+150 – senza interventi

In Figura 24 è rappresentata la configurazione finale di progetto del rilevato, sebbene per l'analisi dei cedimenti sia stata presa in considerazione anche una fase preliminare di esecuzione e consolidazione del rilevato esistente, il cui modello è illustrato in Figura 25.

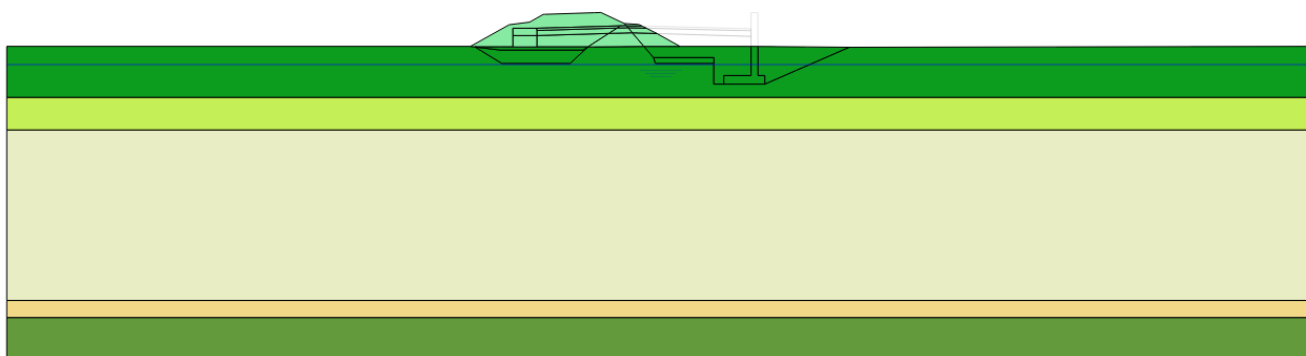


Figura 25: Modello rilevato esistente Sez. 6+150

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti (il modello di calcolo per ciascuna fase è riportato in

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 82 di 219

ALLEGATO b – Risultati analisi Plaxis ril. 6+150 senza interventi:

- Generazione dello stato tensionale iniziale con piano campagna attuale;
- Costruzione del rilevato esistente (durata 1 anno);
- Consolidazione del terreno di fondazione nel corso dell'esercizio della linea ferroviaria esistente (durata 50 anni);
- Scavo della parte destra del rilevato e successiva esecuzione dello strato di bonifico e del muro di sostegno (durata 82 gg);
- Costruzione della parte destra del rilevato sino all'altezza di progetto (durata 20 gg);
- Applicazione dello strato di supercompattato e sub-ballast e dell'intero armamento ferroviario (durata 620 gg);
- Entrata in esercizio della nuova linea (nuovo binario pari) con l'applicazione del sovraccarico da armamento ferroviario (durata 8 gg per l'applicazione);
- Demolizione della parte sinistra del rilevato esistente (durata 30 gg);
- Riempimento dello strato di bonifico al piede sinistro del nuovo rilevato (durata 40 gg);
- Costruzione della parte sinistra del rilevato sino all'altezza di progetto (durata 30 gg);
- Applicazione dello strato di supercompattato e sub-ballast e dell'intero armamento ferroviario (durata 265 gg);
- Entrata in esercizio della nuova linea (nuovo binario dispari) con l'applicazione del sovraccarico da armamento ferroviario e consolidazione del terreno di fondazione (durata totale 1 anno);
- Consolidazione del terreno di fondazione nel corso dell'esercizio della nuova linea ferroviaria fino a 75 anni dall'entrata in esercizio del binario sinistro.

I risultati ottenuti sono mostrati e commentati al successivo punto 11.4.1.2.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 83 di 219

11.4.1.2 Risultati

Nelle figure seguenti sono riportati i punti di interesse selezionati per il calcolo degli spostamenti verticali nelle singole fasi e per valutare l'andamento dei cedimenti nel tempo (Figura 26) e i risultati ottenuti per il rilevato in oggetto in termini di spostamenti verticali u_y al termine delle seguenti fasi:

- Al termine di tutte le fasi di costruzione della parte destra del rilevato e subito prima dell'entrata in esercizio del nuovo binario pari;
- Al termine di tutte le fasi di costruzione della parte sinistra del rilevato e subito prima dell'entrata in esercizio del nuovo binario dispari;
- Dopo 75 anni dall'entrata in esercizio della linea ferroviaria.

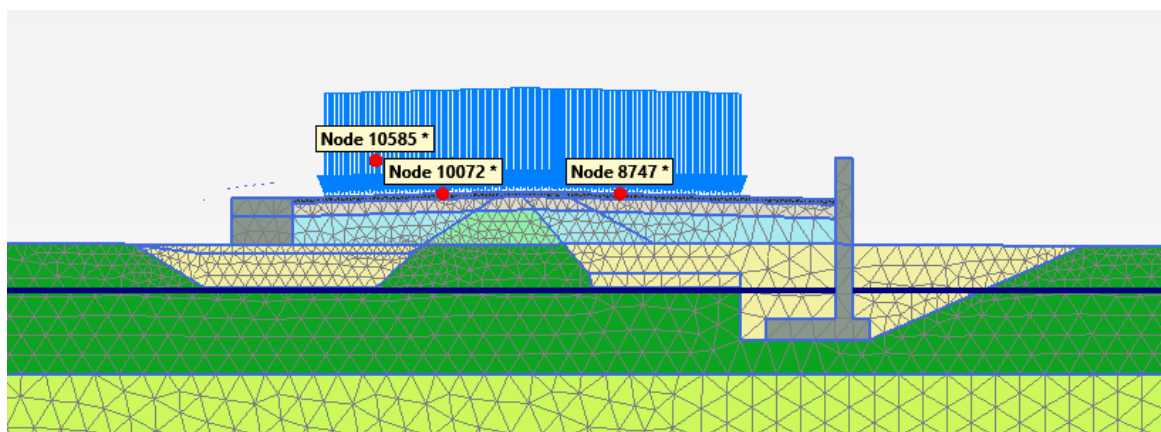


Figura 26: Rilevato sez. 6+150 senza interventi – Punti di interesse per calcolo spostamenti verticali

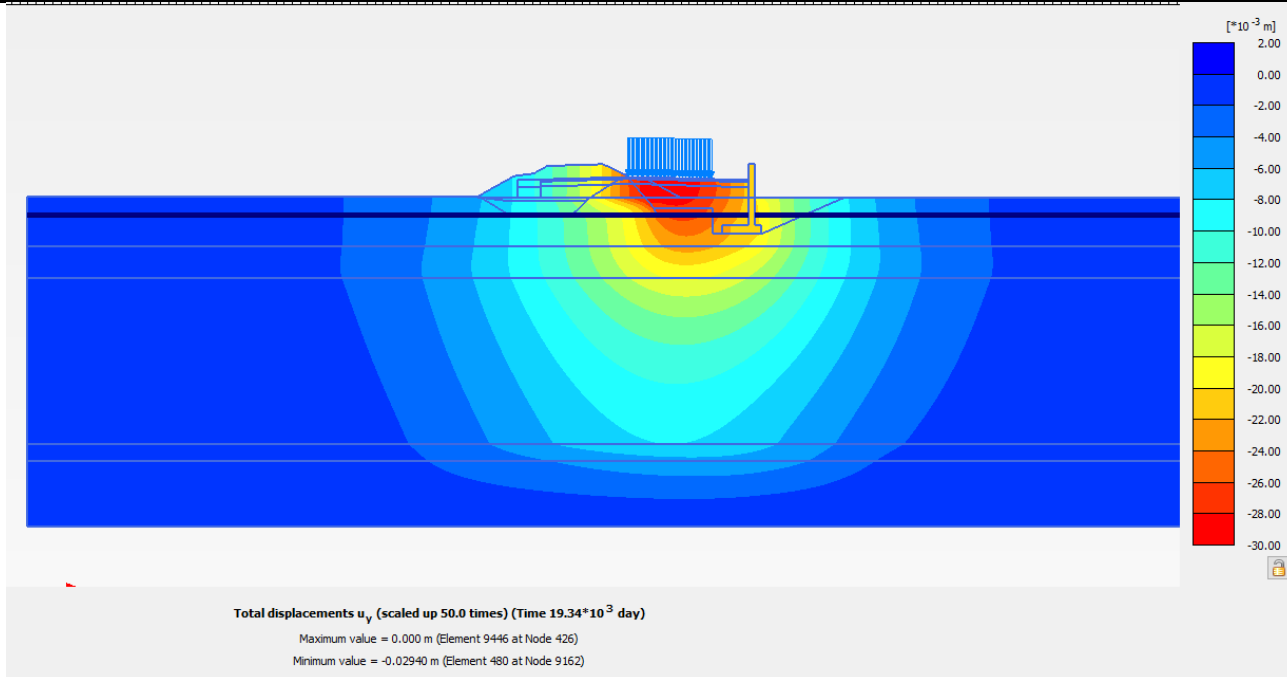


Figura 27: Rilevato sez. 6+150 senza interventi – Spostamenti verticali prima dell'attivazione de nuovo binario pari

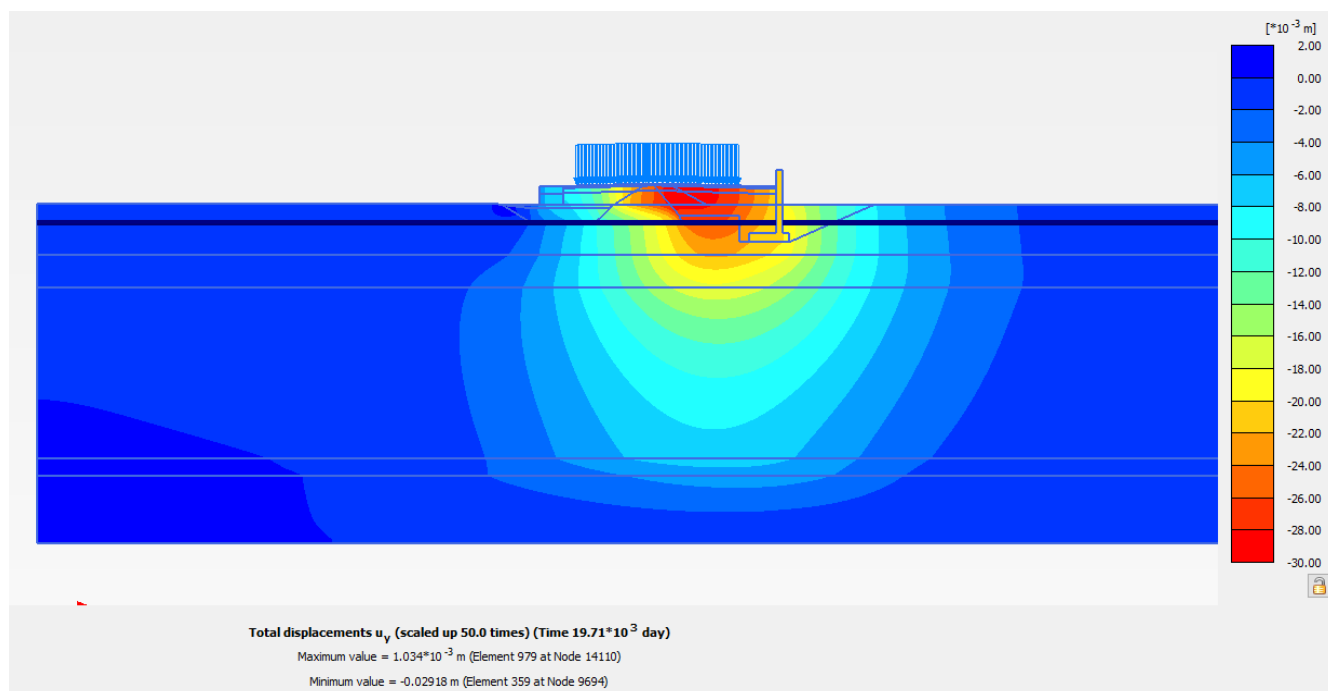


Figura 28: Rilevato sez. 6+150 senza interventi – Spostamenti verticali prima dell'attivazione del nuovo binario dispari

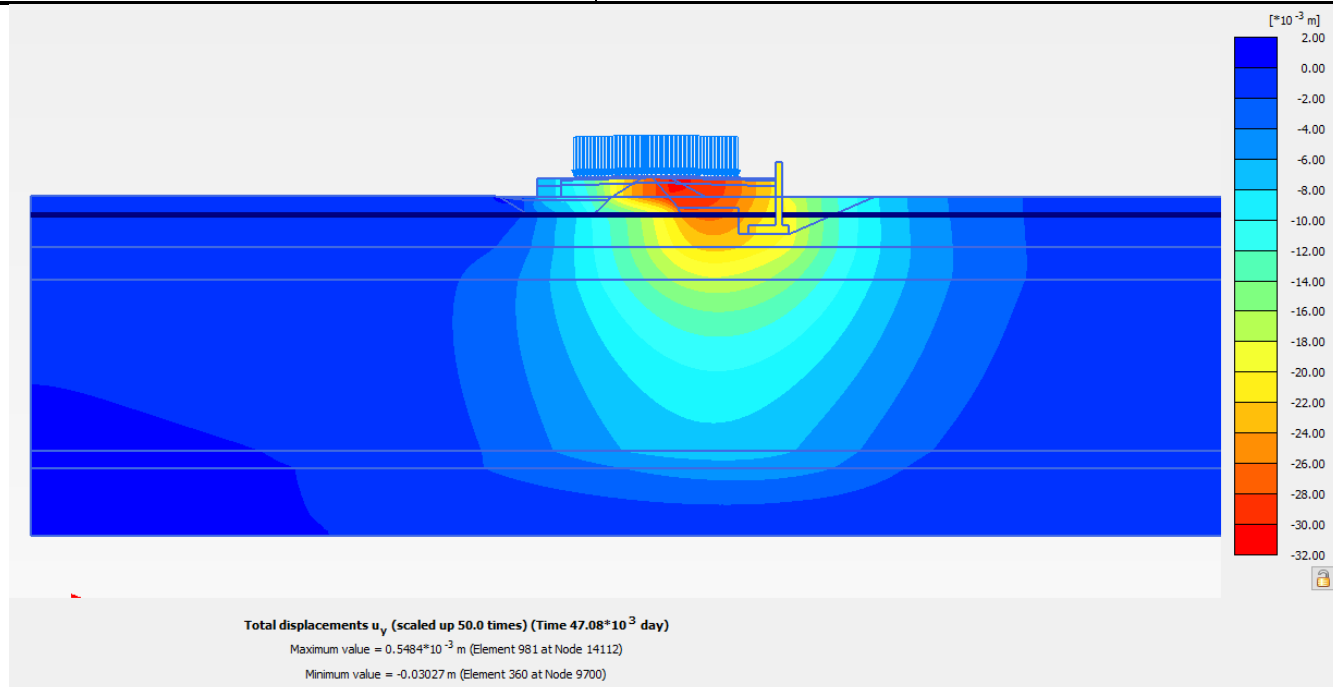


Figura 29: Rilevato sez. 6+150 senza interventi – Spostamenti verticali a 75 anni dalla messa in esercizio della linea ferroviaria

In Figura 30 e Figura 31 viene riportato l'andamento nel tempo dello spostamento verticale di due punti posizionati in sommità al rilevato in corrispondenza dell'asse del nuovo binario pari (nodo di calcolo 8747) e dell'asse del nuovo binario dispari (nodo di calcolo 10072) e di un punto in sommità al rilevato esistente in corrispondenza dell'asse binario (nodo di calcolo 10585) (si veda Figura 26).

Nella prima figura viene preso in considerazione un arco temporale superato il quale non si osserva una ulteriore evoluzione degli spostamenti verticali nel tempo, mentre nella seconda è riportato uno zoom sui primi 10 anni.

In Tabella 16 e Tabella 17 sono riportati, inoltre, i valori degli spostamenti verticali residui calcolati nei medesimi punti in corrispondenza dei diversi istanti temporali, partendo dall'entrata in esercizio del binario pari fino a 75 anni dell'entrata in esercizio di tutta la linea ferroviaria.

Pescara - Chieti - LOTTO 1 - Cedimenti nel tempo sez 6+150 (H rilevato 1-2m)

Sequenza costruttiva di progetto
t (anni)

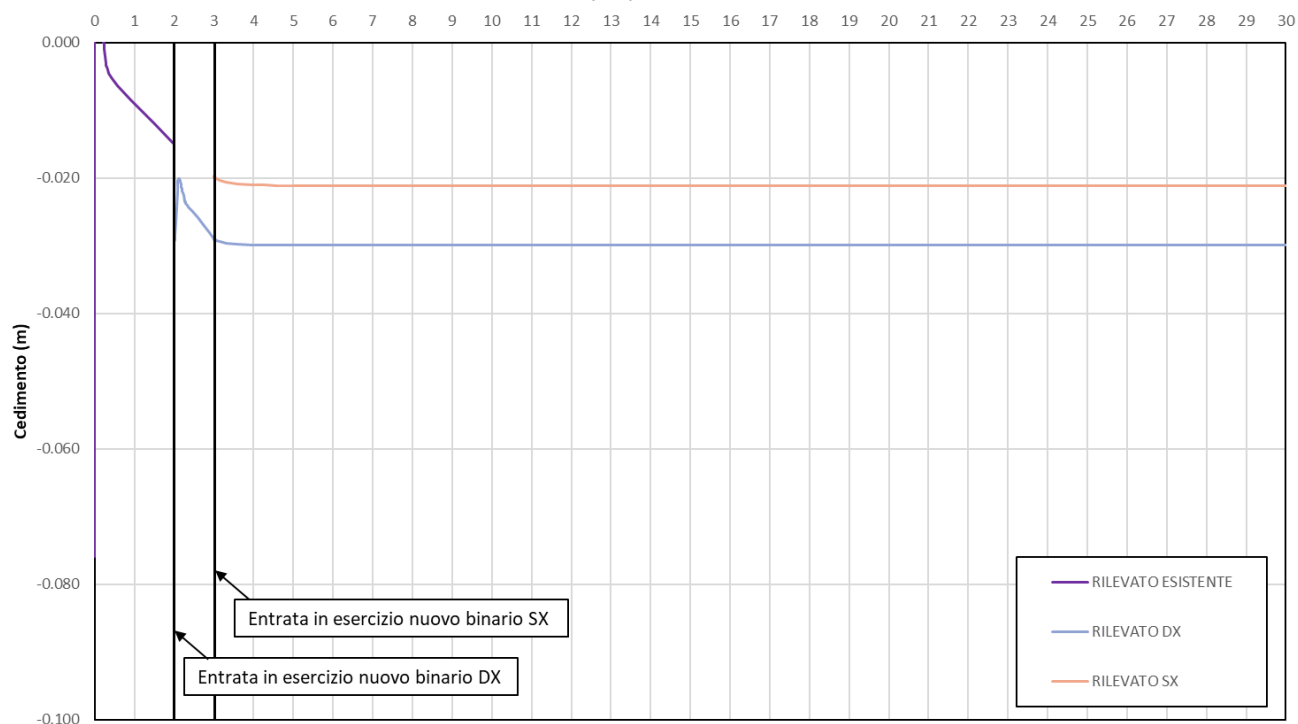


Figura 30: Rilevato sez. 6+150 senza interventi – Spostamenti verticali nel tempo in sommità al rilevato

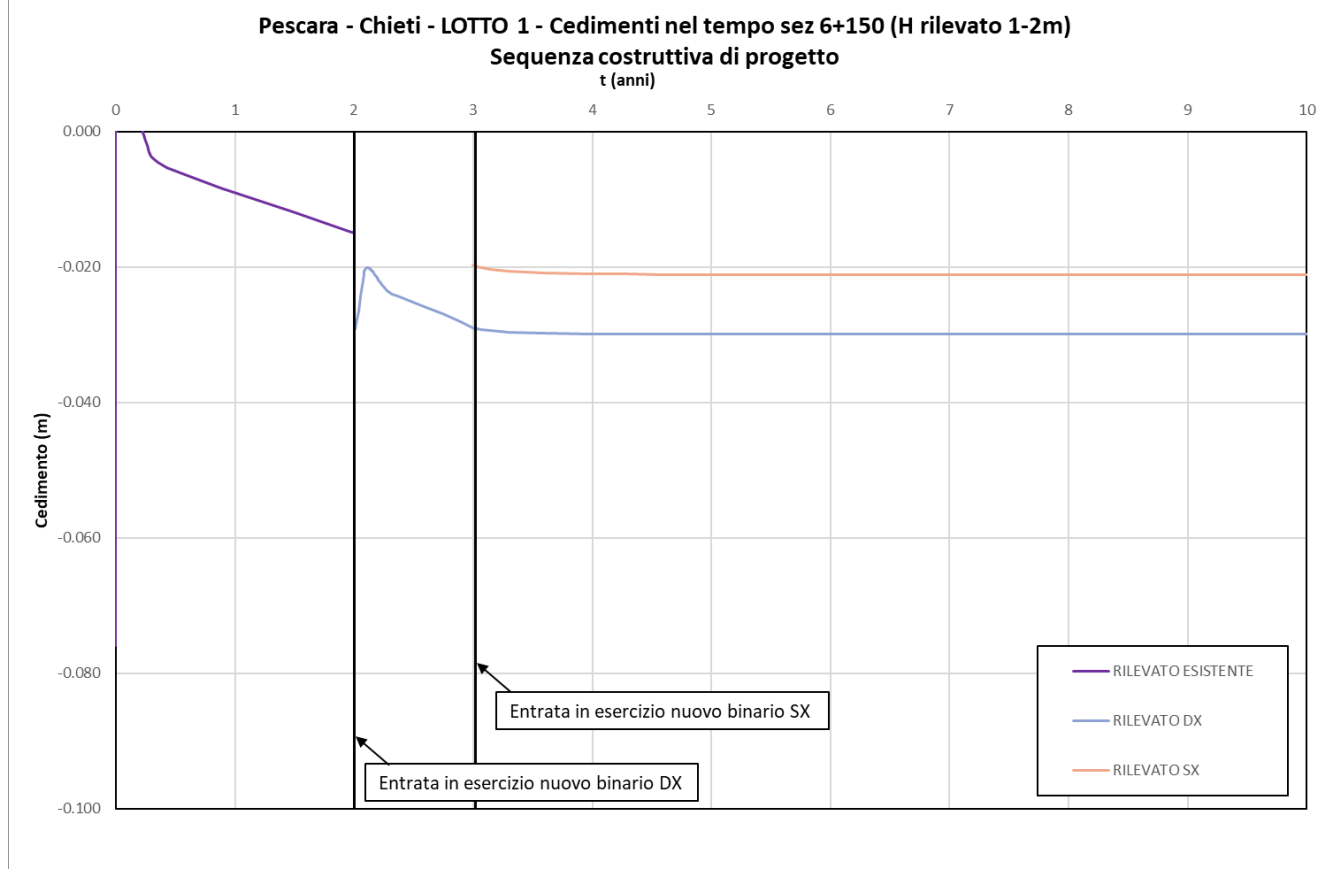


Figura 31: Rilevato 6+150 senza interventi – Spostamenti verticali nel tempo in sommità al rilevato (fino a 10 anni)

Tabella 16: Cedimenti assoluti e residui in asse a binario esistente e di progetto

Sezione	Calcolo dei cedimenti						
	Stima cedimento* a t = 2 anni	Stima cedimento* a t = 2 anni	Stima cedimento** a t = 3+75anni	Stima cedimento** a t >= 2 anni	Stima cedimento** a t = 3 anni	Stima cedimento** a t = 3+75anni	Stima cedimento** a t >= 3 anni
	assoluto [cm]	assoluto [cm]	assoluto [cm]	residuo [cm]	assoluto [cm]	assoluto [cm]	residuo [cm]
6+150	1.5	2.9	3	0.1	2	2.1	0.1

* in asse al binario esistente

** in asse al nuovo binario in dx

*** in asse al nuovo binario in sx

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 88 di 219

Tabella 17: Cedimenti residui in asse a binario esistente e di progetto al termine di ciascuna fase

TEMPI	FASE	Binario esistente	Binario DX	Binario SX
		Cedimento residuo		
		[cm]	[cm]	[cm]
2 anni	Attivazione binario pari	1.5	-	-
3 anni	Attivazione binario dispari	-	0	-
3+1 anni	Ced residuo a 1 anno	-	0.1	0.1
3+2 anni	Ced residuo a 2 anni	-	0.1	0.1
3+10 anni	Ced residuo a 10 anni	-	0.1	0.1
3+30 anni	Ced residuo a 30 anni	-	0.1	0.1
3+75 anni	Ced residuo a 75 anni	-	0.1	0.1

Come si può notare i valori di cedimento residuo che si ottengono sono nettamente inferiori rispetto al valore limite fissato dai Doc. Rif. [9] e [11] e come specificato al precedente punto 3.2.2.

Per questa tratta si prevede comunque di eseguire un intervento di consolidamento per garantire le condizioni di stabilità del sistema, che allo stesso tempo migliora anche le caratteristiche di deformabilità del terreno di fondazione con conseguente riduzione dei cedimenti attesi.

Per quanto riguarda le altre tratte oggetto della presente relazione, in cui il trattamento non è previsto, si ritengono accettabili i valori dei cedimenti riportati in Tabella 17.

Per quanto riguarda il rilevato esistente, che le fasi costruttive prevedono rimanga attivo fino al completamento e messa in esercizio del nuovo binario pari, si calcolano valori di cedimenti attesi residui pari a circa 1.5 cm inferiori a quelli calcolati nelle tratte precedenti (da pk 0+000 a pk 4+500), ma comunque non trascurabili. A fronte di questi risultati, per questo binario specifico è stato valutato che questi spostamenti possano ritenersi accettabili, mettendo in atto opportune misure di sicurezza, quali per esempio i rallentamenti provvisori (ove necessari), e realizzando un adeguato sistema di monitoraggio degli spostamenti del binario che verrà rilevato con opportuna frequenza. Inoltre, tali valori sono considerati comunque limitati poiché gestibili come manutenzione della piattaforma ferroviaria con un minimo di ricalzo del ballast.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 89 di 219

11.4.2 Analisi finali rilevato con interventi

11.4.2.1 Modello e fasi di calcolo

Il modello utilizzato per questa analisi è mostrato nella Figura 32 e considera un rilevato di altezza pari a 1.80 m (incluso l'armamento ferroviario).

Si tratta di un modello bi-dimensionale in cui è mostrato il rilevato in sezione, con la propria geometria ed i sovraccarichi, oltre alla presenza degli interventi colonnari di consolidamento che ai fini del calcolo sono disposti solo al di sotto delle due scarpate destra e sinistra del rilevato.

Anche in questo caso per definire l'andamento dei cedimenti nel tempo viene omesso nell'analisi il sovraccarico da traffico ferroviario in accordo a quanto specificato in Doc. Rif. [9].

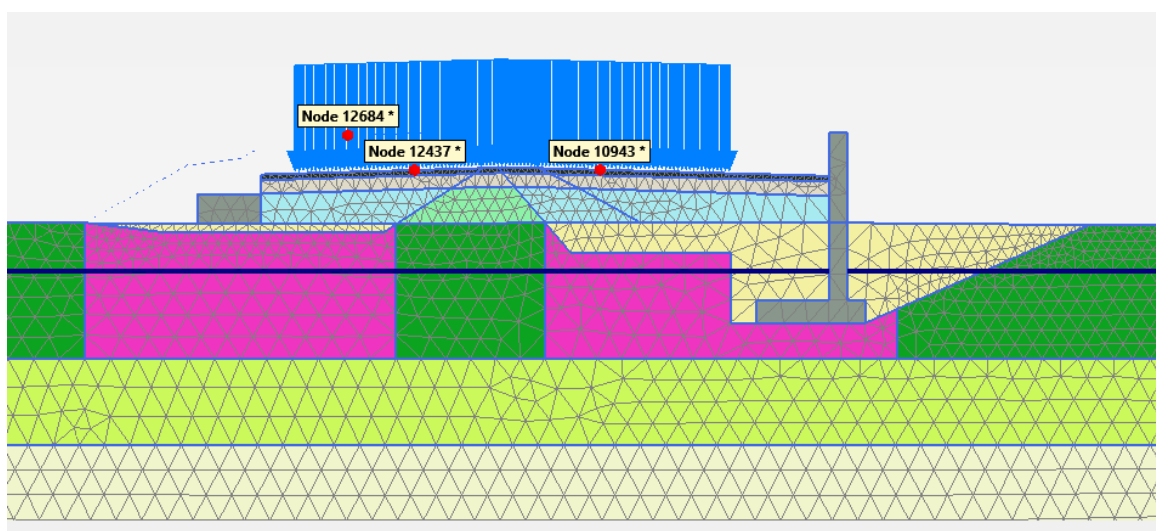


Figura 32:Modello rilevato Sez. 6+150 – con interventi

Per l'analisi dei cedimenti è stata presa in considerazione anche una fase preliminare di esecuzione e consolidazione del rilevato esistente, il cui modello è il medesimo utilizzato nelle analisi dei cedimenti del rilevato senza interventi, descritte nei paragrafi precedenti (Figura 25).

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti (il modello di calcolo per ciascuna fase è riportato in

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 90 di 219

ALLEGATO C – Risultati analisi Plaxis ril. 6+150 CON interventi):

- Generazione dello stato tensionale iniziale con piano campagna attuale;
- Costruzione del rilevato esistente (durata 1 anno);
- Consolidazione del terreno di fondazione nel corso dell'esercizio della linea ferroviaria esistente (durata 50 anni);
- Scavo della parte destra del rilevato (durata 2 gg);
- Esecuzione del trattamento in colonne di ghiaia (durata 60 gg);
- Esecuzione dello strato di bonifico e del muro di sostegno (durata 20 gg);
- Costruzione della parte destra del rilevato sino all'altezza di progetto (durata 20 gg);
- Applicazione dello strato di supercompattato e sub-ballast e dell'intero armamento ferroviario (durata 620 gg);
- Entrata in esercizio della nuova linea (nuovo binario pari) con l'applicazione del sovraccarico da armamento ferroviario (durata 8 gg per l'applicazione);
- Demolizione della parte sinistra del rilevato esistente (durata 30 gg);
- Riempimento dello strato di bonifico al piede sinistro del nuovo rilevato (durata 40 gg);
- Costruzione della parte sinistra del rilevato sino all'altezza di progetto (durata 30 gg);
- Applicazione dello strato di supercompattato e sub-ballast e dell'intero armamento ferroviario (durata 265 gg);
- Entrata in esercizio della nuova linea (nuovo binario dispari) con l'applicazione del sovraccarico da armamento ferroviario e consolidazione del terreno di fondazione (durata totale 1 anno);
- Consolidazione del terreno di fondazione nel corso dell'esercizio della nuova linea ferroviaria fino a 75 anni dall'entrata in esercizio del binario sinistro.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 91 di 219

11.4.2.2 Risultati

Nelle figure seguenti sono riportati i risultati ottenuti per il rilevato in oggetto in presenza di trattamenti in Deep Mixing in termini di spostamenti verticali u_y al termine delle seguenti fasi:

- Al termine di tutte le fasi di costruzione della parte destra del rilevato e subito prima dall'entrata in esercizio del nuovo binario pari;
- Al termine di tutte le fasi di costruzione della parte sinistra del rilevato e subito prima dall'entrata in esercizio del nuovo binario dispari;
- Dopo 75 anni dall'entrata in esercizio della linea ferroviaria.

