

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 1/3

SCALA:

-

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

IA4S 01 D 29 CL GE0006 001 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 | |
| | | | | | | | | Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma | |
| | | | | | | | | n. 13902/2018 | |

File: IA4S01D29CLGE0006001A

n. Elab.: 4-07

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 <i>Stati limite ultimi (SLU)</i> | 9 |
| 3.2.2 <i>Stati limite di esercizio (SLE)</i> | 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 <i>Stati limite di riferimento per le verifiche sismiche</i> | 13 |
| 3.4.2 <i>Stati limite ultimi (SLU)</i> | 15 |
| 3.4.3 <i>Stati limite di esercizio (SLE)</i> | 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..... | 23 |
| 5.1 CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI..... | 23 |
| 5.1.1 <i>Slope/W</i> | 23 |
| 5.1.2 <i>Plaxis 2D</i> | 23 |
| 5.2 METODOLOGIE DI VERIFICA ADOTTATE..... | 24 |
| 5.2.1 <i>Verifiche di stabilità in assenza di materiali liquefacibili</i> | 24 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.2.2 | Verifiche di stabilità in presenza di materiali liquefacibili | 24 |
| 5.2.3 | Valutazione degli spostamenti | 25 |
| 6. | CARATTERISTICHE DEL CORPO STRADALE FERROVIARIO | 27 |
| 6.1 | DESCRIZIONE DEI RILEVATI FERROVIARI | 27 |
| 6.2 | MATERIALI COSTITUENTI IL RILEVATO | 27 |
| 6.3 | CARICHI DI PROGETTO | 28 |
| 7. | CARATTERISTICHE DEGLI INTERVENTI DI TRATTAMENTO | 30 |
| 7.1 | COLONNE IN DEEP MIXING | 30 |
| 7.1.1 | Descrizione della tecnica | 30 |
| 7.1.2 | Dimensionamento dell'intervento | 34 |
| 7.2 | COLONNE DI GHIAIA | 38 |
| 7.2.1 | Descrizione della tecnica | 38 |
| 7.2.2 | Dimensionamento dell'intervento | 40 |
| 8. | SELEZIONE DELLE SEZIONI DI CALCOLO SIGNIFICATIVE | 42 |
| 9. | SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 0+400 | 43 |
| 9.1 | STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO | 43 |
| 9.2 | VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE | 44 |
| 9.2.1 | Verifiche SLU in condizioni statiche | 45 |
| 9.2.2 | Verifiche SLU in condizioni sismiche | 46 |
| 9.3 | VERIFICHE SLE – VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI | 51 |
| 9.3.1 | Analisi del rilevato senza interventi per stima cedimenti | 51 |
| 9.3.2 | Analisi per valutazione possibile attrito negativo sui pali di fondazione del muro di sostegno senza interventi | 59 |
| 9.3.3 | Analisi dimensionamento colonne in Deep Mixing (DCM) | 64 |
| 9.3.4 | Analisi per valutazione possibile attrito negativo sui pali di fondazione del muro di sostegno con interventi | 68 |
| 9.3.5 | Analisi finali rilevato con interventi | 72 |
| 10. | SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 0+600 | 80 |

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 1/3

| | | | | | |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|--------------------|
| COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A | FOGLIO 4 di 419 |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|--------------------|

| | | |
|--------|---|-----|
| 10.1 | STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO | 80 |
| 10.2 | VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE | 82 |
| 10.2.1 | <i>Verifiche SLU in condizioni statiche</i> | 82 |
| 10.2.2 | <i>Verifiche SLU in condizioni sismiche (co-sismica)</i> | 83 |
| 10.2.3 | <i>Verifiche SLU in condizioni di terreno liquefatto (post-sismica)</i> | 84 |
| 10.3 | VERIFICHE SLU – STABILITÀ GLOBALE DEL RILEVATO CON TRATTAMENTO..... | 90 |
| 10.3.1 | <i>Dimensionamento delle colonne in Deep Mixing</i> | 90 |
| 10.4 | VERIFICHE SLE – VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI | 96 |
| 11. | SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 0+950 “FERMATA SAN MARCO” | 97 |
| 11.1 | STRATIGRAFIA E PARAMETRI GEOTECNICI DI CALCOLO | 98 |
| 11.2 | VERIFICHE SLE – VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI | 99 |
| 11.2.1 | <i>Analisi preliminari del rilevato senza interventi</i> | 99 |
| 12. | CONSIDERAZIONI FINALI SUI RILEVATI DA 0+000 A 1+250..... | 108 |
| | ALLEGATO A – RISULTATI ANALISI PLAXIS RIL. 0+400 SENZA INTERVENTI | 111 |
| | ALLEGATO B – RISULTATI ANALISI PLAXIS RIL. 0+400 PER ATTRITO NEGATIVO SENZA INTERVENTI... | 169 |
| | ALLEGATO C – RISULTATI ANALISI PLAXIS RIL. 0+400 PER ATTRITO NEGATIVO CON INTERVENTI..... | 227 |
| | ALLEGATO D – RISULTATI ANALISI PLAXIS RIL. 0+400 CON INTERVENTI | 289 |
| | ALLEGATO E – RISULTATI ANALISI PLAXIS FERMATA SAN MARCO..... | 358 |

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 0+000 e la progressiva 1+250 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 proposti per il progetto.

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

Nei Cap. 9, 10 e 11 si riportano, per ciascuna delle 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 e quelli definitivi nel presente PD in relazione al contesto specifico, geotecnico, delle opere, delle fasi costruttive previste dal progetto di cantierizzazione.

| | | | | | | |
|--|---|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  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 1/3 | COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A |

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 1/3

| | | | | | |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|--------------------|
| COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A | FOGLIO 7 di 419 |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|--------------------|

- [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))

| | | | | | | |
|--|---|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  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 1/3 | COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A |

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.

| | | | | | | |
|---|---|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  | 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 1/3 | COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A |

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 Tabella 1 (Tab. 5.2.V del Doc Rif. [7]) e i coefficienti di combinazione ψ in Tab. 5.2.VI.

| | | 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 |

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

In Tabella 1 (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 | gr1 | 0,80 ⁽²⁾ | 0,80 ⁽³⁾ | 0,0 |
| | gr2 | 0,80 ⁽²⁾ | 0,80 ⁽³⁾ | - |
| | gr3 | 0,80 ⁽²⁾ | 0,80 ⁽³⁾ | 0,0 |
| | gr4 | 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 | $\gamma_{\phi'}$ | 1.0 | 1.25 |
| Coesione efficace | $\gamma_{c'}$ | 1.0 | 1.25 |
| Resistenza non drenata | γ_{Cu} | 1.0 | 1.4 |
| Peso dell'unità di volume | γ_{γ} | 1.0 | 1.0 |

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

| | | | | | | |
|--|---|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  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 1/3 | COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A |

Tabella 5: Coefficienti parziali per le verifiche di stabilità globale (R2) - (Tab. 6.8.1, 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;

- 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.

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 1/3

| | | | | | |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|---------------------|
| COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A | FOGLIO 15 di 419 |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|---------------------|

- 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 1/3

| | | | | | |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|---------------------|
| COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A | FOGLIO 16 di 419 |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|---------------------|

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

| | | | | | | |
|--|---|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  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 1/3 | COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A |

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.

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

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.

| | | | | | | |
|--|---|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  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 1/3 | COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A |

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:

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

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 caratterizzati da potenziale liquefazione sotto il terremoto di progetto in questa tratta sono generalmente a poca profondità da p.c. e di spessore relativamente contenuto. In Figura 1 è rappresentata la sezione tipologica della tratta a rischio liquefazione e il terreno di fondazione sottostante con lo strato di materiale liquefacibile.

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] | | | |
| 0+000 – 0+600 | SCPTU01, S1, S2 | +1.7 | - | - | - | - | - (Nessuna) | - |
| 0+600 – 0+900 | S3, SCPTU02 | +2.0 | 3 | +0.5 | -2.5 | < 1 | 0.9 (Bassa) | 3.0 |
| 0+900 – 1+250 | S4, SCPU03, S5 | +2.5 | - | - | - | - | - (Nessuna) | - |

(*) il valore riportato nella seconda linea in corsivo si riferisce ad un valore di V_n pari a 100 anni, tra parentesi è indicata l'opera a cui si riferisce

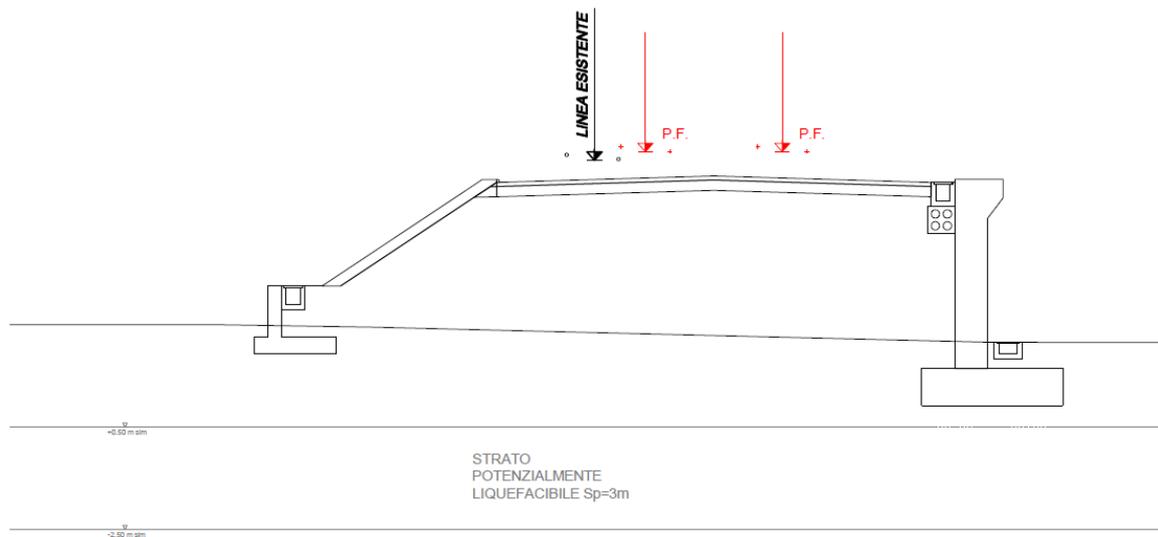


Figura 1- Sezione rilevato alla pk 0+600 su strato di terreno liquefacibile

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.

| | | | | | | |
|--|---|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  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 1/3 | COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A |

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.

| | | | | | | |
|--|---|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  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 1/3 | COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A |

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:

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

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 1/3 | <table border="1"> <tr> <td>COMMESSA IA4S</td> <td>LOTTO 01 D29</td> <td>CODIFICA CL</td> <td>DOCUMENTO GE0006 001</td> <td>REV. A</td> <td>FOGLIO 25 di 419</td> </tr> </table> | COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A | FOGLIO 25 di 419 |
| COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A | FOGLIO 25 di 419 | | |

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. Il sovraccarico da traffico ferroviario è stato moltiplicato per un coefficiente $\psi=0.2$ in accordo a Doc. Rif. [7];
- 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). Il sovraccarico da traffico ferroviario è stato moltiplicato per un coefficiente $\psi=0.2$ in accordo a Doc. Rif. [7].

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.



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 1/3

| | | | | | |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|---------------------|
| COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A | FOGLIO 26 di 419 |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|---------------------|

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.

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 14 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.

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, 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.

| | | | | | | |
|--|---|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  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 1/3 | COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A |

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).

La tecnica del deep mixing risulta essere efficace ai fini sia di ridurre i cedimenti che di mitigazione nei confronti della liquefazione. L'adozione di tale tecnica è limitata principalmente dalla necessità di operare con attrezzature di notevole ingombro che ne impediscono di fatto l'utilizzo per interventi in sottofondazione, in zone urbane o in siti di difficile accesso.

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 (boiaccia). 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).

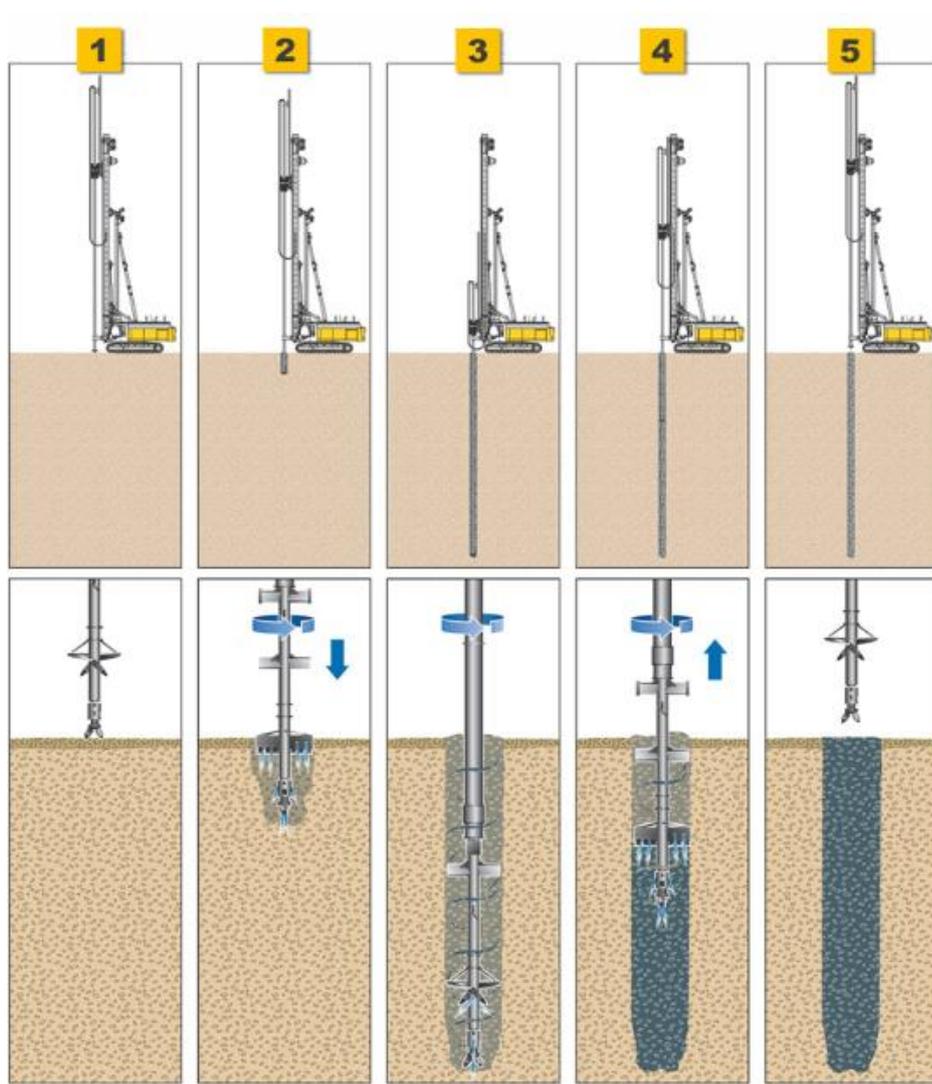


Figura 2: Schema di formazione colonne con la tecnica del deep mixing



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 1/3

| | | | | | |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|---------------------|
| COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A | FOGLIO 32 di 419 |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|---------------------|

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 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 condotta. 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 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 3: 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.

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.

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 (quadrato 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:

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

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

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 4), si valuta la resistenza a compressione non confinata q_u delle colonne.

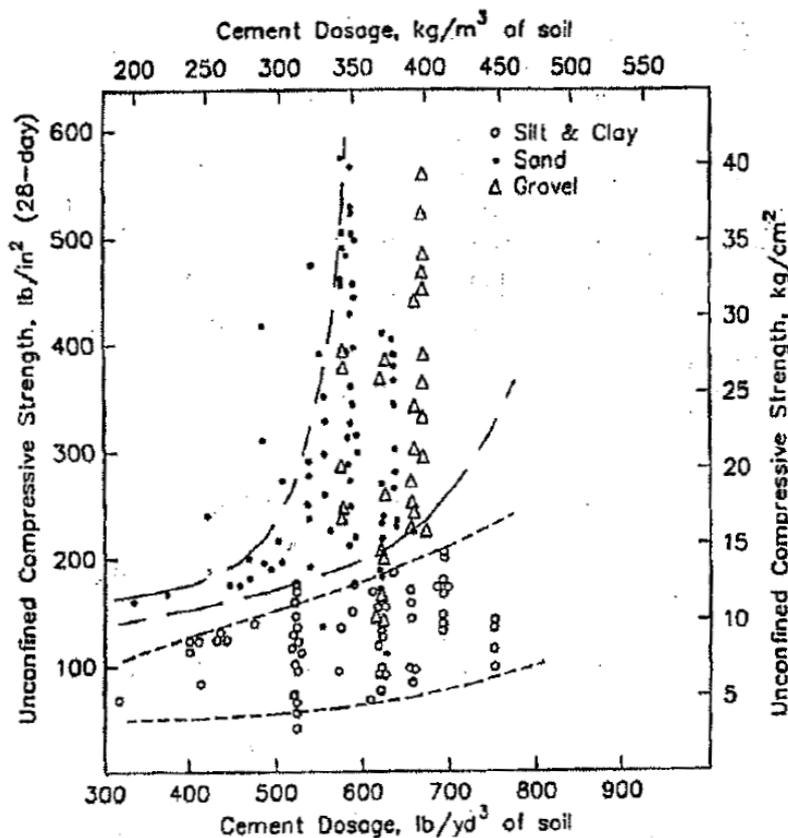


Figura 4: Resistenza del terreno trattato a cemento in funzione del dosaggio di cemento (Taki e Yang, 1991)

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

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

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 4). 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 economiche. Tuttavia, l'ingombro e gli spazi di manovra delle macchine (si veda la Figura 5), 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 5: Tipica attrezzatura per colonne di ghiaia con immissione della ghiaia a secco a fondo foro

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 6: 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

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).

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.

7.2.2 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 dagli 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

$$\text{Dove: } r = A / A_c$$

Con questo valore di rapporto A / A_c si valuta, in base al grafico proposto da Priebe e riportato nella successiva Figura 7, 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.

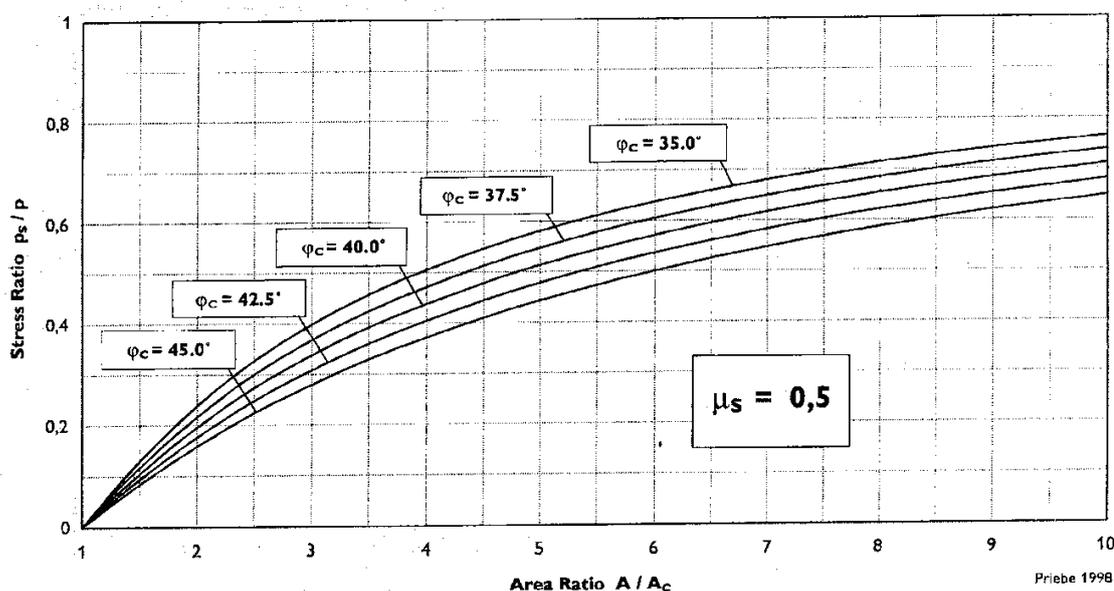


Figura 7: Grafico per stimare la resistenza residua da associare al terreno tra le colonne (Priebe 1998)

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 1/3 | COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A | FOGLIO 42 di 419 |

8. SELEZIONE DELLE SEZIONI DI CALCOLO SIGNIFICATIVE

Oggetto della presente relazione sono i rilevati lungo la tratta di linea ferroviaria compresa tra il km 0+000 e il km 1+250. In questo tratto la sede ferroviaria si sviluppa totalmente in rilevato. In particolare si sono individuate come significative le seguenti sezioni:

- Sezione 0+400: sezione con altezza rilevato pari a circa 5.75 m – tale sezione risulta essere quella con altezza massima nella tratta tra il km 0+000 e il km 1+250 e pertanto viene selezionata per effettuare verifiche dei cedimenti attesi. Tale sezione è stata utilizzata anche per valutare gli effetti in termini di attrito negativo sui pali di fondazione del muro di sostegno del rilevato lato binario pari; questa ultima analisi è stata considerata significativa anche per i successivi tratti di rilevato alto ove il muro prosegue con continuità.
- Sezione 0+600: sezione con altezza rilevato pari a circa 5.10 m – tale sezione risulta essere quella con altezza massima nella tratta tra il km 0+600 e il km 0+900 soggetto a potenziale liquefazione e pertanto viene selezionata per effettuare verifiche di stabilità in condizioni statiche, co-sismiche e post-sismiche.
- Sezione 0+950 “Fermata San Marco”: sezione con altezza rilevato pari a circa 5.50 m – tale sezione, rappresentativa della tratta occupata dalla fermata San Marco (sezione con muro e marciapiedi alti su entrambi i lati della piattaforma ferroviaria) viene analizzata allo scopo di verificare che i cedimenti attesi in esercizio non superino quelli ammissibili, secondo quanto chiarito al punto 3.2.2.

Nel seguito sono riportate le verifiche relative alle sezioni individuate. Per ciascuna sezione 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]).

9. SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 0+400

9.1 Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo

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 0+400

| Strato | Profondità da [m da p.c.] | Profondità a [m da p.c.] | Descrizione |
|--------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|
| A,L1 | 0.0 | 6.5 | L,A; L(A)[S] |
| A,L2 | 6.5 | 14.5 | A(L),L(A) |
| L,A2 | 14.5 | 28 | L(A); L(A)[S]; L(A),S |
| L,A1 | 28 | 39.5 | L(A); L(A)[S] |
| G,S | 39.5 | 43 | S; S(G);G(S);G |
| M | 43 | - | A(M); M |

Tabella 12: Parametri geotecnici di calcolo per la sezione 0+400 – 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 ricomprensione | Permeabilità |
|--------|----------------------|--------------------------------|-----------|-------------------|--------|----------------------------------|---------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|--------------|
| | γ_d | ϕ'_k | ϕ'_d | c'_k | c'_d | c_u | c_u | $E_{op.}$ | CR | RR | k |
| | [kN/m ³] | [°] | [°] | [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 |
| A,L2 | 17.5 | 20.5 | 16.65 | 5 | 4 | 30-40 | 24-32 | - | 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 |
| G,S | 19 | 36 | 28.8 | 0 | 0 | - | - | 50 | - | - | 1.00E-04 |
| 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 1 m slm..

Da un punto di vista della stabilità nei confronti della liquefazione, la sezione di calcolo alla progressiva 0+400 ricade in un tratto in cui le verifiche condotte, sulla base dei risultati delle indagini in sito disponibili, hanno dato esito negativo e pertanto non vi è presenza di materiale potenzialmente liquefacibile.

9.2 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 Tabella 1 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.

| | | | | | | |
|--|---|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  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 1/3 | COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A |

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

9.2.1 Verifiche SLU in condizioni statiche

L'analisi di stabilità globale in campo statico del rilevato tipologico con altezza pari a 5.95 m è stata condotta in accordo alla combinazione DA1C2 assumendo i parametri geotecnici M2 di cui in Tabella 18 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 Tabella 1; 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 Tabella 1; 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.

In Figura 35, 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:

$$FS^{\text{MIN}} (\text{DA1C2}) = 1.486$$

Essendo soddisfatta la relazione:

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

la verifica di stabilità globale in campo statico risulta soddisfatta.

9.2.2 Verifiche SLU in condizioni sismiche

L'analisi di stabilità globale in campo sismico del rilevato tipologico con altezza pari a 5.95 m alla sezione 0+400 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:

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

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

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.



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 1/3

| | | | | | |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|---------------------|
| COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A | FOGLIO 47 di 419 |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|---------------------|

In Figura 9 e Figura 10 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:

$$FS^{\text{MIN}}=1.758$$

Essendo soddisfatta la relazione:

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

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 0+400

Condizioni statiche A2+M2

Sovraccarico permanente armamento 18.72 kPa

Sovraccarico da traffico Ferroviario 74.5 KPa

| | | | | |
|------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------|
| Name: A,L1 | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 18 kN/m ³ | Cohesion: 8 kPa | Phi: 17.9 ° |
| 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: 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: 480 kPa | Phi: 32 ° |
| Name: CLS | Model: Undrained (Phi=0) | Unit Weight: 25 kN/m ³ | Cohesion: 500 kPa | |

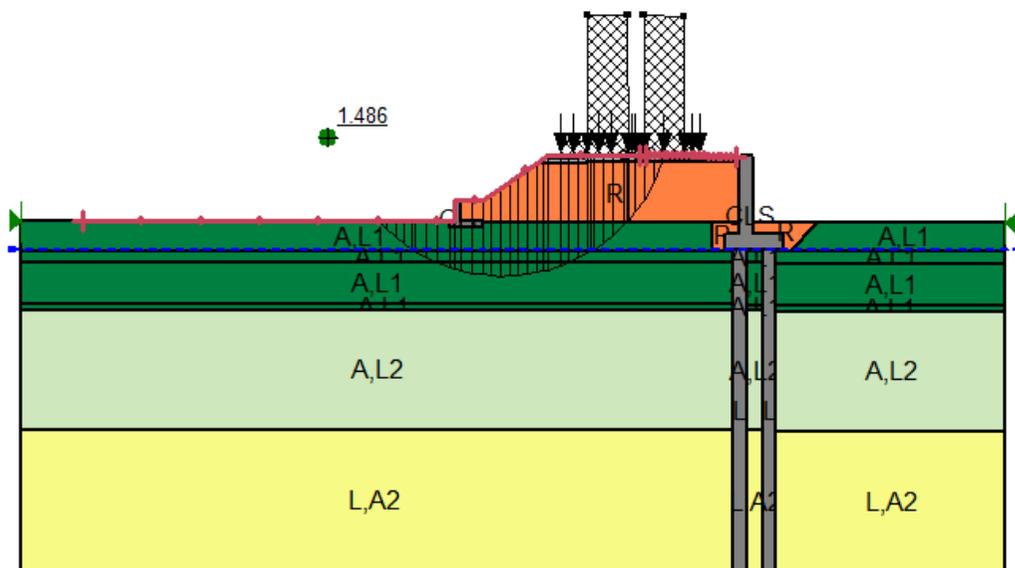


Figura 8: Rilevato H=5.95 m, sez. 0+600 - Analisi di stabilità globale in campo statico DA1

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

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 0+400

Condizioni co-sismiche $kh=0.098$ $kv=-0.049$
Sovraccarico permanente armamento 14.4 kPa
Sovraccarico Ferroviario 11.45 Kpa

| | | | | |
|-----------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------|
| Name: AL1 | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 18 kN/m ³ | Cohesion: 10 kPa | Phi: 22 ° |
| Name: AL2 | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 17.5 kN/m ³ | Cohesion: 5 kPa | Phi: 20.5 ° |
| Name: LA2 | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 19 kN/m ³ | Cohesion: 0 kPa | Phi: 27 ° |
| 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: 480 kPa | Phi: 38 ° |
| Name: CLS | Model: Undrained (Phi=0) | Unit Weight: 25 kN/m ³ | Cohesion: 500 kPa | |

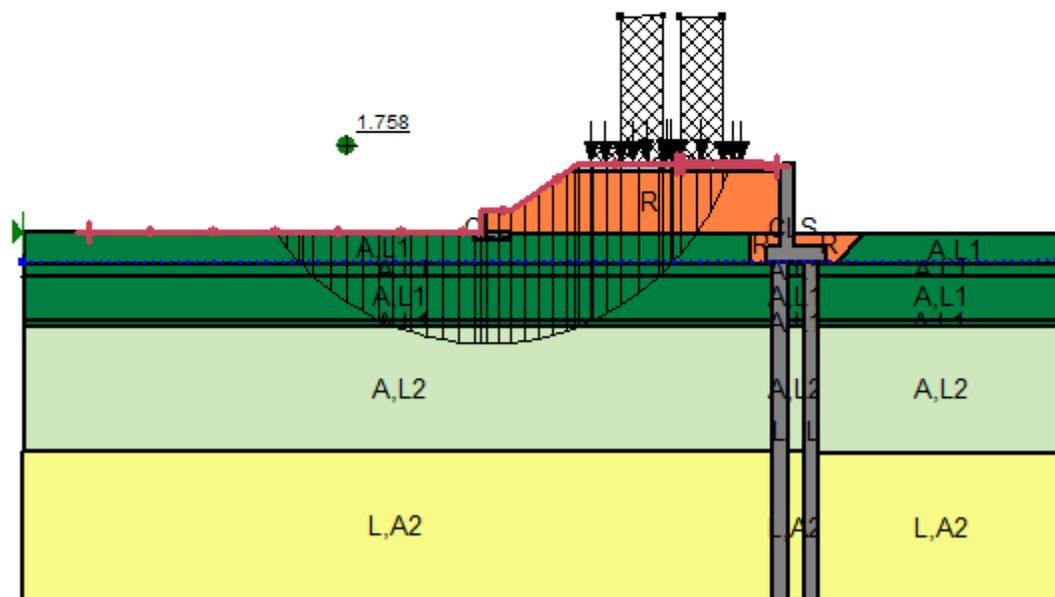


Figura 9: Rilevato H=5.95 m, sez. 0+400 - Analisi di stabilità globale in campo sismico-condizioni co-sismiche (+)

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

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 0+400

Condizioni co-sismiche $k_h=0.098$ $k_v=0.049$
Sovraccarico permanente armamento 14.4 kPa
Sovraccarico Ferroviario 11.45 KpA

| | | | | |
|------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------|
| Name: A,L1 | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 18 kN/m ³ | Cohesion: 10 kPa | Phi: 22 ° |
| 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: 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: 480 kPa | Phi: 38 ° |
| Name: CLS | Model: Undrained (Phi=0) | Unit Weight: 25 kN/m ³ | Cohesion: 500 kPa | |

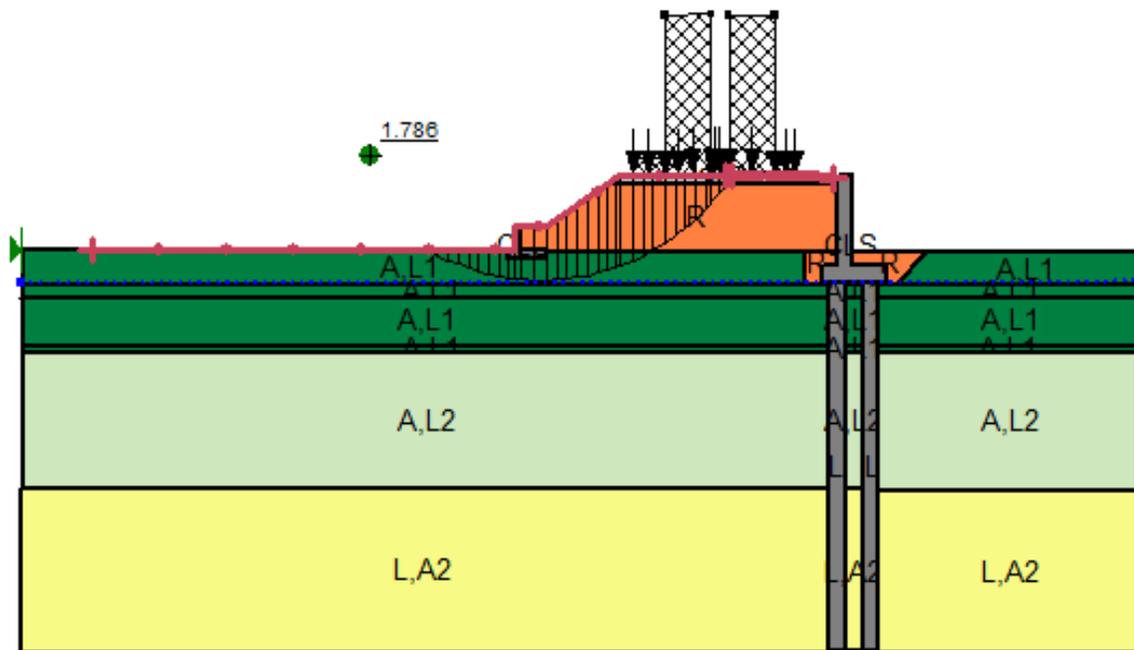


Figura 10: Rilevato $H=5.95$ m, sez. 0+400 - Analisi di stabilità globale in campo sismico - condizioni co-sismiche (-)

| | | | | | | |
|---|---|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|---------------------|
|  | 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 1/3 | COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A | FOGLIO 51 di 419 |

9.3 Verifiche SLE – Valutazione dei cedimenti

Nei paragrafi successivi sono presentati i risultati delle analisi condotte con il codice Plaxis per ottenere sia una valutazione degli spostamenti attesi per la linea ferroviaria di nuova costruzione, sia di quelli attesi per la linea esistente che per una prima parte di esecuzione delle opere rimarrà in esercizio, sia una stima della profondità di riferimento da utilizzarsi nelle valutazioni di attrito negativo sui pali di fondazione del muro di sostegno del rilevato alto binario pari.

9.3.1 Analisi del rilevato senza interventi per stima cedimenti

9.3.1.1 Modelli e fasi di calcolo

Il modello utilizzato per queste analisi è mostrato nella Figura 11 e rappresenta il rilevato di progetto alla progressiva 0+400. L'altezza del rilevato in oggetto è pari a 5.30 metri escluso il pacchetto di armamento ferroviario (ballast, traversine e rotaie) che ha uno spessore ulteriore di 0.65 metri (non rappresentato nel modello ma convertito in sovraccarico).

La stratigrafia di calcolo utilizzata è riportata in Tabella 12.

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

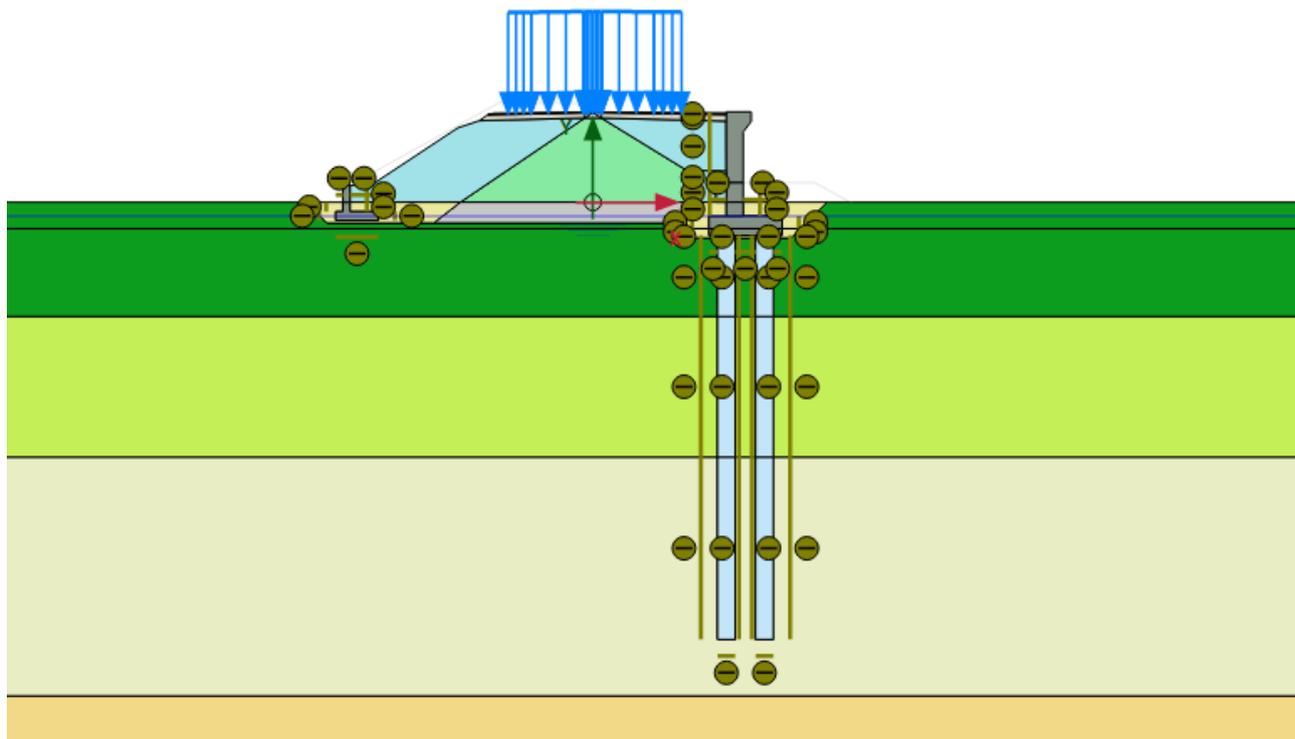


Figura 11: Modello rilevato Sez. 0+400 – senza interventi

In Figura 11 è rappresentata la configurazione finale di progetto del rilevato, sebbene per l'analisi dei cedimenti sia stata presa in considerazione una fase preliminare di esecuzione e consolidazione del rilevato esistente, il cui modello è illustrato in Figura 12.

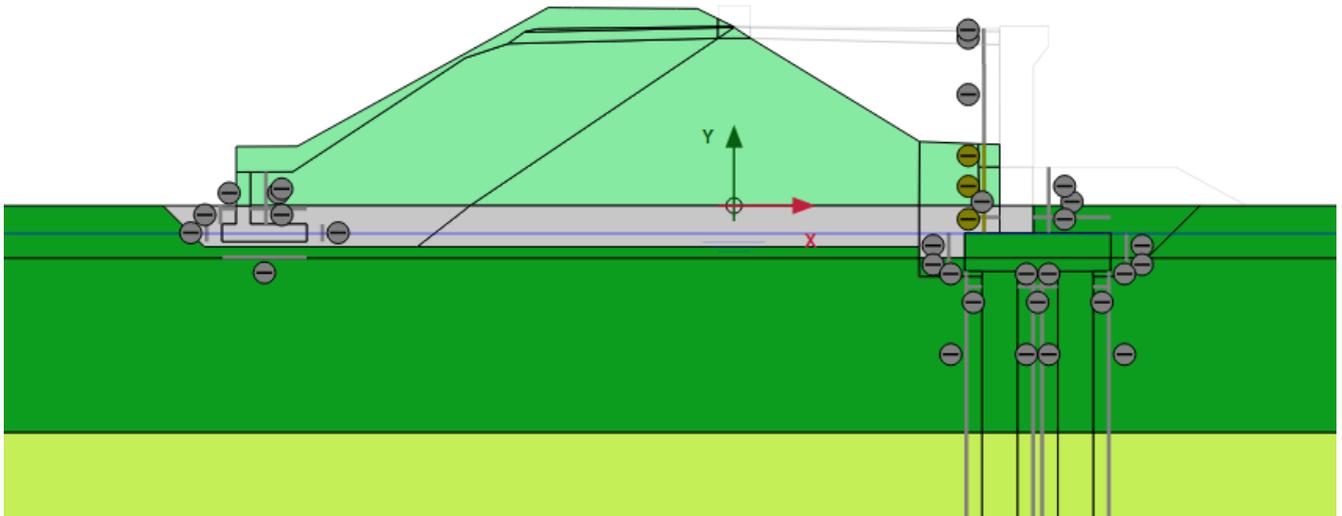


Figura 12: Modello rilevato esistente Sez. 0+400

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti (il modello di calcolo per ciascuna fase è riportato in ALLEGATO A – RISULTATI ANALISI PLAXIS RIL. 0+400 SENZA INTERVENTI):

- Generazione dello stato tensionale iniziale con piano campagna attuale;
- Costruzione del rilevato esistente, esecuzione dello strato di supercompattato, sub-ballast e armamento ferroviario (durata 1 anno);
- Consolidazione del terreno di fondazione nel corso dell'esercizio della linea ferroviaria esistente (durata 50 anni);
- Esecuzione dello strato di bonifico di 1,1 metri al di sopra del terreno di fondazione al piede destro del rilevato (durata 2 gg);
- Scavo di 2 metri di profondità al piede destro del rilevato con successiva esecuzione del bonifico e costruzione di muro su pali (durata 60 gg);
- Rimozione dello strato di bonifico superiore al piede della scarpata destra (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 con l'applicazione del sovraccarico da armamento ferroviario (durata 620 gg);
- Entrata in esercizio della nuova linea (nuovo binario pari) (durata 8 gg);
- Demolizione della parte sinistra del rilevato esistente con scavo al piede della scarpata sinistra di 1,2 metri di profondità (durata 30 gg);
- Riempimento dello scavo sinistro con materiale di bonifico e costruzione del muretto al piede (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 con l'applicazione del sovraccarico da armamento ferroviario (durata 265 gg);
- Entrata in esercizio della nuova linea (nuovo binario dispari) (durata 8 gg) 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 dispari.

I risultati ottenuti sono mostrati e commentati al successivo punto 9.3.1.2.

9.3.1.2 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 13) 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.

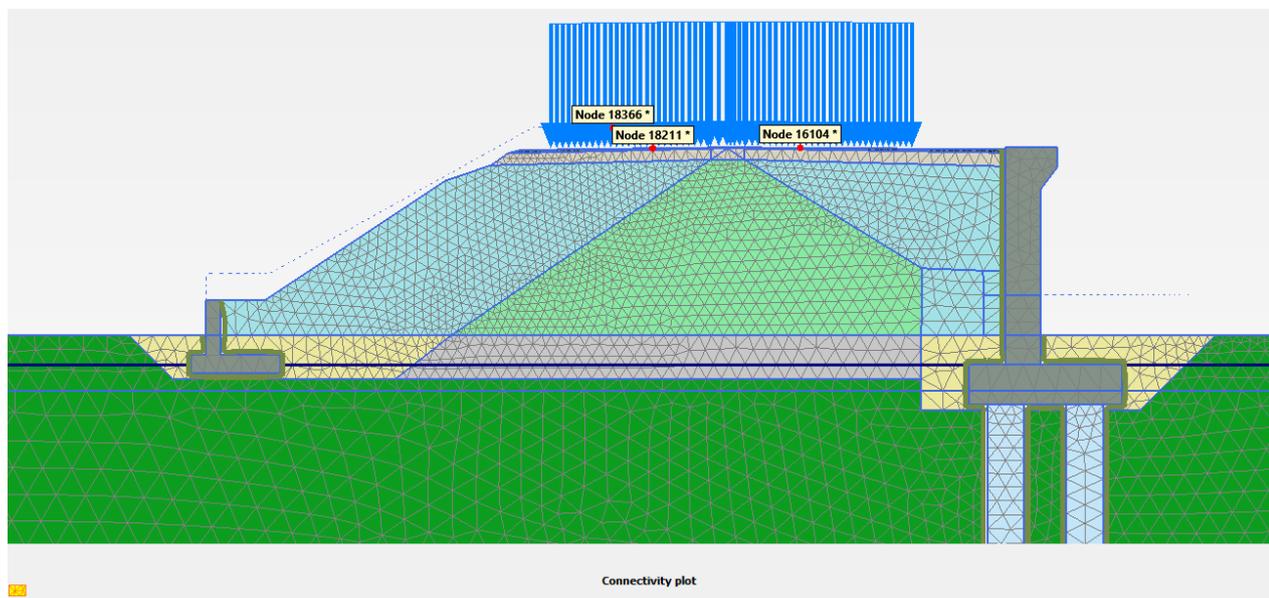


Figura 13: Rilevato sez. 0+400 senza interventi – Punti di interesse per calcolo spostamenti verticali

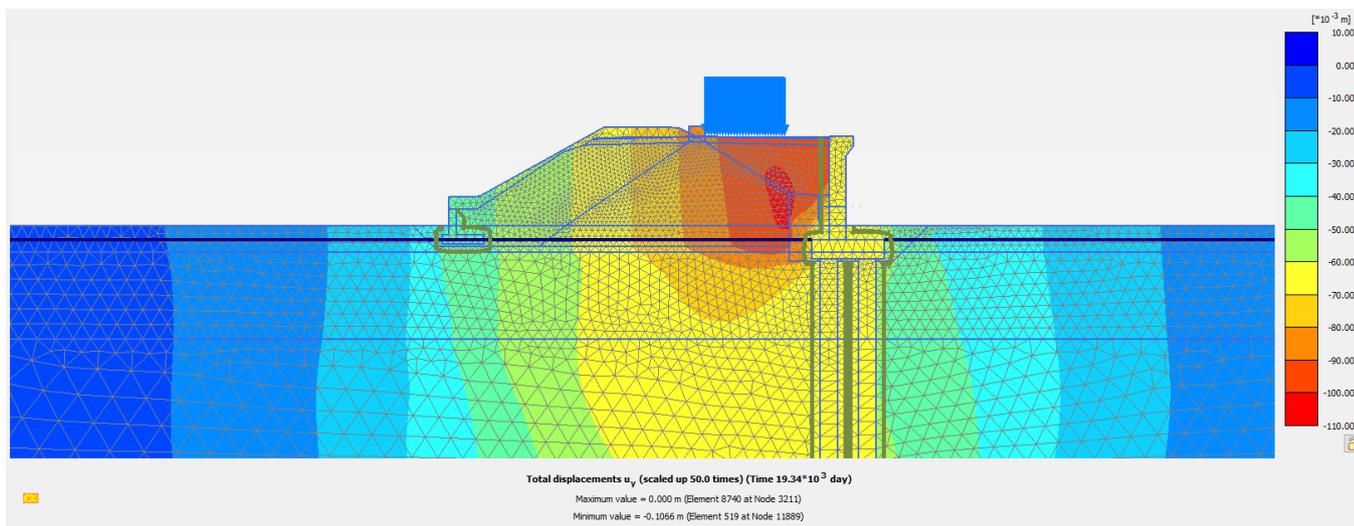


Figura 14: Rilevato sez. 0+400 senza interventi – Spostamenti verticali prima dell'attivazione del nuovo binario pari

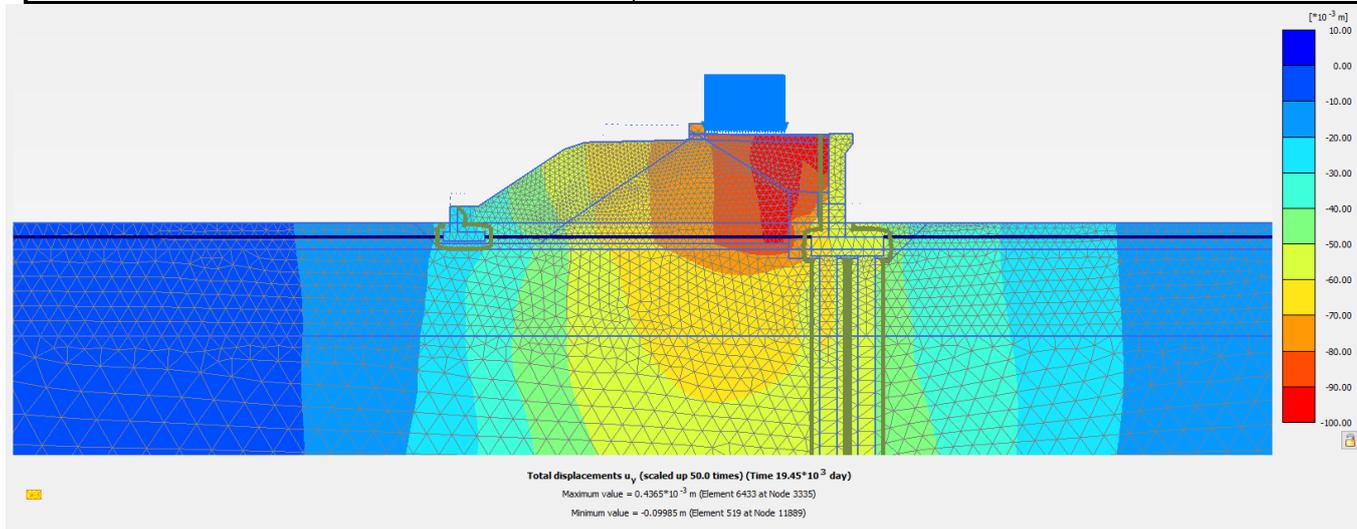


Figura 15: Rilevato sez. 0+400 senza interventi – Spostamenti verticali prima dell'attivazione del nuovo binario dispari

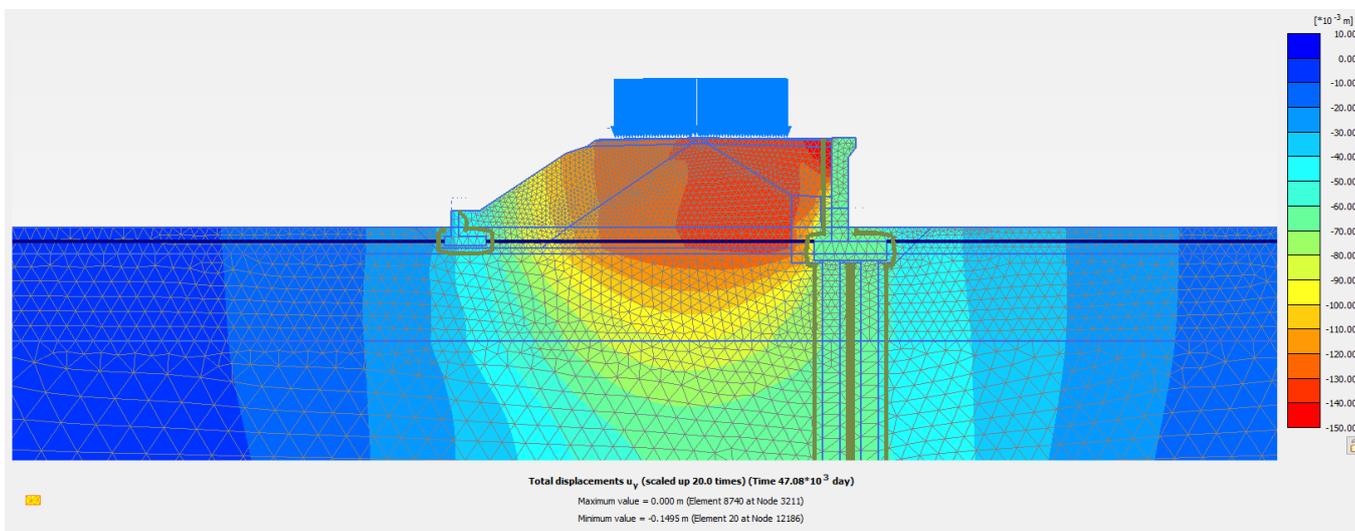


Figura 16: Rilevato sez. 0+400 senza interventi – Spostamenti verticali a 75 anni dalla messa in esercizio della linea ferroviaria

In Figura 17 e Figura 18 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 e dell'asse del nuovo binario dispari e di un punto in sommità al rilevato esistente in corrispondenza dell'asse binario.

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 13 e Tabella 14 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.

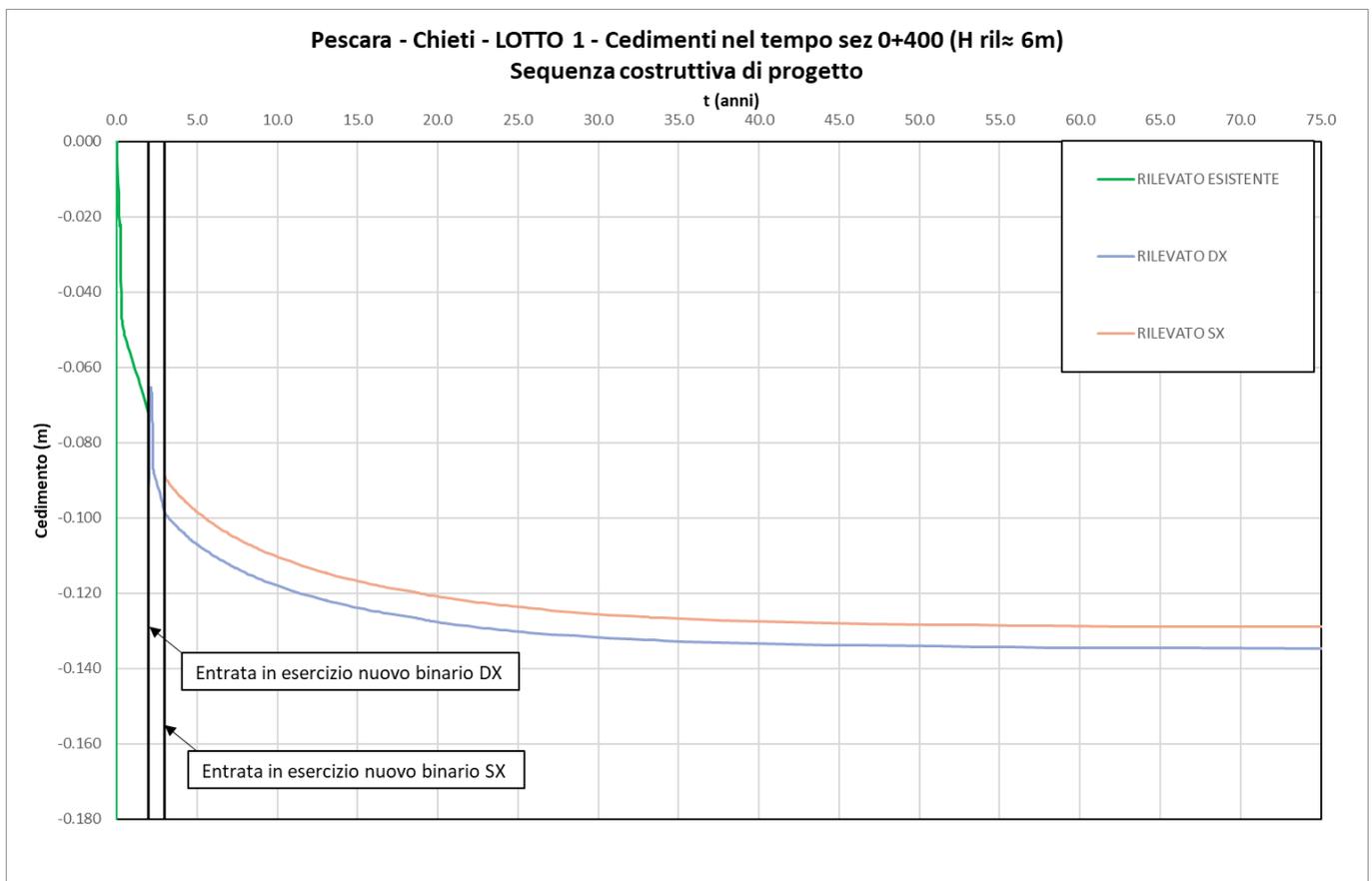


Figura 17: Rilevato sez. 0+400 senza interventi – Spostamenti verticali nel tempo in sommità al rilevato

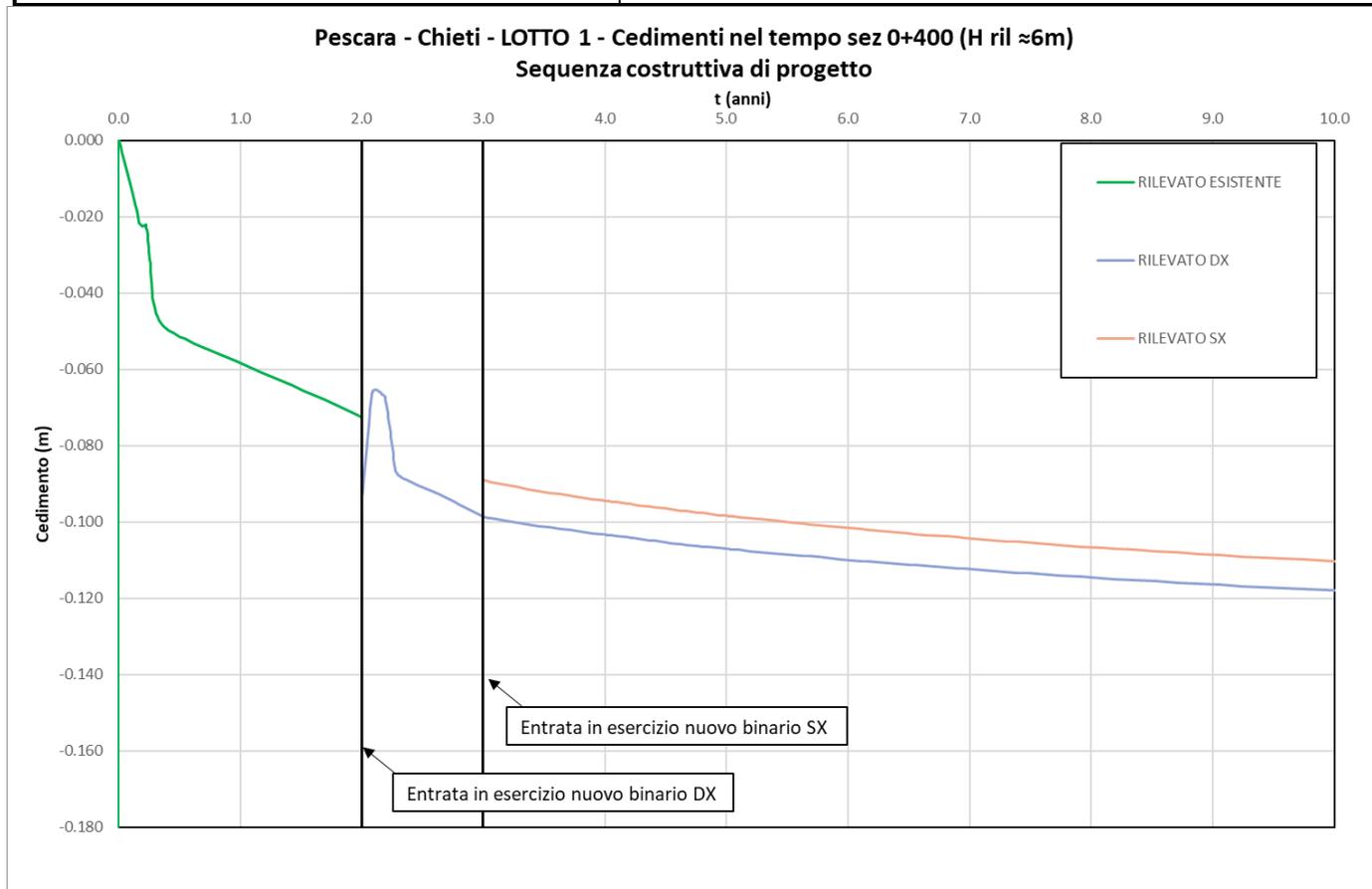


Figura 18: Rilevato 0+400 senza interventi – Spostamenti verticali nel tempo in sommità al rilevato (fino a 10 anni)

Tabella 13: 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] |
| 0+400 | 7.2 | 9.3 | 13.5 | 4.2 | 8.9 | 12.9 | 4 |

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

| | | | | | | |
|--|---|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  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 1/3 | COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A |

Tabella 14: 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 | 7.2 | - | - |
| 3 anni | Attivazione binario dispari | - | 0.6 | - |
| 3+1 anni | Ced residuo a 1 anno | - | 1 | 0.5 |
| 3+2 anni | Ced residuo a 2 anni | - | 1.4 | 0.9 |
| 3+10 anni | Ced residuo a 10 anni | - | 2.8 | 2.5 |
| 3+30 anni | Ced residuo a 30 anni | - | 3.9 | 3.7 |
| 3+75 anni | Ced residuo a 75 anni | - | 4.2 | 4 |

Come si può notare i valori che si ottengono sono compatibili con la funzionalità della linea ferroviaria e con gli interventi di manutenzione ordinaria che si prevede di realizzare durante la vita dell'opera, in accordo ai Doc. Rif. [7][11] e come specificato al precedente punto 3.2.2.

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 rilevanti (circa 7-8 cm). 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 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.

9.3.2 Analisi per valutazione possibile attrito negativo sui pali di fondazione del muro di sostegno senza interventi

9.3.2.1 Modelli e fasi di calcolo

Il modello utilizzato per queste analisi è il medesimo mostrato nella Figura 11, che rappresenta il rilevato di progetto alla progressiva 0+400. Trattandosi di un modello bidimensionale che non può necessariamente rappresentare in modo realistico gli elementi palo, è stato considerato idoneo, allo scopo di definire la porzione di terreno che cede nelle immediate vicinanze dei pali,

utilizzare appunto il medesimo modello nel quale sono stati eliminati i pali di fondazione del muro lato binario destro (pari). Questo ha permesso di valutare la distribuzione dei cedimenti attesi nell'intorno della zona dei pali. In tali analisi il peso proprio del muro si è ipotizzato finisca completamente sui pali di fondazione stessi e pertanto non è stato considerato nei calcoli.

La stratigrafia di calcolo utilizzata è riportata in Tabella 12.

Il modello è mostrato il rilevato in sezione, con la propria geometria ed i sovraccarichi (ballast e armamento) nella Figura 19.

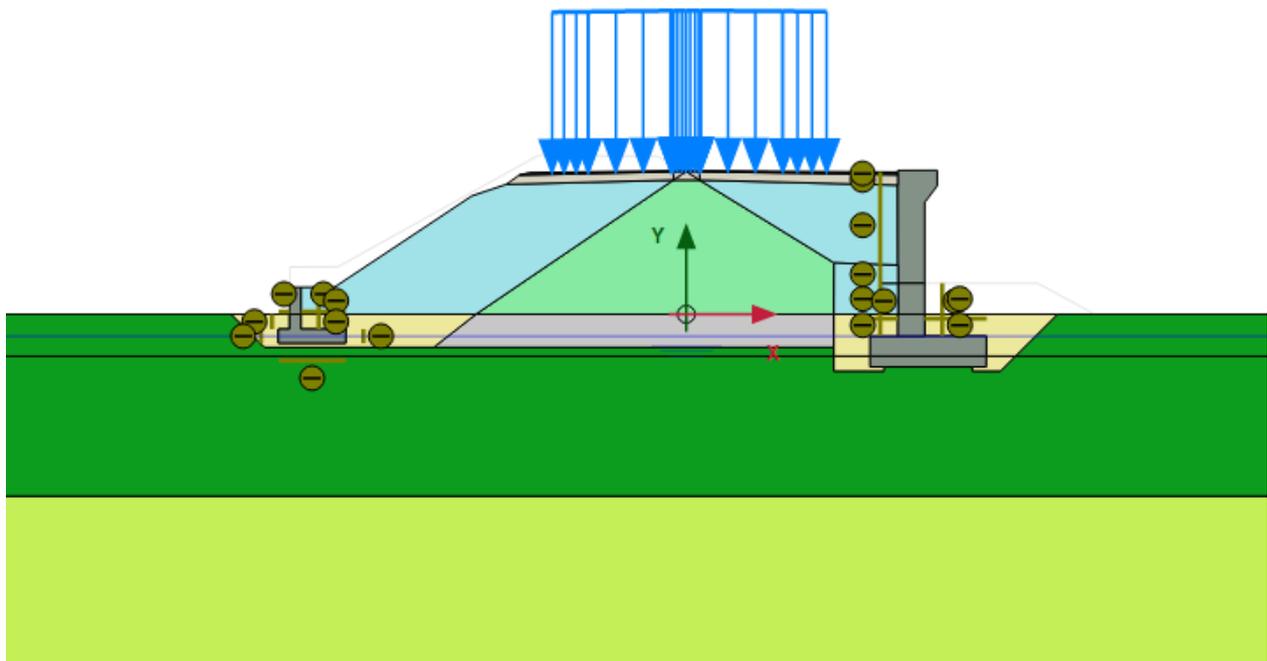


Figura 19: Modello rilevato Sez. 0+400 per attrito negativo (AN)

In modo analogo a quanto fatto per il modello precedentemente descritto, per l'analisi dei cedimenti sia stata presa in considerazione una fase preliminare di esecuzione e consolidazione del rilevato esistente.

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti (il modello di calcolo per ciascuna fase è riportato in ALLEGATO B – RISULTATI ANALISI PLAXIS RIL. 0+400 PER ATTRITO NEGATIVO SENZA INTERVENTI:

- Generazione dello stato tensionale iniziale con piano campagna attuale;
- Costruzione del rilevato esistente, esecuzione dello strato di supercompattato, sub-ballast e armamento ferroviario (durata 1 anno);
- Consolidazione del terreno di fondazione nel corso dell'esercizio della linea ferroviaria esistente (durata 50 anni);
- Esecuzione dello strato di bonifico di 1,1 metri al di sopra del terreno di fondazione al piede destro del rilevato (durata 2 gg);
- Scavo di 2 metri di profondità al piede destro del rilevato con successiva esecuzione del bonifico e costruzione del muro (durata 60 gg);
- Rimozione dello strato di bonifico superiore al piede della scarpata destra (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 con l'applicazione del sovraccarico da armamento ferroviario (durata 620 gg);
- Entrata in esercizio della nuova linea (nuovo binario pari) (durata 8 gg);
- Demolizione della parte sinistra del rilevato esistente con scavo al piede della scarpata sinistra di 1,2 metri di profondità (durata 30 gg);
- Riempimento dello scavo sinistro con materiale di bonifico e costruzione del muretto al piede (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 con l'applicazione del sovraccarico da armamento ferroviario (durata 265 gg);

- Entrata in esercizio della nuova linea (nuovo binario dispari) (durata 8 gg) 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 dispari.

I risultati ottenuti sono mostrati e commentati al successivo punto 9.3.1.2.

9.3.2.2 Risultati delle analisi senza interventi

Il primo calcolo è stato effettuato per valutare il campo di spostamenti senza la realizzazione di alcun tipo di intervento di consolidamento.

Nelle figure seguenti sono riportati i risultati ottenuti per il rilevato in oggetto in termini di campo degli spostamenti verticali u_y dopo 75 anni dall'entrata in esercizio della linea ferroviaria e di andamento dei cedimenti lungo una sezione verticale prossima ai pali.

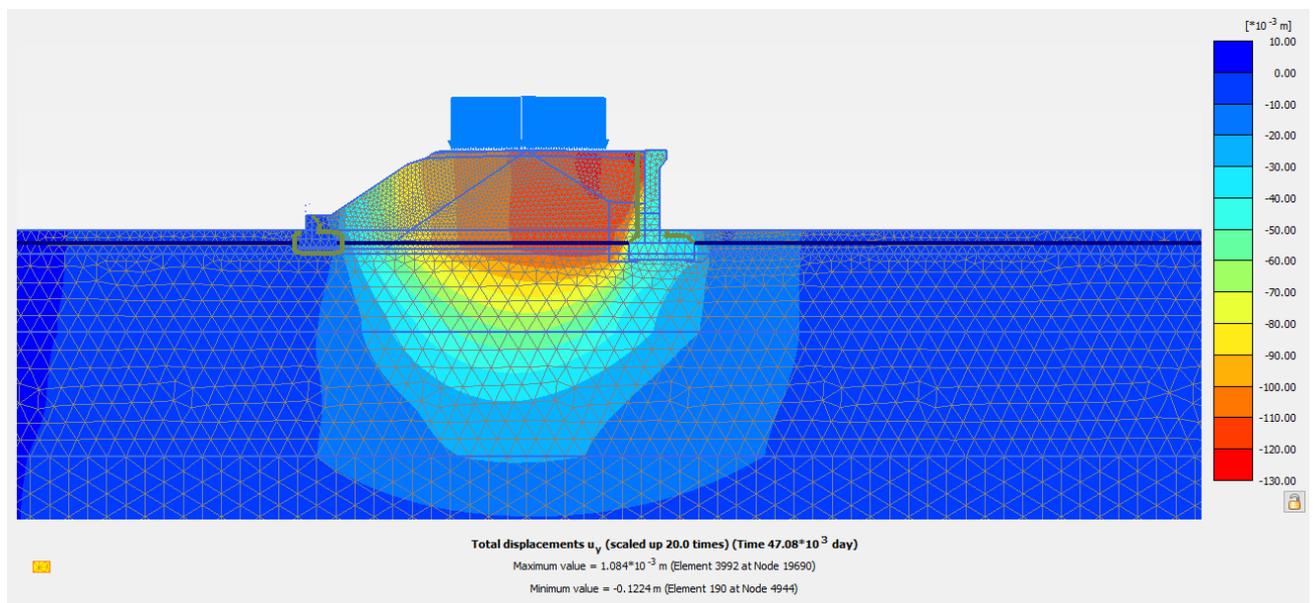


Figura 20: Rilevato sez. 0+400 per AN senza interventi – Campo spostamenti verticali

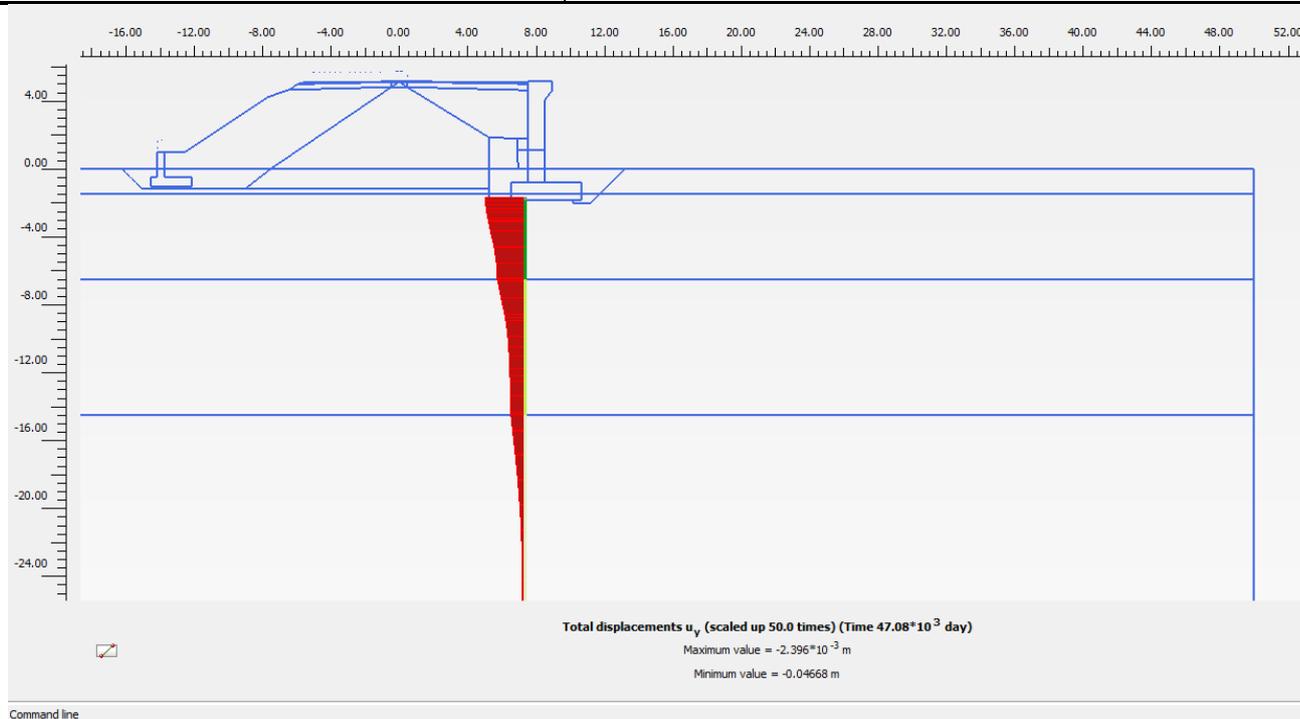


Figura 21: Rilevato sez. 0+400 per AN senza interventi – Sezione verticale – cedimenti del terreno

Come si può vedere da questi risultati i cedimenti indotti nel terreno dalla realizzazione delle nuove opere, si estendono sino a circa 17 m sotto la base del rilevato e quindi fino a circa 15.5 m a partire da testa palo con valori ancora superiori al centimetro e con valori massimi a testa palo dell'ordine dei 5 cm. Tali spostamenti sono associati, sino a circa 15m di profondità ad incrementi tensionali rispetto allo stato tensionale iniziale, superiori al 10% e pertanto non possono ritenersi trascurabili. Un tale profilo di spostamento, se applicato alla valutazione della capacità portante dei pali, con terreno che cede per i primi 15 m di palo, porterebbe ad un aggravio non accettabile del dimensionamento delle fondazioni profonde dovendo tener conto degli effetti dell'attrito negativo, pertanto si è valutato un intervento di trattamento al di sotto del rilevato in modo da ridurre i cedimenti sino a poter ritenere trascurabile il cedimento del terreno rispetto ai pali e poter non considerare gli effetti dell'attrito negativo nel dimensionamento dei pali. Tale indicazione progettuale può riscontrarsi nell'ambito delle relazioni specifiche delle fondazioni dei muri lungo linea cui si rimanda per maggior dettagli.

In particolare, per questa sezione si prevede di realizzare un intervento di trattamento con colonne in Deep Mixing disposte con maglia triangolare. Il dimensionamento dell'intervento e la sua efficacia nella riduzione dei cedimenti attesi sono riportati al paragrafo seguente.

9.3.3 Analisi dimensionamento colonne in Deep Mixing (DCM)

9.3.3.1 Modelli e fasi di calcolo

Il modello utilizzato per questa analisi è mostrato nella Figura 22. La procedura adottata per la definizione dei parametri di deformazione equivalenti da associare poi al volume di terreno trattato è quella descritta al precedente punto 7.1.2.

Si tratta di un modello assialsimmetrico che permette di effettuare il dimensionamento degli interventi colonnari DCM. In particolare è stato costruito un modello ad hoc per dimensionare l'intervento di consolidamento per il rilevato di altezza pari a 5.95 metri.

Nel modello, Figura 22, la colonna trattata DCM ha lunghezza pari a 6.5 m, un diametro della colonna pari a 600 mm e la dimensione della cella ha raggio 1.35 m per simulare una maglia di trattamento quinconce con interasse di 2.6 m.

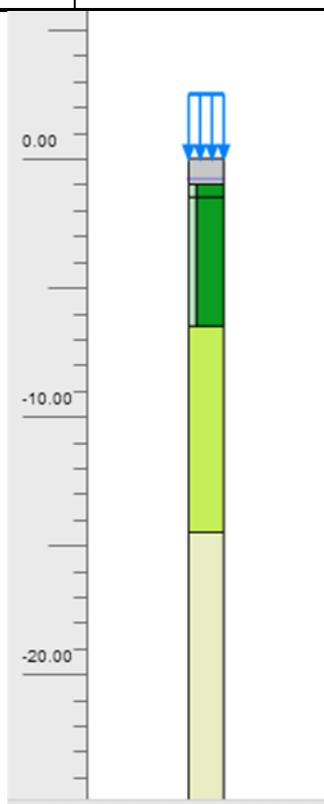


Figura 22: Modello assialsimmetrico DCM maglia quinconce di interasse 2.6 m per rilevato H 5.95 m (Sez. 0+400)

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti:

- 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);
- Esecuzione dello strato di bonifico di 1,1 metri al di sopra del terreno di fondazione al piede destro del rilevato (durata 2 gg);
- Scavo di 2 metri di profondità al piede destro del rilevato con successiva esecuzione del bonifico e costruzione di muro su pali (durata 60 gg);
- Rimozione dello strato di bonifico superiore al piede della scarpata destra (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 con l'applicazione del sovraccarico da armamento ferroviario (durata 620 gg);
- Entrata in esercizio della nuova linea (nuovo binario pari) (durata 8 gg per l'applicazione);
- Demolizione della parte sinistra del rilevato esistente con scavo al piede della scarpata sinistra di 1,2 metri di profondità (durata 30 gg);
- Riempimento dello scavo sinistro con materiale di bonifico e costruzione del muretto al piede (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 con l'applicazione del sovraccarico da armamento ferroviario (durata 265 gg);
- Entrata in esercizio della nuova linea (nuovo binario dispari) (durata 8 gg per l'applicazione) 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 9.3.3.2.

9.3.3.2 Risultati

Nella Figura 23 sono riportati i risultati ottenuti con il modello assialsimmetrico per la geometria di intervento di consolidamento proposto in termini di spostamenti verticali calcolati a 75 anni dalla fine della costruzione, ossia a lungo termine.

Tali risultati sono stati utilizzati per definire i valori del Modulo di Young operativo da adottare nel successivo modello bi-dimensionale per tenere conto del trattamento colonnare.

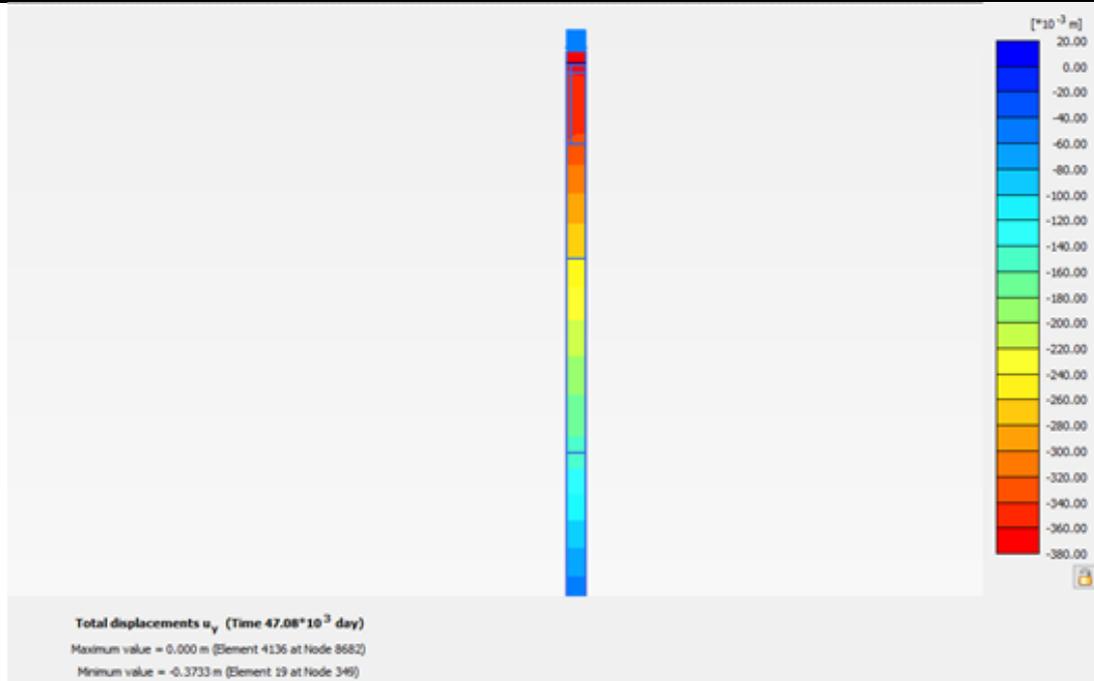


Figura 23: Modello assialsimmetrico DCM maglia quinconce di interasse 2 m per rilevato H 5.3 m – Spostamenti verticali a lungo termine (Sez. 0+400)

I moduli sono stati valutati cautelativamente a lungo termine secondo la relazione:

$$E_{op} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Dove la deformazione assiale ε è stata valutata come:

$$\varepsilon_{ax} = \frac{S_{testa_colonna} - S_{base_colonna}}{L_{colonna}}$$

In questo modo i valori ottenuti sono:

- DCM – \varnothing 600 mm – maglia quinconce con $i=2.6$ m $L = 6.5$ m – $E_{op} = 31$ MPa

Questi valori sono stati utilizzati nei calcoli descritti al punto seguente per stimare i cedimenti attesi in presenza degli interventi di consolidamento.

9.3.4 Analisi per valutazione possibile attrito negativo sui pali di fondazione del muro di sostegno con interventi

9.3.4.1 Modelli e fasi di calcolo

Il modello utilizzato per queste analisi è analogo a quello adottato al precedente punto 9.3.2 ma questa volta sono stati inseriti gli interventi di consolidamento. Per valutare estensione e profondità dell'intervento sono state svolte diverse analisi e la migliore distribuzione dei consolidamenti è quella mostrata nella successiva Figura 25. La configurazione ottimale prevede la realizzazione di colonne sino alla profondità di circa 10m a partire dalla testa dei pali nel lato destro, prossimo appunto alla palificata, e di realizzare colonne di lunghezza pari a circa 6m da sotto la base del rilevato sul lato sinistro.

Il modello di calcolo schematizza la geometria del trattamento di consolidamento e considera solo l'area minima necessaria per lo scopo dell'analisi.

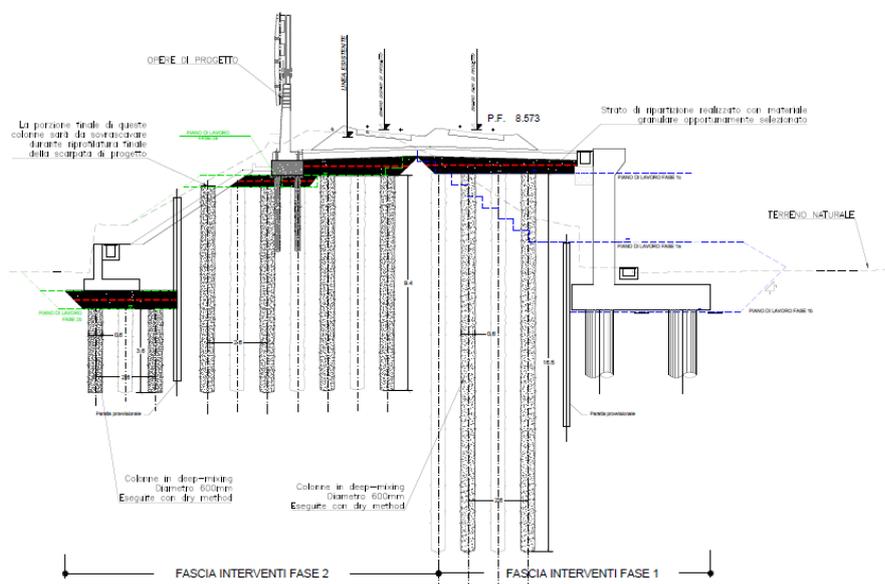


Figura 24: Sezione tipologica 0+400 per attrito negativo (AN) con interventi

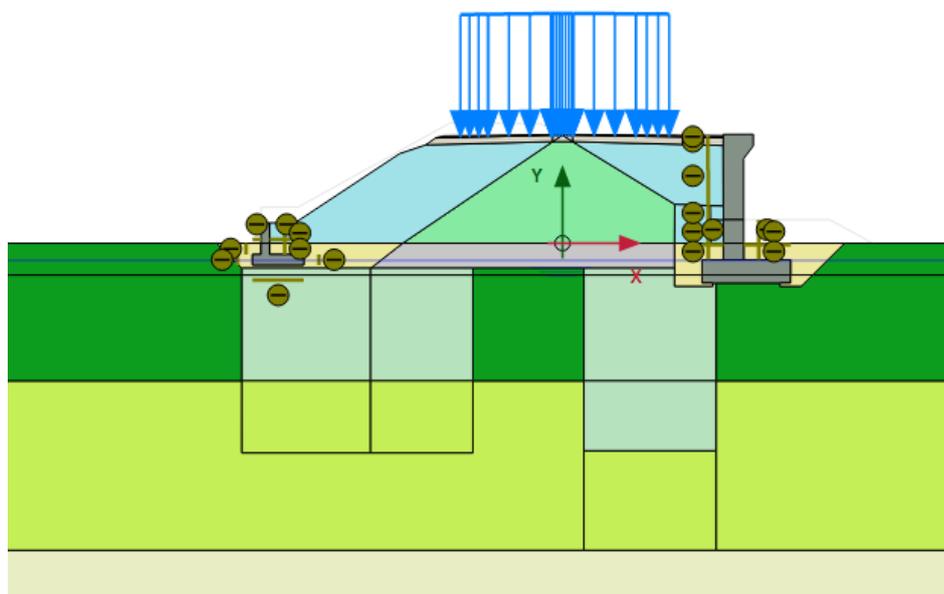


Figura 25: Modello rilevato Sez. 0+400 per attrito negativo (AN) con interventi

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti (il modello di calcolo per ciascuna fase è riportato in ALLEGATO C – RISULTATI ANALISI PLAXIS RIL. 0+400 PER ATTRITO NEGATIVO 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);
- Esecuzione del piano di lavoro fase 1a (durata 2 gg);
- Trattamento in DM parte 1 (durata 7 gg);
- Esecuzione del bonifico e costruzione di muro su pali lato destro (durata 40 gg);
- Costruzione della parte destra del rilevato sino all'altezza del piano di lavoro 1b (durata 20 gg);
- Trattamento in DM parte 2 (durata 7 gg);

- Costruzione della parte destra del rilevato sino all'altezza del piano di lavoro 1c (durata 15 gg);
- Trattamento in DM parte 3 (durata 7 gg);
- Applicazione dello strato di supercompattato e sub-ballast con l'applicazione del sovraccarico da armamento ferroviario (durata 603 gg);
- Entrata in esercizio della nuova linea (nuovo binario pari) (durata 8 gg);
- Scavo della parte sinistra del rilevato esistente fino al piano di lavoro 2a (durata 7 gg);
- Trattamento in DM parte 4 (durata 10 gg);
- Scavo della parte sinistra del rilevato esistente fino al piano di lavoro 2b (durata 10 gg);
- Trattamento in DM parte 5 (durata 20 gg);
- Sbancamento parte residua a sinistra del rilevato esistente fino al piano di lavoro 2c (durata 2 gg);
- Trattamento in DM parte 6 costruzione del muro al piede della scarpata sinistra (durata 30 gg);
- Costruzione della parte sinistra del rilevato sino all'altezza di progetto (durata 22 gg);
- Applicazione dello strato di supercompattato e sub-ballast con l'applicazione del sovraccarico da armamento ferroviario (durata 265 gg);
- Entrata in esercizio della nuova linea (nuovo binario dispari) (durata 7 gg)
- Consolidazione del terreno di fondazione (durata totale 75 anni);

I risultati ottenuti sono mostrati e commentati al successivo punto 9.3.4.2.

9.3.4.2 Risultati delle analisi con interventi

Nelle figure seguenti sono riportati i risultati ottenuti per il rilevato in oggetto in termini di campo degli spostamenti verticali u_y dopo 75 anni dall'entrata in esercizio della linea ferroviaria e di andamento dei cedimenti lungo una sezione verticale prossima ai pali con la presenza degli interventi di consolidamento in deep-mixing.

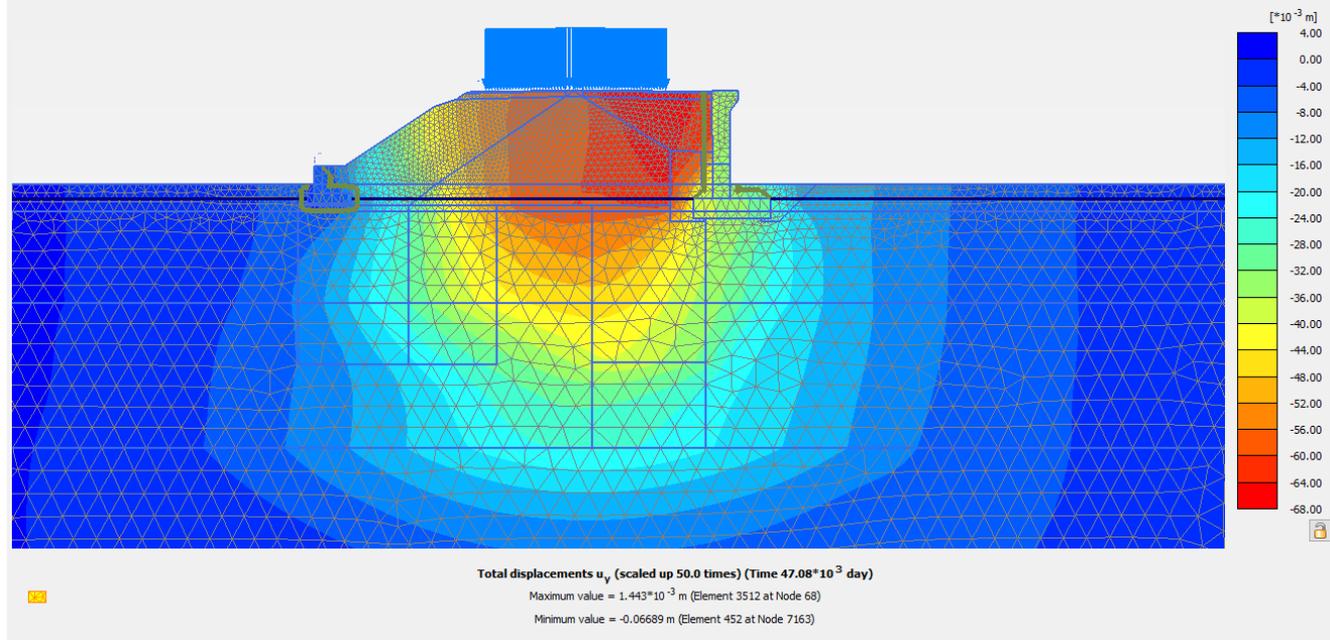


Figura 26: Rilevato sez. 0+400 per AN con interventi – Campo spostamenti verticali



Figura 27: Rilevato sez. 0+400 per AN con interventi – Sezione verticale – cedimenti del terreni

Come si può vedere da questi risultati i cedimenti indotti nel terreno dalla realizzazione delle nuove opere, si estendono ancora sino a circa 15 m sotto la base del rilevato e quindi fino a circa 13.5 m a partire da testa palo con valori ancora superiori al centimetro ma i valori massimi a testa palo sono ridotto a circa 3 cm. Tali spostamenti sono però associati, praticamente fino da testa palo, ad incrementi tensionali rispetto allo stato tensionale iniziale, inferiori al 10% e pertanto si ritengono trascurabili.

In questo modo è possibile effettuare il dimensionamento dei pali non considerando gli effetti dell'attrito negativo.

9.3.5 Analisi finali rilevato con interventi

Una volta definito l'intervento di trattamento per poter dimensionare in modo ottimale i pali, si è proceduto al ricalcolo anche dei cedimenti attesi per il rilevato in modo da valutare quale sia l'effetto benefico del trattamento anche su queste valutazioni.

9.3.5.1 Modello e fasi di calcolo

In Figura 28 viene mostrato il modello utilizzato per questa analisi.

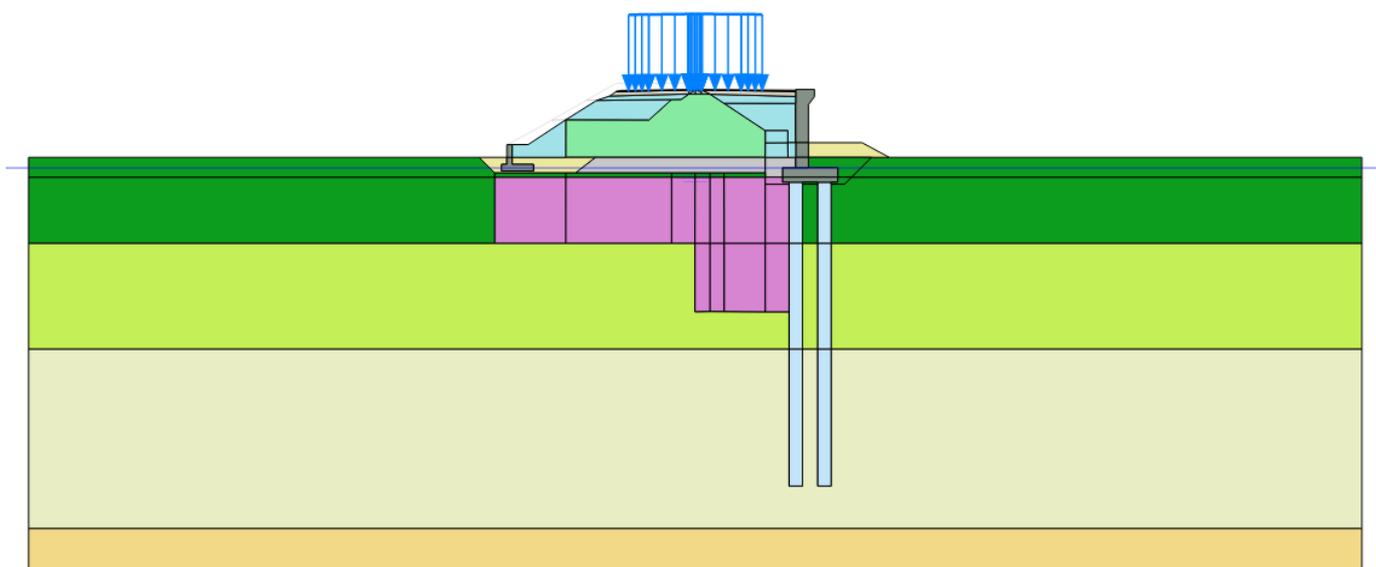


Figura 28: Sezione tipo rilevato km 0+400 con interventi.

Si tratta di un modello bi-dimensionale in cui è mostrato il rilevato in sezione, con la propria geometria ed i sovraccarichi (ballast e armamento), oltre alla presenza degli interventi colonnari di consolidamento.

In Figura 28 è rappresentata la configurazione finale di progetto del rilevato, sebbene per l'analisi dei cedimenti sia stata presa in considerazione 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 12)

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti (il modello di calcolo per ciascuna fase è riportato in ALLEGATO D – RISULTATI ANALISI PLAXIS RIL. 0+400 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);
- Esecuzione del piano di lavoro fase 1a (durata 2 gg);
- Trattamento in DM parte 1 (durata 7 gg);
- Esecuzione del bonifico e costruzione di muro su pali lato destro (durata 40 gg);
- Costruzione della parte destra del rilevato sino all'altezza del piano di lavoro 1b (durata 20 gg);
- Trattamento in DM parte 2 (durata 7 gg);
- Costruzione della parte destra del rilevato sino all'altezza del piano di lavoro 1c (durata 15 gg);
- Trattamento in DM parte 3 (durata 7 gg);
- Applicazione dello strato di supercompattato e sub-ballast con l'applicazione del sovraccarico da armamento ferroviario (durata 603 gg);
- Entrata in esercizio della nuova linea (nuovo binario pari) (durata 8 gg);
- Scavo della parte sinistra del rilevato esistente fino al piano di lavoro 2a (durata 7 gg);
- Trattamento in DM parte 4 (durata 10 gg);

- Scavo della parte sinistra del rilevato esistente fino al piano di lavoro 2b (durata 10 gg);
- Trattamento in DM parte 5 (durata 20 gg);
- Sbancamento parte residua a sinistra del rilevato esistente fino al piano di lavoro 2c (durata 2 gg);
- Trattamento in DM parte 6 costruzione del muro al piede della scarpata sinistra (durata 30 gg);
- Costruzione della parte sinistra del rilevato sino all'altezza di progetto (durata 22 gg);
- Applicazione dello strato di supercompattato e sub-ballast con l'applicazione del sovraccarico da armamento ferroviario (durata 265 gg);
- Entrata in esercizio della nuova linea (nuovo binario dispari) (durata 7 gg)
- Consolidazione del terreno di fondazione (durata totale 75 anni);

I risultati ottenuti sono mostrati e commentati al successivo punto 9.3.5.2.

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

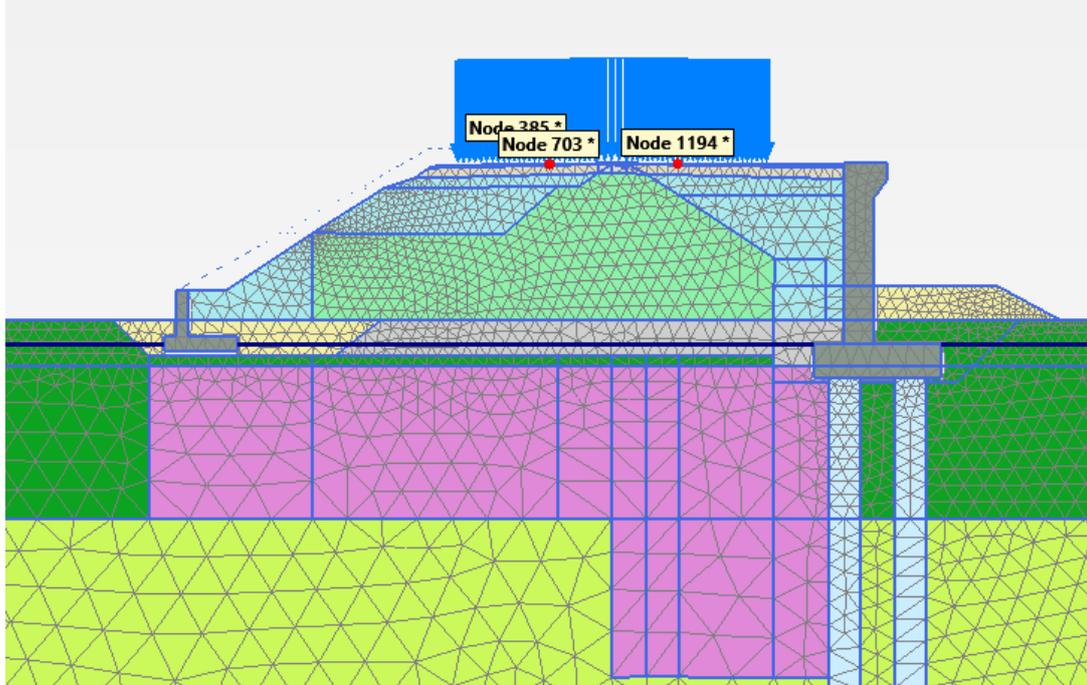


Figura 29: Rilevato Sez. 0+400 con interventi – Punti di interesse per calcolo spostamenti verticali

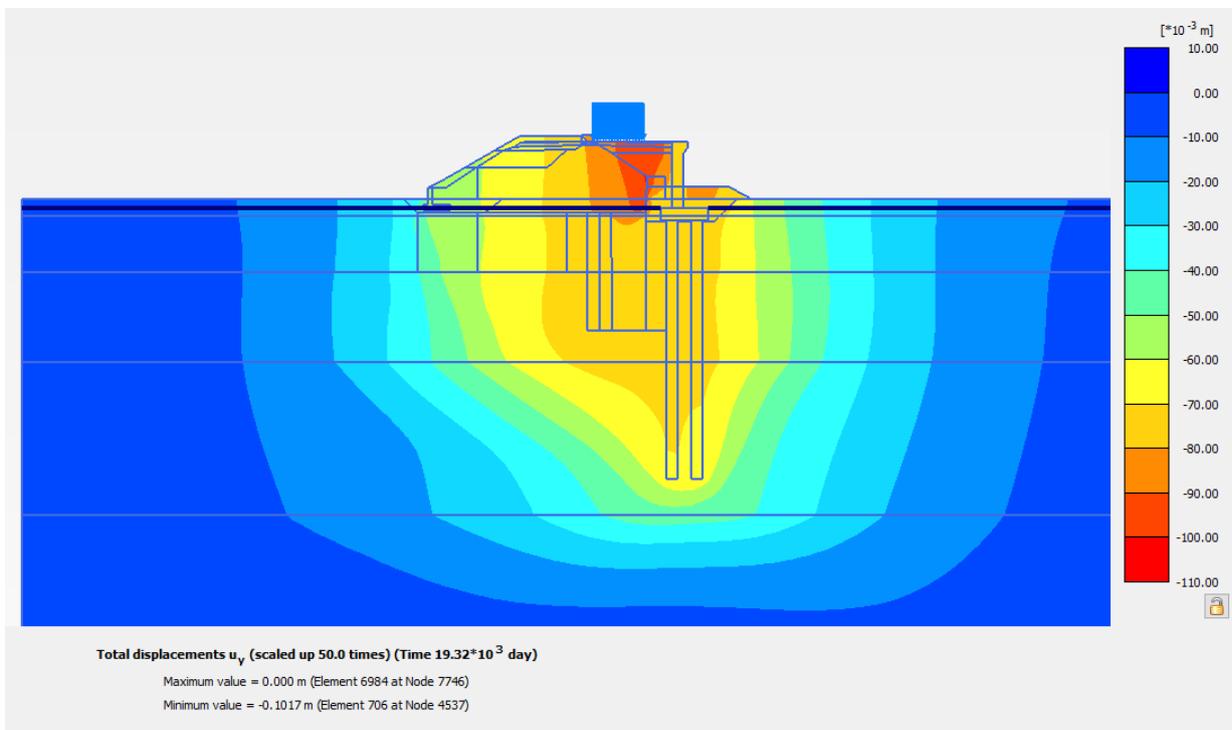


Figura 30: Rilevato Sez. 0+400 con interventi – Spostamenti verticali prima della messa in esercizio del binario pari

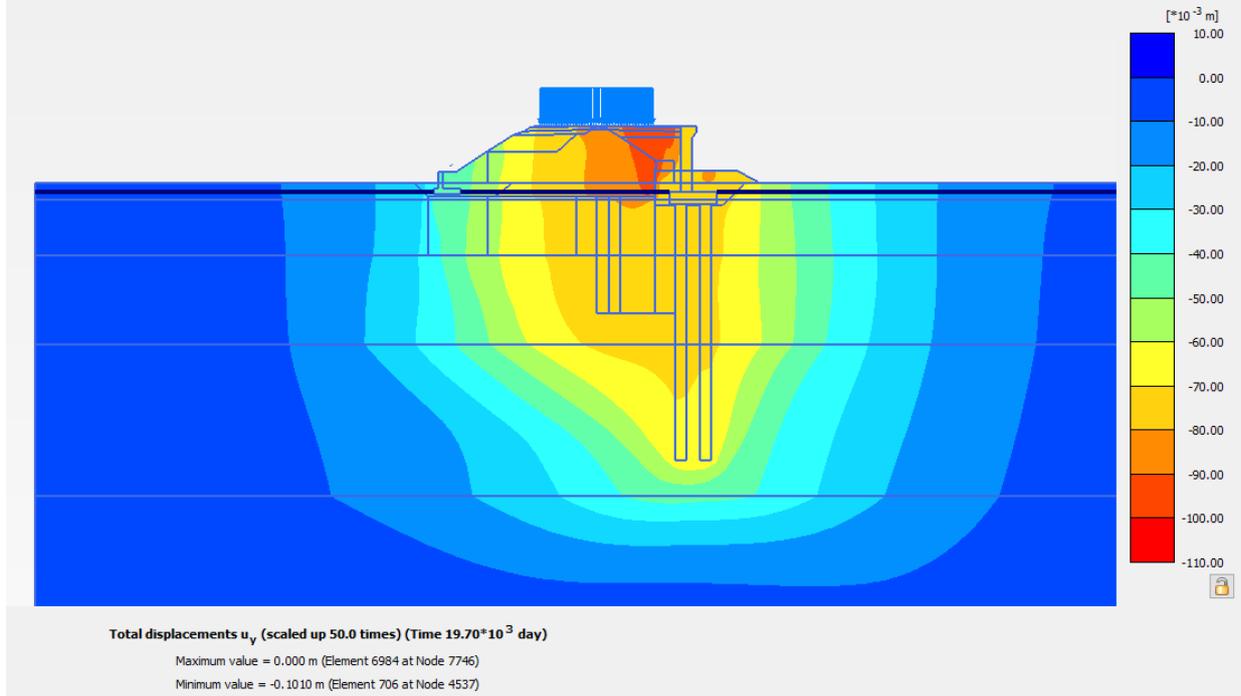


Figura 31: Rilevato Sez. 0+400 con interventi – Spostamenti verticali prima della messa in esercizio del binario dispari

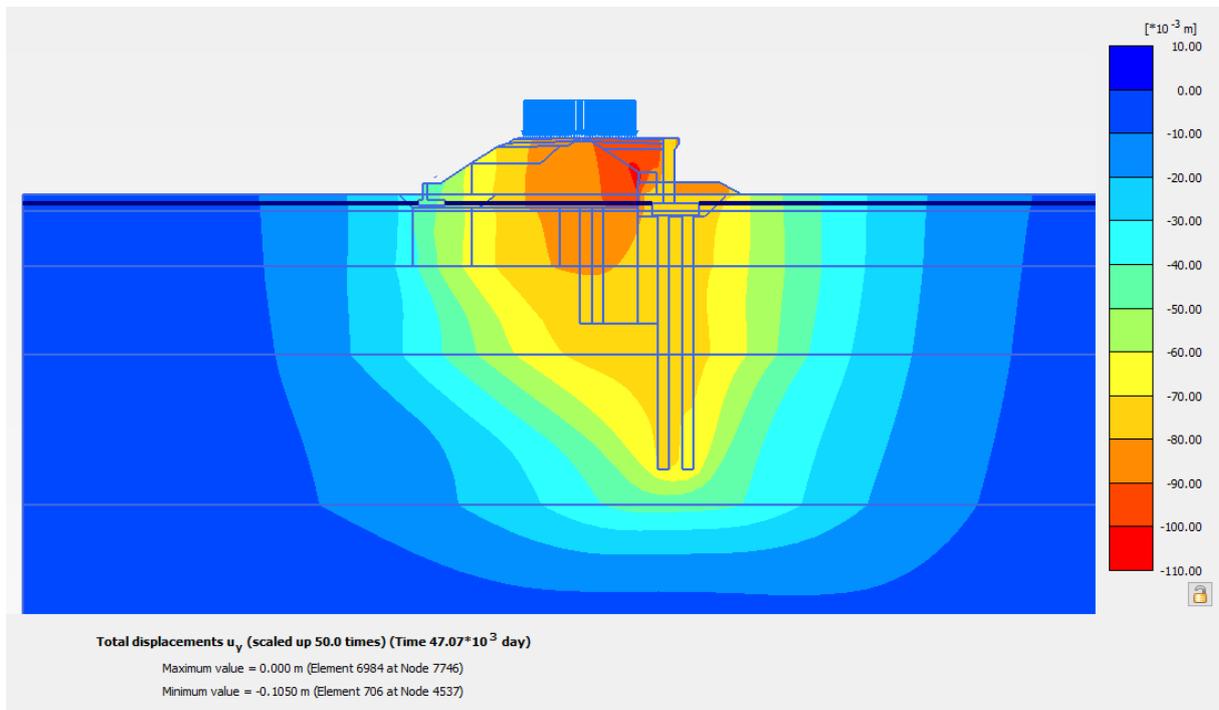


Figura 32: Rilevato Sez. 0+400 con interventi – Spostamenti verticali a 75 anni dalla messa in esercizio della linea ferroviaria

In Figura 33 e Figura 34 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 e dell'asse del nuovo binario dispari e di un punto in sommità al rilevato esistente in corrispondenza dell'asse binario, 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.

In Tabella 15 e Tabella 16 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.

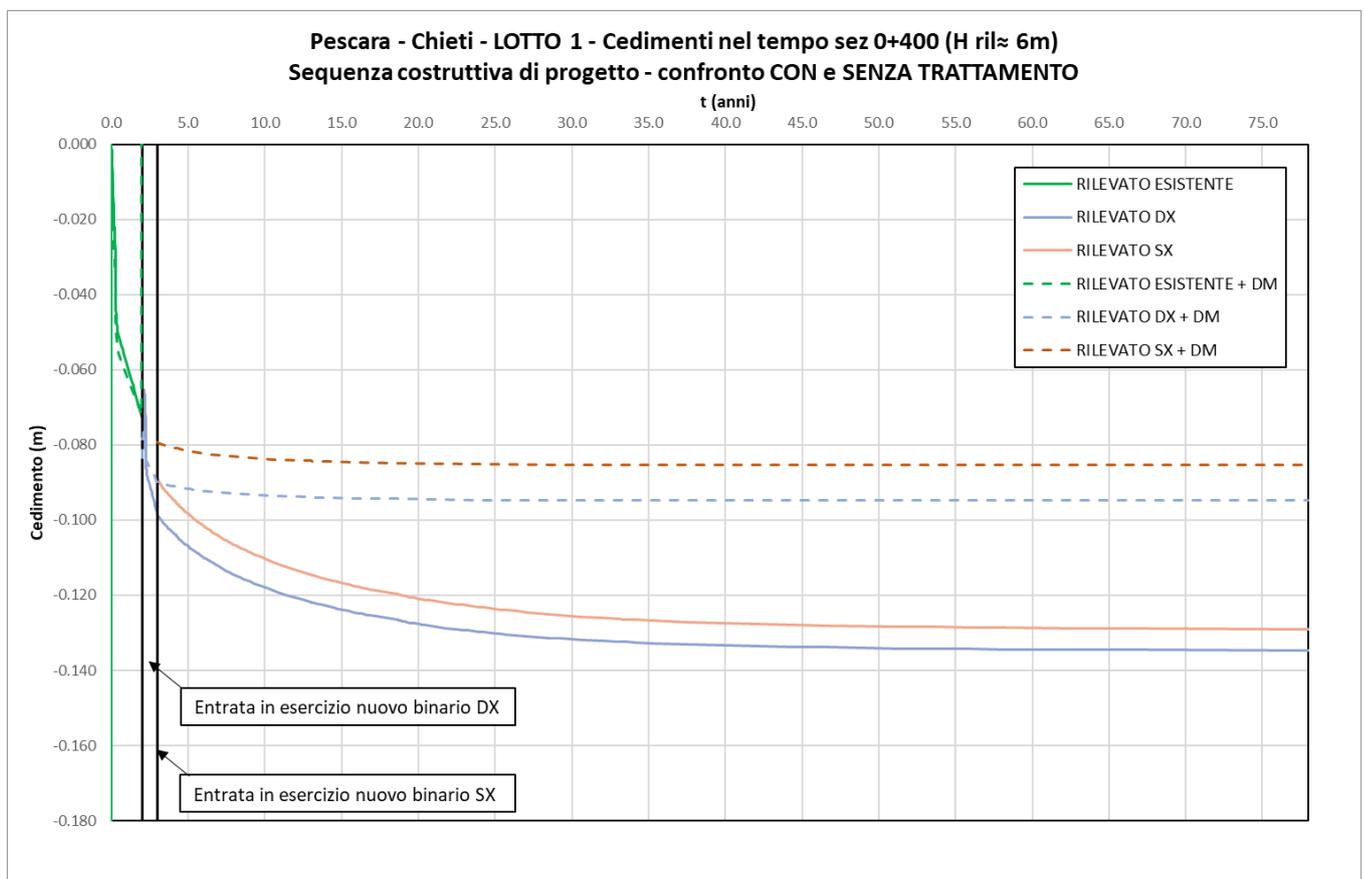


Figura 33: Rilevato Sez. 0+400 con interventi – Spostamenti verticali nel tempo in sommità al rilevato

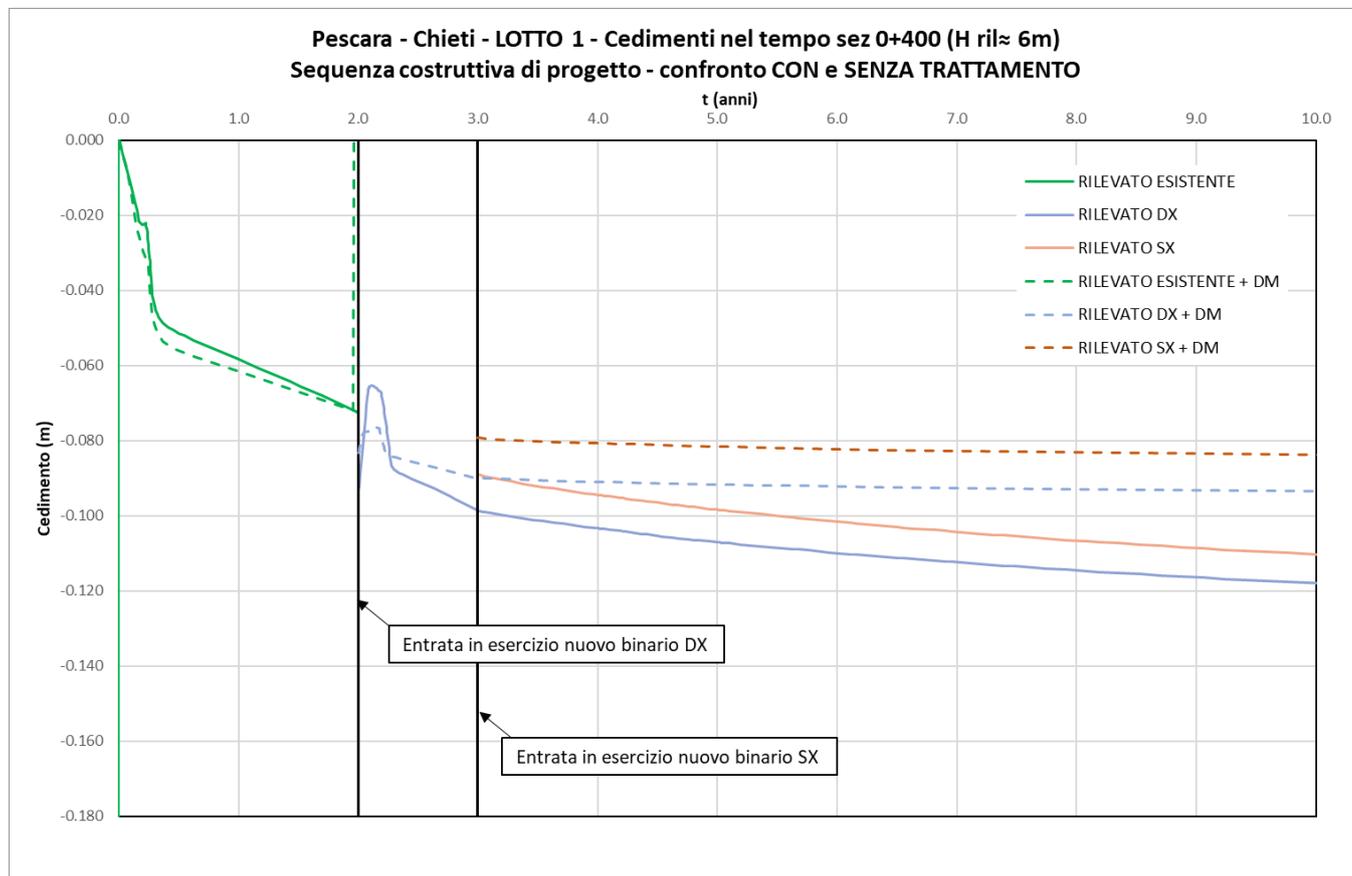


Figura 34: Rilevato Sez. 0+400 con interventi – Spostamenti verticali nel tempo in sommità al rilevato (fino a 10 anni)

Tabella 15: Rilevato Sez. 0+400 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 [cm] | assoluto [cm] | assoluto [cm] | residuo [cm] | assoluto [cm] | assoluto [cm] | residuo [cm] |
| 0+400 (DM) | 7.2 | 8.3 | 9.5 | 1.2 | 7.9 | 8.5 | 0.6 |

* in asse al binario esistente

** in asse al nuovo binario in dx

*** in asse al nuovo binario in sx

Tabella 16: Rilevato Sez. 0+400 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 | 7.2 | - | - |
| 3 anni | Attivazione binario dispari | - | 0.7 | - |
| 3+1 anni | Ced residuo a 1 anno | - | 0.8 | 0.2 |
| 3+2 anni | Ced residuo a 2 anni | - | 0.9 | 0.3 |
| 3+10 anni | Ced residuo a 10 anni | - | 1.1 | 0.5 |
| 3+30 anni | Ced residuo a 30 anni | - | 1.2 | 0.6 |
| 3+75 anni | Ced residuo a 75 anni | - | 1.2 | 0.6 |

Come già per il calcolo senza interventi i cedimenti residui attesi dal completamento e dall'attivazione della nuova linea ferroviaria risultano inferiori ai limiti imposti nei Doc. Rif [9][11] e richiamati al punto 3.2.2. I valori risultano ridotti, confermando l'efficacia dell'intervento di consolidamento nel terreno di fondazione.

Si ricorda, invece, che per quanto riguarda il rilevato esistente anche in questo caso si calcolano valori di cedimenti attesi rilevanti (circa 7-8 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 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 rinalzo del ballast.

10. SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 0+600

10.1 Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica (Doc. rif. [1]) e sulla base di quanto descritto nel Cap. 3, nella Tabella 17 e Tabella 18 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 17: Stratigrafia di calcolo per la sezione 0+600

| Strato | Profondità da [m da p.c.] | Profondità a [m da p.c.] | Descrizione |
|--------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|
| A,L1 | 0.0 | 6.5 | L,A; L(A)[S] |
| A,L2 | 6.5 | 14.5 | A(L),L(A) |
| L,A2 | 14.5 | 28 | L(A); L(A)[S]; L(A),S |
| L,A1 | 28 | 39.5 | L(A); L(A)[S] |
| G,S | 39.5 | 43 | S; S(G);G(S);G |
| M | 43 | - | A(M); M |

Tabella 18: Parametri geotecnici di calcolo per la sezione 0+600 – 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 | c'_k | c'_d | c_u | c_u | $E_{op.}$ | CR | RR | k |
| | [kN/m ³] | [°] | [°] | [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 |
| A,L2 | 17.5 | 20.5 | 16.65 | 5 | 4 | 30-40 | 24-32 | - | 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 |
| G,S | 19 | 36 | 28.8 | 0 | 0 | - | - | 50 | - | - | 1.00E-04 |
| 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 a 1.5 m dal piano campagna.

Da un punto di vista della stabilità nei confronti della liquefazione, la sezione di calcolo alla progressiva 0+600 ricade in un tratto in cui le verifiche condotte, sulla base dei risultati delle indagini in sito disponibili, hanno dato esito positivo e pertanto si ha presenza di materiale potenzialmente liquefacibile.

In particolare è stato individuato come liquefacibile lo spessore di terreno compreso tra 2.5m e 5.5m di profondità da base rilevato a cui è stata associata l'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 A,L1 per le verifiche a liquefazione sono stati valutati considerando che in condizioni post-sismiche nel terreno potenzialmente liquefacibile 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).



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 1/3

| | | | | | |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|---------------------|
| COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A | FOGLIO 82 di 419 |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|---------------------|

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 70 kPa, si ipotizza che a seguito della liquefazione i terreni in esame siano caratterizzati da valori di $S_r = 0.08 \sigma'_{v.}$. Nelle analisi ciò si traduce assegnando un angolo di attrito fittizio massimo pari a $\phi'_k = \tan^{-1}(0.08)=4.3^\circ$

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 Tabella 1 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.

10.2.1 Verifiche SLU in condizioni statiche

L'analisi di stabilità globale in campo statico del rilevato tipologico con altezza pari a 5.95 m è stata condotta in accordo alla combinazione DA1C2 assumendo i parametri geotecnici M2 di cui in Tabella 18 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 9.2.1

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.

| | | | | | | |
|---|---|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  | 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 1/3 | COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A |

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 35, 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:

$$FS^{\text{MIN}} (\text{DA1C2}) = 1.486$$

Essendo soddisfatta la relazione:

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

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 5.95 m alla sezione 0+600 è stata condotta assumendo i parametri geotecnici caratteristici di cui in Tabella 18 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 0.32 da assegnare allo strato di materiale A,L1 suscettibile a liquefazione.

Il carico ferroviario (q) e il sovraccarico da armamento ferroviario sono stati modellati come già descritto al precedente paragrafo 9.2.2.

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 36 e Figura 37 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:

$$FS^{\text{MIN}}=1.148$$

Non essendo soddisfatta la relazione:

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

la verifica di stabilità globale in campo sismico risulta non 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 5.95 m alla sezione 0+600 è stata condotta assumendo i parametri geotecnici caratteristici di cui in Tabella 18 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:

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

Il sovraccarico permanente da armamento ferroviario è stato modellato come già descritto al precedente paragrafo 9.2.2.

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 38 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:

$$FS^{\text{MIN}}=0.992$$

Non essendo soddisfatta la relazione:

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

la verifica di stabilità globale in campo sismico non risulta soddisfatta

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

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 0+600

Condizioni statiche A2+M2

Sovraccarico permanente armamento 18.72 kPa

Sovraccarico da traffico Ferroviario 74.5 KpA

| | | | | |
|------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------|
| Name: A,L1 | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 18 kN/m ³ | Cohesion: 8 kPa | Phi: 17.9 ° |
| 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: 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: 480 kPa | Phi: 32 ° |
| Name: CLS | Model: Undrained (Phi=0) | Unit Weight: 25 kN/m ³ | Cohesion: 500 kPa | |

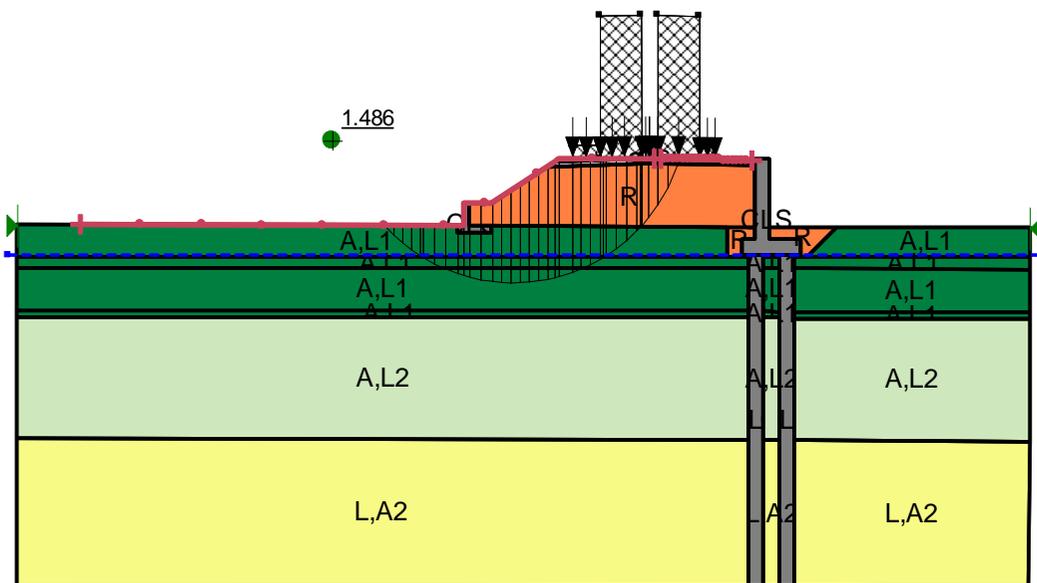


Figura 35: Rilevato H=5.95 m, sez. 0+600 - Analisi di stabilità globale in campo statico DA1C2

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

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 0+600

Condizioni co-sismiche $k_h=0.098$ $k_v=-0.049$
Sovraccarico permanente armamento 14.4 kPa
Sovraccarico Ferroviario 11.45 KpA

| | | | | |
|------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------|
| Name: A,L1 | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 18 kN/m ³ | Cohesion: 10 kPa | Phi: 22 ° |
| 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: LIQ. | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 18 kN/m ³ | Cohesion: 0 kPa | Phi: 22 ° |
| 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: 480 kPa | Phi: 38 ° |
| Name: CLS | Model: Undrained (Phi=0) | Unit Weight: 25 kN/m ³ | Cohesion: 500 kPa | |

Ru: 0.32

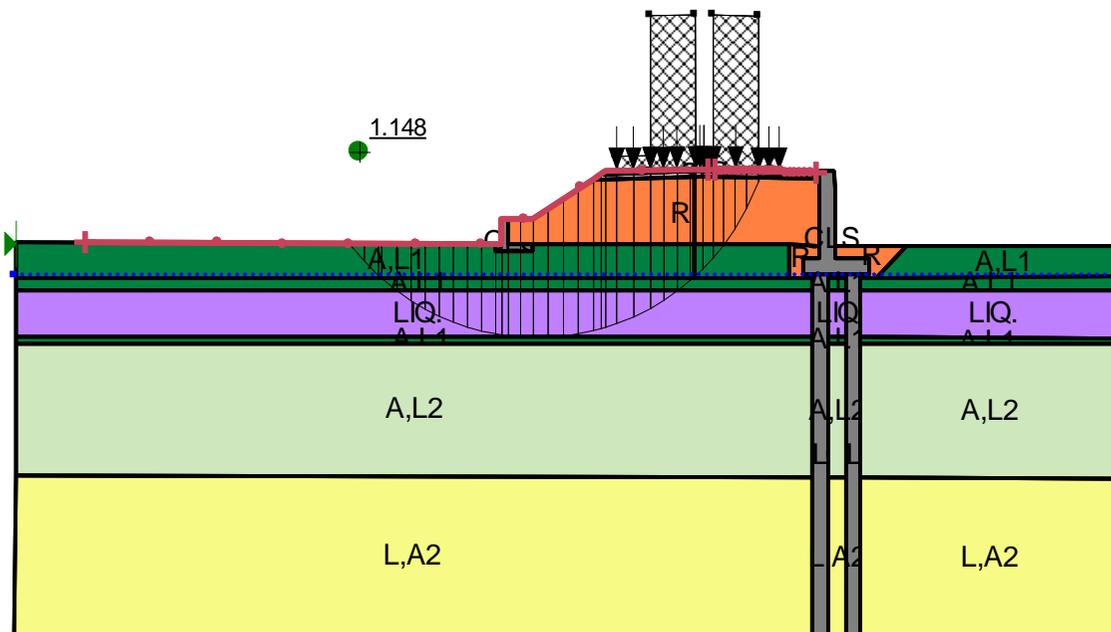


Figura 36: Rilevato H=5.95 m, sez. 0+600 - Analisi di stabilità globale in campo sismico-condizioni co-sismiche (+)

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

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 0+600

Condizioni co-sismiche kh=0.098 kv=0.049
Sovraccarico permanente armamento 14.4 kPa
Sovraccarico Ferroviario 11.45 KpA

| | | | | |
|------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------|
| Name: A,L1 | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 18 kN/m ³ | Cohesion: 10 kPa | Phi: 22 ° |
| 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: LIQ. | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 18 kN/m ³ | Cohesion: 0 kPa | Phi: 22 ° Ru: 0.32 |
| 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: 480 kPa | Phi: 38 ° |
| Name: CLS | Model: Undrained (Phi=0) | Unit Weight: 25 kN/m ³ | Cohesion: 500 kPa | |

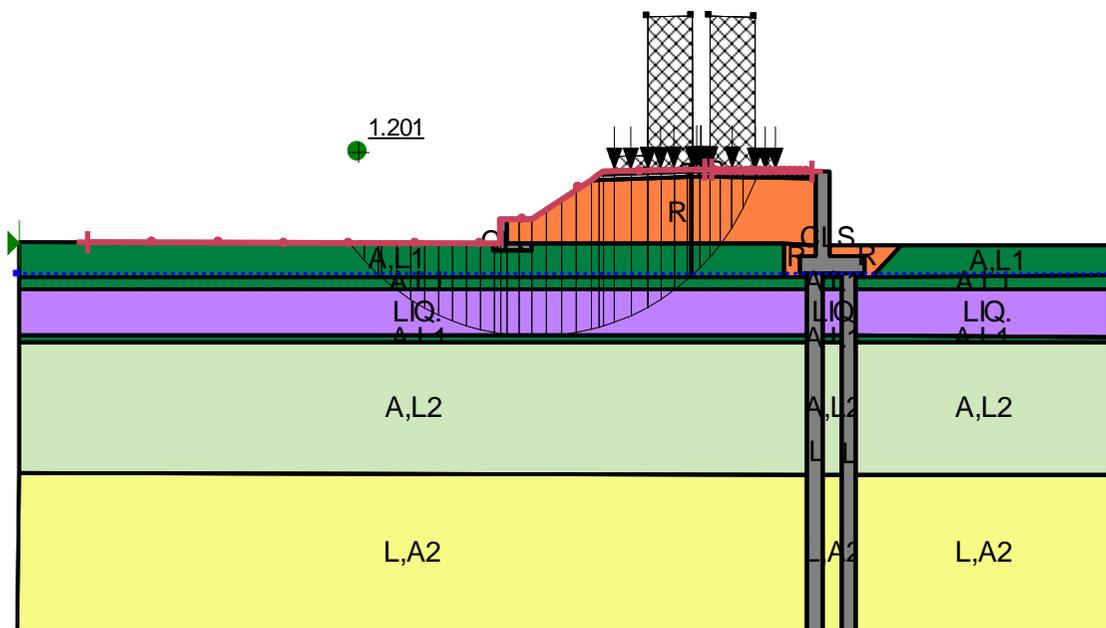


Figura 37: Rilevato H=5.95 m, sez. 0+600 - Analisi di stabilità globale in campo sismico - condizioni co-sismiche (-)

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

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 0+600

Condizioni post-sismiche

Sovraccarico permanente armamento 14.4 kPa

Sovraccarico Ferroviario 11.45 KpA

| | | | | |
|------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------|
| Name: A,L1 | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 18 kN/m ³ | Cohesion: 10 kPa | Phi: 22 ° |
| 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: LIQ. | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 18 kN/m ³ | Cohesion: 0 kPa | Phi: 4.3 ° |
| 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: 480 kPa | Phi: 38 ° |
| Name: CLS | Model: Undrained (Phi=0) | Unit Weight: 25 kN/m ³ | Cohesion: 500 kPa | |

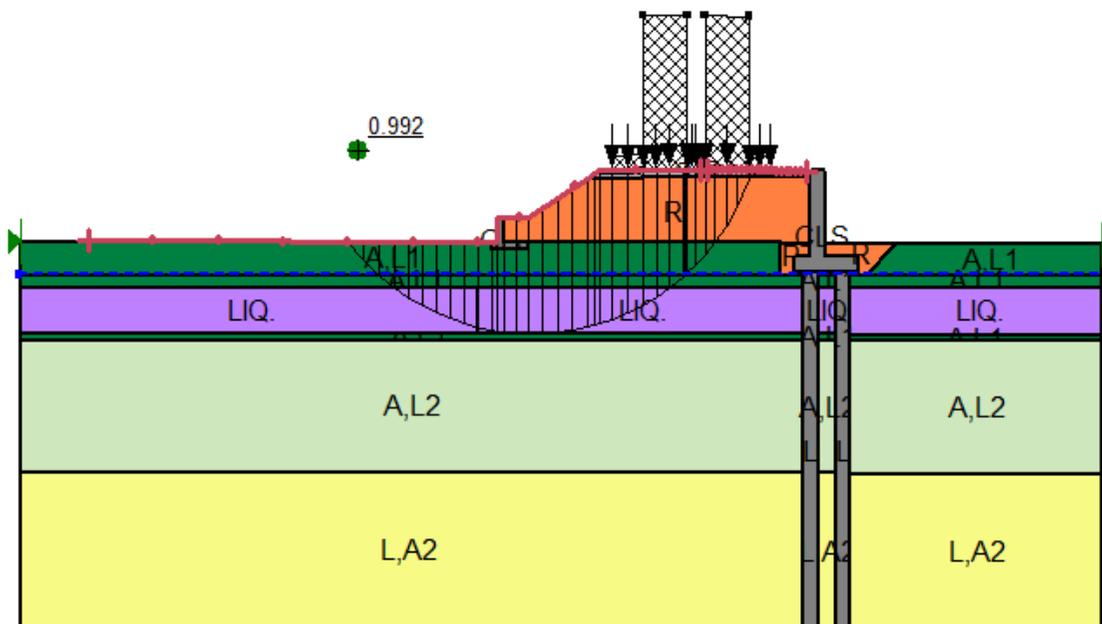


Figura 38: Rilevato H=5.95 m, sez. 0+600 - Analisi di stabilità globale in campo sismico – condizioni post-sismiche

10.3 Verifiche SLU – Stabilità globale del rilevato con trattamento

Come si può notare dai risultati riportati nel paragrafo precedente le verifiche di stabilità globale in condizioni co-sismiche e post-sismiche non risultano soddisfatte con uno sviluppo delle superfici di scorrimento tale da intercettare lo strato di terreno di fondazione suscettibile a liquefazione. Pertanto si rende necessario un intervento di consolidamento mirato ad irrigidire lo strato di materiale A,L1, nei primi 6.5 metri di profondità da piano campagna, in modo da renderlo non più potenzialmente liquefacibile. Per questa sezione, e per tutta la tratta compresa tra la progressiva 0+600 e la progressiva 0+900, si prevede di realizzare quindi un intervento di trattamento con colonne in Deep Mixing. Il dimensionamento dell'intervento e la sua efficacia nella mitigazione del rischio liquefazione e nel miglioramento delle caratteristiche del materiale A,L1 sono riportati a paragrafi seguenti.

10.3.1 Dimensionamento delle colonne in Deep Mixing

La procedura seguita nel dimensionamento di questo intervento è descritta al precedente punto 7.1.2. In particolare il dimensionamento viene eseguito verificando che:

1. le colonne di terreno sottoposto a trattamento dispongano di una resistenza al taglio superiore alla massima tensione tangenziale nello strato liquefacibile;
- e
2. le verifiche di stabilità del rilevato con gli interventi di trattamento siano soddisfatte in condizioni "co-sismiche" e "post-sismiche".

Si procede quindi alla prima verifica per cui, al fine di eliminare il rischio di liquefazione nei primi strati del terreno di fondazione del rilevato di altezza pari a 5.95 metri, le colonne di terreno sottoposto a trattamento devono disporre di una resistenza al taglio tale da soddisfare la relazione:

$$\frac{R_{tr,d}}{E_{d,max}} = \frac{\tau_{tr} A}{\tau_{max} A} = FS \geq 1.25$$

Nel caso in esame la tensione tangenziale di picco massima alla profondità media dello strato liquefacibile risulta pari a:

$$\tau_{max} = 37.66 \text{ kPa.}$$

Tale valore è ottenuto considerando per una magnitudo M pari a 6.0 un coefficiente C_m pari a 1.32.

Nell'ipotesi di trattare il terreno con un dosaggio di cemento predefinito pari a 150 kg/m^3 , in accordo alle correlazioni suggerite da Taki et al. (1991) riportate nel par. 7.1.2, si valuta la resistenza a compressione non confinata delle colonne $q_u = 7.50 \text{ kg/cm}^2$ e in accordo a Saitoh et al. (1980) come descritto nel par. 7.1.2 la corrispondente resistenza al taglio $\tau_{tr} = 322 \text{ kPa}$.

Con un'area trattata pari al 20% dell'area totale, corrispondente cioè ad un trattamento di colonne in Deep Mixing del diametro $\phi 600$ disposte per setti su una maglia quadrata di lato pari a 4.2 metri, il FS risulta pari a 1.7, dunque il trattamento risulta **efficace per la mitigazione del rischio liquefazione.**

Successivamente si esegue la 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. 10.2 relative al rilevato di altezza pari a 5.95 metri rappresentativo della tratta tra la progressiva 0+600 e la progressiva 0+900, 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 stato di terreno trattato è stato modellato con un materiale equivalente avente caratteristiche meccaniche proporzionali alla quantità di terreno trattato. Nello specifico la coesione della colonna è stata valutata a partire dal valore di resistenza a compressione non confinata della colonna q_u (pari a 750 kPa). Tale valore era stato usato per la verifica a liquefazione precedente e proviene dal grafico di Taki et al. (1991) relativo a valori di prove di laboratorio. Ipotizzando una riduzione di tale valore per tenere conto della effettiva resistenza disponibile in sito rispetto a quanto ottenuto da campioncini provati in laboratorio, si può pensare di avere a disposizione una q_{u_sito} pari a 250 kPa , da cui si ottiene una coesione pari a $c = q_{u_sito} / 2 = 125 \text{ kPa}$ da attribuire al trattamento. Adottando questo valore è stata definita una coesione equivalente da assegnare nel modello al materiale A,L1 trattato pari a:



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 1/3

| | | | | | |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|---------------------|
| COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A | FOGLIO 92 di 419 |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|---------------------|

$$C_{eq} = 0.20 C_{DM} + 0,80 C_{A,L1} = 33 \text{ kPa}$$

mentre l'angolo di attrito interno, ϕ , resta il medesimo del materiale A,L1.

Sebbene nel modello il trattamento di consolidamento sia rappresentato solo al di sotto del rilevato, si precisa che questa rappresenta solo la condizione minima per garantire la stabilità del sistema ma la configurazione di progetto prevede l'estensione del trattamento anche al di sotto del muro di sostegno su pali.

I risultati delle analisi sono riportati da Figura 39 a Figura 41 da cui si evince che la presenza del trattamento fino alla profondità di 6.5 metri da piano campagna migliora le condizioni di stabilità del sistema con valori di FS superiori.