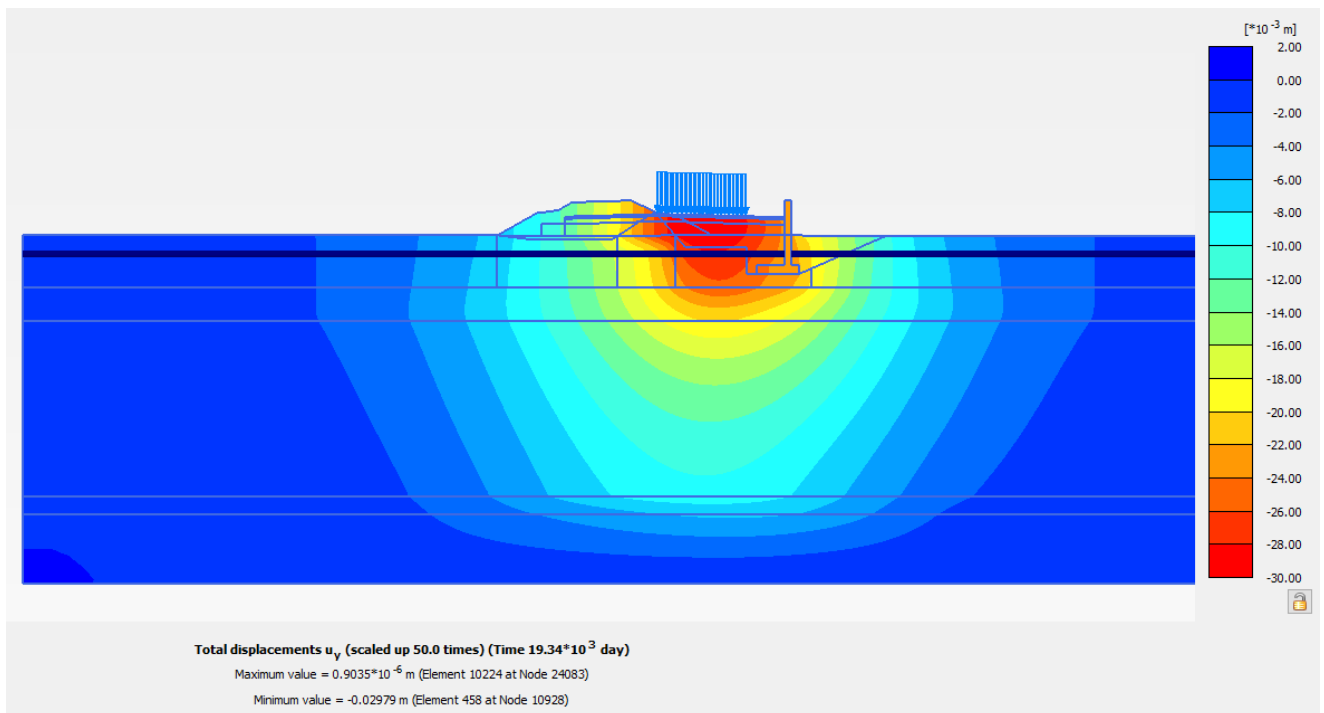


Figura 33: Rilevato Sez. 6+150 con interventi – Spostamenti verticali prima della messa in esercizio del nuovo binario pari

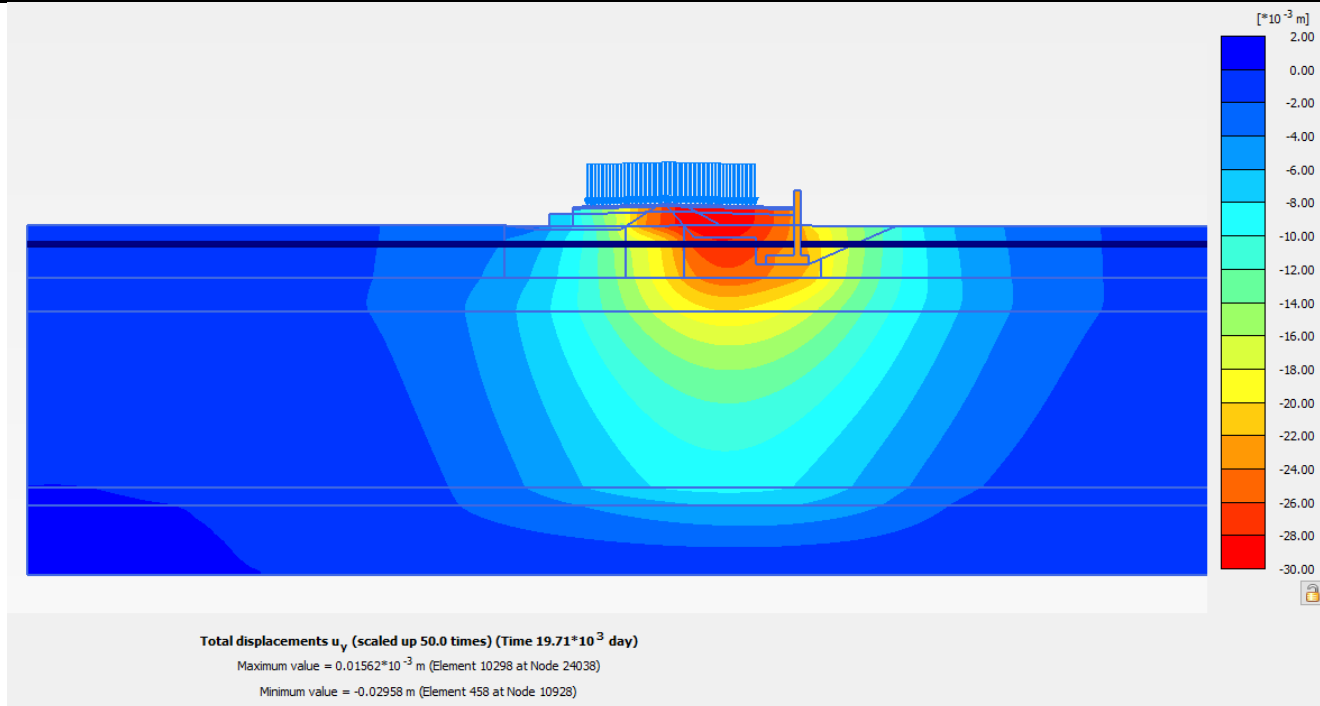


Figura 34: Rilevato Sez. 6+150 con interventi – Spostamenti verticali prima della messa in esercizio del nuovo binario dispari

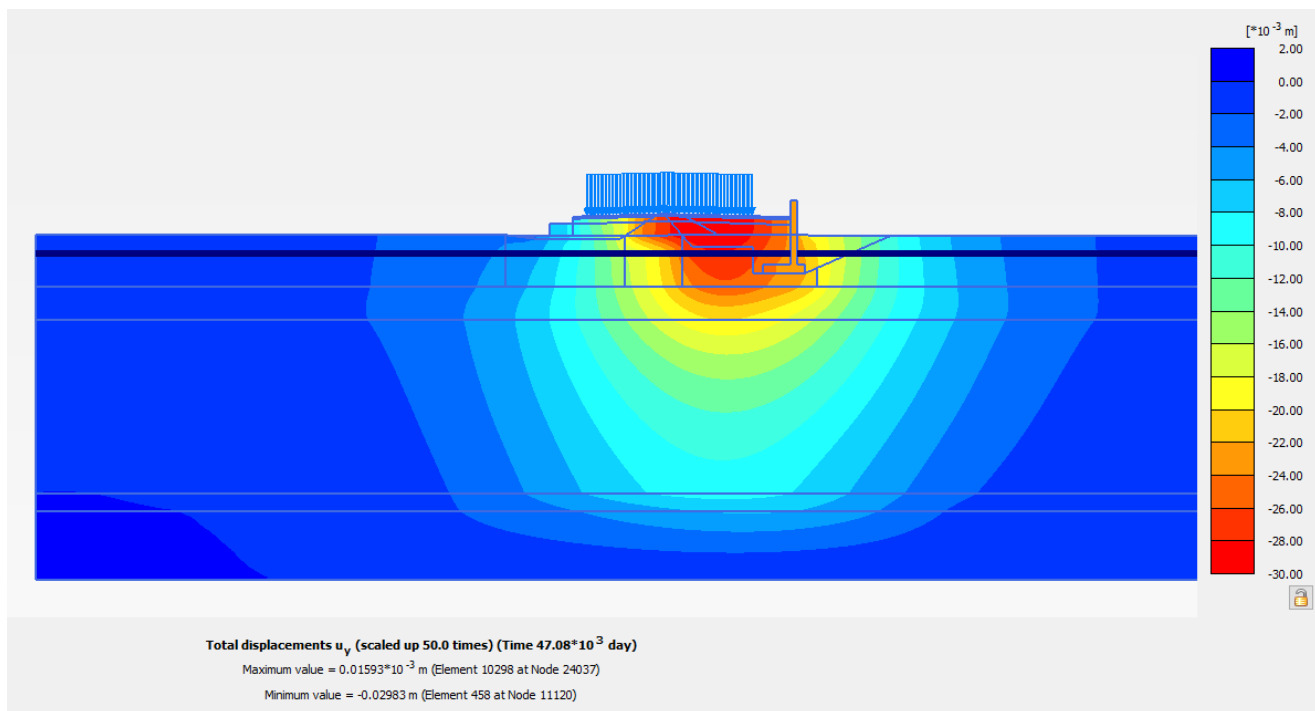


Figura 35: Rilevato Sez6+150 con interventi – Spostamenti verticali a 75 anni dalla messa in esercizio della linea ferroviaria

In Figura 36 e Figura 37 viene riportato l'andamento nel tempo dello spostamento verticale di due punti posizionati in sommità al rilevato in corrispondenza dell'asse del nuovo binario pari (nodo di calcolo 10943) e dell'asse del nuovo binario dispari (nodo di calcolo 12437) e di un punto in sommità al rilevato esistente in corrispondenza dell'asse binario (nodo di calcolo 12684), in presenza dei trattamenti colonnari e confrontato con l'andamento degli spostamenti verticali in assenza di trattamento.

Nella prima figura viene preso in considerazione un arco temporale superato il quale non si osserva una ulteriore evoluzione degli spostamenti verticali nel tempo, mentre nella seconda è riportato uno zoom sui primi 10 anni.

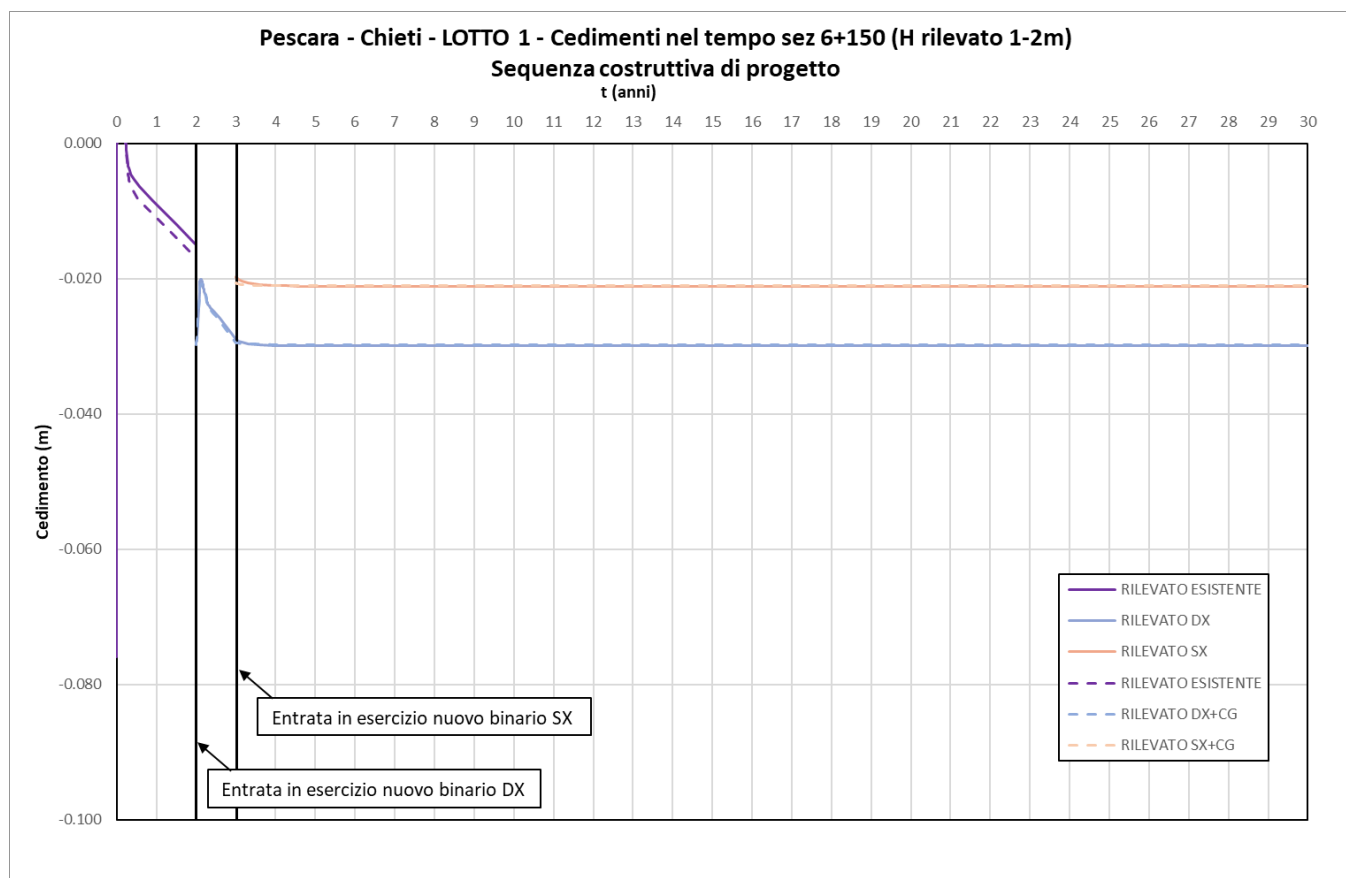


Figura 36: Rilevato Sez. 6+150 con interventi – Spostamenti verticali nel tempo in sommità al rilevato

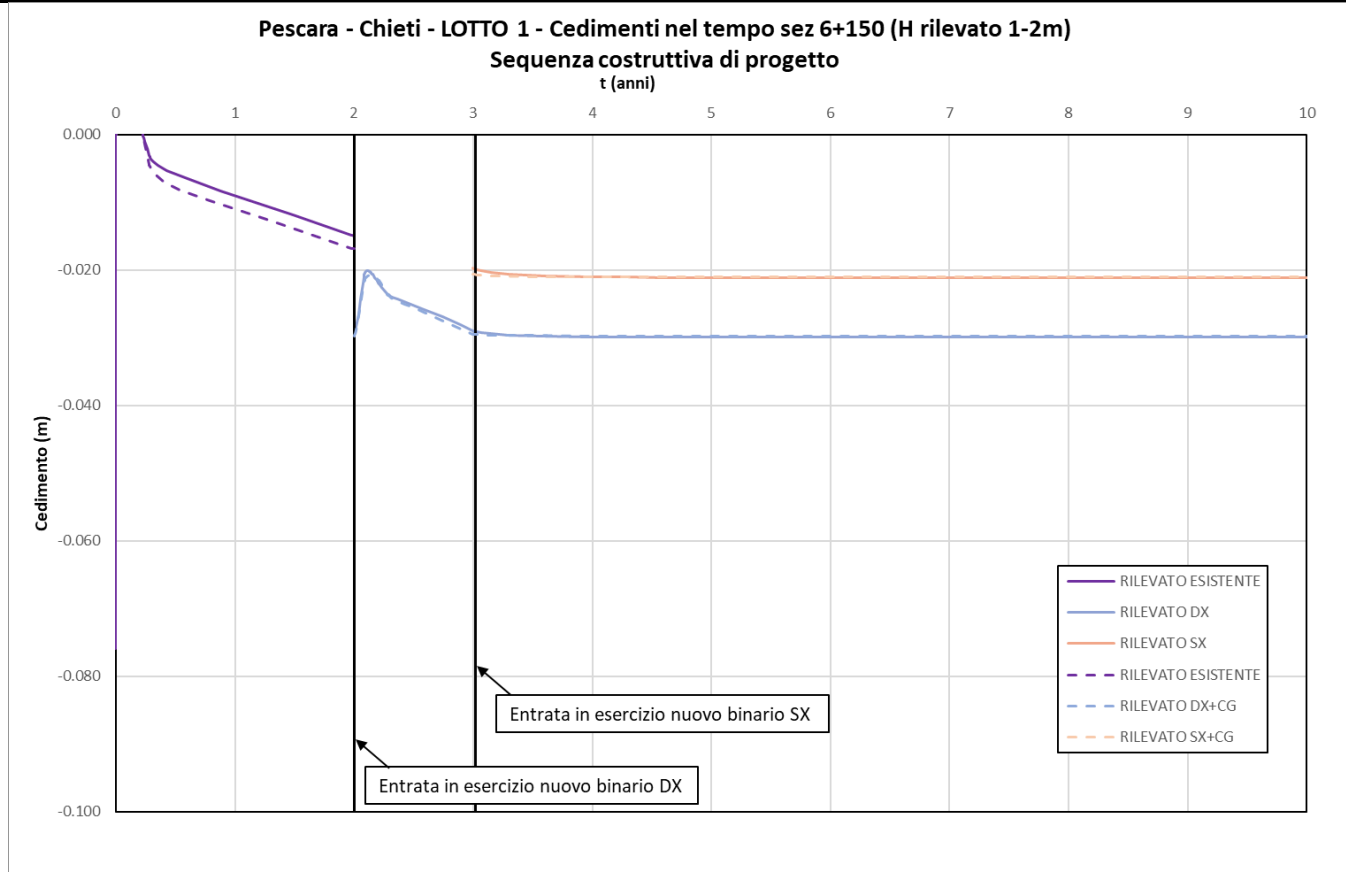


Figura 37: Rilevato Sez. 6+150 con interventi – Spostamenti verticali nel tempo in sommità al rilevato (fino a 10 anni)

In Tabella 18 e

Tabella 19 sono riportati, inoltre, i valori degli spostamenti verticali residui calcolati nei medesimi punti in corrispondenza dei diversi istanti temporali, partendo dall'entrata in esercizio del binario pari fino a 75 anni dalla messa in esercizio di tutta la linea ferroviaria.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 95 di 219

Tabella 18: Rilevato Sez. 6+150 con interventi – Cedimenti assoluti e residui in asse a binario esistente e di progetto

Sezione	Calcolo dei cedimenti						
	Stima cedimento* a t = 2 anni	Stima cedimento** a t = 2 anni	Stima cedimento** a t = 3+75anni	Stima cedimento** a t >= 2 anni	Stima cedimento*** a t = 3 anni	Stima cedimento*** a t = 3+75anni	Stima cedimento*** a t >= 3 anni
	assoluto	assoluto	assoluto	residuo	assoluto	assoluto	residuo
	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]	[cm]
6+150 (CG)	1.7	2.9	3	0.1	2	2.1	0.1

* in asse al binario esistente
 ** in asse al nuovo binario in dx
 *** in asse al nuovo binario in sx

Tabella 19: Rilevato Sez. 6+150 con interventi – Cedimenti residui in asse a binario esistente e di progetto al termine di ciascuna fase

TEMPI	FASE	Binario esistente	Binario DX	Binario SX
		Cedimento residuo		
		[cm]	[cm]	[cm]
2 anni	Attivazione binario pari	1.5	-	-
3 anni	Attivazione binario dispari	-	0	-
3+1 anni	Ced residuo a 1 anno	-	0.1	0.1
3+2 anni	Ced residuo a 2 anni	-	0.1	0.1
3+10 anni	Ced residuo a 10 anni	-	0.1	0.1
3+30 anni	Ced residuo a 30 anni	-	0.1	0.1
3+75 anni	Ced residuo a 75 anni	-	0.1	0.1

I cedimenti residui attesi dal completamento e dall'attivazione della nuova linea ferroviaria con la presenza del trattamento risultano praticamente invariati.

Si ricorda, invece, che per quanto riguarda il rilevato esistente si calcolano valori di cedimenti attesi pari a circa 1.7 cm. A fronte di questi risultati, per questo binario specifico, che deve rimanere attivo fino al completamento e messa in esercizio del nuovo binario pari, è stato valutato che questi spostamenti possano ritenersi accettabili, mettendo in atto opportune misure di

sicurezza, quali per esempio rallentamenti provvisori (ove necessari), e realizzando un adeguato sistema di monitoraggio degli spostamenti del binario che verrà rilevato con opportuna frequenza. Inoltre, tali valori sono considerati comunque limitati poiché gestibili come manutenzione della piattaforma ferroviaria con un minimo di ricalzo del ballast.

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 97 di 219

12. CONSIDERAZIONI FINALI SUI RILEVATI DA 4+500 A 6+500

Relativamente alla tratta di sede ferroviaria dalla progressiva 4+500 alla 6+500 sono state svolte una serie di verifiche basate sulle seguenti considerazioni:

- La sede ferroviaria nella tratta in esame si sviluppa quasi totalmente a raso e, in tratte di lunghezza limitata, con rilevati di altezza massima di progetto pari a circa 1-2 m. La nuova sede ferroviaria a doppio binario viene realizzata interamente in affiancamento alla sede della linea esistente che ha altezze paragonabili a quelle di progetto.
- Data la modesta altezza dei rilevati, sono state analizzate solo le sezioni significative per le verifiche della stabilità globale del sistema rilevato-terreno di fondazione caratterizzato dalla presenza di materiali suscettibili a liquefazione: Sezione al km 4+750 per la tratta da 4+500 a 4+800, Sezione al km 5+300 per la tratta da 5+100 a 5+400 e Sezione al km 6+150 per la tratta da 5+850 a 6+500.

Dai risultati ottenuti si evince che l'esecuzione degli interventi di consolidamento del terreno di fondazione sia dovuta esclusivamente all'esigenza di mitigare il rischio di liquefazione e ridurre i possibili effetti post-sisma stimati che potrebbero compromettere la funzionalità dell'opera, escludendo la necessità di ridurre i cedimenti residui attesi in fase di esercizio poiché compatibili coi limiti fissati da RFI per questo tipo di opere.

Pertanto nella tratta compresa tra il km 4+500 e 4+800 il terreno viene trattato con colonne di ghiaia (vibro-replacement) di diametro di 800 mm disposte secondo maglia quadrata di lato pari ad 1.9 m, con una lunghezza delle colonne pari a circa 11 m. L'effetto del trattamento colonnare modifica le caratteristiche di resistenza al taglio del materiale potenzialmente liquefacibile che in questo modo non lo è più, garantendo la stabilità del rilevato anche in condizioni sismiche. Evidentemente tale intervento consente anche di ridurre i cedimenti residui post-costruzione.

In modo analogo nella tratta compresa tra il km 5+100 e 5+400 il terreno viene trattato con colonne di ghiaia (vibro-replacement) di diametro di 800 mm disposte secondo maglia quadrata di lato pari ad 1.7 m, con una lunghezza delle colonne pari a circa 5.5 m, mentre nella tratta compresa tra il km 5+850 e 6+500 il terreno viene trattato con colonne di ghiaia (vibro-

replacement) di diametro di 800 mm disposte secondo maglia quadrata di lato pari ad 2.15 m, con una lunghezza delle colonne pari a circa 3 m.

Ovviamente gli interventi di consolidamento proposti sono stati valutati in modo da omogeneizzare il comportamento del rilevato e pertanto verrà realizzata una fascia di transizione tra le zone con trattamento e quelle limitrofe senza trattamento.

Tabella 20: Sintesi caratteristiche trattamenti.

Tratto		L tratto	Trattamento	COLONNE DI GHIAIA							
				Φ_{GHIAIA}	Maglia	D Colonne	L Colonne	A _c /A	Φ_{eq}	C _{eq}	E _{eq}
da [m]	a [m]	[m]	CG	[°]	Lato in [m]	[mm]	[m]	[-]	[°]	[kPa]	[MPa]
4500	4800	300	SI	40	Quadrata L=1.9	800	11	14%	36.45	0.00	10.41
5100	5400	300	SI	40	Quadrata L=1.7	800	5.5	17%	31.50	2.43	14.40
5850	6500	650	SI	40	Quadrata L=1.7	800	3	11%	26.70	7.70	19.40

ALLEGATO A – RISULTATI DA VERIFICHE A LIQUEFAZIONE (CON TRATTAMENTO)



VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA.
RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA
- CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM
SAN GIOVANNI TEATINO
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

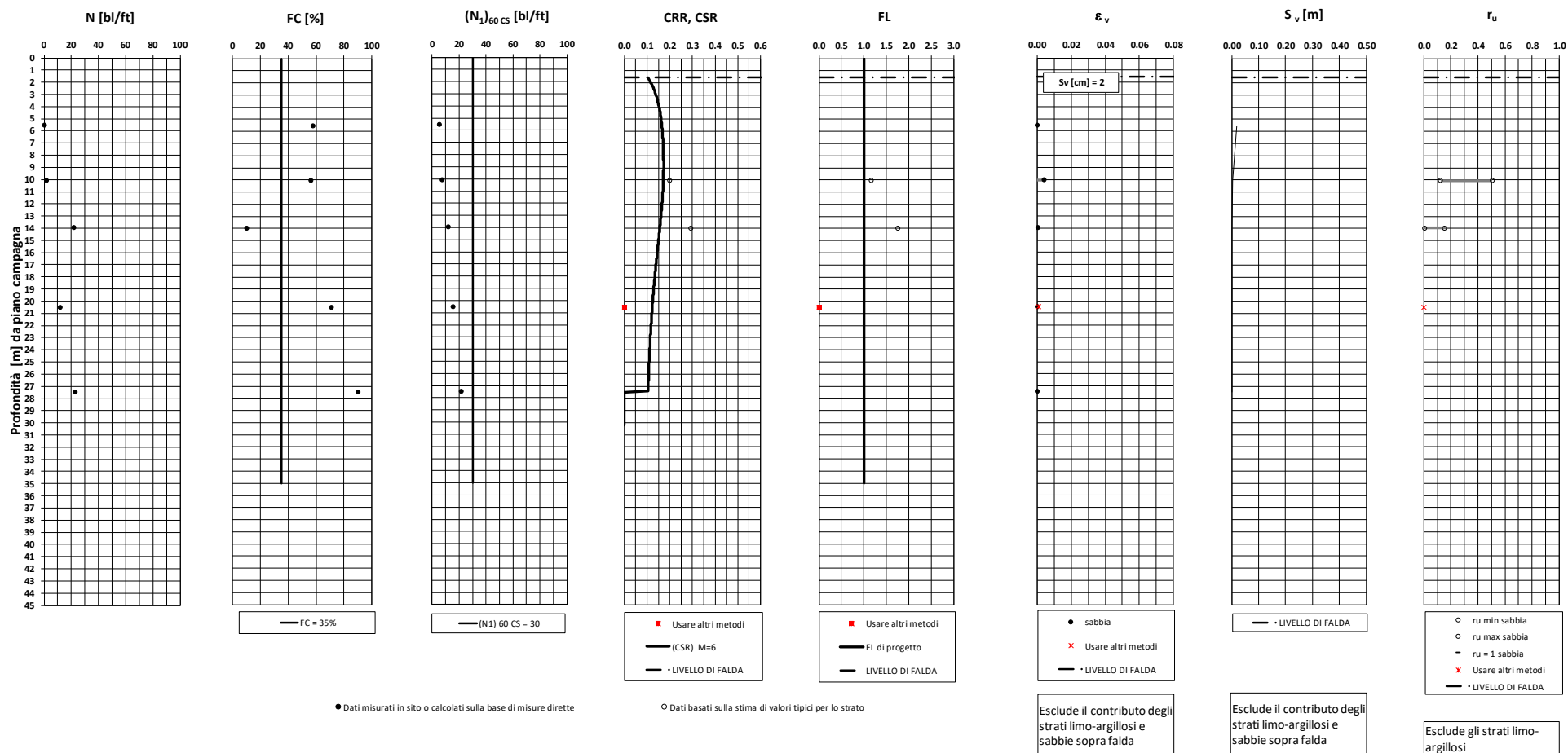
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3

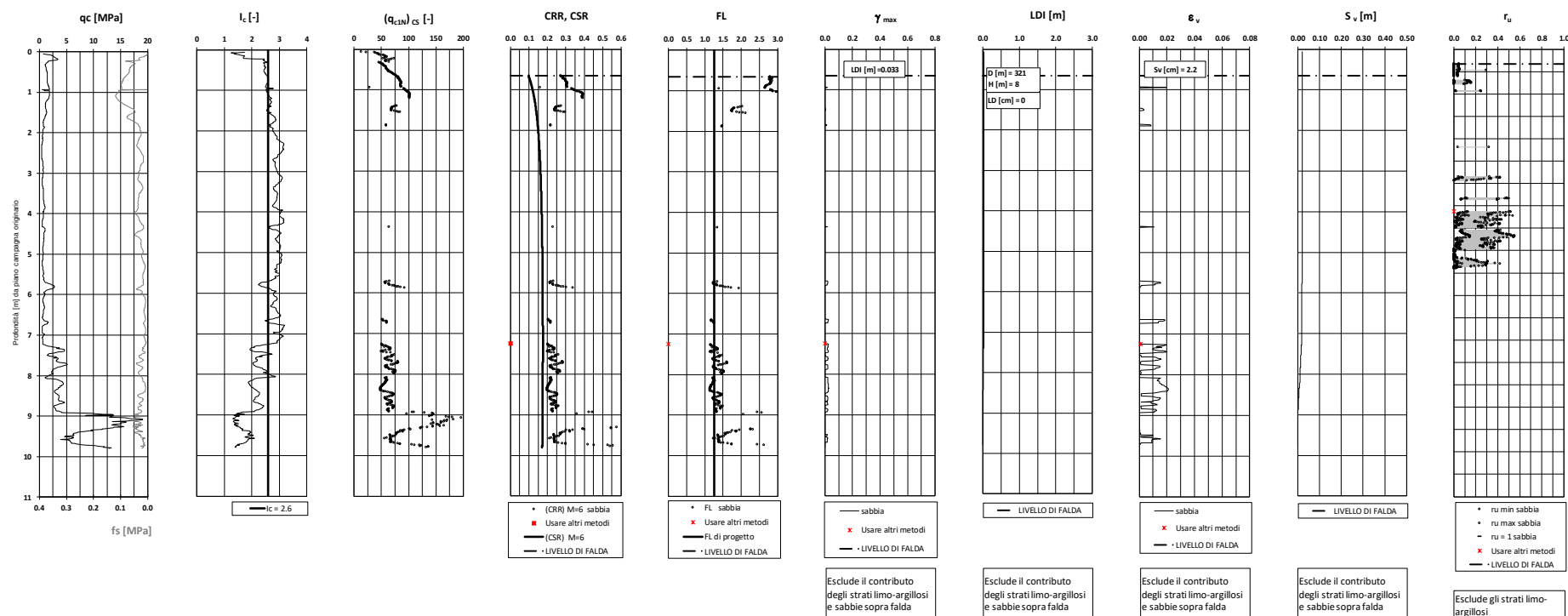
COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IA4S 01 D29 CL GE0006 003 A 100 di 219

Pescara - Velocizzazione della linea Roma-Pescara – Raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova – Chieti (Lotto 1) - Prova S7

$A_{max_calc}/g = 0.16$ $M_{calc} = 6$ Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001 MSF = 2,2

SEZIONE 4+750







VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA.
RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA
- CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM
SAN GIOVANNI TEATINO
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

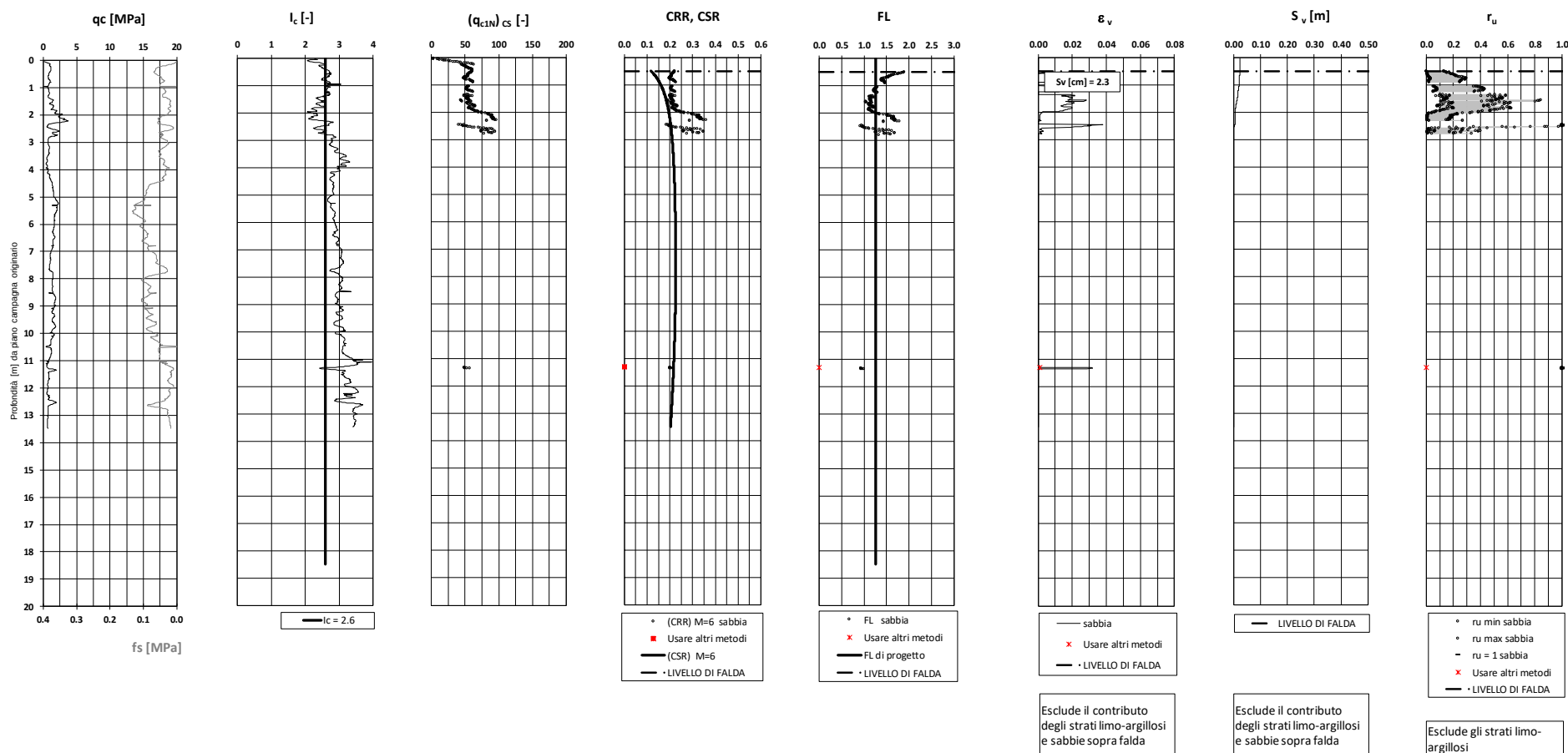
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3

COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO
IA4S 01 D29 CL GE0006 003 A 102 di 219

Chieti - Velocizzazione della linea Roma-Pescara – Raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova – Chieti (Lotto 1) - Prova CPTU-6

$A_{max_calc} / g = 0.18$ $M_{calc} = 6$ Approccio NCEER 1996 - 1998 - 2001 $MSF = 2,2$

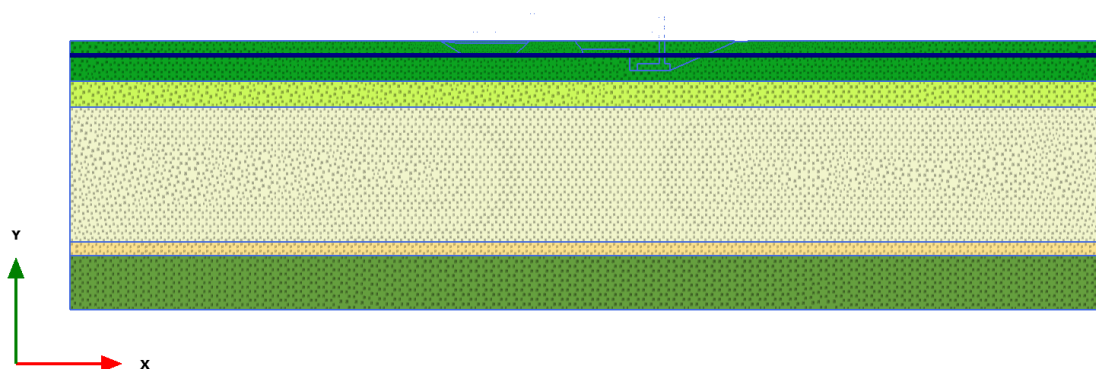
SEZ. 6+150



ALLEGATO B – RISULTATI ANALISI PLAXIS RIL. 6+150 SENZA INTERVENTI

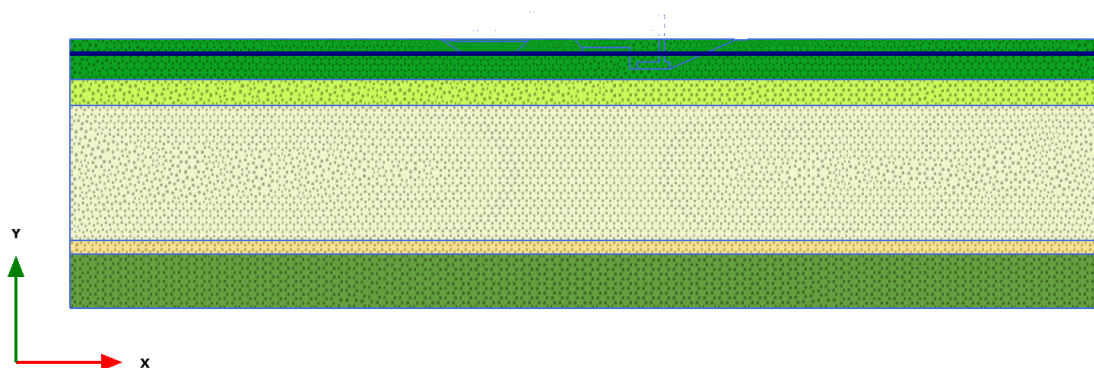
 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 104 di 219

1.1.1.1 Calculation results, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Connectivity plot



Connectivity plot

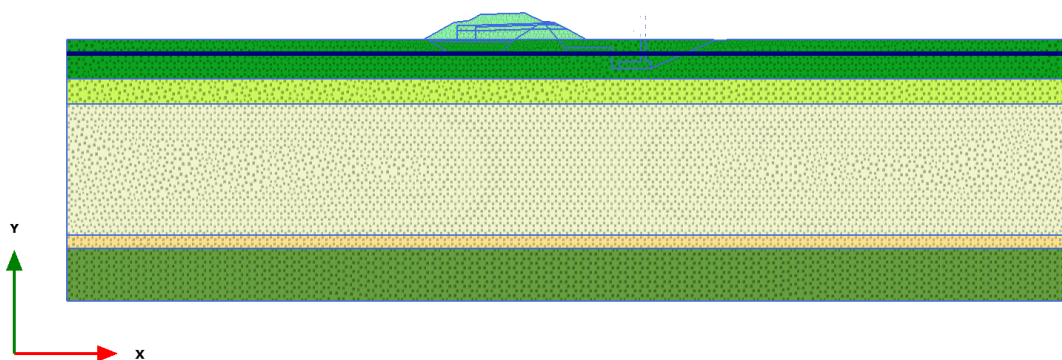
1.1.1.2 Calculation results, Cond. iniziale [Phase_1] (1/3), Connectivity plot



Connectivity plot

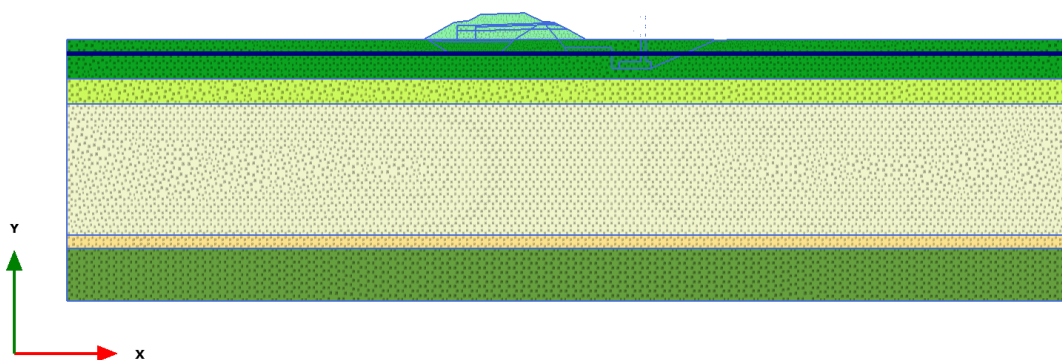
 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 106 di 219

1.1.1.3 Calculation results, costr. ril. esistente [Phase_2] (2/43), Connectivity plot



Connectivity plot

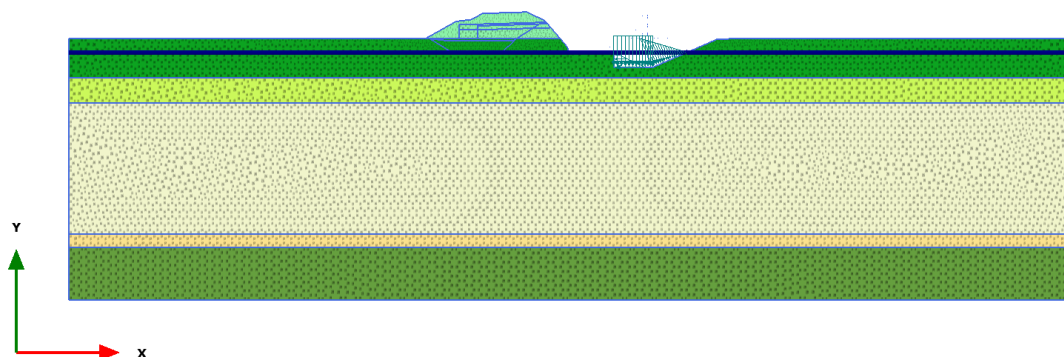
1.1.1.4 Calculation results, consolidaz. ril. esistente [Phase_3] (3/70), Connectivity plot



Connectivity plot

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 108 di 219

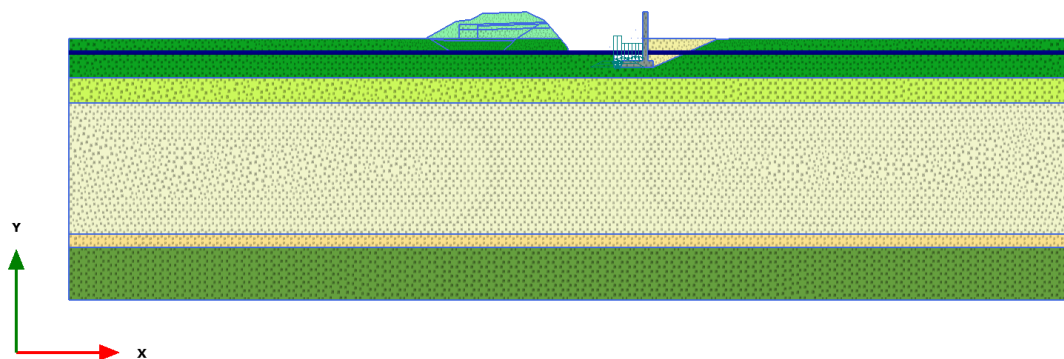
1.1.1.5 Calculation results, esecuz. strato bonifico superiore [Phase_4] (4/77), Connectivity plot



Connectivity plot

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 109 di 219

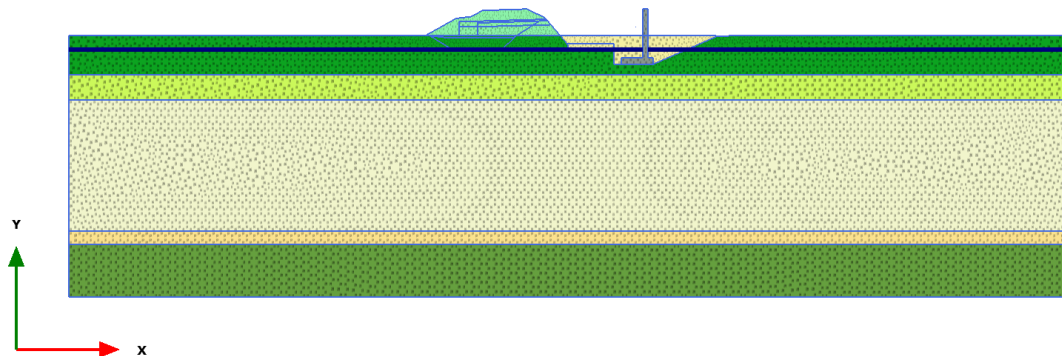
1.1.1.6 Calculation results, pali+ plinto+ muro+ riempimento bon. inf. [Phase_5] (5/94), Connectivity plot



Connectivity plot

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 110 di 219

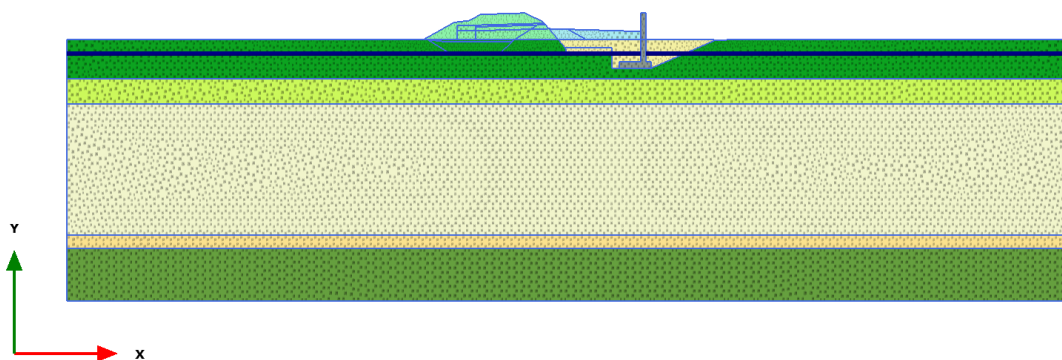
1.1.1.7 Calculation results, scavo bonifico sup.+ piede scarpata [Phase_6] (6/101), Connectivity plot



Connectivity plot

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 111 di 219

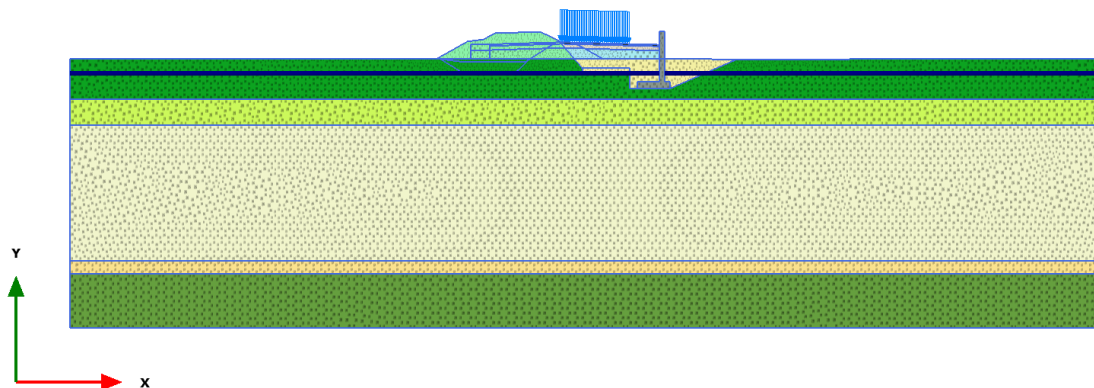
1.1.1.8 Calculation results, costruz. rilevato dx [Phase_7] (7/107), Connectivity plot



Connectivity plot

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 112 di 219

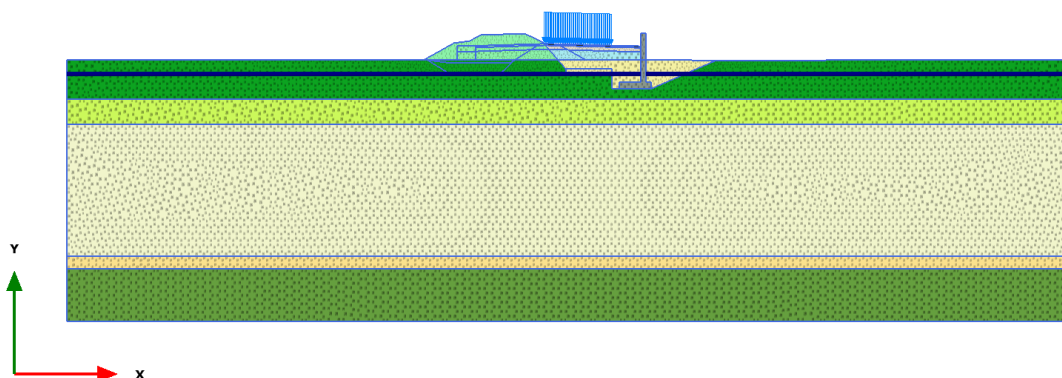
1.1.1.9 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/118), Connectivity plot



Connectivity plot

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 113 di 219

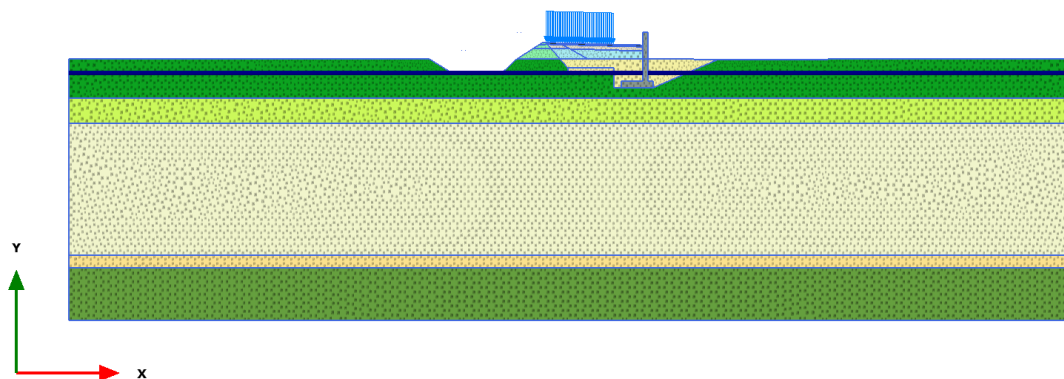
1.1.1.10 Calculation results, esercizio nuova linea [Phase_14] (14/122), Connectivity plot



Connectivity plot

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 114 di 219

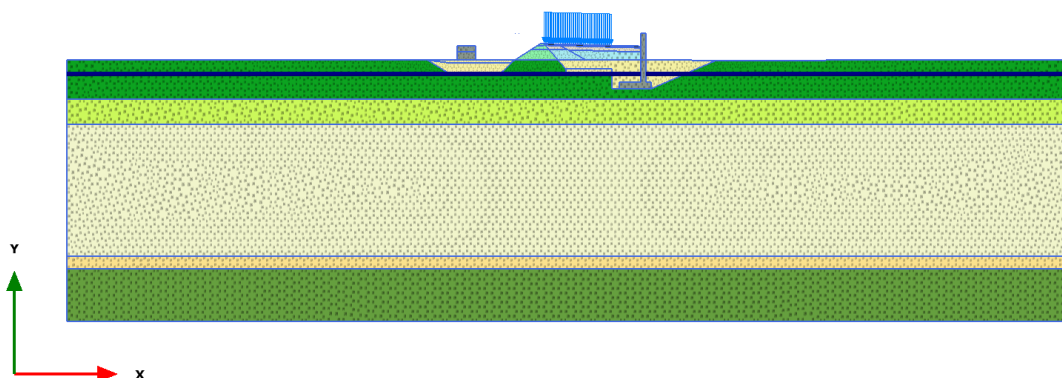
1.1.1.11 Calculation results, scavo rilevato sx [Phase_9] (9/130), Connectivity plot



Connectivity plot

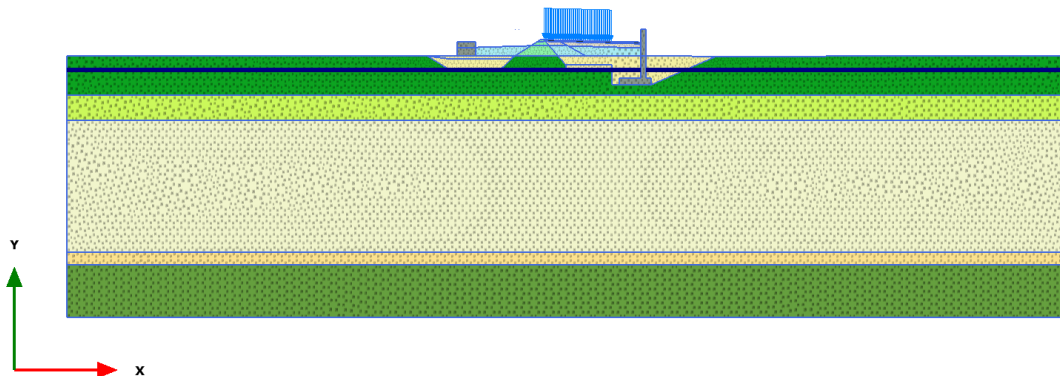
 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 115 di 219

1.1.1.12 Calculation results, riempimento bonifico+ muro [Phase_10] (10/156), Connectivity plot



Connectivity plot

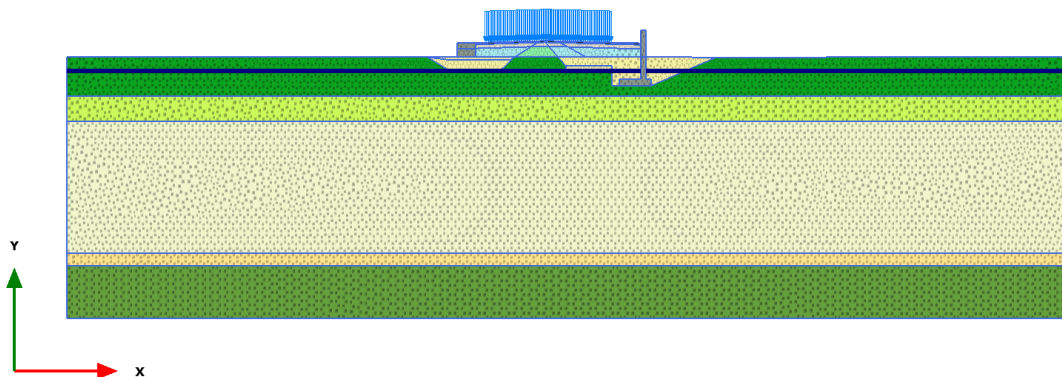
1.1.1.13 Calculation results, costruz. rilevato sx [Phase_11] (11/163), Connectivity plot



Connectivity plot

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 117 di 219

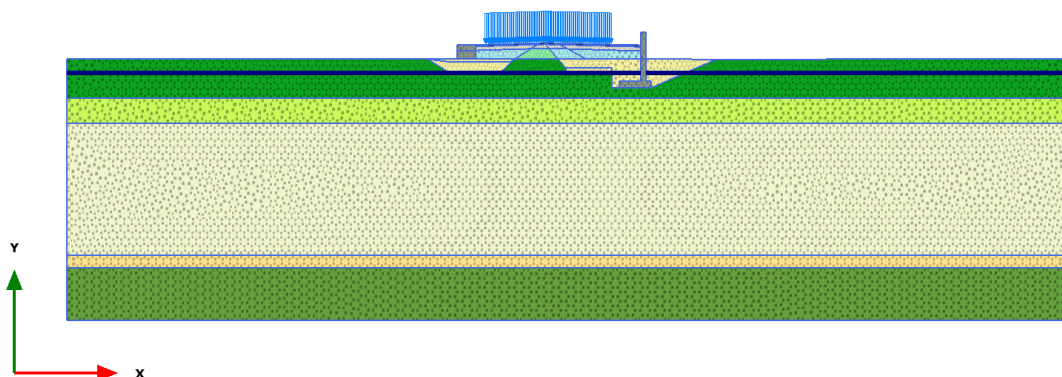
1.1.1.14 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/176), Connectivity plot



Connectivity plot

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 118 di 219

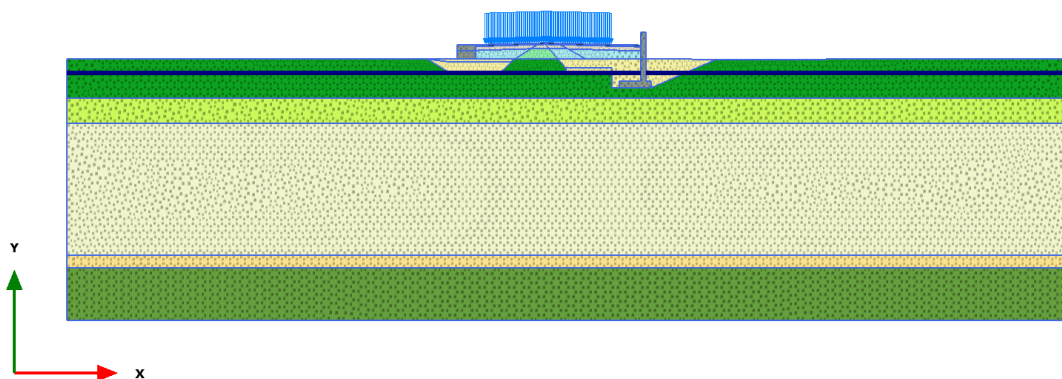
1.1.1.15 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/186), Connectivity plot



Connectivity plot

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 119 di 219

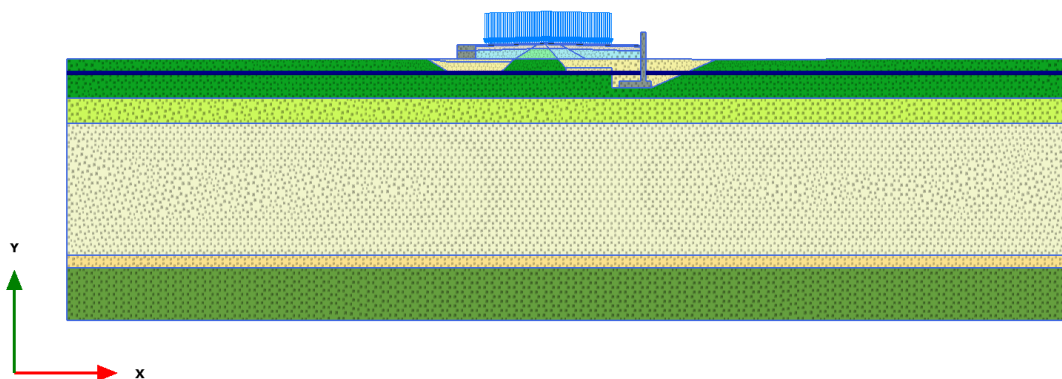
1.1.1.16 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (2 anni) [Phase_15] (15/196), Connectivity plot



Connectivity plot

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 120 di 219

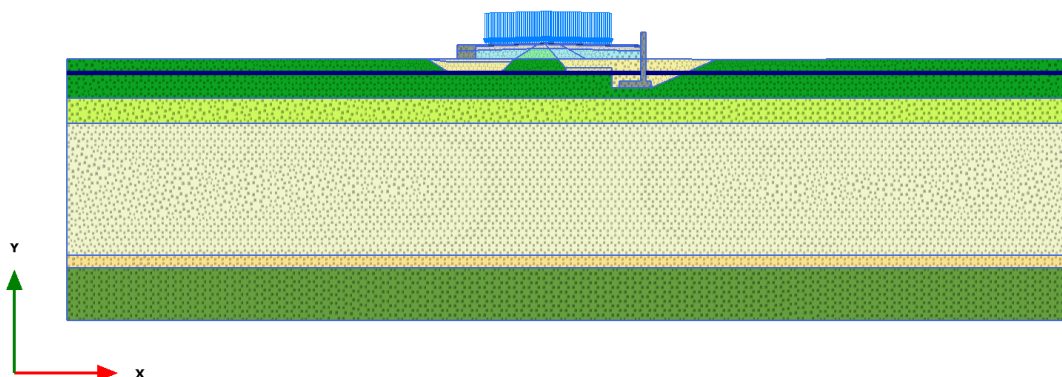
1.1.1.17 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (10 anni) [Phase_16] (16/208), Connectivity plot



Connectivity plot

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 121 di 219

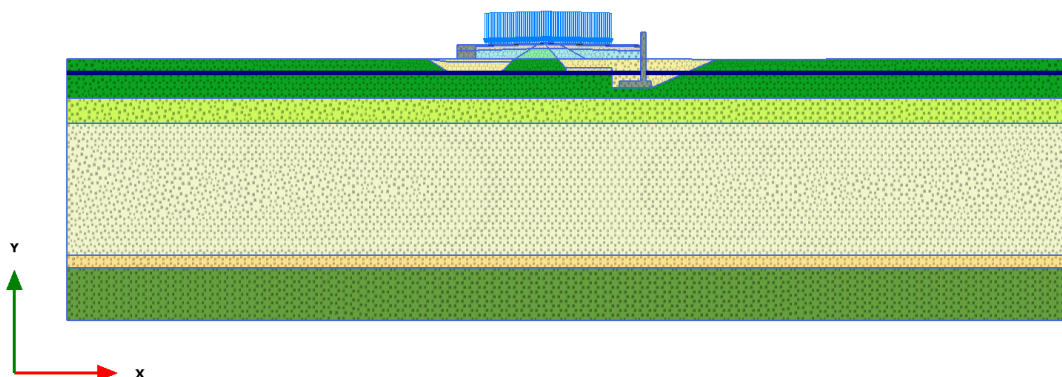
1.1.1.18 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (30 anni) [Phase_17] (17/220), Connectivity plot



Connectivity plot

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 122 di 219

1.1.1.19 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/232), Connectivity plot



Connectivity plot

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 123 di 219

1.1.2.1.1 Materials - Soil and interfaces - Soft soil

Identification		L,A2	A,L2	L,A1	M	A,L1 NEW
Identification number		1	2	3	5	11
Drainage type		Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)
Colour						
Comments						
γ_{unsat}	kN/m ³	19.00	17.50	18.50	21.00	18.00
γ_{sat}	kN/m ³	19.00	17.50	18.50	21.00	18.00
Dilatancy cut-off		No	No	No	No	No
e_{init}		0.8500	1.000	1.000	0.5500	0.8000
e_{min}		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
e_{max}		999.0	999.0	999.0	999.0	999.0
Rayleigh α		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
λ^* (lambda*)		0.06580	0.06087	0.08043	0.04348	0.06522
κ^* (kappa*)		0.01457	0.01478	0.03478	0.01459	8.696E-3
Use alternatives		No	No	No	No	No
C_c		0.2800	0.2800	0.3700	0.1550	0.2700
C_s		0.03100	0.03400	0.08000	0.02600	0.01800

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 124 di 219

Identification		L,A2	A,L2	L,A1	M	A,L1 NEW
e _{init}		0.8500	1.000	1.000	0.5500	0.8000
C _{ref}	kN/m ²	0.000	5.000	12.00	20.00	10.00
φ (phi)	°	27.00	20.50	23.50	26.00	22.00
ψ (psi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Set to default values		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
v _{ur}		0.1500	0.1500	0.1500	0.1500	0.1500
K ₀ ^{nc}		0.5460	0.6498	0.6013	0.5616	0.6254
M		1.440	1.146	1.165	1.333	1.264
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0.9890	0.9890	0.9890	0.9890	0.9890
v _u		0.4950	0.4950	0.4950	0.4950	0.4950
K _{w,ref} / n	kN/m ²	617.7E3	608.8E3	258.7E3	617.0E3	1.035E6
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Strength		Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
R _{inter}		0.6600	0.6600	0.6600	0.6600	0.6600
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
δ _{inter}		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 125 di 219

Identification		L,A2	A,L2	L,A1	M	A,L1 NEW
Drainage conductivity, dk	m ³ /day/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K ₀ determination		Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
K _{0,x} = K _{0,z}		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
K _{0,x}		0.8786	1.170	0.6437	0.5809	1.389
K _{0,z}		0.8786	1.170	0.6437	0.5809	1.389
OCR		1.900	2.100	1.100	1.050	2.700
POP	kN/m ²	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Data set		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Type		Fine	Fine	Fine	Fine	Coarse
< 2 µm	%	46.00	46.00	46.00	46.00	10.00
2 µm - 50 µm	%	26.00	26.00	26.00	26.00	13.00
50 µm - 2 mm	%	28.00	28.00	28.00	28.00	77.00
Use defaults		None	None	None	None	None
k _x	m/day	0.08640	0.08640E-3	8.640E-3	0.08640E-3	0.08640E-3
k _y	m/day	0.08640	8.640E-6	8.640E-3	0.08640E-3	8.640E-6
-ψ _{unsat}	m	10.00E3	10.00E3	10.00E3	10.00E3	10.00E3
e _{init}		0.8500	1.000	1.000	0.5500	0.8000
S _s	1/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C _k		1000E12	1000E12	1000E12	1000E12	1000E12

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 126 di 219

Identification		G,S	supercompattato	rilevato	sub-ballast	BONIFICO
Identification number		4	6	7	8	12
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Undrained (A)
Colour						
Comments						
Y _{unsat}	kN/m ³	19.00	20.00	19.00	20.00	19.00
Y _{sat}	kN/m ³	19.00	20.00	19.00	20.00	19.00
Dilatancy cut-off		No	No	No	No	No
e _{init}		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
e _{min}		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
e _{max}		999.0	999.0	999.0	999.0	999.0
Rayleigh α		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
E	kN/m ²	50.00E3	60.00E3	30.00E3	400.0E3	15.00E3
v (nu)		0.2000	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000
G	kN/m ²	20.83E3	23.08E3	11.54E3	153.8E3	5769
E _{oed}	kN/m ²	55.56E3	80.77E3	40.38E3	538.5E3	20.19E3

1.1.2.1.2.1 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb (1/2)

Identification		G,S	supercompattato	rilevato	sub-ballast	BONIFICO
C _{ref}	kN/m ²	0.000	0.000	0.000	600.0	0.000
φ (phi)	°	36.00	42.00	38.00	38.00	36.00
ψ (psi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
V _s	m/s	103.7	106.4	77.18	274.7	54.58
V _p	m/s	169.4	199.0	144.4	513.9	102.1
Set to default values		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
E _{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
γ _{ref}	m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C _{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
γ _{ref}	m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0.9866	0.9783	0.9783	0.9783	0.9783
v _u		0.4950	0.4950	0.4950	0.4950	0.4950
K _{w,ref} / n	kN/m ²	2.049E6	2.250E6	1.125E6	15.00E6	562.5E3
C _{v,ref}	m ² /day	0.000	0.000	0.000	0.000	1745
Strength		Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
R _{inter}		0.6600	0.1000	0.6600	0.1000	0.6600

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 128 di 219

Identification		G,S	supercompattato	rilevato	sub-ballast	BONIFICO
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
δ_{inter}		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /day/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K ₀ determination		Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
K _{0,x} = K _{0,z}		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
K _{0,x}		0.4122	0.3309	0.3843	0.3843	0.4122
K _{0,z}		0.4122	0.3309	0.3843	0.3843	0.4122
OCR		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
POP	kN/m ²	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Data set		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Type		Coarse	Medium fine	Medium	Coarse	Coarse
< 2 μ m	%	10.00	19.00	19.00	10.00	10.00
2 μ m - 50 μ m	%	13.00	74.00	41.00	13.00	13.00
50 μ m - 2 mm	%	77.00	7.000	40.00	77.00	77.00
Use defaults		None	None	From data set	None	None
k _x	m/day	8.640	0.08640E-3	0.1206	0.08640E-3	0.8640
k _y	m/day	8.640	0.08640E-3	0.1206	0.08640E-3	0.8640
- ψ_{unsat}	m	10.00E3	10.00E3	10.00E3	10.00E3	10.00E3

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 129 di 219

Identification	G,S	supercompattato	rilevato	sub-ballast	BONIFICO
e _{init}	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
S _s 1/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C _k	1000E12	1000E12	1000E12	1000E12	1000E12

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 130 di 219

Identification	Riporto antropico esistente
Identification number	14
Drainage type	Drained
Colour	
Comments	
Y _{unsat}	kN/m ³ 19.00
Y _{sat}	kN/m ³ 19.00
Dilatancy cut-off	No
e _{init}	0.5000
e _{min}	0.000
e _{max}	999.0
Rayleigh α	0.000
Rayleigh β	0.000
E	kN/m ² 15.00E3
ν (nu)	0.3000
G	kN/m ² 5769
E _{oed}	kN/m ² 20.19E3

1.1.2.1.2.2 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb (2/2)

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 131 di 219

Identification	Riporto antropico esistente
C _{ref}	kN/m ² 0.000
φ (phi)	° 34.00
ψ (psi)	° 0.000
V _s	m/s 54.58
V _p	m/s 102.1
Set to default values	Yes
E _{inc}	kN/m ² /m 0.000
γ _{ref}	m 0.000
C _{inc}	kN/m ² /m 0.000
γ _{ref}	m 0.000
Tension cut-off	Yes
Tensile strength	kN/m ² 0.000
Undrained behaviour	Standard
Skempton-B	0.9783
v _u	0.4950
K _{w,ref} / n	kN/m ² 562.5E3
Strength	Manual
R _{inter}	0.6600
Consider gap closure	Yes

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 132 di 219

Identification		Riporto antropico esistente
δ_{inter}		0.000
Cross permeability		Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /day/m	0.000
K ₀ determination		Automatic
K _{0,x} = K _{0,z}		Yes
K _{0,x}		0.4408
K _{0,z}		0.4408
OCR		1.000
POP	kN/m ²	0.000
Data set		Standard
Type		Coarse
< 2 μm	%	10.00
2 μm - 50 μm	%	13.00
50 μm - 2 mm	%	77.00
Use defaults		None
k _x	m/day	0.8640
k _y	m/day	0.8640
-ψ _{unsat}	m	10.00E3
e _{init}		0.5000

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 133 di 219

Identification	Riporto antropico esistente
S _s 1/m	0.000
C _k	1000E12

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 134 di 219

1.1.2.1.3 Materials - Soil and interfaces - Linear elastic

Identification		cls	Rilevato esistente	pali
Identification number		9	10	13
Drainage type		Non-porous	Drained	Non-porous
Colour				
Comments				
Y _{unsat}	kN/m ³	25.00	19.00	25.00
Y _{sat}	kN/m ³	25.00	19.00	25.00
Dilatancy cut-off		No	No	No
e _{init}		0.000	0.5000	0.000
e _{min}		0.000	0.000	0.000
e _{max}		999.0	999.0	999.0
Rayleigh α		0.000	0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000	0.000
E	kN/m ²	25.00E6	30.00E3	4.909E6
ν (nu)		0.1000	0.3000	0.1000
G	kN/m ²	11.36E6	11.54E3	2.231E6
E _{oed}	kN/m ²	25.57E6	40.38E3	5.020E6
V _s	m/s	2112	77.18	935.7

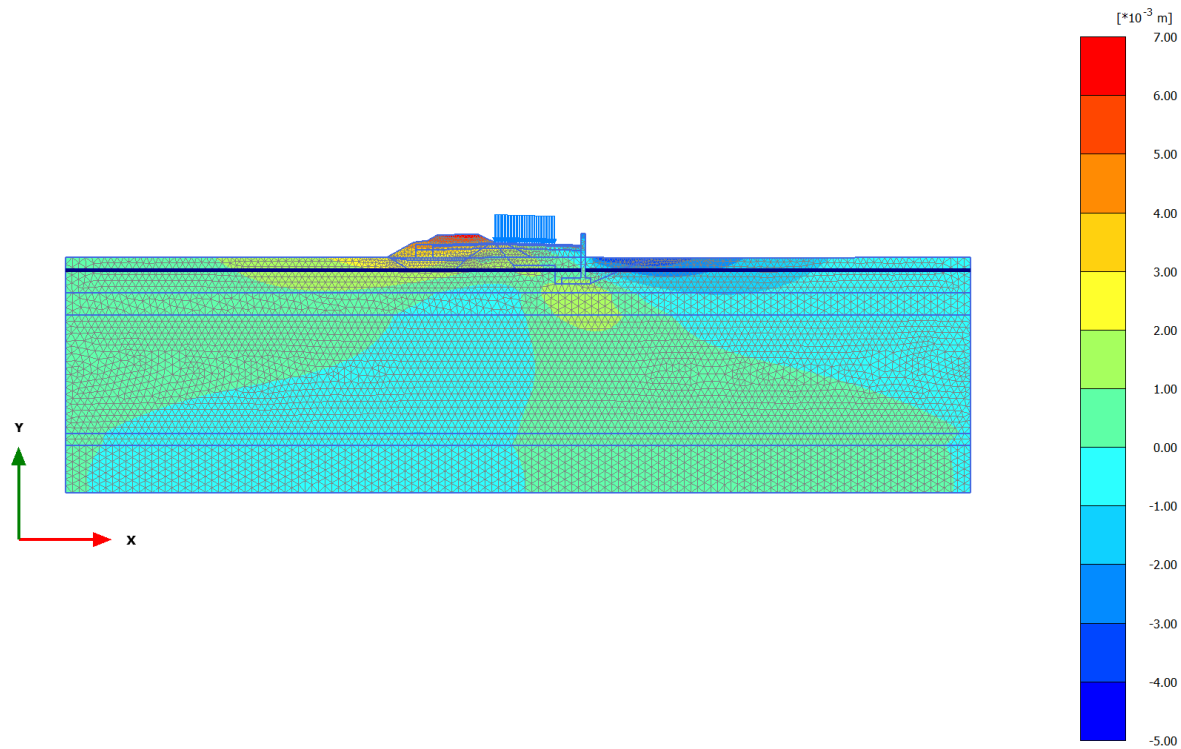
	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 135 di 219

Identification		cls	Rilevato esistente	pali
V _p	m/s	3167	144.4	1404
Set to default values		Yes	Yes	Yes
E _{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000	0.000
y _{ref}	m	0.000	0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0.9908	0.9783	0.9908
v _u		0.4950	0.4950	0.4950
K _{w,ref} / n	kN/m ²	1.122E9	1.125E6	220.3E6
Strength		Manual	Manual	Manual
R _{inter}		0.1000	0.6600	0.6600
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes
δ _{inter}		0.000	0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /day/m	0.000	0.000	0.000
K ₀ determination		Automatic	Automatic	Automatic
K _{0,x} = K _{0,z}		Yes	Yes	Yes
K _{0,x}		0.5000	0.5000	0.5000
K _{0,z}		0.5000	0.5000	0.5000
OCR		1.000	1.000	1.000

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 136 di 219

Identification		cls	Rilevato esistente	pali
POP	kN/m ²	0.000	0.000	0.000
Data set		Standard	Standard	Standard
Type		Coarse	Medium	Coarse
< 2 μm	%	10.00	19.00	10.00
2 μm - 50 μm	%	13.00	41.00	13.00
50 μm - 2 mm	%	77.00	40.00	77.00
Use defaults		None	From data set	None
k _x	m/day	0.000	0.1206	0.000
k _y	m/day	0.000	0.1206	0.000
-ψ _{unsat}	m	10.00E3	10.00E3	10.00E3
e _{init}		0.000	0.5000	0.000
S _s	1/m	0.000	0.000	0.000
C _k		1000E12	1000E12	1000E12