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

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 0+600

Condizioni statiche A2+M2

Sovraccarico permanente armamento 18.72 kPa

Sovraccarico Ferroviario 74.5 KpA

Trattamento Deep mixing

| | | | | |
|-------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------|--------------|
| Name: A,L1 | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 18 kN/m ³ | Cohesion: 8 kPa | Phi: 17.9 ° |
| Name: A,L2 | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 17.5 kN/m ³ | Cohesion: 4 kPa | Phi: 18.85 ° |
| Name: L,A2 | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 19 kN/m ³ | Cohesion: 0 kPa | Phi: 22.2 ° |
| 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: 480 kPa | Phi: 32 ° |
| Name: CLS | Model: Undrained (Phi=0) | Unit Weight: 25 kN/m ³ | Cohesion: 500 kPa | |
| Name: Trattamento | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 18 kN/m ³ | Cohesion: 28.4 kPa | Phi: 17.9 ° |

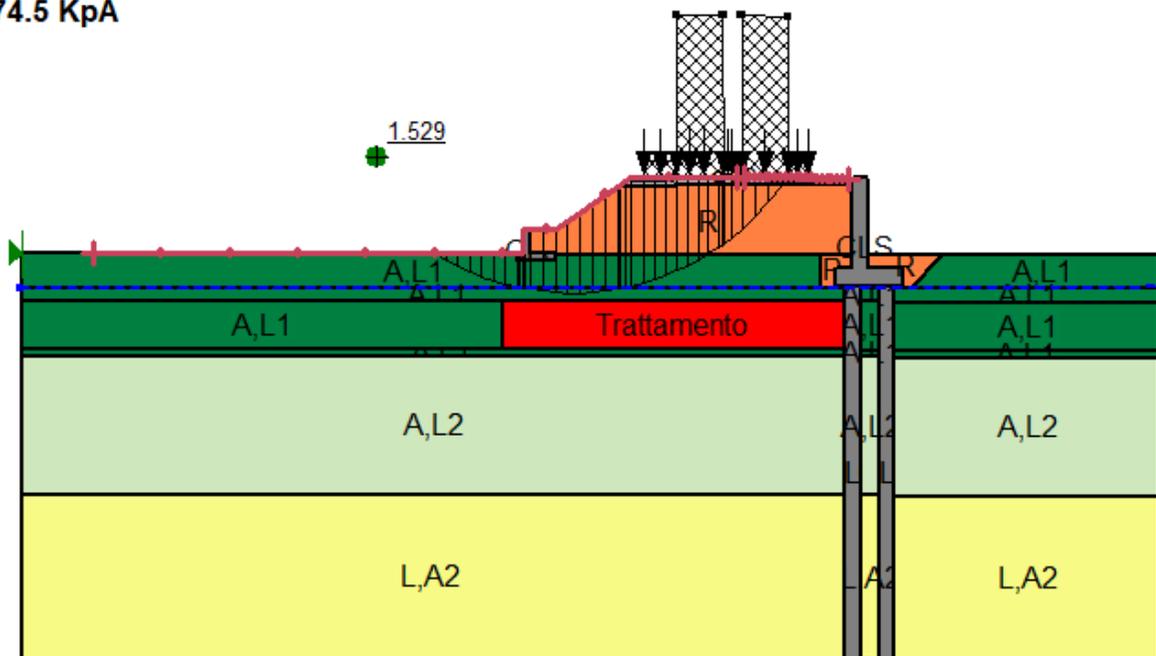


Figura 39: Rilevato H=5.95 m, sez. 0+600 - Analisi di stabilità globale in campo statico

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

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 0+600

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

Sovraccarico permanente armamento 14.4 kPa

Sovraccarico Ferroviario 11.45 KpA

Trattamento in Deep mixing

| | | | | |
|-------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------------------|
| Name: A,L1 | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 18 kN/m ³ | Cohesion: 10 kPa | Phi: 22 ° |
| 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: LIQ. | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 18 kN/m ³ | Cohesion: 0 kPa | Phi: 22 ° Ru: 0.32 |
| 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: 480 kPa | Phi: 38 ° |
| Name: CLS | Model: Undrained (Phi=0) | Unit Weight: 25 kN/m ³ | Cohesion: 500 kPa | |
| Name: Trattamento | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 18 kN/m ³ | Cohesion: 33 kPa | Phi: 22 ° |

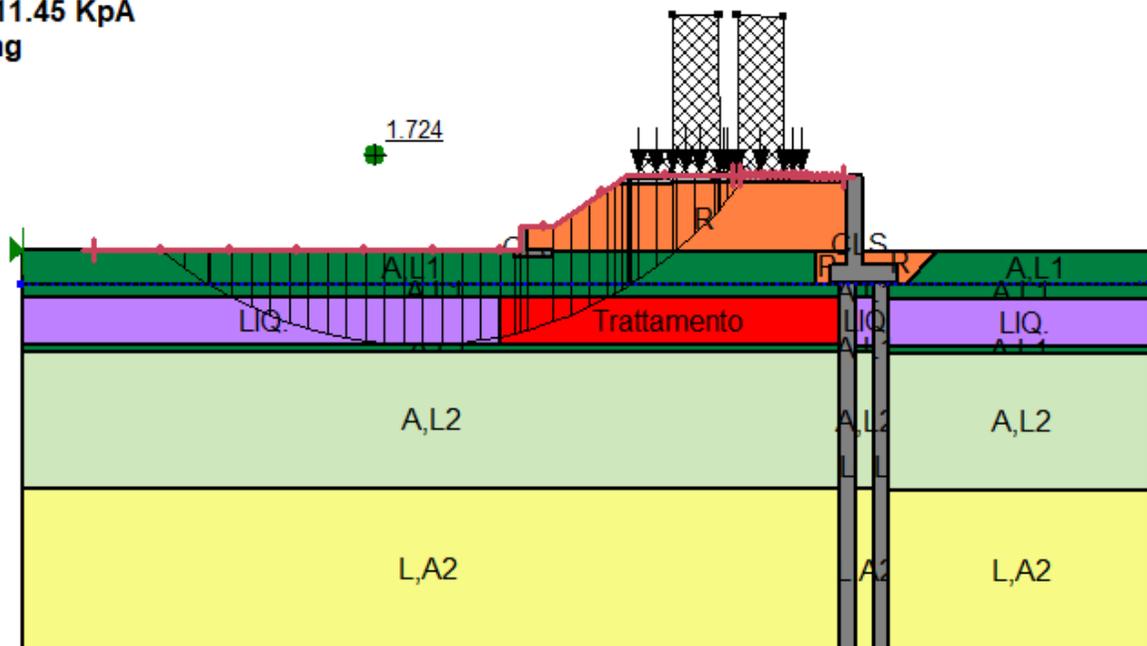


Figura 40: Rilevato H=5.95 m, sez. 0+600 - Analisi di stabilità globale in condizioni co-sismiche

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

Analisi di stabilità di rilevati

Sezione pk 0+600

Condizioni post-sismiche

Sovraccarico permanente armamento 14.4 kPa

Sovraccarico Ferroviario 11.46 KpA

Trattamento Deep Mixing

| | | | | |
|-------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------|
| Name: A,L1 | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 18 kN/m ³ | Cohesion: 10 kPa | Phi: 22 ° |
| 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: LIQ. | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 18 kN/m ³ | Cohesion: 0 kPa | Phi: 4.3 ° |
| 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: 480 kPa | Phi: 38 ° |
| Name: CLS | Model: Undrained (Phi=0) | Unit Weight: 25 kN/m ³ | Cohesion: 500 kPa | |
| Name: Trattamento | Model: Mohr-Coulomb | Unit Weight: 18 kN/m ³ | Cohesion: 33 kPa | Phi: 22 ° |

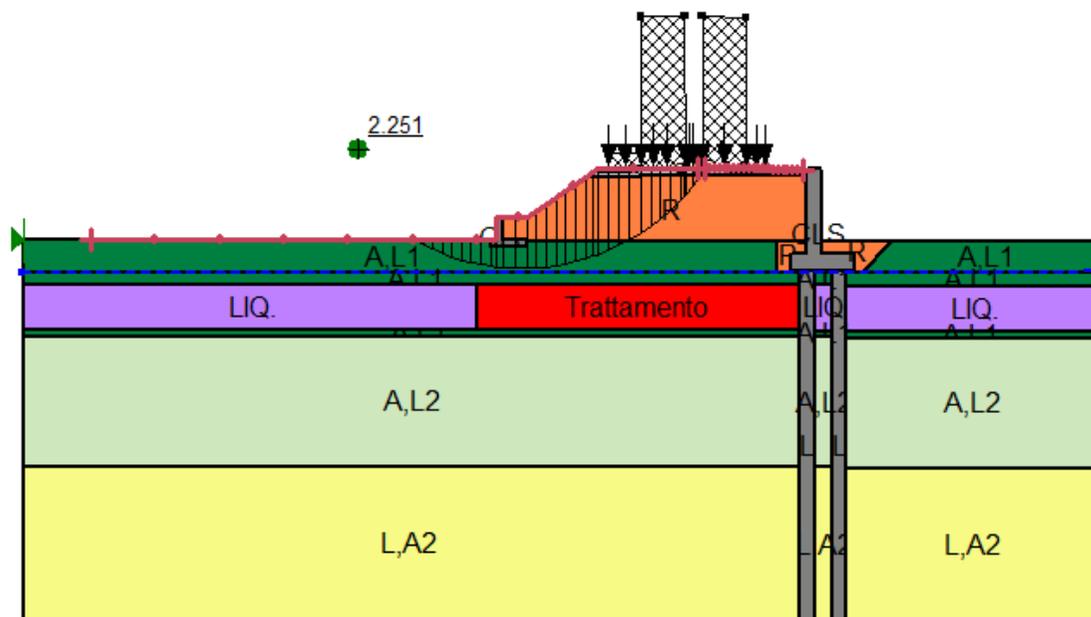


Figura 41: Rilevato H=5.95 m, sez. 0+600 - Analisi di stabilità globale in condizioni post-sismiche

10.4 Verifiche SLE – Valutazione dei cedimenti

Per quanto riguarda le verifiche SLE della sezione 0+600, vista la geometria si rimanda ai risultati presentati al precedente punto 9.3 relativamente alla sezione 0+400. Essendo il tipo di intervento di consolidamento per la sezione 0+600 più denso rispetto a quello per la sezione 0+400, si ritiene che la valutazione dei cedimenti attesi per la 0+400 possano costituire un upper-bound di quelli della sezione 0+600 e pertanto accettabili ai fini della verifica agli Stati Limite di Esercizio.

11. SEZIONE DI CALCOLO ALLA PROGRESSIVA 0+950 "FERMATATA SAN MARCO"

Come anticipato al punto 8, per la sezione alla pk 0+950 rappresentativa della tratta compresa tra la progressiva 0+900 e la progressiva 1+050 (Fermata San Marco) si prevede di effettuare una verifica dei cedimenti attesi nel corso della vita utile dell'opera, data la significativa altezza media di progetto del rilevato. Tale analisi è indicativa per poter escludere o meno la presenza di un trattamento del terreno di fondazione mirato all'irrigidimento dello stesso e, dunque, ad una riduzione dello spostamento verticale atteso al di sotto del rilevato ferroviario.

In Figura 42 viene riportata la sezione tipologica studiata.

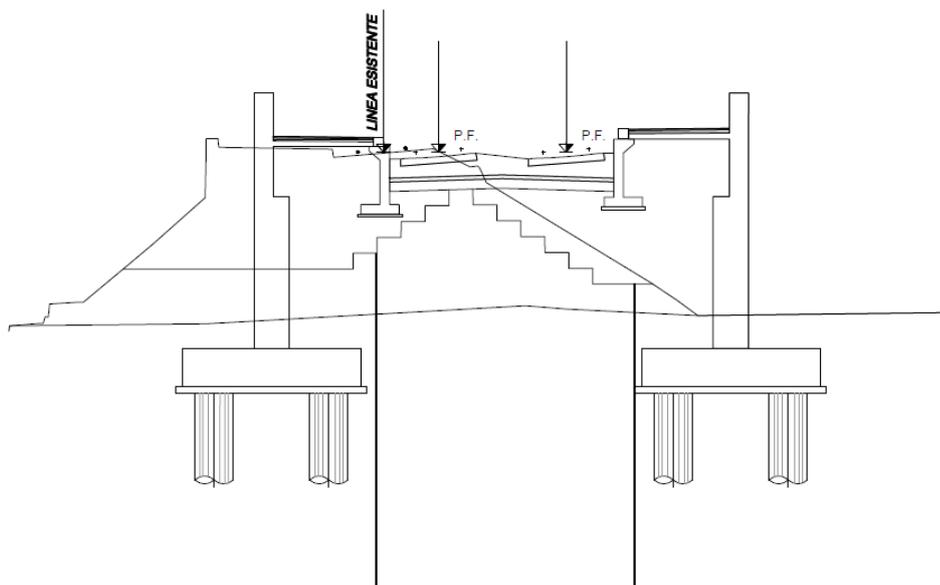


Figura 42- Sezione rilevato alla pk 0+950 – Fermata San Marco

Data la particolare geometria della sezione, caratterizzata da un rilevato tra muri fondati su pali, si prevedono valori di spostamenti verticali del rilevato inferiori a quelli calcolati sulle precedenti sezioni, ipotizzando che tutto il carico applicato, compreso il peso proprio del rilevato, scarichi sulle fondazioni profonde, piuttosto che sul terreno di fondazione.

11.1 Stratigrafia e parametri geotecnici di calcolo

In accordo a quanto riportato nella Relazione Geotecnica (Doc. rif. [1]) e sulla base di quanto descritto nel Cap. 3, nella Tabella 19 e Tabella 20 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 19: Stratigrafia di calcolo per la sezione 0+950 Fermata San Marco

| Strato | Profondità da [m da p.c.] | Profondità a [m da p.c.] | Descrizione |
|--------|---------------------------|--------------------------|-----------------------|
| A,L1 | 0.0 | 6.5 | L,A; L(A)[S] |
| A,L2 | 6.5 | 14.5 | A(L),L(A) |
| L,A2 | 14.5 | 28 | L(A); L(A)[S]; L(A),S |
| L,A1 | 28 | 39.5 | L(A); L(A)[S] |
| G,S | 39.5 | 43 | S; S(G);G(S);G |
| M | 43 | - | A(M); M |

Tabella 20: Parametri geotecnici di calcolo per la sezione 0+950 Fermata San Marco- 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,L1 | 18 | 22 | 17.9 | 10 | 8 | 80-100 | 64-80 | - | 0.15 | 0.01 | 1.00E-09 |
| A,L2 | 17.5 | 20.5 | 16.65 | 5 | 4 | 30-40 | 24-32 | - | 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 |



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 1/3

COMMESSA IA4S LOTTO 01 D29 CODIFICA CL DOCUMENTO GE0006 001 REV. A FOGLIO 99 di 419

| | | | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|----|-----|---------|---------|----|------|-------|----------|
| L,A1 | 18.5 | 23.5 | 19.2 | 12 | 9.6 | 60 | 48 | - | 0.20 | 0.04 | 1.00E-07 |
| G,S | 19 | 36 | 28.8 | 0 | 0 | - | - | 50 | - | - | 1.00E-04 |
| 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 a circa 1 m dal piano campagna.

Da un punto di vista della stabilità nei confronti della liquefazione, la sezione di calcolo alla progressiva 0+950 ricade in un tratto (da pk 0+900 a pk 1+250) in cui le verifiche condotte, sulla base dei risultati delle indagini in sito disponibili, hanno dato esito negativo e pertanto non si ha presenza di materiale potenzialmente liquefacibile.

Tuttavia, trattandosi di una tratta caratterizzata da rilevati di altezza significativa, è risultato necessario calcolare i cedimenti attesi nel corso della vita utile e verificare il rispetto dei requisiti imposti da RFI.

11.2 Verifiche SLE – Valutazione dei cedimenti

11.2.1 Analisi preliminari del rilevato senza interventi

11.2.1.1 Modelli e fasi di calcolo

Il modello utilizzato per queste analisi è mostrato nella Figura 43 e rappresenta il rilevato di progetto alla progressiva 0+950. L'altezza del rilevato in oggetto è pari a 5.30 metri escluso il pacchetto di armamento ferroviario (ballast, traversine e rotaie) che ha uno spessore ulteriore di 0.65 metri (non rappresentato nel modello ma convertito in sovraccarico).

La stratigrafia di calcolo utilizzata è riportata in Tabella 19.

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

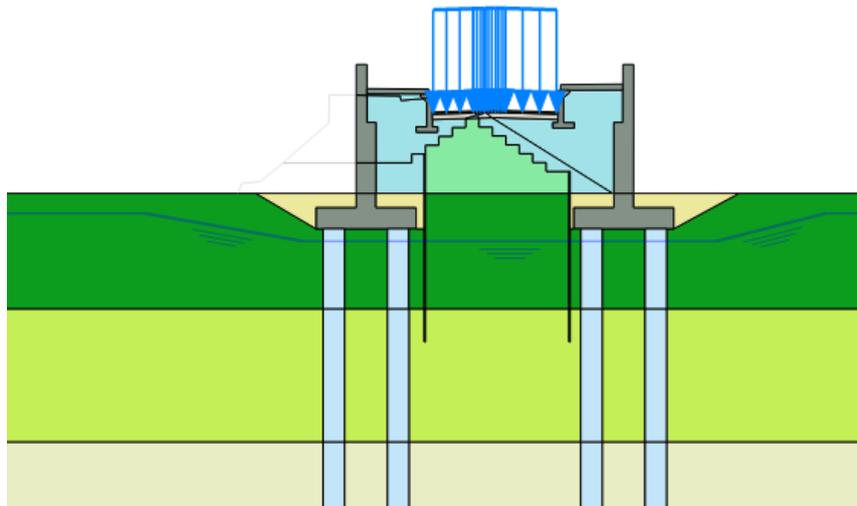


Figura 43: Modello rilevato Sez. 0+950-Fermata San Marco – senza interventi

In Figura 43 è rappresentata la configurazione finale di progetto del rilevato, sebbene per l'analisi dei cedimenti sia stata presa in considerazione una fase preliminare di esecuzione e consolidazione del rilevato esistente, il cui modello è illustrato in Figura 44.

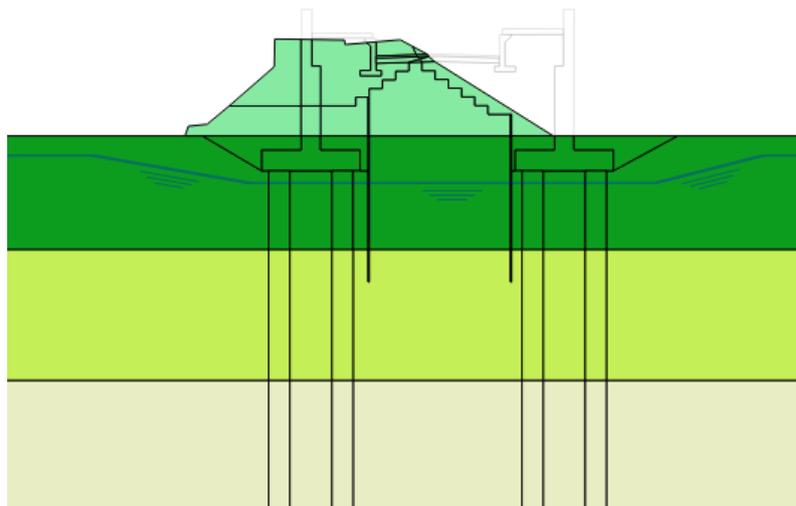


Figura 44: Modello rilevato esistente Sez. 0+950

Le fasi di calcolo simulate sono le seguenti (il modello di calcolo per ciascuna fase è riportato in ALLEGATO E – RISULTATI ANALISI PLAXIS FERMATA SAN MARCO:

- Generazione dello stato tensionale iniziale con piano campagna attuale;
- Costruzione del rilevato esistente, esecuzione dello strato di supercompattato, sub-ballast e armamento ferroviario (durata 1 anno);
- Consolidazione del terreno di fondazione nel corso dell'esercizio della linea ferroviaria esistente (durata 50 anni);
- Demolizione della parte destra del rilevato esistente con scavo al piede della scarpata sinistra (durata 30 gg);
- Infissione della palanca (durata 30 gg);
- Esecuzione dei pali e del muro (lato destro) (durata 20 gg);
- Riempimento al piede destro con materiale di bonifico (durata 2 gg);
- Costruzione della parte destra del rilevato sino all'altezza di progetto (durata 20 gg);
- Applicazione dello strato di supercompattato e sub-ballast con l'applicazione del sovraccarico da armamento ferroviario (durata 620 gg);
- Entrata in esercizio della nuova linea (nuovo binario pari) (durata 8 gg per l'applicazione);
- Demolizione della parte sinistra del rilevato esistente con scavo al piede della scarpata sinistra (durata 30 gg);
- Infissione della palanca (durata 30 gg);
- Esecuzione dei pali e del muro (lato sinistro) (durata 30 gg);
- Riempimento dello scavo sinistro con materiale di bonifico (durata 2 gg);
- Costruzione della parte sinistra del rilevato sino all'altezza di progetto (durata 30 gg);
- Applicazione dello strato di supercompattato e sub-ballast con l'applicazione del sovraccarico da armamento ferroviario (durata 243 gg);
- Entrata in esercizio della nuova linea (nuovo binario dispari) 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 dispari.

I risultati ottenuti sono mostrati e commentati al successivo punto 11.2.1.2.

11.2.1.2 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 45) 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.

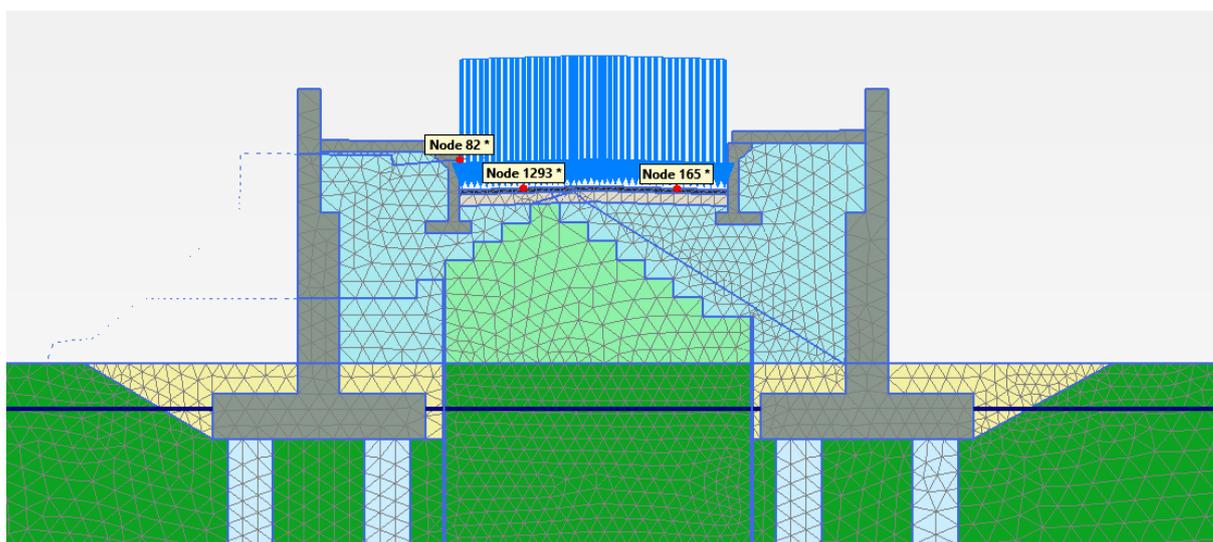


Figura 45: Punti di monitoraggio sez. 0+950 senza interventi

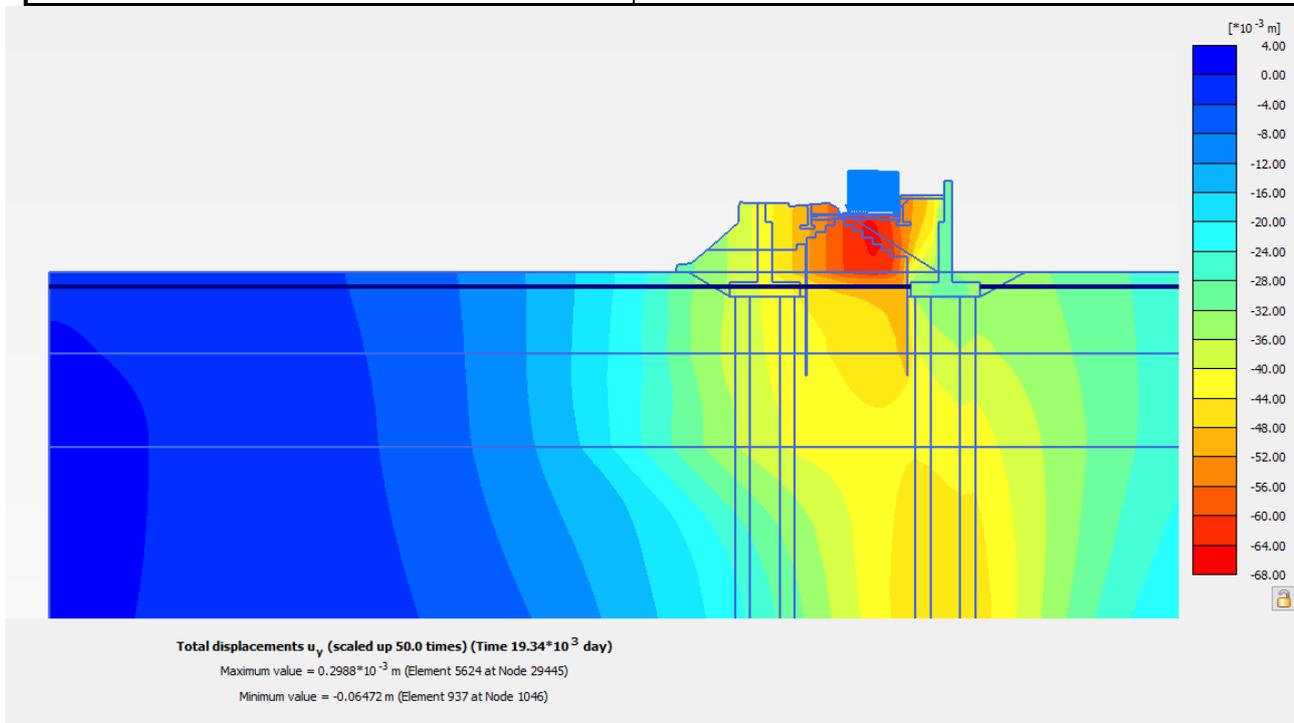


Figura 46: Rilevato sez. 0+950 senza interventi – Spostamenti verticali prima dell'attivazione del nuovo binario pari

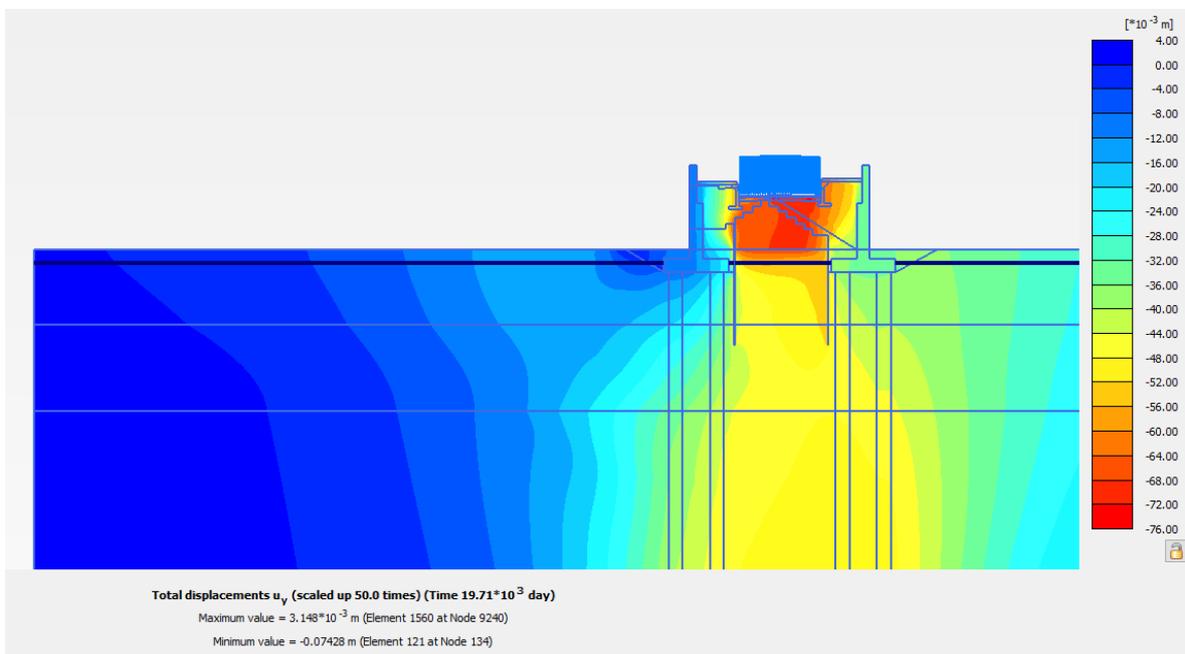


Figura 47: Rilevato sez. 0+400 senza interventi – Spostamenti verticali prima dell'attivazione del nuovo binario dispari

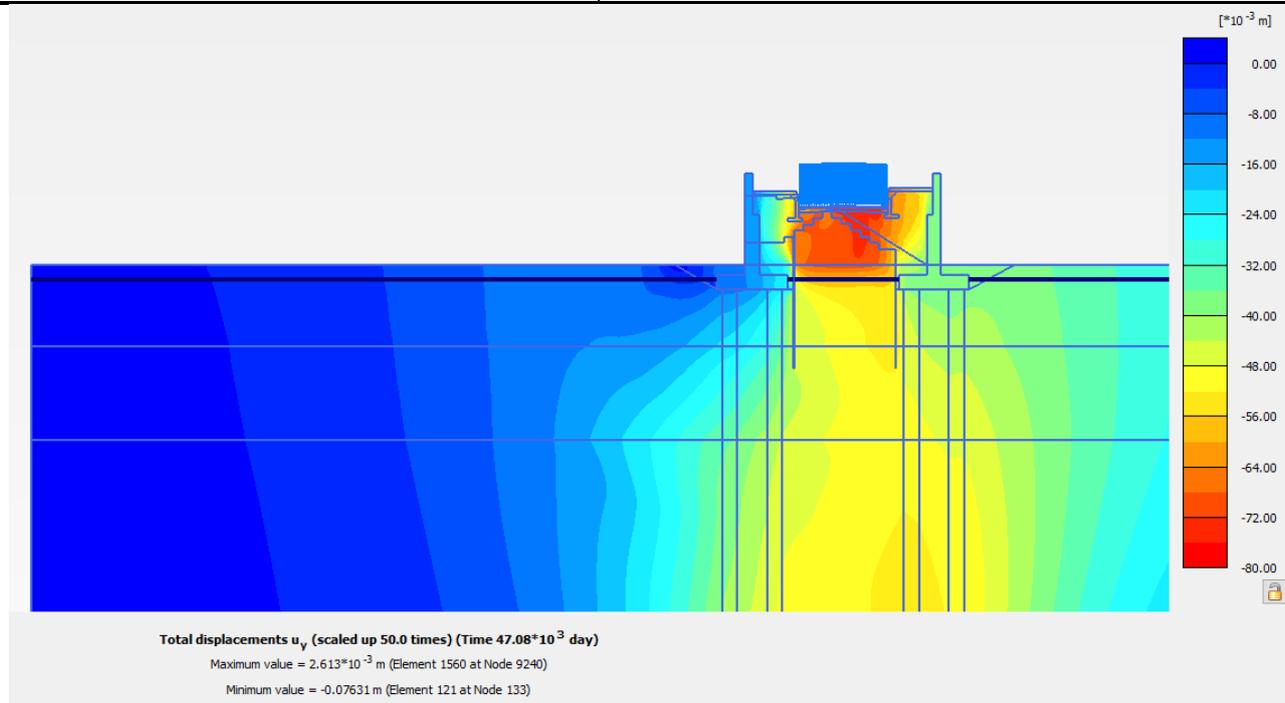


Figura 48: Rilevato sez. 0+950 senza interventi – Spostamenti verticali a 75 anni dalla messa in esercizio della linea ferroviaria

In Figura 49 e Figura 50 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 e dell'asse del nuovo binario dispari e di un punto in sommità al rilevato esistente in corrispondenza dell'asse binario.

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 21 e

Tabella 22 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.

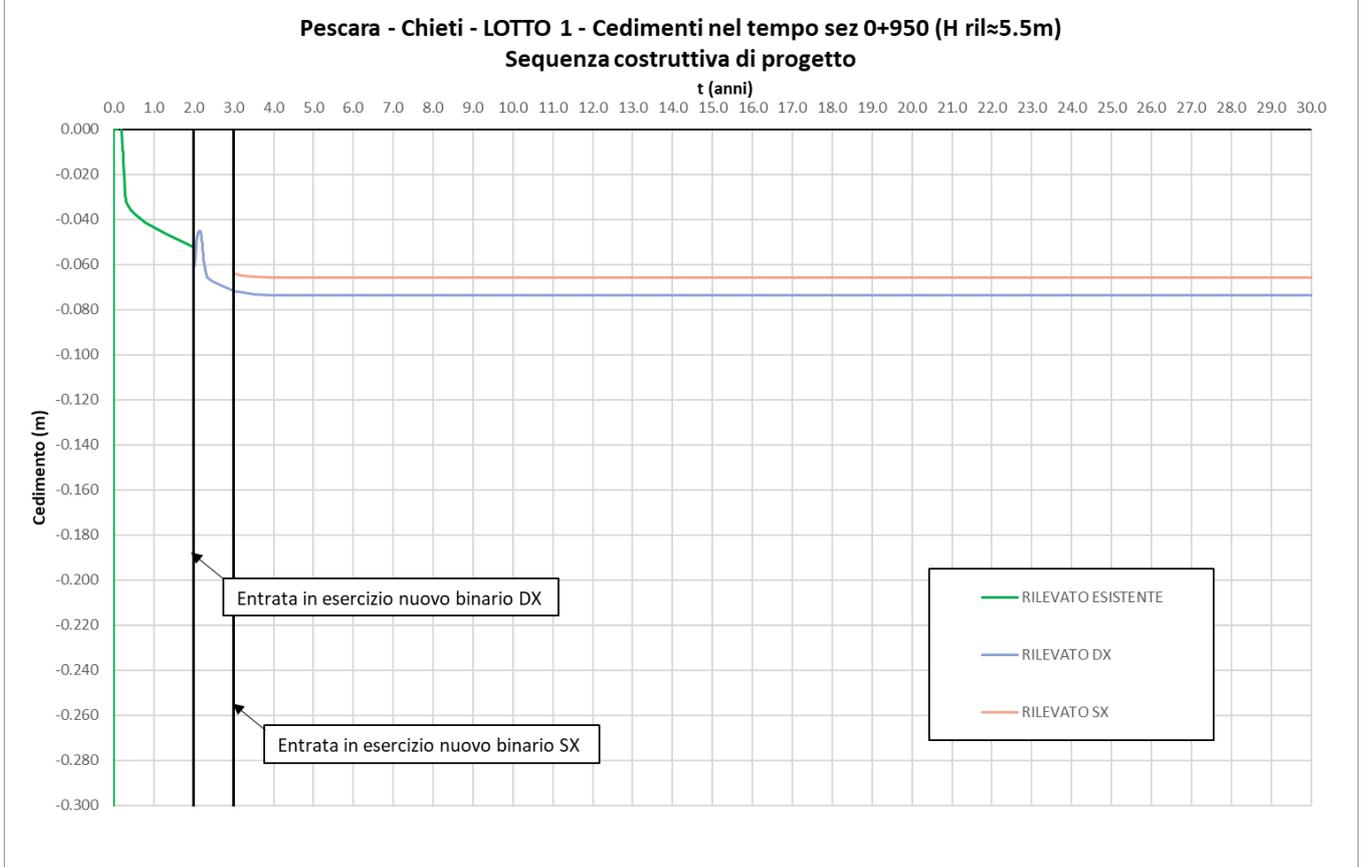


Figura 49: Rilevato sez. 0+950 senza interventi – Spostamenti verticali nel tempo in sommità al rilevato

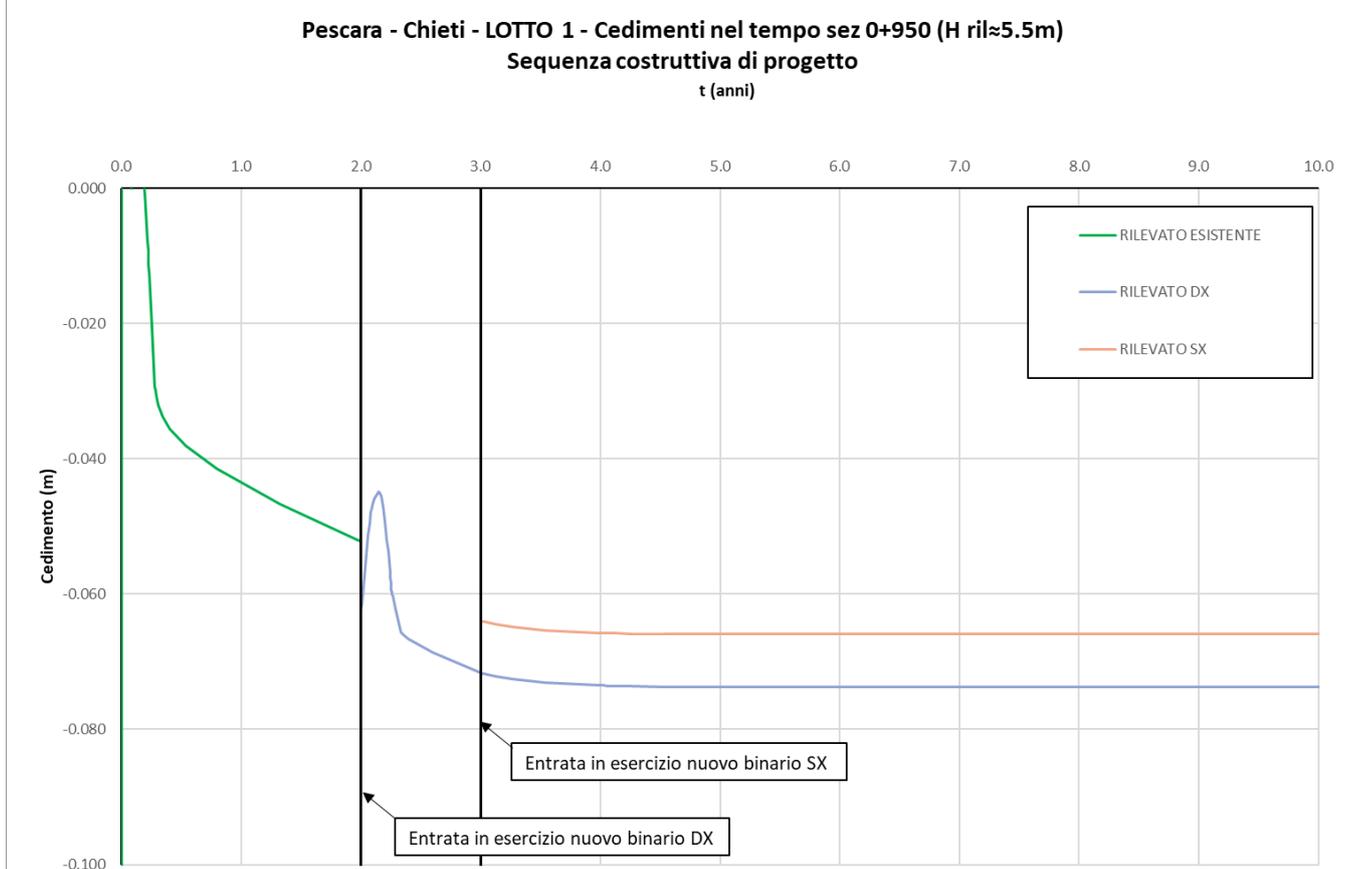


Figura 50: Rilevato 0+400 senza interventi – Spostamenti verticali nel tempo in sommità al rilevato (fino a 10 anni)

Tabella 21: 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] |
| 0+950 | 5.2 | 6.2 | 7.4 | 1.2 | 6.4 | 6.6 | 0.2 |

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

| | | | | | | |
|--|---|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  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 1/3 | COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A |

Tabella 22: 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 | 5.2 | - | - |
| 3 anni | Attivazione binario dispari | - | 1 | - |
| 3+1 anni | Ced residuo a 1 anno | - | 1.1 | 0.2 |
| 3+2 anni | Ced residuo a 2 anni | - | 1.2 | 0.2 |
| 3+10 anni | Ced residuo a 10 anni | - | 1.2 | 0.2 |
| 3+30 anni | Ced residuo a 30 anni | - | 1.2 | 0.2 |
| 3+75 anni | Ced residuo a 75 anni | - | 1.2 | 0.2 |

Come si può notare i valori che si ottengono sono compatibili con la funzionalità della linea ferroviaria e con i relativi interventi di manutenzione ordinaria che si prevede di realizzare durante la vita dell'opera, in accordo ai Doc. Rif. [7][11] e come specificato al precedente punto 3.2.2 poiché inferiori a 5 cm. Non si rende pertanto necessaria l'esecuzione di un intervento di consolidamento mirato a ridurre i cedimenti attesi. Resta da trattare in ogni caso la porzione della Fermata San Marco tra le progressive 0+793 e 0+900 che ricade in un tratto liquefacibile e per cui si prevede un trattamento con colonne Deep-mixing a setti con lato 4.2m come previsto anche per il rilevato corrente nella medesima tratta.

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 estremamente modesti (circa 5.2 cm). 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 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 rinalzo del ballast.

In conclusione, per questa sezione si prevede di realizzare quindi un intervento di trattamento con colonne in Deep Mixing per il cui dimensionamento si rimanda a quanto visto per la sezione rappresentativa 0+600 al punto 10.3.

| | | | | | | |
|--|---|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|
|  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 1/3 | COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A |

12. CONSIDERAZIONI FINALI SUI RILEVATI DA 0+000 A 1+250

Relativamente alla tratta di sede ferroviaria dalla 0+000 alla 1+250 sono state svolte una serie di verifiche basate sulle seguenti considerazioni:

- La sede ferroviaria nella tratta in esame è interamente in rilevato, con altezze di rilevato pari a circa 5 - 6 m dalla progressiva 0+000 alla progressiva 1+100 e altezza decrescente da 5 a 3 m tra la progressiva 1+100 e la progressiva 1+250. La nuova sede ferroviaria a doppio binario viene realizzata interamente in affiancamento al rilevato della linea esistente che ha altezze paragonabili a quelle di progetto.
- Vista l'altezza significativa del rilevato, specie nella prima porzione di tracciato, si è deciso di verificare se la stima di cedimenti attesi fosse compatibile con la funzionalità dell'opera durante la vita utile. Parallelamente si sono verificate anche le condizioni di stabilità del rilevato medesimo. Inoltre, vista la presenza di materiale potenzialmente liquefacibile tra la progressiva 0+600 e la progressiva 0+900, le suddette verifiche di stabilità sono state concentrate in questa zona.
- In aggiunta vista la presenza di un muro di sostegno su pali lato binario pari si sono valutati i possibili effetti in termini di attrito negativo sui pali di fondazione del suddetto muro di sostegno.

I risultati ottenuti dai calcoli effettuati hanno mostrato la necessità di prevedere degli interventi di consolidamento per diverse porzioni di tracciato e con diverse finalità. La sintesi degli interventi che si prevede di realizzare è di seguito riportata e riassunta in Tabella 23.

- Da 0+000 a 0+600: rilevato su terreno trattato con la finalità di eliminare gli effetti di attrito negativo sui pali. Tale intervento permette anche di ridurre i già contenuti cedimenti residui post-costruzione. L'intervento prevede la realizzazione di colonne in Deep Mixing, di diametro 600 mm, secondo una maglia triangolare (a quinconce) di lato 2.6 m, sino alla profondità di circa 10m a partire dalla testa dei pali nel lato destro, prossimo appunto alla palificata, e di realizzare colonne di lunghezza pari a circa 6m da sotto la base del rilevato sul lato sinistro. L'effetto del trattamento colonnare si traduce principalmente in una significativa riduzione dei valori assoluti di cedimento attesi, sia prima della messa in esercizio, sia a lungo termine, in modo tale che i cedimenti residui attesi risultino talmente bassi da permettere di non

considerare effetti di attrito negativo sui pali di fondazione del muro di sostegno lato binario pari. Tale distribuzione permette non solo di eliminare cedimenti significativi del terreno nella zona prossima ai pali ma anche di omogeneizzare il comportamento del rilevato iniziale del Lotto 1 (da 0+000 a 1+250) in continuità anche con il tratto di seguito descritto.

- Da 0+600 a 0+900 (comprensivo della porzione della Fermata San Marco tra 0+793 e 0+900): rilevato su terreno trattato con la finalità di garantire la stabilità in condizioni sismiche stante la presenza di materiale potenzialmente liquefacibile. L'intervento prevede la realizzazione di colonne accostate in Deep Mixing, di diametro 600 mm, secondo una struttura a celle quadrate di lato 4.2 m, con una lunghezza delle colonne pari a circa 10 m (tale lunghezza è definita in funzione delle fasi costruttive della tratta). 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, alla luce di quanto valutato per la tratta precedente, consente anche di ridurre i cedimenti residui post-costruzione. Inoltre, alla luce delle considerazioni fatte per le altre tratte di cui sopra, alcune delle colonne del trattamento lato destro verranno allungate in modo da creare continuità con l'intervento a quinconce di cui alle altre tratte e permettere di non considerare effetti di attrito negativo sui pali di fondazione del muro di sostegno lato binario pari. (Per maggiori dettagli si rimanda alle tavole delle sezioni rappresentative degli interventi).
- Da 0+900 a 1+250: valgono le medesime considerazioni fatte per il tratto da 0+000 a 0+600. L'effetto del trattamento colonnare si traduce principalmente in una significativa riduzione dei valori assoluti di cedimento attesi. Si prevede che tale intervento sia necessario solo fino alla progressiva 1+250; successivamente l'altezza del rilevato diminuisce e i cedimenti residui sono più contenuti. Inoltre termina anche la presenza del muro di sostegno su pali.
- I cedimenti residui attesi sul rilevato esistente, durante le fasi di costruzione del nuovo binario pali, grazie anche alla presenza del trattamento sono ritenuti accettabili considerando di mettere in atto opportune misure di sicurezza, quali per esempio i rallentamenti, e di realizzare un adeguato sistema di monitoraggio degli spostamenti del binario che verrà rilevato con opportuna frequenza.

- 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 successive senza trattamento.

Tabella 23: Sintesi caratteristiche trattamenti.

| Tratto | | L tratto [m] | Trattamento DM | DEEP MIXING | | | | | | | |
|--------|-------|-----------------|-------------------|---------------------------------|-----------------------|-------------------|------------------|---------------------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | | | Cemento [kg/m ³] | Maglia Lato in [m] | D Colonne [mm] | L Colonne [m] | A _{DM} /A [-] | φ _{eq} [°] | c _{eq} [kPa] | E _{eq} [MPa] |
| da [m] | a [m] | | | | | | | | | | |
| 0 | 600 | 600 | SI | 150 | Quinconce L=2.6 | 600 | 10 | 5% | 22 | 15.75 | 31 |
| 600 | 793 | 133 | SI | 150 | Setti L=4.2 | 600 | 10 | 20% | 22 | 33 | 31 |
| 793 | 900 | 167 | SI | 150 | Setti L=4.2 | 600 | 10 | 20% | 22 | 33 | 31 |
| 900 | 1250 | 350 | SI | 150 | Quinconce L=2.6 | 600 | 10 | 5% | 22 | 15.75 | 31 |



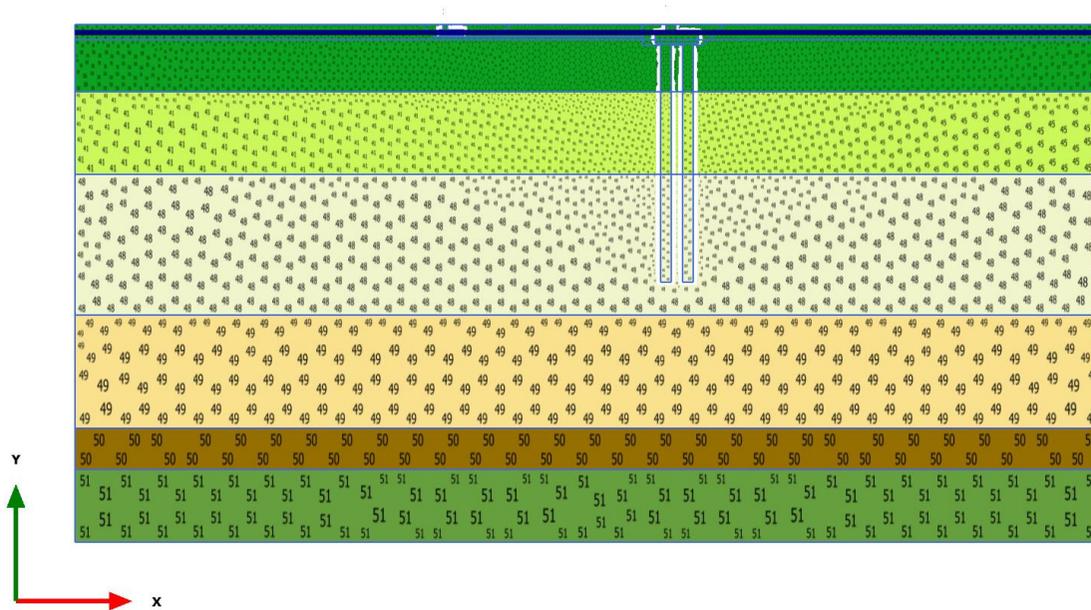
VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA.
RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA
- CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM
SAN GIOVANNI TEATINO
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 1/3

| | | | | | |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|----------------------|
| COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A | FOGLIO 111 di 419 |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|----------------------|

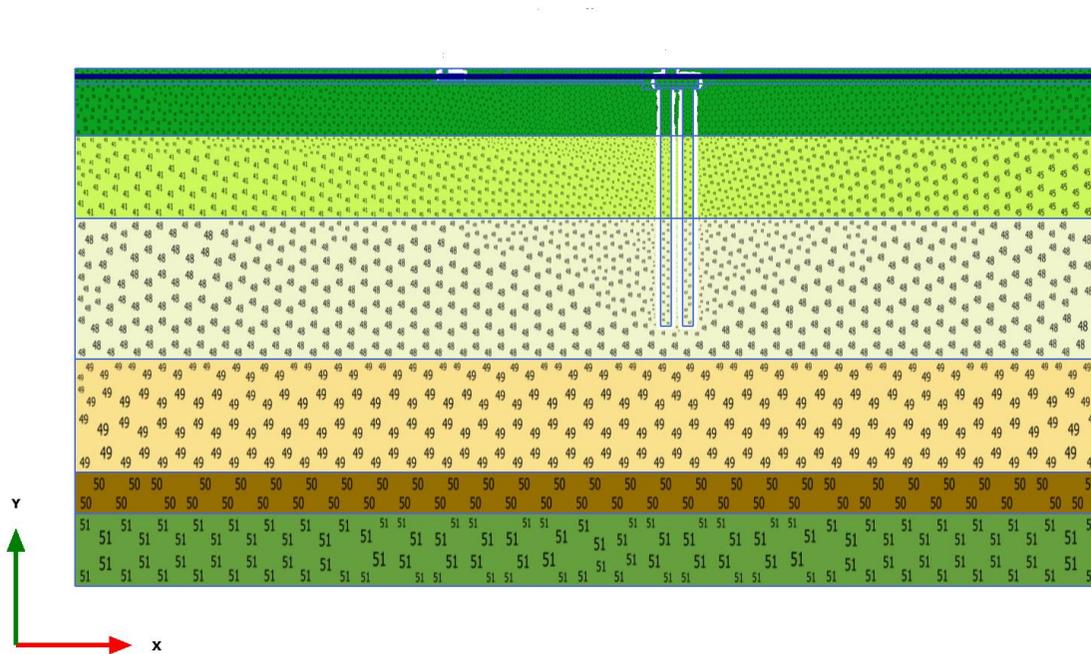
ALLEGATO A – RISULTATI ANALISI PLAXIS RIL. 0+400 SENZA INTERVENTI

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



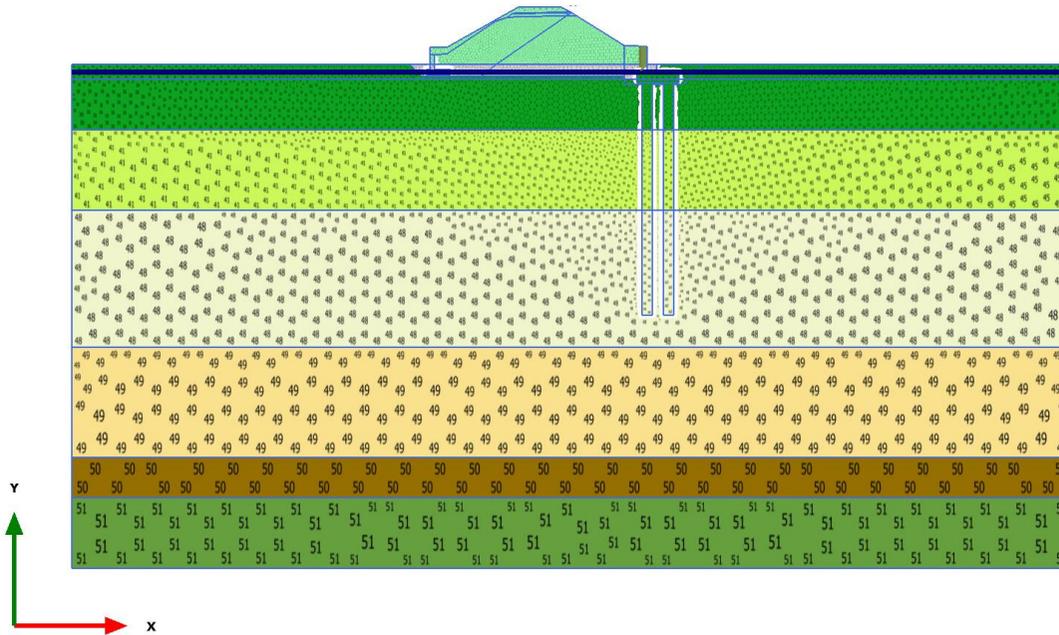
Connectivity plot

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



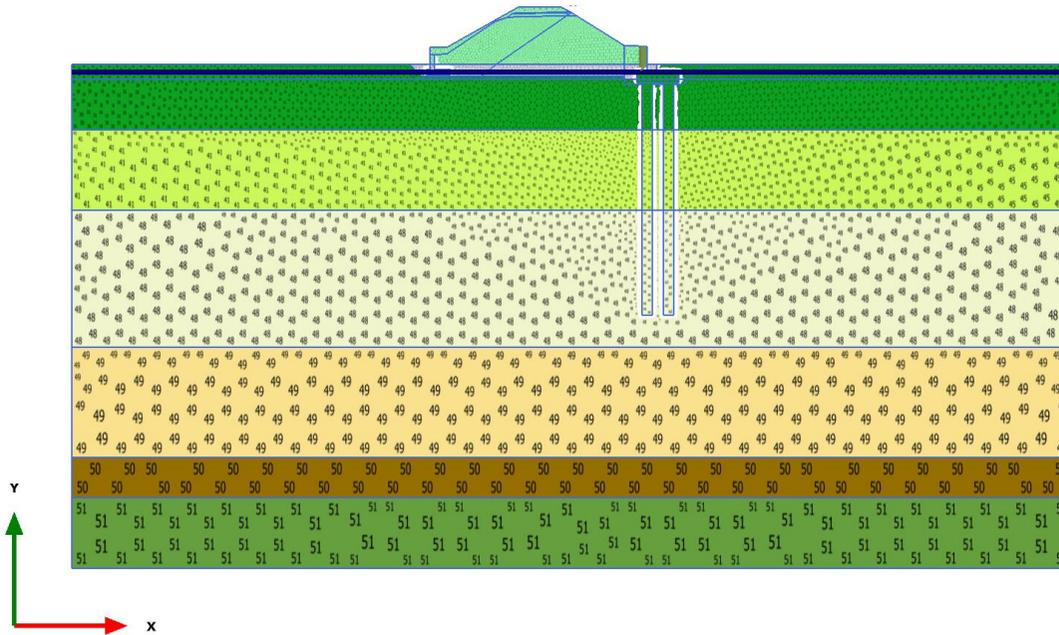
Connectivity plot

1.1.1.3 Calculation results, costr. ril. esistente [Phase_2] (2/21), Connectivity plot



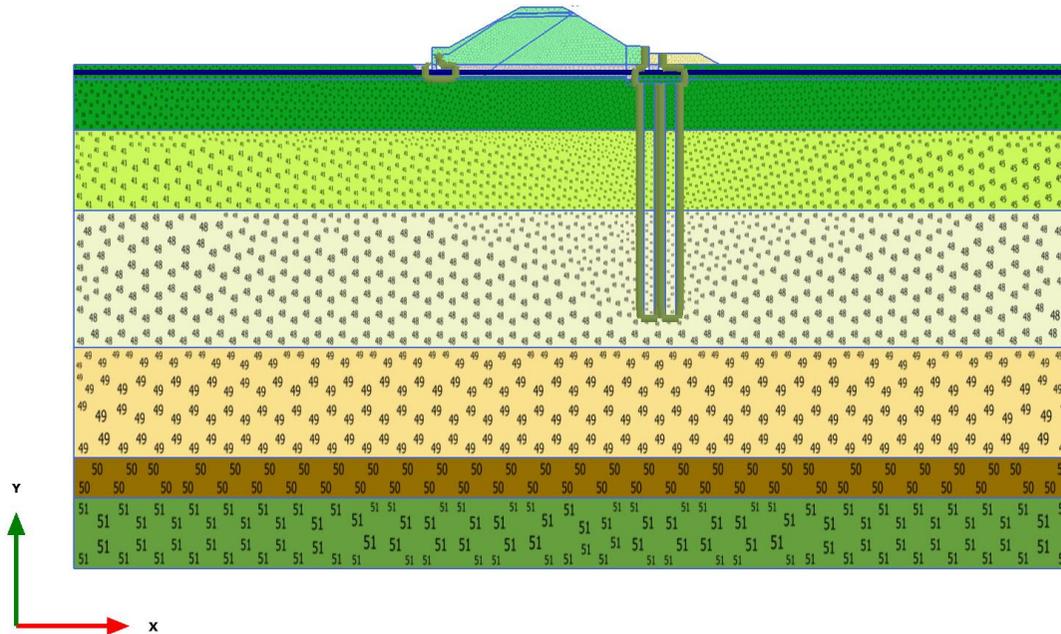
Connectivity plot

1.1.1.4 Calculation results, consolidaz. ril. esistente [Phase_3] (3/58), Connectivity plot



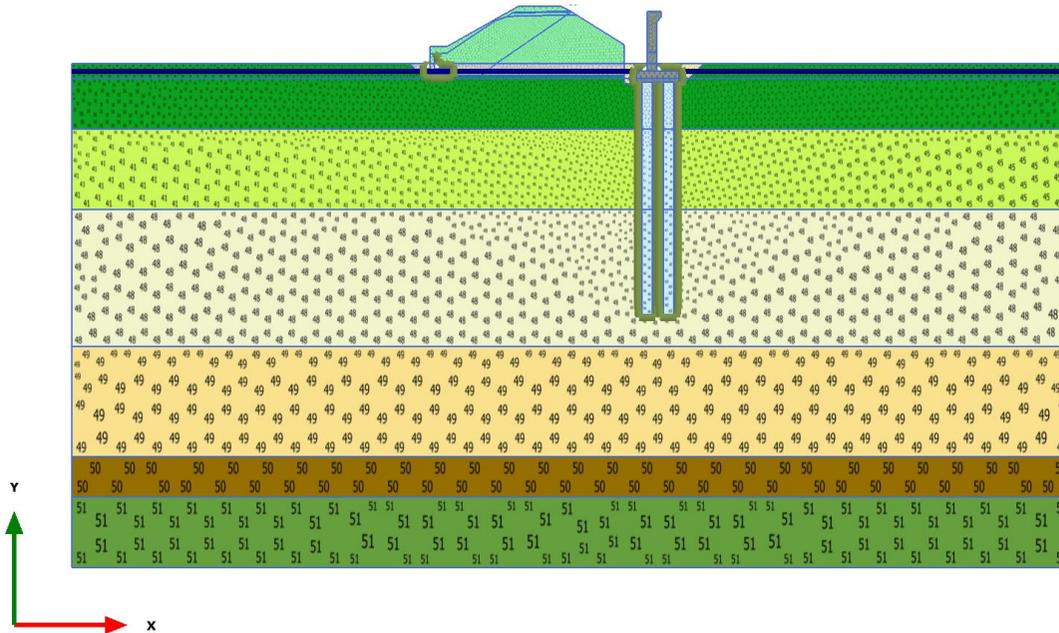
Connectivity plot

1.1.1.5 Calculation results, esecuz. strato bonifico superiore [Phase_4] (4/61), Connectivity plot



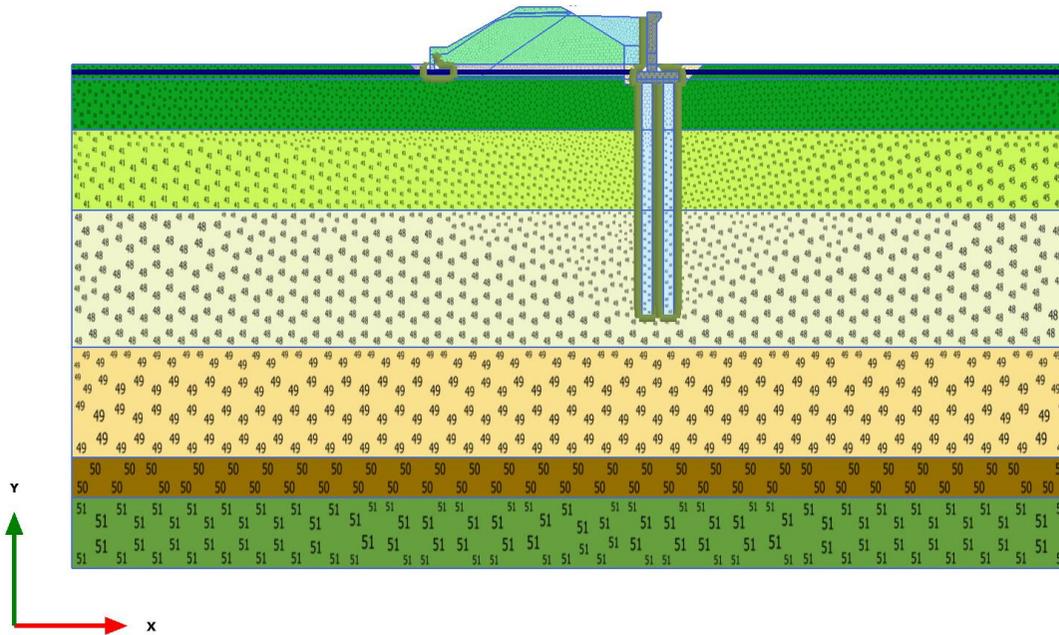
Connectivity plot

1.1.1.6 Calculation results, scavo bonifico sup.+ piede scarpata [Phase_6] (6/65), Connectivity plot



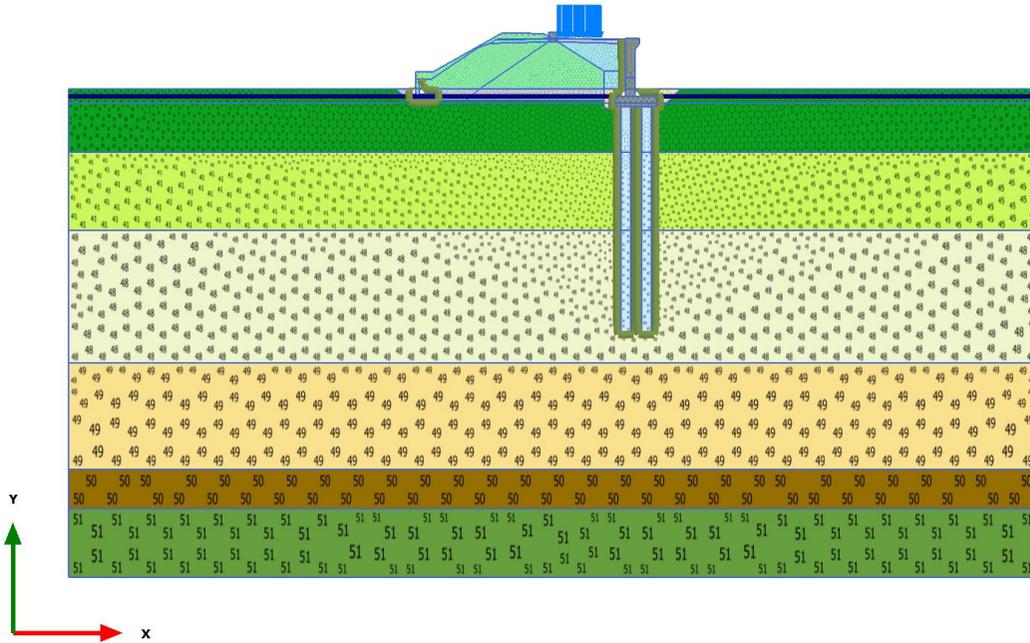
Connectivity plot

1.1.1.7 Calculation results, costruz. rilevato dx [Phase_7] (7/80), Connectivity plot



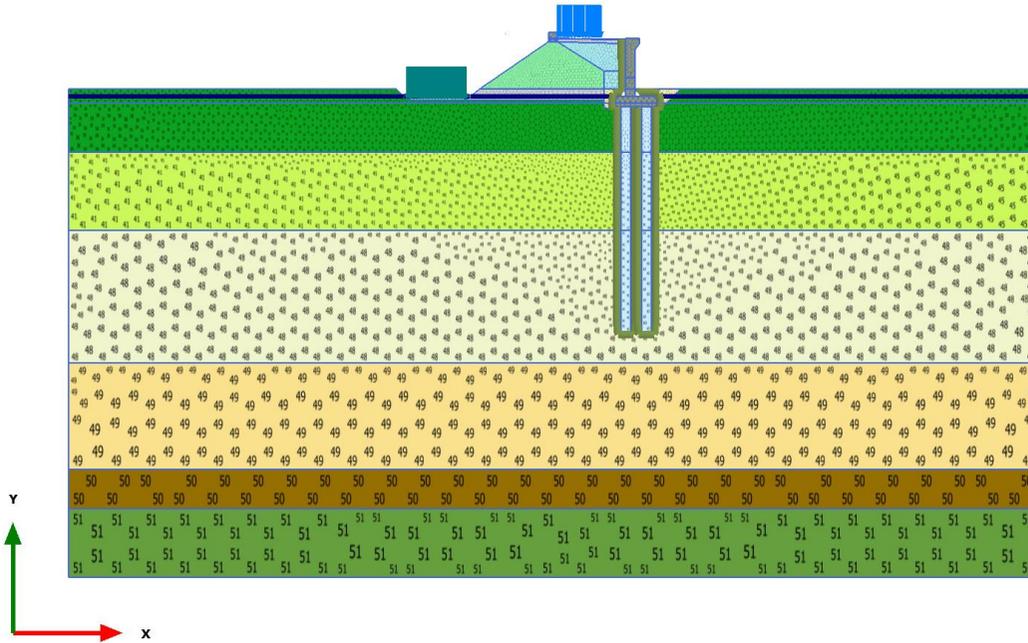
Connectivity plot

1.1.1.8 Calculation results, esercizio nuova linea [Phase_14] (14/82), Connectivity plot



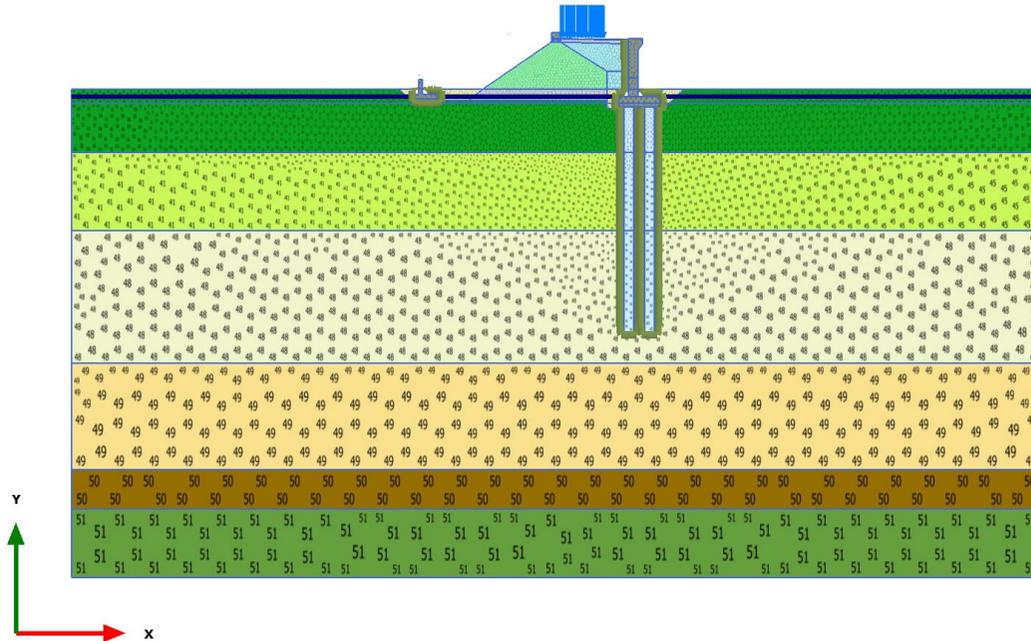
Connectivity plot

1.1.1.9 Calculation results, scavo rilevato sx [Phase_9] (9/89), Connectivity plot



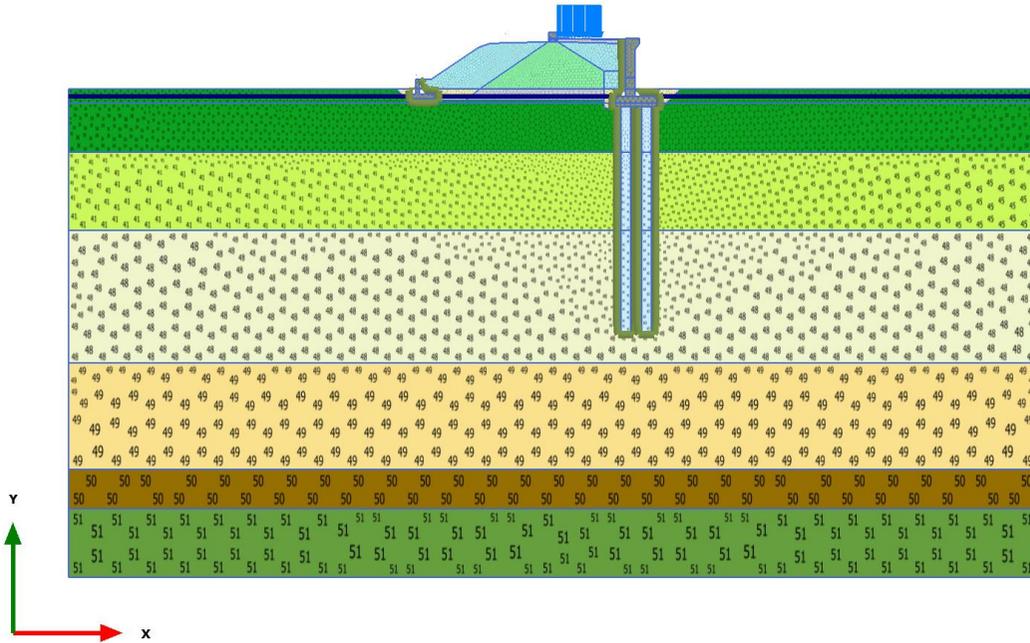
Connectivity plot

1.1.1.10 Calculation results, riempimento bonifico+ muro [Phase_10] (10/106), Connectivity plot



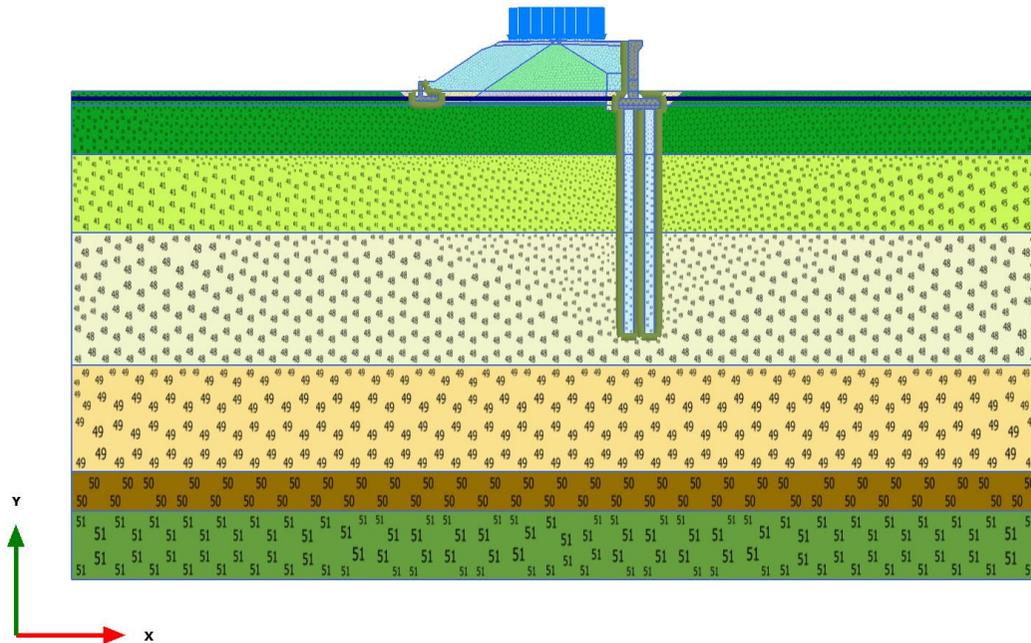
Connectivity plot

1.1.1.11 Calculation results, costruz. rilevato sx [Phase_11] (11/123), Connectivity plot



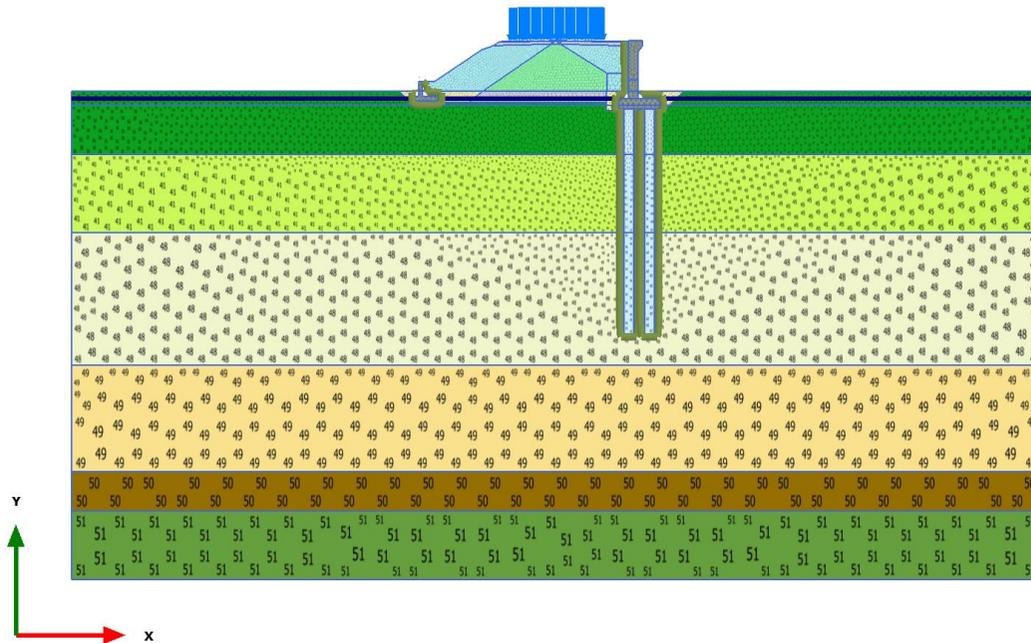
Connectivity plot

1.1.1.12 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/139), Connectivity plot