2.1.1.1.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/118), Total displacements u_x

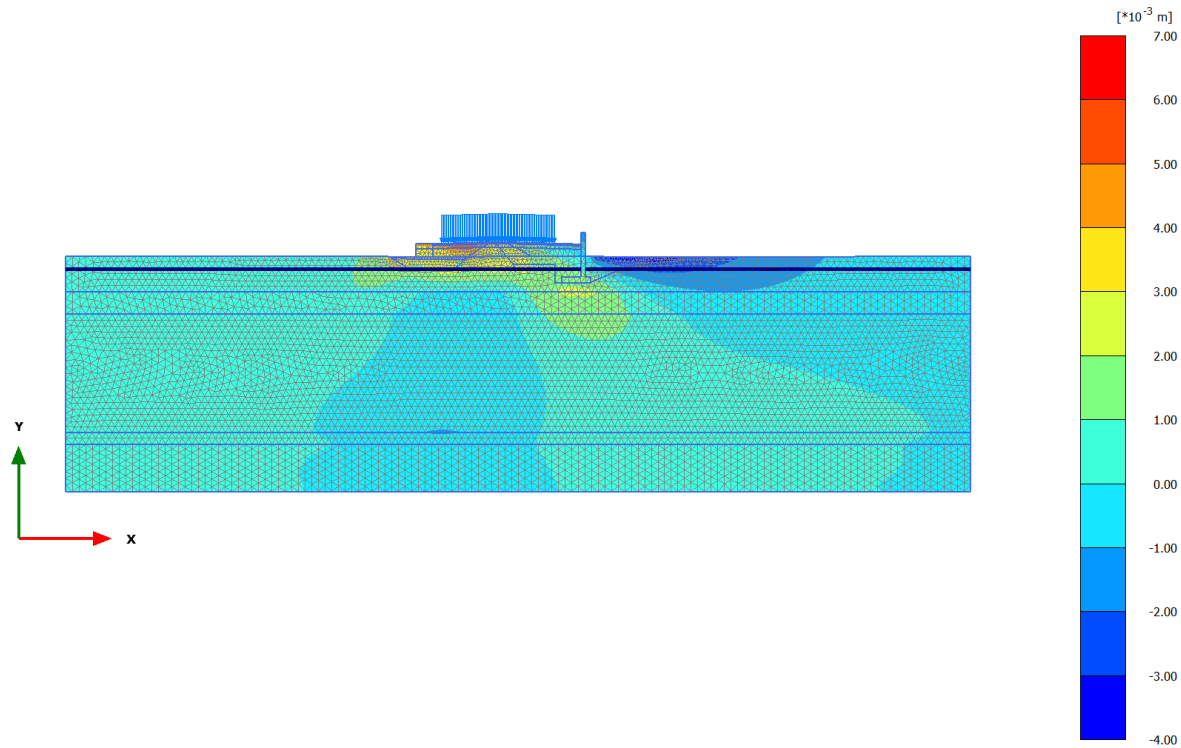


Total displacements u_x (scaled up 200 times) (Time 19.34*10³ day)

Maximum value = 6.987*10⁻³ m (Element 16 at Node 9784)

Minimum value = -4.077*10⁻³ m (Element 1125 at Node 7040)

2.1.1.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/176), Total displacements u_x



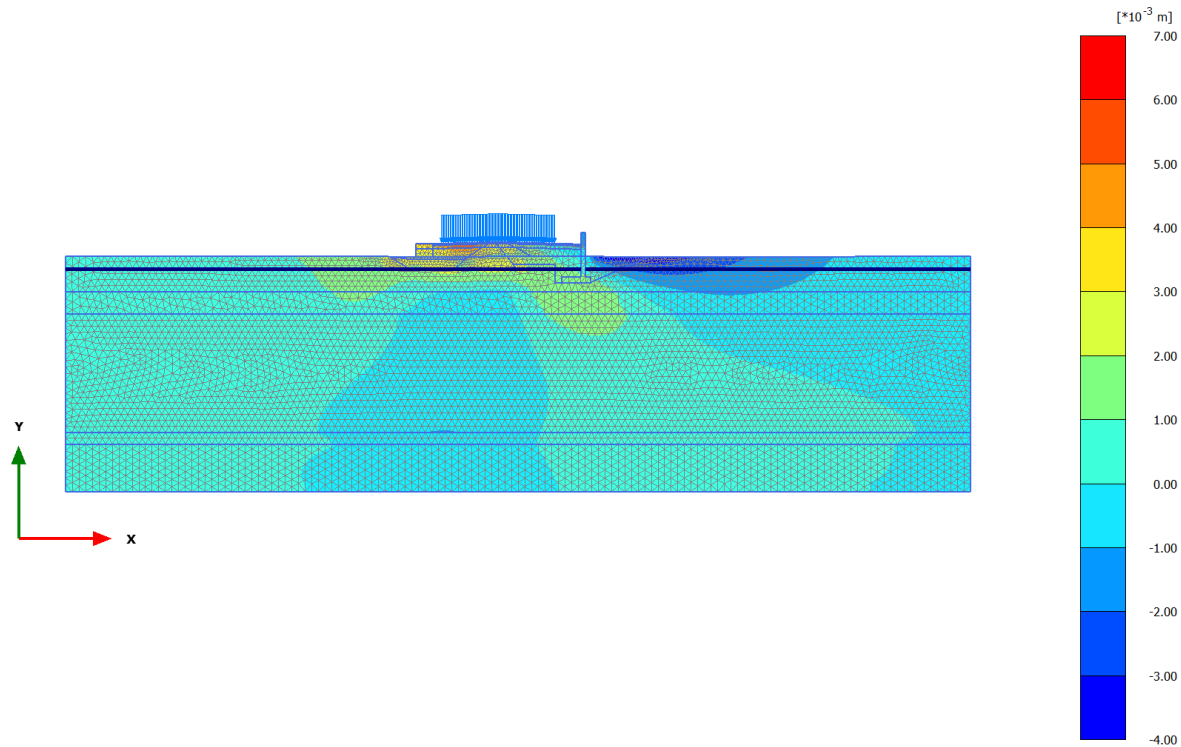
Total displacements u_x (scaled up 200 times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $6.432 \cdot 10^{-3}$ m (Element 237 at Node 10600)

Minimum value = $-3.687 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1125 at Node 7040)

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 139 di 219

2.1.1.1.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/186), Total displacements u_x



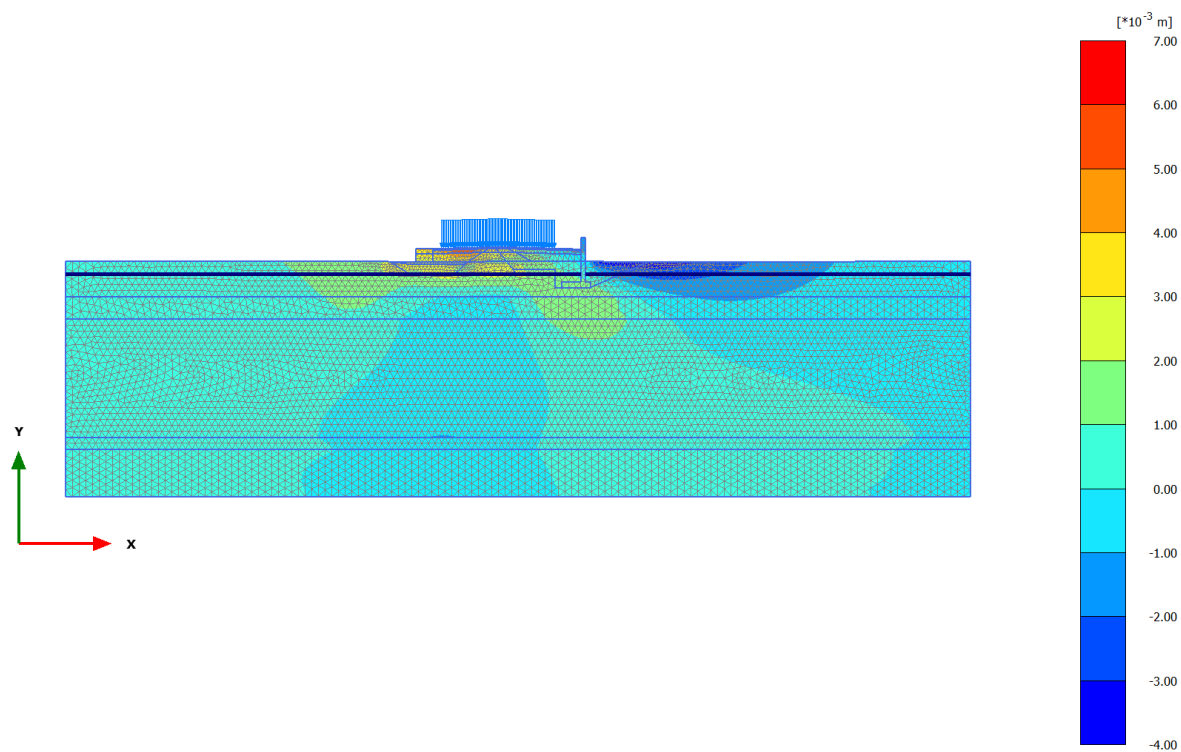
Total displacements u_x (scaled up 200 times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $6.397 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ (Element 237 at Node 10600)

Minimum value = $-3.871 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ (Element 1125 at Node 7040)

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 140 di 219

2.1.1.1.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/232), Total displacements u_x

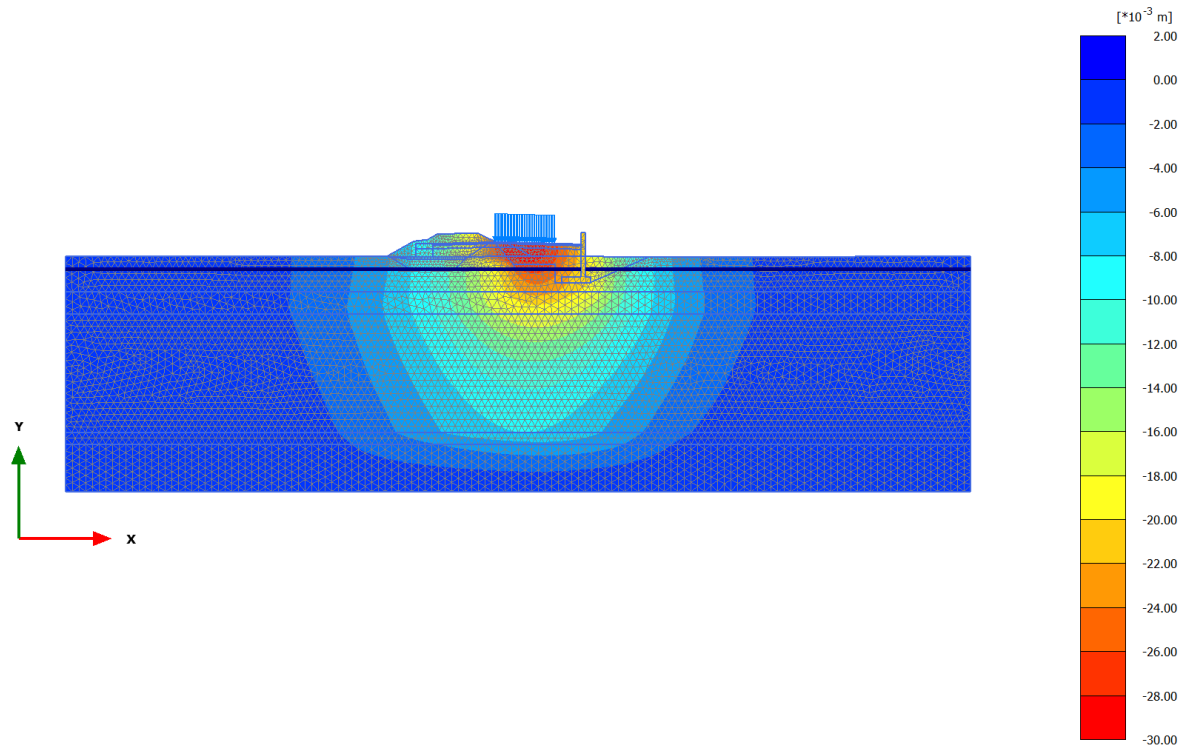


Total displacements u_x (scaled up 200 times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $6.382 \cdot 10^{-3}$ m (Element 237 at Node 10600)

Minimum value = $-3.900 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1125 at Node 7040)

2.1.1.2.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/118), Total displacements u_y



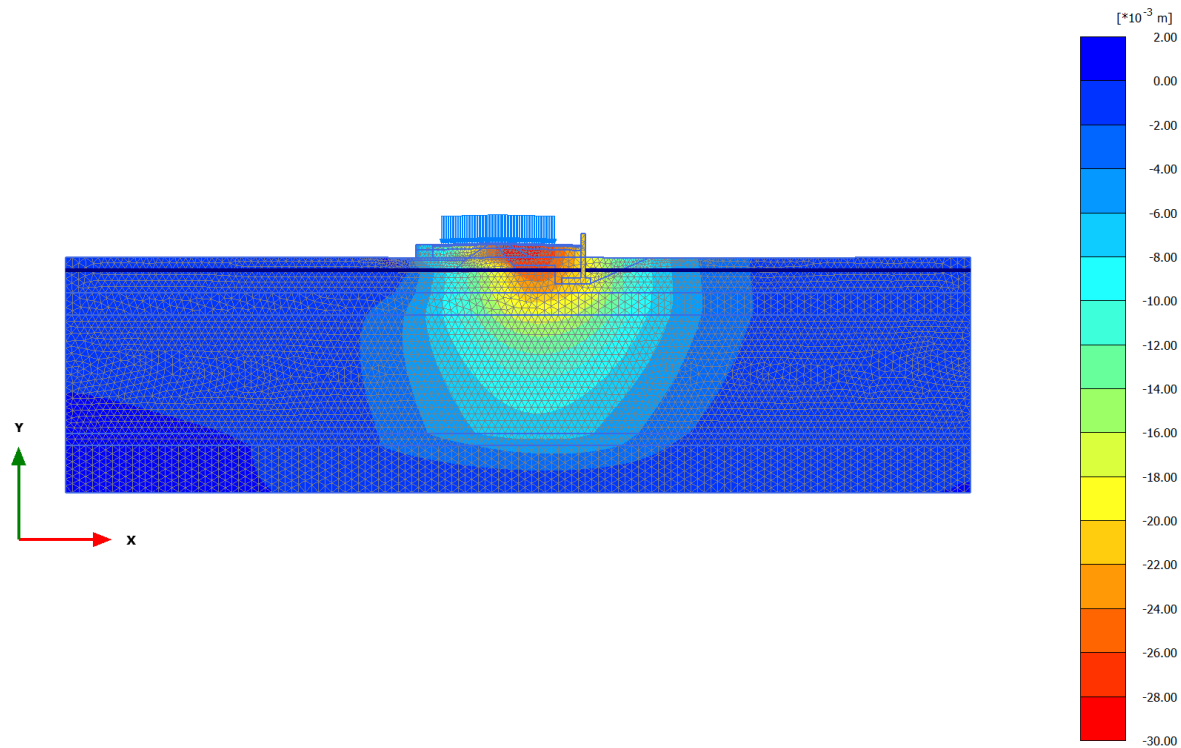
Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.000 m (Element 9446 at Node 426)

Minimum value = -0.02940 m (Element 480 at Node 9162)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 142 di 219

2.1.1.2.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/176), Total displacements u_y



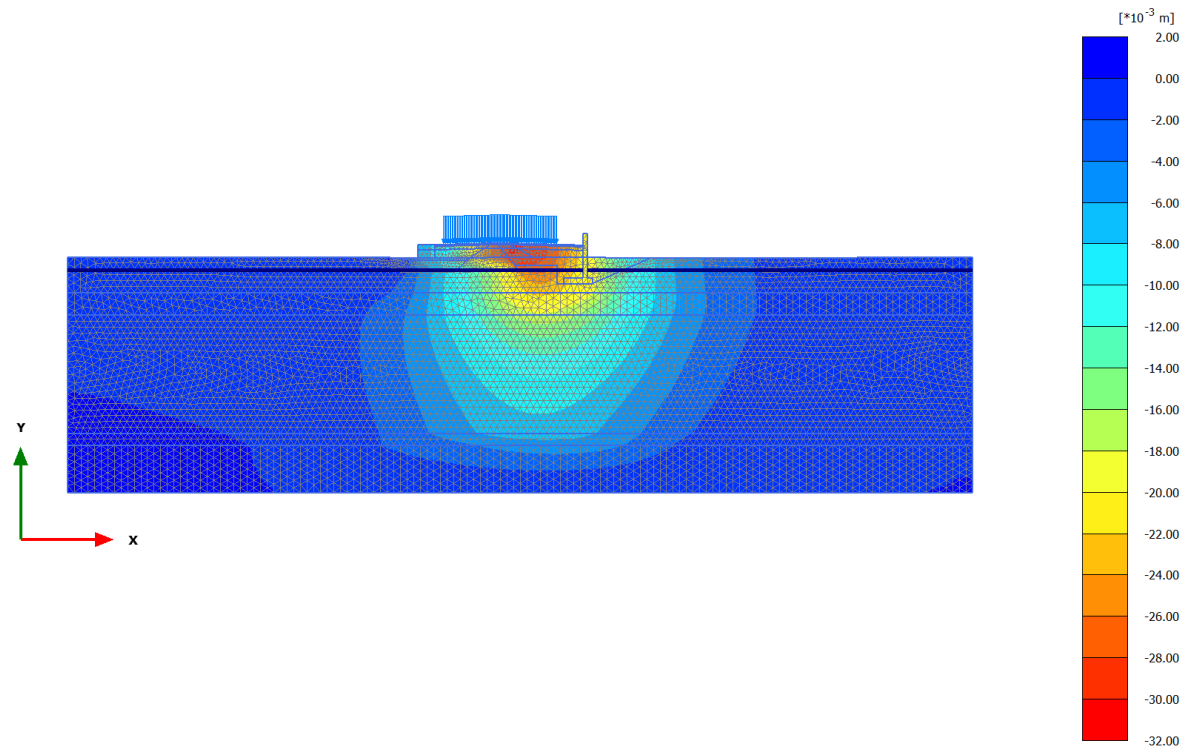
Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time $19.71*10^3$ day)

Maximum value = $1.034*10^{-3}$ m (Element 979 at Node 14110)

Minimum value = -0.02918 m (Element 359 at Node 9694)

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 143 di 219

2.1.1.2.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/186), Total displacements u_y



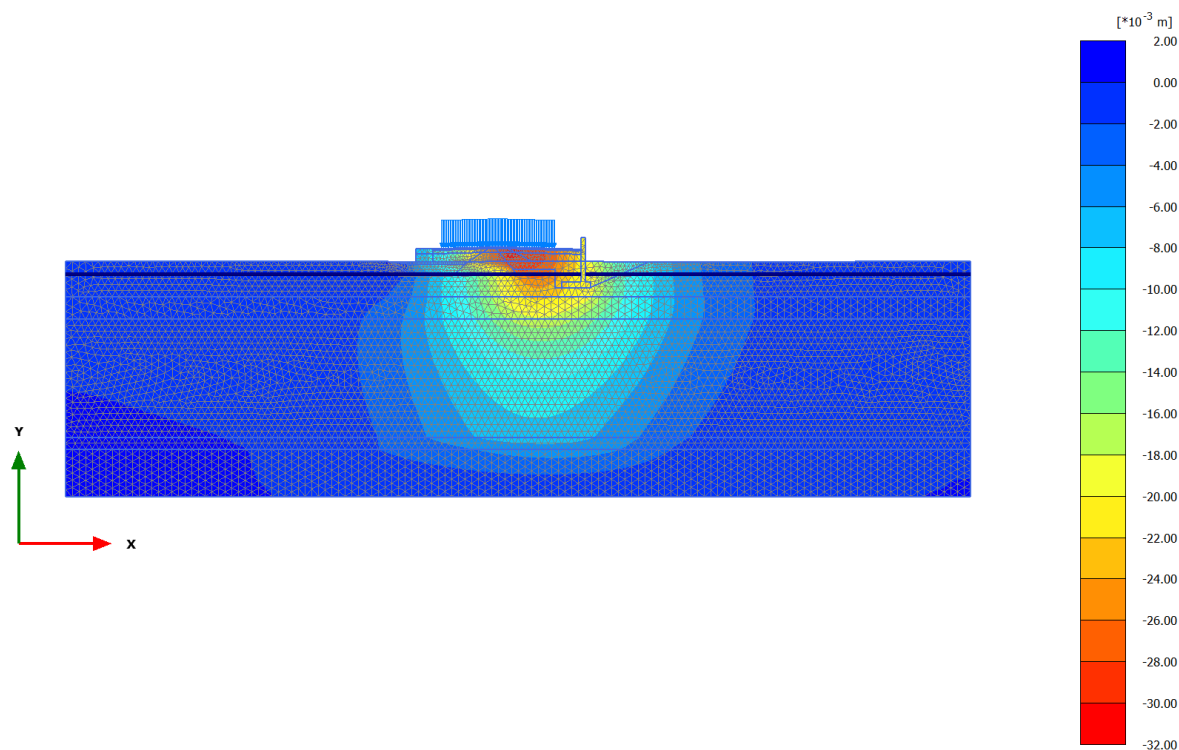
Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $0.6216 \cdot 10^{-3}$ m (Element 981 at Node 14112)

Minimum value = -0.03021 m (Element 360 at Node 9700)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 144 di 219

2.1.1.2.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/232), Total displacements u_y



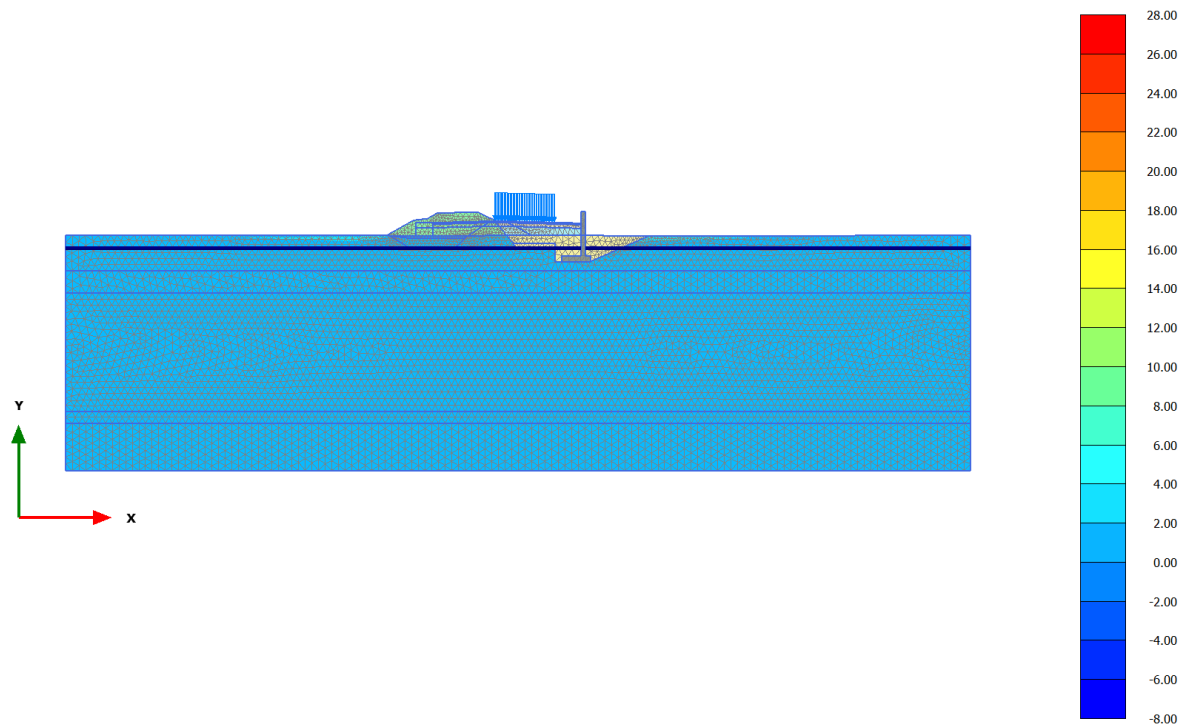
Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $0.5484 \cdot 10^{-3}$ m (Element 981 at Node 14112)

Minimum value = -0.03027 m (Element 360 at Node 9700)

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 145 di 219

2.2.1.1.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/118), Isotropic overconsolidation ratio



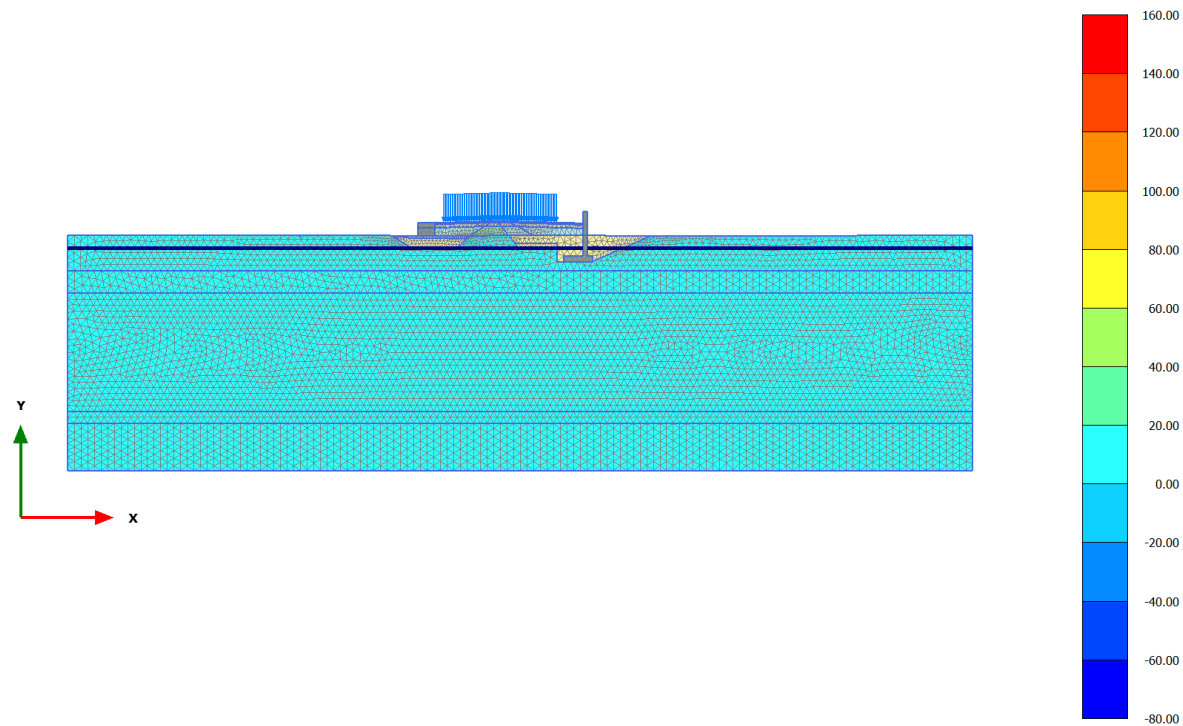
Isotropic overconsolidation ratio (scaled up 0.0500 times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 26.77 (Element 2964 at Node 6057)

Minimum value = -6.745 (Element 2878 at Node 14652)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 146 di 219

2.2.1.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/176), Isotropic overconsolidation ratio



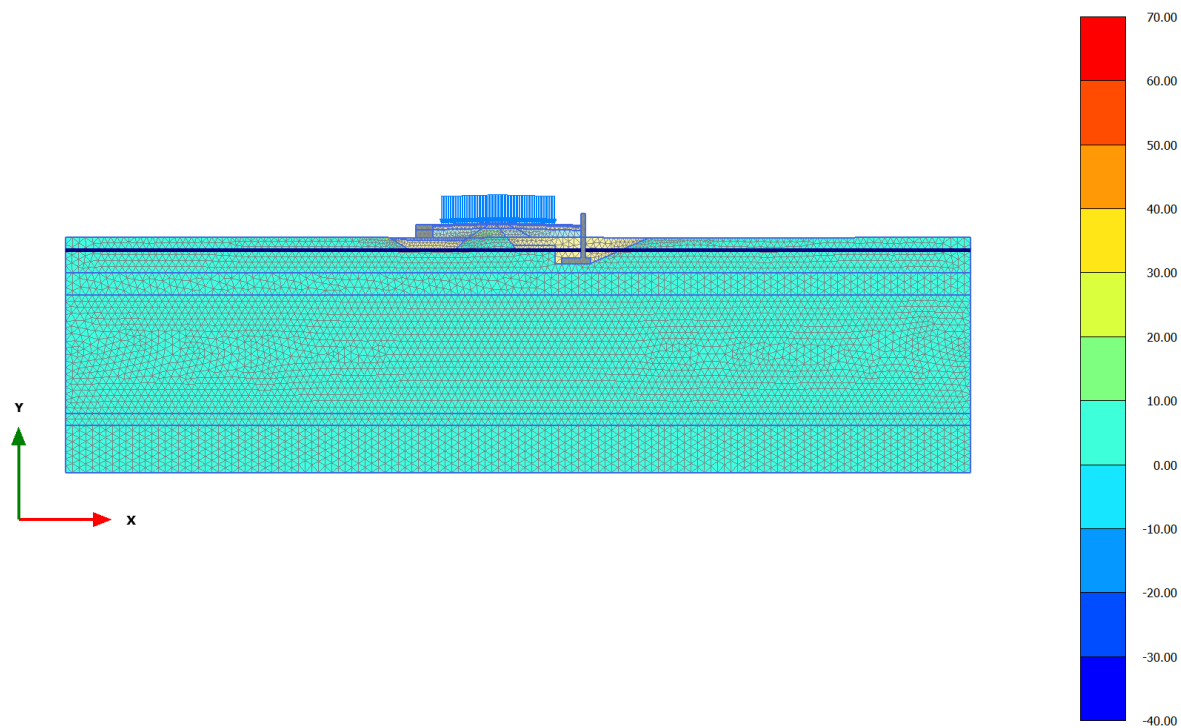
Isotropic overconsolidation ratio (scaled up 0.0100 times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 156.7 (Element 2928 at Node 14431)

Minimum value = -67.34 (Element 2600 at Node 16508)

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 147 di 219

2.2.1.1.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/186), Isotropic overconsolidation ratio



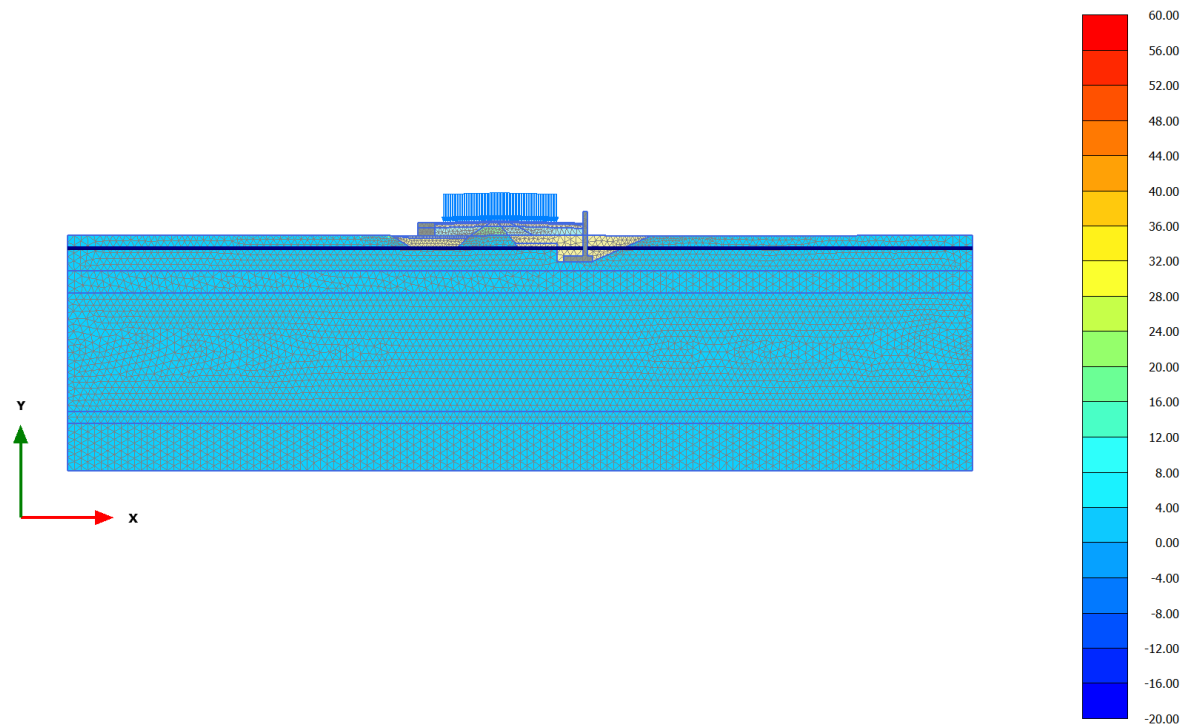
Isotropic overconsolidation ratio (scaled up 0.0200 times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 67.36 (Element 2928 at Node 14431)

Minimum value = -36.49 (Element 2903 at Node 14466)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA’ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 148 di 219

2.2.1.1.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/232), Isotropic overconsolidation ratio



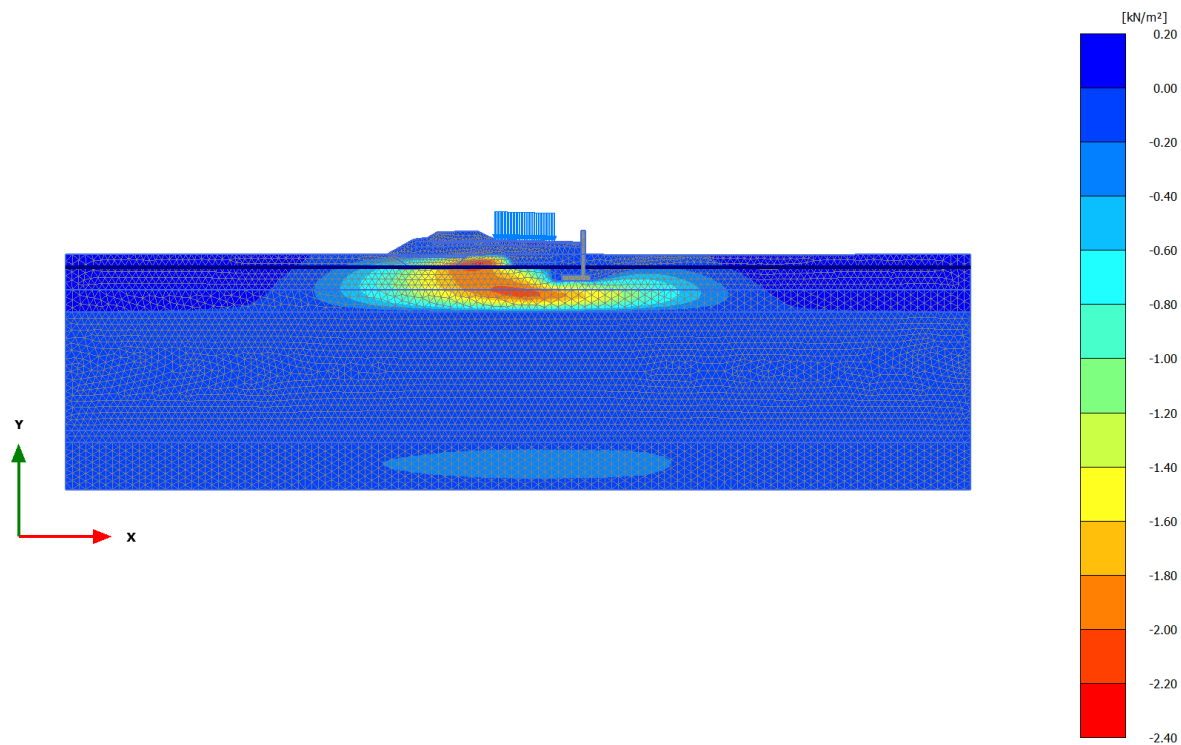
Isotropic overconsolidation ratio (scaled up 0.0200 times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 58.59 (Element 2928 at Node 14431)

Minimum value = -17.99 (Element 2903 at Node 14466)

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 149 di 219

2.2.2.1.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/118), Excess pore pressures p_{excess}

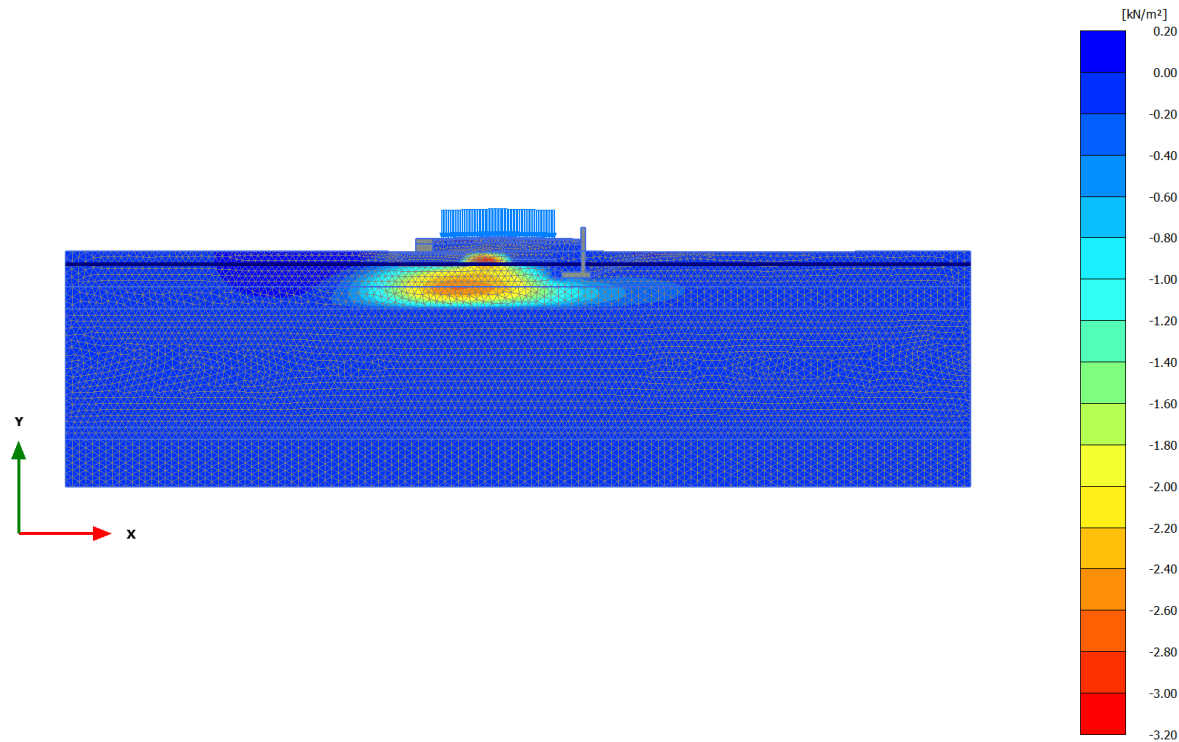


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 0.500 times) (Pressure = negative) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.1581 kN/m² (Element 1578 at Node 2323)

Minimum value = -2.273 kN/m² (Element 2706 at Node 11969)

2.2.2.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/176), Excess pore pressures p_{excess}



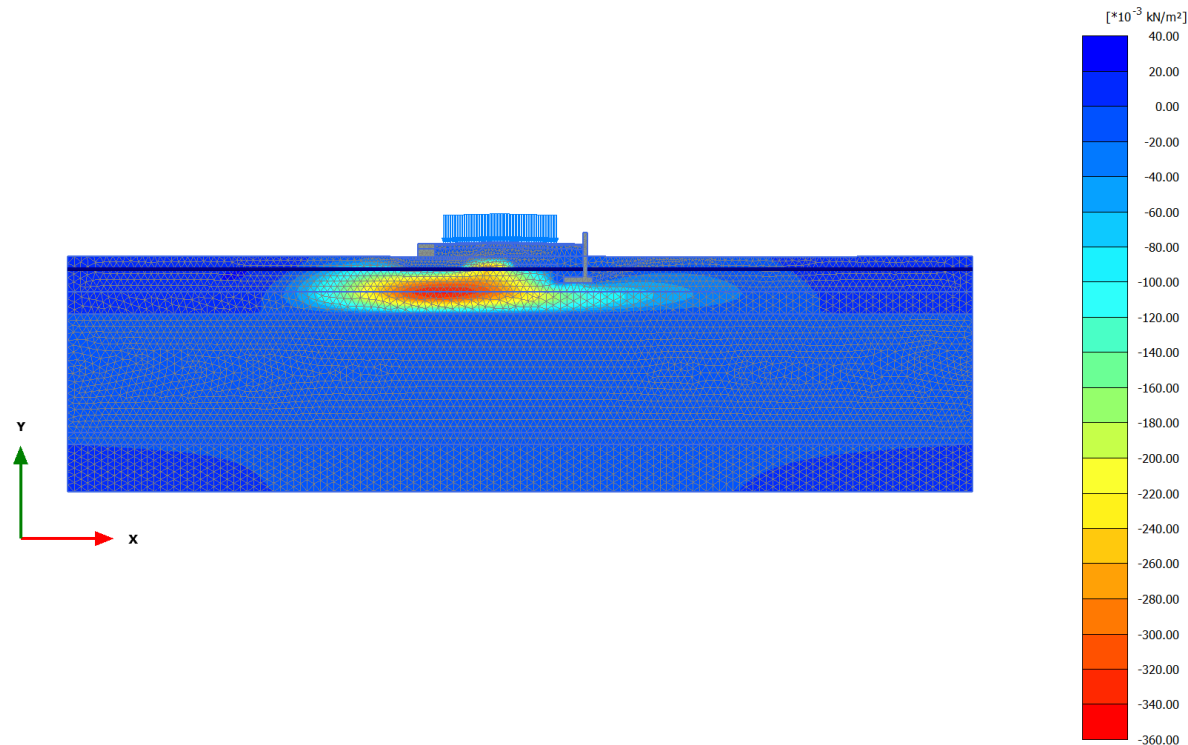
Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 0.500 times) (Pressure = negative) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.1881 kN/m² (Element 2208 at Node 16468)

Minimum value = -3.075 kN/m² (Element 2562 at Node 11705)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA’ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 151 di 219

2.2.2.1.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/186), Excess pore pressures p_{excess}

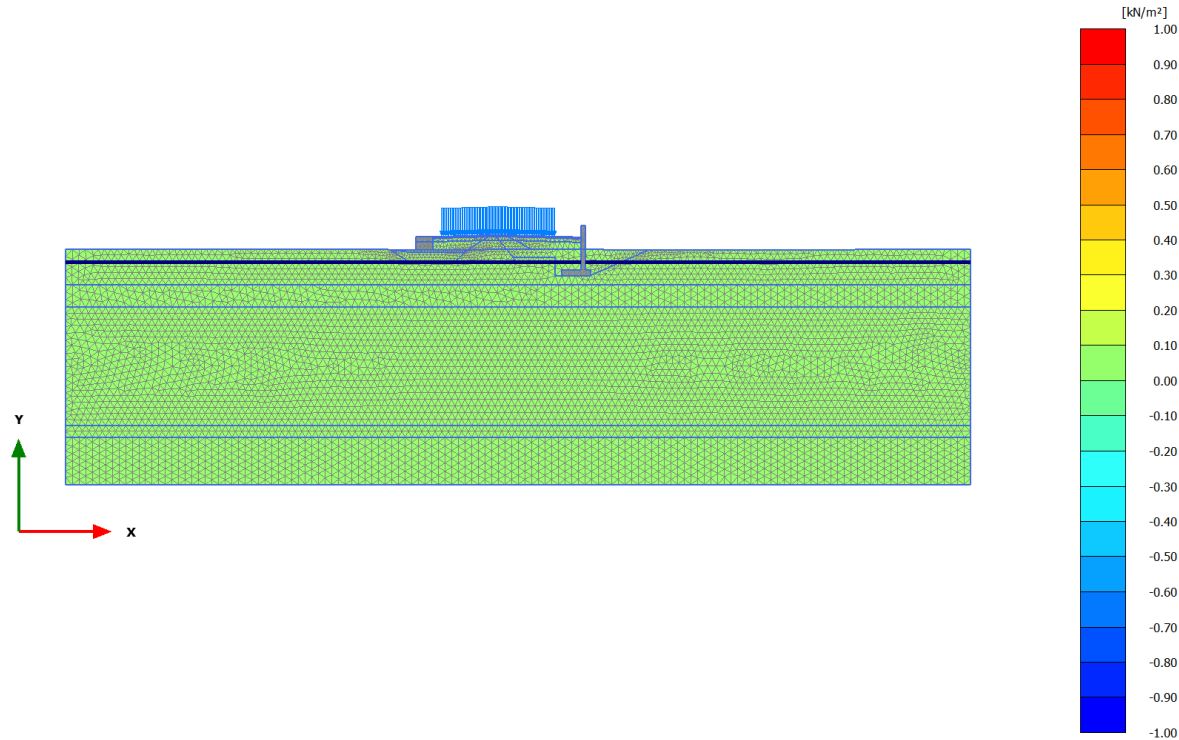


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 5.00 times) (Pressure = negative) (Time $20.08 \cdot 10^{-3}$ day)

Maximum value = 0.02091 kN/m² (Element 1817 at Node 18170)

Minimum value = -0.3496 kN/m² (Element 3664 at Node 13583)

2.2.2.1.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/232), Excess pore pressures p_{excess}

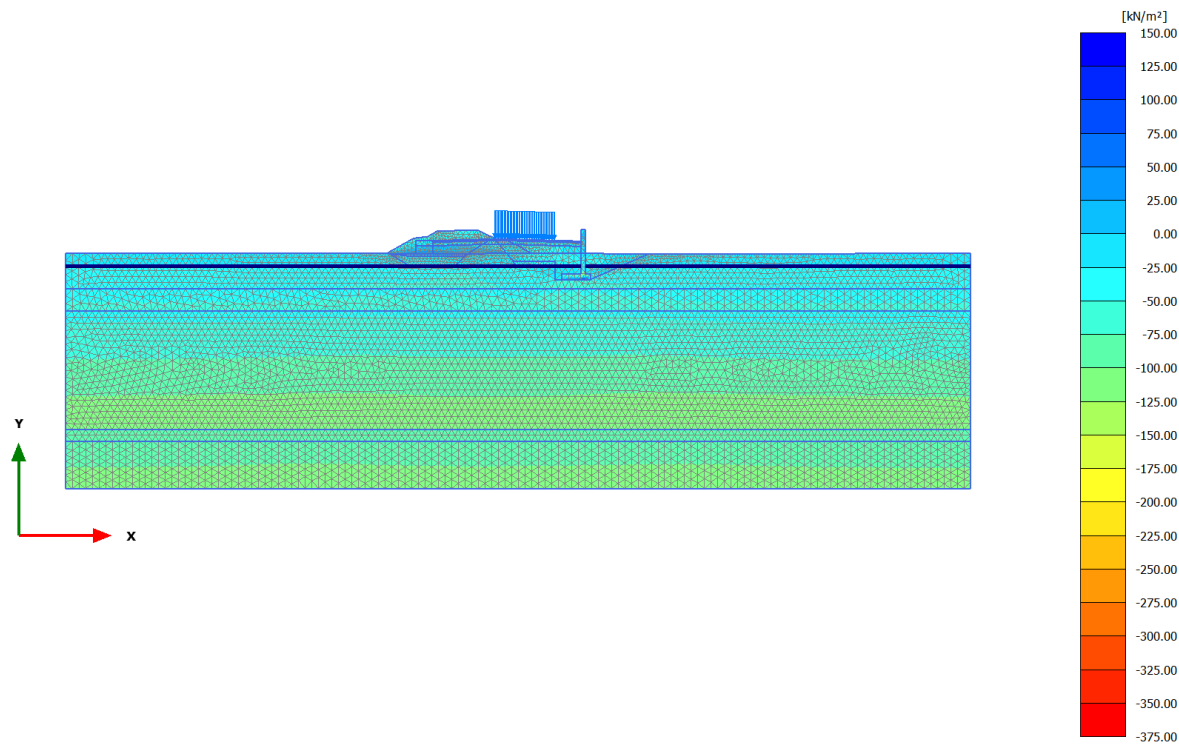


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up $5.00 \cdot 10^6$ times) (Pressure = negative) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Uniform value of $0.3727 \cdot 10^{-6}$ kN/m²

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 153 di 219

2.2.3.1.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/118), Cartesian effective stress σ'_{xx}

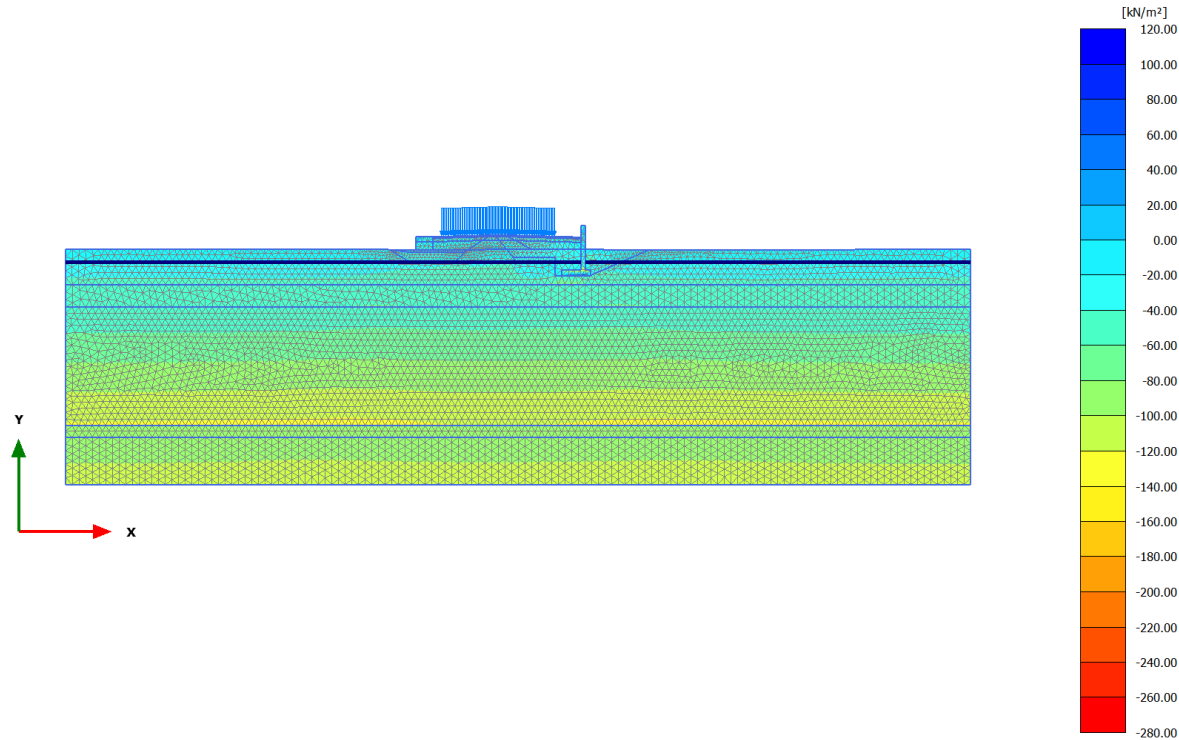


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 134.5 kN/m² (Element 1181 at Node 8871)

Minimum value = -358.6 kN/m² (Element 211 at Node 9755)

2.2.3.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/176), Cartesian effective stress σ'_{xx}

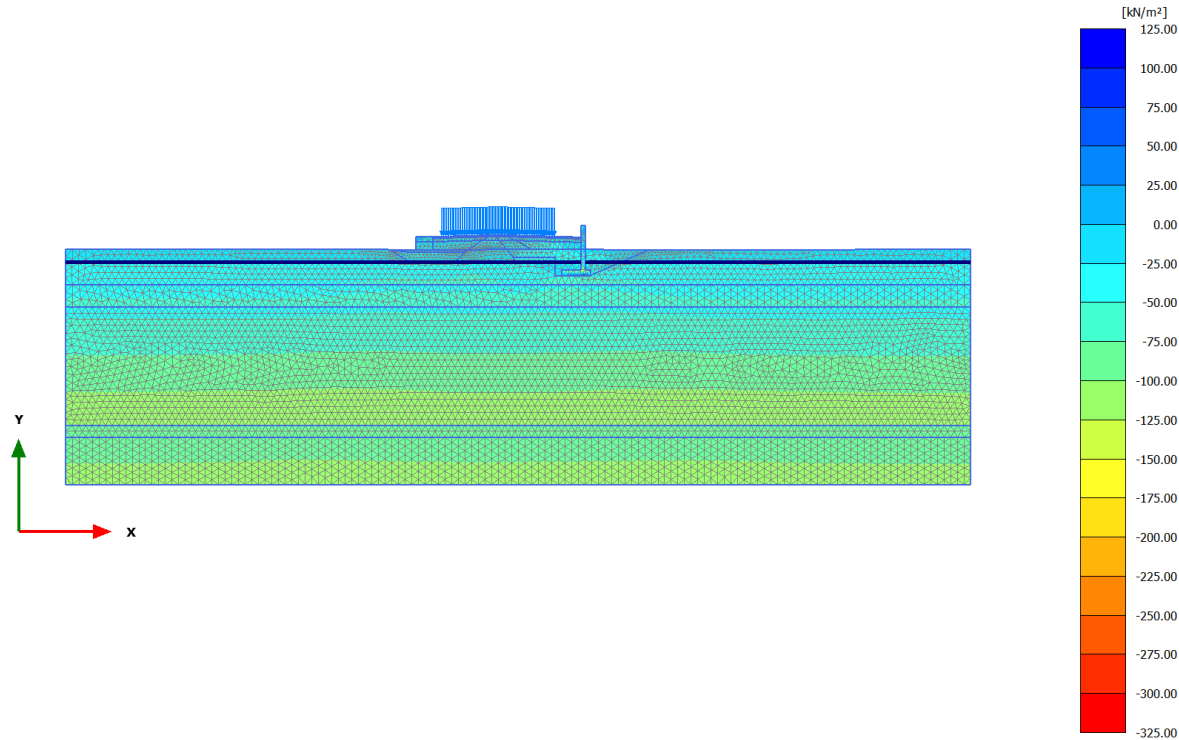


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 111.3 kN/m² (Element 1181 at Node 8871)

Minimum value = -275.3 kN/m² (Element 207 at Node 9429)

2.2.3.1.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/186), Cartesian effective stress σ'_{xx}

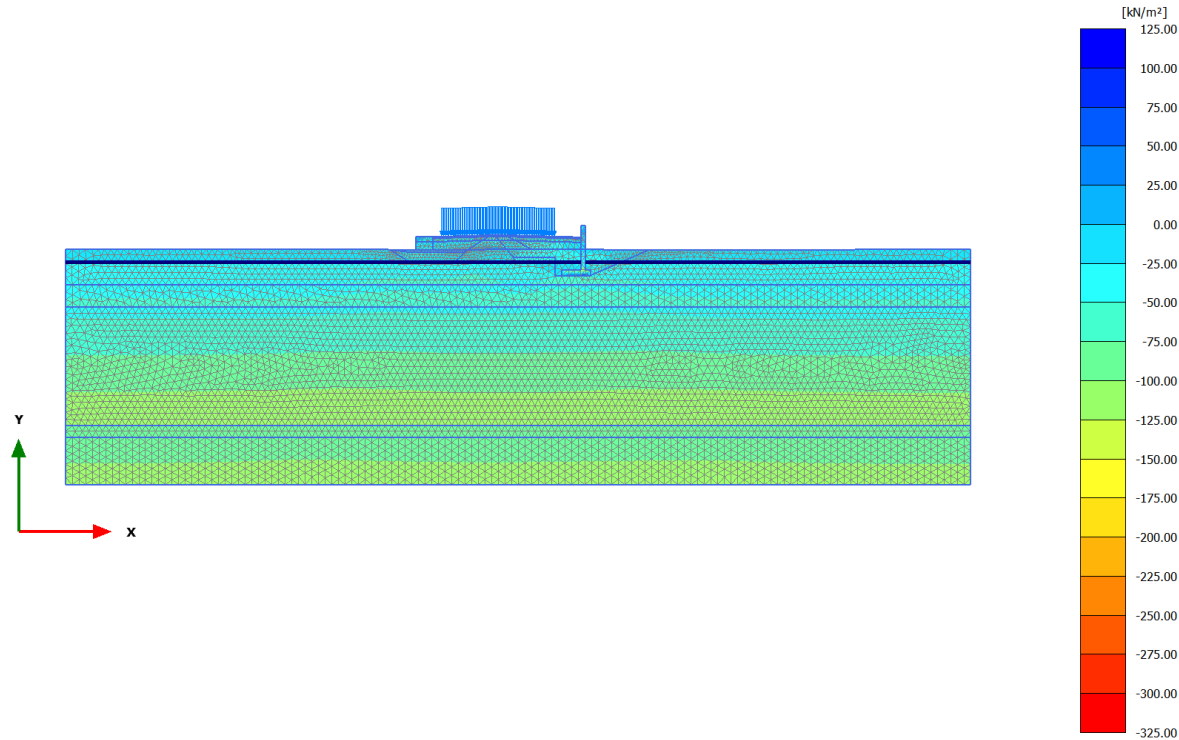


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 109.9 kN/m² (Element 1181 at Node 8871)

Minimum value = -299.9 kN/m² (Element 200 at Node 9435)

2.2.3.1.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/232), Cartesian effective stress σ'_{xx}

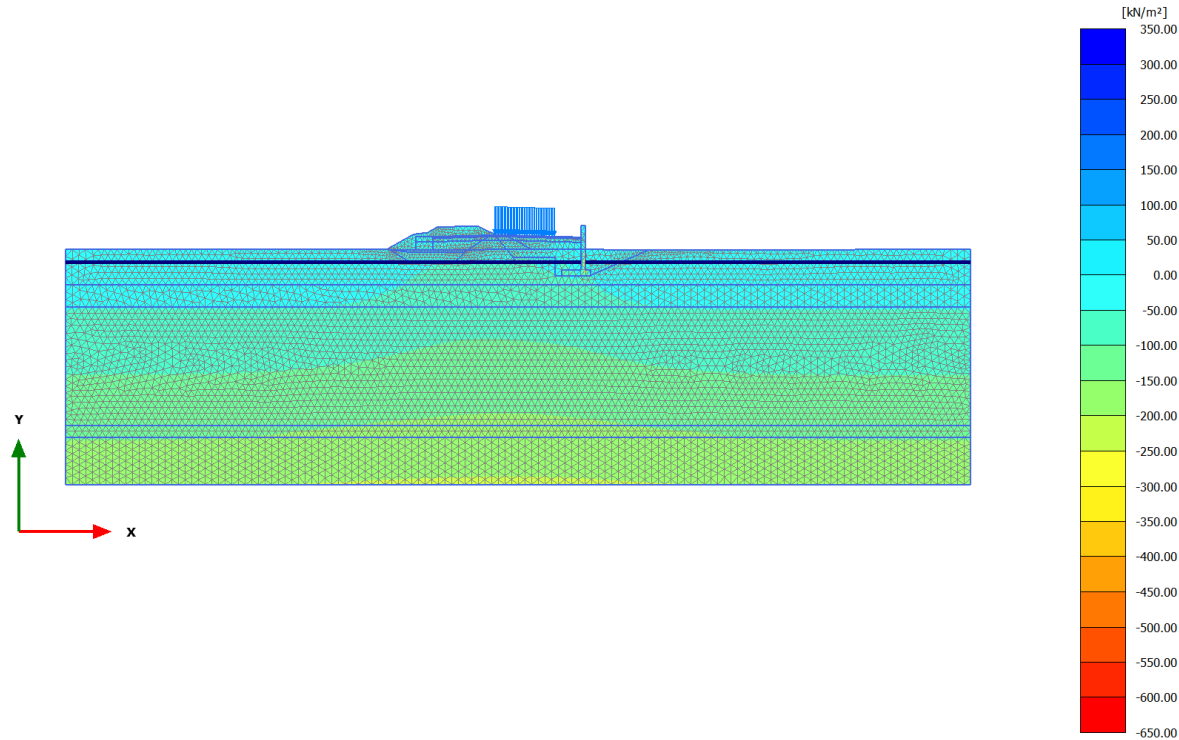


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 110.0 kN/m² (Element 1181 at Node 8871)

Minimum value = -301.2 kN/m² (Element 200 at Node 9435)

2.2.3.2.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/118), Cartesian effective stress σ'_{yy}

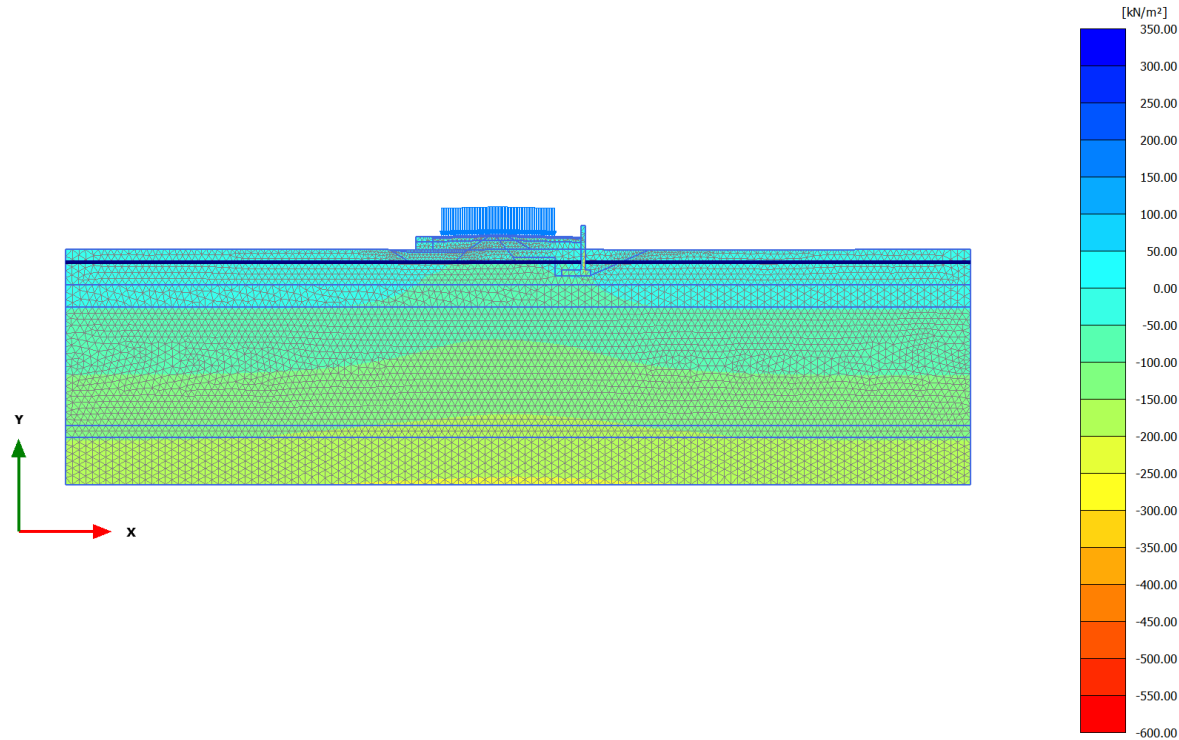


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 345.5 kN/m² (Element 1168 at Node 8874)

Minimum value = -631.1 kN/m² (Element 1170 at Node 8827)

2.2.3.2.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/176), Cartesian effective stress σ'_{yy}

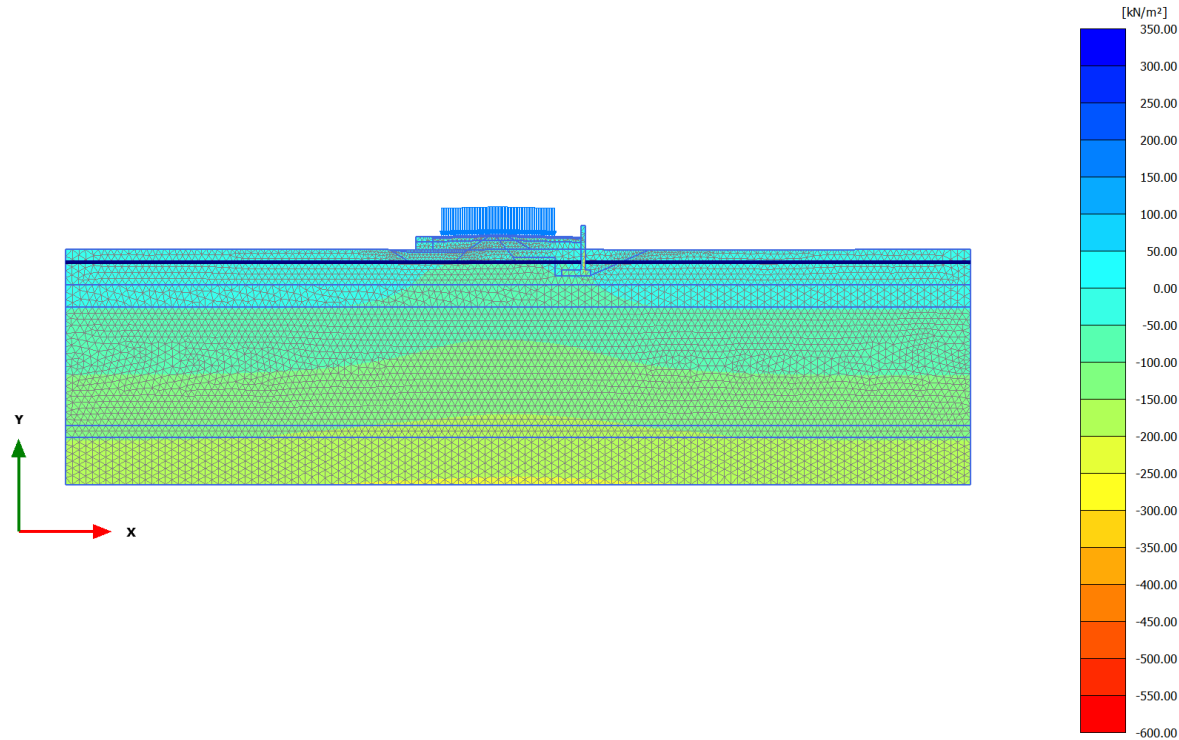


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 311.3 kN/m² (Element 1168 at Node 8874)

Minimum value = -574.4 kN/m² (Element 1170 at Node 8827)

2.2.3.2.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/186), Cartesian effective stress σ'_{yy}



Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 308.3 kN/m² (Element 1168 at Node 8874)

Minimum value = -575.2 kN/m² (Element 1170 at Node 8827)



Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 308.6 kN/m² (Element 1168 at Node 8874)

Minimum value = -576.1 kN/m² (Element 1170 at Node 8827)

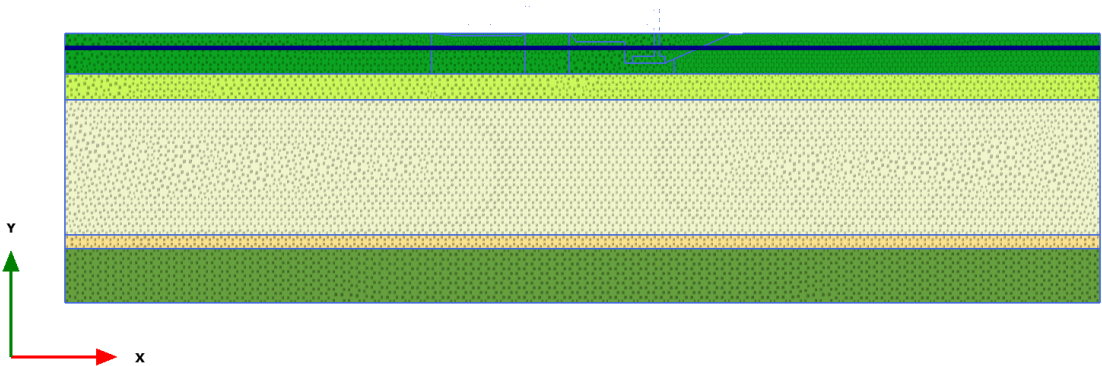
RA.
IVA
PM
19

e_18] (18/232),

ALLEGATO C – RISULTATI ANALISI PLAXIS RIL. 6+150 CON INTERVENTI

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 162 di 219

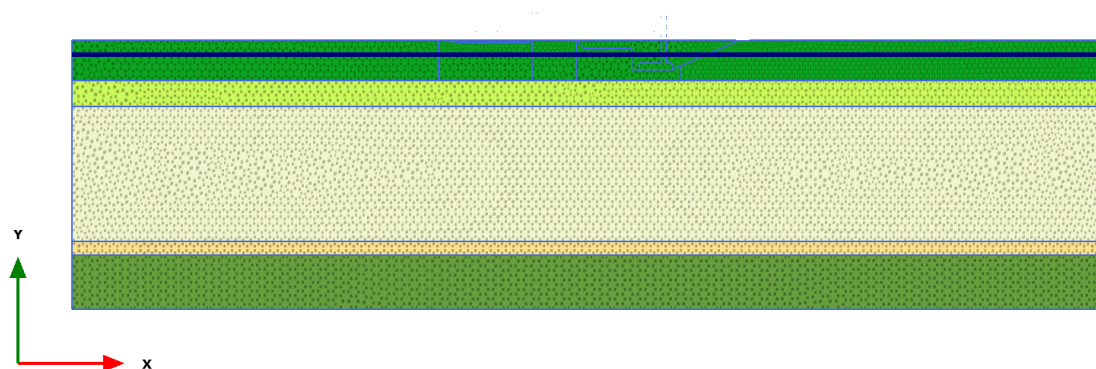
1.1.1.1 Calculation results, Initial phase [InitialPhase] (0/0), Connectivity plot



Connectivity plot

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 163 di 219

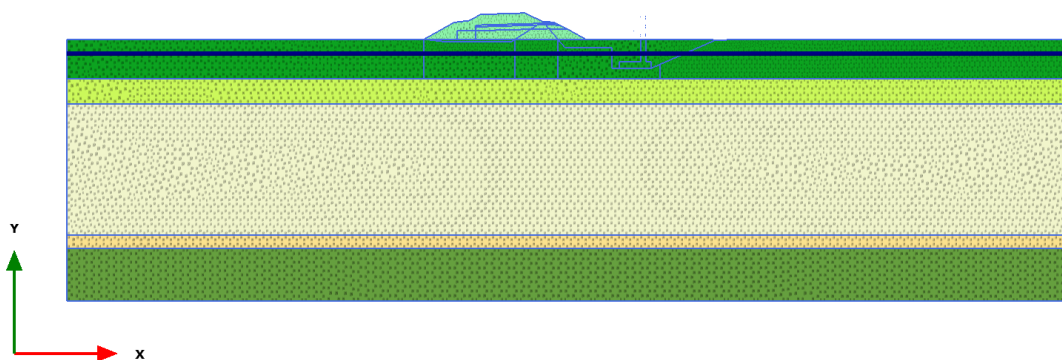
1.1.1.2 Calculation results, Cond. iniziale [Phase_1] (1/3), Connectivity plot