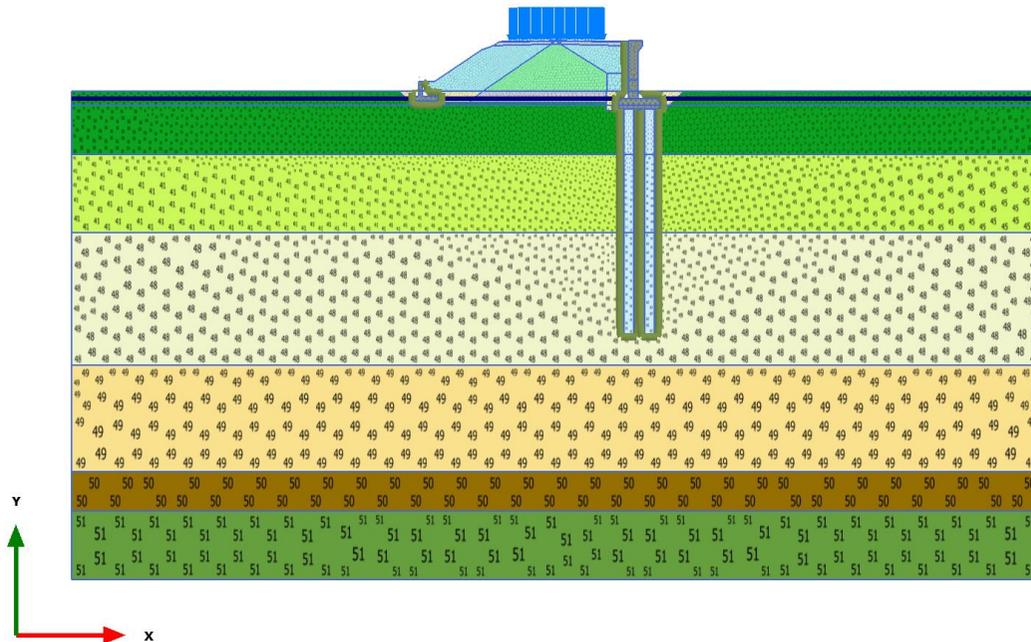
Connectivity plot

1.1.1.13 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (2 anni) [Phase_15] (15/159), Connectivity plot



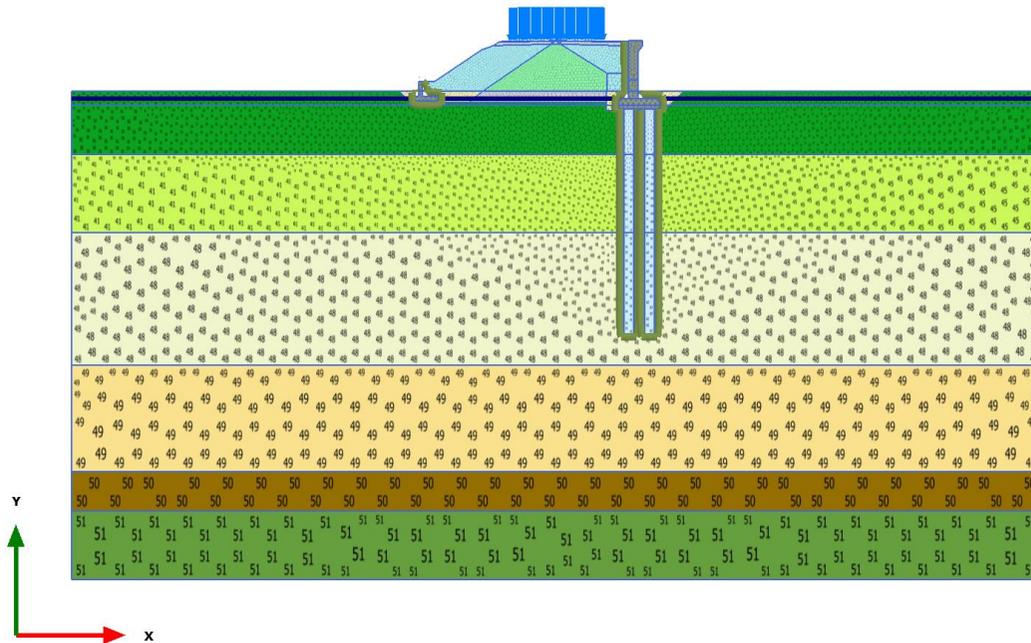
Connectivity plot

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



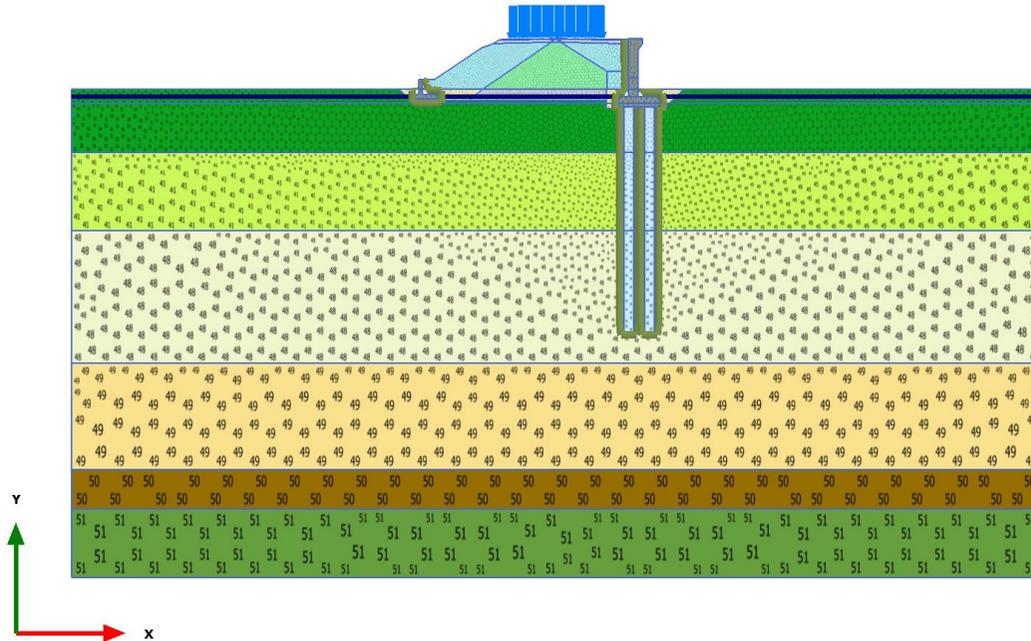
Connectivity plot

1.1.1.15 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (30 anni) [Phase_17] (17/259), Connectivity plot



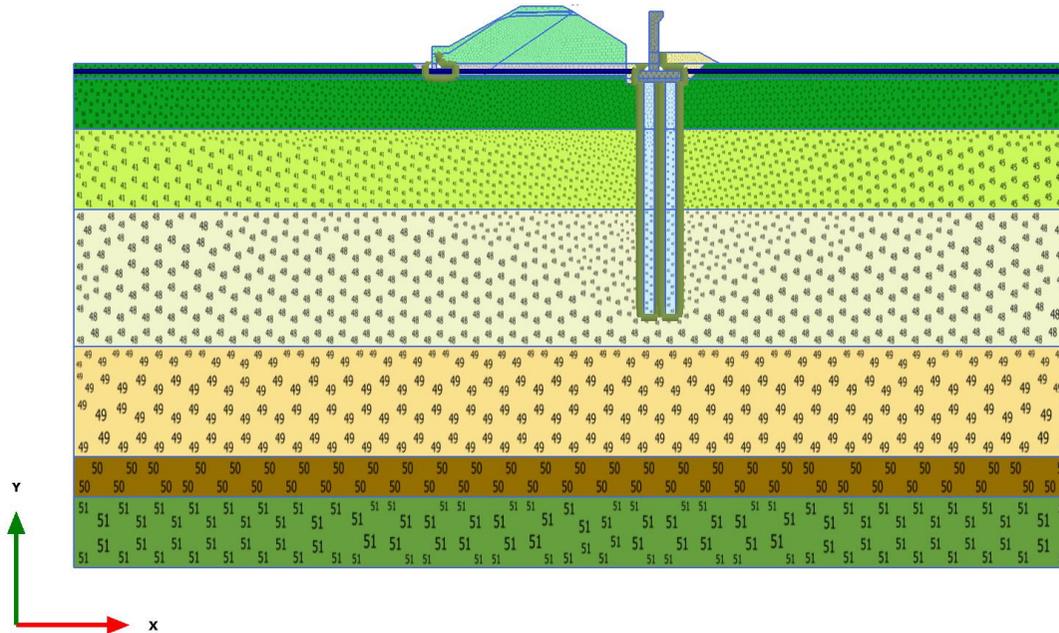
Connectivity plot

1.1.1.16 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/279), Connectivity plot



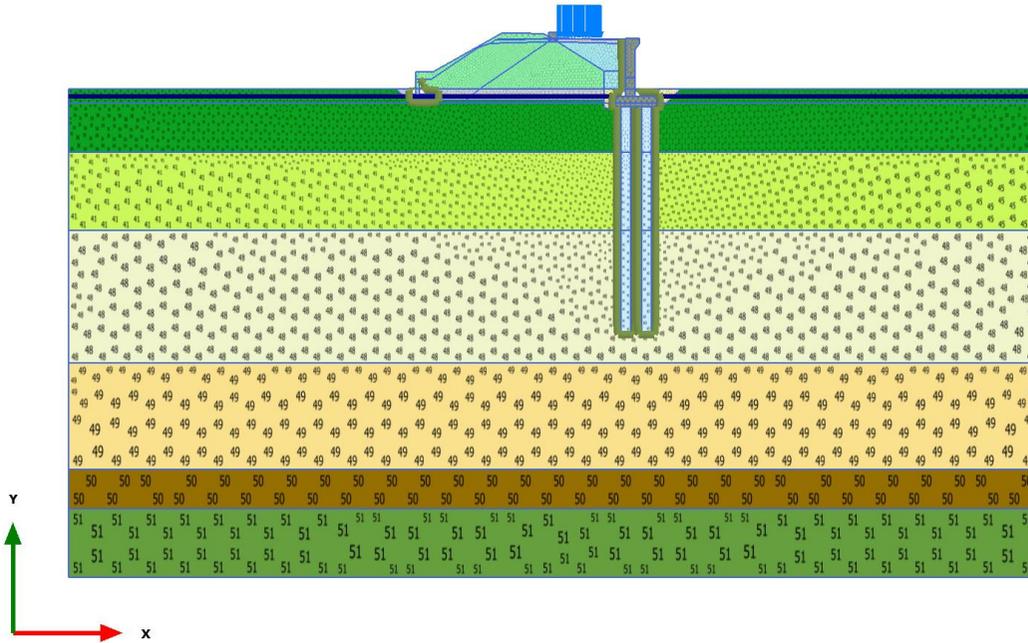
Connectivity plot

1.1.1.17 Calculation results, pali+ plinto+ muro+ riempimento bon. inf. [Phase_5] (5/293), Connectivity plot



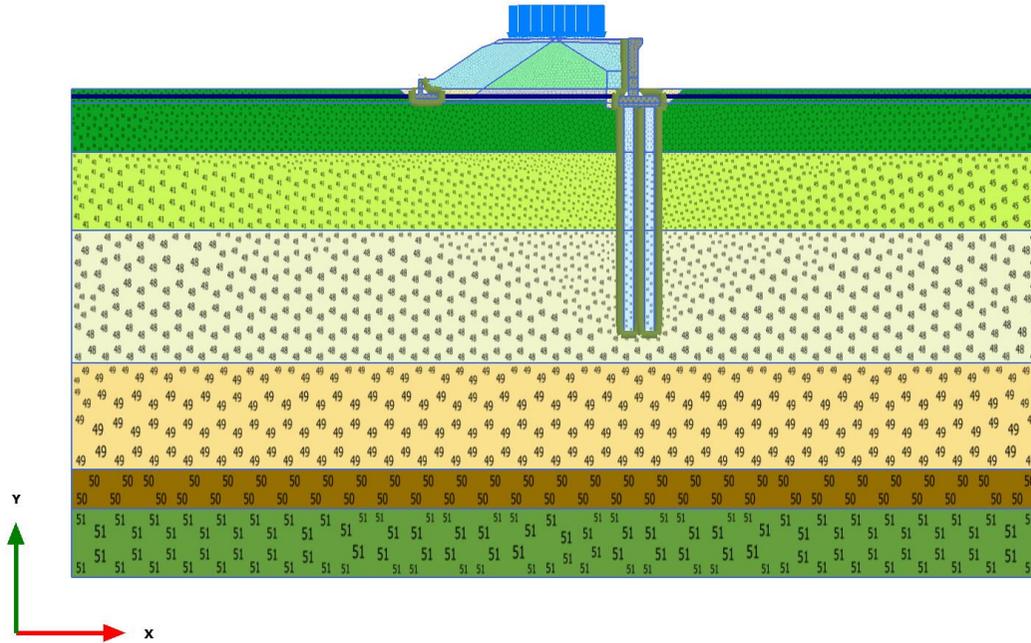
Connectivity plot

1.1.1.18 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/315), Connectivity plot



Connectivity plot

1.1.1.19 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/335), Connectivity plot



Connectivity plot

| 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

| 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} | | 0.6199 | 0.9338 | 0.6437 | 0.5809 | 1.164 |
| K _{0,z} | | 0.6199 | 0.9338 | 0.6437 | 0.5809 | 1.164 |
| OCR | | 1.200 | 1.600 | 1.100 | 1.050 | 2.200 |
| 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 |

| 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 | | | | | | |
| γ_{unsat} | kN/m ³ | 19.00 | 20.00 | 19.00 | 20.00 | 19.00 |
| γ_{sat} | kN/m ³ | 19.00 | 20.00 | 19.00 | 20.00 | 19.00 |
| Dilatancy cut-off | | No | No | No | No | No |
| ϵ_{init} | | 0.5000 | 0.5000 | 0.5000 | 0.5000 | 0.5000 |
| ϵ_{min} | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| ϵ_{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 |
| ν (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 |

| Identification | | G,S | supercompattato | rilevato | sub-ballast | BONIFICO |
|-------------------------------------|-----------------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-------------|
| Consider gap closure | | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes |
| $\bar{\sigma}_{inter}$ | | 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 |

| 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 |

Identification

Riporto antropico esistente

Identification number

14

Drainage type

Drained

Colour



Comments

γ_{unsat}

kN/m³

19.00

γ_{sat}

kN/m³

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/m²

15.00E3

ν (nu)

0.3000

G

kN/m²

5769

E_{oed}

kN/m²

20.19E3

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

| 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 |

| Identification | | Riporto antropico esistente |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| $\bar{\sigma}_{inter}$ | | 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

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

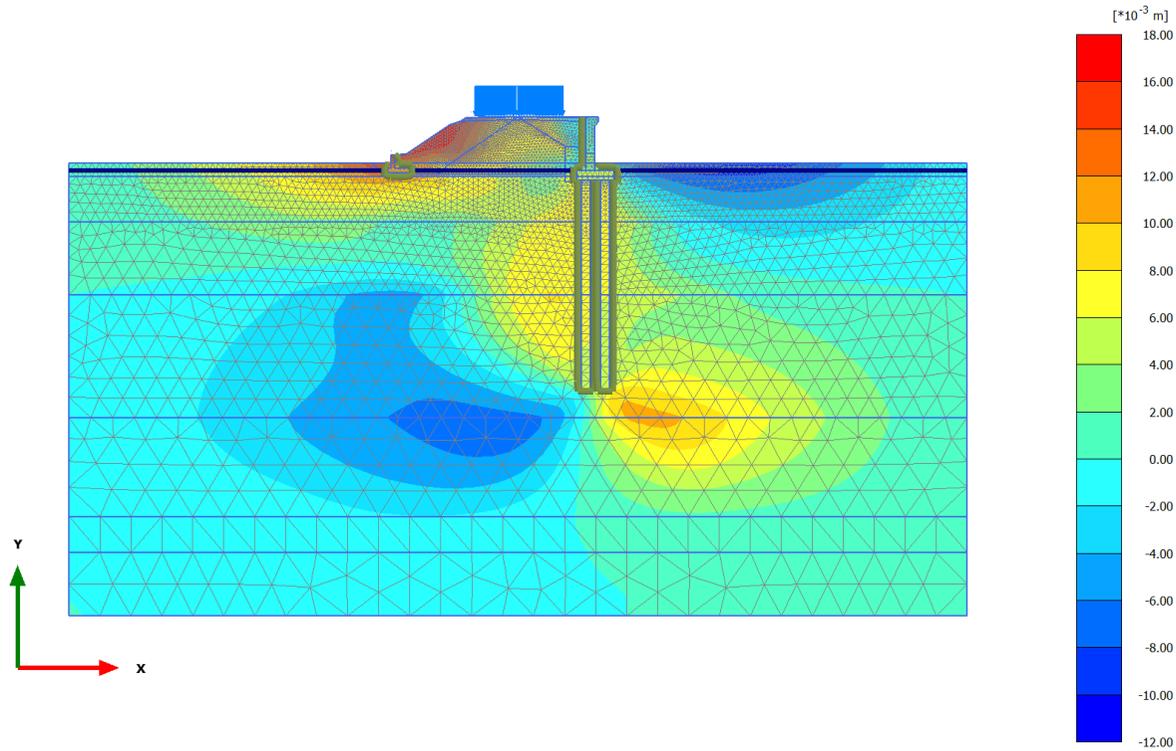
| Identification | | cls | Rilevato esistente | pali |
|-----------------------|-------------------|---|---|---|
| Identification number | | 9 | 10 | 13 |
| Drainage type | | Non-porous | Drained | Non-porous |
| Colour | |  |  |  |
| Comments | | | | |
| Y _{unsat} | kN/m ³ | 25.00 | 19.00 | 25.00 |
| 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 |

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 |
| γ_{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 |
| $\bar{\sigma}_{inter}$ | | 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, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/139), Total displacements u_x

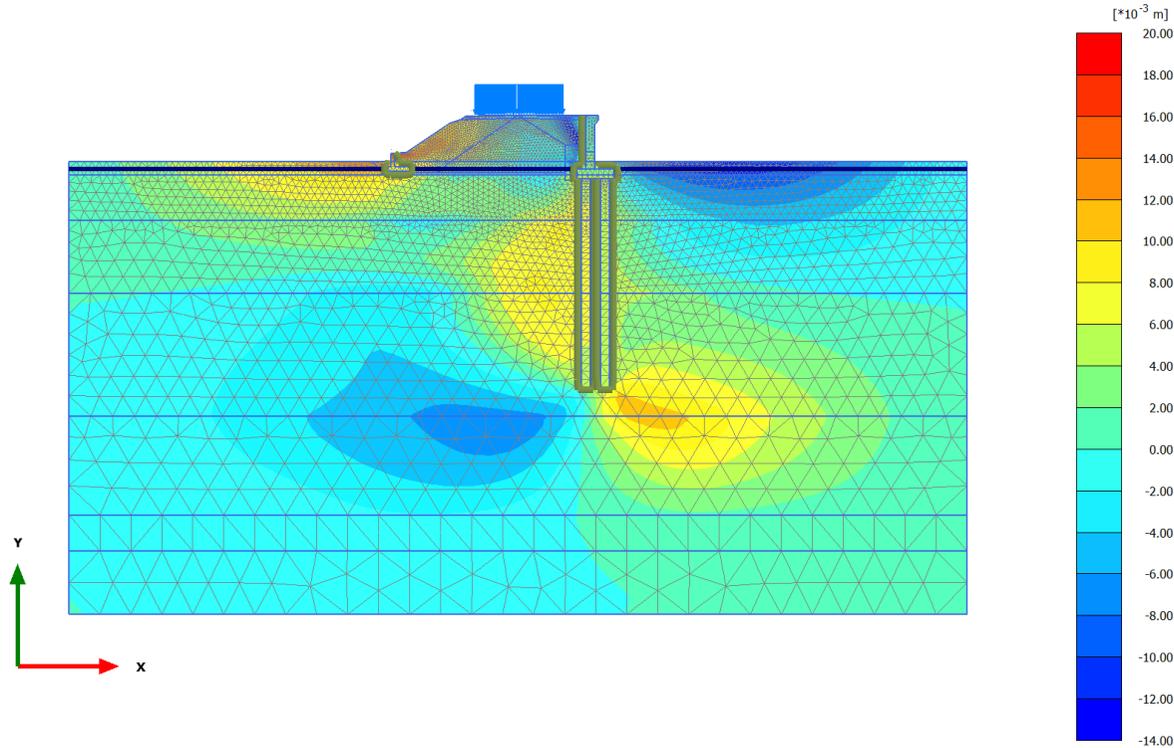


Total displacements u_x (scaled up 100 times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.01745 m (Element 770 at Node 17682)

Minimum value = -0.01014 m (Element 3809 at Node 1363)

2.1.1.1.2 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/279), Total displacements u_x

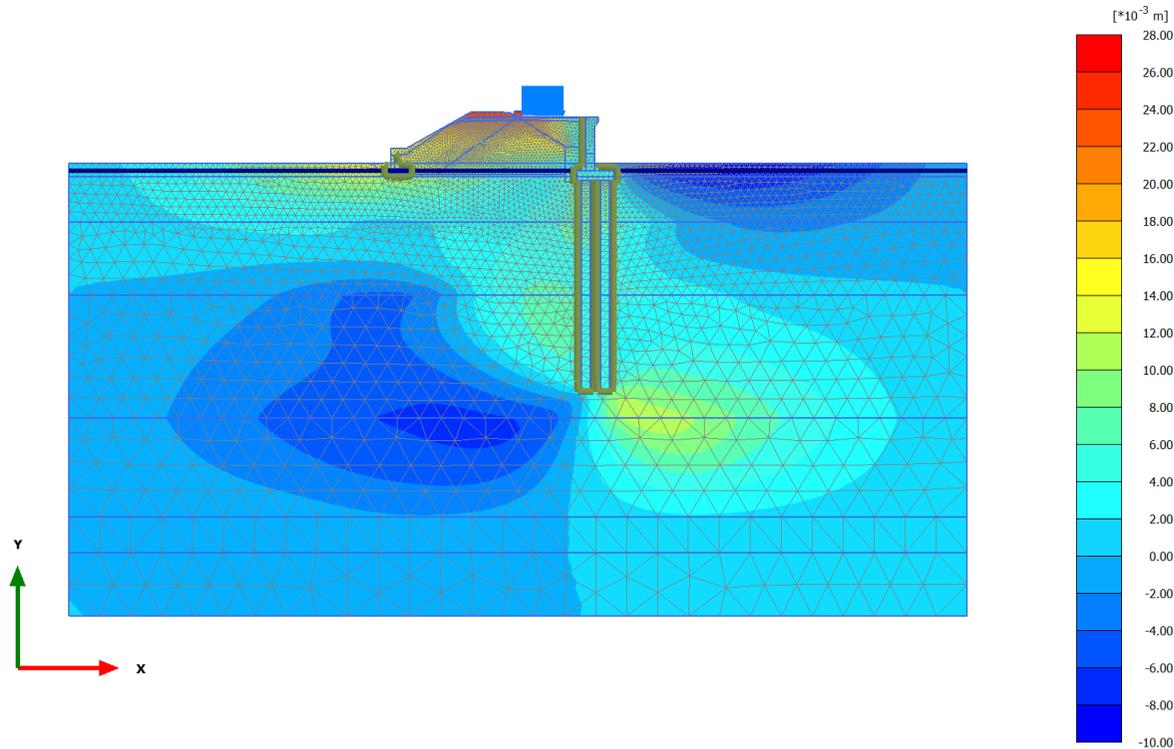


Total displacements u_x (scaled up 100 times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.01841 m (Element 781 at Node 13064)

Minimum value = -0.01273 m (Element 371 at Node 11671)

2.1.1.1.3 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/315), Total displacements u_x

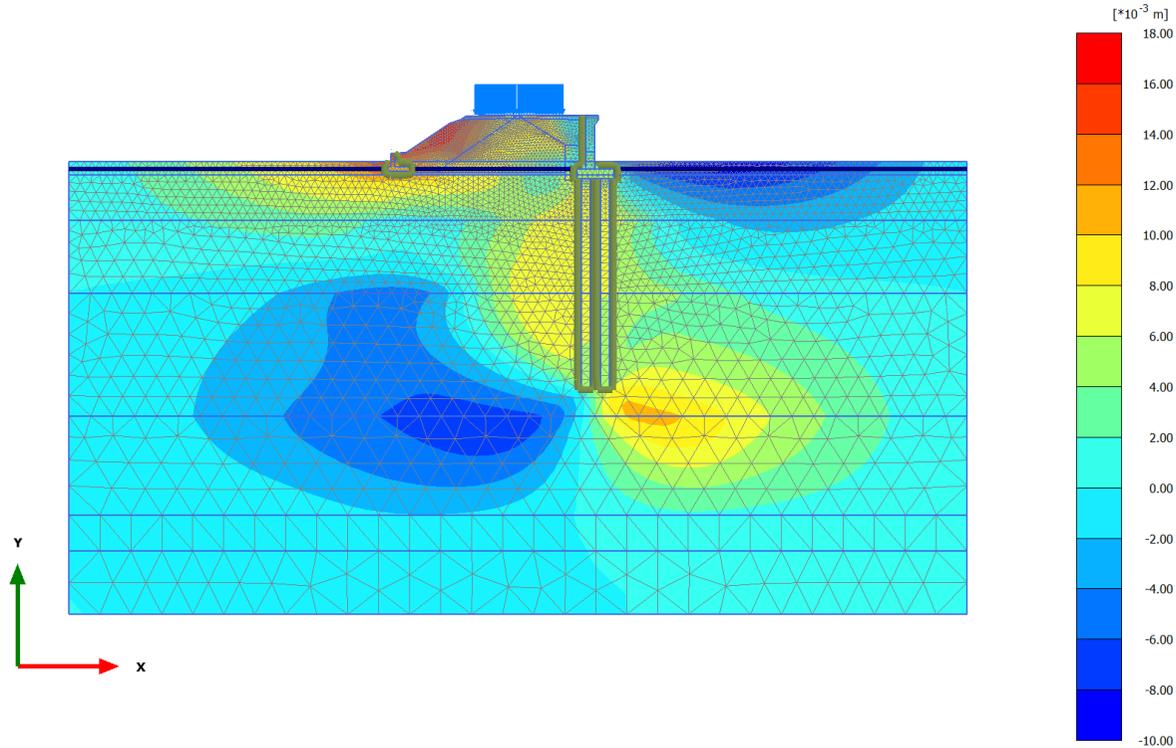


Total displacements u_x (scaled up 50.0 times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.02662 m (Element 4 at Node 17743)

Minimum value = $-9.798 \cdot 10^{-3}$ m (Element 3862 at Node 1523)

2.1.1.1.4 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/335), Total displacements u_x

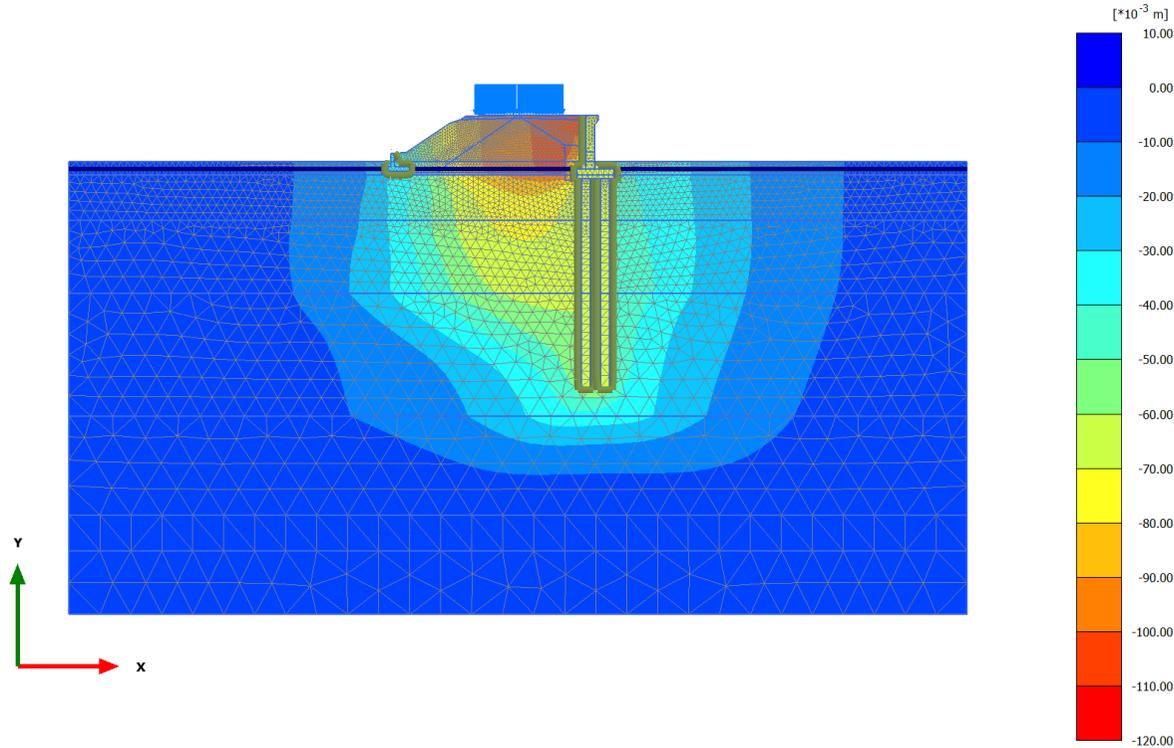


Total displacements u_x (scaled up 100 times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.01787 m (Element 842 at Node 17683)

Minimum value = $-9.808 \cdot 10^{-3}$ m (Element 3855 at Node 1511)

2.1.1.2.1 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/139), Total displacements u_y

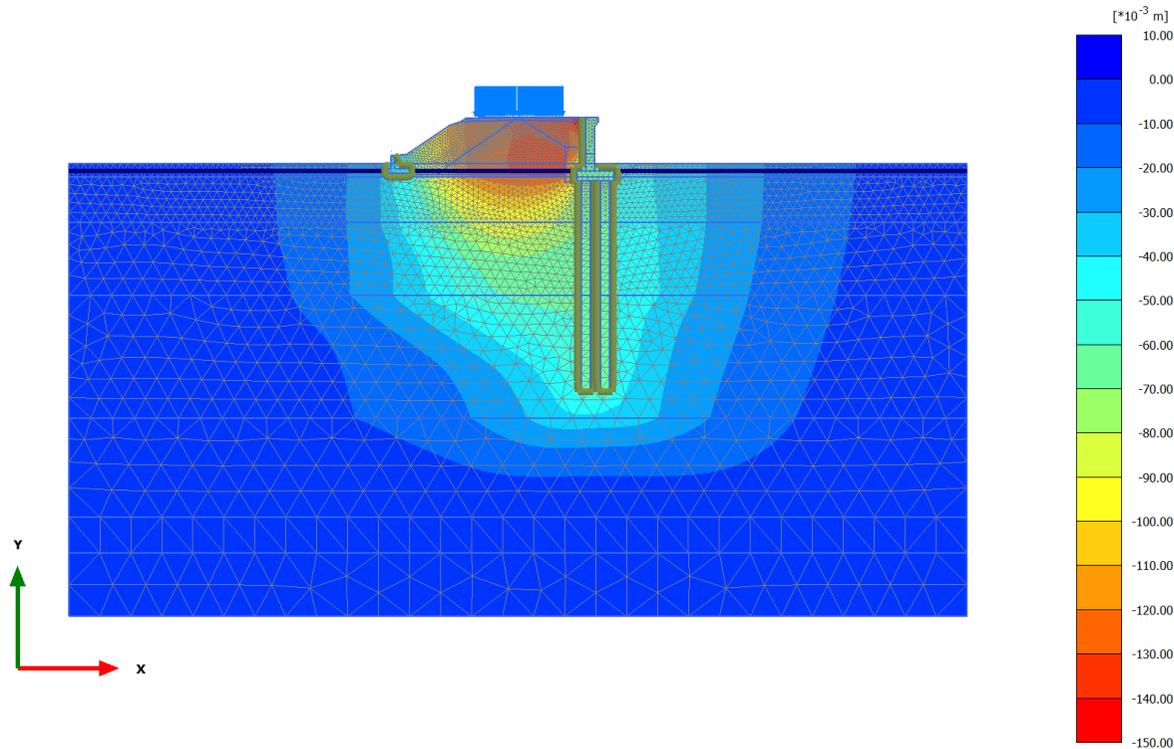


Total displacements u_y (scaled up 20.0 times) (Time 20.08*10³ day)

Maximum value = 0.000 m (Element 8740 at Node 3211)

Minimum value = -0.1123 m (Element 519 at Node 11889)

2.1.1.2.2 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/279), Total displacements u_y

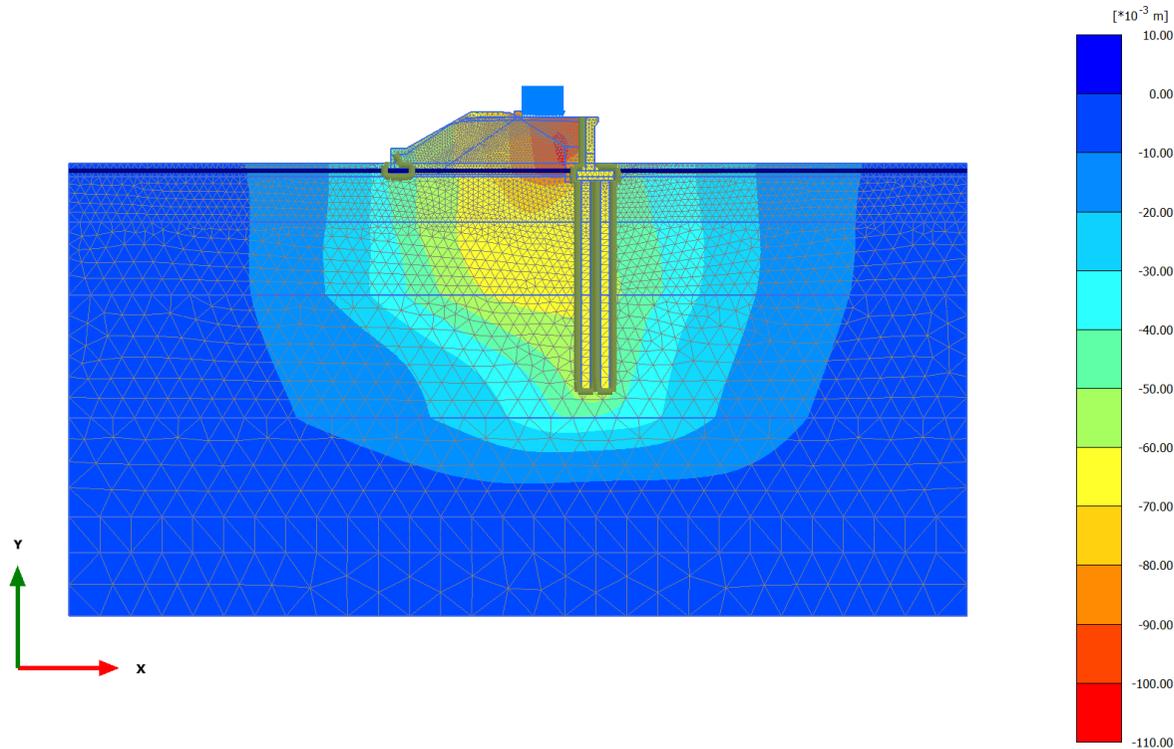


Total displacements u_y (scaled up 20.0 times) (Time 47.08*10³ day)

Maximum value = 0.000 m (Element 8740 at Node 3211)

Minimum value = -0.1495 m (Element 20 at Node 12186)

2.1.1.2.3 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/315), Total displacements u_y

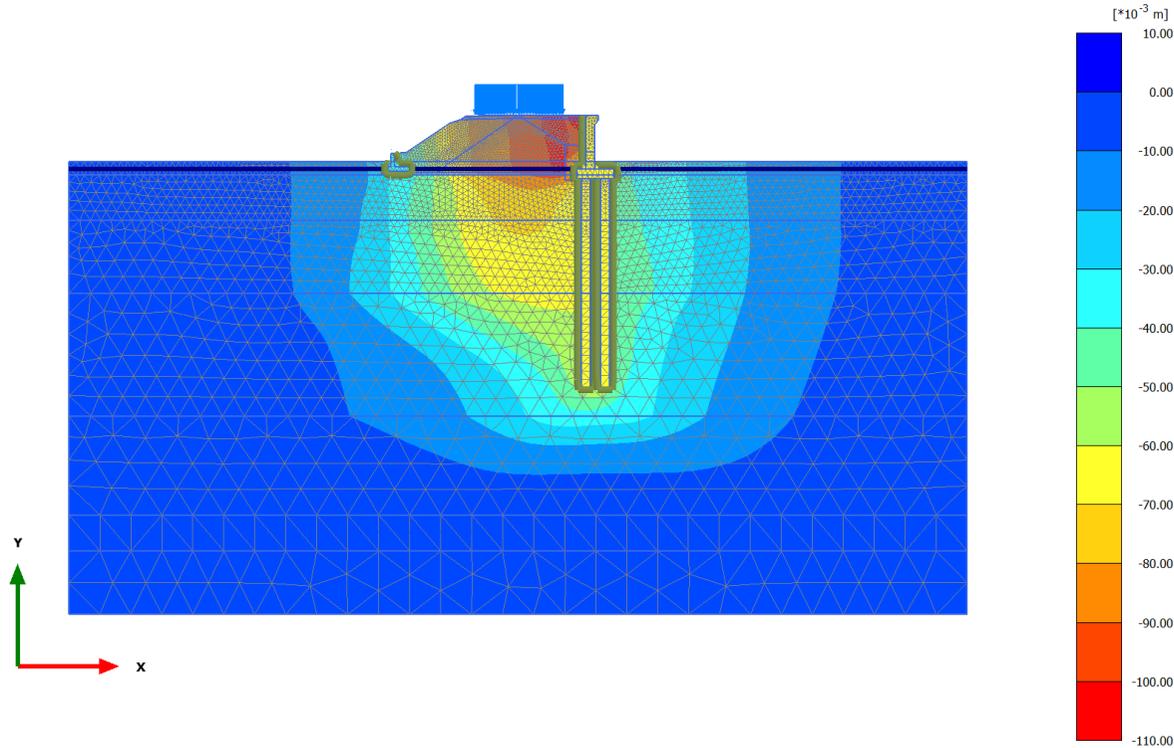


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.000 m (Element 8740 at Node 3211)

Minimum value = -0.1066 m (Element 519 at Node 11889)

2.1.1.2.4 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/335), Total displacements u_y

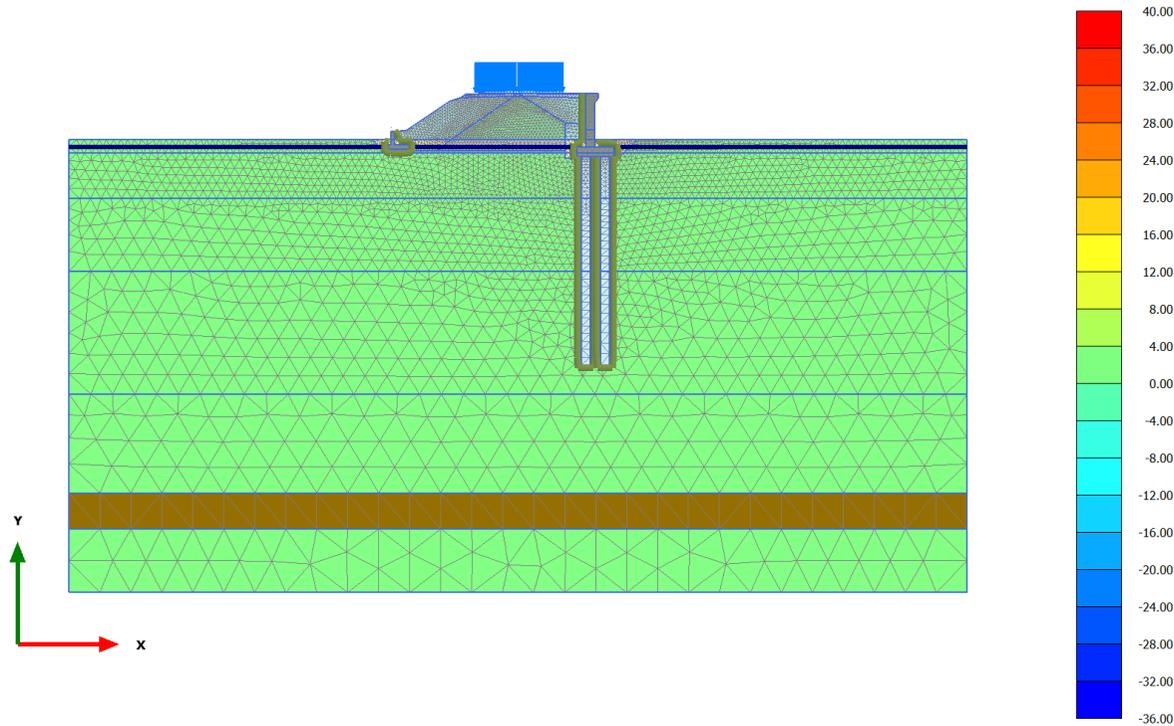


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.000 m (Element 8740 at Node 3211)

Minimum value = -0.1086 m (Element 519 at Node 11889)

2.2.1.1.1 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/139), Isotropic overconsolidation ratio

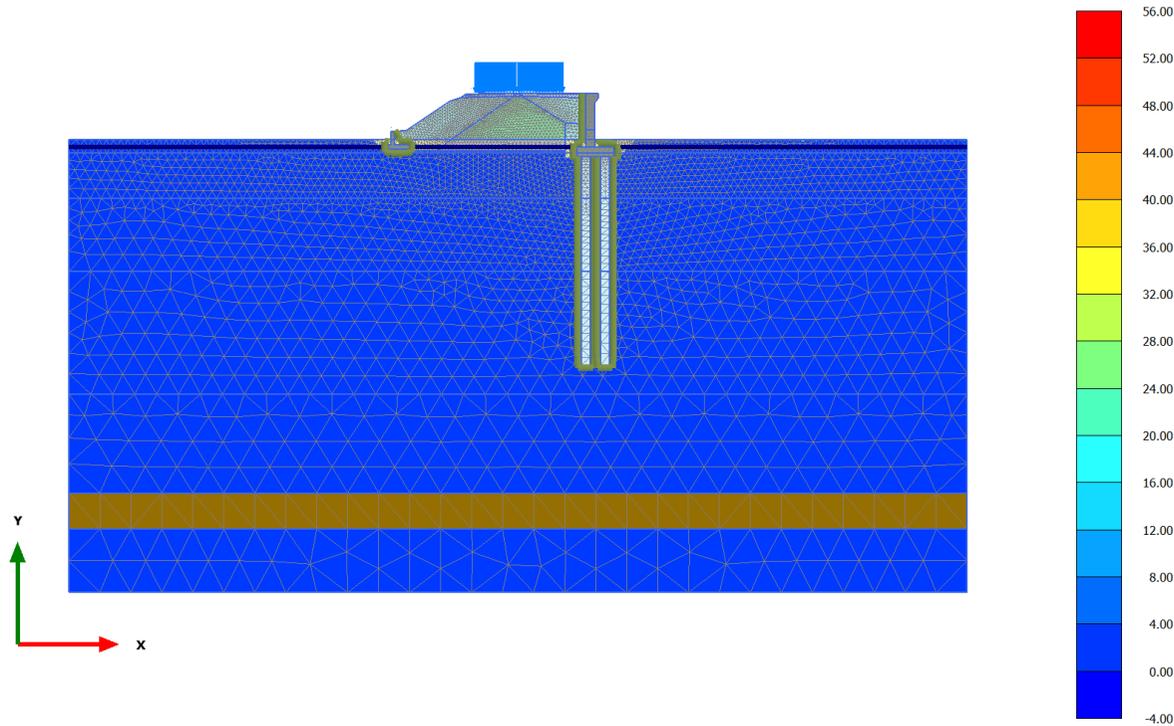


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up 0.0500 times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 37.70 (Element 4292 at Node 8788)

Minimum value = -34.70 (Element 3974 at Node 3382)

2.2.1.1.2 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/279), Isotropic overconsolidation ratio

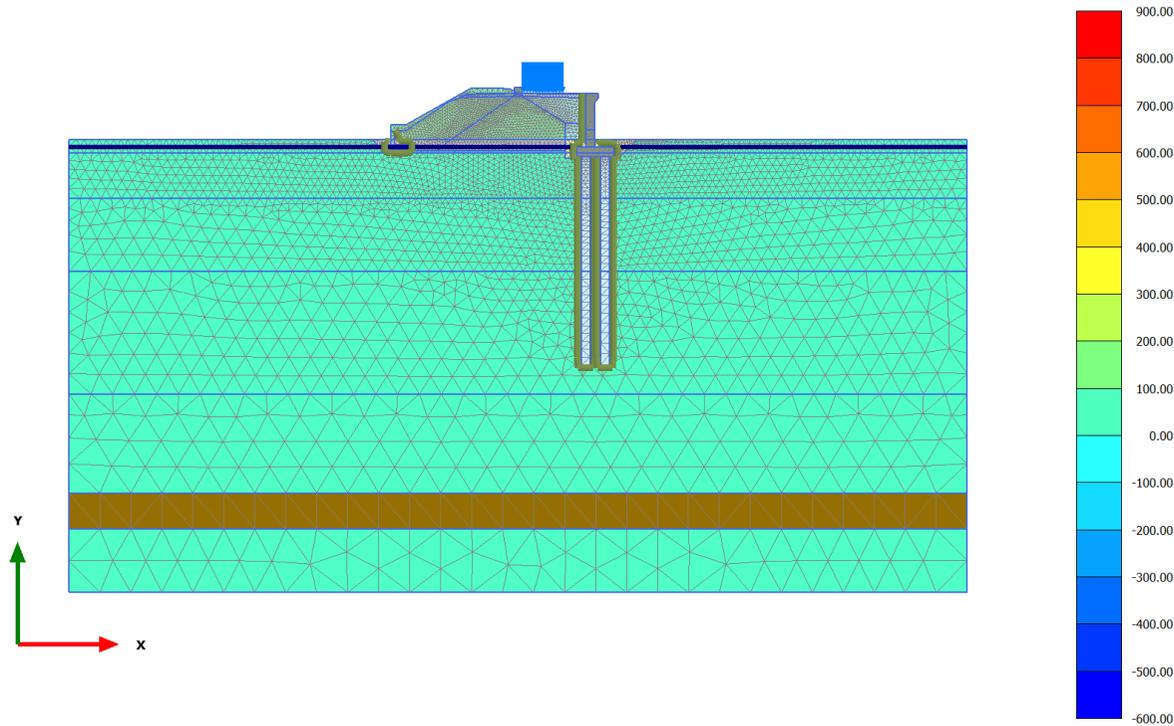


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up 0.0500 times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 54.71 (Element 3673 at Node 395)

Minimum value = -3.922 (Element 3640 at Node 282)

2.2.1.1.3 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/315), Isotropic overconsolidation ratio

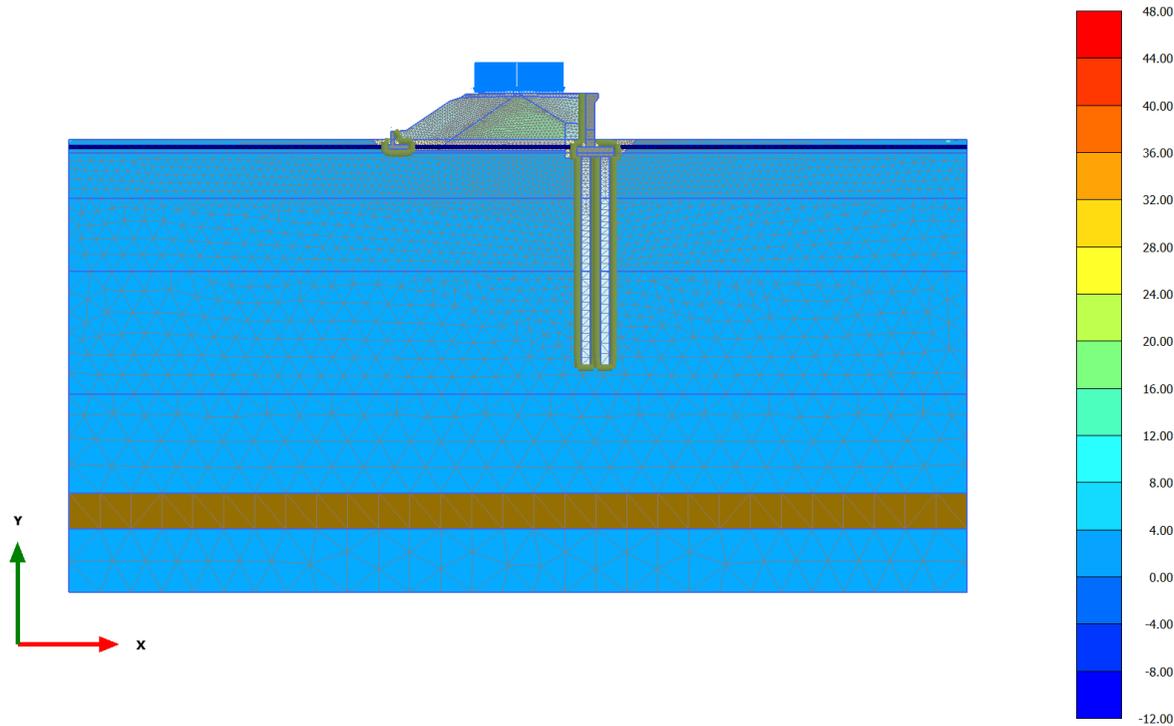


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 891.5 (Element 4201 at Node 6658)

Minimum value = -511.6 (Element 4163 at Node 6224)

2.2.1.1.4 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/335), Isotropic overconsolidation ratio

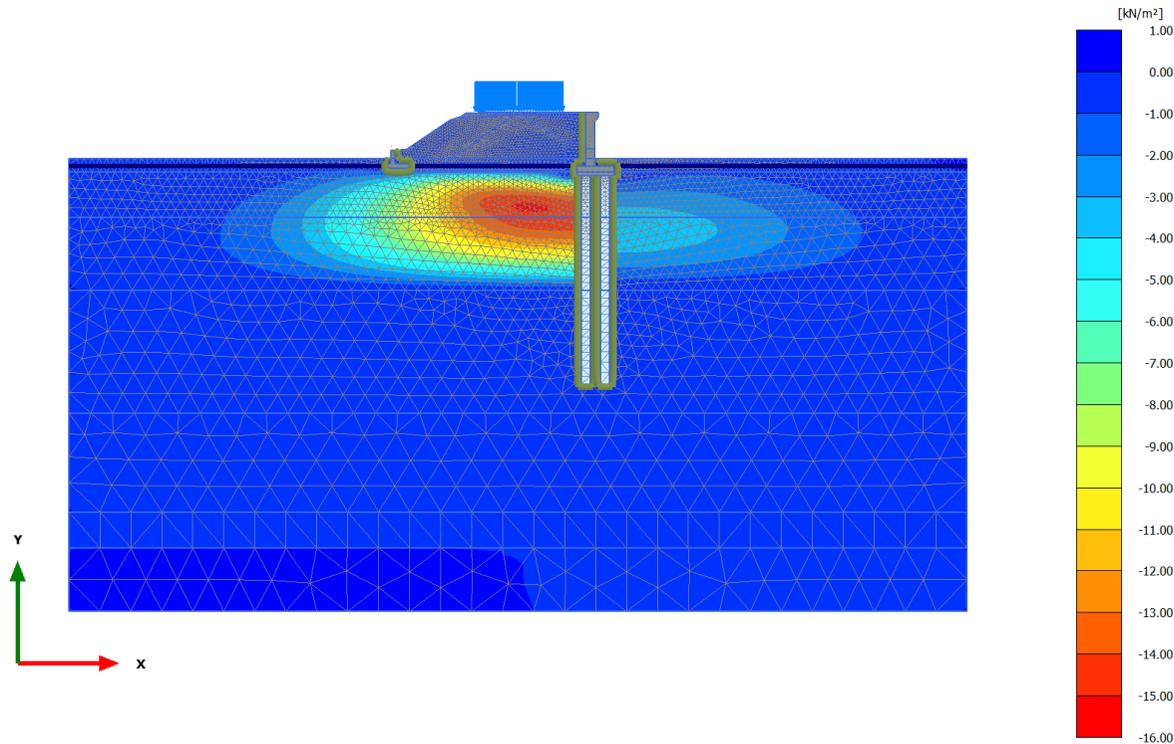


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up 0.0500 times) (Time 19.71*10³ day)

Maximum value = 44.40 (Element 3936 at Node 2956)

Minimum value = -10.68 (Element 3926 at Node 2763)

2.2.2.1.1 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/139), Excess pore pressures p_{excess}

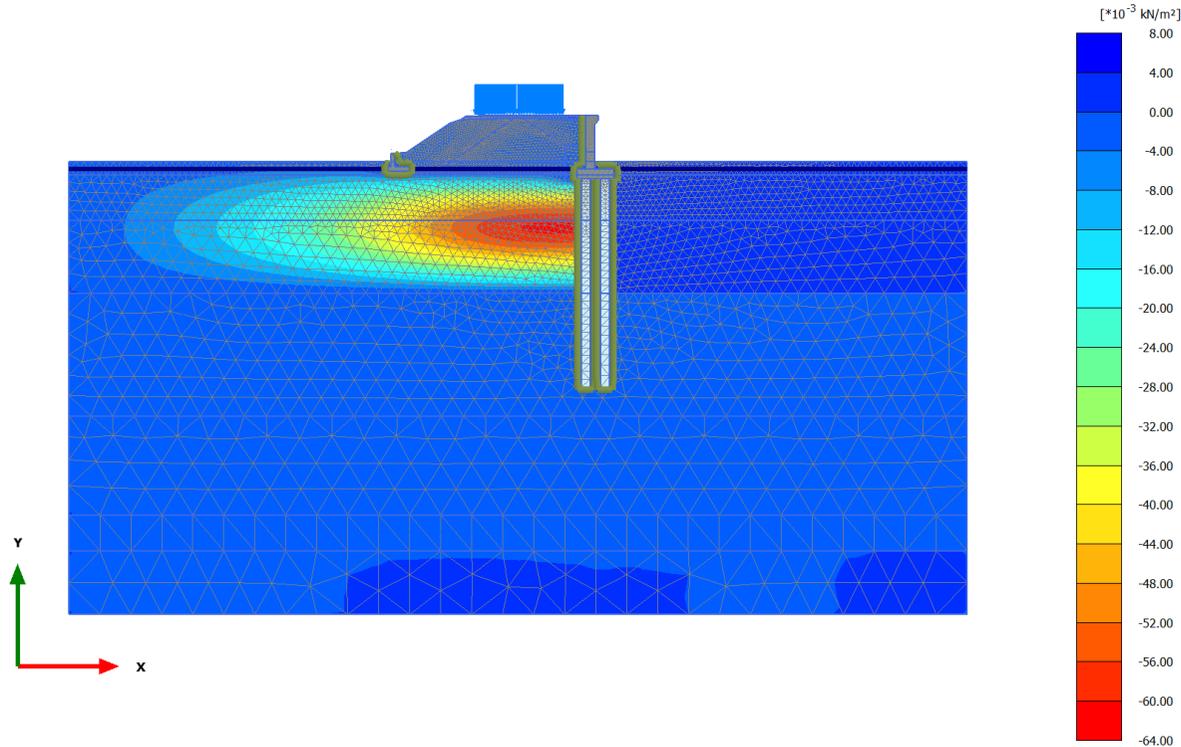


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 0.200 times) (Pressure = negative) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.1193 kN/m² (Element 194 at Node 11759)

Minimum value = -15.16 kN/m² (Element 5282 at Node 10782)

2.2.2.1.2 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/279), Excess pore pressures p_{excess}

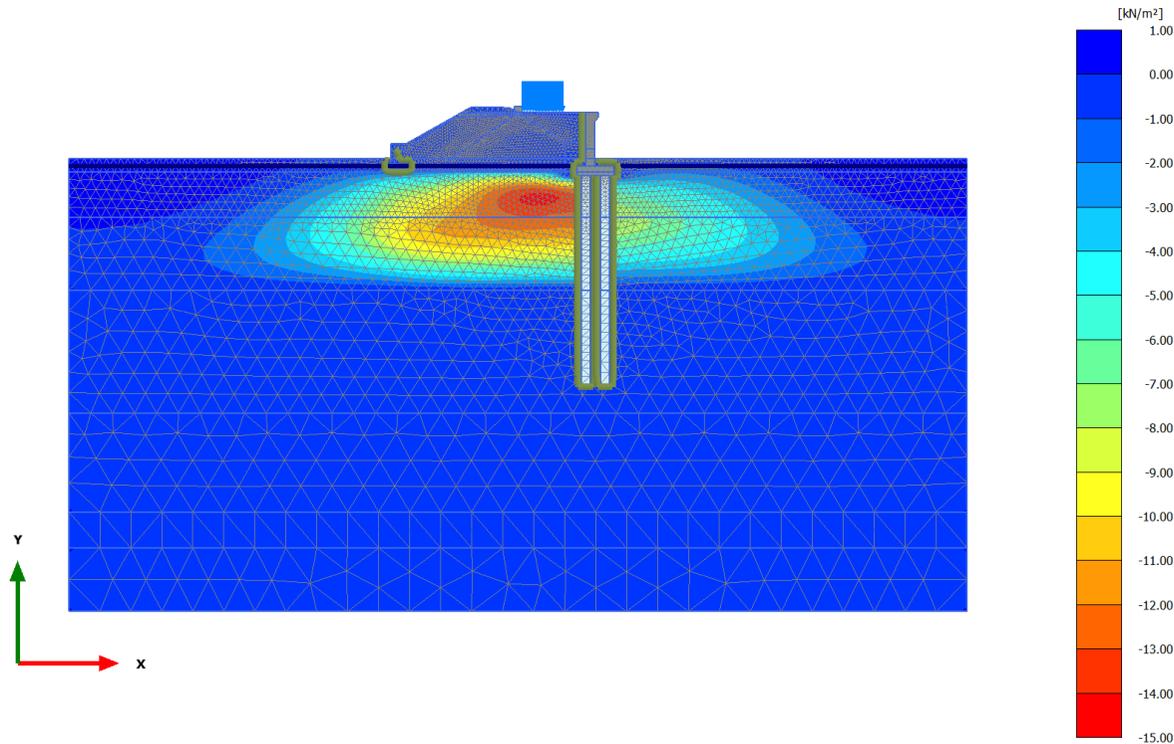


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 50.0 times) (Pressure = negative) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $5.612 \cdot 10^{-3}$ kN/m² (Element 6364 at Node 8860)

Minimum value = -0.06085 kN/m² (Element 7050 at Node 9344)

2.2.2.1.3 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/315), Excess pore pressures p_{excess}

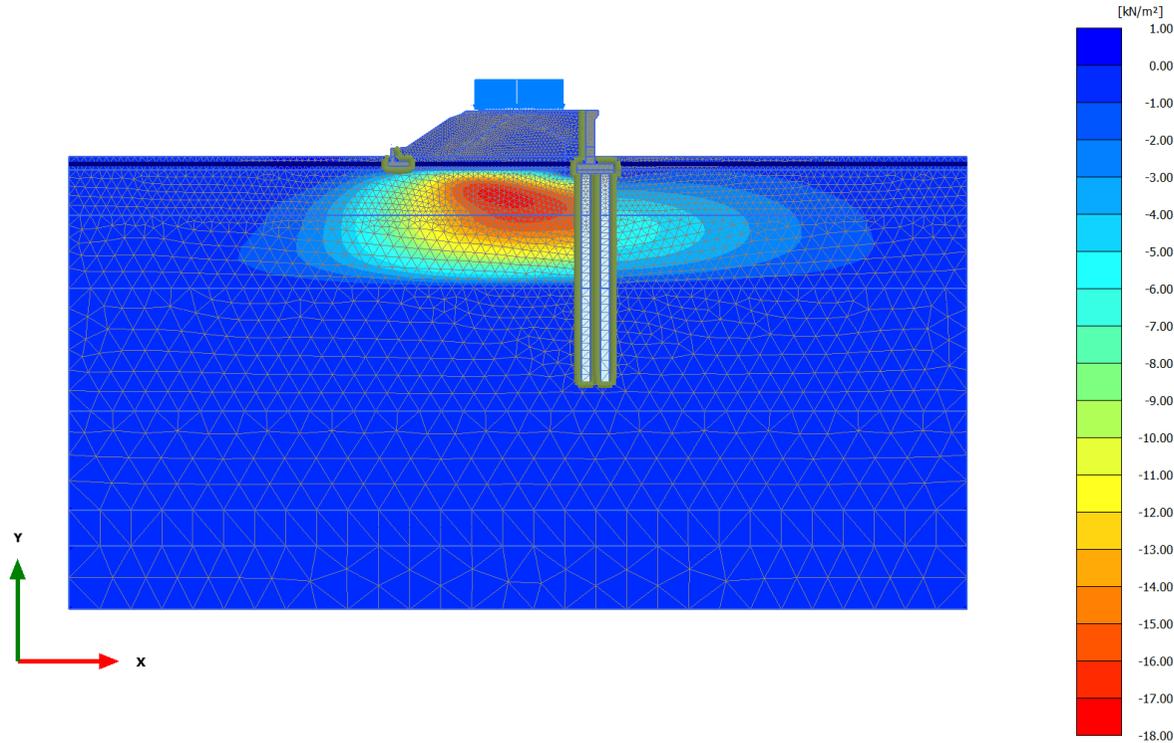


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 0.200 times) (Pressure = negative) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.4901 kN/m² (Element 4564 at Node 3800)

Minimum value = -14.41 kN/m² (Element 5310 at Node 11082)

2.2.2.1.4 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/335), Excess pore pressures p_{excess}

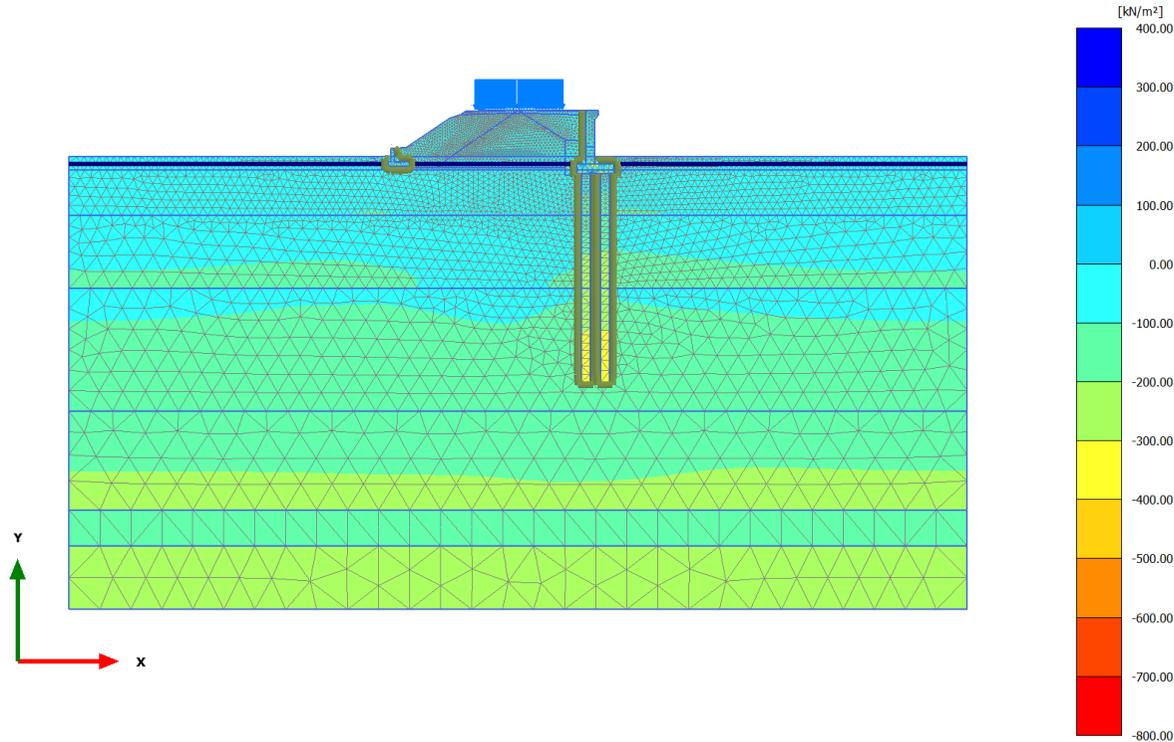


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 0.200 times) (Pressure = negative) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.1417 kN/m² (Element 194 at Node 11759)

Minimum value = -17.52 kN/m² (Element 5151 at Node 11531)

2.2.3.1.1 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/139), Cartesian effective stress σ'_{xx}