Connectivity plot

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 164 di 219

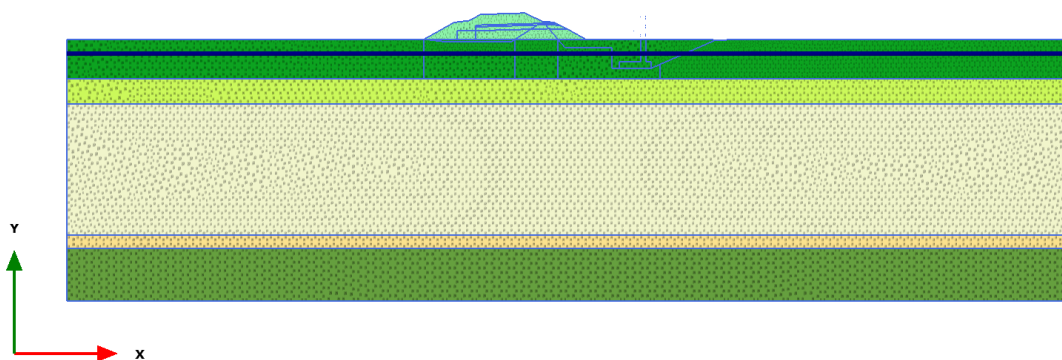
1.1.1.3 Calculation results, costr. ril. esistente [Phase_2] (2/41), Connectivity plot



Connectivity plot

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 165 di 219

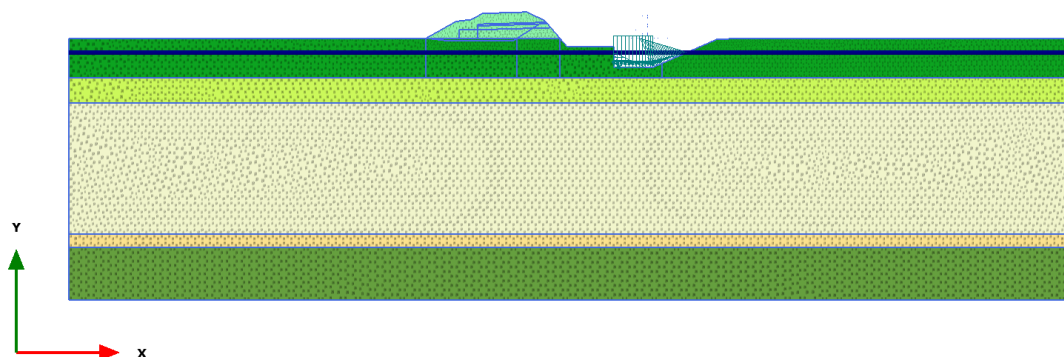
1.1.1.4 Calculation results, consolidaz. ril. esistente [Phase_3] (3/67), Connectivity plot



Connectivity plot

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 166 di 219

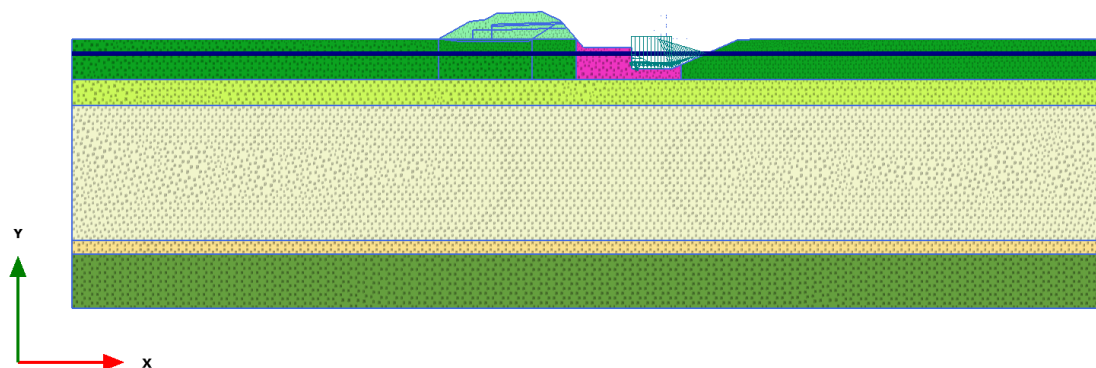
1.1.1.5 Calculation results, esecuz. strato bonifico superiore [Phase_4] (4/74), Connectivity plot



Connectivity plot

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 167 di 219

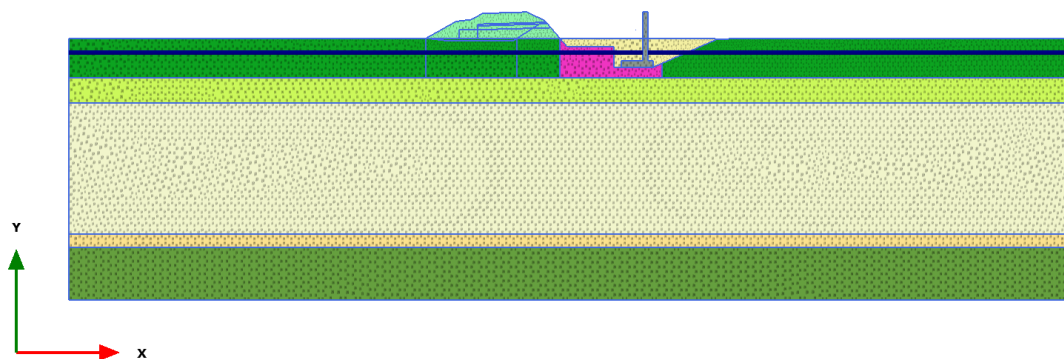
1.1.1.6 Calculation results, trattamento dx [Phase_5] (5/87), Connectivity plot



Connectivity plot

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 168 di 219

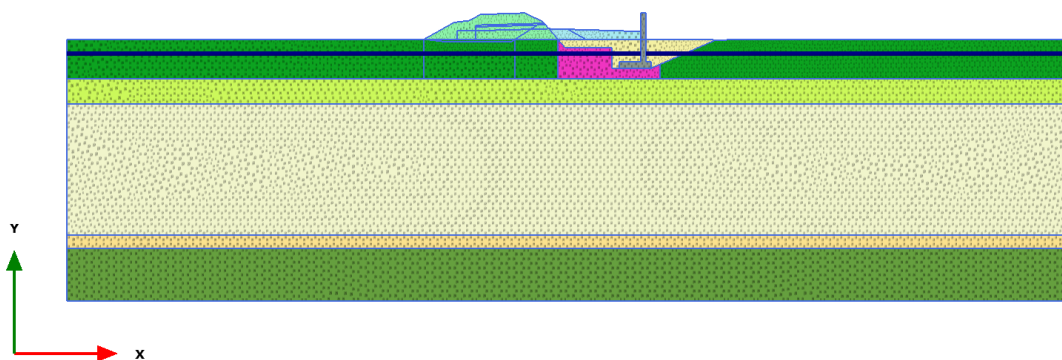
1.1.1.7 Calculation results, scavo bonifico sup.+ piede scarpata [Phase_6] (6/98), Connectivity plot



Connectivity plot

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 169 di 219

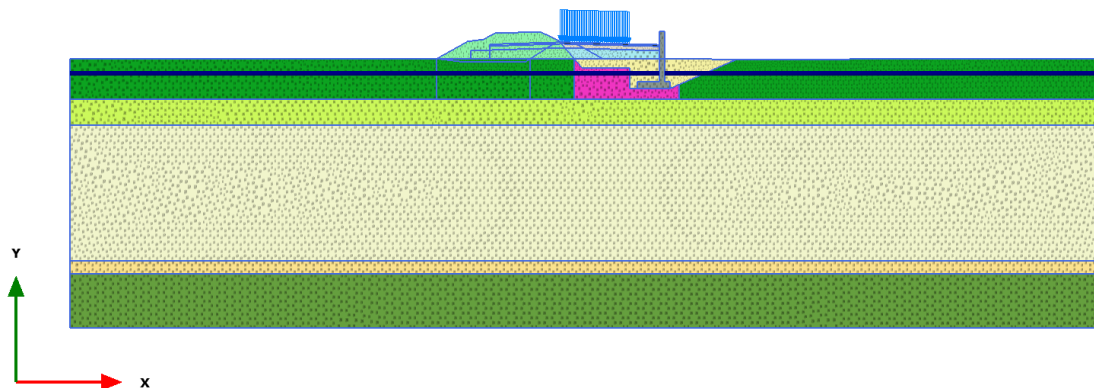
1.1.1.8 Calculation results, costruz. rilevato dx [Phase_7] (7/104), Connectivity plot



Connectivity plot

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 170 di 219

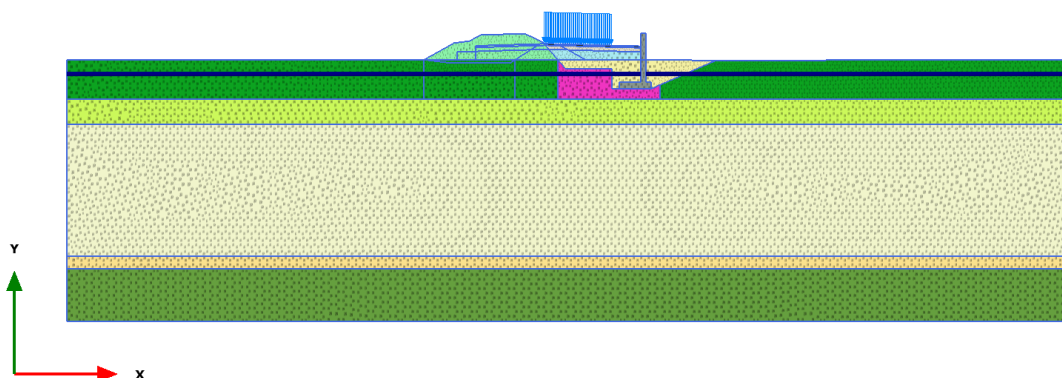
1.1.1.9 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/115), Connectivity plot



Connectivity plot

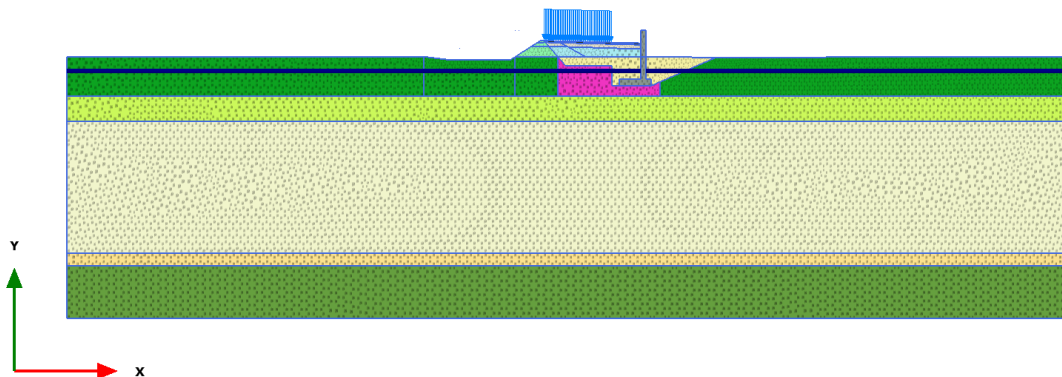
	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 171 di 219

1.1.1.10 Calculation results, esercizio nuova linea [Phase_14] (14/120), Connectivity plot



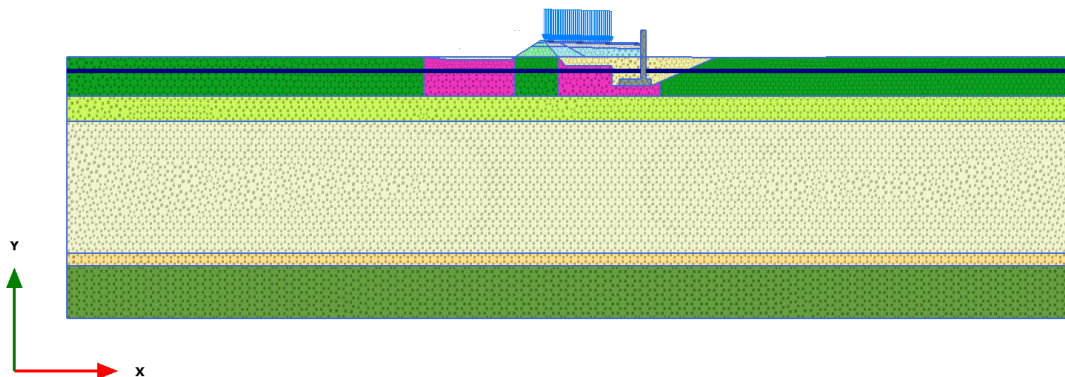
Connectivity plot

1.1.1.11 Calculation results, scavo rilevato sx [Phase_9] (9/129), Connectivity plot



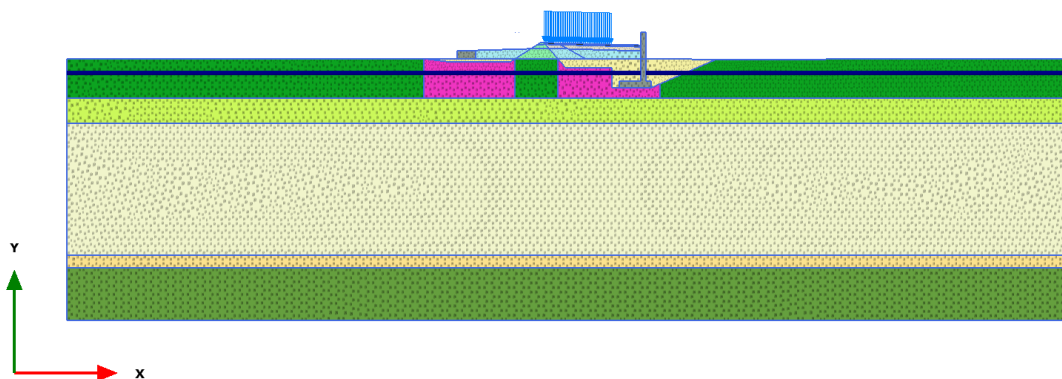
Connectivity plot

1.1.1.12 Calculation results, trattamento [Phase_10] (10/148), Connectivity plot



Connectivity plot

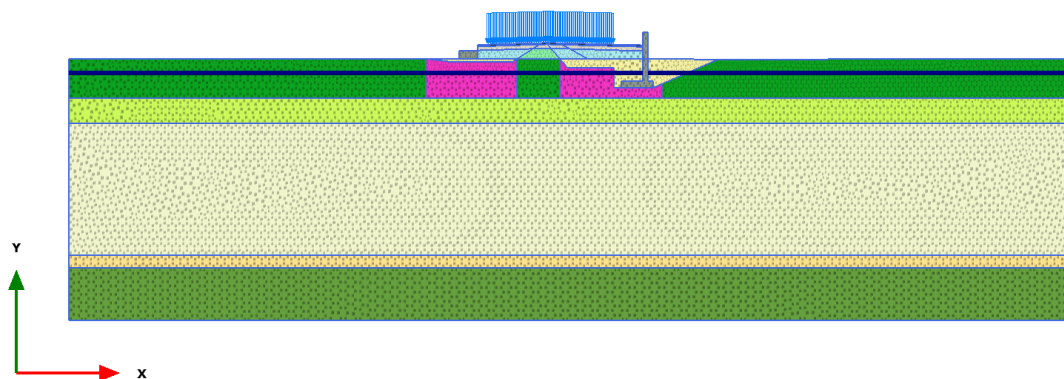
1.1.1.13 Calculation results, costruz. rilevato sx [Phase_11] (11/157), Connectivity plot



Connectivity plot

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 175 di 219

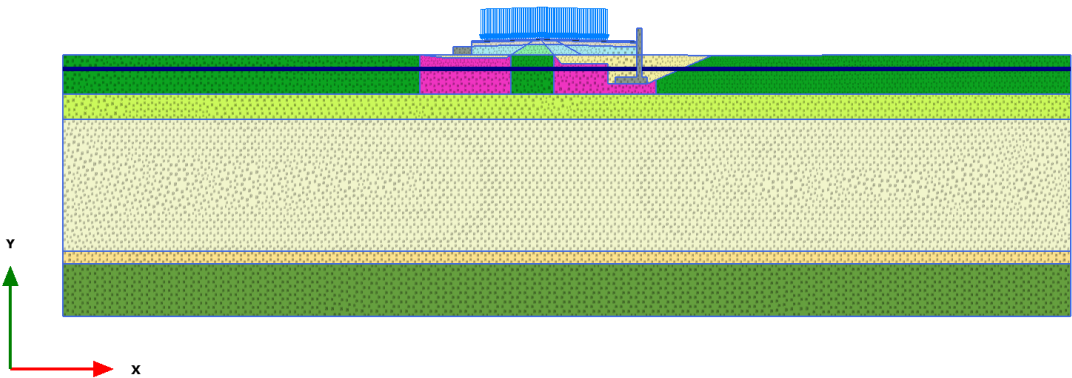
1.1.1.14 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/170), Connectivity plot



Connectivity plot

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 176 di 219

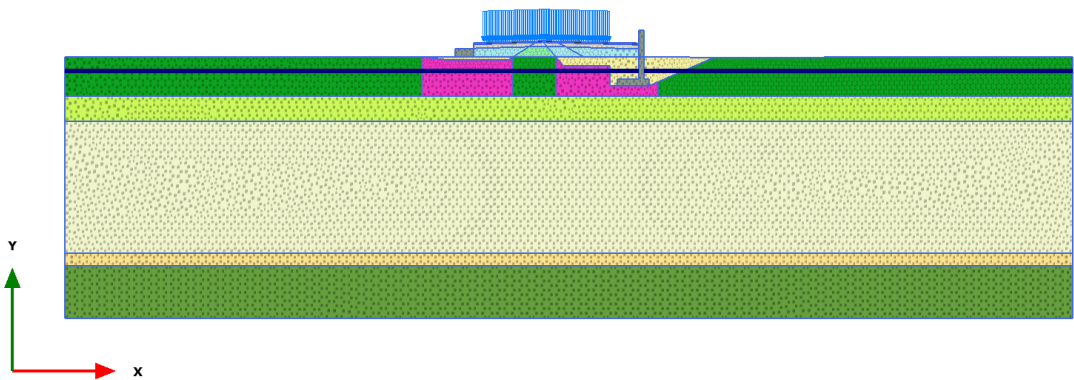
1.1.1.15 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/180), Connectivity plot



Connectivity plot

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 177 di 219

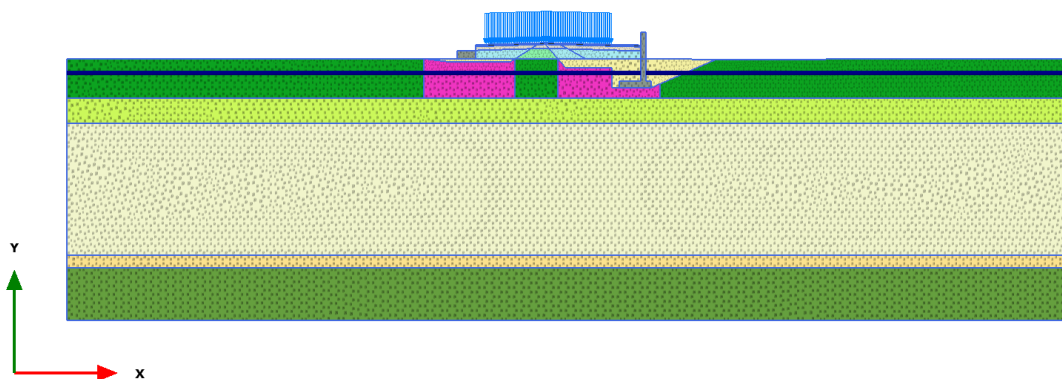
1.1.1.16 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (2 anni) [Phase_15] (15/190), Connectivity plot



Connectivity plot

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 178 di 219

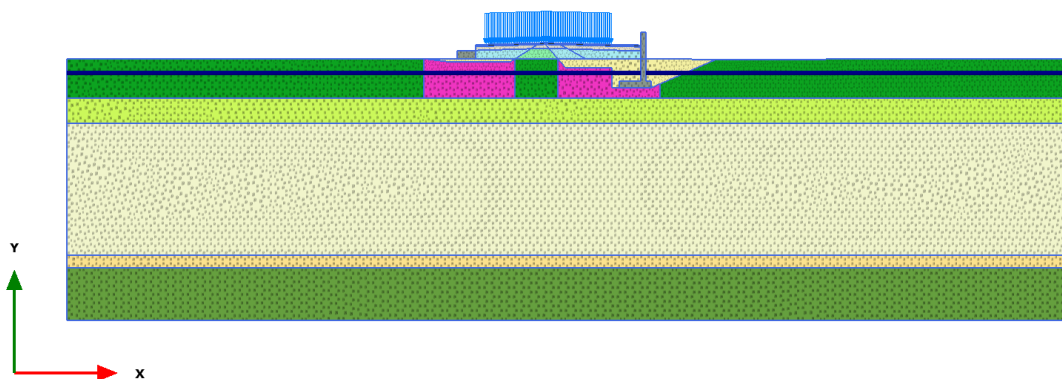
1.1.1.17 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (10 anni) [Phase_16] (16/202), Connectivity plot



Connectivity plot

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 179 di 219

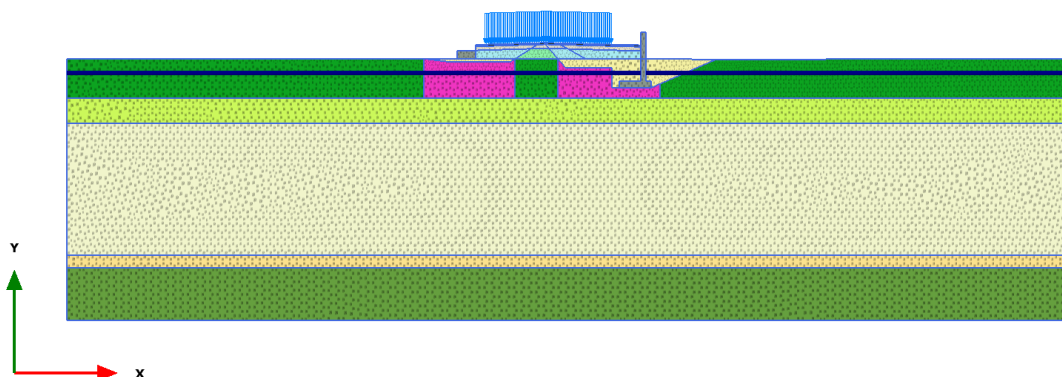
1.1.1.18 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (30 anni) [Phase_17] (17/214), Connectivity plot



Connectivity plot

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 180 di 219

1.1.1.19 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/226), Connectivity plot



Connectivity plot

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 181 di 219

Identification		L,A2	A,L2	L,A1	M	A,L1 NEW
Identification number		1	2	3	5	11
Drainage type		Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)	Undrained (A)
Colour						
Comments						
γ_{unsat}	kN/m ³	19.00	17.50	18.50	21.00	18.00
γ_{sat}	kN/m ³	19.00	17.50	18.50	21.00	18.00
Dilatancy cut-off		No	No	No	No	No
e_{init}		0.8500	1.000	1.000	0.5500	0.8000
e_{min}		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
e_{max}		999.0	999.0	999.0	999.0	999.0
Rayleigh α		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
λ^* (lambda*)		0.06580	0.06087	0.08043	0.04348	0.06522
κ^* (kappa*)		0.01457	0.01478	0.03478	0.01459	8.696E-3
Use alternatives		No	No	No	No	No
C_c		0.2800	0.2800	0.3700	0.1550	0.2700
C_s		0.03100	0.03400	0.08000	0.02600	0.01800

1.1.2.1.1 Materials - Soil and interfaces - Soft soil

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 182 di 219

Identification		L,A2	A,L2	L,A1	M	A,L1 NEW
E _{init}		0.8500	1.000	1.000	0.5500	0.8000
C _{ref}	kN/m ²	0.000	5.000	12.00	20.00	10.00
φ (phi)	°	27.00	20.50	23.50	26.00	22.00
ψ (psi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Set to default values		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
V _{ur}		0.1500	0.1500	0.1500	0.1500	0.1500
K ₀ ^{nc}		0.5460	0.6498	0.6013	0.5616	0.6254
M		1.440	1.146	1.165	1.333	1.264
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0.9890	0.9890	0.9890	0.9890	0.9890
v _u		0.4950	0.4950	0.4950	0.4950	0.4950
K _{w,ref} / n	kN/m ²	617.7E3	608.8E3	258.7E3	617.0E3	1.035E6
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Strength		Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
R _{inter}		0.6600	0.6600	0.6600	0.6600	0.6600
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
δ _{inter}		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable

Identification		L,A2	A,L2	L,A1	M	A,L1 NEW
Drainage conductivity, dk	m ³ /day/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K ₀ determination		Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
K _{0,x} = K _{0,z}		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
K _{0,x}		0.8786	1.170	0.6437	0.5809	1.389
K _{0,z}		0.8786	1.170	0.6437	0.5809	1.389
OCR		1.900	2.100	1.100	1.050	2.700
POP	kN/m ²	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Data set		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Type		Fine	Fine	Fine	Fine	Coarse
< 2 µm	%	46.00	46.00	46.00	46.00	10.00
2 µm - 50 µm	%	26.00	26.00	26.00	26.00	13.00
50 µm - 2 mm	%	28.00	28.00	28.00	28.00	77.00
Use defaults		None	None	None	None	None
k _x	m/day	0.08640	0.08640E-3	8.640E-3	0.08640E-3	0.08640E-3
k _y	m/day	0.08640	8.640E-6	8.640E-3	0.08640E-3	8.640E-6
-Ψ _{unsat}	m	10.00E3	10.00E3	10.00E3	10.00E3	10.00E3
e _{init}		0.8500	1.000	1.000	0.5500	0.8000
S _s	1/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C _k		1000E12	1000E12	1000E12	1000E12	1000E12

 ITAFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 184 di 219

Identification		G,S	supercompattato	rilevato	sub-ballast	BONIFICO
Identification number		4	6	7	8	12
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Drained	Undrained (A)
Colour						
Comments						
Y _{unsat}	kN/m ³	19.00	20.00	19.00	20.00	19.00
Y _{sat}	kN/m ³	19.00	20.00	19.00	20.00	19.00
Dilatancy cut-off		No	No	No	No	No
e _{init}		0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
e _{min}		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
e _{max}		999.0	999.0	999.0	999.0	999.0
Rayleigh α		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
E	kN/m ²	50.00E3	60.00E3	30.00E3	400.0E3	15.00E3
v (nu)		0.2000	0.3000	0.3000	0.3000	0.3000
G	kN/m ²	20.83E3	23.08E3	11.54E3	153.8E3	5769
E _{oed}	kN/m ²	55.56E3	80.77E3	40.38E3	538.5E3	20.19E3

1.1.2.1.2.1 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb (1/2)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 185 di 219

Identification		G,S	supercompattato	rilevato	sub-ballast	BONIFICO
C _{ref}	kN/m ²	0.000	0.000	0.000	600.0	0.000
φ (phi)	°	36.00	42.00	38.00	38.00	36.00
ψ (psi)	°	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
V _s	m/s	103.7	106.4	77.18	274.7	54.58
V _p	m/s	169.4	199.0	144.4	513.9	102.1
Set to default values		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
E _{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
γ _{ref}	m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C _{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
γ _{ref}	m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Tension cut-off		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0.9866	0.9783	0.9783	0.9783	0.9783
v _u		0.4950	0.4950	0.4950	0.4950	0.4950
K _{w,ref} / n	kN/m ²	2.049E6	2.250E6	1.125E6	15.00E6	562.5E3
C _{v,ref}	m ² /day	0.000	0.000	0.000	0.000	1745
Strength		Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
R _{inter}		0.6600	0.1000	0.6600	0.1000	0.6600

Identification		G,S	supercompattato	rilevato	sub-ballast	BONIFICO
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
δ_{inter}		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /day/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K ₀ determination		Automatic	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
K _{0,x} = K _{0,z}		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
K _{0,x}		0.4122	0.3309	0.3843	0.3843	0.4122
K _{0,z}		0.4122	0.3309	0.3843	0.3843	0.4122
OCR		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
POP	kN/m ²	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Data set		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Type		Coarse	Medium fine	Medium	Coarse	Coarse
< 2 µm	%	10.00	19.00	19.00	10.00	10.00
2 µm - 50 µm	%	13.00	74.00	41.00	13.00	13.00
50 µm - 2 mm	%	77.00	7.000	40.00	77.00	77.00
Use defaults		None	None	From data set	None	None
k _x	m/day	8.640	0.08640E-3	0.1206	0.08640E-3	0.8640
k _y	m/day	8.640	0.08640E-3	0.1206	0.08640E-3	0.8640
-ψ _{unsat}	m	10.00E3	10.00E3	10.00E3	10.00E3	10.00E3

 GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 187 di 219

Identification	G,S	supercompattato	rilevato	sub-ballast	BONIFICO
e _{init}	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
S _s 1/m	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C _k	1000E12	1000E12	1000E12	1000E12	1000E12

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 188 di 219

Identification		Riporto antropico esistente	trattamento
Identification number		14	15
Drainage type		Drained	Drained
Colour			
Comments			
Y _{unsat}	kN/m ³	19.00	20.00
Y _{sat}	kN/m ³	19.00	20.00
Dilatancy cut-off		No	No
e _{init}		0.5000	0.5000
e _{min}		0.000	0.000
e _{max}		999.0	999.0
Rayleigh α		0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000
E	kN/m ²	15.00E3	19.40E3
ν (nu)		0.3000	0.2000
G	kN/m ²	5769	8083
E _{oed}	kN/m ²	20.19E3	21.56E3

1.1.2.1.2.2 Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb (2/2)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 189 di 219

Identification		Riporto antropico esistente	trattamento
C _{ref}	kN/m ²	0.000	7.700
φ (phi)	°	34.00	26.70
ψ (psi)	°	0.000	0.000
V _s	m/s	54.58	62.97
V _p	m/s	102.1	102.8
Set to default values		Yes	Yes
E _{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000
γ _{ref}	m	0.000	0.000
C _{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000
γ _{ref}	m	0.000	0.000
Tension cut-off		Yes	Yes
Tensile strength	kN/m ²	0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard
Skempton-B		0.9783	0.9866
v _u		0.4950	0.4950
K _{w,ref} / n	kN/m ²	562.5E3	794.9E3
Strength		Manual	Manual
R _{inter}		0.6600	0.6600
Consider gap closure		Yes	Yes

Identification		Riporto antropico esistente	trattamento
δ_{inter}		0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /day/m	0.000	0.000
K ₀ determination		Automatic	Automatic
K _{0,x} = K _{0,z}		Yes	Yes
K _{0,x}		0.4408	0.5507
K _{0,z}		0.4408	0.5507
OCR		1.000	1.000
POP	kN/m ²	0.000	0.000
Data set		Standard	Standard
Type		Coarse	Medium
< 2 μm	%	10.00	19.00
2 μm - 50 μm	%	13.00	41.00
50 μm - 2 mm	%	77.00	40.00
Use defaults		None	None
k _x	m/day	0.8640	0.08640
k _y	m/day	0.8640	0.08640
-ψ _{unsat}	m	10.00E3	10.00E3
e _{init}		0.5000	0.5000

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 191 di 219

Identification	Riporto antropico esistente	trattamento
S_s 1/m	0.000	0.000
C _k	1000E12	1000E12

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 192 di 219

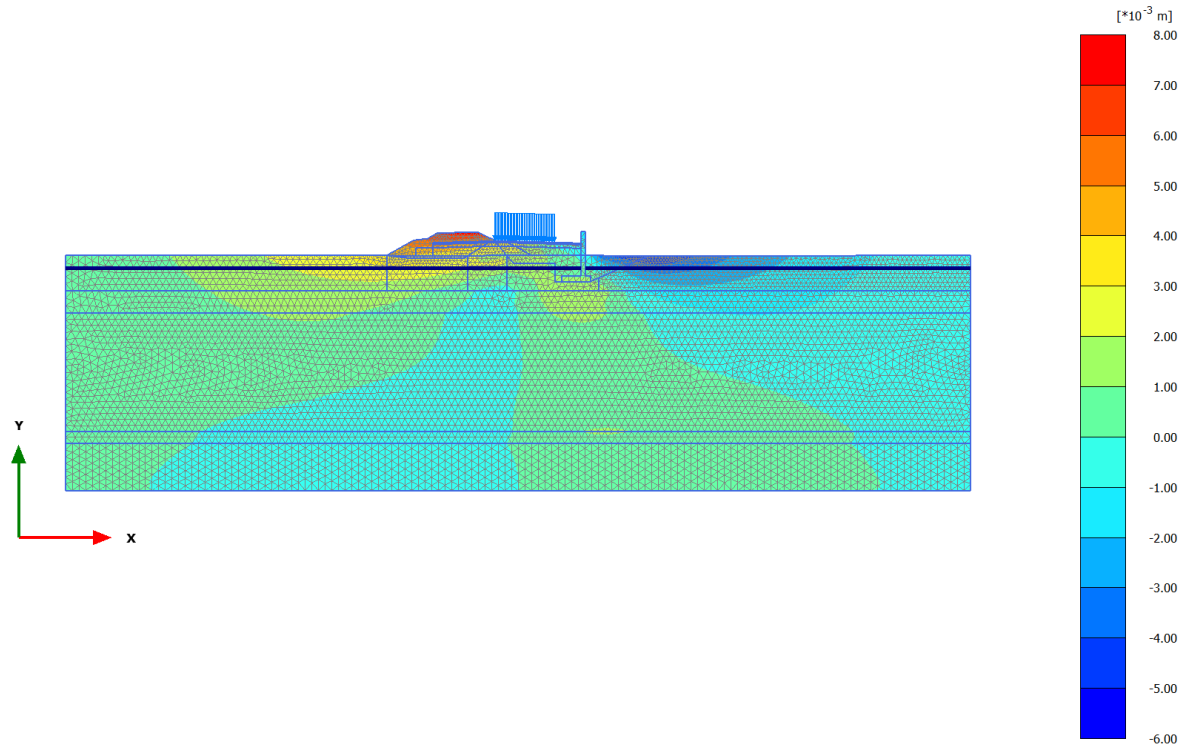
Identification		cls	Rilevato esistente	pali
Identification number		9	10	13
Drainage type		Non-porous	Drained	Non-porous
Colour				
Comments				
γ_{unsat}	kN/m ³	25.00	19.00	25.00
γ_{sat}	kN/m ³	25.00	19.00	25.00
Dilatancy cut-off		No	No	No
e_{init}		0.000	0.5000	0.000
e_{min}		0.000	0.000	0.000
e_{max}		999.0	999.0	999.0
Rayleigh α		0.000	0.000	0.000
Rayleigh β		0.000	0.000	0.000
E	kN/m ²	25.00E6	30.00E3	4.909E6
ν (nu)		0.1000	0.3000	0.1000
G	kN/m ²	11.36E6	11.54E3	2.231E6
E_{oed}	kN/m ²	25.57E6	40.38E3	5.020E6
V_s	m/s	2112	77.18	935.7

1.1.2.1.3 Materials - Soil and interfaces - Linear elastic

Identification		cls	Rilevato esistente	pali
V _p	m/s	3167	144.4	1404
Set to default values		Yes	Yes	Yes
E _{inc}	kN/m ² /m	0.000	0.000	0.000
y _{ref}	m	0.000	0.000	0.000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard
Skempton-B		0.9908	0.9783	0.9908
v _u		0.4950	0.4950	0.4950
K _{w,ref} / n	kN/m ²	1.122E9	1.125E6	220.3E6
Strength		Manual	Manual	Manual
R _{inter}		0.1000	0.6600	0.6600
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes
δ _{inter}		0.000	0.000	0.000
Cross permeability		Impermeable	Impermeable	Impermeable
Drainage conductivity, dk	m ³ /day/m	0.000	0.000	0.000
K ₀ determination		Automatic	Automatic	Automatic
K _{0,x} = K _{0,z}		Yes	Yes	Yes
K _{0,x}		0.5000	0.5000	0.5000
K _{0,z}		0.5000	0.5000	0.5000
OCR		1.000	1.000	1.000