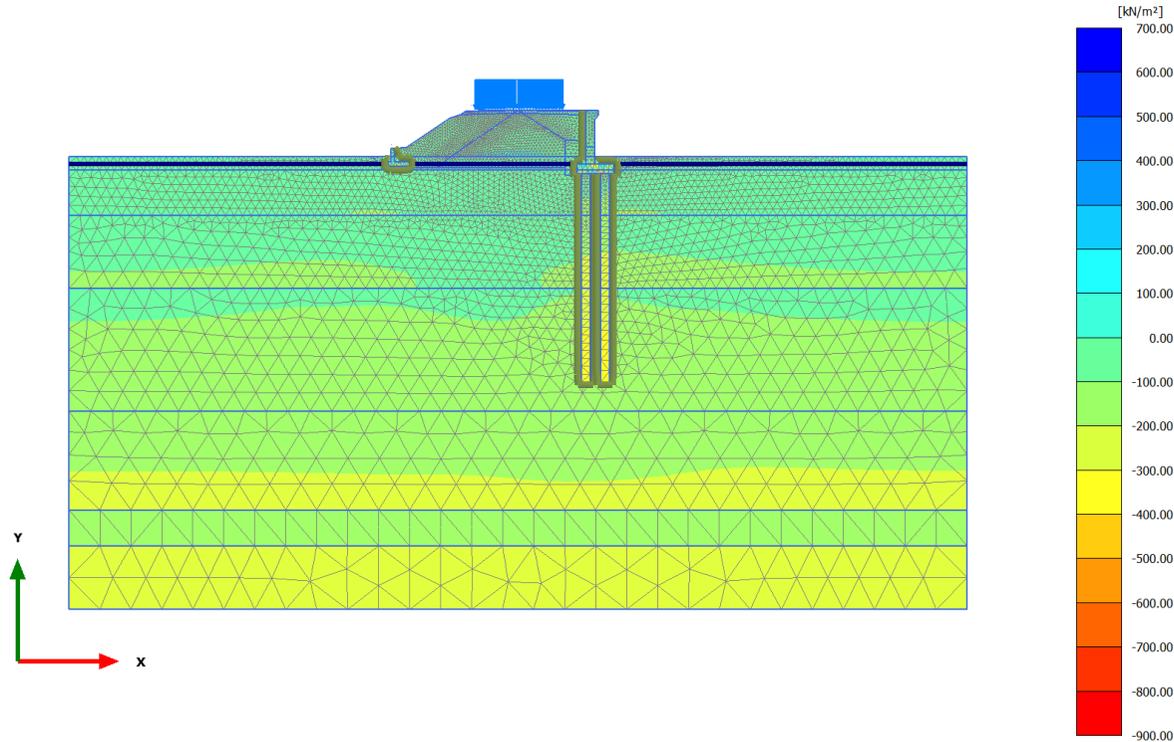


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 398.9 kN/m² (Element 3518 at Node 12061)

Minimum value = -704.7 kN/m² (Element 4342 at Node 8703)

2.2.3.1.2 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/279), Cartesian effective stress σ'_{xx}

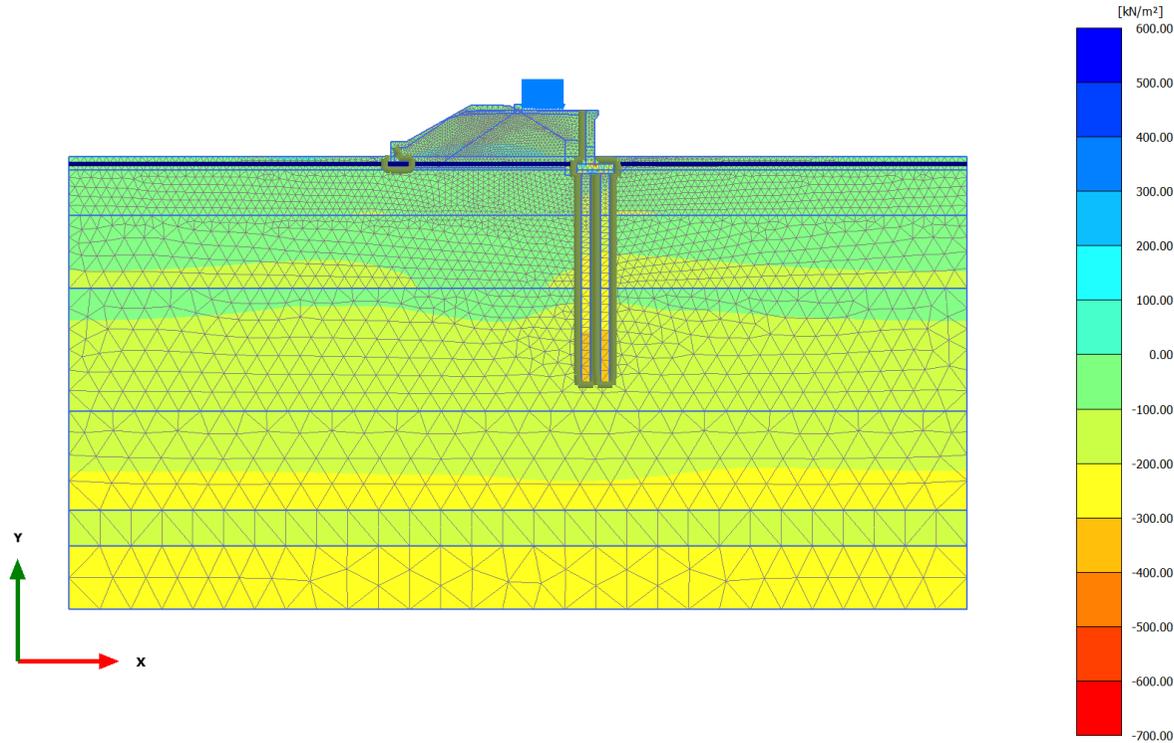


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 631.9 kN/m² (Element 3518 at Node 12061)

Minimum value = -892.0 kN/m² (Element 4342 at Node 8703)

2.2.3.1.3 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/315), Cartesian effective stress σ'_{xx}

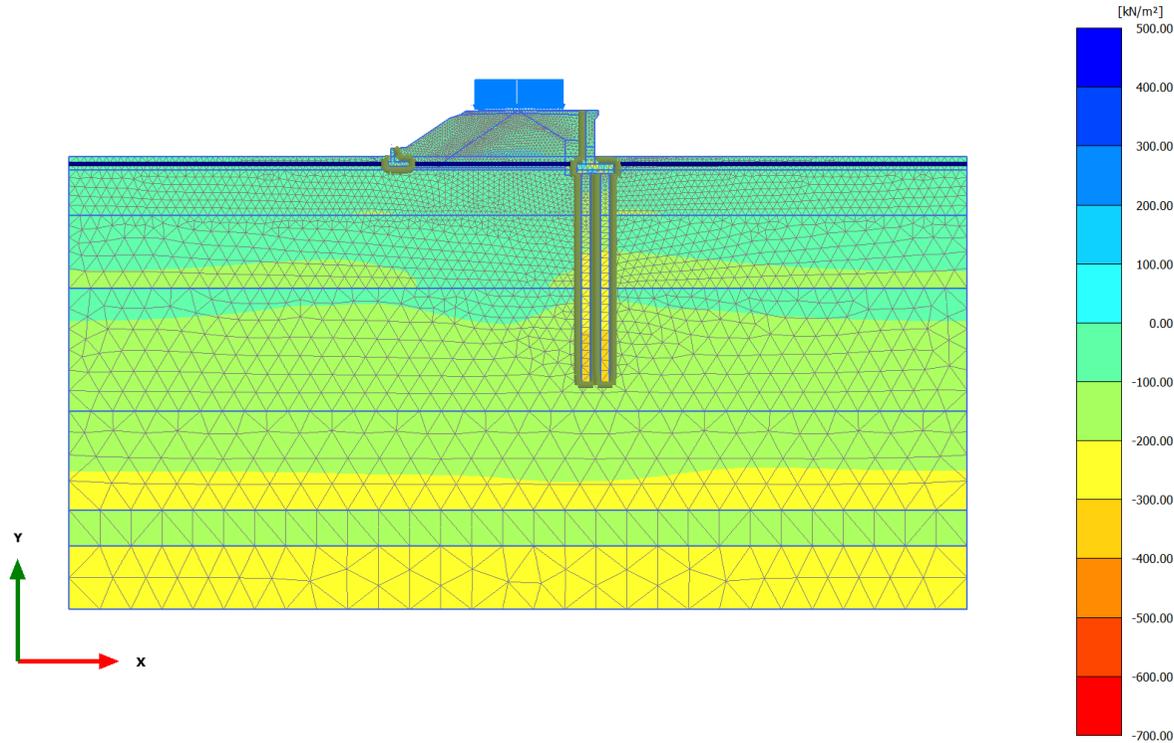


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 503.8 kN/m² (Element 4338 at Node 9187)

Minimum value = -649.5 kN/m² (Element 4324 at Node 9064)

2.2.3.1.4 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/335), Cartesian effective stress σ'_{xx}

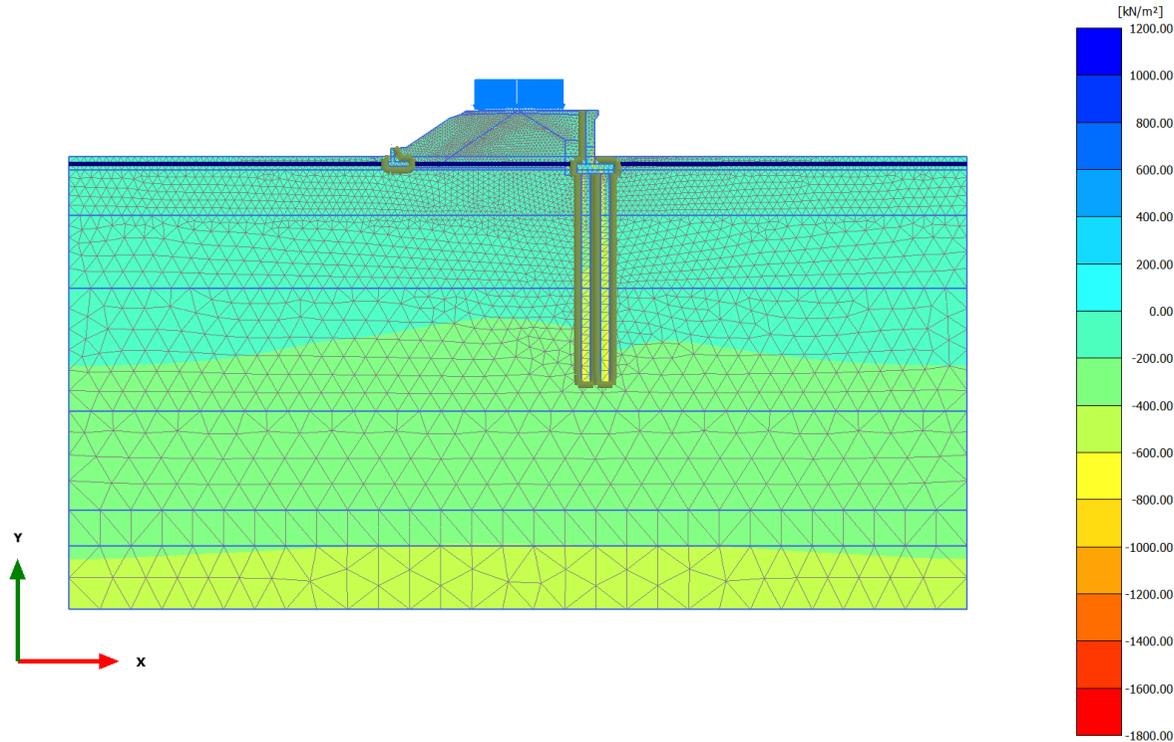


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 415.2 kN/m² (Element 4330 at Node 9357)

Minimum value = -662.3 kN/m² (Element 4342 at Node 8703)

2.2.3.2.1 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/139), Cartesian effective stress σ'_{yy}

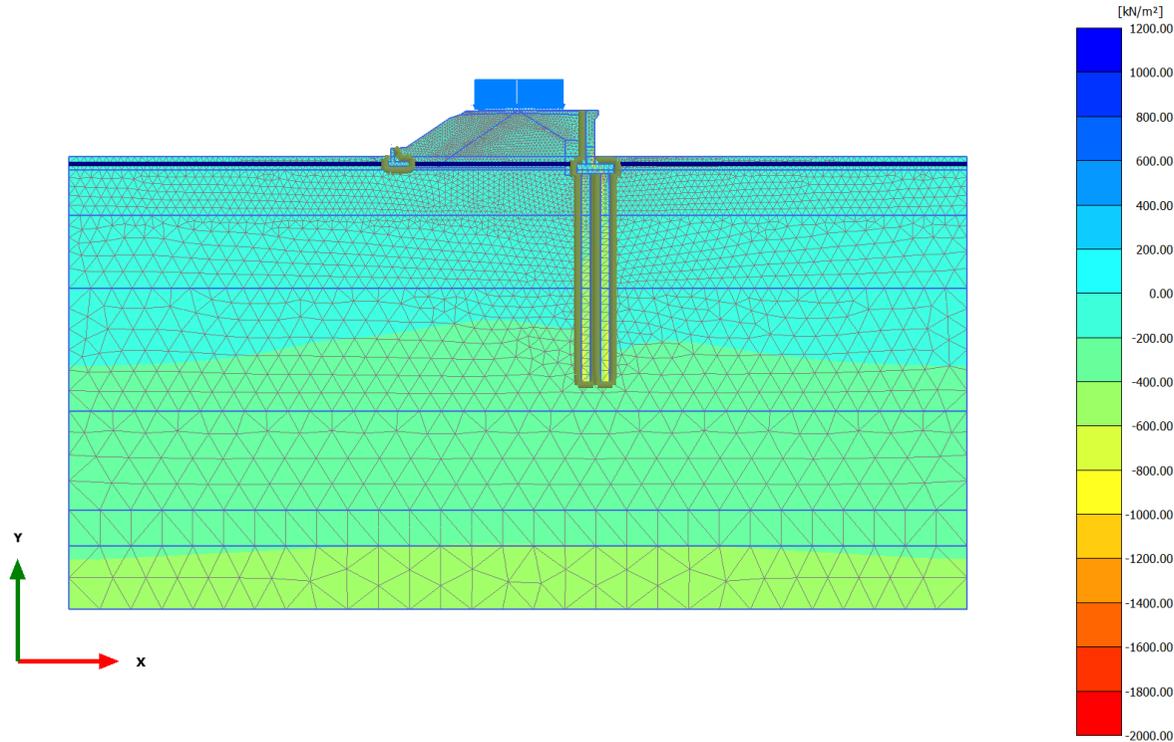


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $1.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 1038 kN/m² (Element 6316 at Node 8384)

Minimum value = -1712 kN/m² (Element 6317 at Node 8863)

2.2.3.2.2 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/279), Cartesian effective stress σ'_{yy}

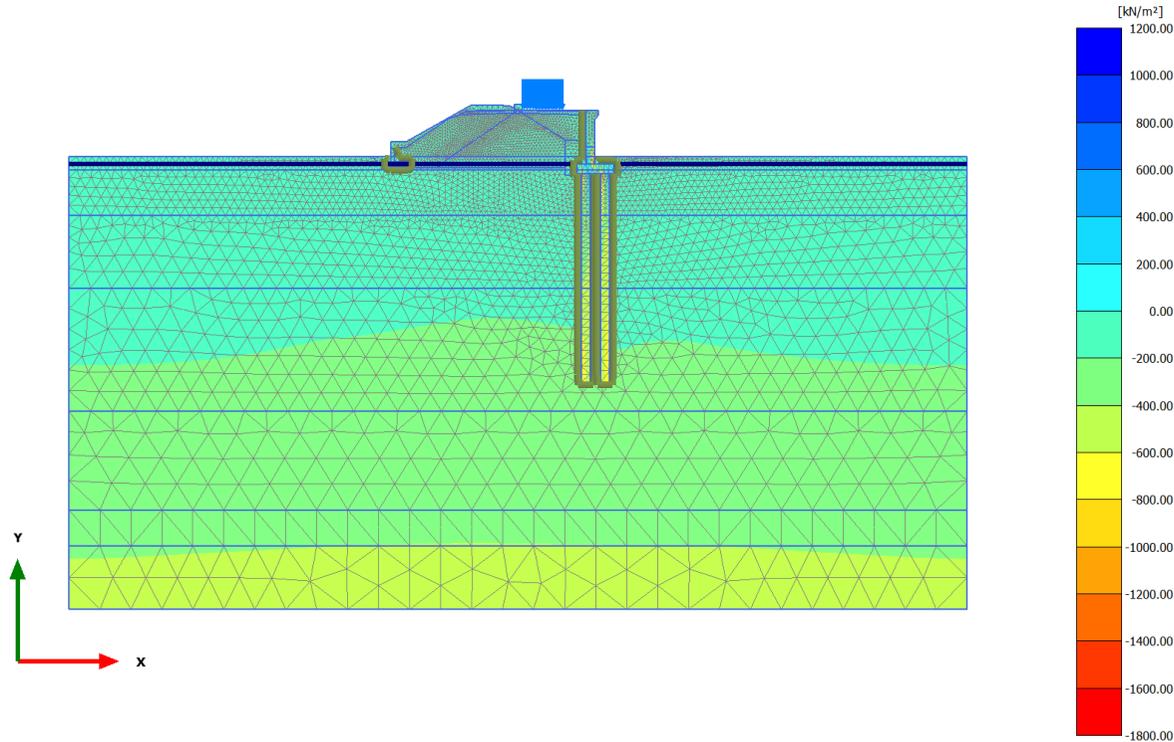


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $1.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 1173 kN/m² (Element 6316 at Node 8384)

Minimum value = -1985 kN/m² (Element 6317 at Node 8863)

2.2.3.2.3 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/315), Cartesian effective stress σ'_{yy}

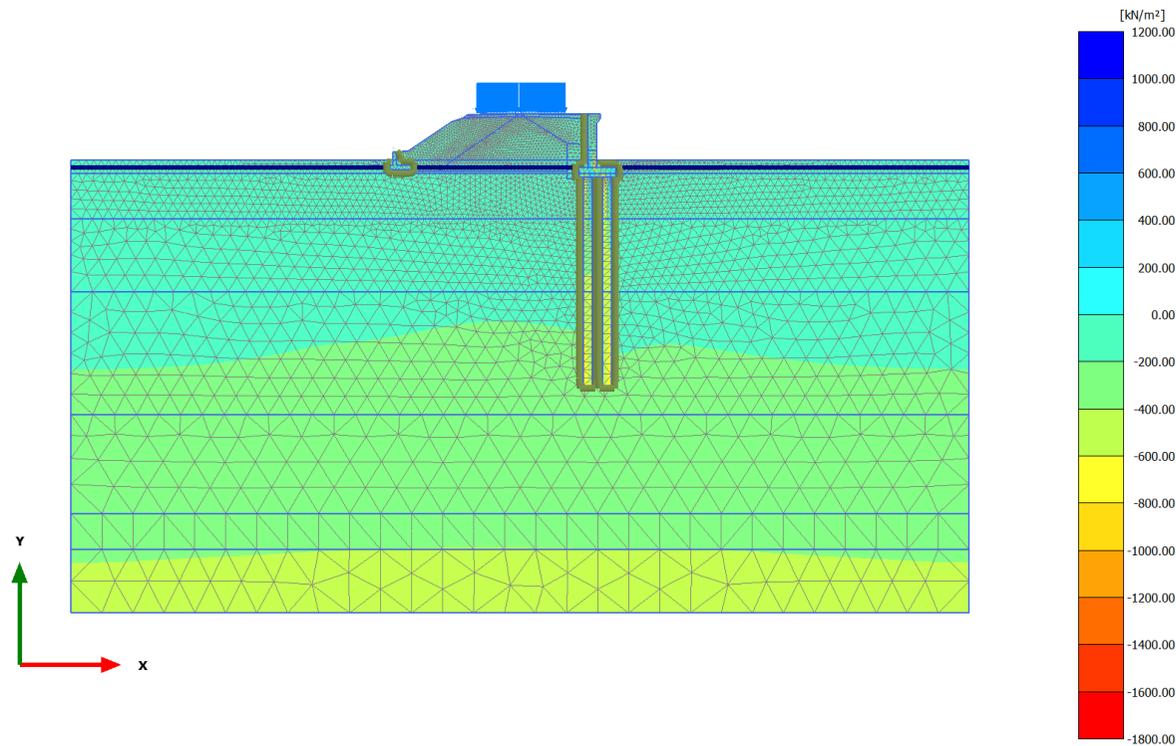


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $1.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 1024 kN/m² (Element 6316 at Node 8384)

Minimum value = -1703 kN/m² (Element 6317 at Node 8863)

2.2.3.2.4 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/335), Cartesian effective stress σ'_{yy}



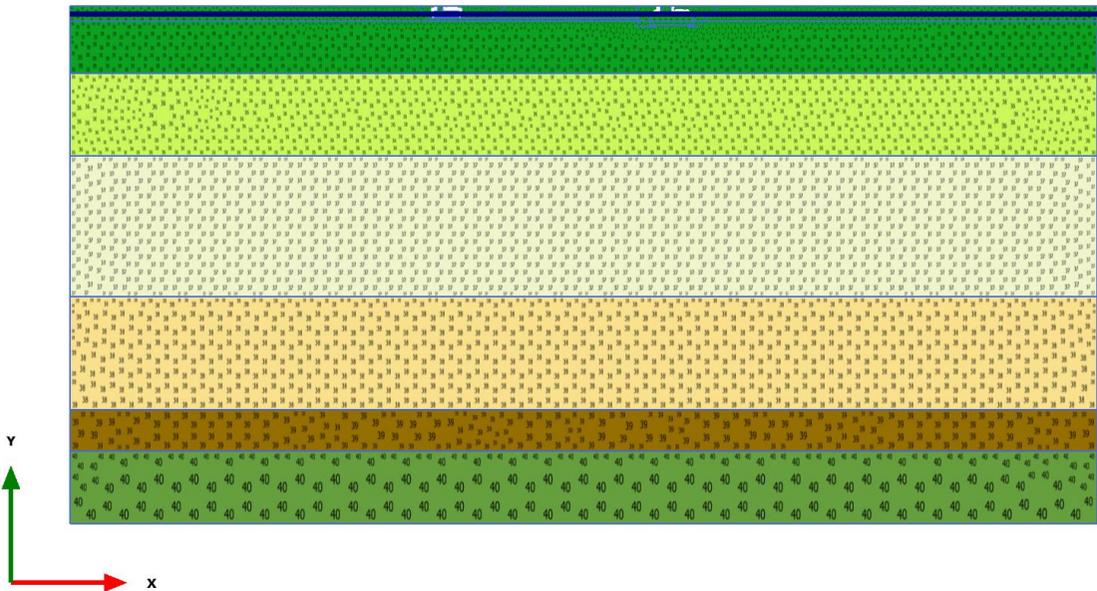
Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $1.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 1010 kN/m² (Element 6316 at Node 8384)

Minimum value = -1653 kN/m² (Element 6317 at Node 8863)

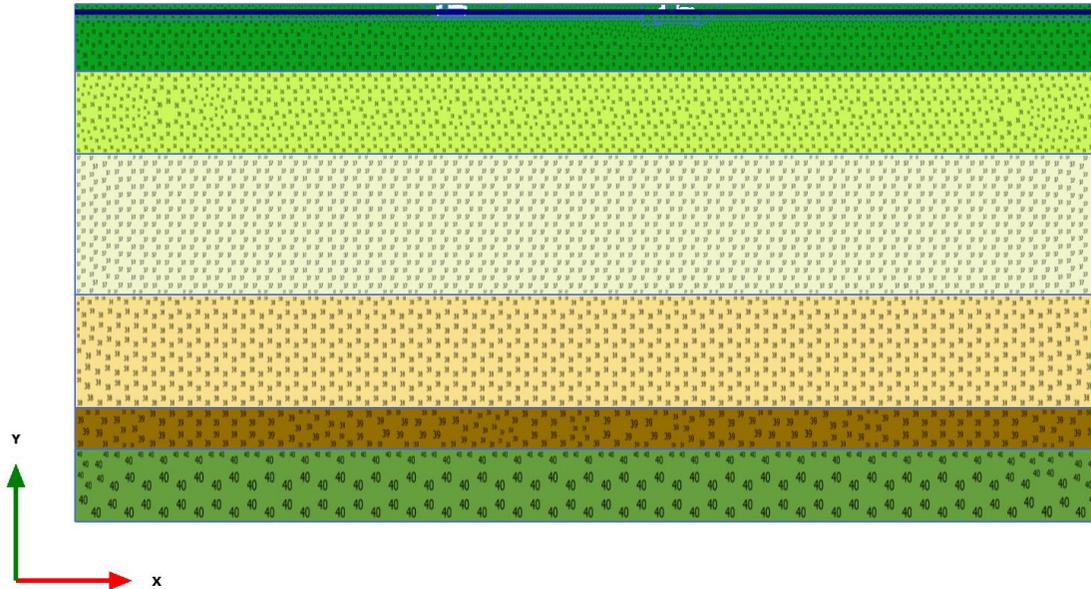
**ALLEGATO B – RISULTATI ANALISI PLAXIS RIL. 0+400 PER ATTRITO NEGATIVO
SENZA INTERVENTI**

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



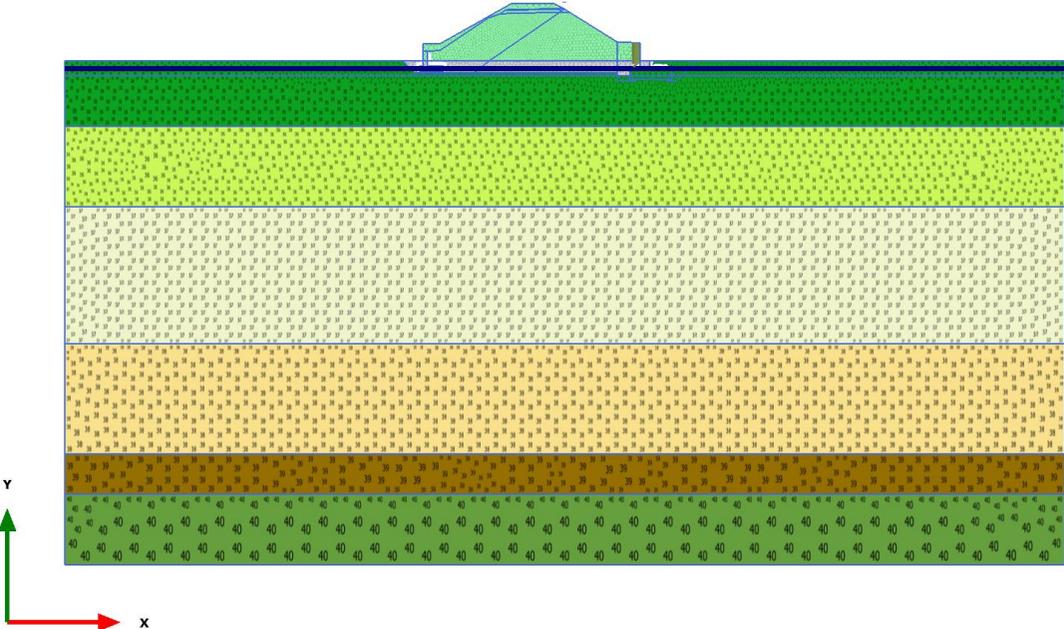
Connectivity plot

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



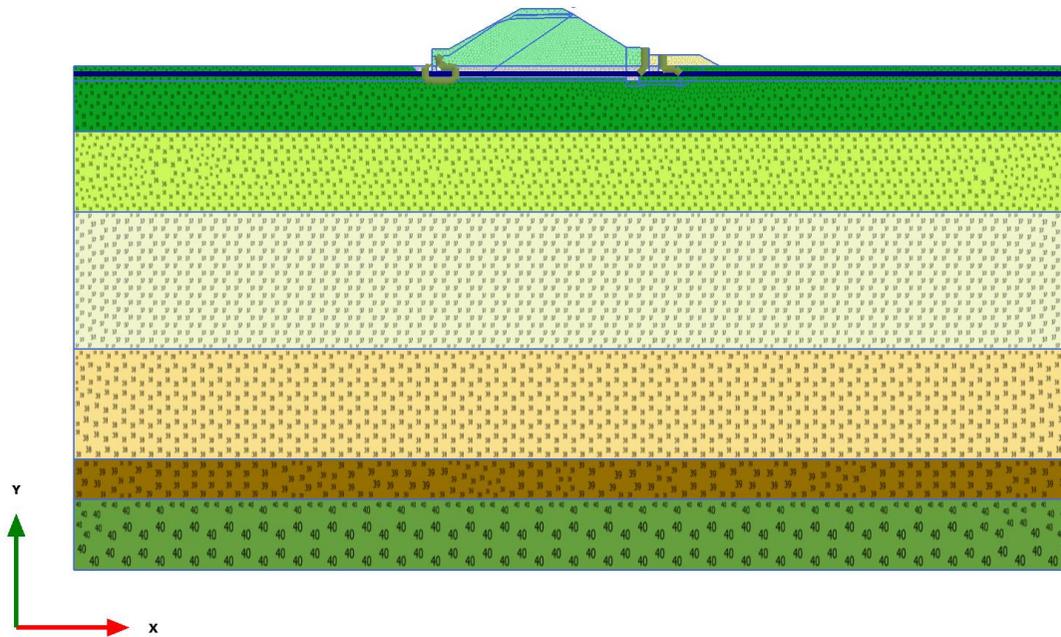
Connectivity plot

1.1.1.3 Calculation results, costr. ril. esistente [Phase_2] (2/24), Connectivity plot



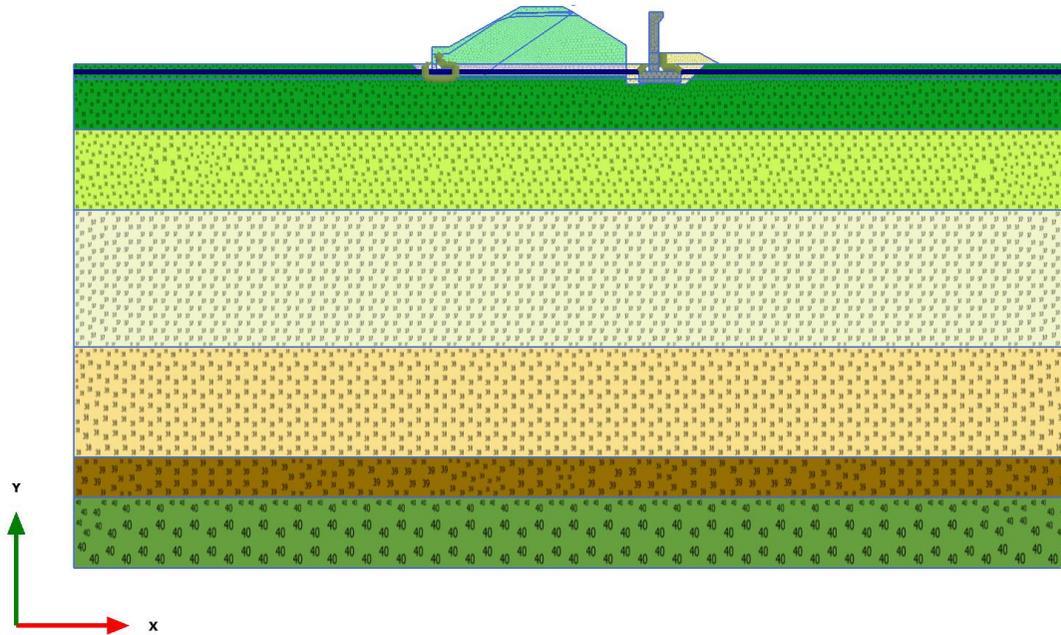
Connectivity plot

1.1.1.4 Calculation results, esecuz. strato bonifico superiore [Phase_4] (4/27), Connectivity plot



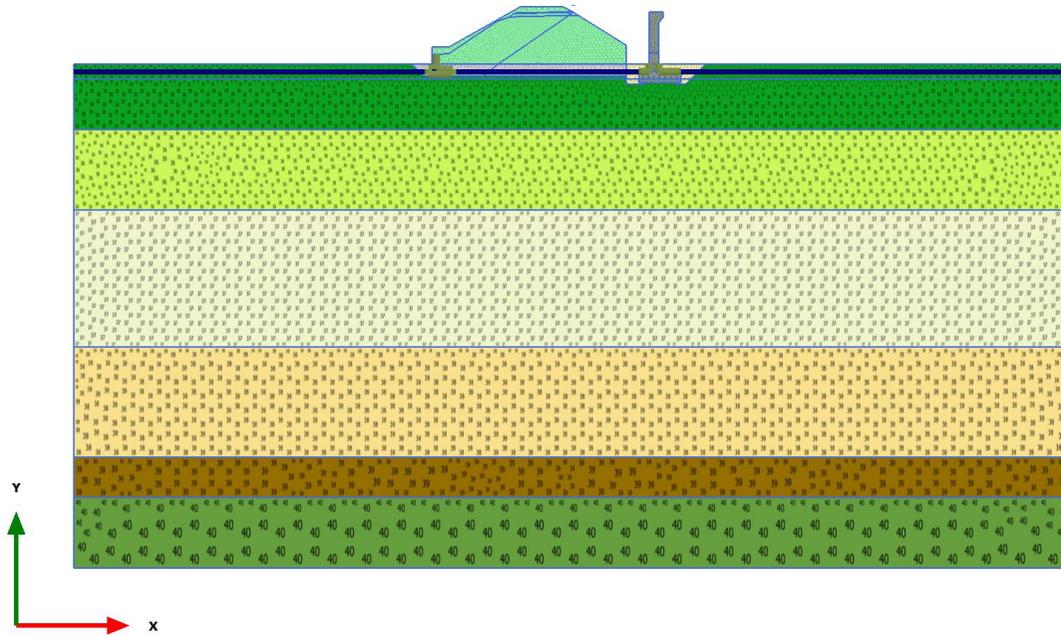
Connectivity plot

1.1.1.5 Calculation results, pali+ plinto+ muro+ riempimento bon. inf. [Phase_5] (5/43), Connectivity plot



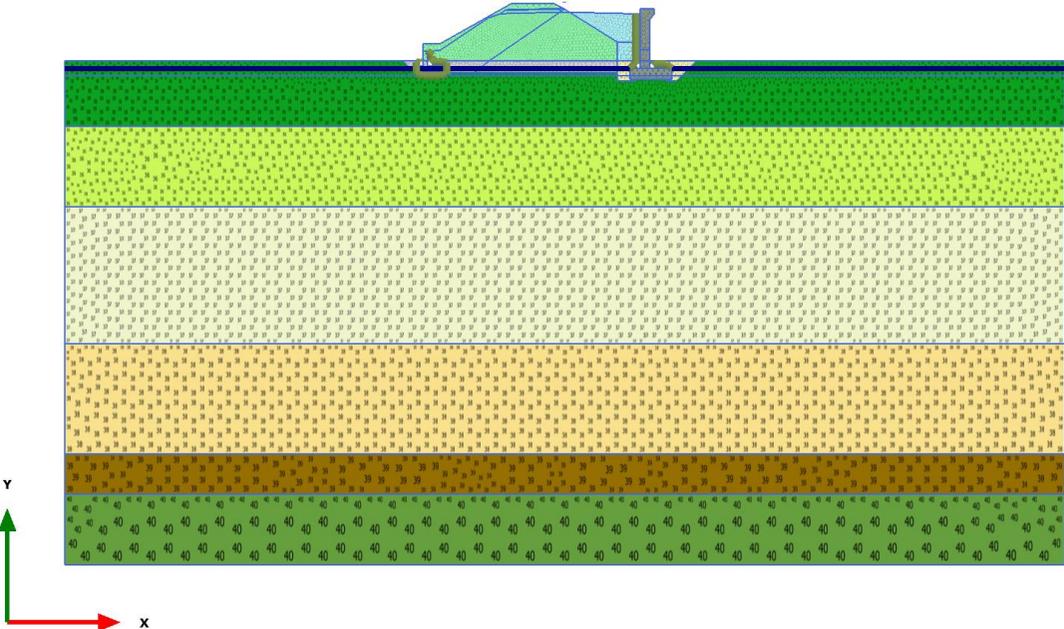
Connectivity plot

1.1.1.6 Calculation results, scavo bonifico sup.+ piede scarpata [Phase_6] (6/48), Connectivity plot



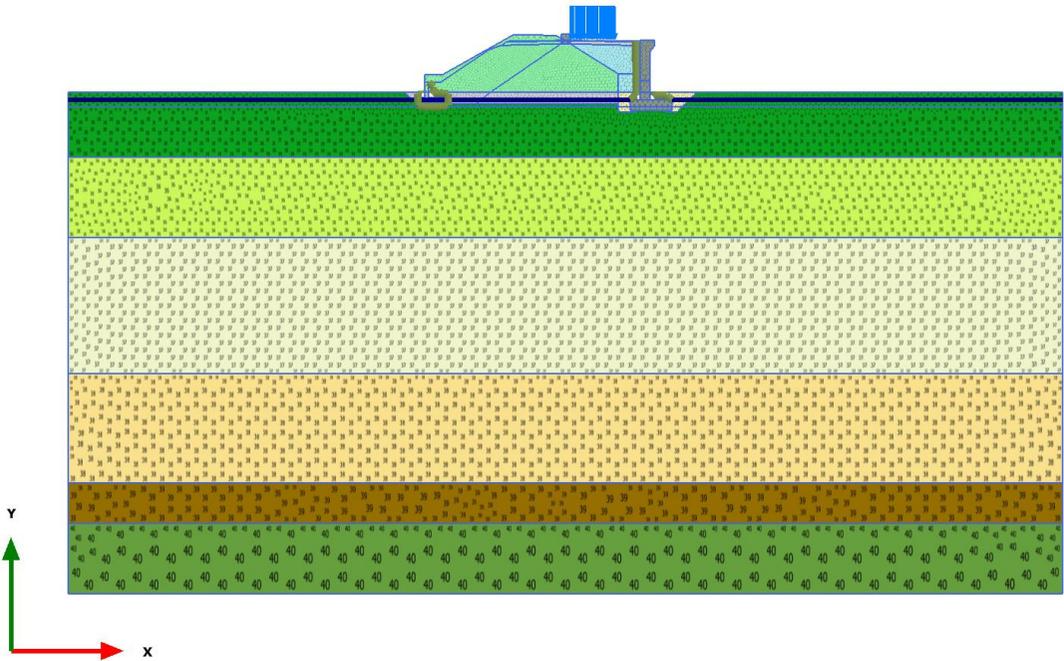
Connectivity plot

1.1.1.7 Calculation results, costruz. rilevato dx [Phase_7] (7/67), Connectivity plot



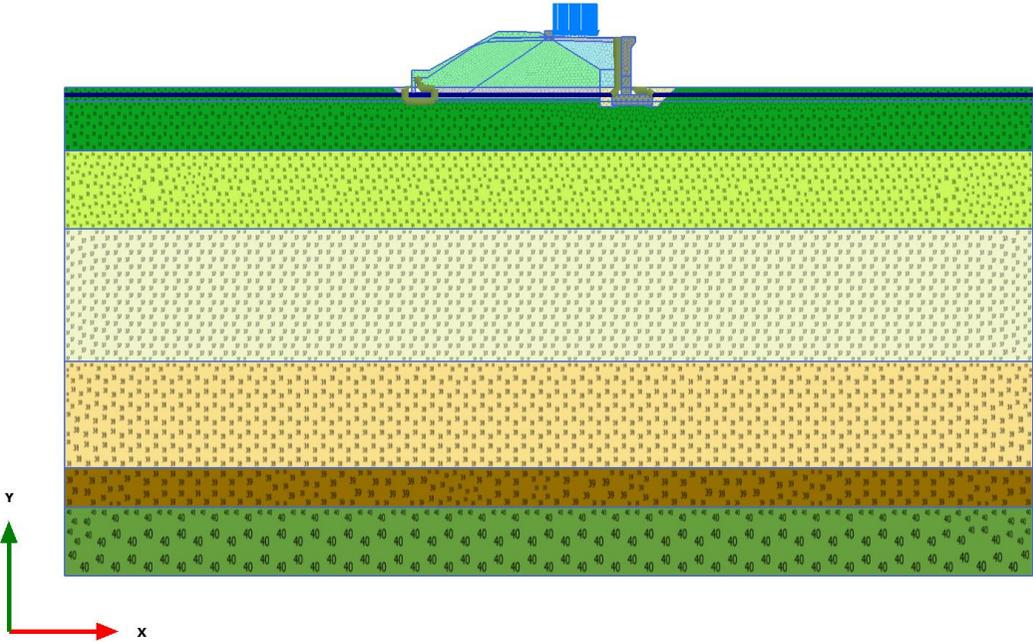
Connectivity plot

1.1.1.8 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/99), Connectivity plot



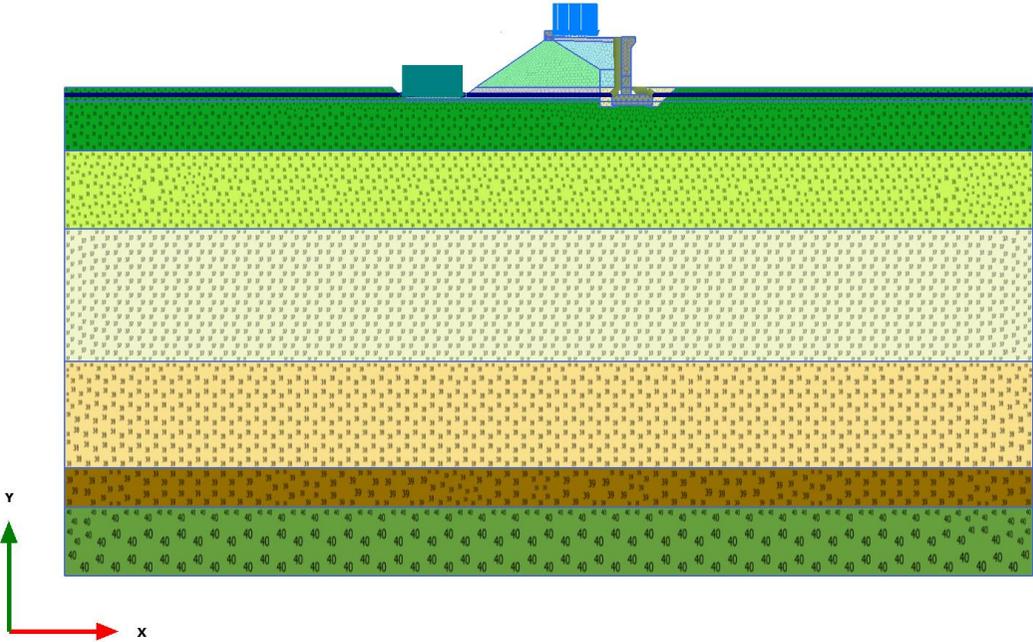
Connectivity plot

1.1.1.9 Calculation results, esercizio nuova linea [Phase_14] (14/102), Connectivity plot



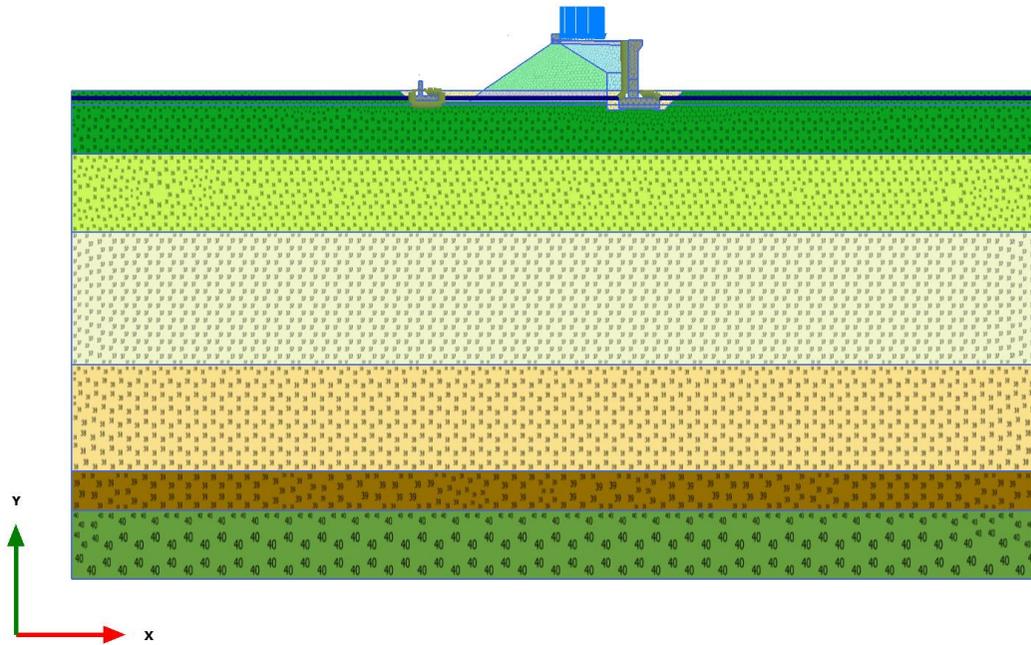
Connectivity plot

1.1.1.10 Calculation results, scavo rilevato sx [Phase_9] (9/112), Connectivity plot



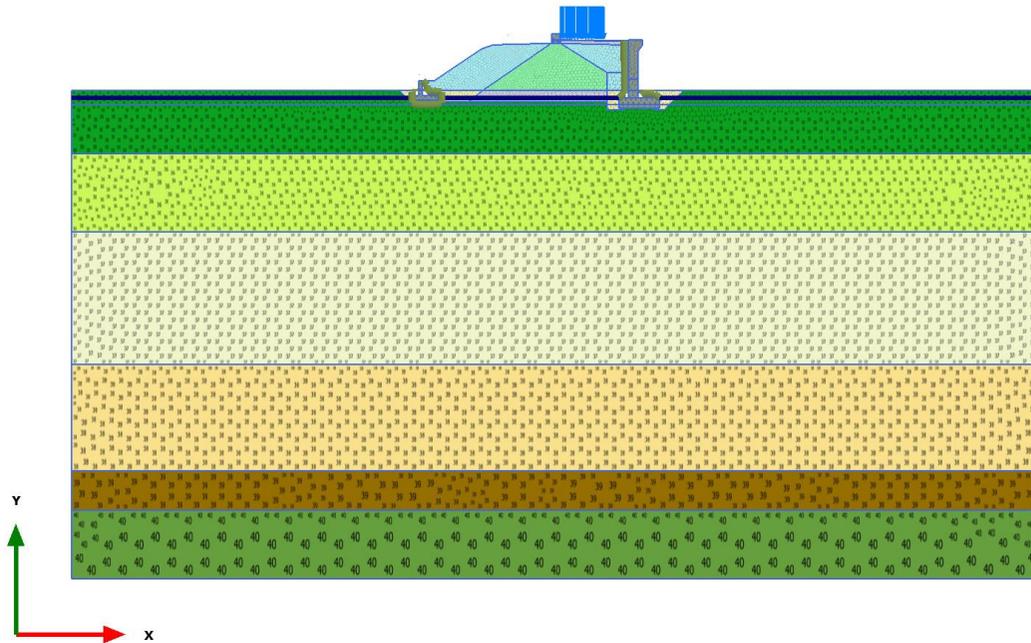
Connectivity plot

1.1.1.11 Calculation results, riempimento bonifico+ muro [Phase_10] (10/126), Connectivity plot



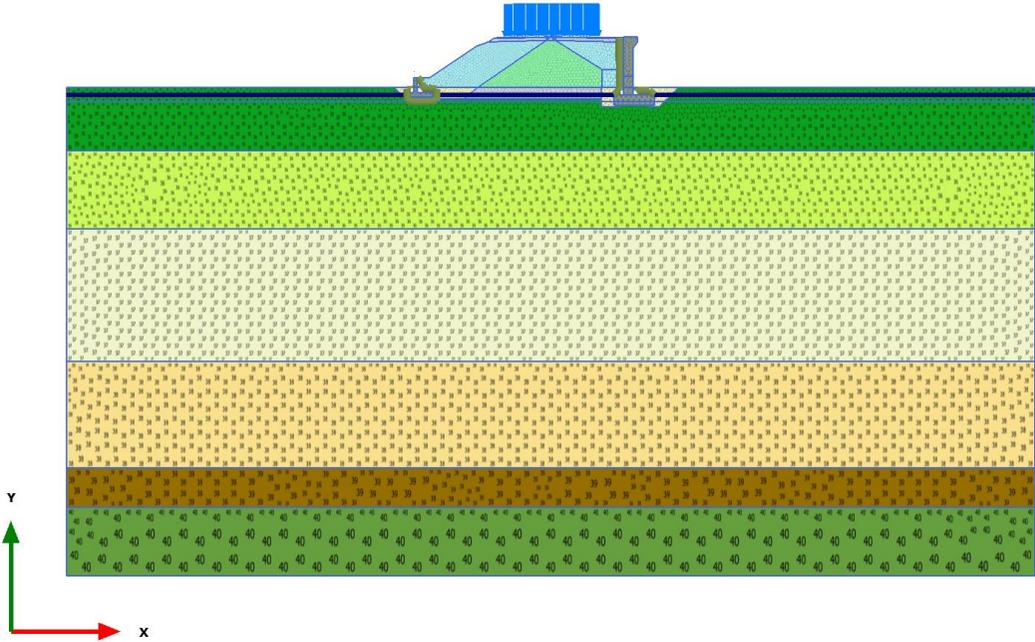
Connectivity plot

1.1.1.12 Calculation results, costruz. rilevato sx [Phase_11] (11/138), Connectivity plot



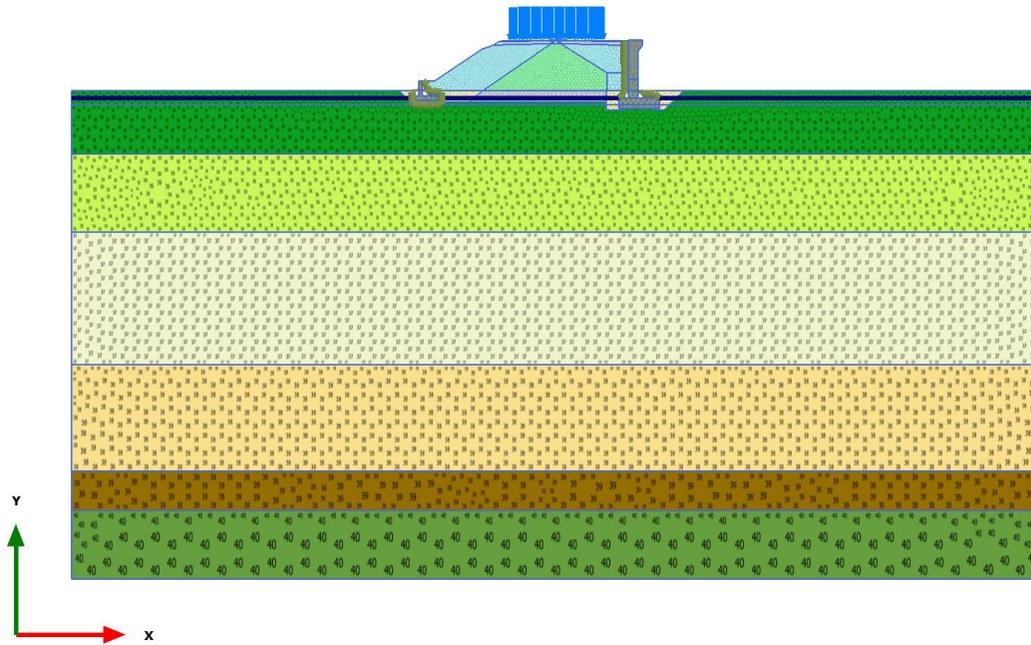
Connectivity plot

1.1.1.13 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/150), Connectivity plot



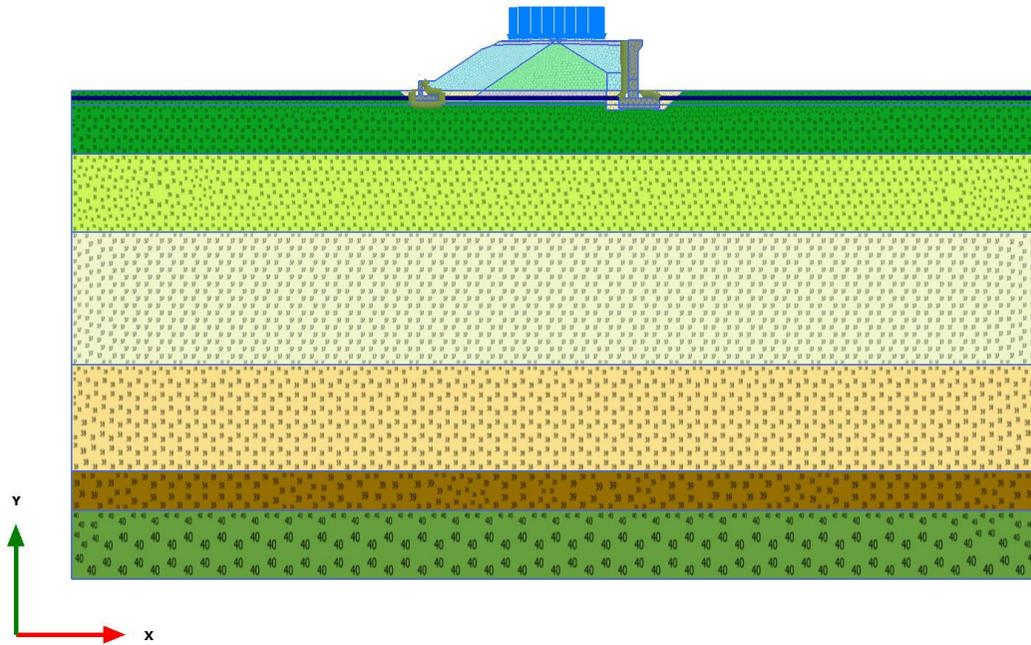
Connectivity plot

1.1.1.14 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/160), Connectivity plot



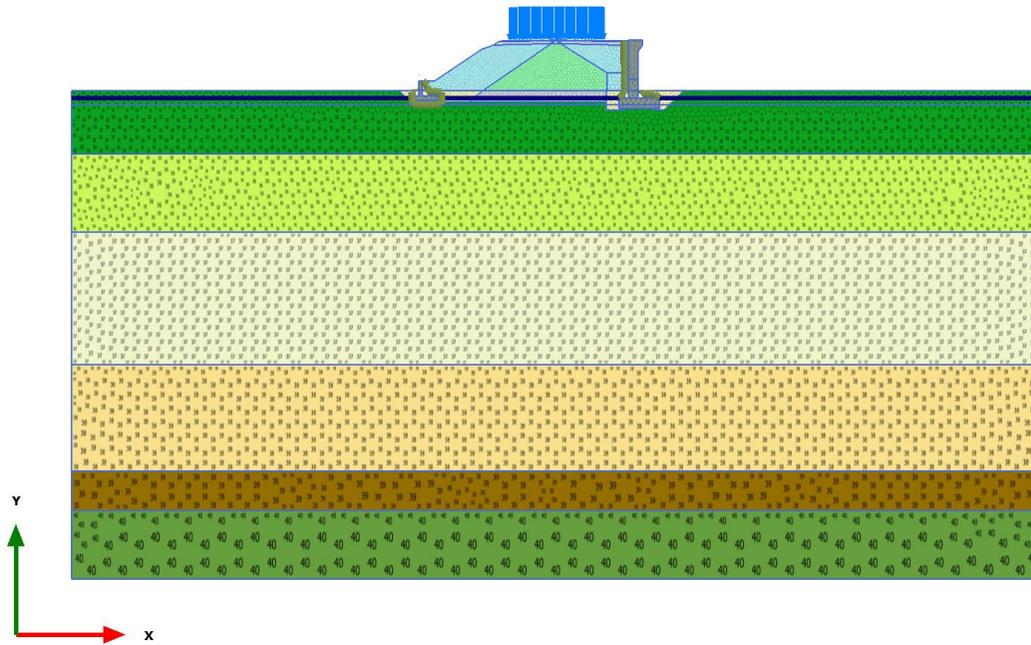
Connectivity plot

1.1.1.15 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (2 anni) [Phase_15] (15/170), Connectivity plot



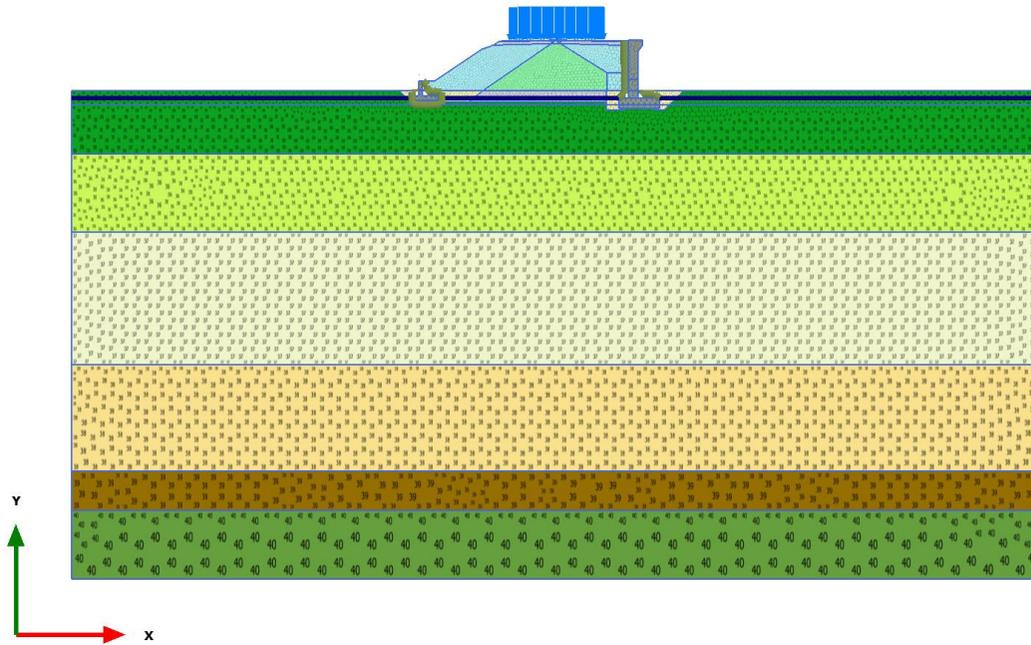
Connectivity plot

1.1.1.16 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (30 anni) [Phase_17] (17/198), Connectivity plot



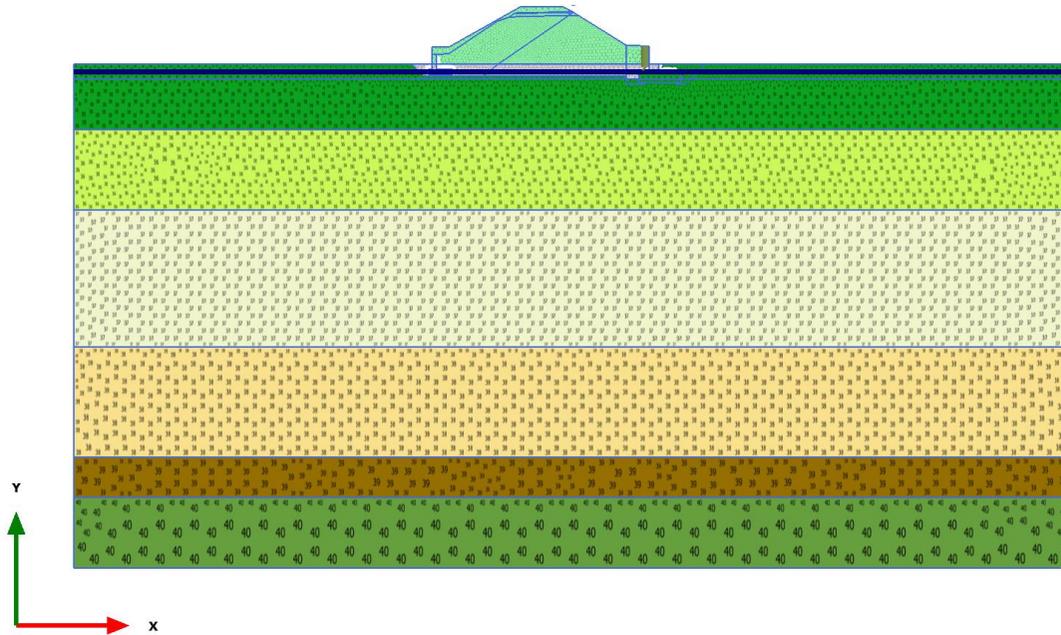
Connectivity plot

1.1.1.17 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/215), Connectivity plot



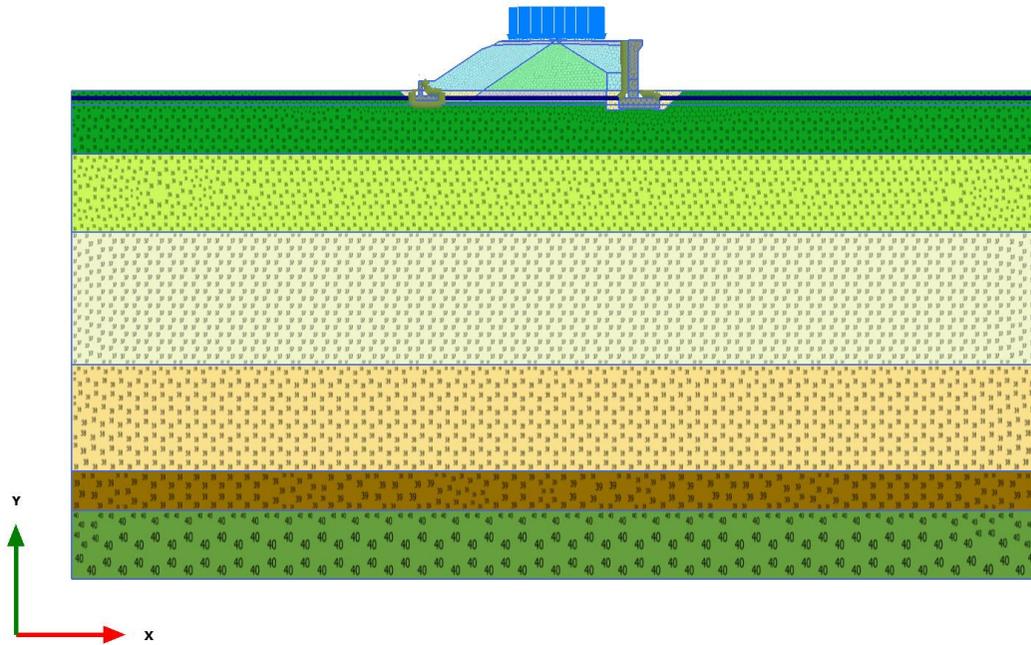
Connectivity plot

1.1.1.18 Calculation results, consolidaz. ril. esistente [Phase_3] (3/278), Connectivity plot



Connectivity plot

1.1.1.19 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (10 anni) [Phase_16] (16/327), Connectivity plot



Connectivity plot

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 |

| 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} | | 0.6199 | 0.9338 | 0.6437 | 0.5809 | 1.164 |
| K _{0,z} | | 0.6199 | 0.9338 | 0.6437 | 0.5809 | 1.164 |
| OCR | | 1.200 | 1.600 | 1.100 | 1.050 | 2.200 |
| 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 |

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

| 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 | | | | | | |
| γ_{unsat} | kN/m ³ | 19.00 | 20.00 | 19.00 | 20.00 | 19.00 |
| γ_{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 |
| ν (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 |

| 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 |
| ν_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 |
| $\bar{\sigma}_{inter}$ | | 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 |

| 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 |

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

| Identification | | Riporto antropico esistente |
|-----------------------|-------------------|---|
| Identification number | | 14 |
| Drainage type | | Drained |
| Colour | |  |
| Comments | | |
| γ_{unsat} | kN/m ³ | 19.00 |
| γ_{sat} | kN/m ³ | 19.00 |
| Dilatancy cut-off | | No |
| ϵ_{init} | | 0.5000 |
| ϵ_{min} | | 0.000 |
| ϵ_{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 |

| 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 |

| 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 |
| $-\psi_{unsat}$ | m | 10.00E3 |
| e_{init} | | 0.5000 |

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

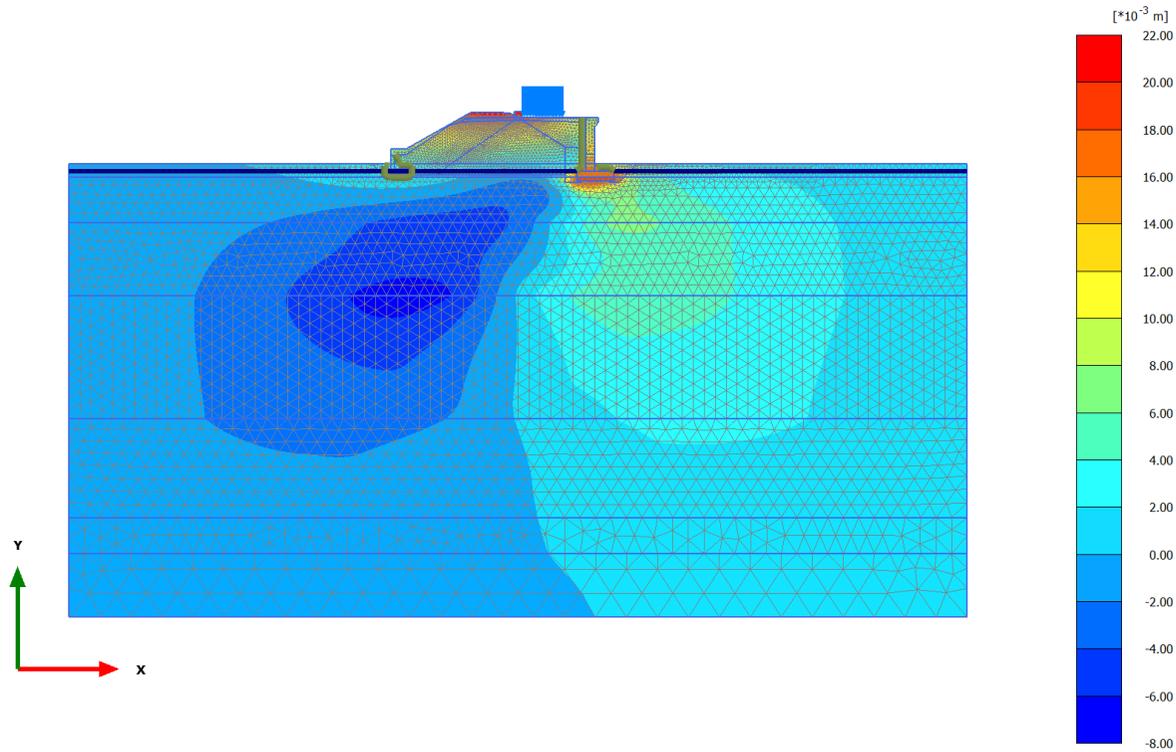
1.1.2.1.3 Materials - Soil and interfaces - Linear elastic

| Identification | | cls | Rilevato esistente | pali |
|-----------------------|-------------------|---|---|---|
| Identification number | | 9 | 10 | 13 |
| Drainage type | | Non-porous | Drained | Non-porous |
| Colour | |  |  |  |
| Comments | | | | |
| γ_{unsat} | kN/m ³ | 1.000 | 19.00 | 25.00 |
| γ_{sat} | kN/m ³ | 1.000 | 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 | 10.56E3 | 77.18 | 935.7 |

| Identification | | cls | Rilevato esistente | pali |
|---------------------------|-----------------------|-------------|--------------------|-------------|
| V_p | m/s | 15.84E3 | 144.4 | 1404 |
| Set to default values | | Yes | Yes | Yes |
| E_{inc} | kN/m ² /m | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| γ_{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 |
| $\bar{\sigma}_{inter}$ | | 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] (8/99), Total displacements u_x

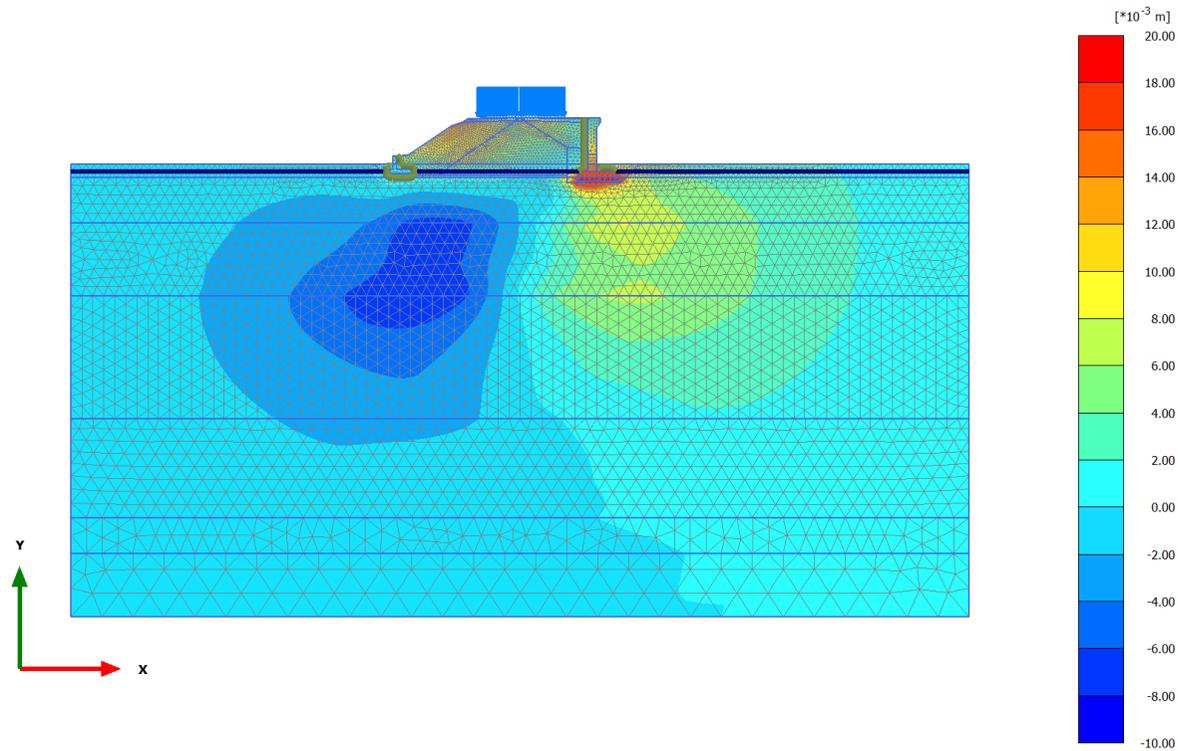


Total displacements u_x (scaled up 100 times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.02191 m (Element 4 at Node 4686)