Identification		cls	Rilevato esistente	pali
POP	kN/m ²	0.000	0.000	0.000
Data set		Standard	Standard	Standard
Type		Coarse	Medium	Coarse
< 2 µm	%	10.00	19.00	10.00
2 µm - 50 µm	%	13.00	41.00	13.00
50 µm - 2 mm	%	77.00	40.00	77.00
Use defaults		None	From data set	None
k _x	m/day	0.000	0.1206	0.000
k _y	m/day	0.000	0.1206	0.000
-ψ _{unsat}	m	10.00E3	10.00E3	10.00E3
e _{init}		0.000	0.5000	0.000
S _s	1/m	0.000	0.000	0.000
C _k		1000E12	1000E12	1000E12

2.1.1.1.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/115), Total displacements u_x

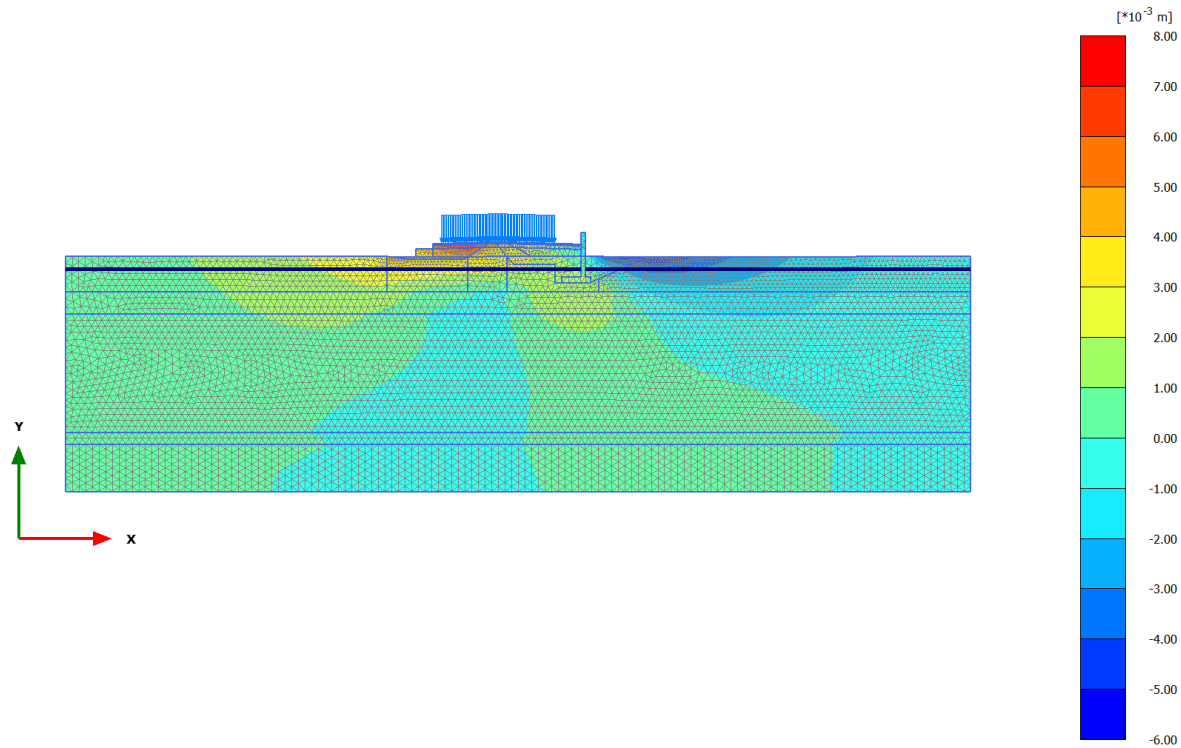


Total displacements u_x (scaled up 200 times) (Time 19.34*10³ day)

Maximum value = 7.589*10⁻³ m (Element 40 at Node 11942)

Minimum value = -5.184*10⁻³ m (Element 3254 at Node 6844)

2.1.1.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/170), Total displacements u_x



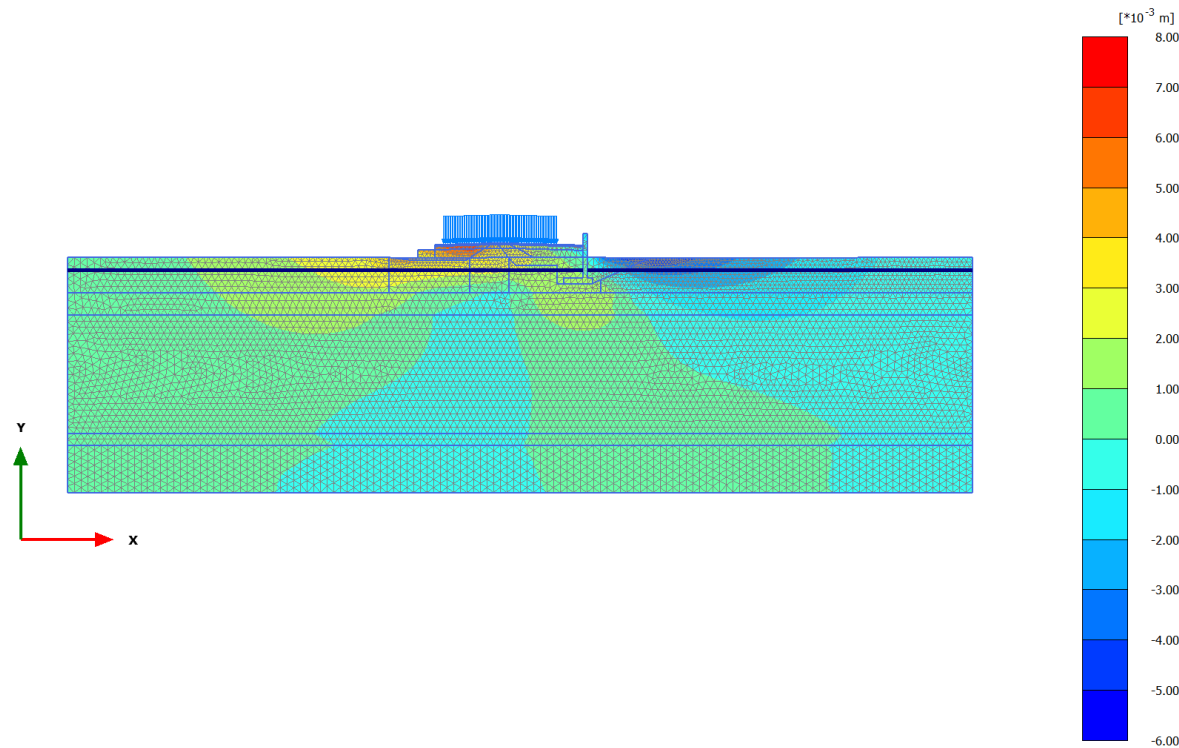
Total displacements u_x (scaled up 200 times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $7.513 \cdot 10^{-3}$ m (Element 252 at Node 12643)

Minimum value = $-5.060 \cdot 10^{-3}$ m (Element 3239 at Node 7048)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 197 di 219

2.1.1.1.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/180), Total displacements u_x



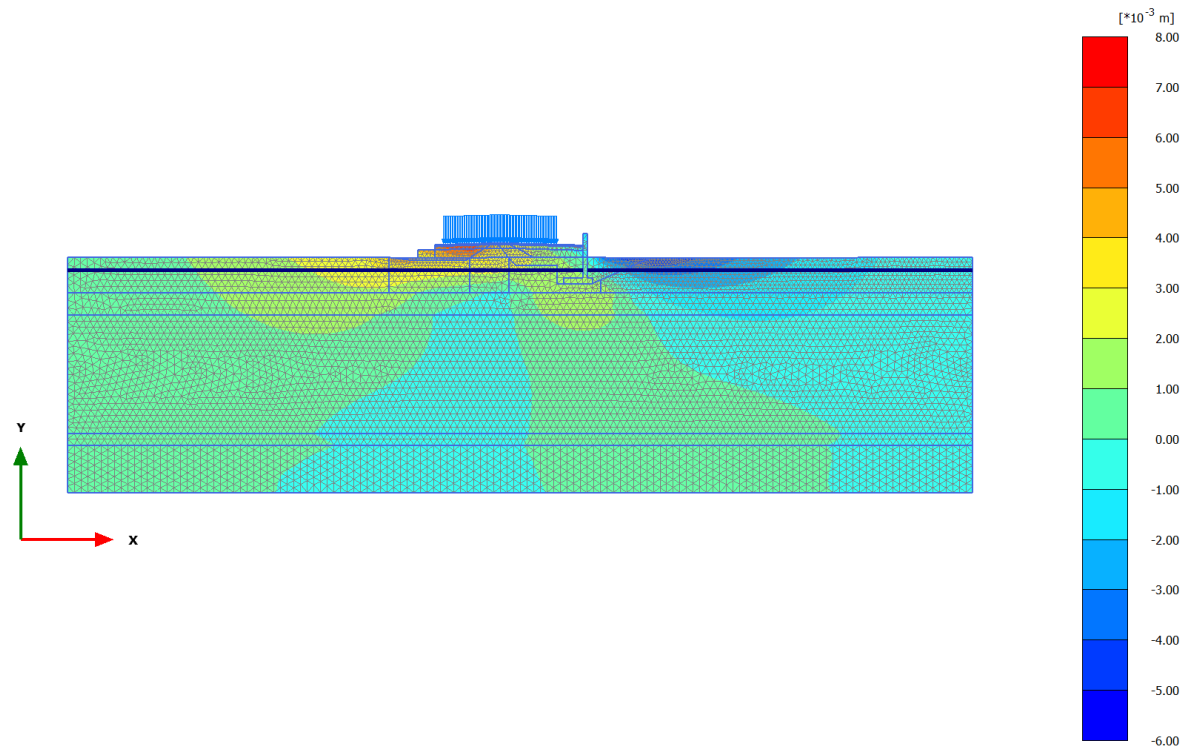
Total displacements u_x (scaled up 200 times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $7.487 \cdot 10^{-3}$ m (Element 252 at Node 12643)

Minimum value = $-5.145 \cdot 10^{-3}$ m (Element 3239 at Node 7048)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA’ TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 198 di 219

2.1.1.1.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/226), Total displacements u_x

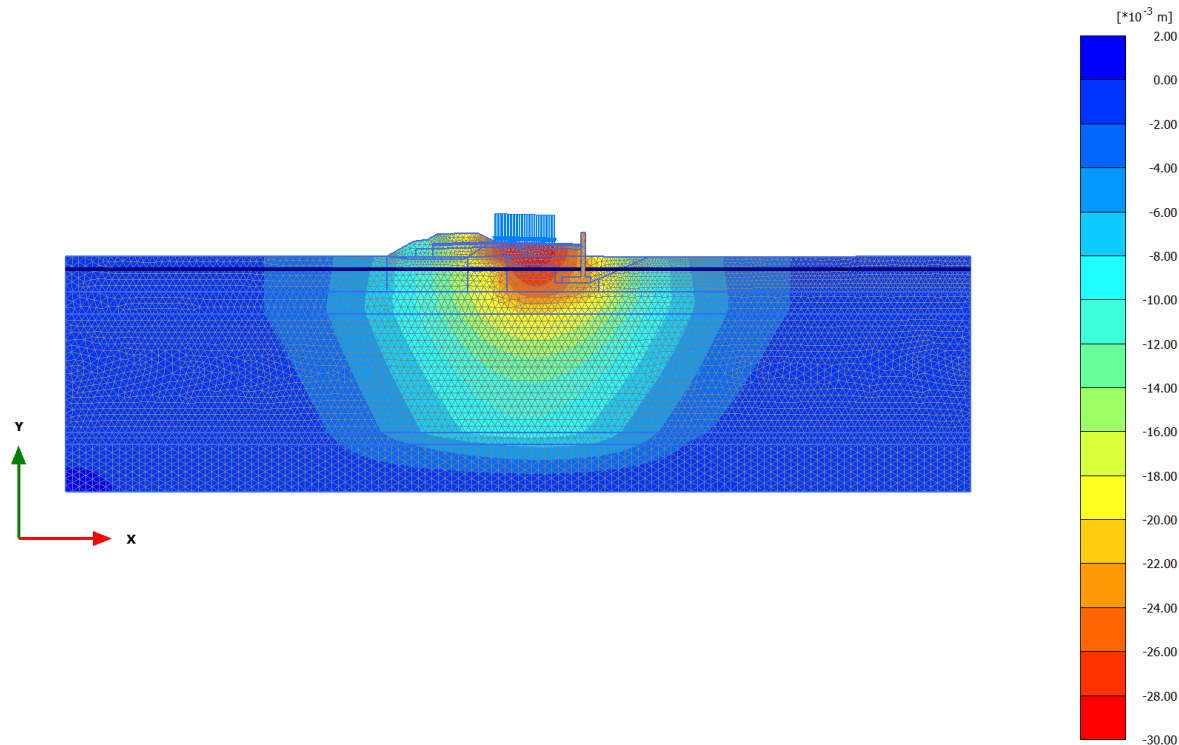


Total displacements u_x (scaled up 200 times) (Time 47.08*10³ day)

Maximum value = 7.489*10⁻³ m (Element 252 at Node 12643)

Minimum value = -5.145*10⁻³ m (Element 3239 at Node 7048)

2.1.1.2.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/115), Total displacements u_y



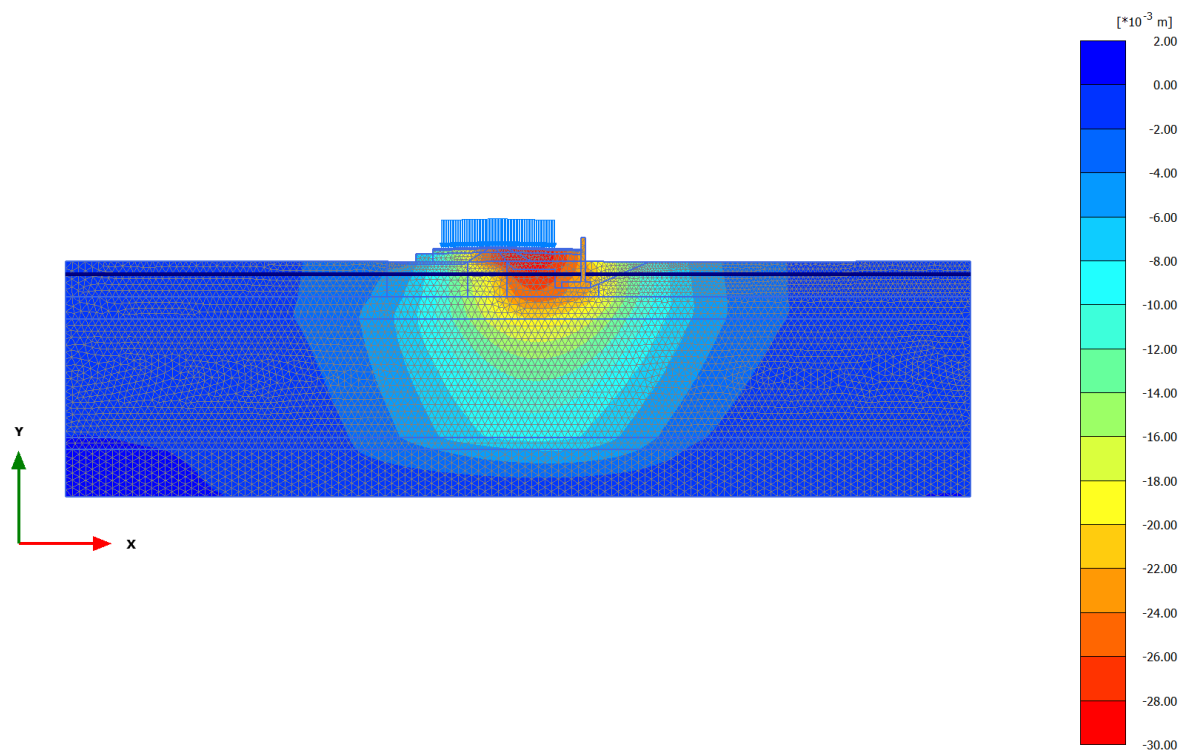
Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $0.9035 \cdot 10^{-6}$ m (Element 10224 at Node 24083)

Minimum value = -0.02979 m (Element 458 at Node 10928)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 200 di 219

2.1.1.2.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/170), Total displacements u_y



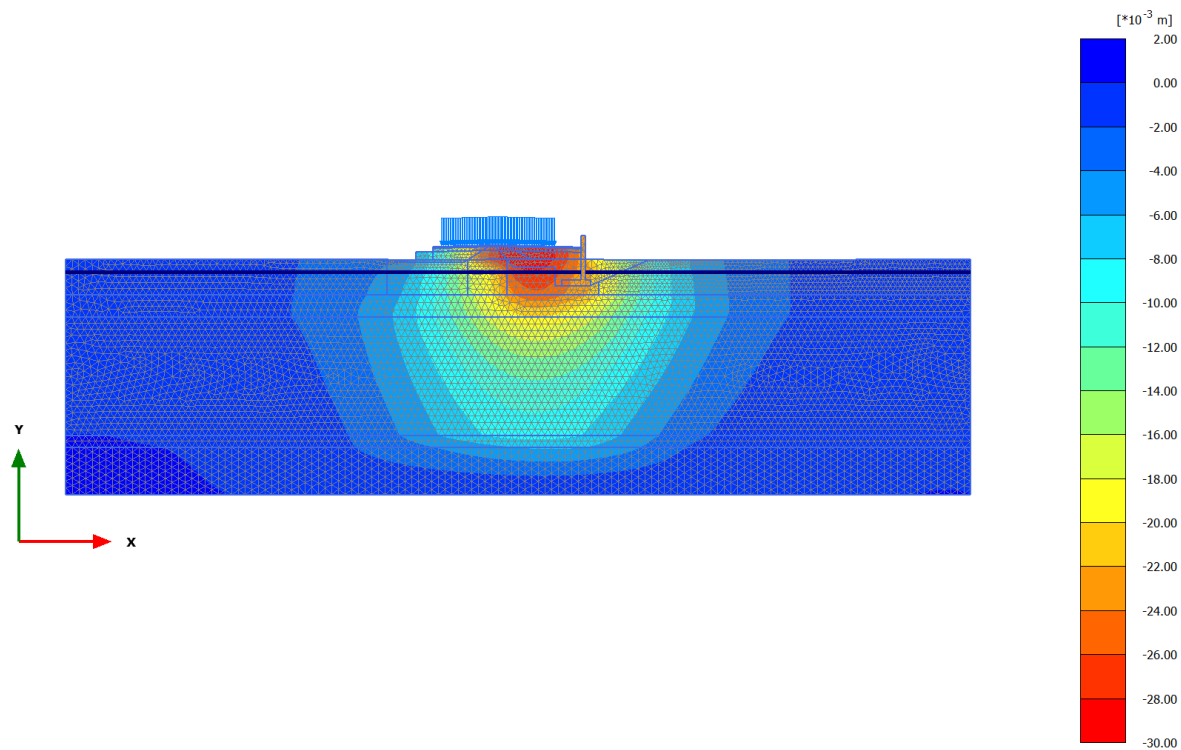
Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $0.01562 \cdot 10^{-3}$ m (Element 10298 at Node 24038)

Minimum value = -0.02958 m (Element 458 at Node 10928)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 201 di 219

2.1.1.2.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/180), Total displacements u_y



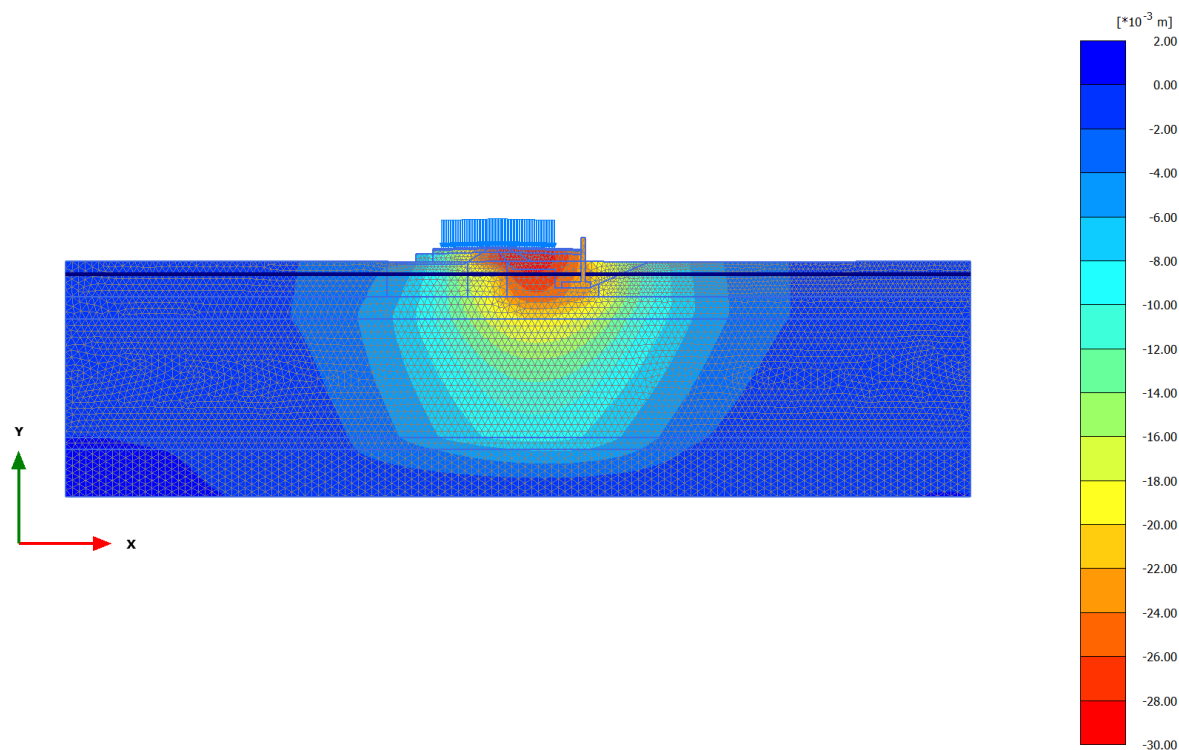
Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $0.01587 \cdot 10^{-3}$ m (Element 10298 at Node 24037)

Minimum value = -0.02983 m (Element 458 at Node 11120)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 202 di 219

2.1.1.2.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/226), Total displacements u_y



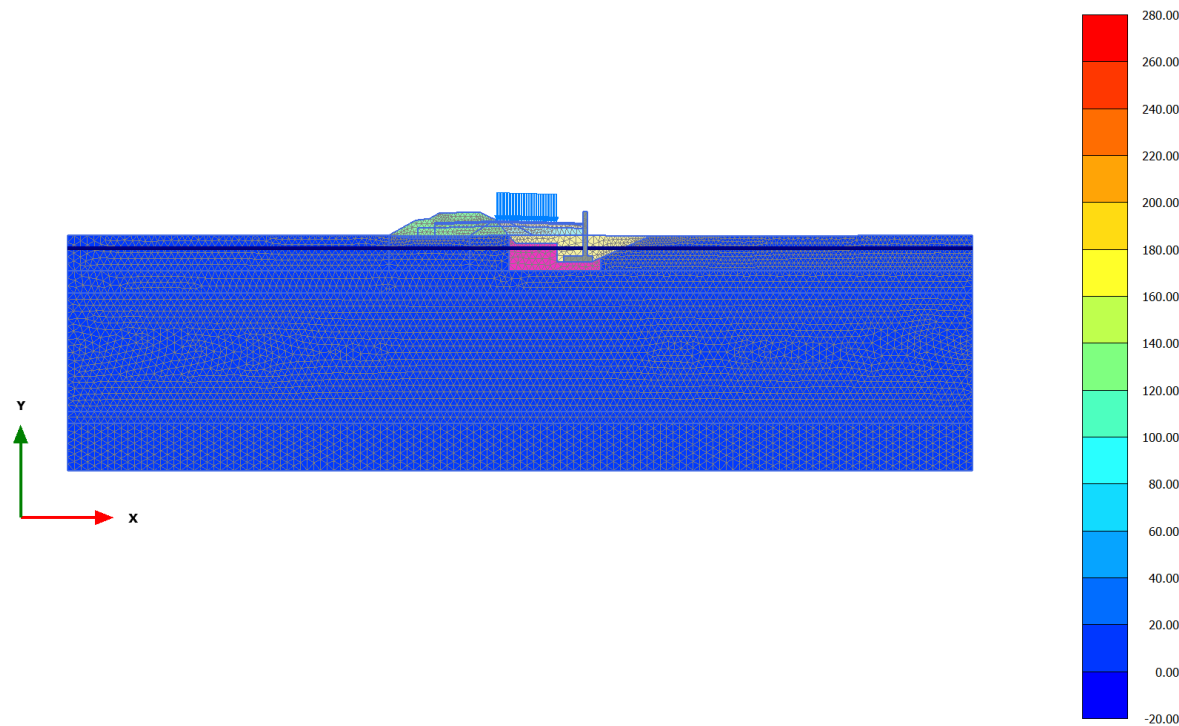
Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $0.01593 \cdot 10^{-3}$ m (Element 10298 at Node 24037)

Minimum value = -0.02983 m (Element 458 at Node 11120)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 203 di 219

2.2.1.1.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/115), Isotropic overconsolidation ratio



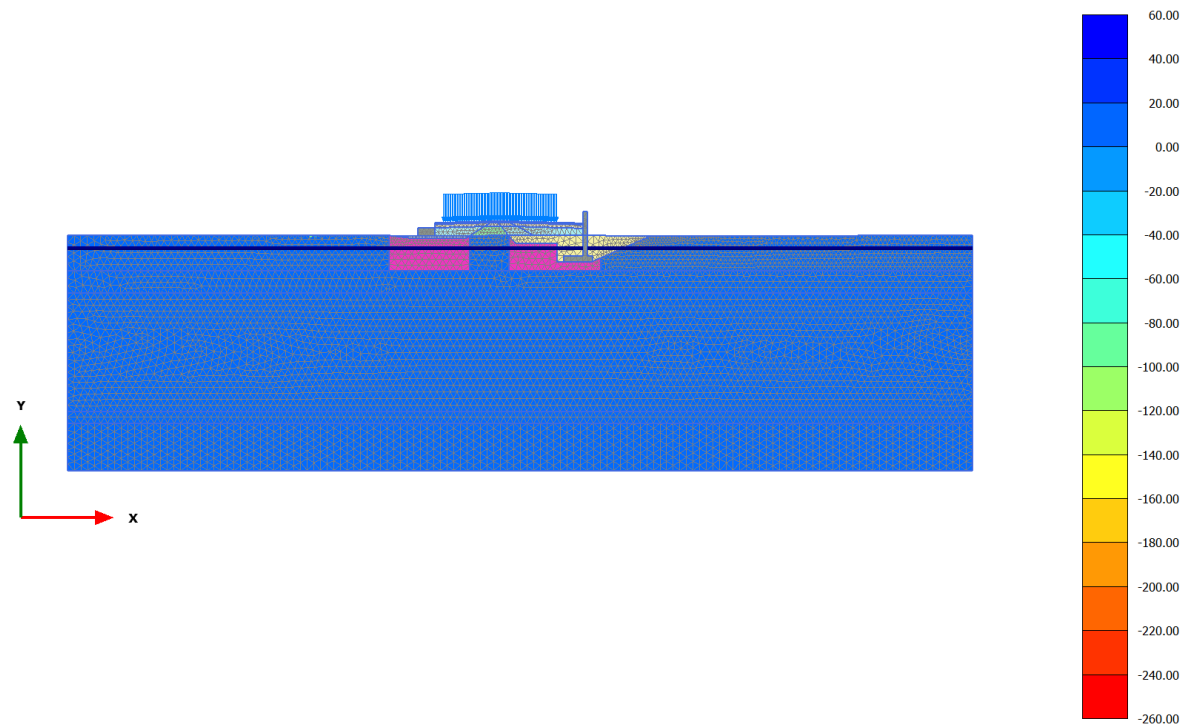
Isotropic overconsolidation ratio (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 259.8 (Element 3183 at Node 5551)

Minimum value = -19.42 (Element 3248 at Node 6835)

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 204 di 219

2.2.1.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/170), Isotropic overconsolidation ratio

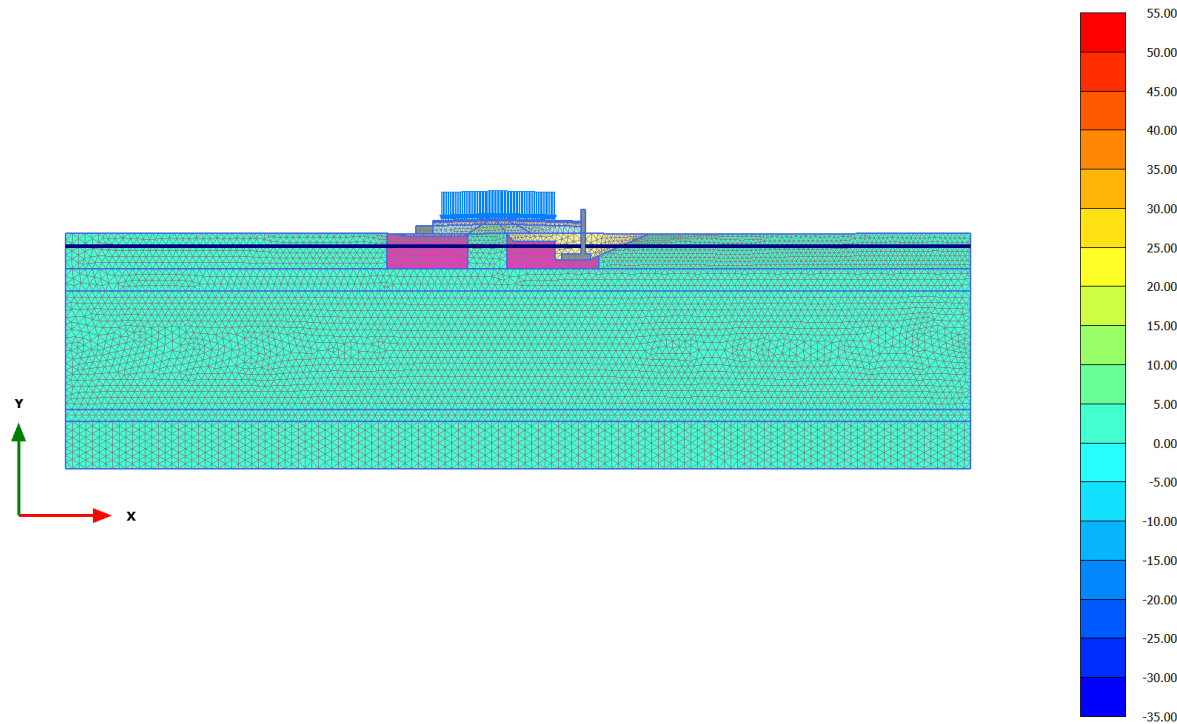


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 58.00 (Element 3229 at Node 6175)

Minimum value = -241.4 (Element 1563 at Node 17776)

2.2.1.1.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/180), Isotropic overconsolidation ratio



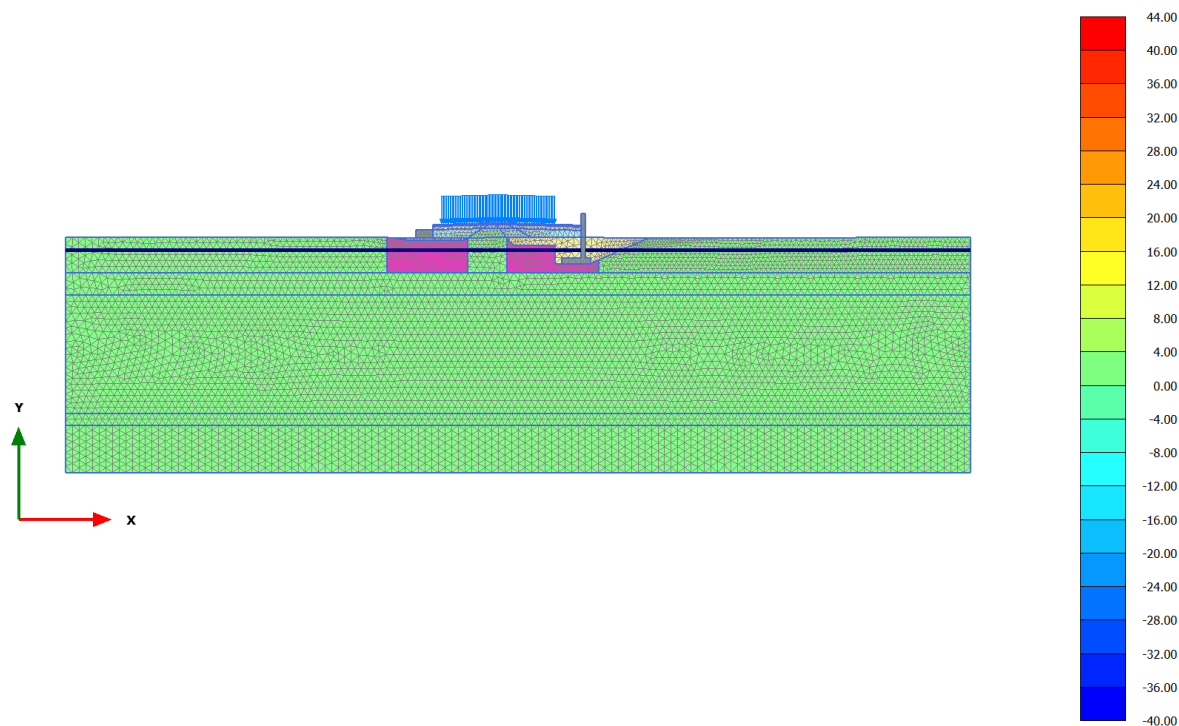
Isotropic overconsolidation ratio (scaled up 0.0200 times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 52.02 (Element 3229 at Node 6175)

Minimum value = -31.34 (Element 3226 at Node 6173)

	VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA					
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 3/3	COMMESSA IA4S	LOTTO 01 D29	CODIFICA CL	DOCUMENTO GE0006 003	REV. A	FOGLIO 206 di 219

2.2.1.1.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/226), Isotropic overconsolidation ratio