Minimum value = $-7.075 \cdot 10^{-3}$ m (Element 5594 at Node 15116)

2.1.1.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/150), Total displacements u_x

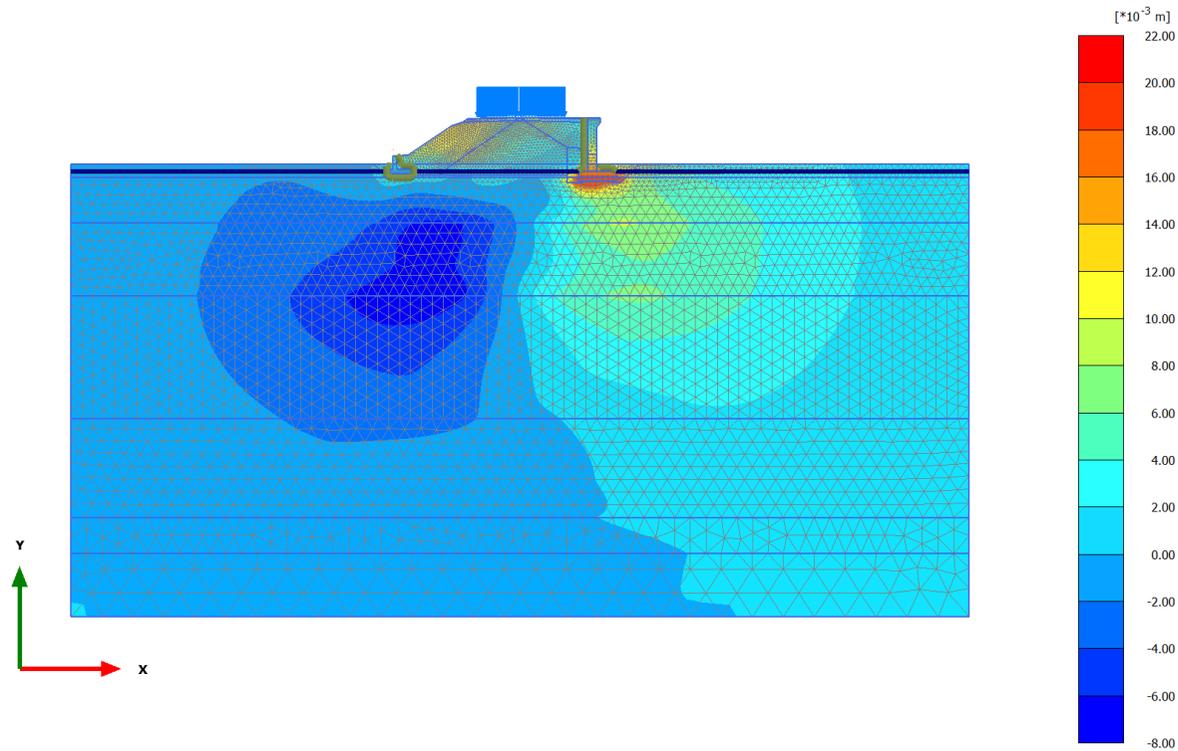


Total displacements u_x (scaled up 100 times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.01986 m (Element 4359 at Node 10859)

Minimum value = $-8.030 \cdot 10^{-3}$ m (Element 5596 at Node 15019)

2.1.1.1.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/160), Total displacements u_x

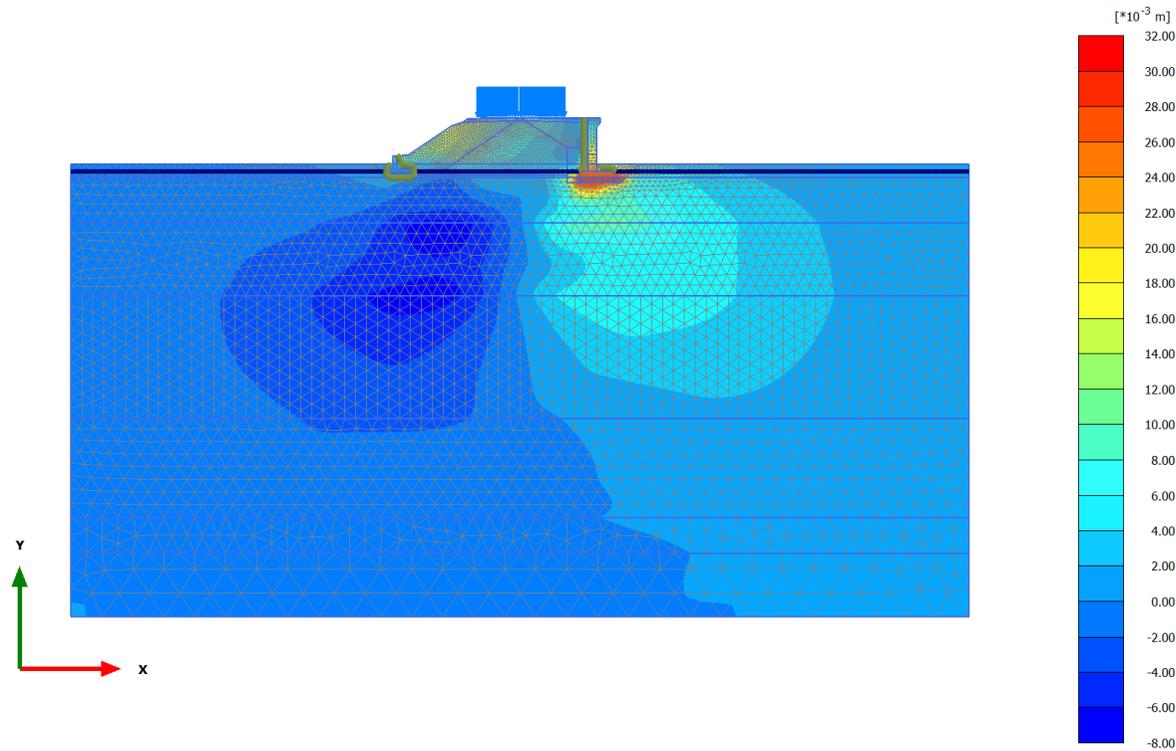


Total displacements u_x (scaled up 100 times) (Time 20.08*10³ day)

Maximum value = 0.02090 m (Element 4359 at Node 10859)

Minimum value = -7.765*10⁻³ m (Element 5596 at Node 15019)

2.1.1.1.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/215), Total displacements u_x

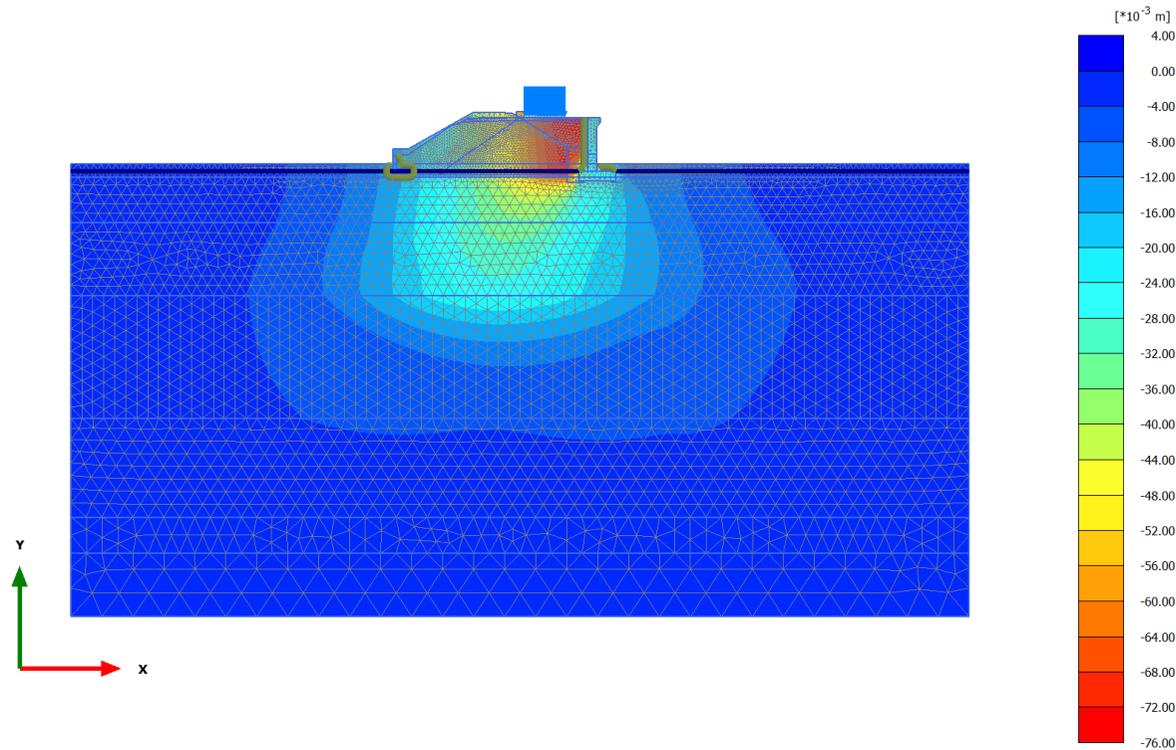


Total displacements u_x (scaled up 50.0 times) (Time 47.08*10³ day)

Maximum value = 0.03006 m (Element 4334 at Node 8607)

Minimum value = -7.525*10⁻³ m (Element 4399 at Node 15097)

2.1.1.2.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/99), Total displacements u_y

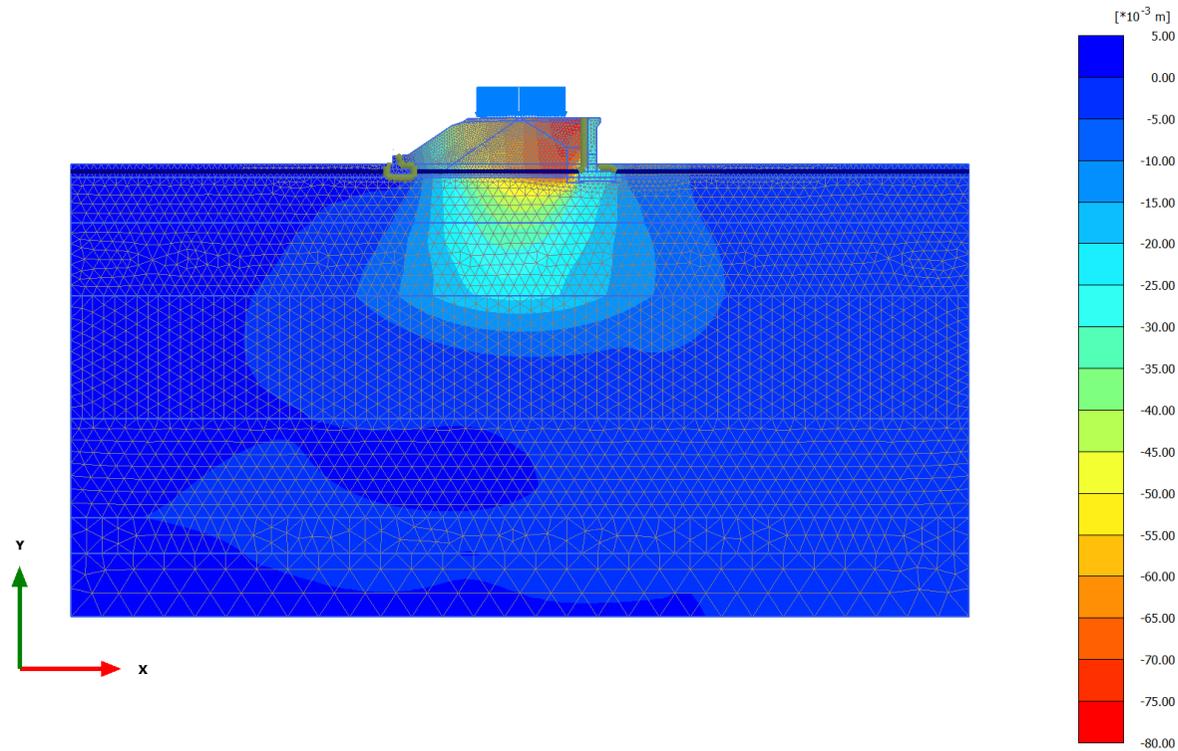


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time 19.34×10^3 day)

Maximum value = 0.000 m (Element 9459 at Node 15522)

Minimum value = -0.07559 m (Element 373 at Node 5678)

2.1.1.2.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/150), Total displacements u_y

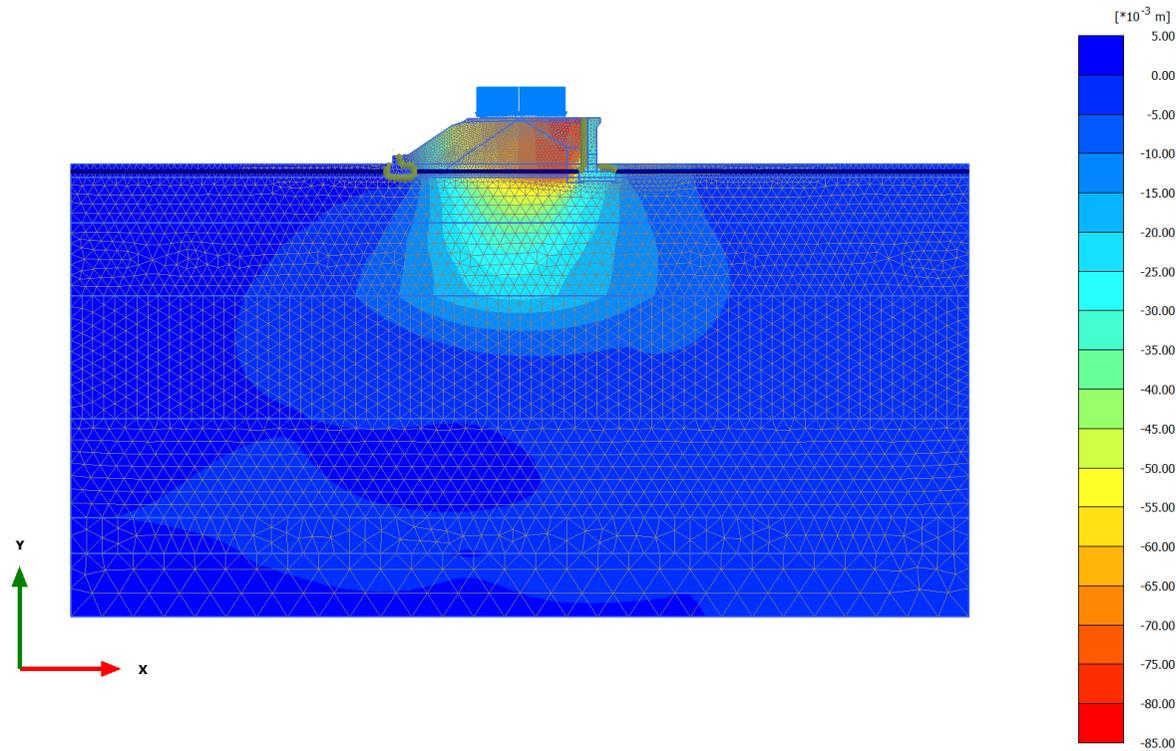


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time 19.71*10³ day)

Maximum value = 4.664*10⁻³ m (Element 3059 at Node 15846)

Minimum value = -0.07755 m (Element 192 at Node 4945)

2.1.1.2.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/160), Total displacements u_y

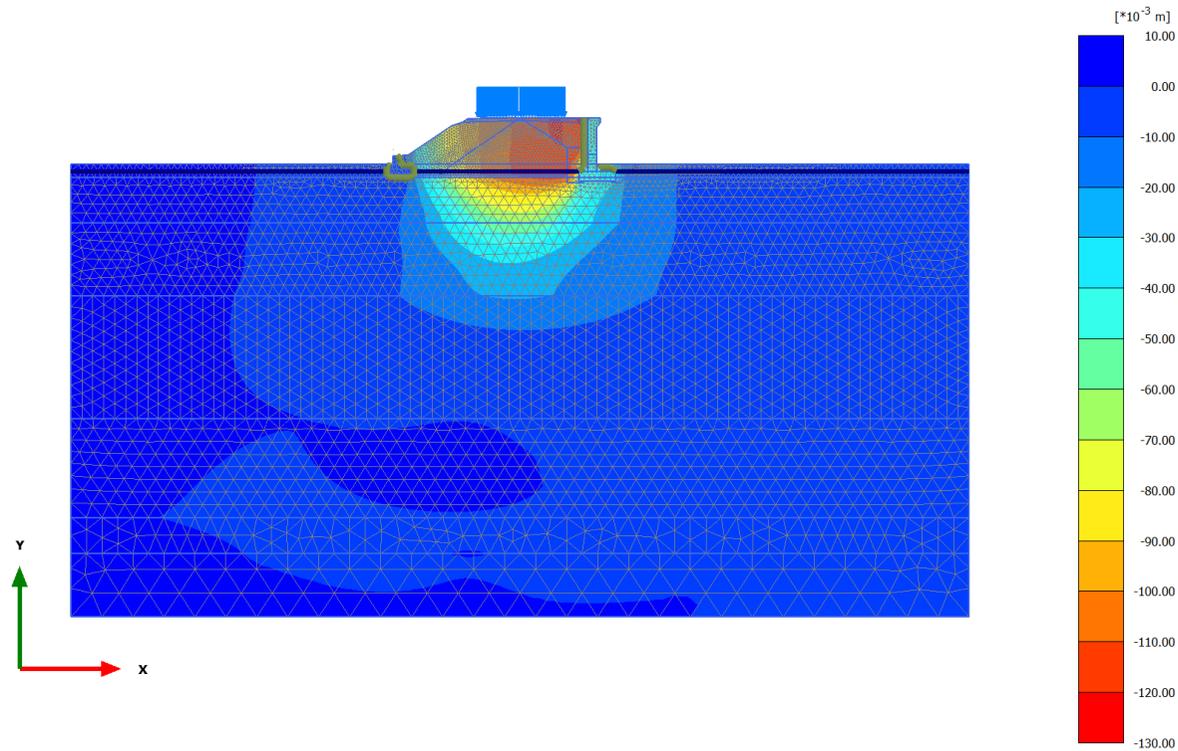


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time 20.08×10^3 day)

Maximum value = 4.356×10^{-3} m (Element 3076 at Node 15847)

Minimum value = -0.08113 m (Element 19 at Node 4946)

2.1.1.2.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/215), Total displacements u_y

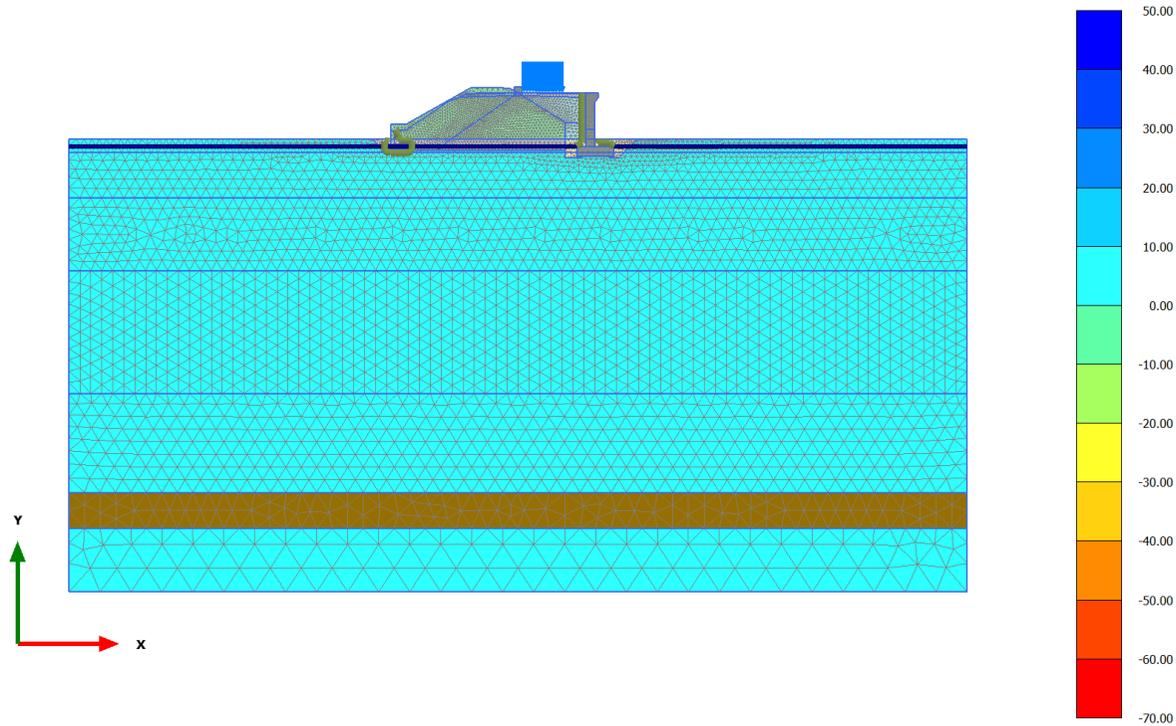


Total displacements u_y (scaled up 20.0 times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $1.084 \cdot 10^{-3}$ m (Element 3992 at Node 19690)

Minimum value = -0.1224 m (Element 190 at Node 4944)

2.2.1.1.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/99), Isotropic overconsolidation ratio

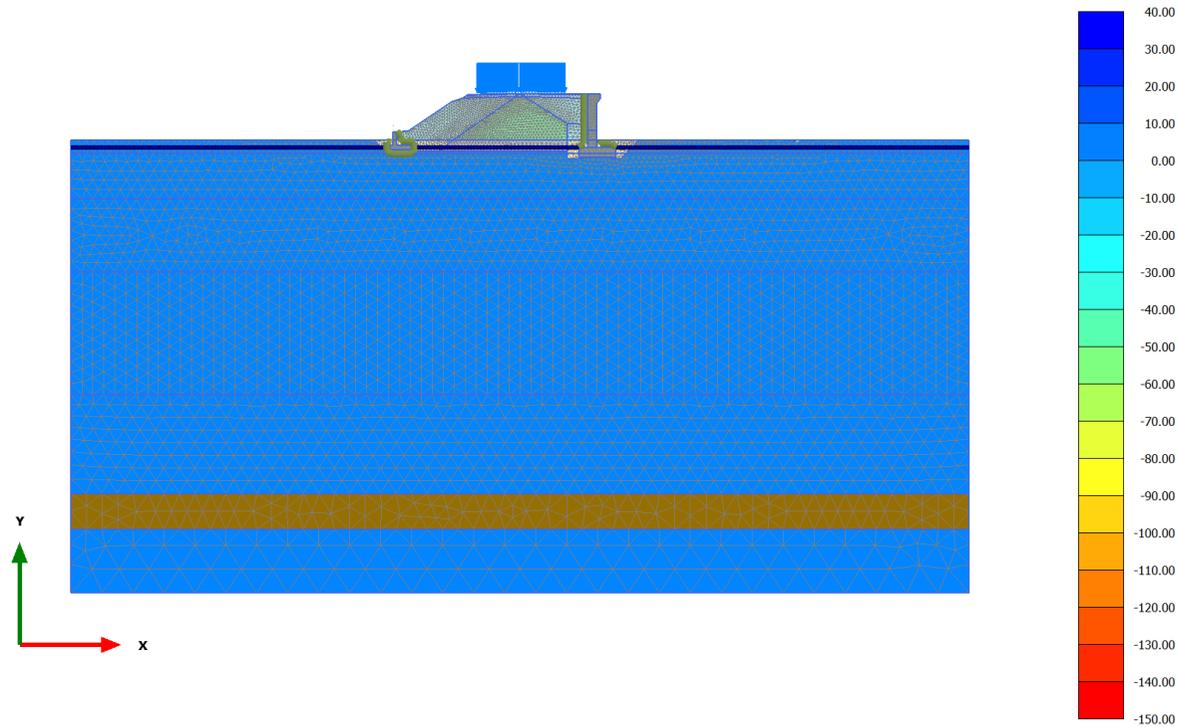


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up 0.0200 times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 43.86 (Element 3790 at Node 1696)

Minimum value = -65.00 (Element 4201 at Node 17751)

2.2.1.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/150), Isotropic overconsolidation ratio

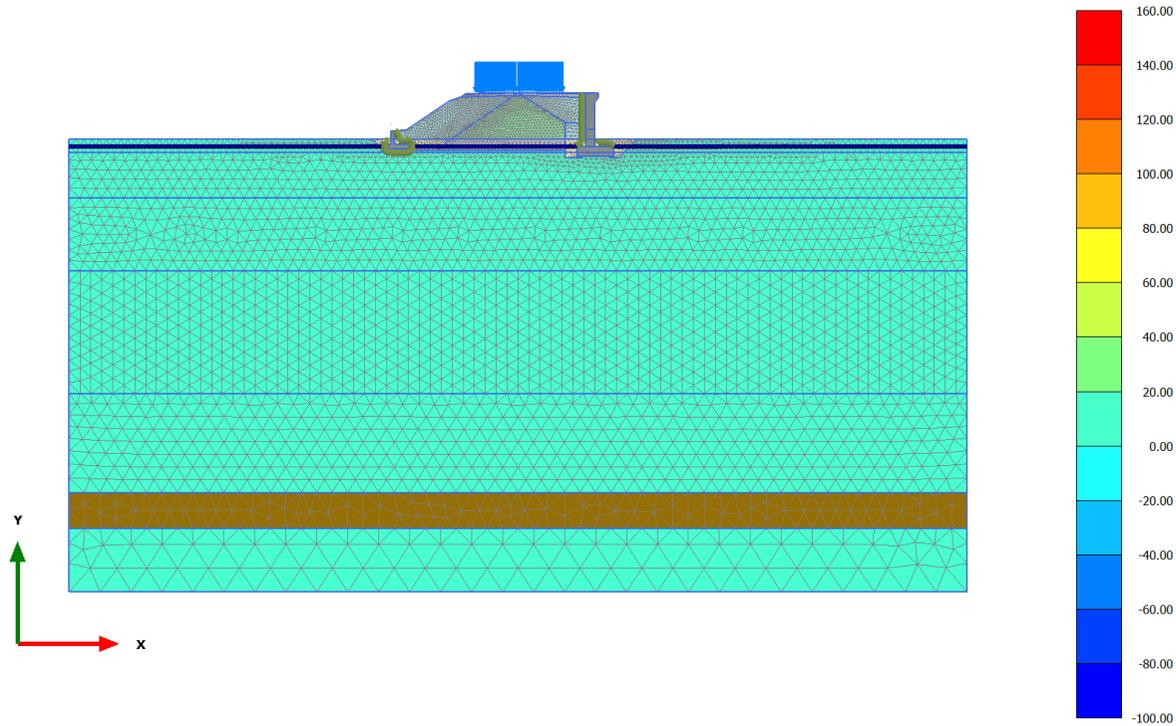


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up 0.0200 times) (Time 19.71*10³ day)

Maximum value = 31.96 (Element 3700 at Node 957)

Minimum value = -146.5 (Element 3690 at Node 954)

2.2.1.1.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/160), Isotropic overconsolidation ratio

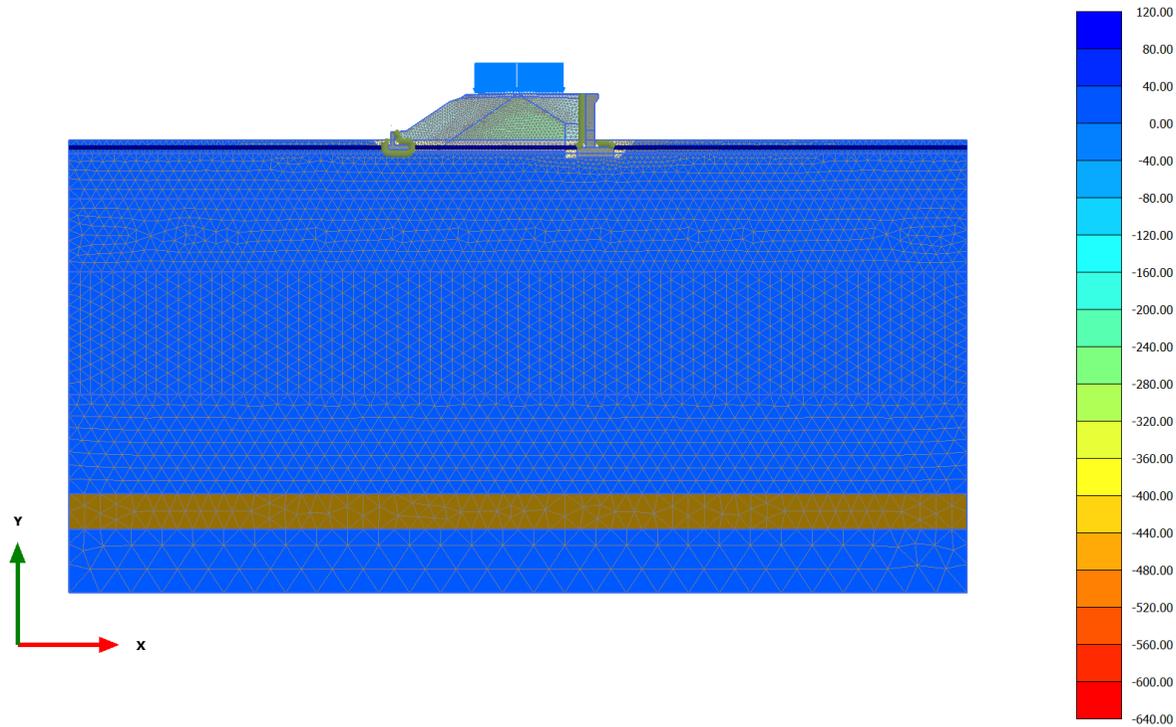


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up 0.0200 times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 150.9 (Element 3783 at Node 1541)

Minimum value = -86.16 (Element 3690 at Node 955)

2.2.1.1.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/215), Isotropic overconsolidation ratio

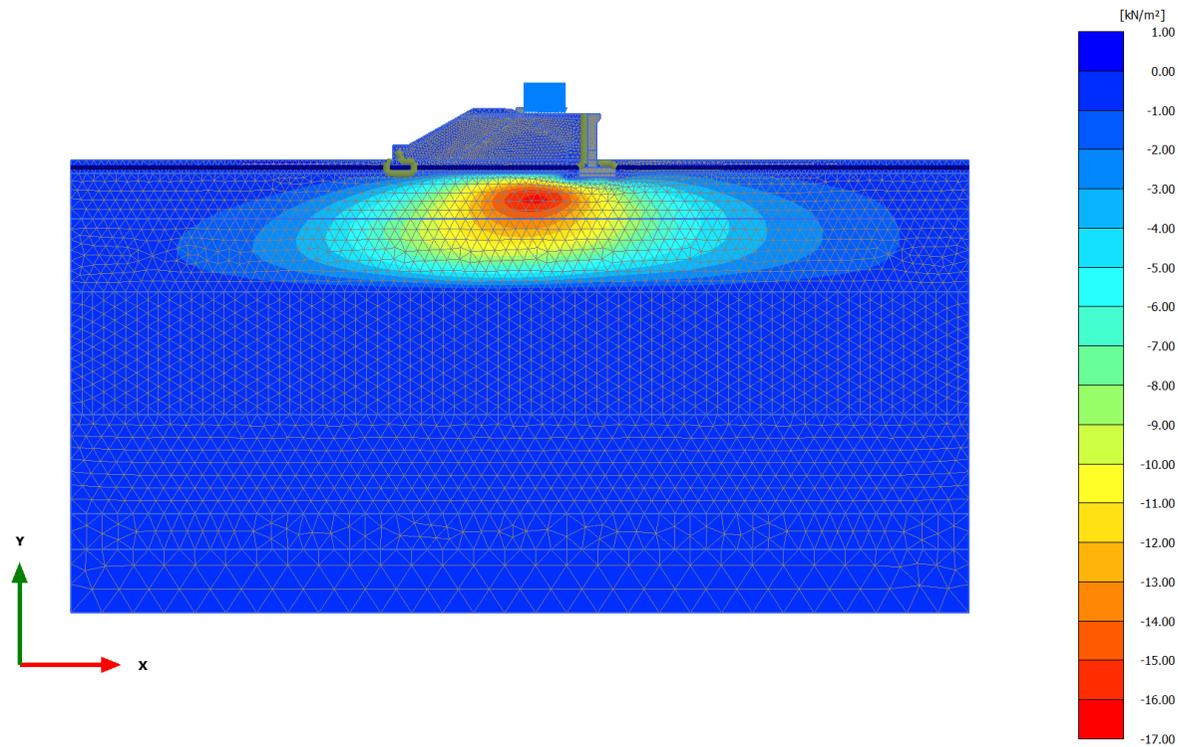


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 93.56 (Element 3640 at Node 596)

Minimum value = -619.0 (Element 3690 at Node 955)

2.2.2.1.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/99), Excess pore pressures p_{excess}

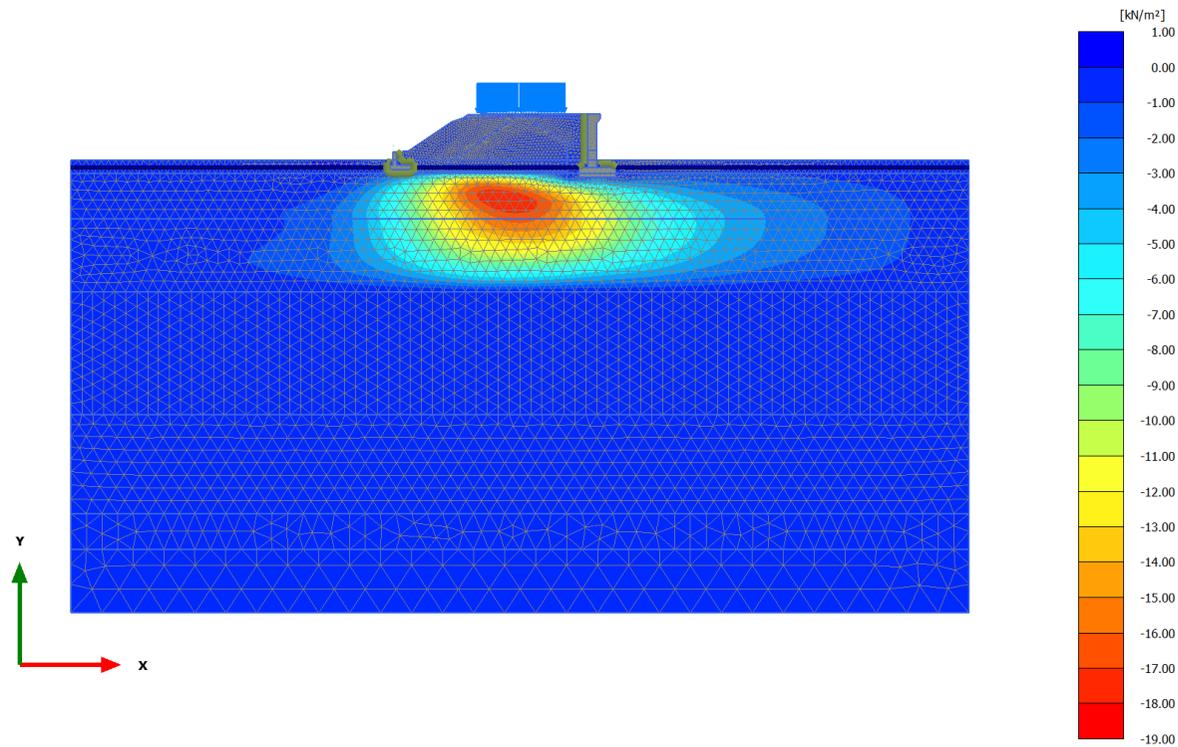


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 0.200 times) (Pressure = negative) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.1177 kN/m^2 (Element 5508 at Node 7893)

Minimum value = -16.34 kN/m^2 (Element 4622 at Node 13005)

2.2.2.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/150), Excess pore pressures p_{excess}

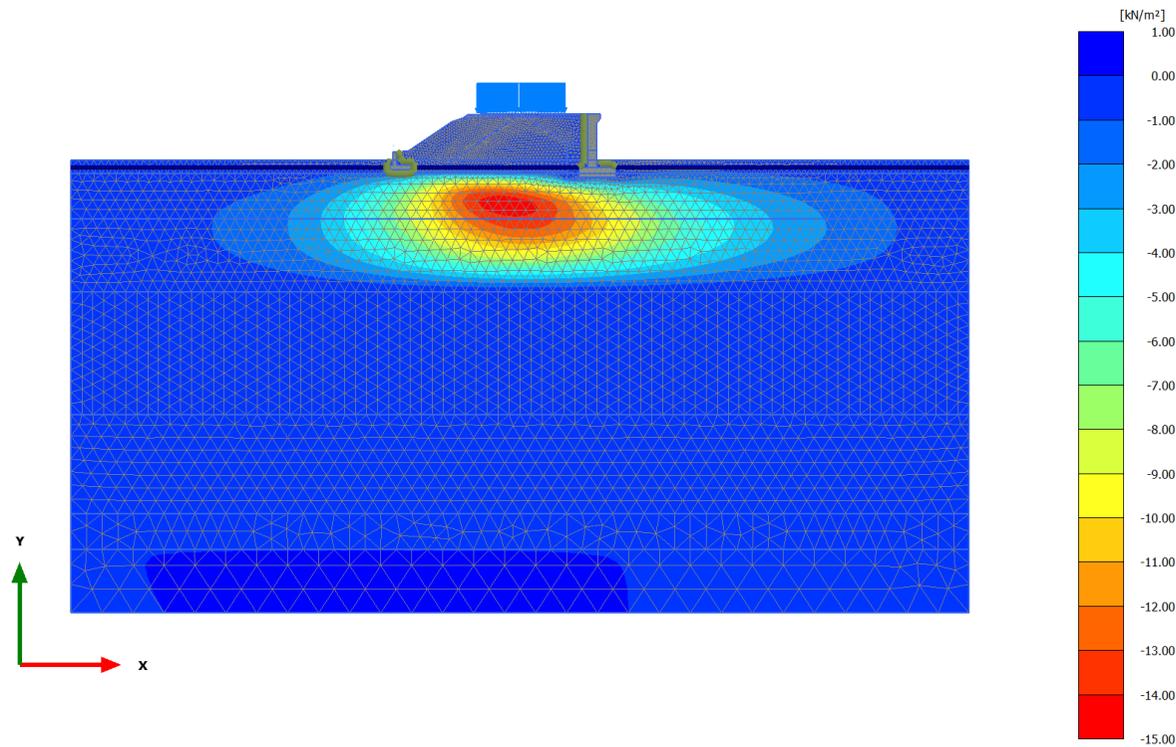


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 0.200 times) (Pressure = negative) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.1025 kN/m² (Element 5508 at Node 7893)

Minimum value = -18.04 kN/m² (Element 4613 at Node 13679)

2.2.2.1.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/160), Excess pore pressures p_{excess}

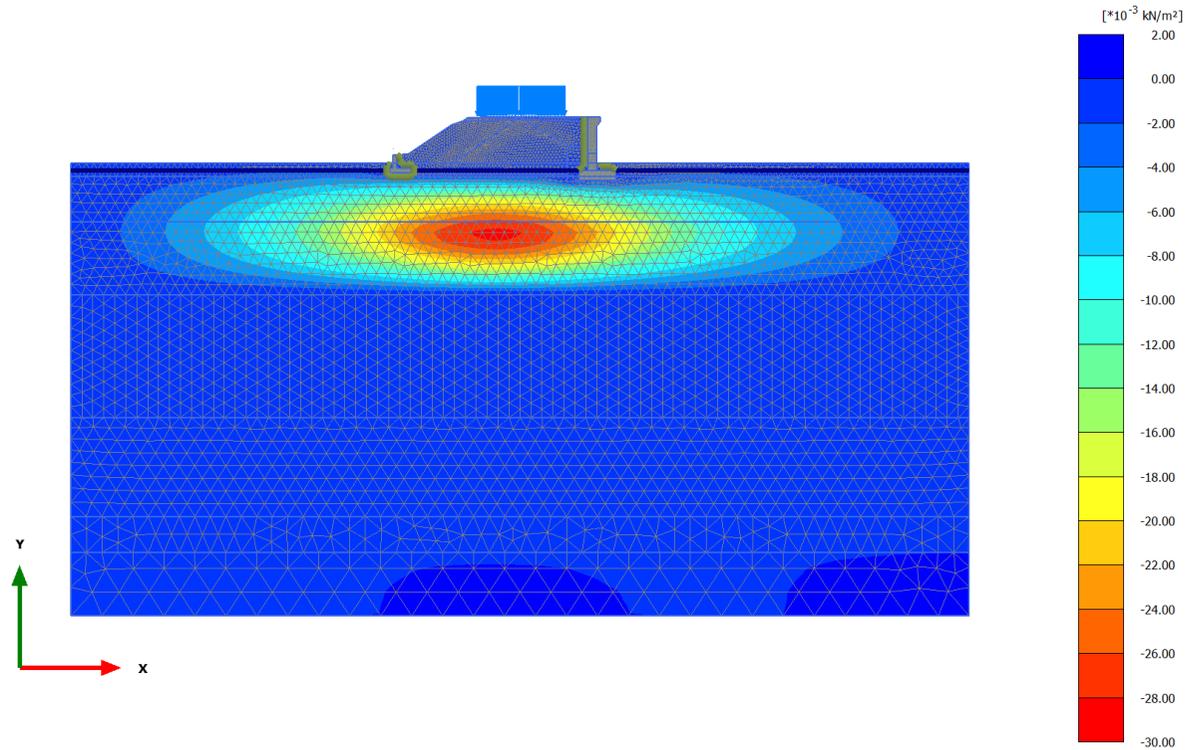


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 0.200 times) (Pressure = negative) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.09053 kN/m^2 (Element 5508 at Node 7893)

Minimum value = -14.66 kN/m^2 (Element 4613 at Node 13679)

2.2.2.1.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/215), Excess pore pressures p_{excess}

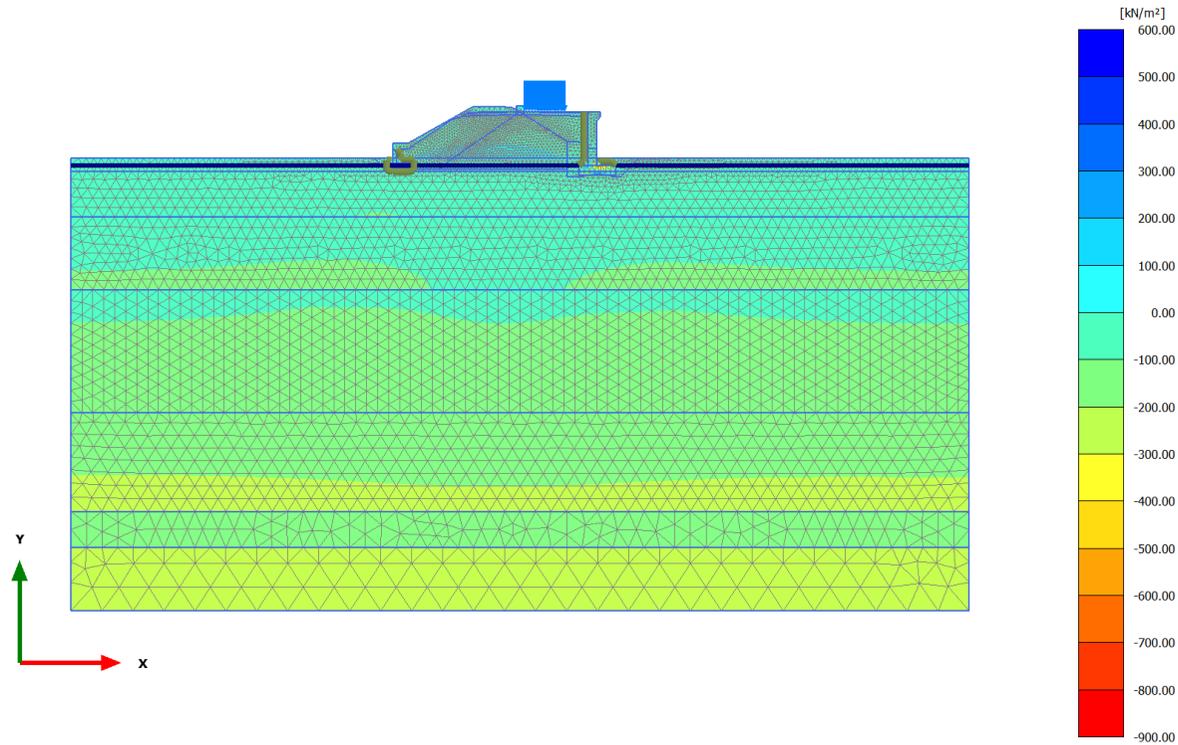


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 100 times) (Pressure = negative) (Time $47.08*10^3$ day)

Maximum value = $0.1615*10^{-3} \text{ kN/m}^2$ (Element 194 at Node 4934)

Minimum value = -0.02861 kN/m^2 (Element 5625 at Node 13726)

2.2.3.1.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/99), Cartesian effective stress σ'_{xx}

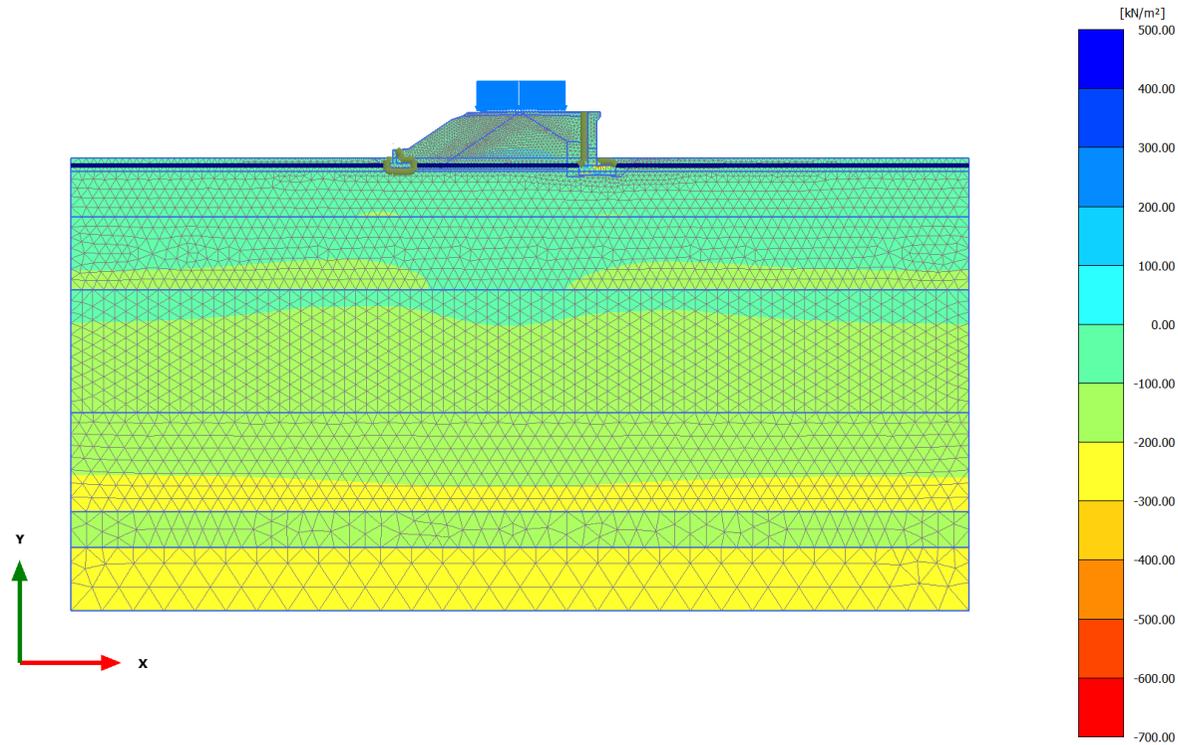


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 499.8 kN/m² (Element 4341 at Node 9535)

Minimum value = -879.6 kN/m² (Element 4324 at Node 8737)

2.2.3.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/150), Cartesian effective stress σ'_{xx}

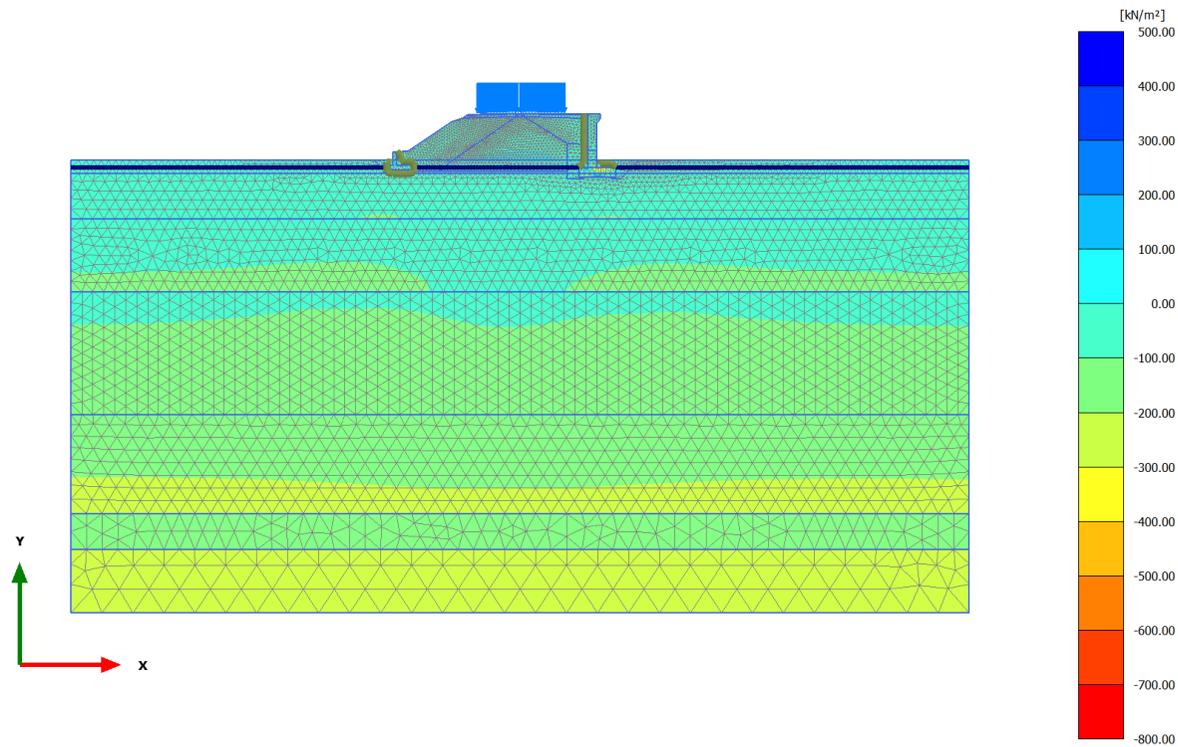


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 437.9 kN/m² (Element 3518 at Node 15255)

Minimum value = -671.7 kN/m² (Element 4324 at Node 8737)

2.2.3.1.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/160), Cartesian effective stress σ'_{xx}

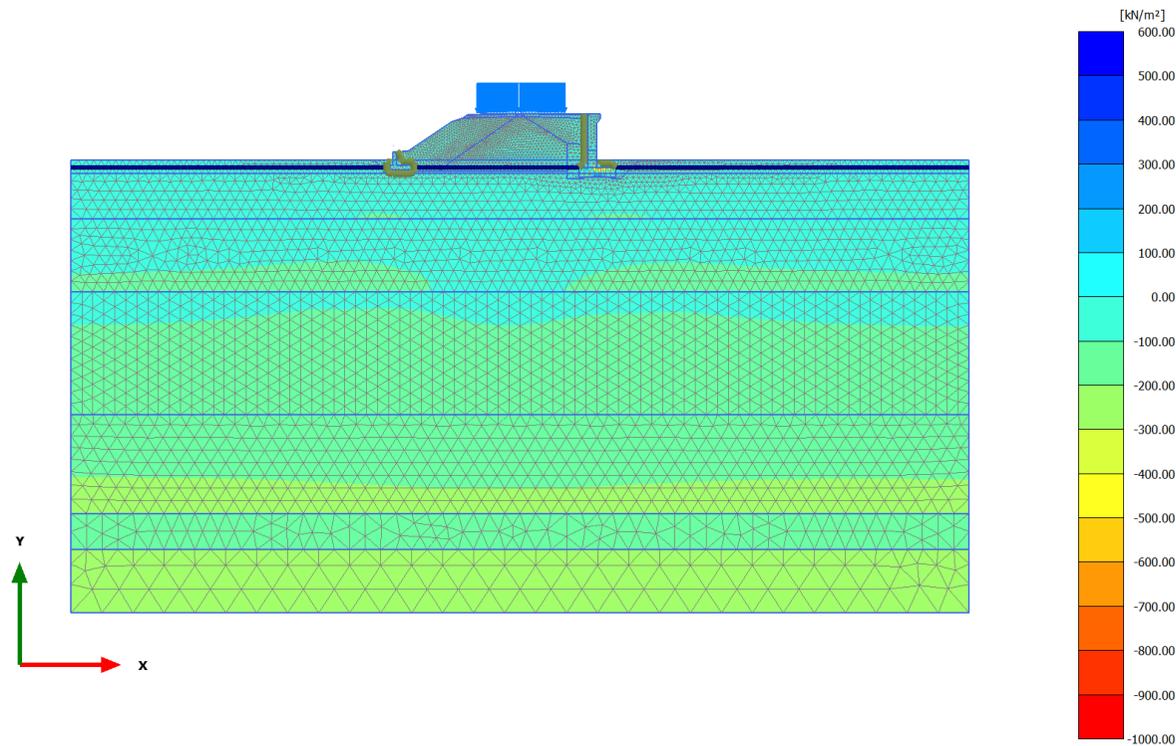


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 423.8 kN/m² (Element 3518 at Node 15255)

Minimum value = -723.5 kN/m² (Element 4324 at Node 8737)

2.2.3.1.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/215), Cartesian effective stress σ'_{xx}

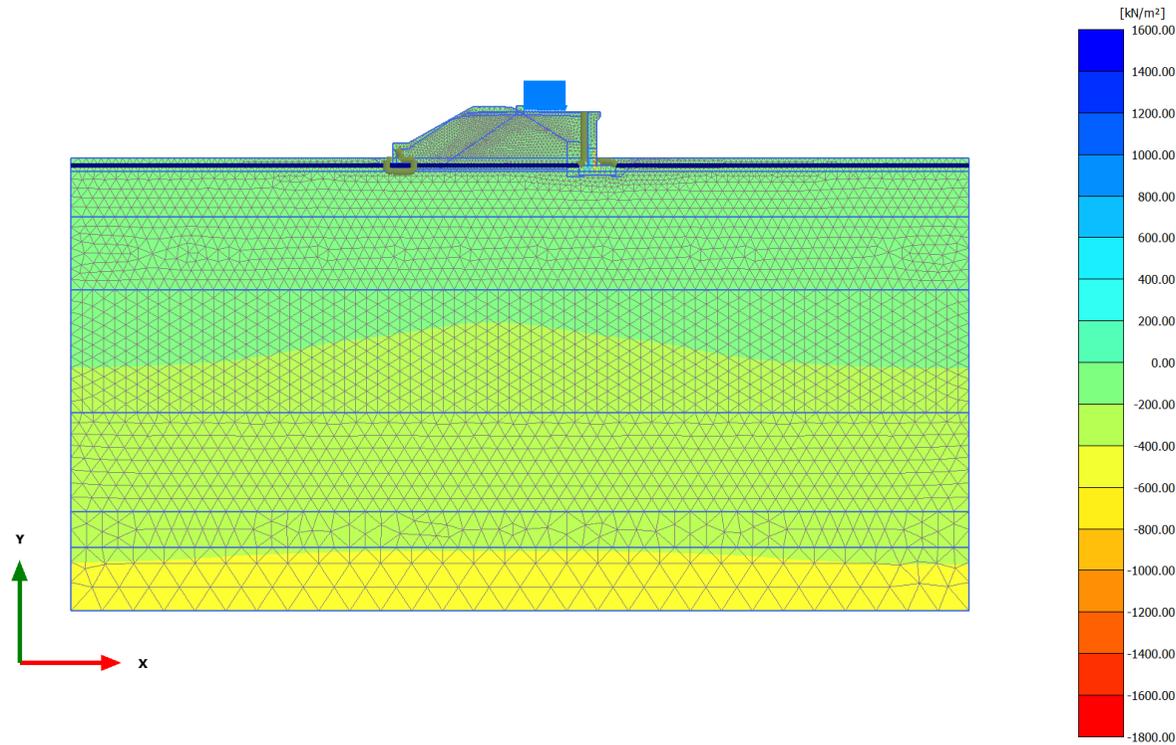


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 559.5 kN/m² (Element 4341 at Node 9535)

Minimum value = -973.4 kN/m² (Element 4324 at Node 8737)

2.2.3.2.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/99), Cartesian effective stress σ'_{yy}

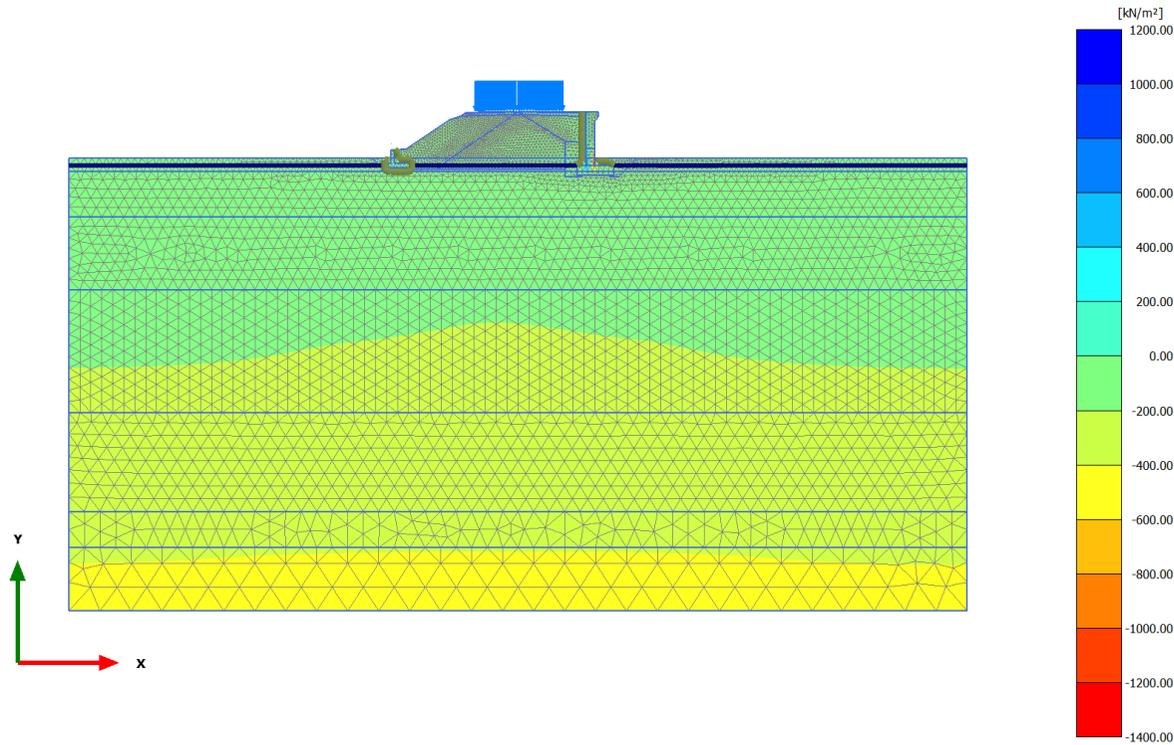


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $1.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 1457 kN/m² (Element 3010 at Node 8777)

Minimum value = -1672 kN/m² (Element 3016 at Node 8150)

2.2.3.2.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/150), Cartesian effective stress σ'_{yy}

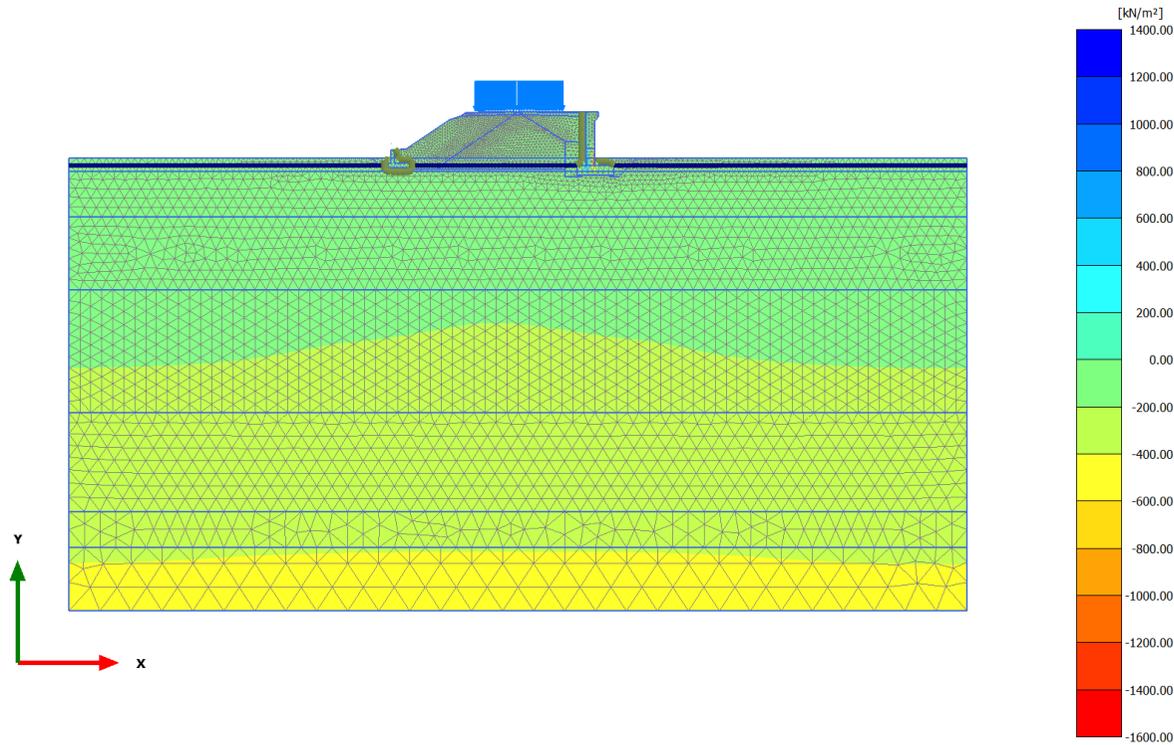


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $1.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 1184 kN/m² (Element 3010 at Node 8777)

Minimum value = -1353 kN/m² (Element 3016 at Node 8150)

2.2.3.2.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/160), Cartesian effective stress σ'_{yy}

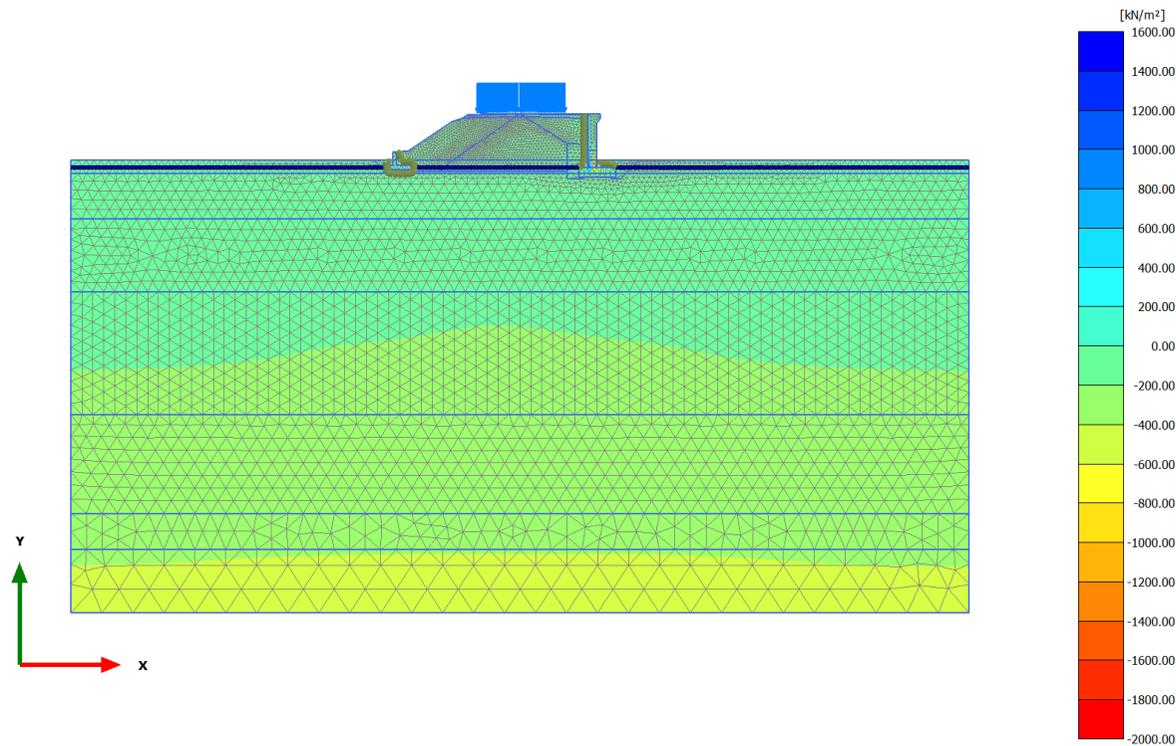


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $1.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 1268 kN/m² (Element 3010 at Node 8777)

Minimum value = -1449 kN/m² (Element 3016 at Node 8150)

2.2.3.2.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/215), Cartesian effective stress σ'_{yy}



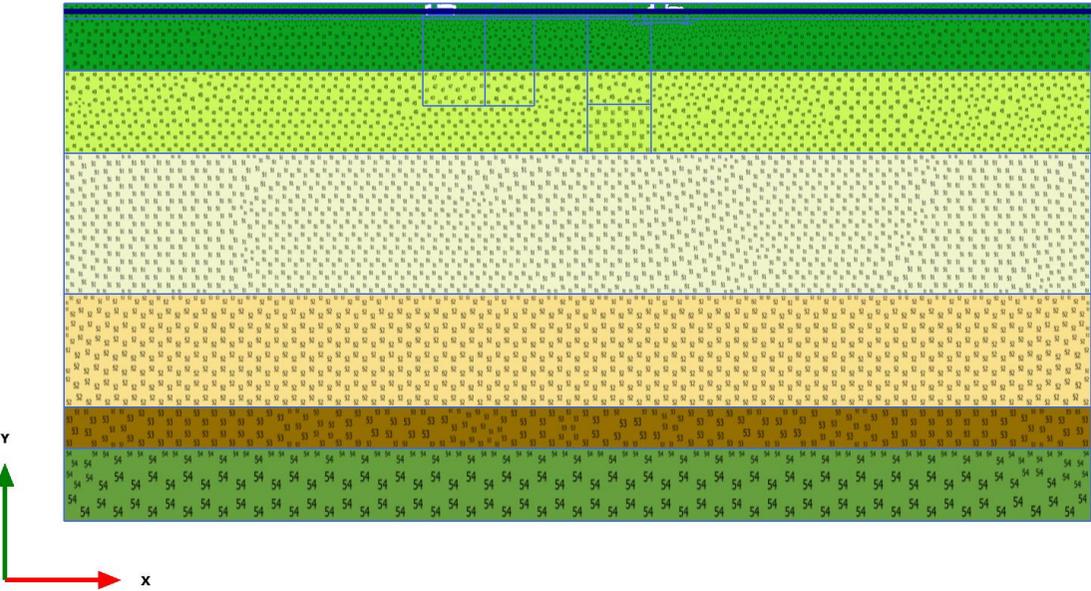
Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $1.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 1572 kN/m² (Element 3010 at Node 8777)

Minimum value = -1810 kN/m² (Element 3016 at Node 8150)

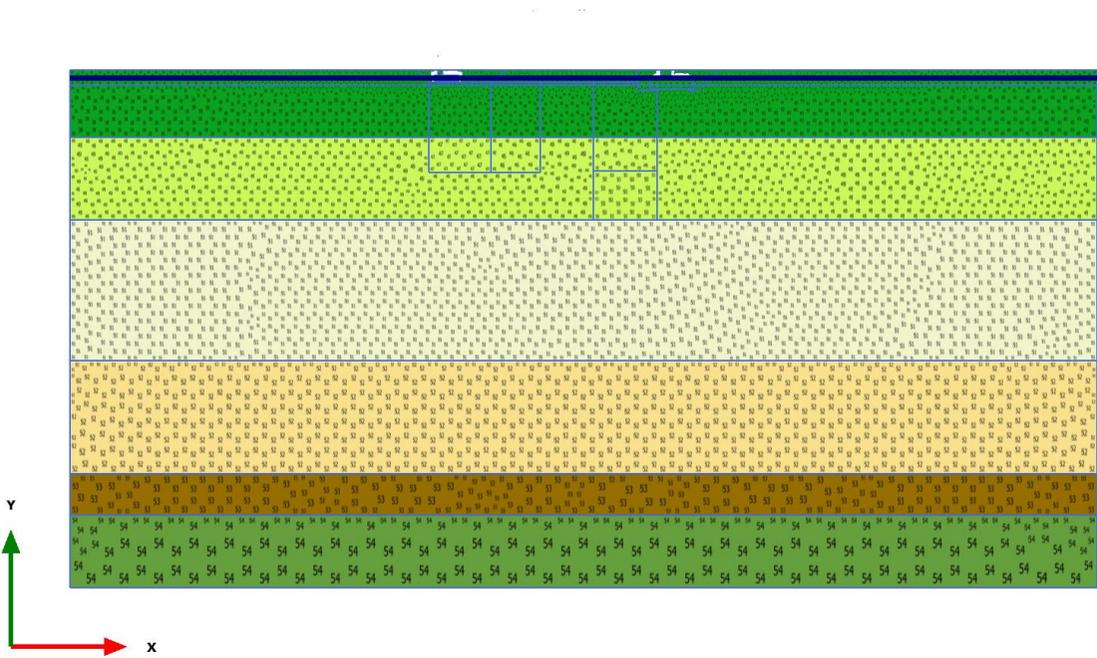
ALLEGATO C – RISULTATI ANALISI PLAXIS RIL. 0+400 PER ATTRITO NEGATIVO CON INTERVENTI

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



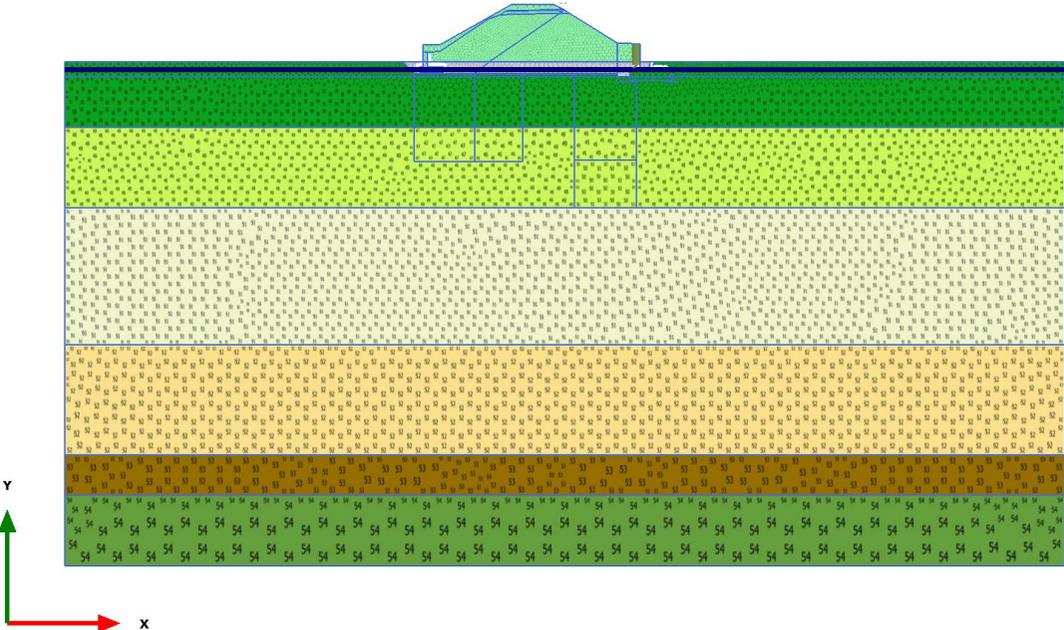
Connectivity plot

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



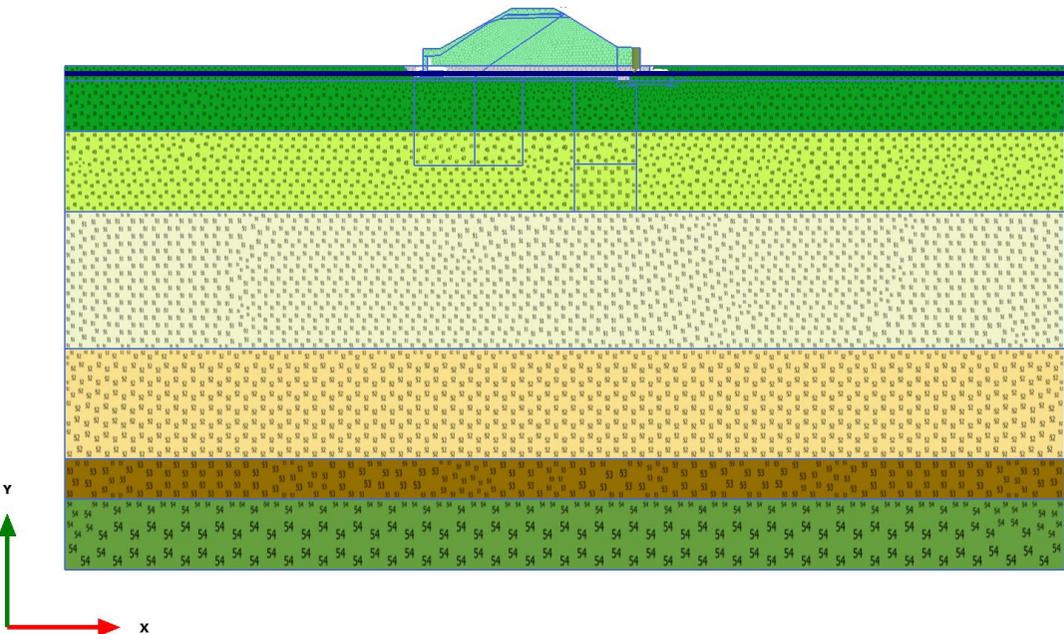
Connectivity plot

1.1.1.3 Calculation results, costr. ril. esistente [Phase_2] (2/24), Connectivity plot



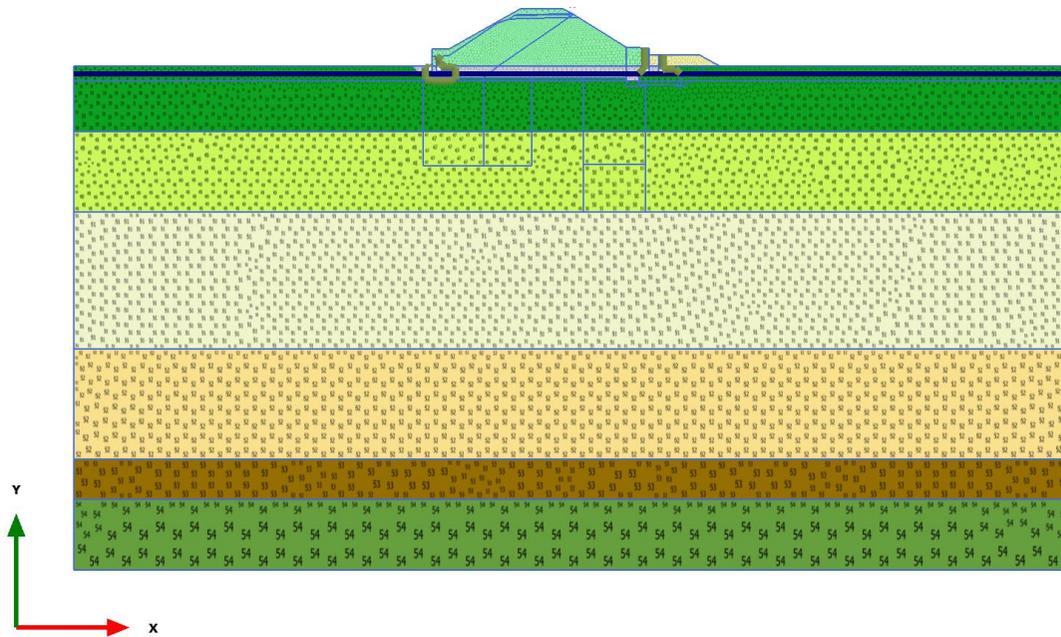
Connectivity plot

1.1.1.4 Calculation results, consolidaz. ril. esistente [Phase_3] (3/66), Connectivity plot



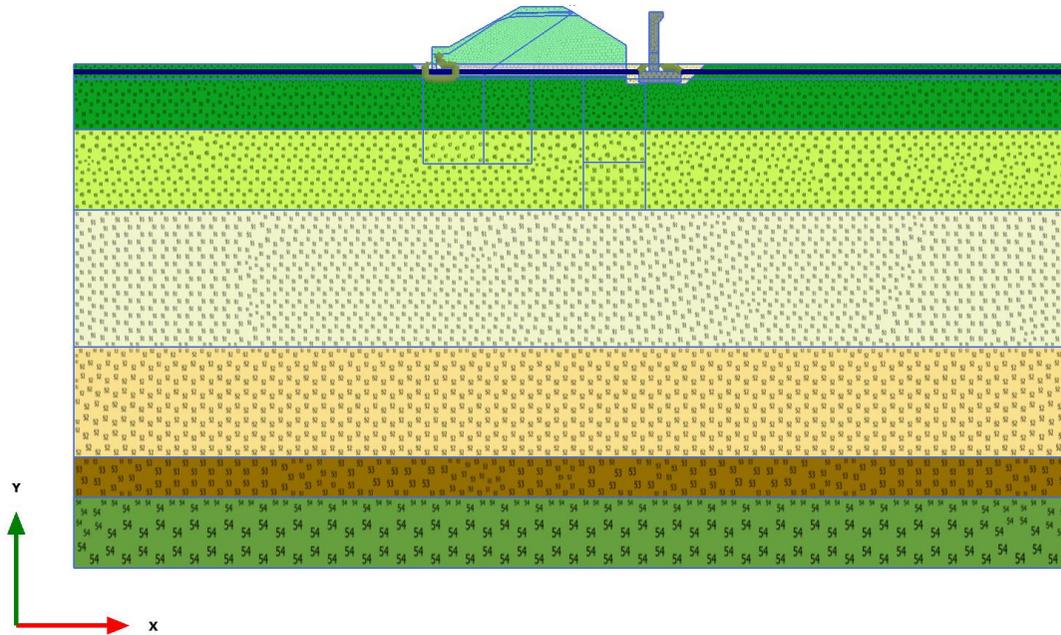
Connectivity plot

1.1.1.5 Calculation results, esecuz. strato bonifico superiore [Phase_4] (4/69), Connectivity plot



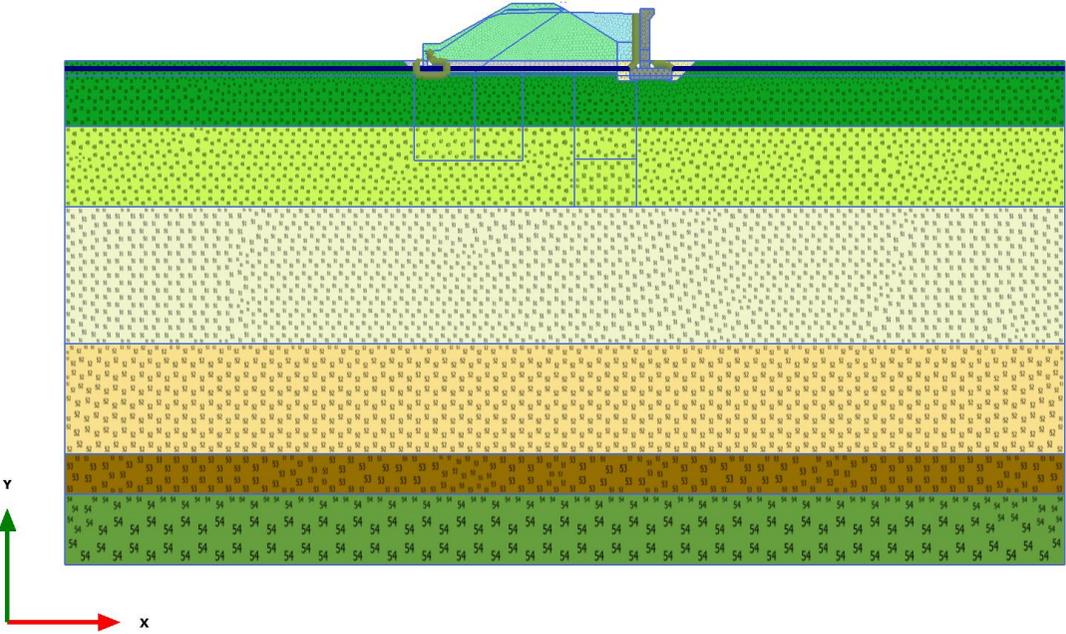
Connectivity plot

1.1.1.6 Calculation results, scavo bonifico sup.+ piede scarpata [Phase_6] (6/75), Connectivity plot



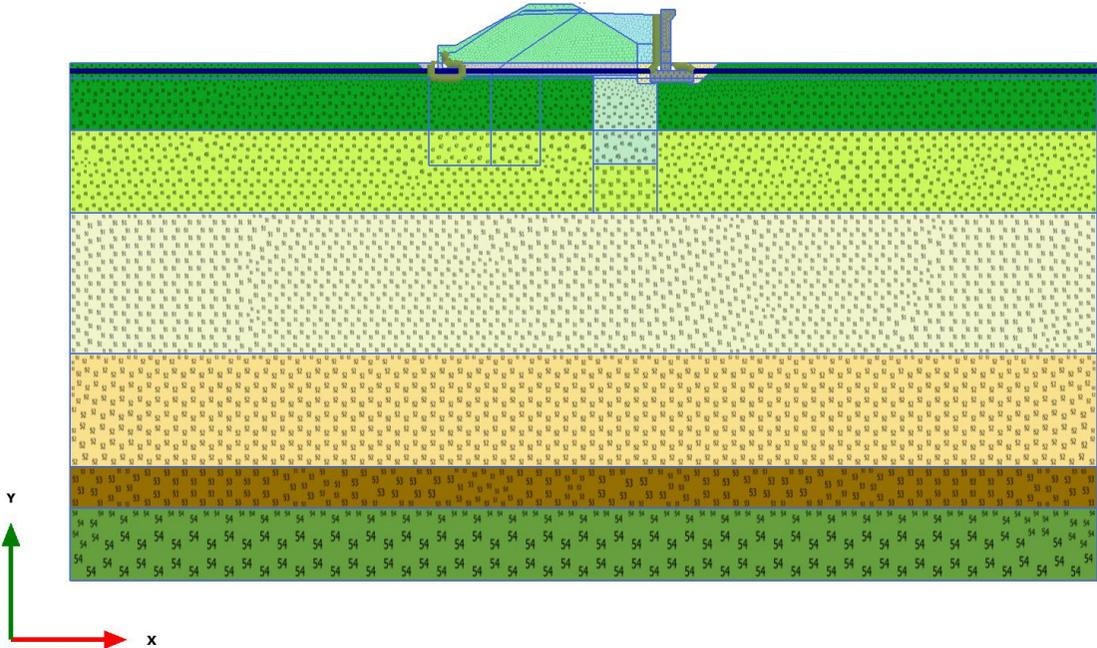
Connectivity plot

1.1.1.7 Calculation results, costruz. rilevato dx [Phase_7] (7/93), Connectivity plot



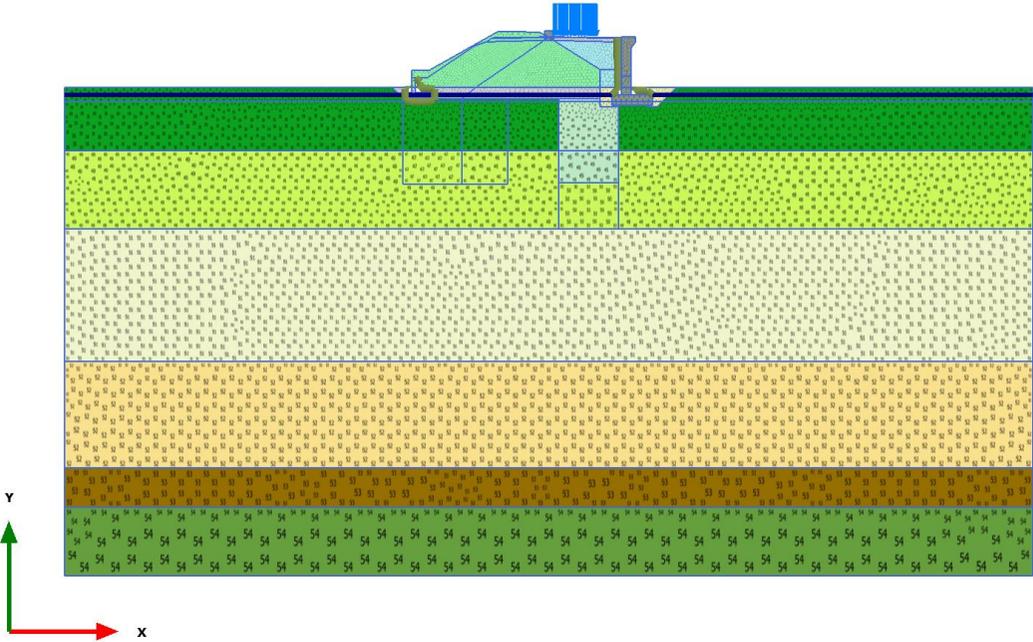
Connectivity plot

1.1.1.8 Calculation results, DM dx [Phase_19] (19/95), Connectivity plot



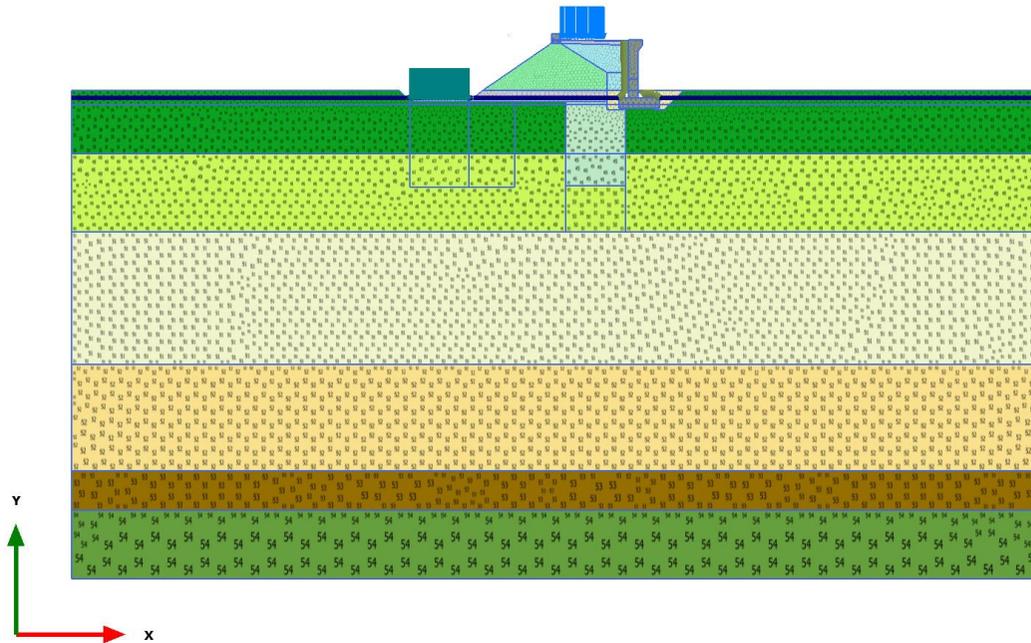
Connectivity plot

1.1.1.9 Calculation results, esercizio nuova linea [Phase_14] (14/98), Connectivity plot



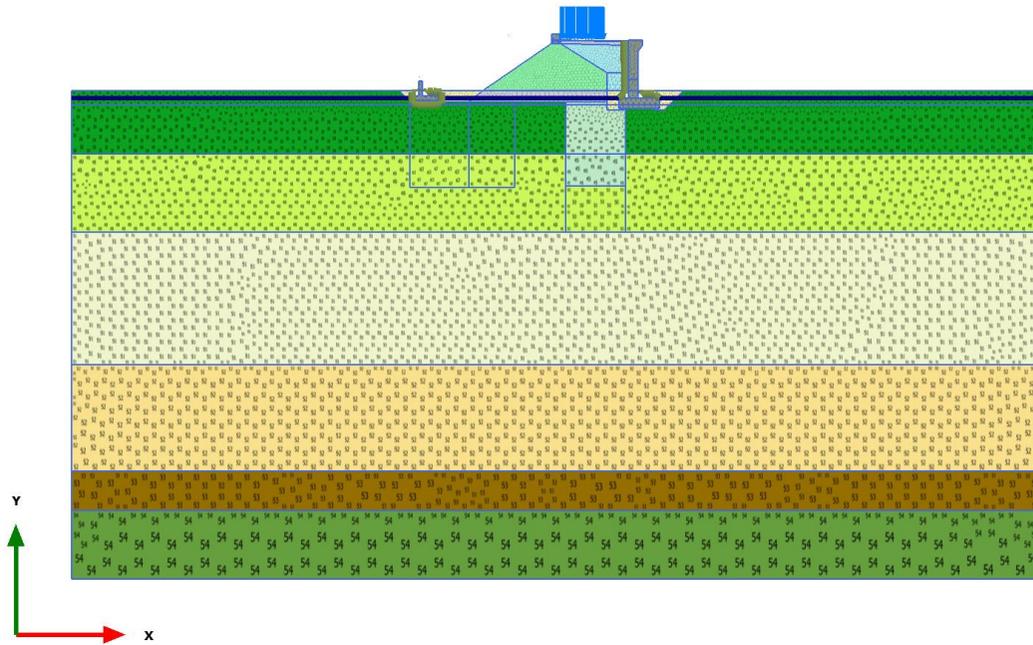
Connectivity plot

1.1.1.10 Calculation results, scavo rilevato sx [Phase_9] (9/108), Connectivity plot



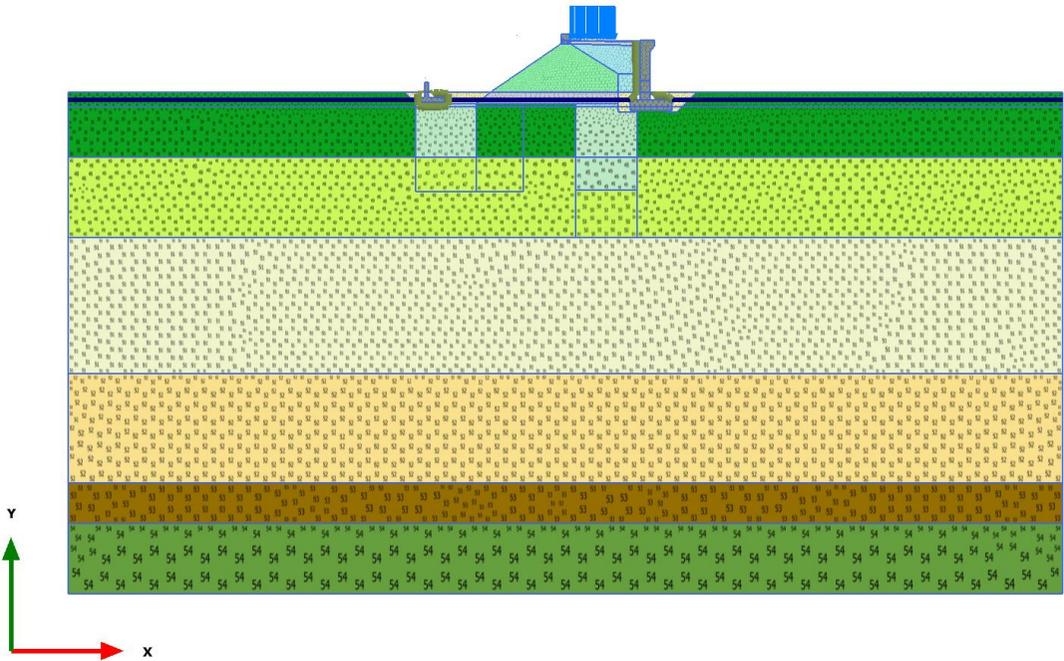
Connectivity plot

1.1.1.11 Calculation results, riempimento bonifico+ muro [Phase_10] (10/121), Connectivity plot



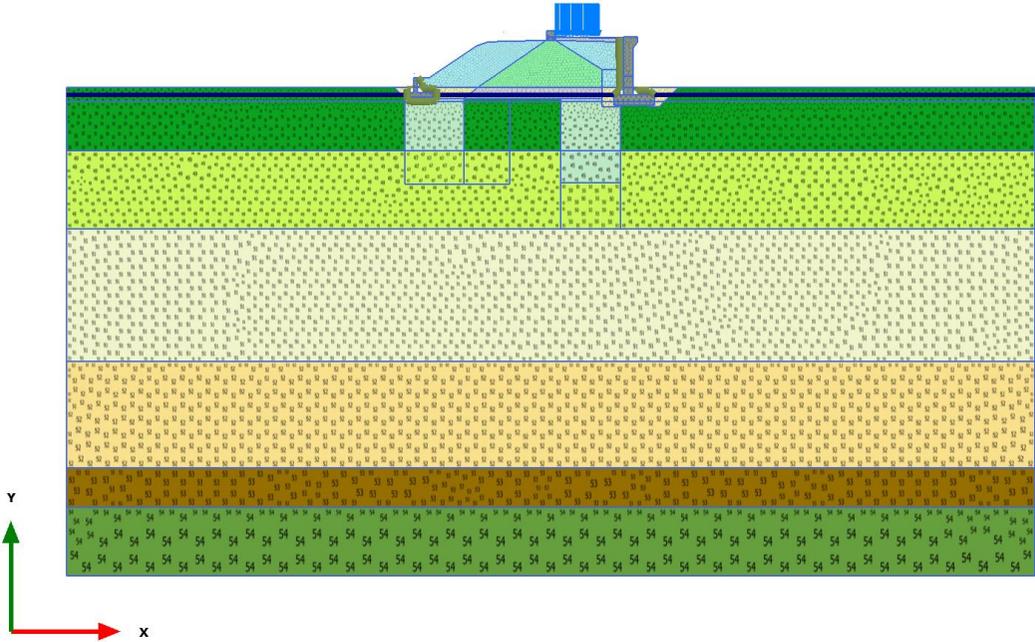
Connectivity plot

1.1.1.12 Calculation results, DM sx 1 [Phase_20] (20/123), Connectivity plot



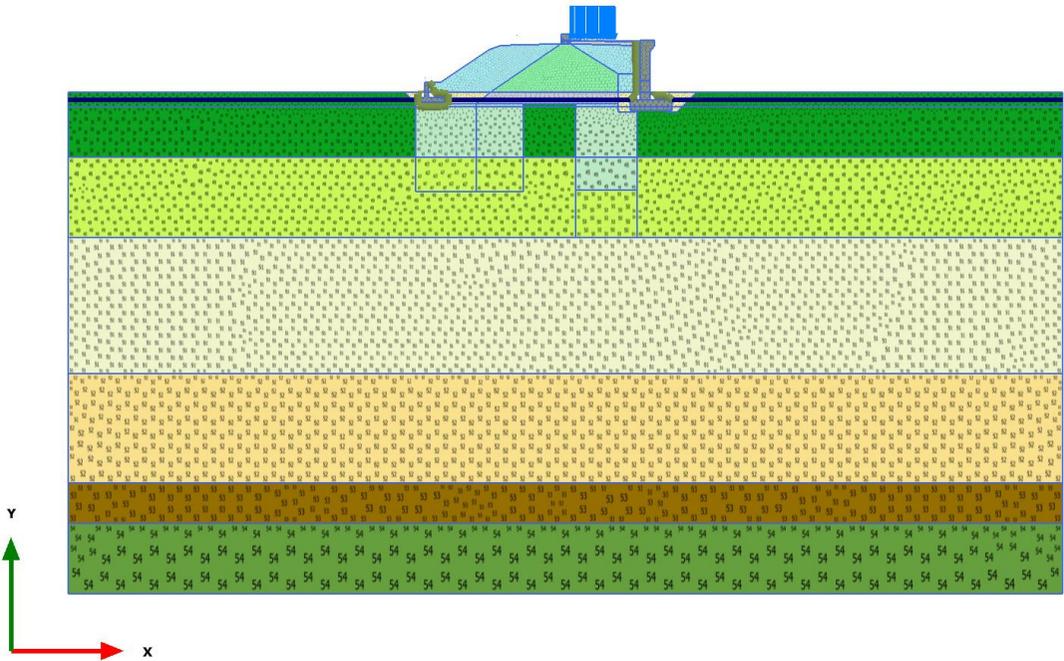
Connectivity plot

1.1.1.13 Calculation results, costruz. rilevato sx [Phase_11] (11/135), Connectivity plot



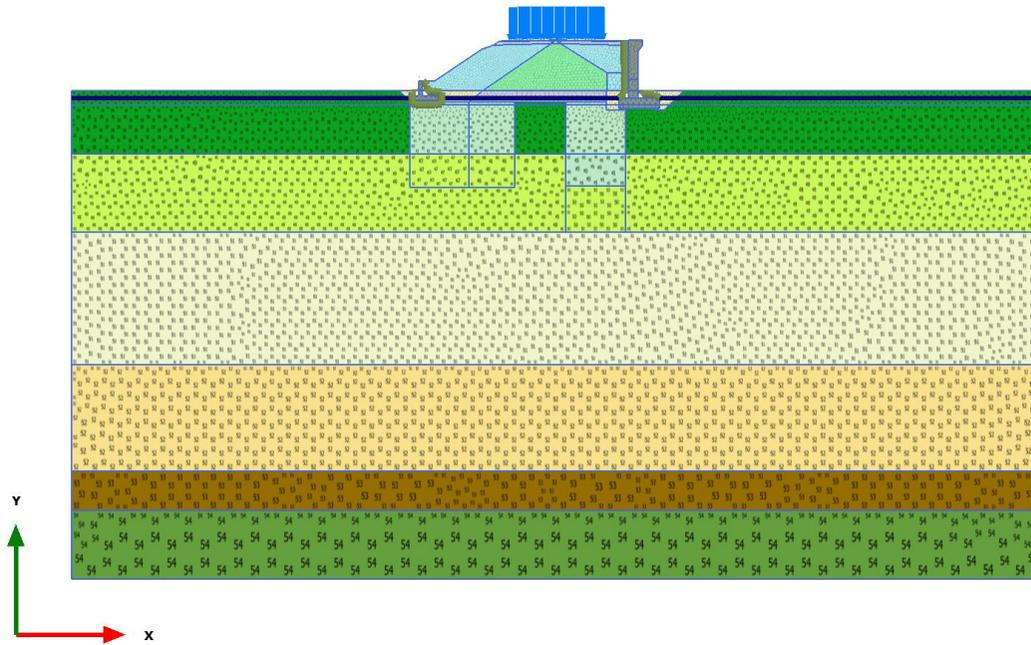
Connectivity plot

1.1.1.14 Calculation results, DM sx 2 [Phase_21] (21/137), Connectivity plot



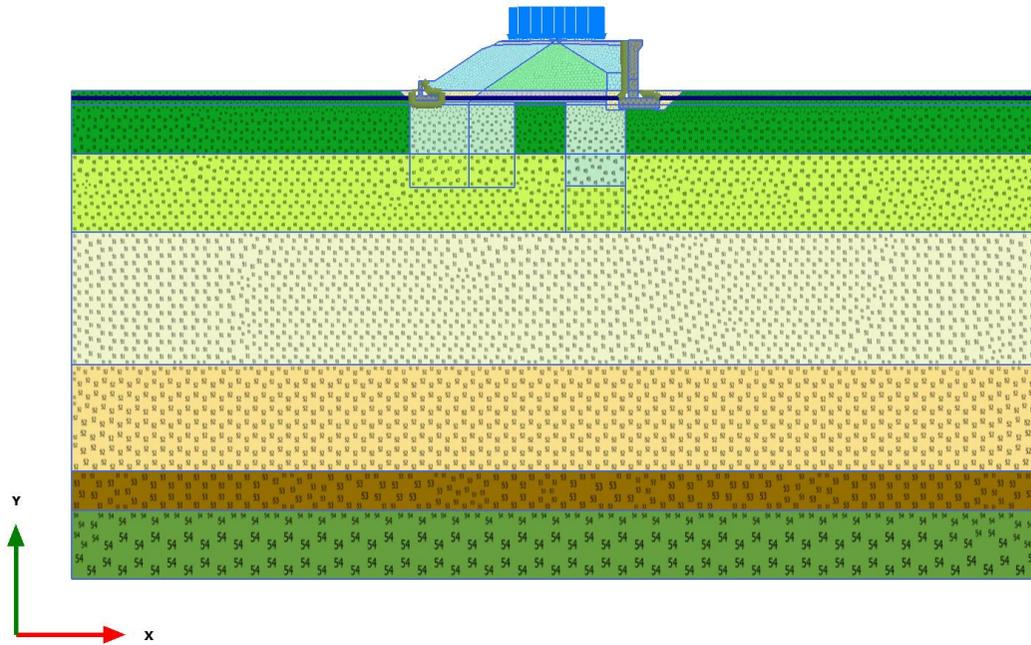
Connectivity plot

1.1.1.15 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/145), Connectivity plot



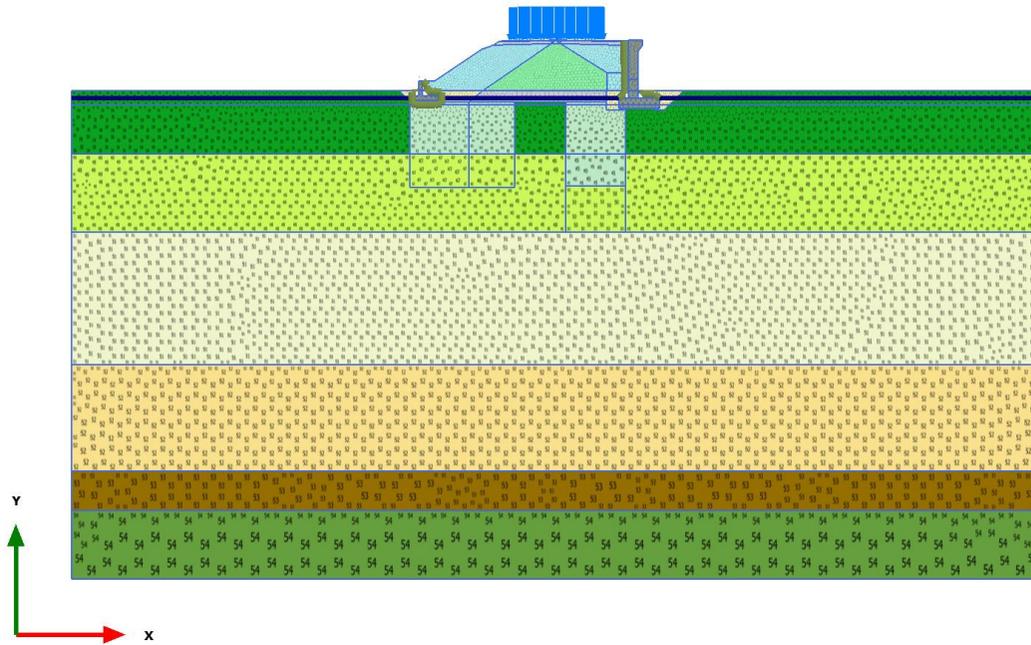
Connectivity plot

1.1.1.16 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (2 anni) [Phase_15] (15/153), Connectivity plot



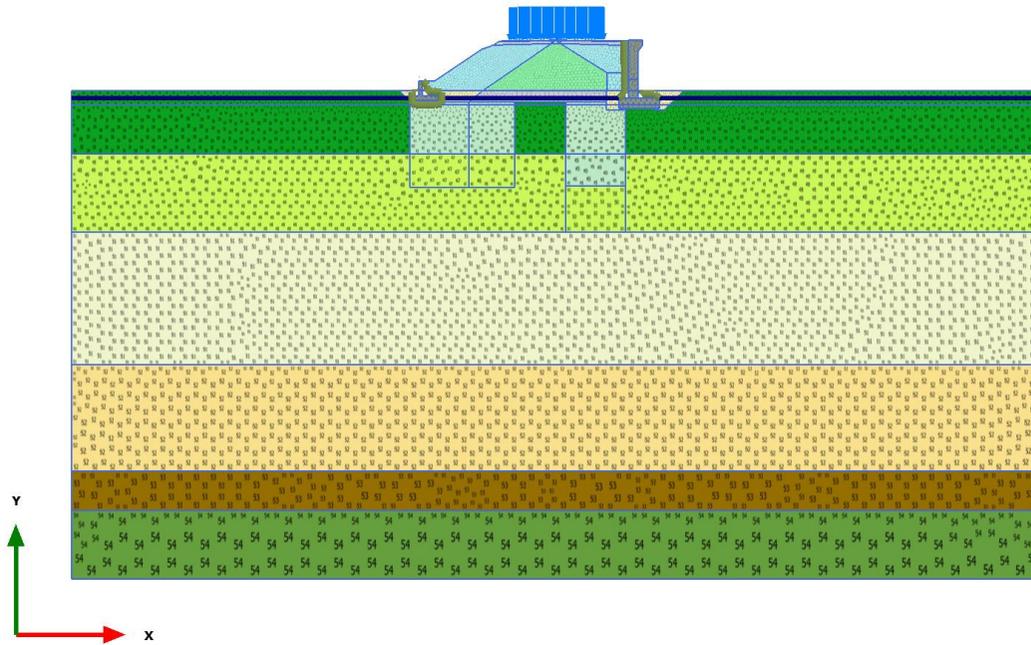
Connectivity plot

1.1.1.17 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (10 anni) [Phase_16] (16/167), Connectivity plot



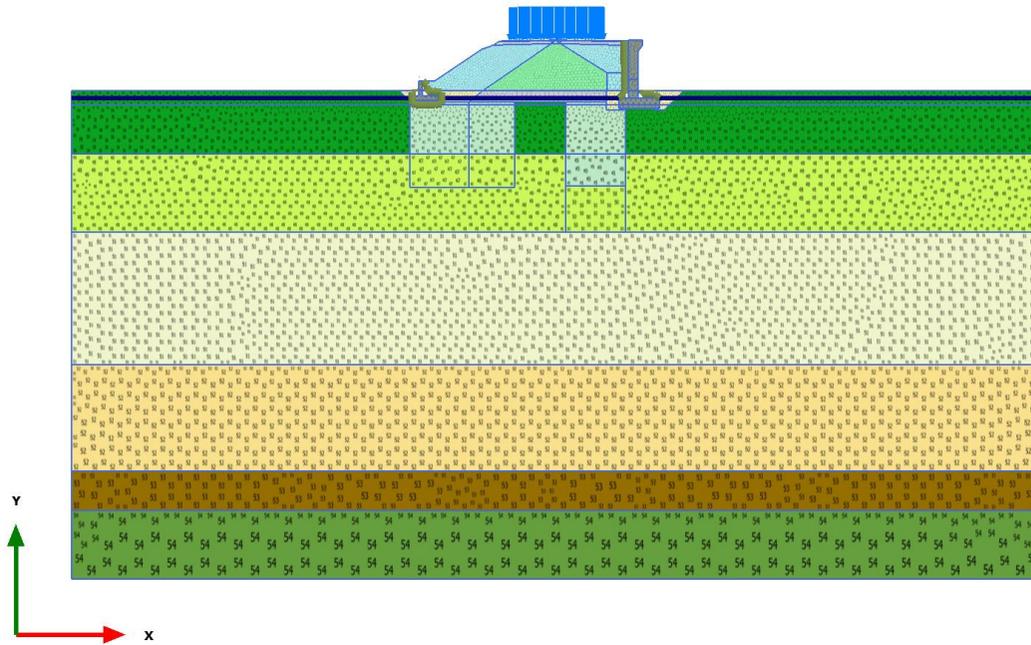
Connectivity plot

1.1.1.18 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (30 anni) [Phase_17] (17/180), Connectivity plot



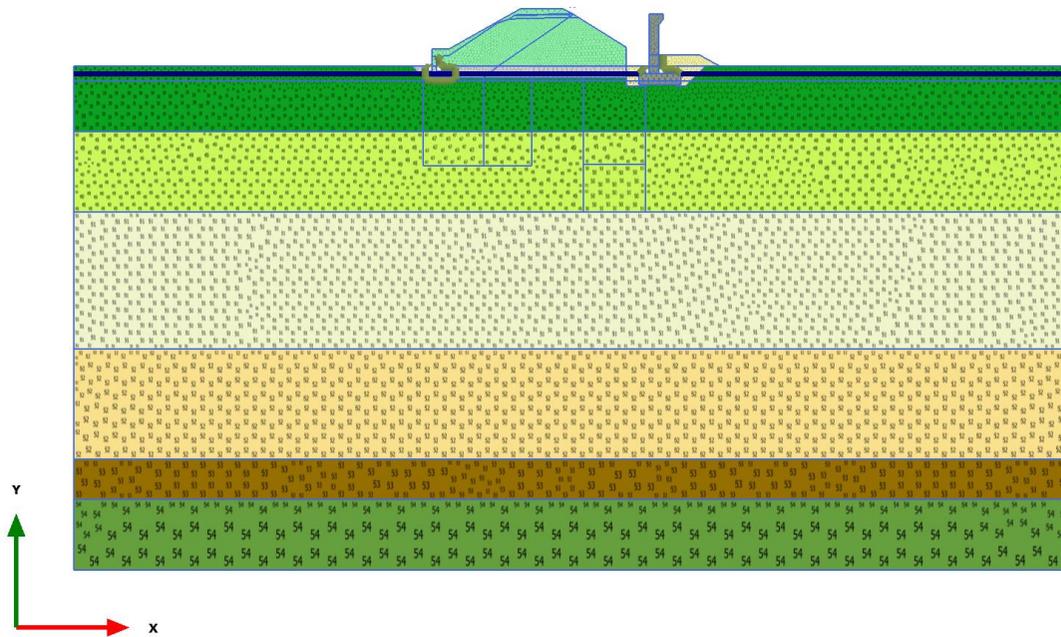
Connectivity plot

1.1.1.19 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/193), Connectivity plot



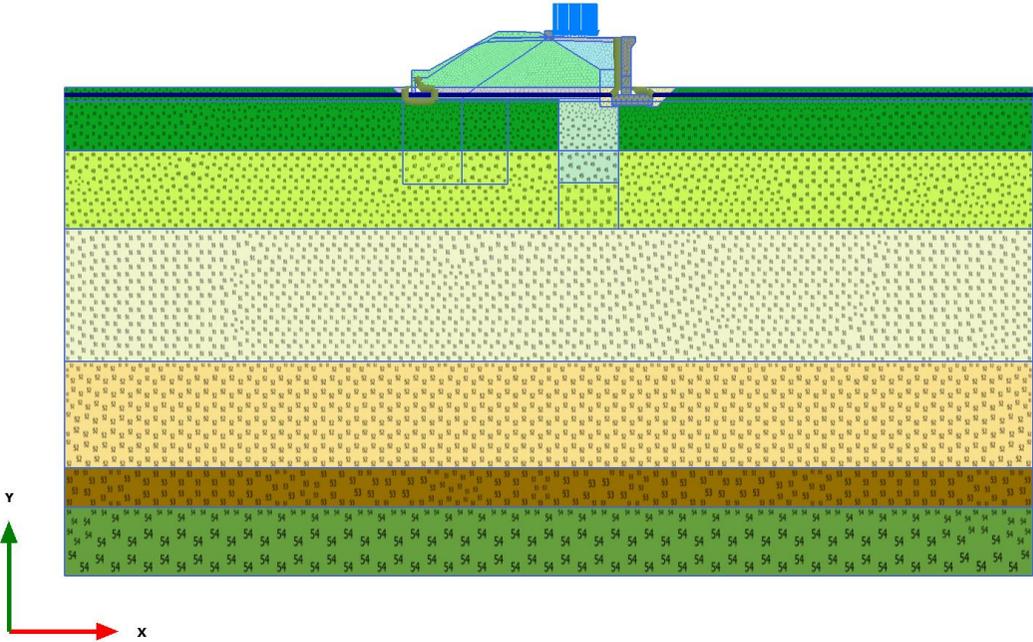
Connectivity plot

1.1.1.20 Calculation results, pali+ plinto+ muro+ riempimento bon. inf. [Phase_5] (5/212), Connectivity plot



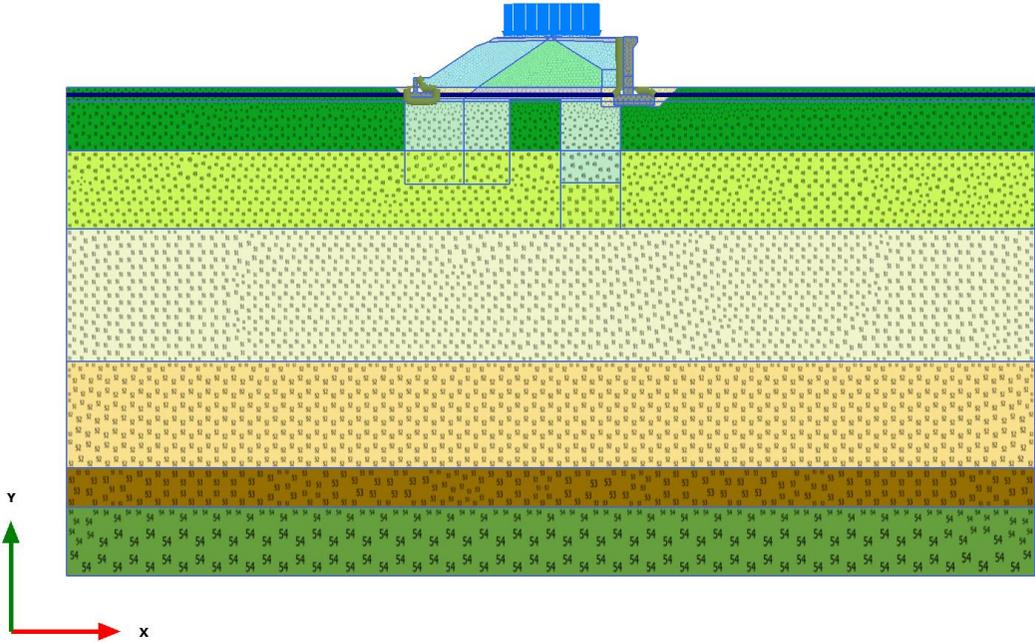
Connectivity plot

1.1.1.21 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/225), Connectivity plot



Connectivity plot

1.1.1.22 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/236), Connectivity plot



Connectivity plot

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 |

| 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} | | 0.6199 | 0.9338 | 0.6437 | 0.5809 | 1.164 |
| K _{0,z} | | 0.6199 | 0.9338 | 0.6437 | 0.5809 | 1.164 |
| OCR | | 1.200 | 1.600 | 1.100 | 1.050 | 2.200 |
| 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 |

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

| 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 | | | | | | |
| γ_{unsat} | kN/m ³ | 19.00 | 20.00 | 19.00 | 20.00 | 19.00 |
| γ_{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 |
| ν (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 |

| 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 |
| ν_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 |
| $\bar{\sigma}_{inter}$ | | 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 |

| 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 |

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

| Identification | | Riporto antropico esistente | Deep mixing |
|-----------------------|-------------------|---|---|
| Identification number | | 14 | 15 |
| Drainage type | | Drained | Drained |
| Colour | |  |  |
| Comments | | | |
| γ_{unsat} | kN/m ³ | 19.00 | 18.00 |
| γ_{sat} | kN/m ³ | 19.00 | 18.00 |
| Dilatancy cut-off | | No | No |
| e_{init} | | 0.5000 | 0.8000 |
| 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 | 31.00E3 |
| ν (nu) | | 0.3000 | 0.2500 |
| G | kN/m ² | 5769 | 12.40E3 |
| E_{oed} | kN/m ² | 20.19E3 | 37.20E3 |

| Identification | | Riporto antropico esistente | Deep mixing |
|-----------------------|----------------------|-----------------------------|-------------|
| C_{ref} | kN/m ² | 0.000 | 125.0 |
| ϕ (phi) | ° | 34.00 | 22.00 |
| ψ (psi) | ° | 0.000 | 0.000 |
| V_s | m/s | 54.58 | 82.21 |
| V_p | m/s | 102.1 | 142.4 |
| 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 | 0.9833 |
| v_u | | 0.4950 | 0.4950 |
| $K_{w,ref} / n$ | kN/m ² | 562.5E3 | 1.215E6 |
| Strength | | Manual | Manual |
| R_{inter} | | 0.6600 | 0.6600 |
| Consider gap closure | | Yes | Yes |

| Identification | | Riporto antropico esistente | Deep mixing |
|-------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|--------------------|
| 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 | 0.8403 |
| K _{0,z} | | 0.4408 | 0.8403 |
| OCR | | 1.000 | 2.200 |
| POP | kN/m ² | 0.000 | 0.000 |
| Data set | | Standard | Standard |
| Type | | Coarse | Coarse |
| < 2 μm | % | 10.00 | 10.00 |
| 2 μm - 50 μm | % | 13.00 | 13.00 |
| 50 μm - 2 mm | % | 77.00 | 77.00 |
| Use defaults | | None | None |
| k _x | m/day | 0.8640 | 0.08640E-3 |
| k _y | m/day | 0.8640 | 8.640E-6 |
| -Ψ _{unsat} | m | 10.00E3 | 10.00E3 |
| e _{init} | | 0.5000 | 0.8000 |

| Identification | | Riporto antropico esistente | Deep mixing |
|-----------------------|-----|------------------------------------|--------------------|
| S _s | 1/m | 0.000 | 0.000 |
| C _k | | 1000E12 | 1000E12 |

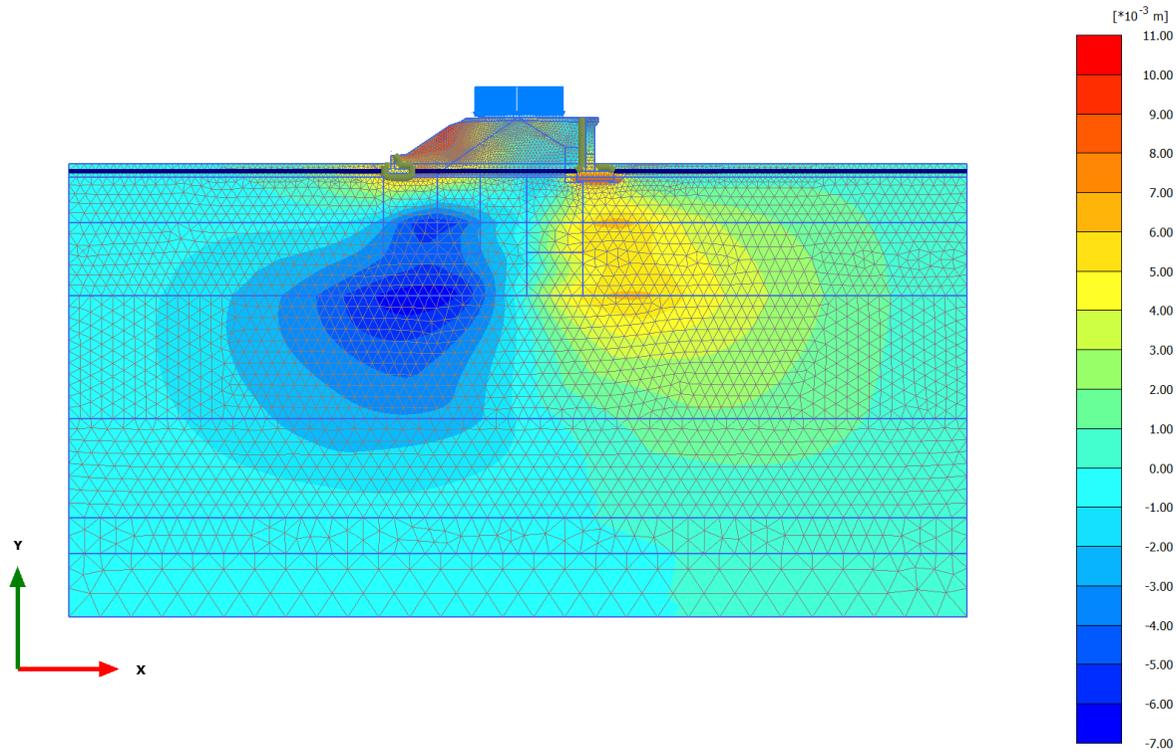
1.1.2.1.3 Materials - Soil and interfaces - Linear elastic

| Identification | | cls | Rilevato esistente | pali |
|-----------------------|-------------------|---|---|---|
| Identification number | | 9 | 10 | 13 |
| Drainage type | | Non-porous | Drained | Non-porous |
| Colour | |  |  |  |
| Comments | | | | |
| γ_{unsat} | kN/m ³ | 1.000 | 19.00 | 25.00 |
| γ_{sat} | kN/m ³ | 1.000 | 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 | 10.56E3 | 77.18 | 935.7 |

| Identification | | cls | Rilevato esistente | pali |
|---------------------------|-----------------------|-------------|--------------------|-------------|
| V_p | m/s | 15.84E3 | 144.4 | 1404 |
| Set to default values | | Yes | Yes | Yes |
| E_{inc} | kN/m ² /m | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| γ_{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 |
| $\bar{\sigma}_{inter}$ | | 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, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/145),
Total displacements u_x**

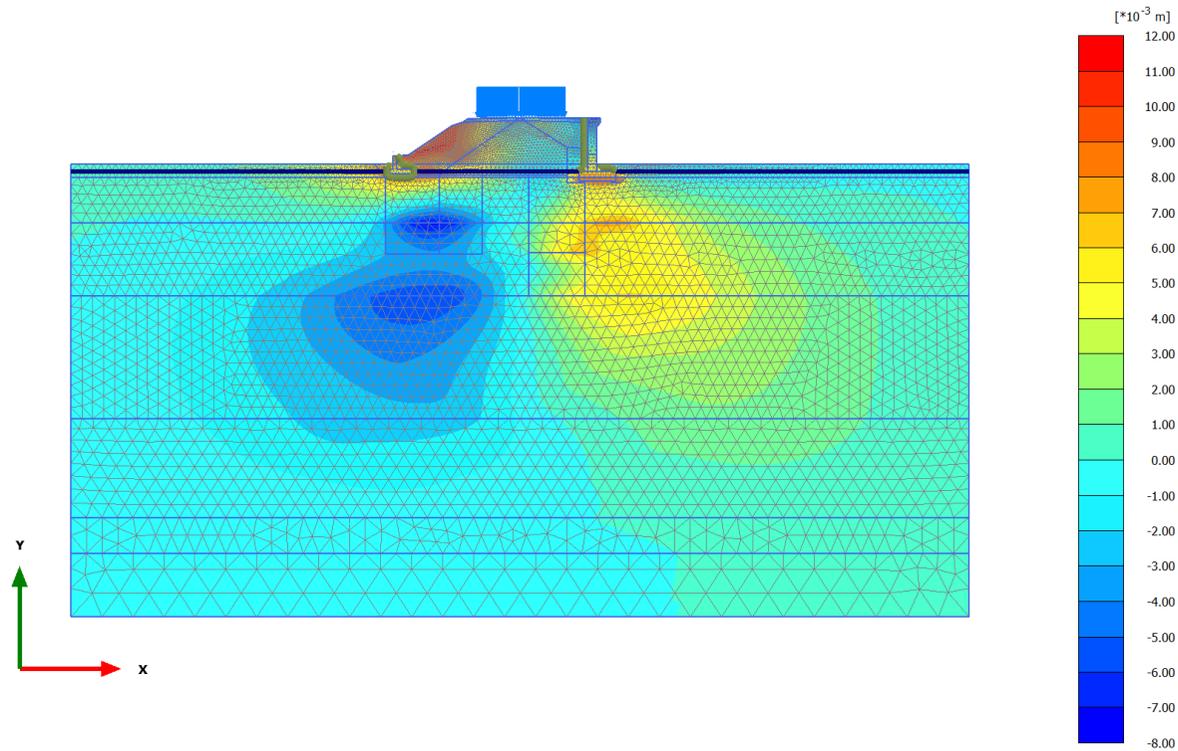


Total displacements u_x (scaled up 200 times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.01086 m (Element 770 at Node 3407)

Minimum value = $-6.753 \cdot 10^{-3}$ m (Element 6266 at Node 10507)

2.1.1.1.2 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/193), Total displacements u_x

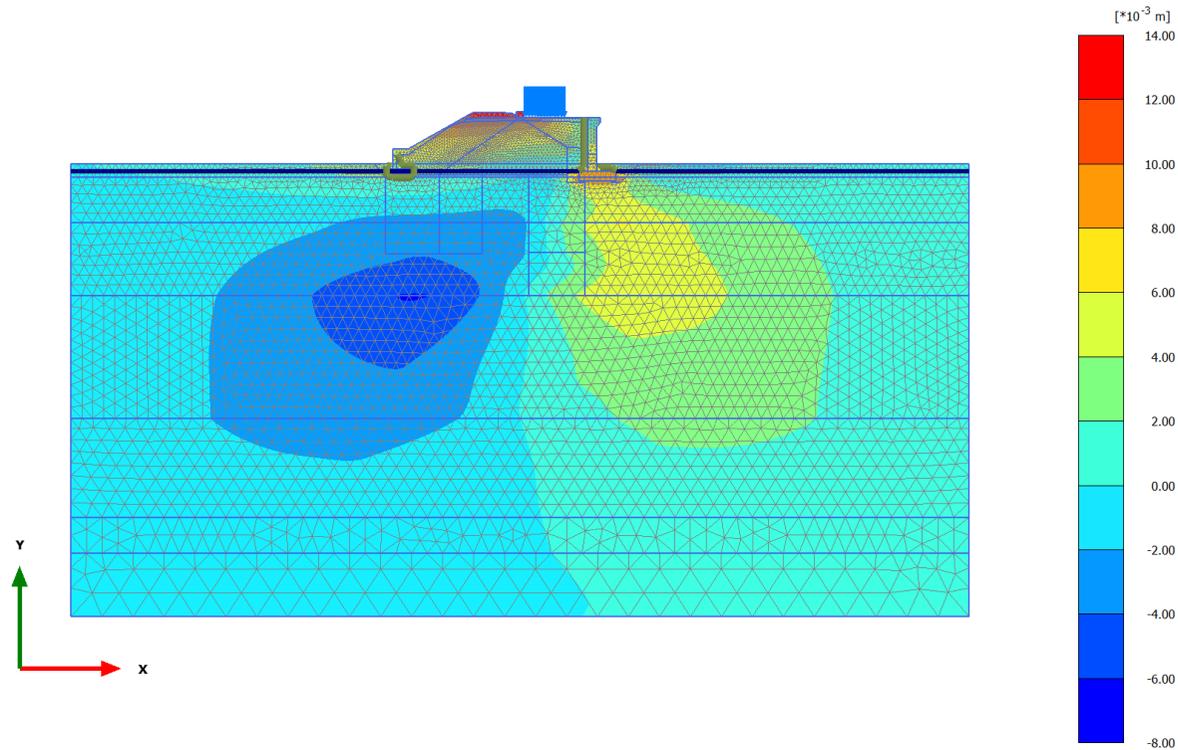


Total displacements u_x (scaled up 200 times) (Time 47.08*10³ day)

Maximum value = 0.01148 m (Element 878 at Node 5372)

Minimum value = -7.262*10⁻³ m (Element 4917 at Node 11783)

2.1.1.1.3 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/225), Total displacements u_x

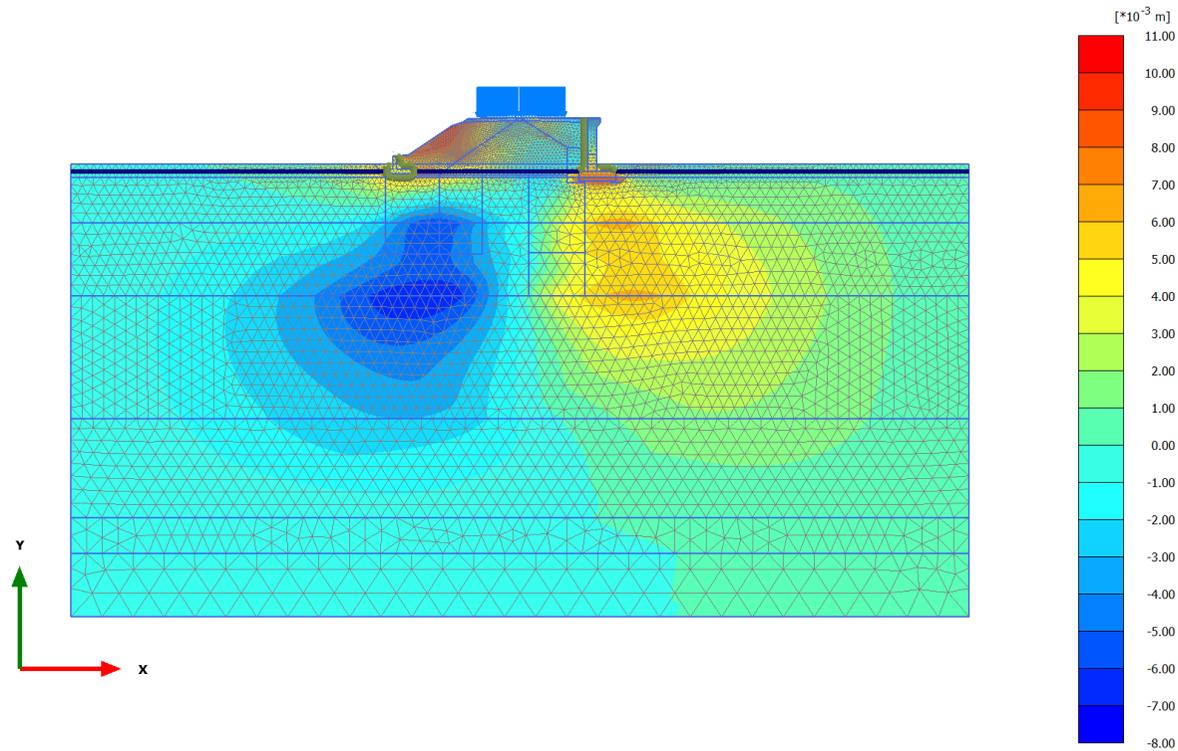


Total displacements u_x (scaled up 200 times) (Time 19.34×10^3 day)

Maximum value = 0.01384 m (Element 4 at Node 3684)

Minimum value = -6.130×10^{-3} m (Element 6266 at Node 10170)

2.1.1.1.4 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/236), Total displacements u_x

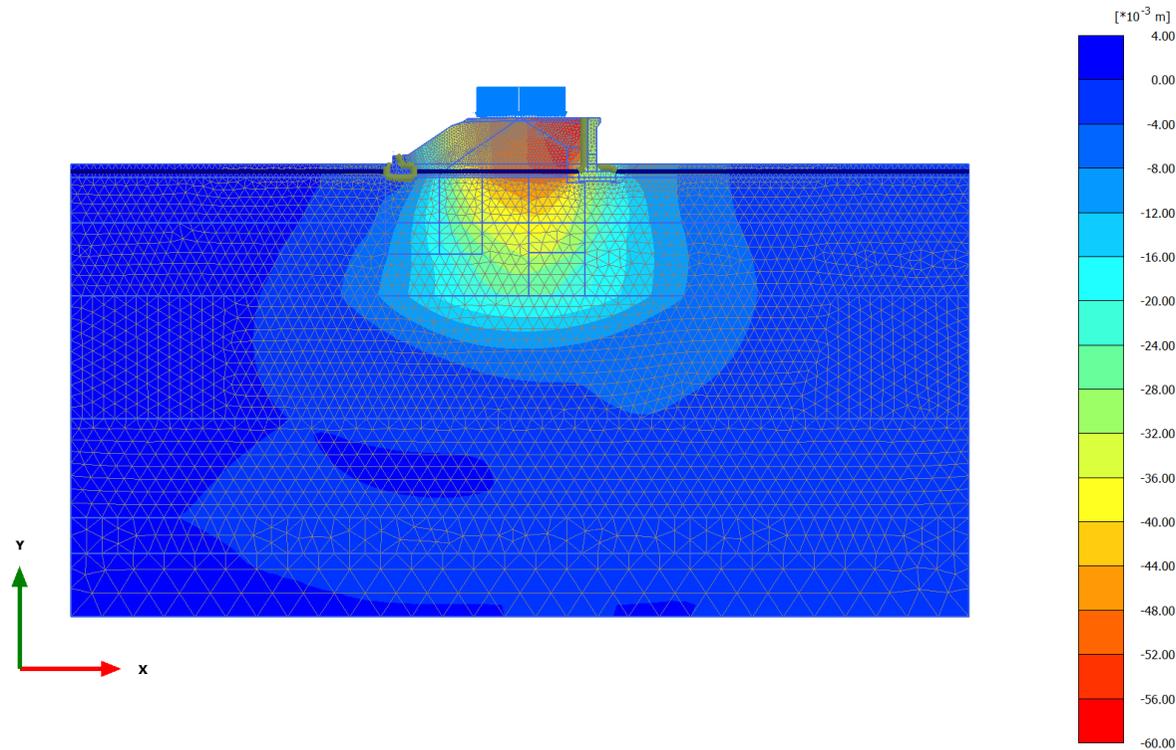


Total displacements u_x (scaled up 200 times) (Time 19.71*10³ day)

Maximum value = 0.01058 m (Element 770 at Node 3407)

Minimum value = -7.062*10⁻³ m (Element 6266 at Node 10507)

2.1.1.2.1 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/145), Total displacements u_y

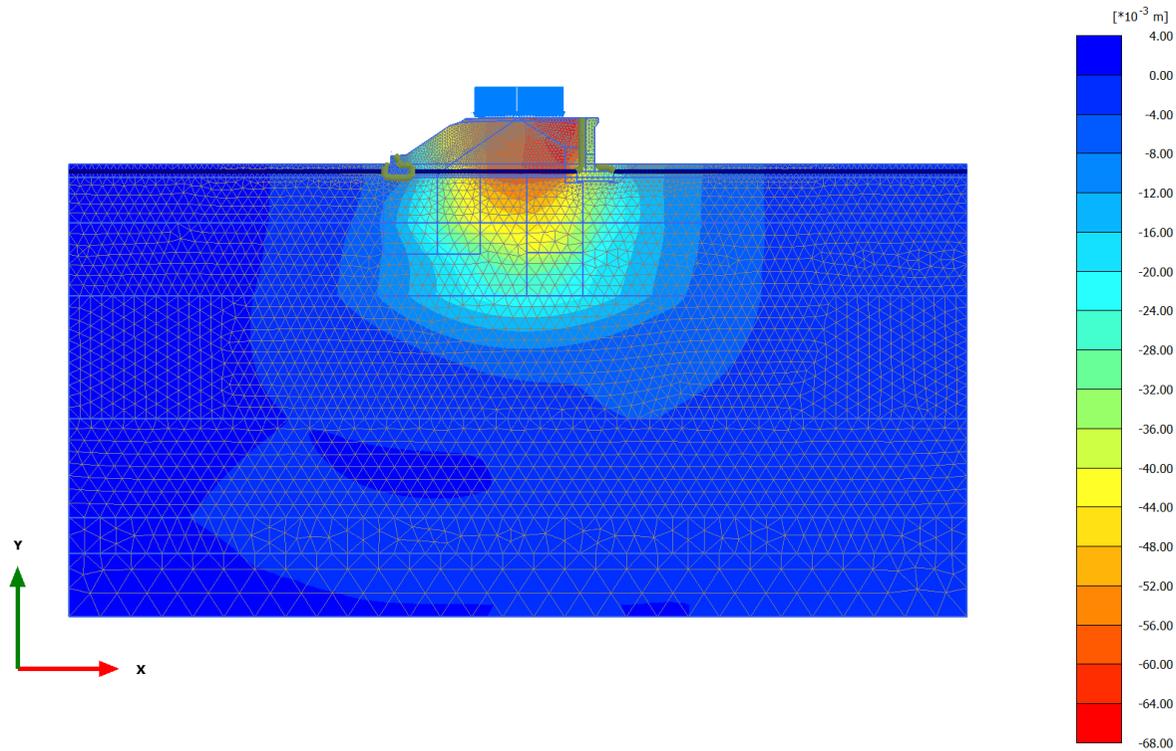


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $1.525 \cdot 10^{-3}$ m (Element 3516 at Node 99)

Minimum value = -0.05974 m (Element 441 at Node 7736)

2.1.1.2.2 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/193), Total displacements u_y