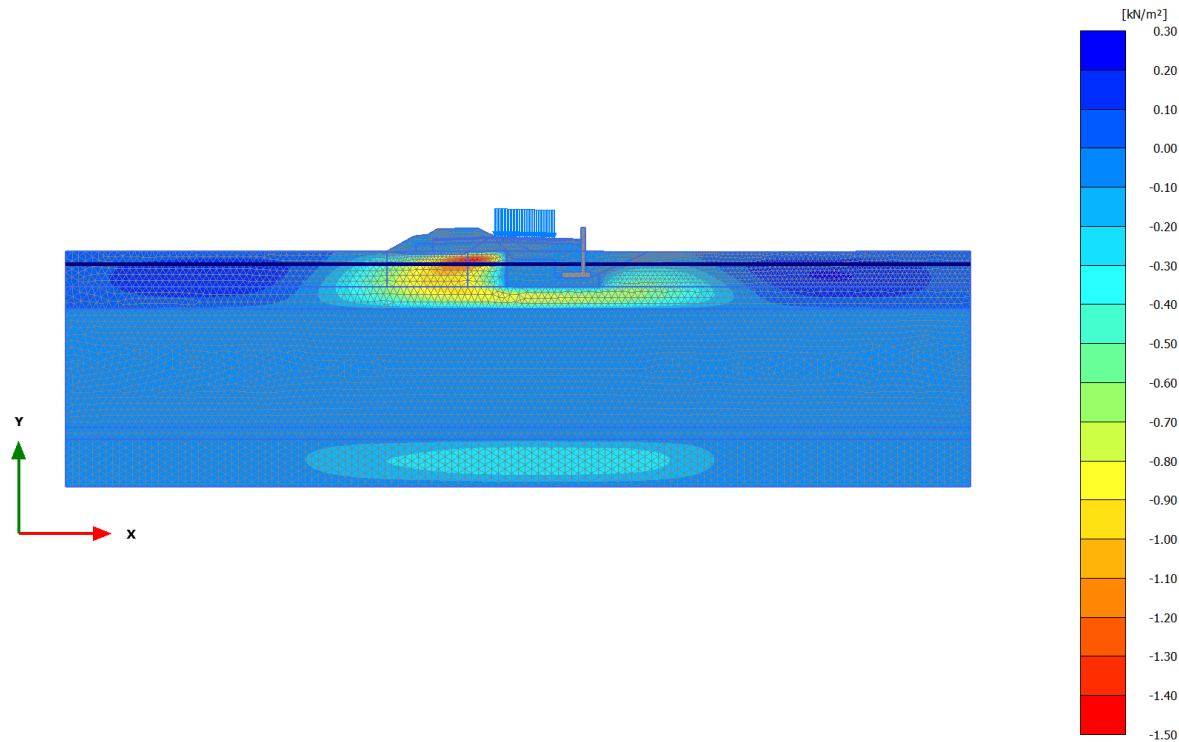


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up 0.0200 times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 41.12 (Element 3229 at Node 6175)

Minimum value = -37.29 (Element 3226 at Node 6173)

2.2.2.1.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/115), Excess pore pressures p_{excess}

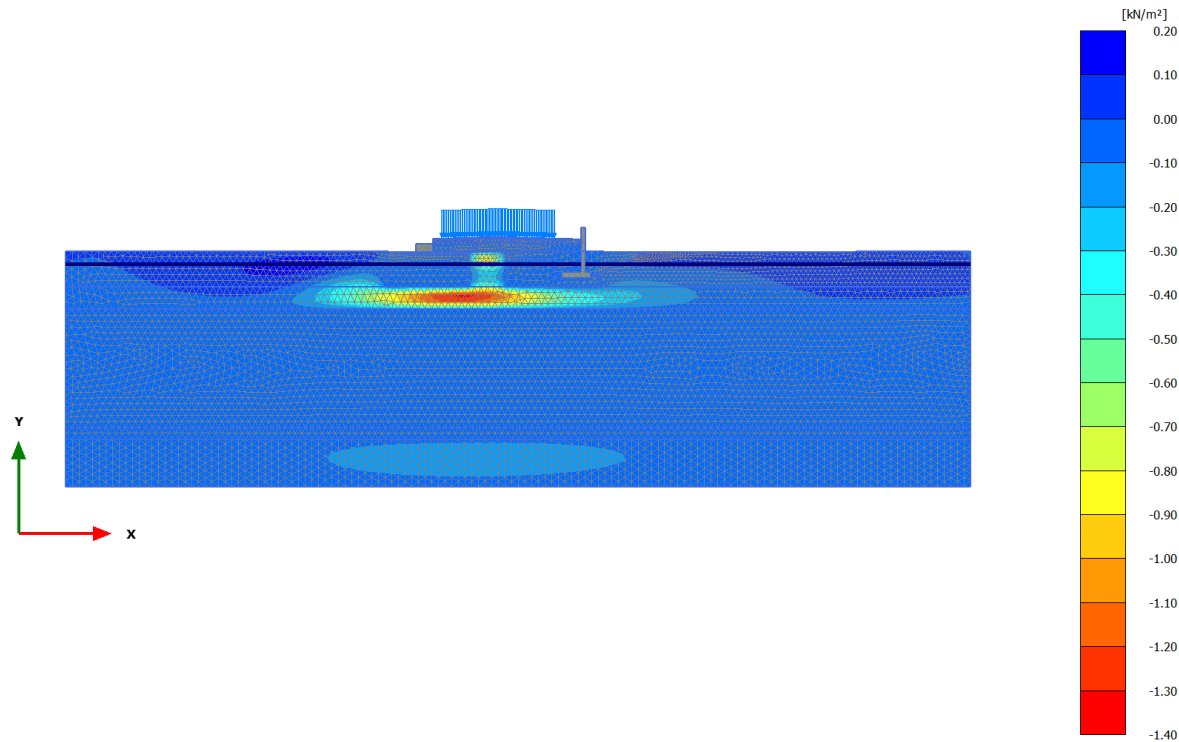


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 5.00 times) (Pressure = negative) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.2072 kN/m² (Element 2176 at Node 3000)

Minimum value = -1.474 kN/m² (Element 1677 at Node 14030)

2.2.2.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/170), Excess pore pressures p_{excess}

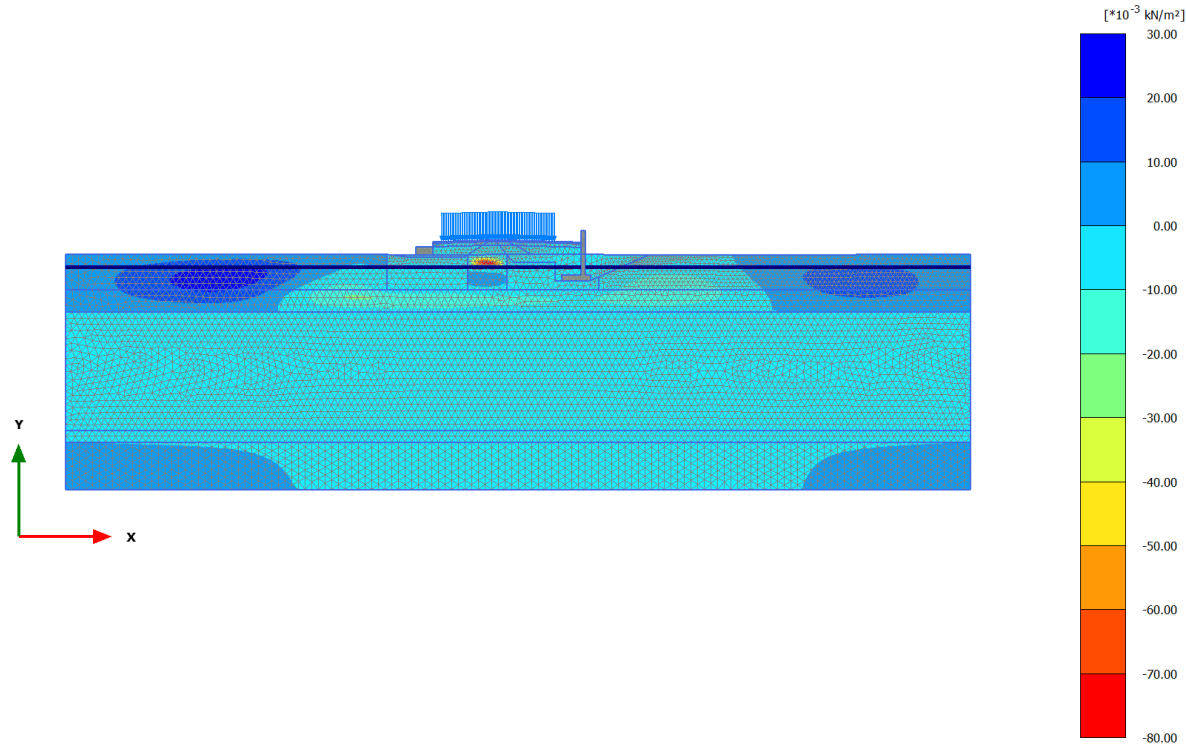


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 5.00 times) (Pressure = negative) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.1456 kN/m² (Element 1388 at Node 18344)

Minimum value = -1.359 kN/m² (Element 3672 at Node 14623)

2.2.2.1.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/180), Excess pore pressures p_{excess}

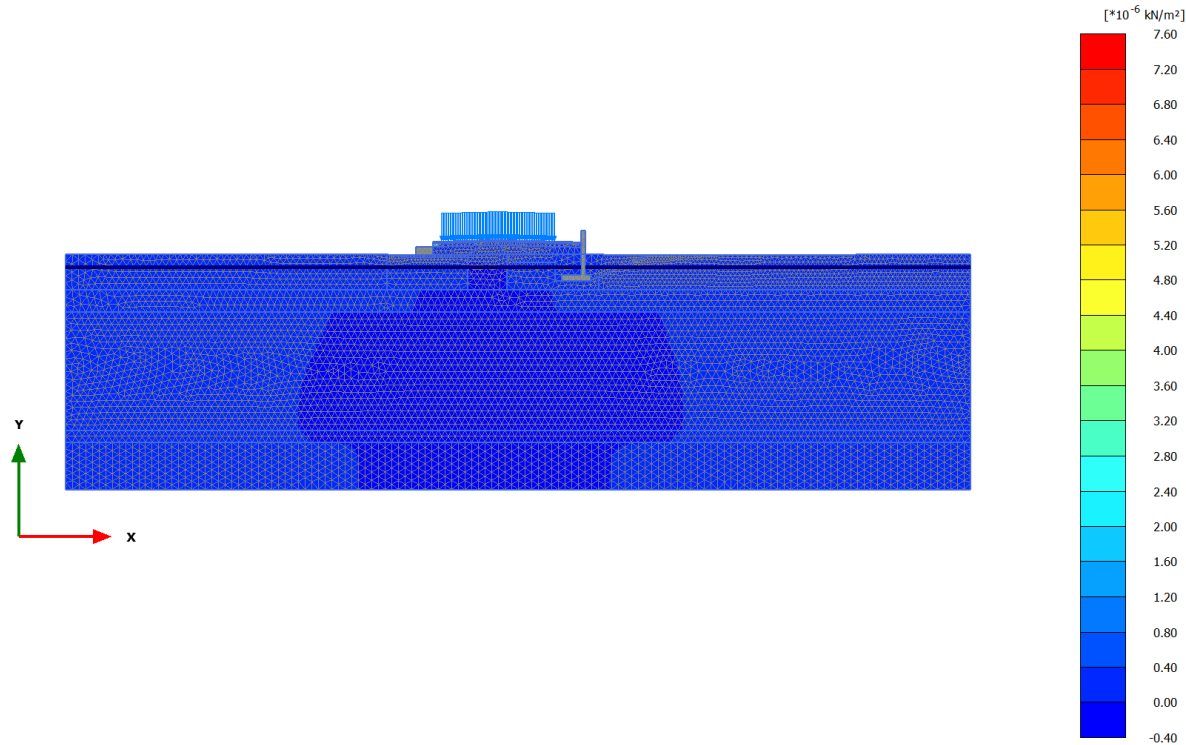


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 20.0 times) (Pressure = negative) (Time $20.08 \cdot 10^{-3}$ day)

Maximum value = 0.02562 kN/m² (Element 1138 at Node 19916)

Minimum value = -0.07853 kN/m² (Element 1678 at Node 13553)

2.2.2.1.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/226), Excess pore pressures p_{excess}

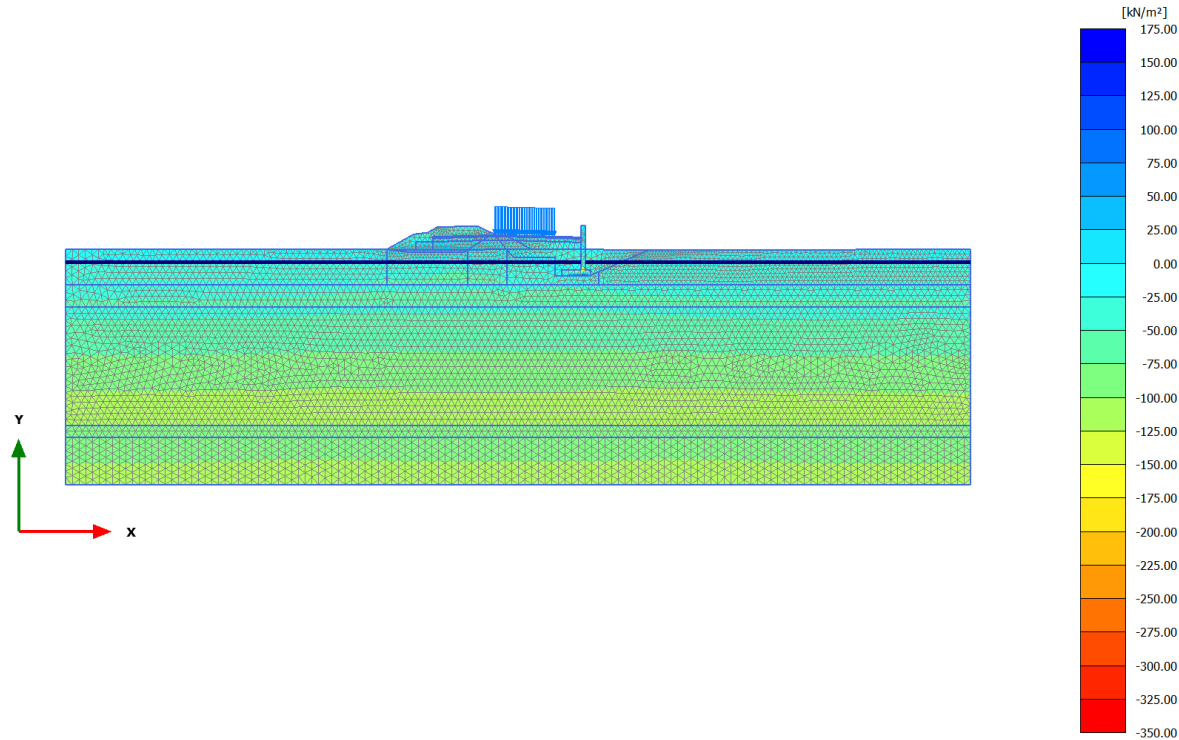


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up $200 \cdot 10^{-3}$ times) (Pressure = negative) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $7.425 \cdot 10^{-6} \text{ kN/m}^2$ (Element 222 at Node 14066)

Minimum value = $-0.3226 \cdot 10^{-6} \text{ kN/m}^2$ (Element 387 at Node 14438)

2.2.3.1.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/115), Cartesian effective stress σ'_{xx}

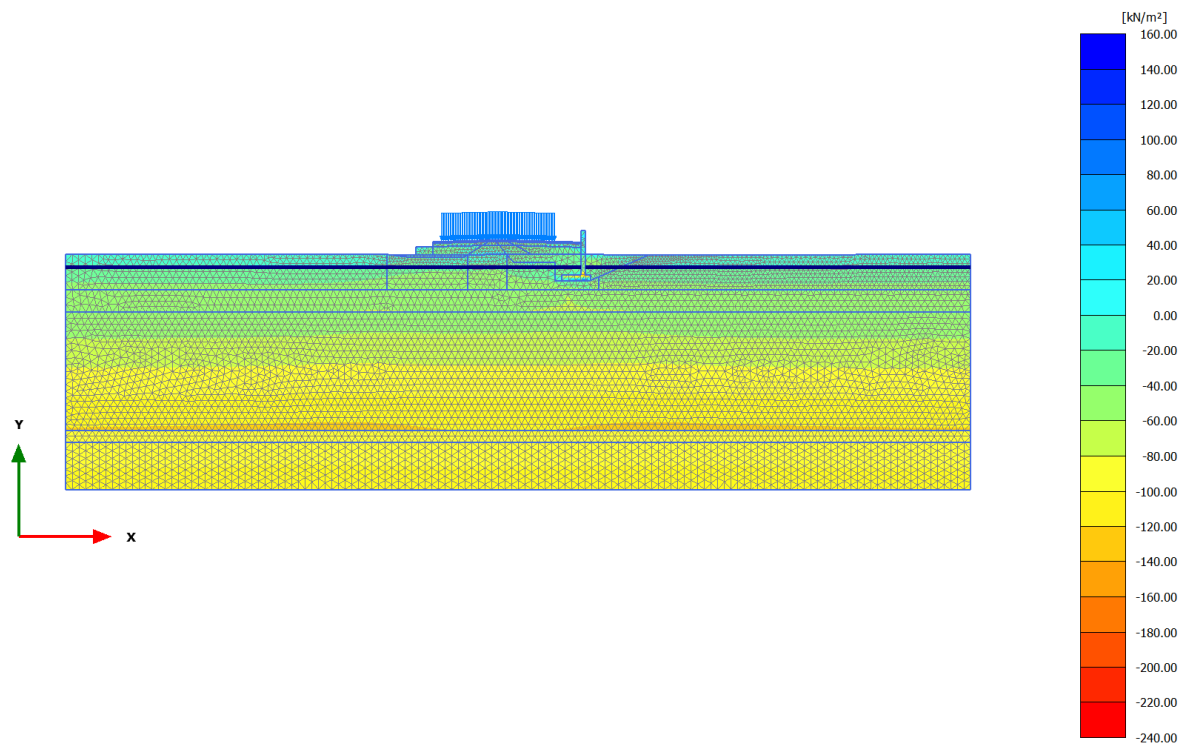


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 159.0 kN/m² (Element 3275 at Node 10369)

Minimum value = -331.8 kN/m² (Element 23 at Node 11906)

2.2.3.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/170), Cartesian effective stress σ'_{xx}

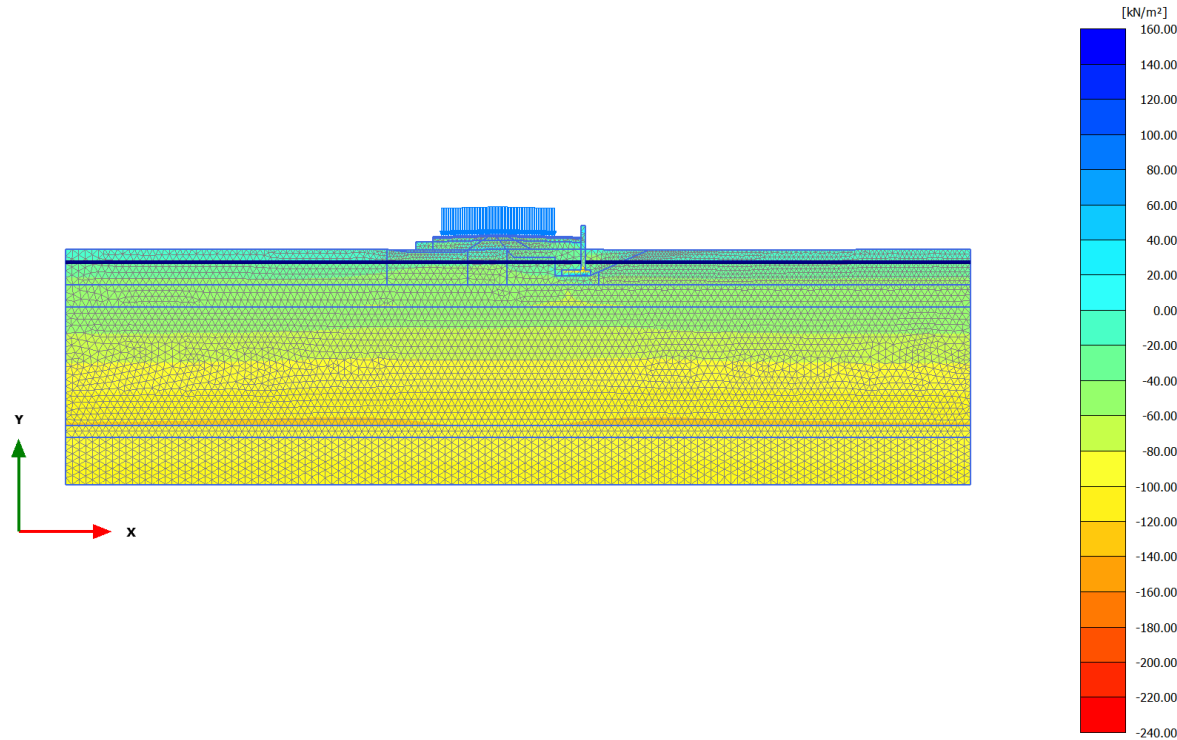


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 145.9 kN/m² (Element 3275 at Node 10369)

Minimum value = -227.8 kN/m² (Element 18 at Node 11633)

2.2.3.1.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/180), Cartesian effective stress σ'_{xx}

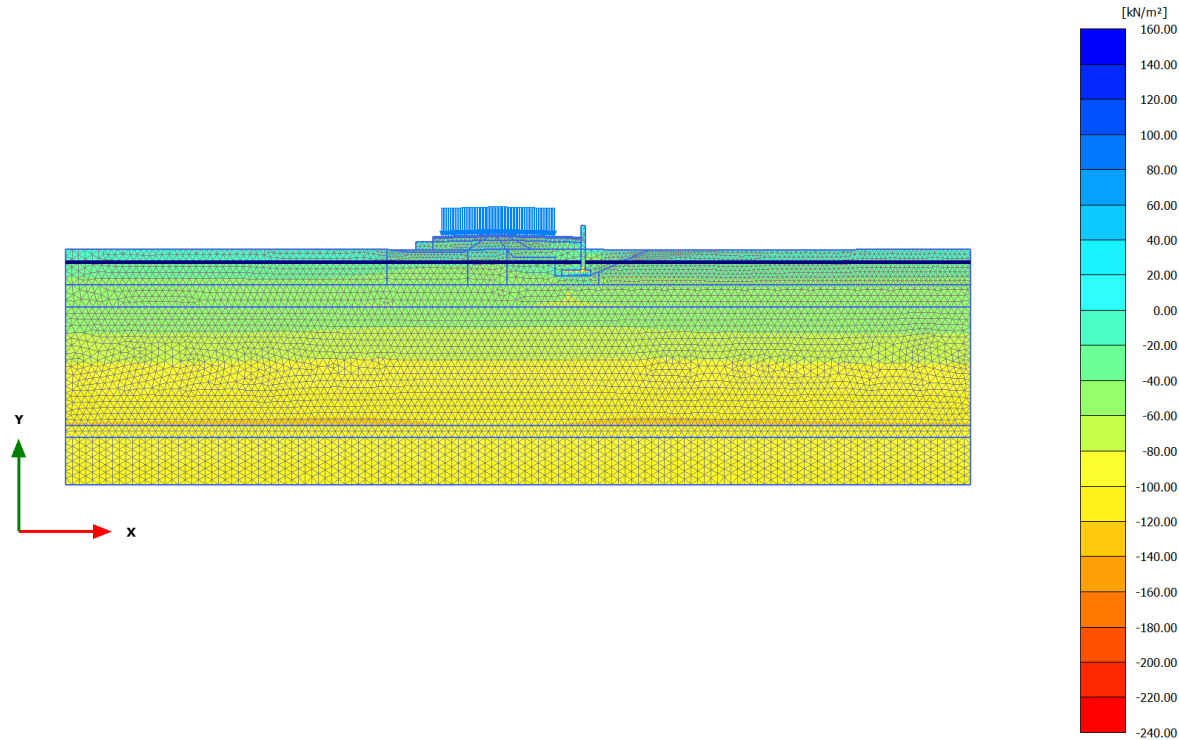


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 145.5 kN/m² (Element 3275 at Node 10369)

Minimum value = -232.4 kN/m² (Element 18 at Node 11633)

2.2.3.1.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/226), Cartesian effective stress σ'_{xx}

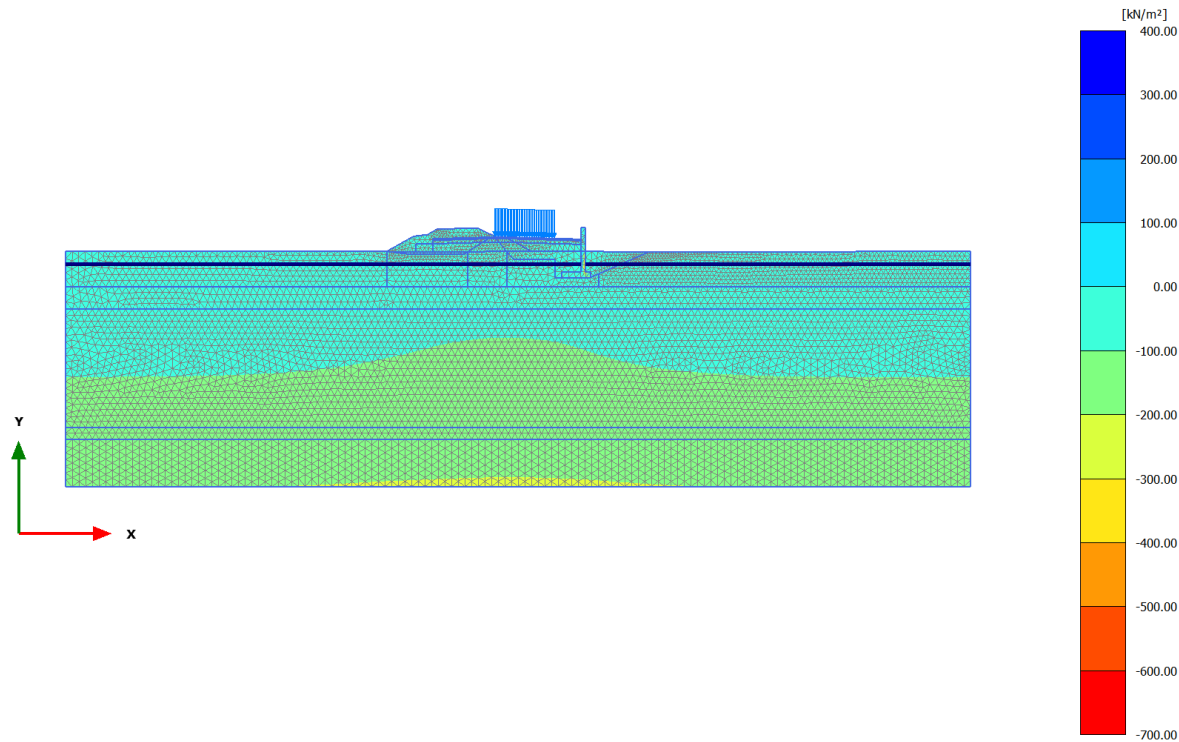


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 145.5 kN/m² (Element 3275 at Node 10369)

Minimum value = -232.4 kN/m² (Element 18 at Node 11633)

2.2.3.2.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/115), Cartesian effective stress σ'_{yy}

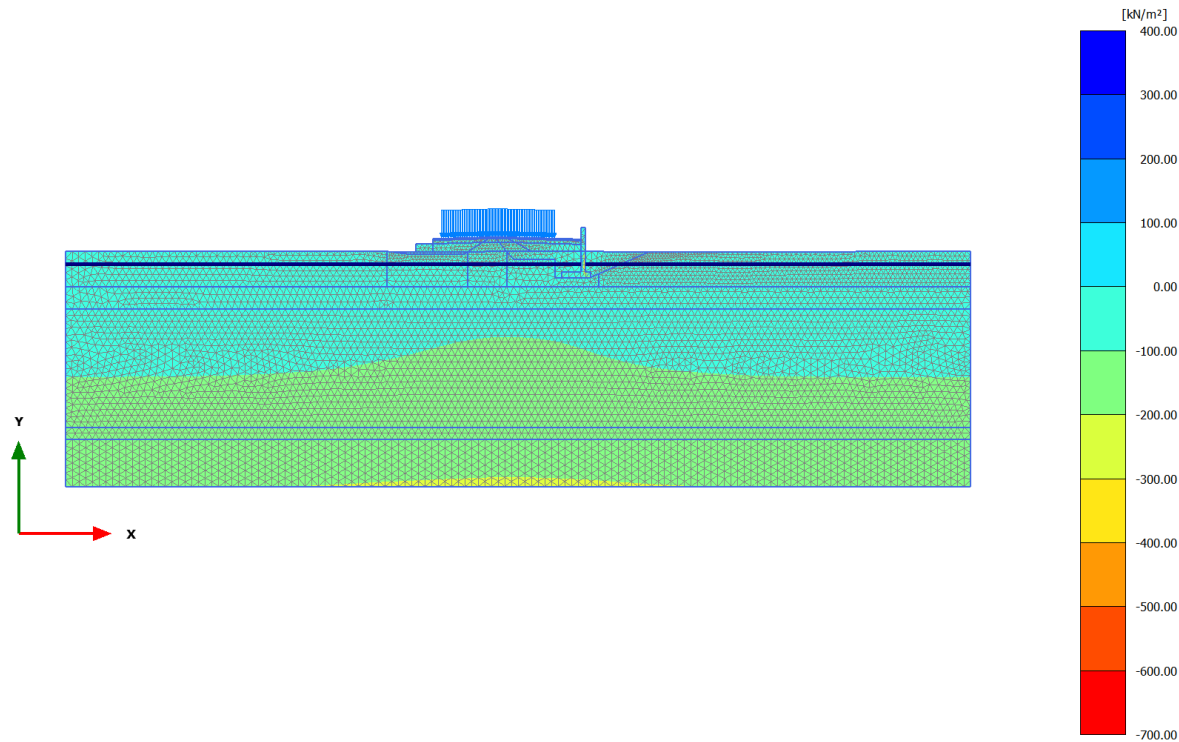


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 364.4 kN/m² (Element 3262 at Node 10416)

Minimum value = -662.5 kN/m² (Element 3264 at Node 10358)

2.2.3.2.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/170), Cartesian effective stress σ'_{yy}

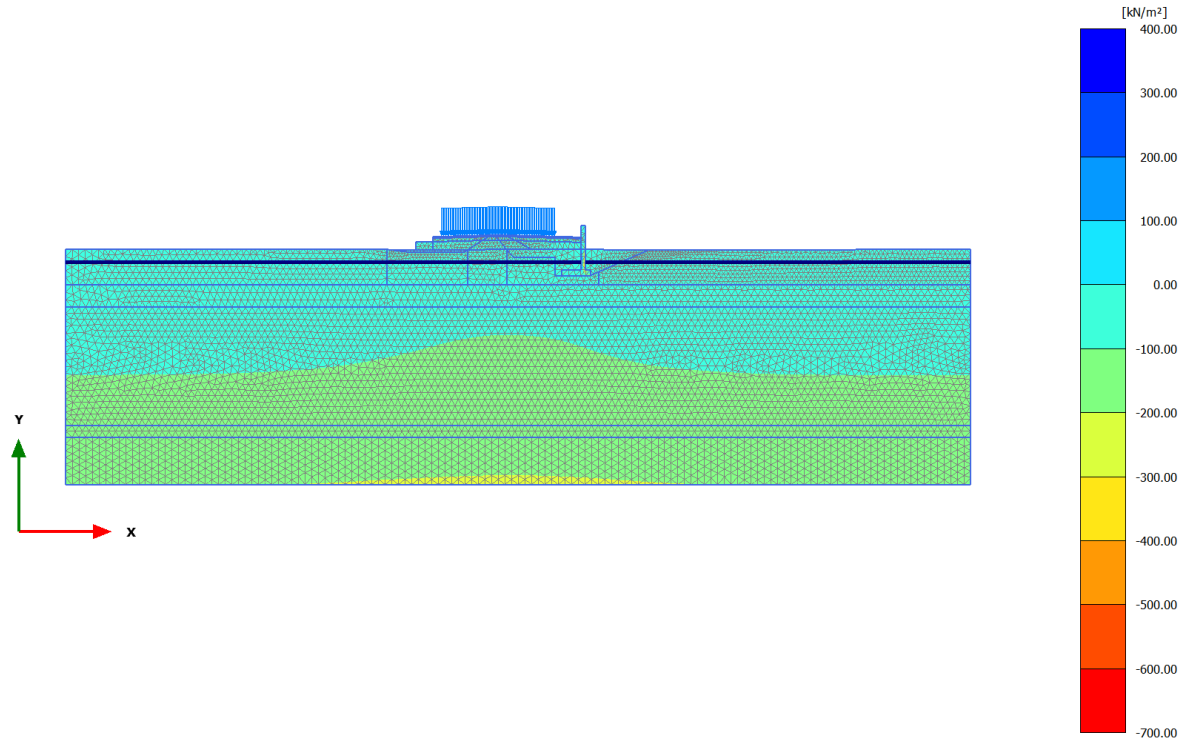


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 379.9 kN/m² (Element 3262 at Node 10416)

Minimum value = -679.0 kN/m² (Element 3264 at Node 10358)

2.2.3.2.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/180), Cartesian effective stress σ'_{yy}

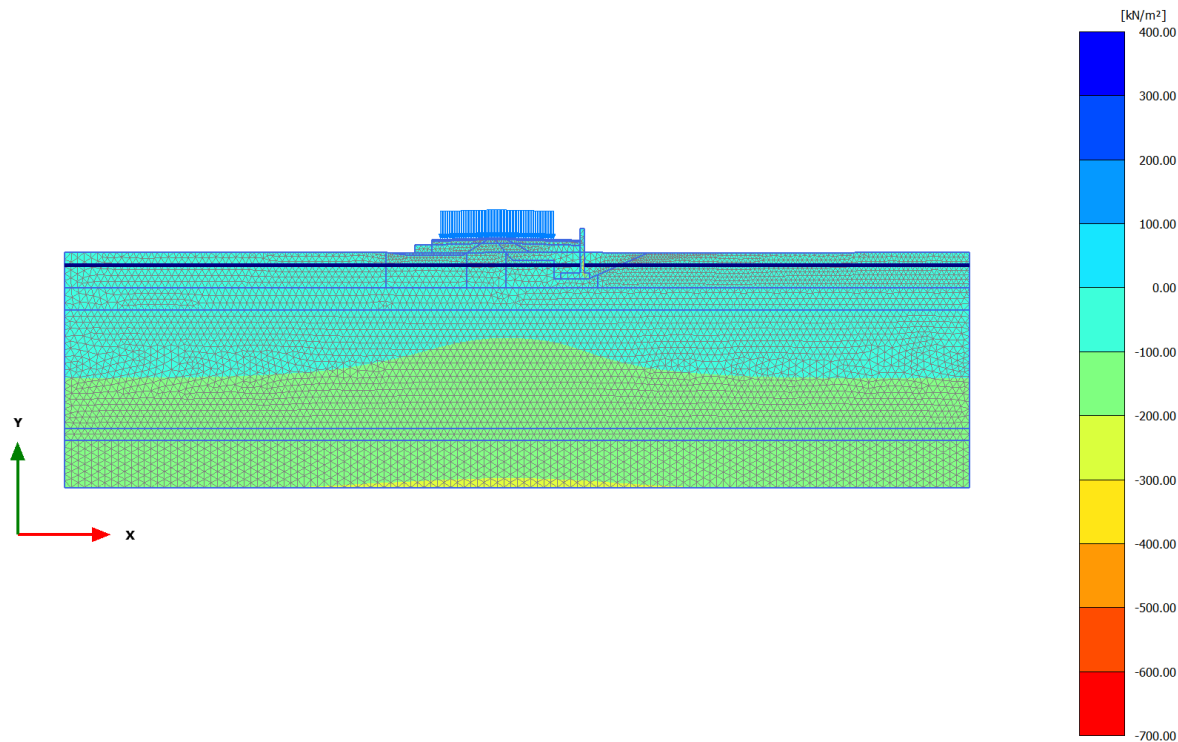


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 382.2 kN/m² (Element 3262 at Node 10416)

Minimum value = -681.6 kN/m² (Element 3264 at Node 10358)

2.2.3.2.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/226), Cartesian effective stress σ'_{yy}



Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 382.2 kN/m² (Element 3262 at Node 10416)

Minimum value = -681.6 kN/m² (Element 3264 at Node 10358)