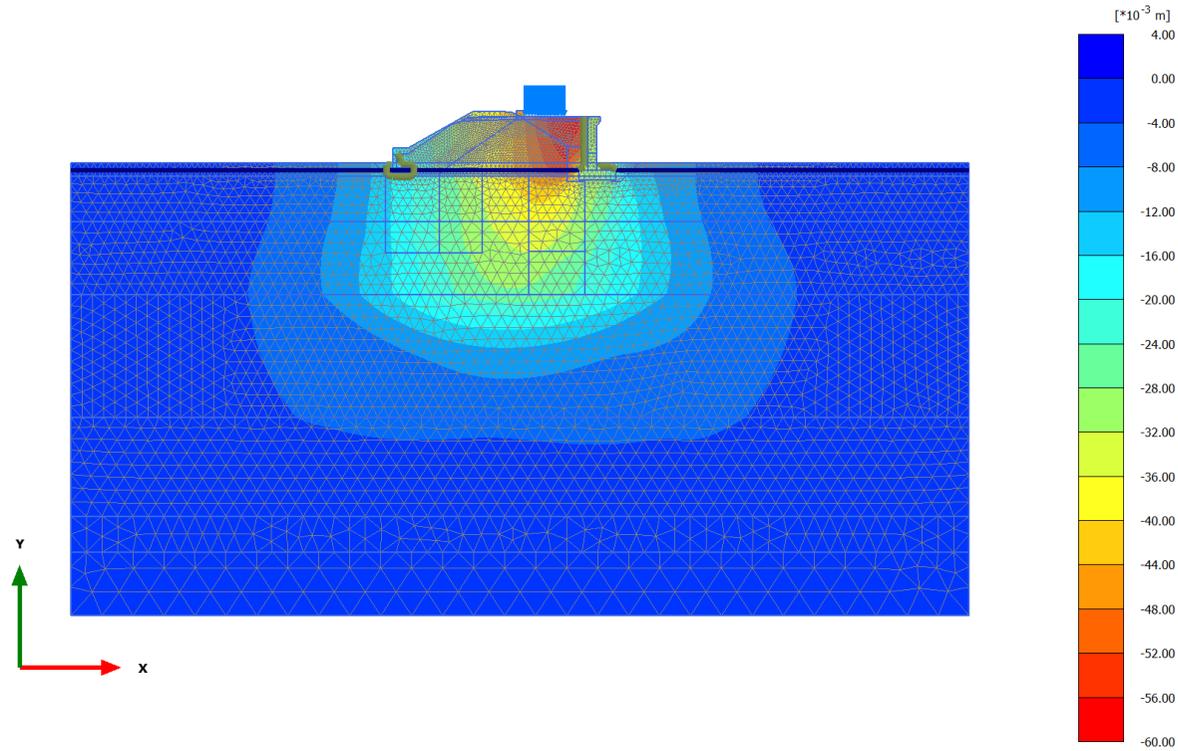


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time 47.08*10³ day)

Maximum value = 1.443*10⁻³ m (Element 3512 at Node 68)

Minimum value = -0.06689 m (Element 452 at Node 7163)

2.1.1.2.3 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/225), Total displacements u_y

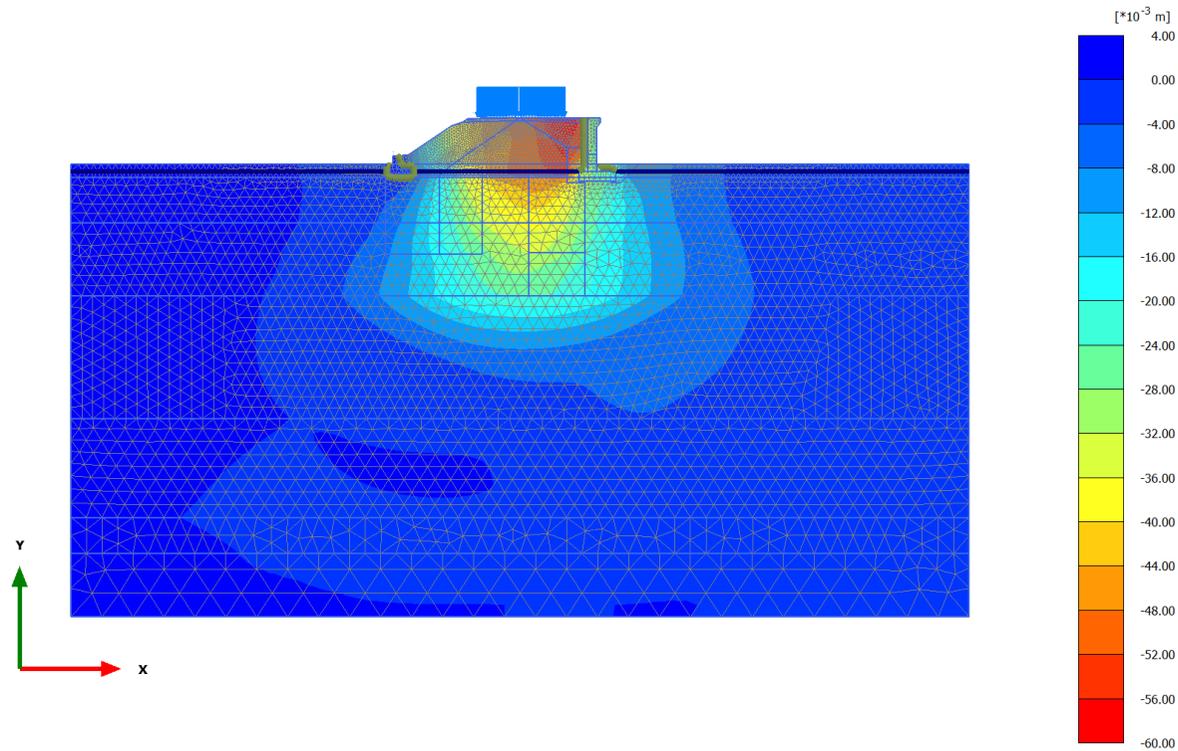


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time 19.34×10^3 day)

Maximum value = 0.000 m (Element 9647 at Node 8057)

Minimum value = -0.05808 m (Element 449 at Node 8217)

2.1.1.2.4 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/236), Total displacements u_y

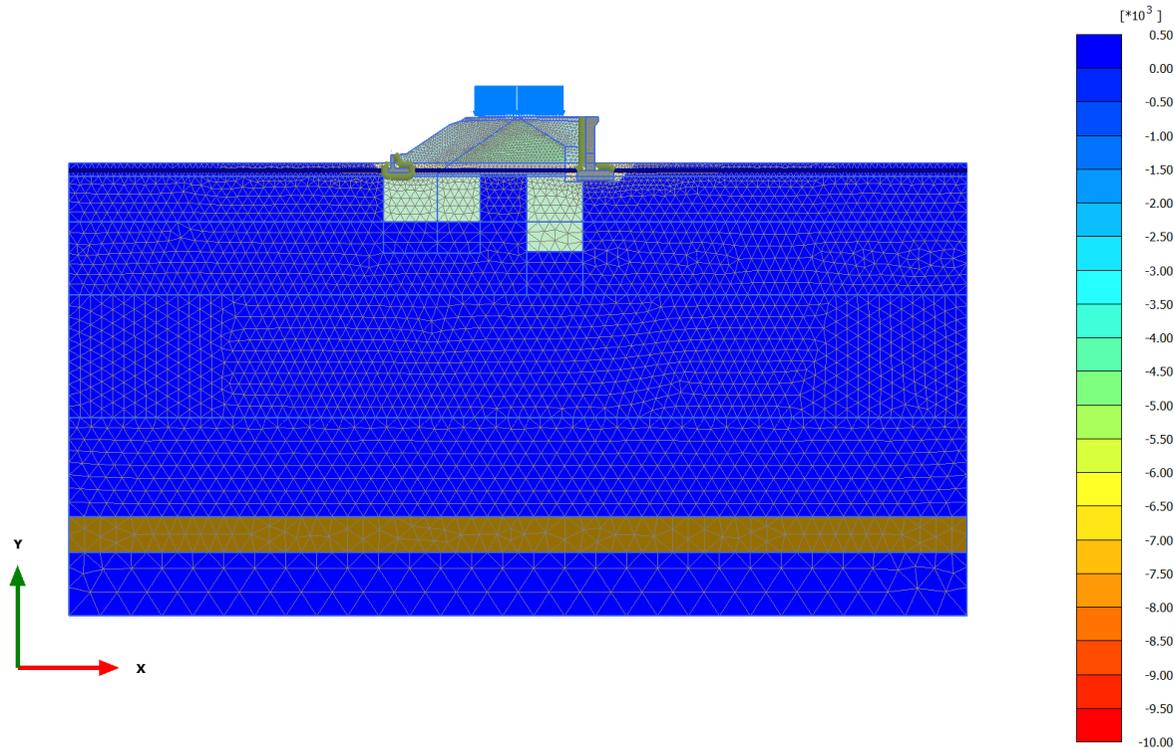


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time 19.71×10^3 day)

Maximum value = 1.842×10^{-3} m (Element 3059 at Node 7664)

Minimum value = -0.05802 m (Element 441 at Node 7736)

2.2.1.1.1 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/145), Isotropic overconsolidation ratio

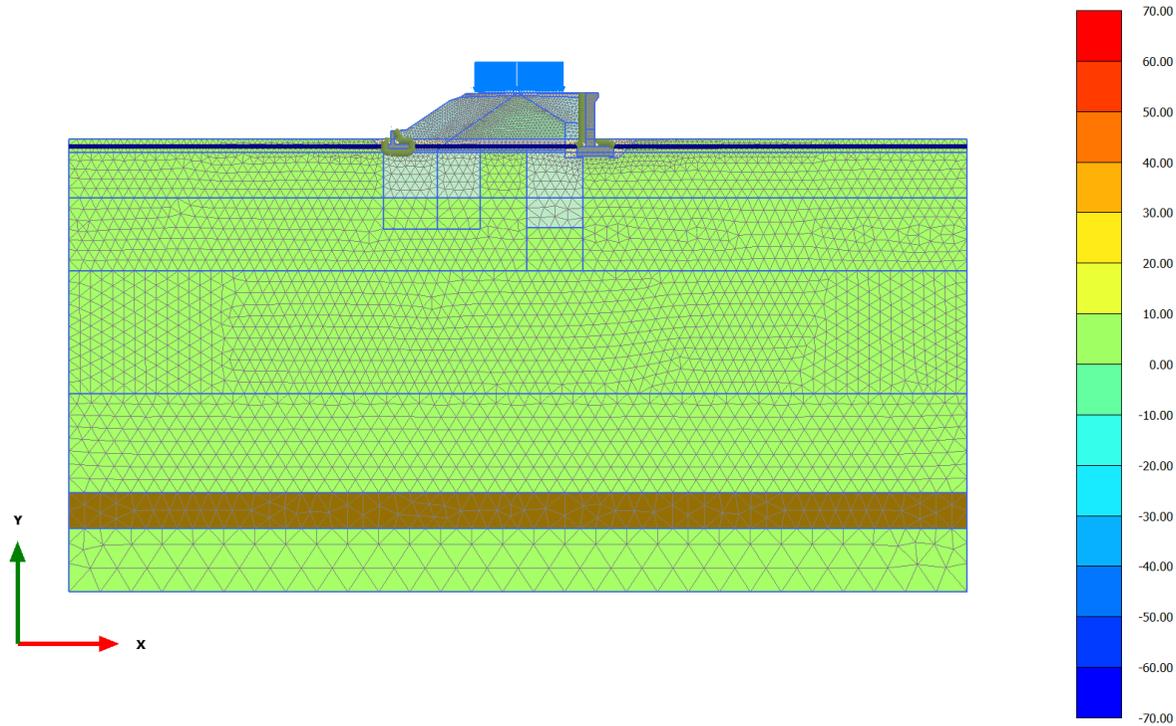


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up $0.500 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

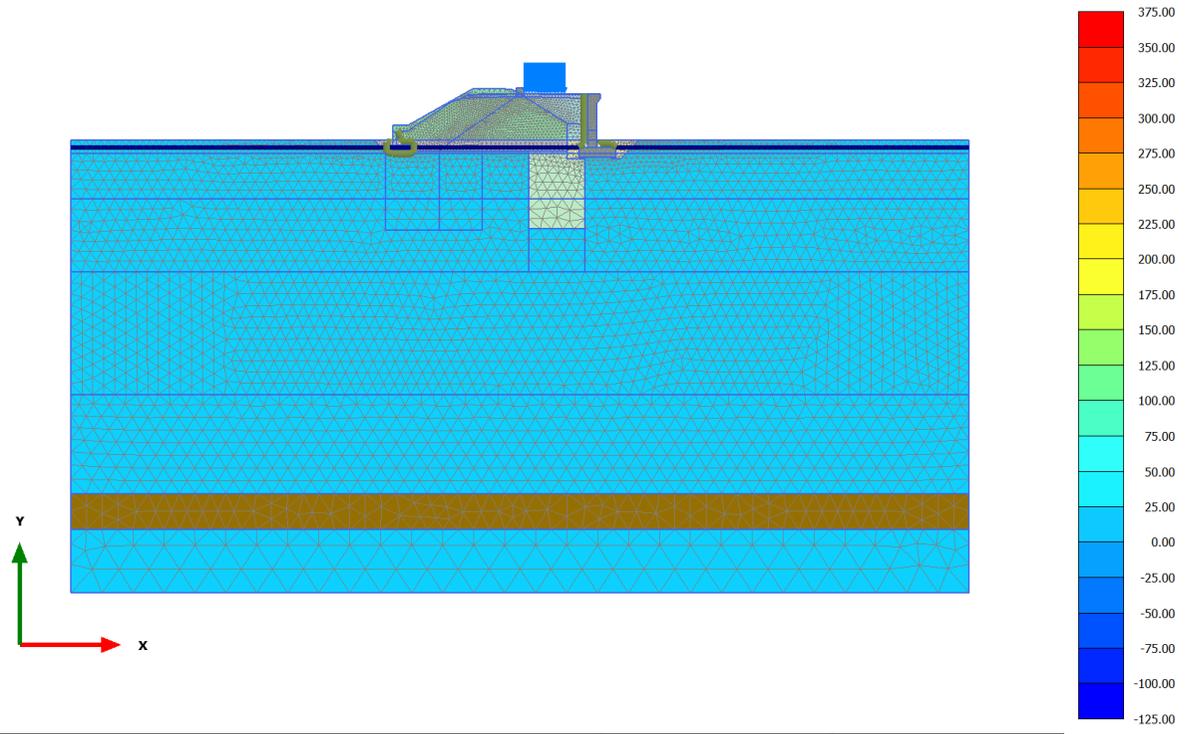
Maximum value = 139.7 (Element 4102 at Node 17455)

Minimum value = -9675 (Element 4103 at Node 17050)

2.2.1.1.2 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/193), Isotropic overconsolidation ratio

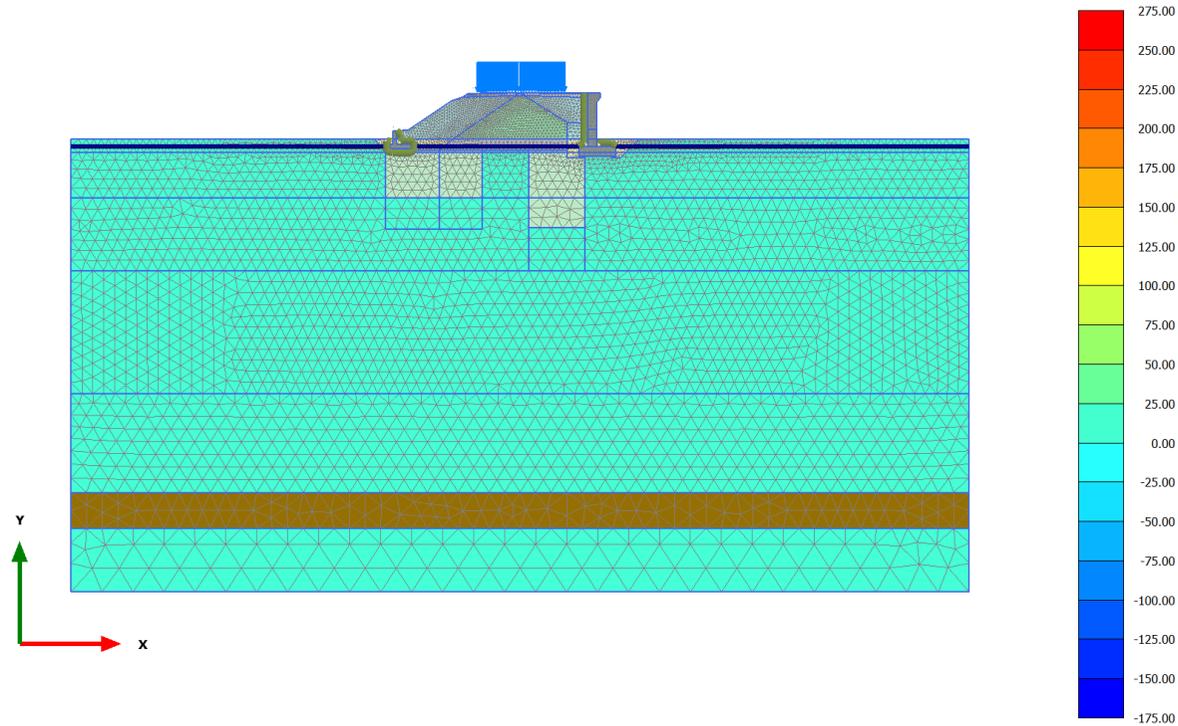


2.2.1.1.3 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/225), Isotropic overconsolidation ratio



Isotropic overconsolidation ratio (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)
Maximum value = 356.2 (Element 4102 at Node 17455)
Minimum value = -105.7 (Element 4116 at Node 17261)

2.2.1.1.4 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/236), Isotropic overconsolidation ratio

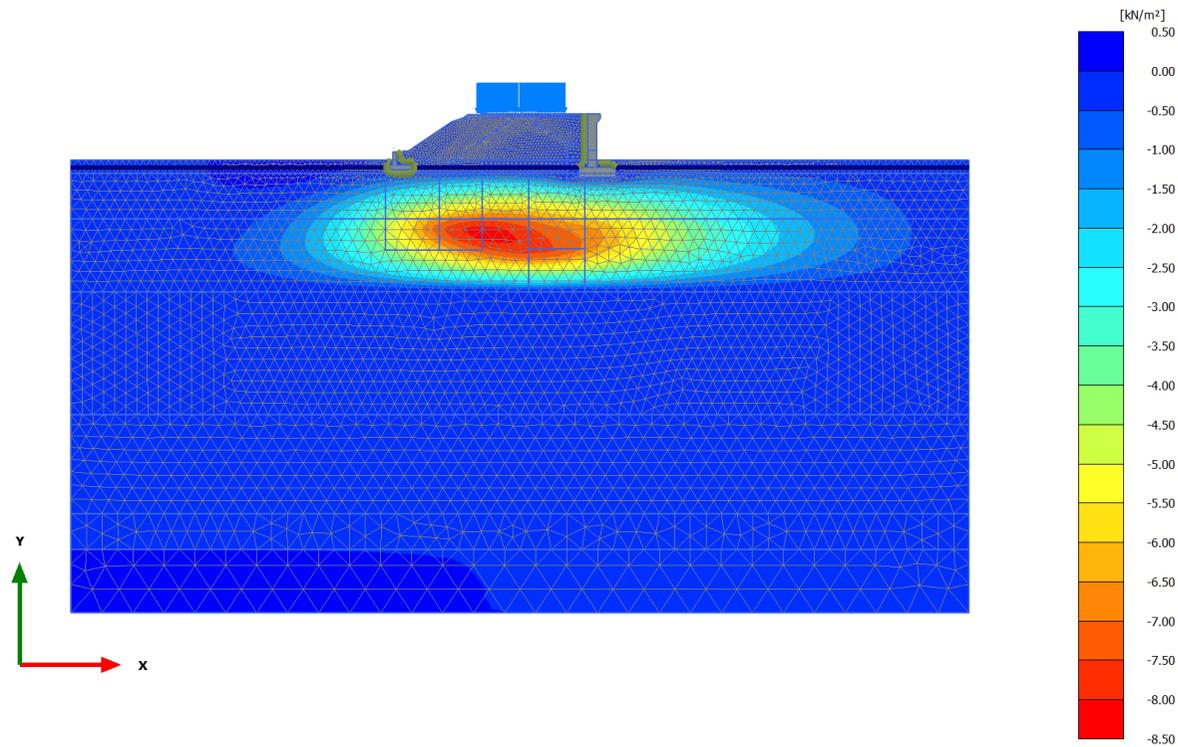


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 255.6 (Element 3642 at Node 1127)

Minimum value = -171.4 (Element 4138 at Node 17039)

2.2.2.1.1 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/145), Excess pore pressures p_{excess}

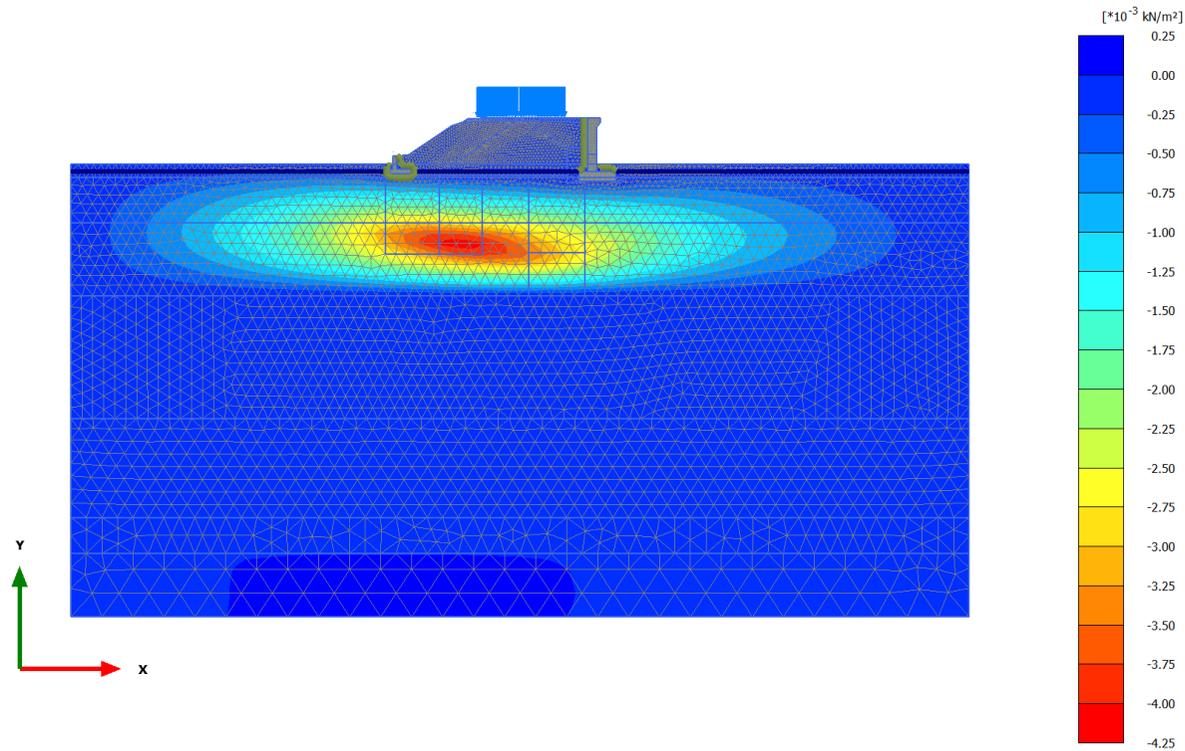


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 0.500 times) (Pressure = negative) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.1437 kN/m² (Element 3602 at Node 1971)

Minimum value = -8.248 kN/m² (Element 5707 at Node 12996)

2.2.2.1.2 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/193), Excess pore pressures p_{excess}

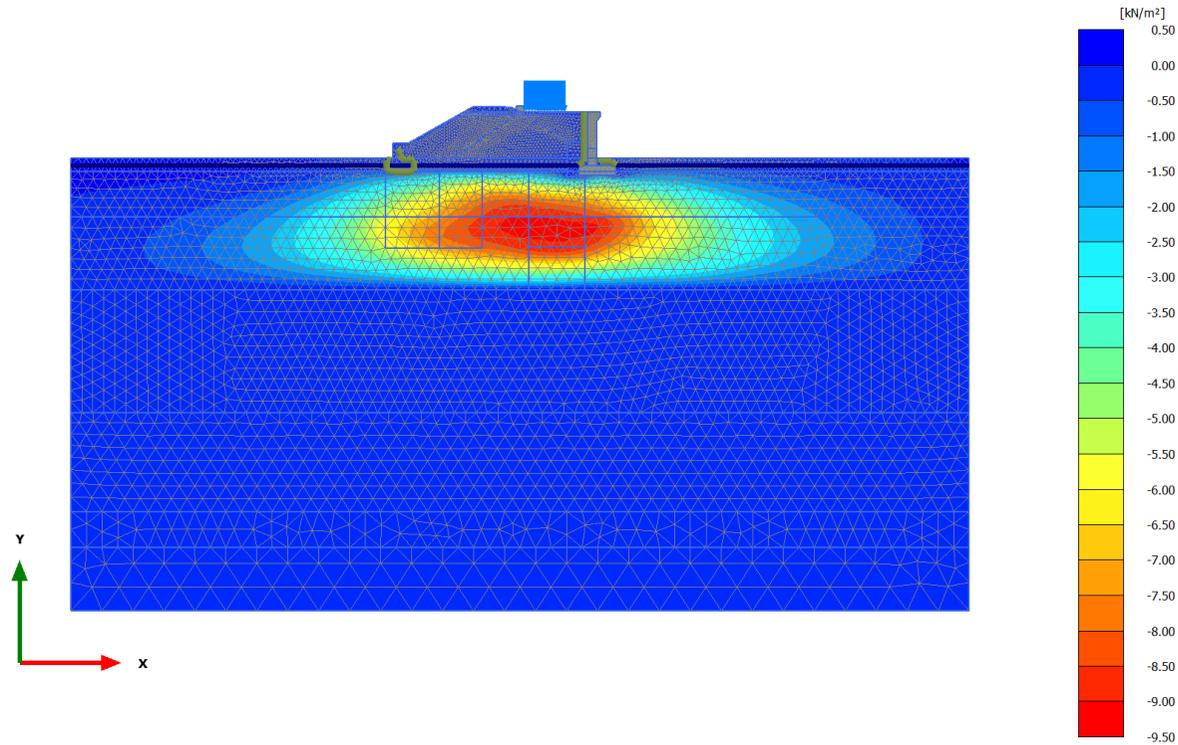


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 500 times) (Pressure = negative) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $8.701 \cdot 10^{-6}$ kN/m² (Element 56 at Node 10112)

Minimum value = $-4.154 \cdot 10^{-3}$ kN/m² (Element 5706 at Node 12437)

2.2.2.1.3 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/225), Excess pore pressures p_{excess}

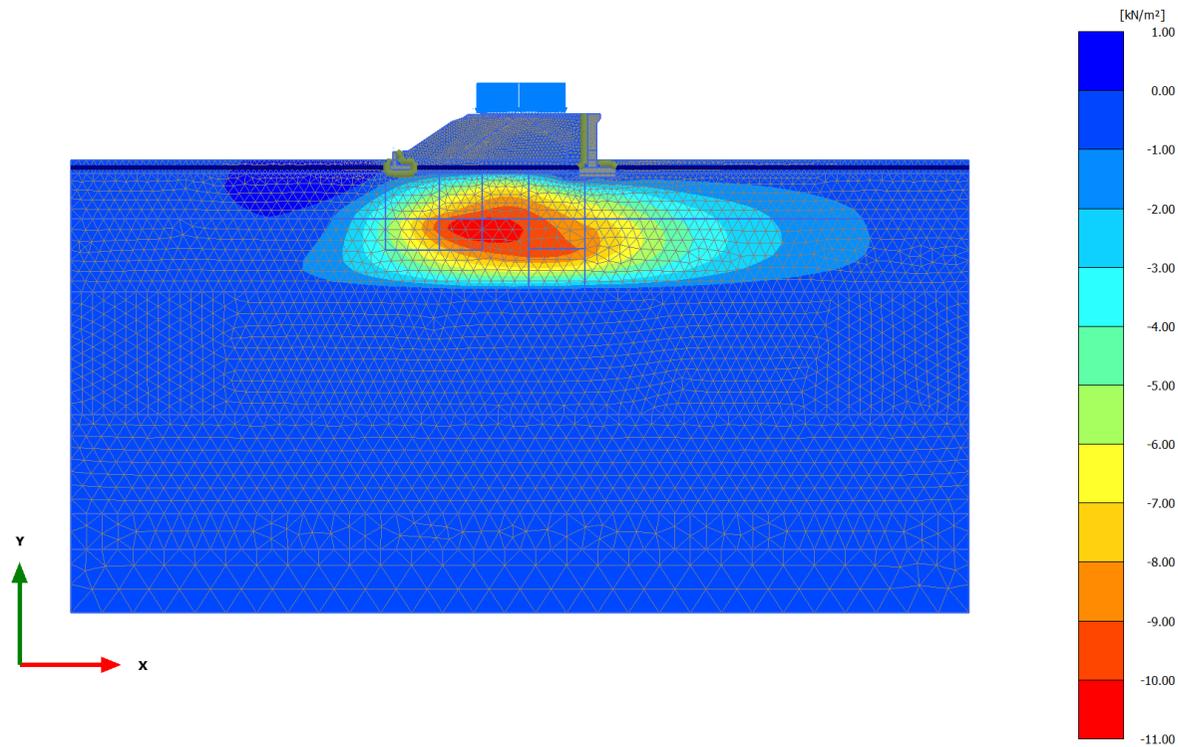


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 0.500 times) (Pressure = negative) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.08764 kN/m^2 (Element 5559 at Node 15074)

Minimum value = -9.233 kN/m^2 (Element 6152 at Node 14940)

2.2.2.1.4 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/236), Excess pore pressures p_{excess}

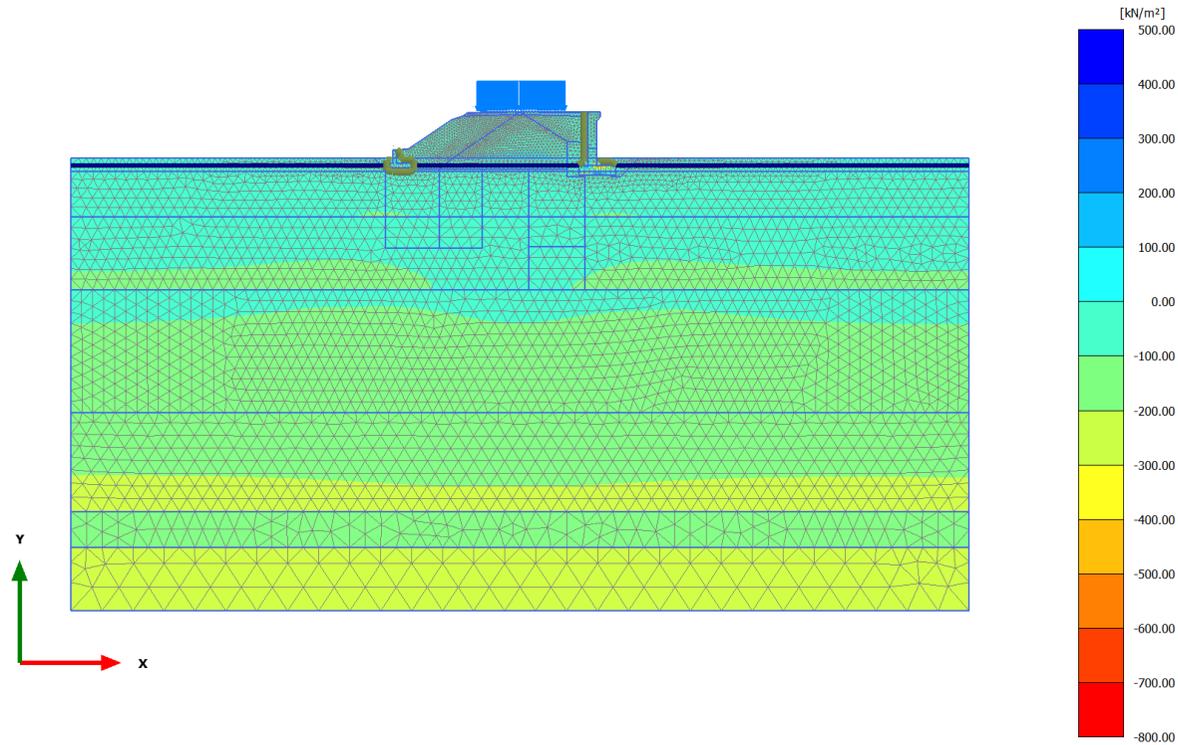


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 0.200 times) (Pressure = negative) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.8133 kN/m^2 (Element 4664 at Node 6383)

Minimum value = -10.96 kN/m^2 (Element 5707 at Node 12996)

2.2.3.1.1 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/145), Cartesian effective stress σ'_{xx}

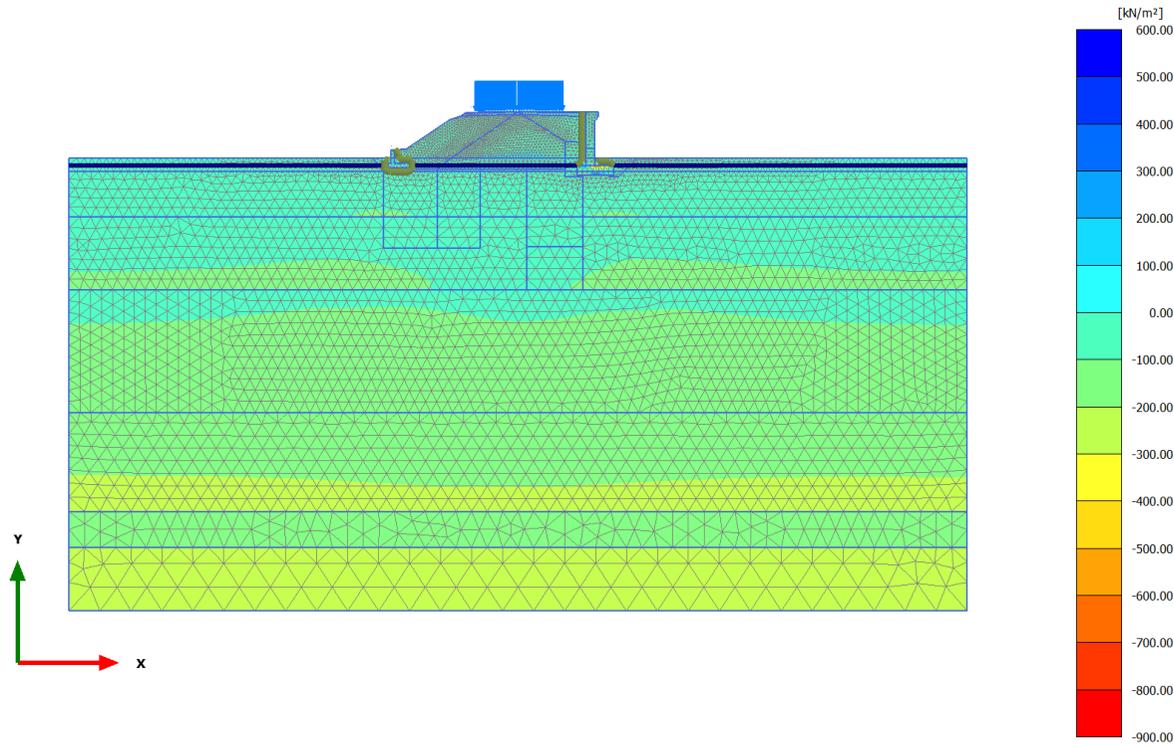


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up 2.00×10^{-3} times) (Time 20.08×10^3 day)

Maximum value = 456.8 kN/m^2 (Element 3476 at Node 6567)

Minimum value = -745.4 kN/m^2 (Element 4238 at Node 14261)

2.2.3.1.2 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/193), Cartesian effective stress σ'_{xx}

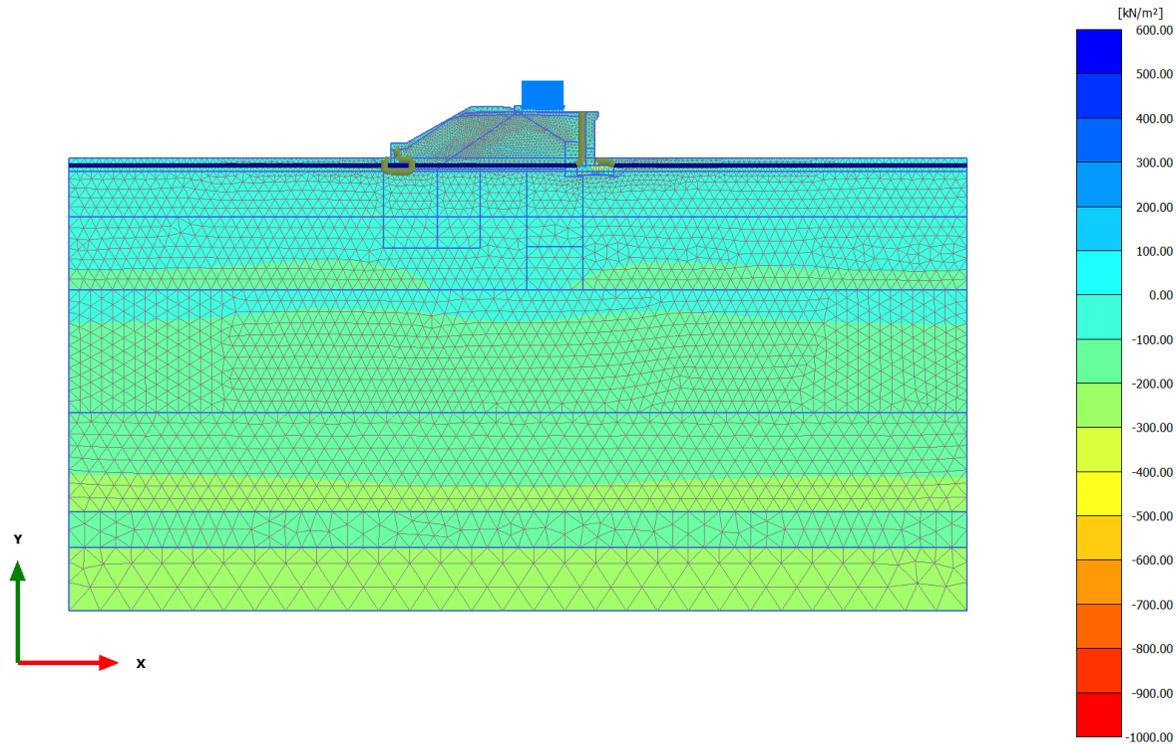


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 524.5 kN/m² (Element 3476 at Node 6567)

Minimum value = -864.8 kN/m² (Element 4238 at Node 14261)

2.2.3.1.3 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/225), Cartesian effective stress σ'_{xx}

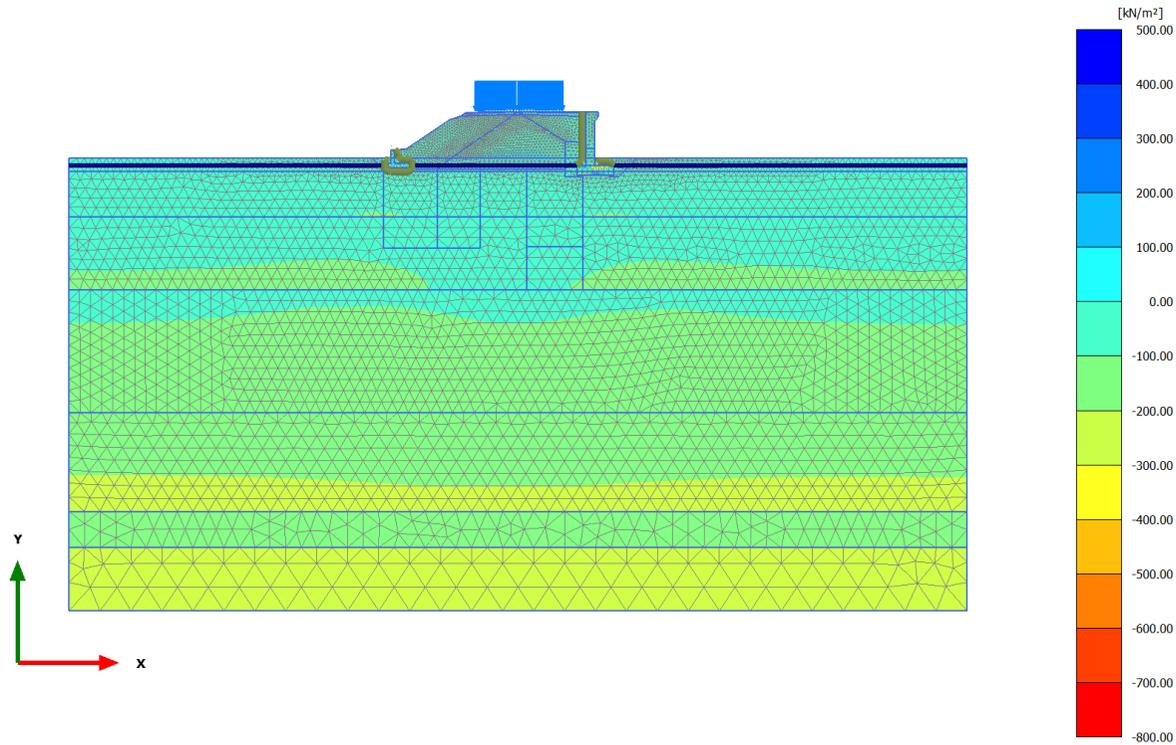


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 555.8 kN/m² (Element 4352 at Node 14704)

Minimum value = -910.9 kN/m² (Element 4238 at Node 14261)

2.2.3.1.4 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/236), Cartesian effective stress σ'_{xx}

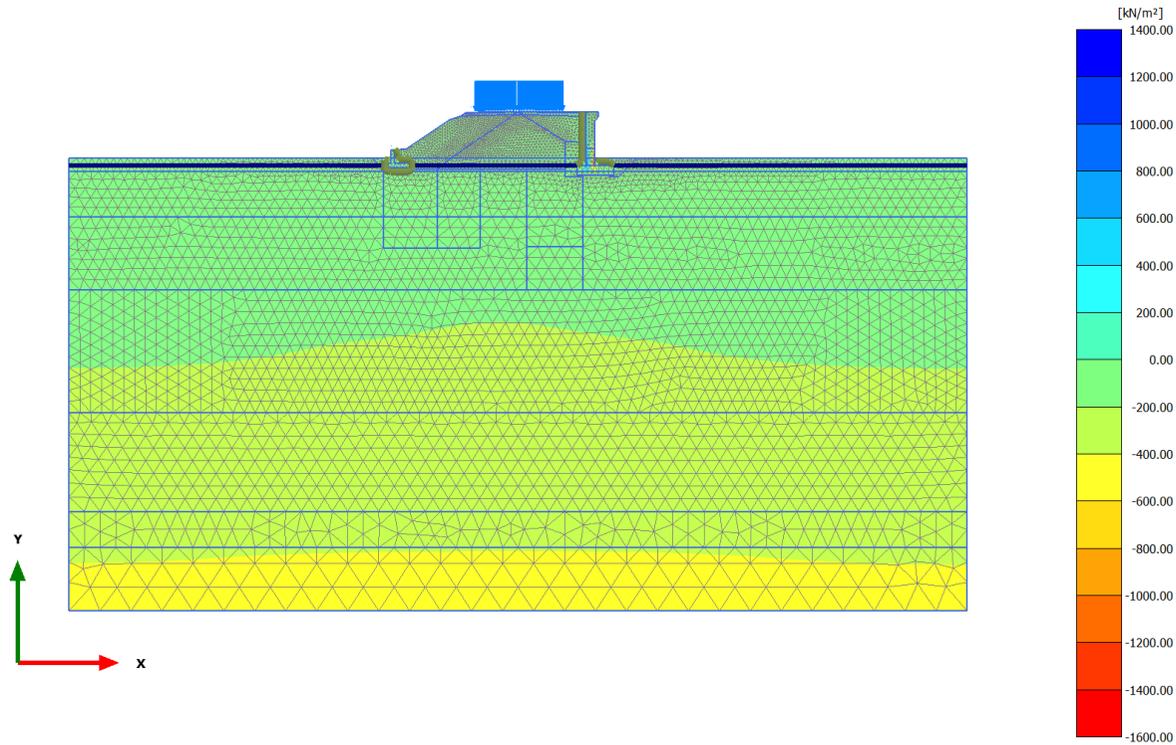


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 434.4 kN/m² (Element 3476 at Node 6567)

Minimum value = -707.5 kN/m² (Element 4238 at Node 14261)

2.2.3.2.1 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/145), Cartesian effective stress σ'_{yy}

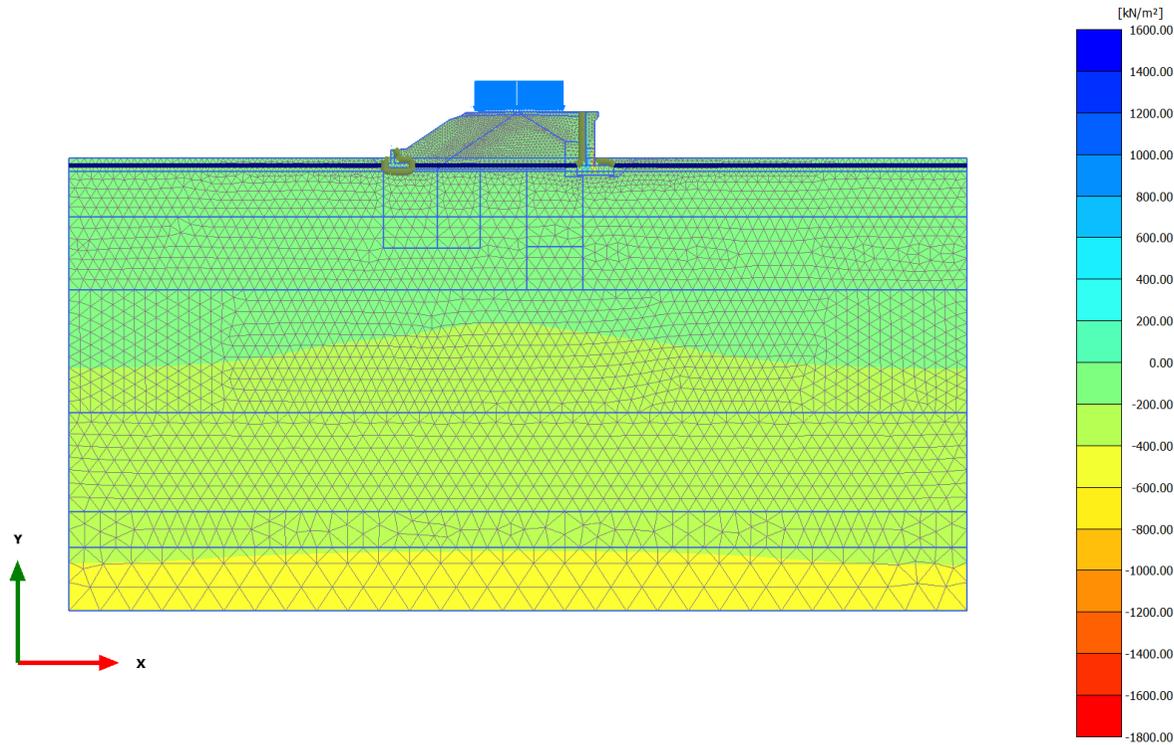


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $1.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 1359 kN/m² (Element 3010 at Node 13801)

Minimum value = -1527 kN/m² (Element 3016 at Node 13814)

2.2.3.2.2 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/193), Cartesian effective stress σ'_{yy}

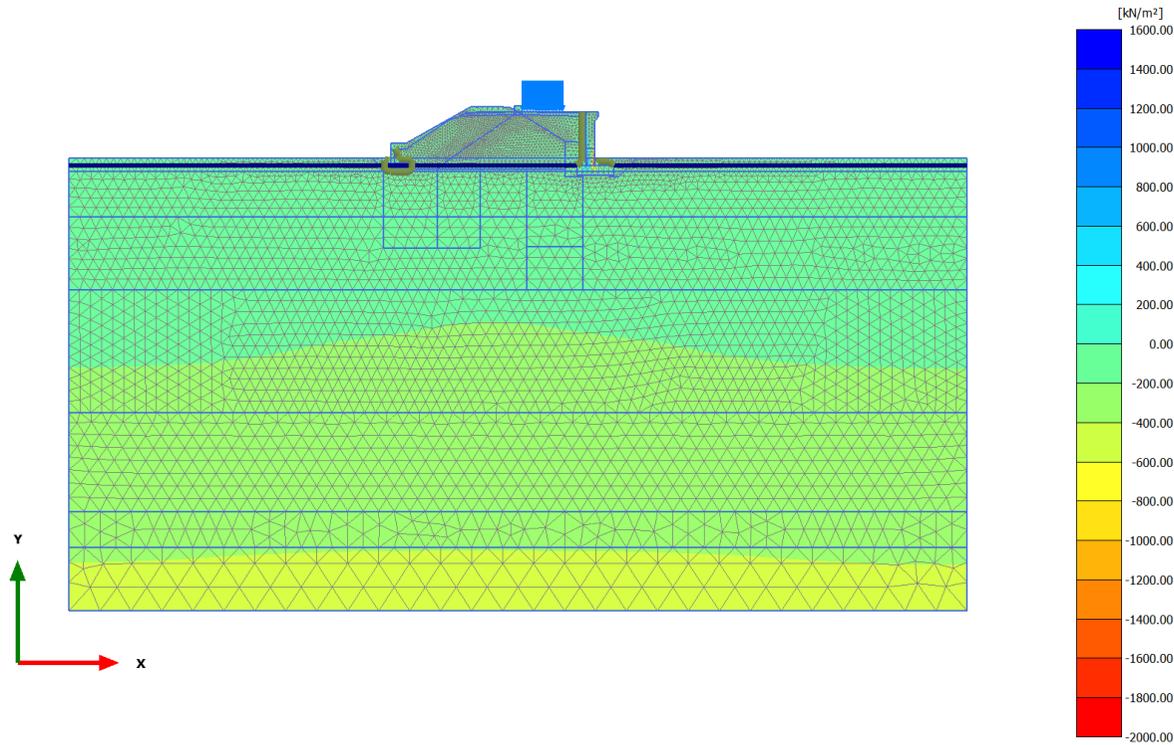


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $1.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 1528 kN/m² (Element 3010 at Node 13801)

Minimum value = -1715 kN/m² (Element 3016 at Node 13814)

2.2.3.2.3 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/225), Cartesian effective stress σ'_{yy}

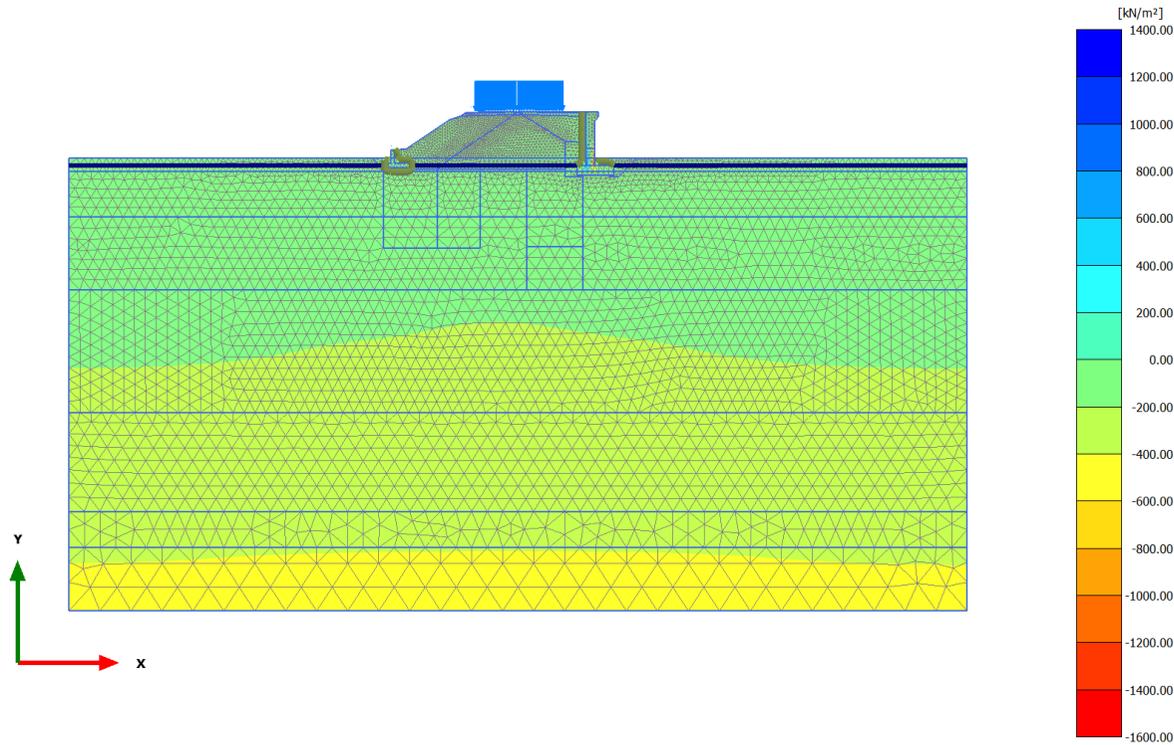


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $1.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 1592 kN/m² (Element 3010 at Node 13801)

Minimum value = -1807 kN/m² (Element 3016 at Node 13814)

2.2.3.2.4 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/236), Cartesian effective stress σ'_{yy}



Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $1.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 1296 kN/m² (Element 3010 at Node 13801)

Minimum value = -1458 kN/m² (Element 3016 at Node 13814)



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

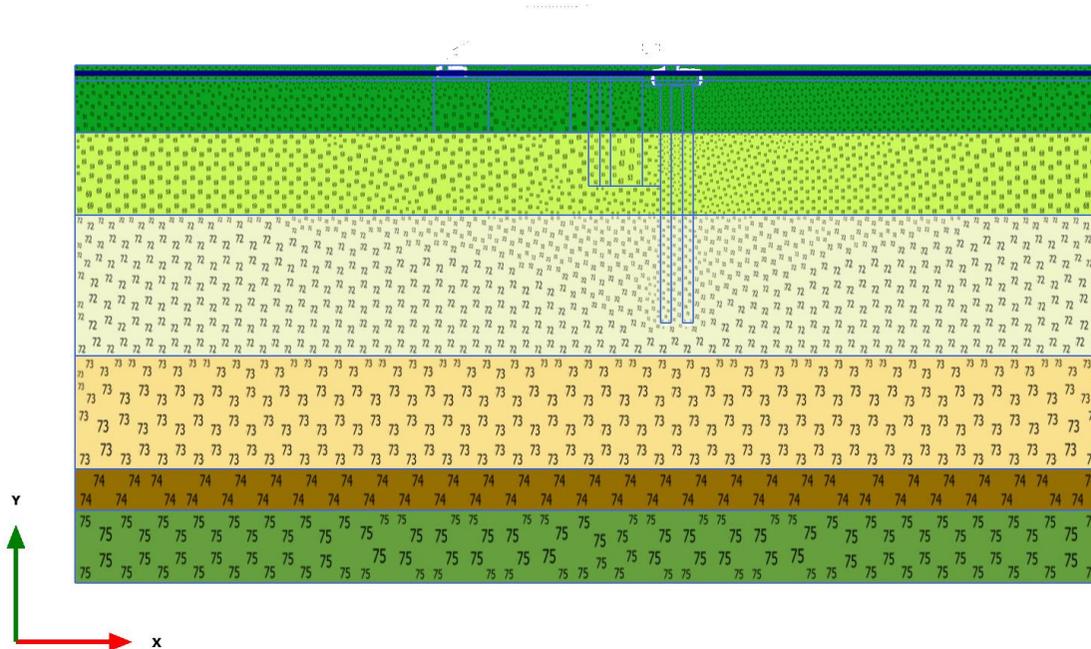
RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 0+000-1+250

| | | | | | |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|----------------------|
| COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A | FOGLIO 289 di 419 |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|----------------------|

ALLEGATO D – RISULTATI ANALISI PLAXIS RIL. 0+400 CON INTERVENTI

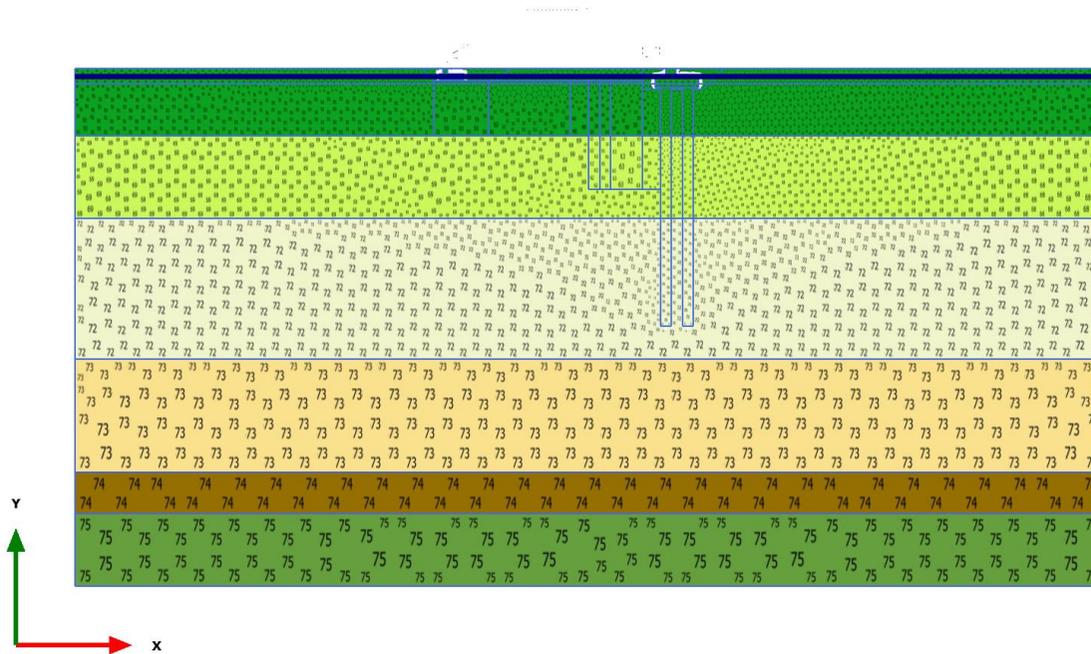
|  <p>ITOLFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p> | <p>VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA. RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA</p> | | | | | | | | | | | | |
|--|--|----------|------------|----------|------------|------|--------|------|--------|----|------------|---|------------|
| <p>RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 0+000-1+250</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IA4S</td> <td>01 D29</td> <td>CL</td> <td>GE0006 001</td> <td>A</td> <td>290 di 419</td> </tr> </tbody> </table> | COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | IA4S | 01 D29 | CL | GE0006 001 | A | 290 di 419 |
| COMMESSA | LOTTO | CODIFICA | DOCUMENTO | REV. | FOGLIO | | | | | | | | |
| IA4S | 01 D29 | CL | GE0006 001 | A | 290 di 419 | | | | | | | | |

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



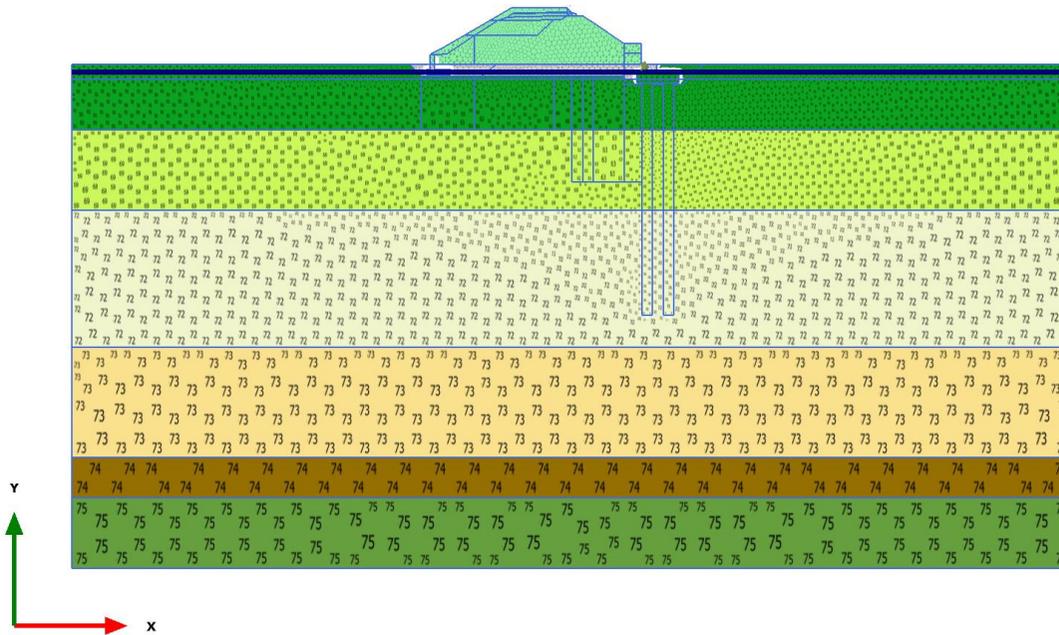
Connectivity plot

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



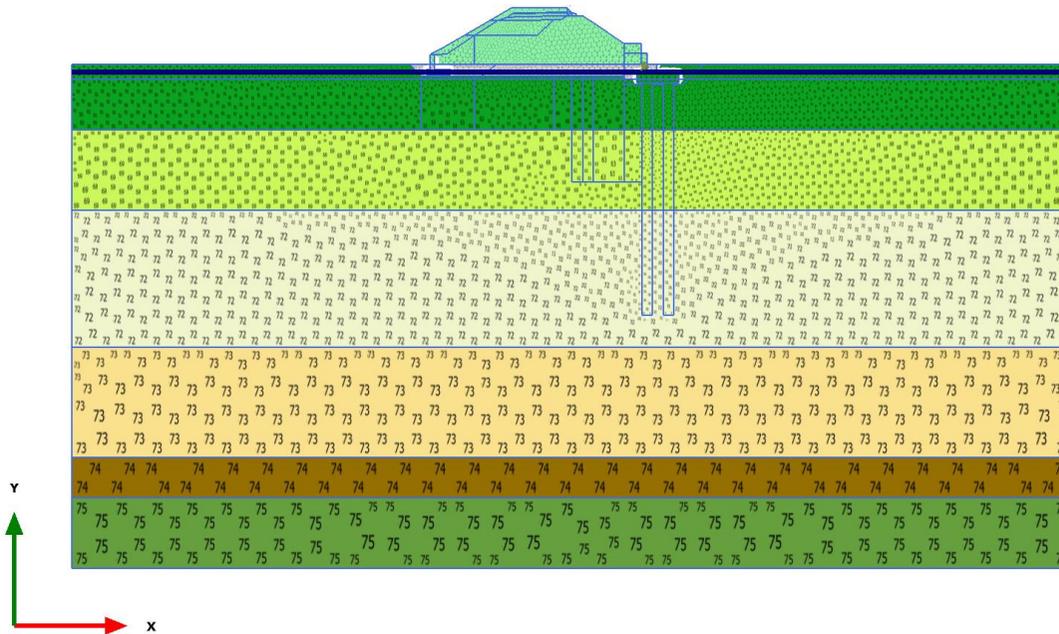
Connectivity plot

1.1.1.3 Calculation results, costr. ril. esistente [Phase_2] (2/22), Connectivity plot



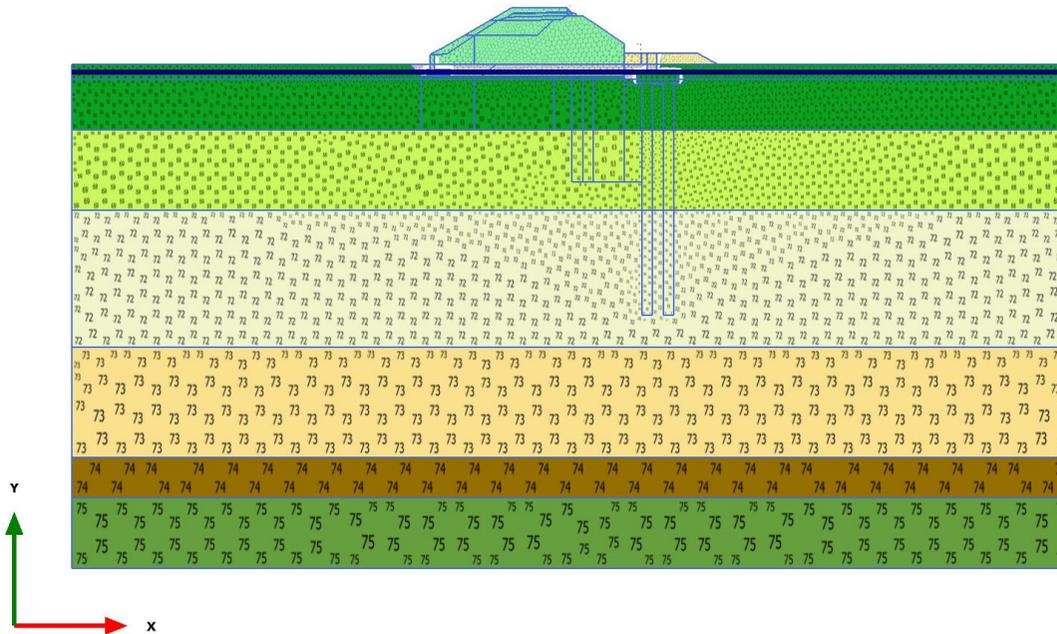
Connectivity plot

1.1.1.4 Calculation results, consolidaz. ril. esistente [Phase_3] (3/59), Connectivity plot



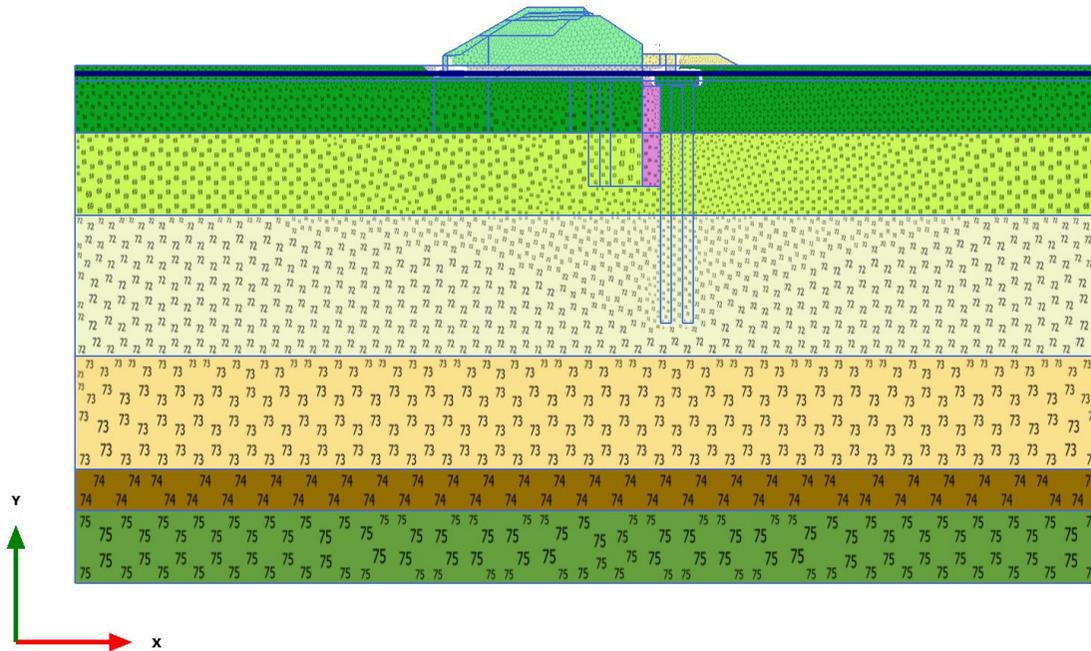
Connectivity plot

1.1.1.5 Calculation results, piano di lavoro 1a [Phase_4] (4/63), Connectivity plot



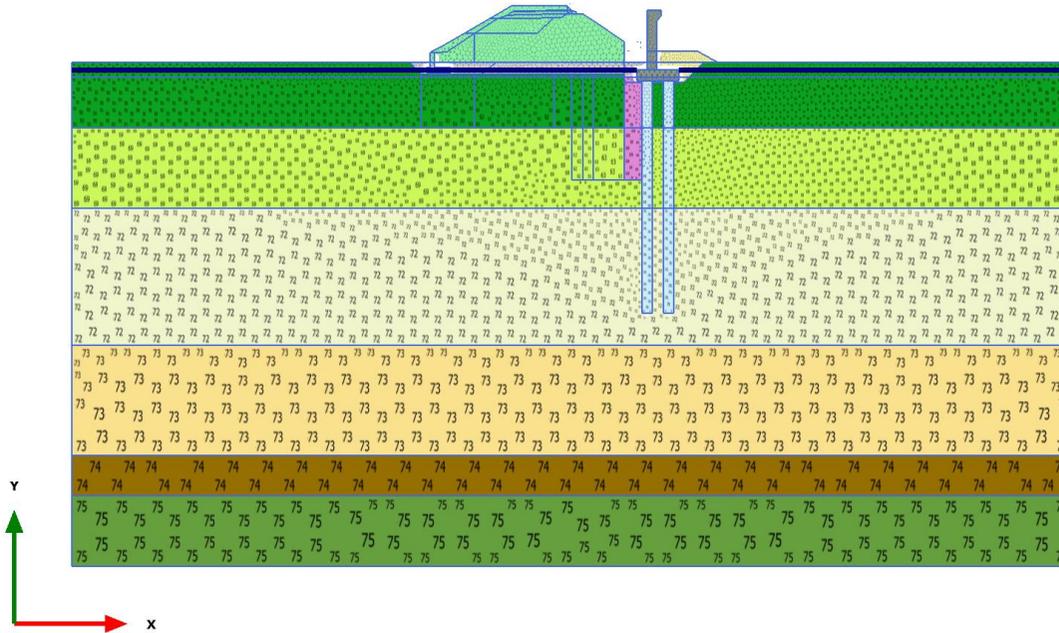
Connectivity plot

1.1.1.6 Calculation results, deep mixing 1 [Phase_5] (5/65), Connectivity plot



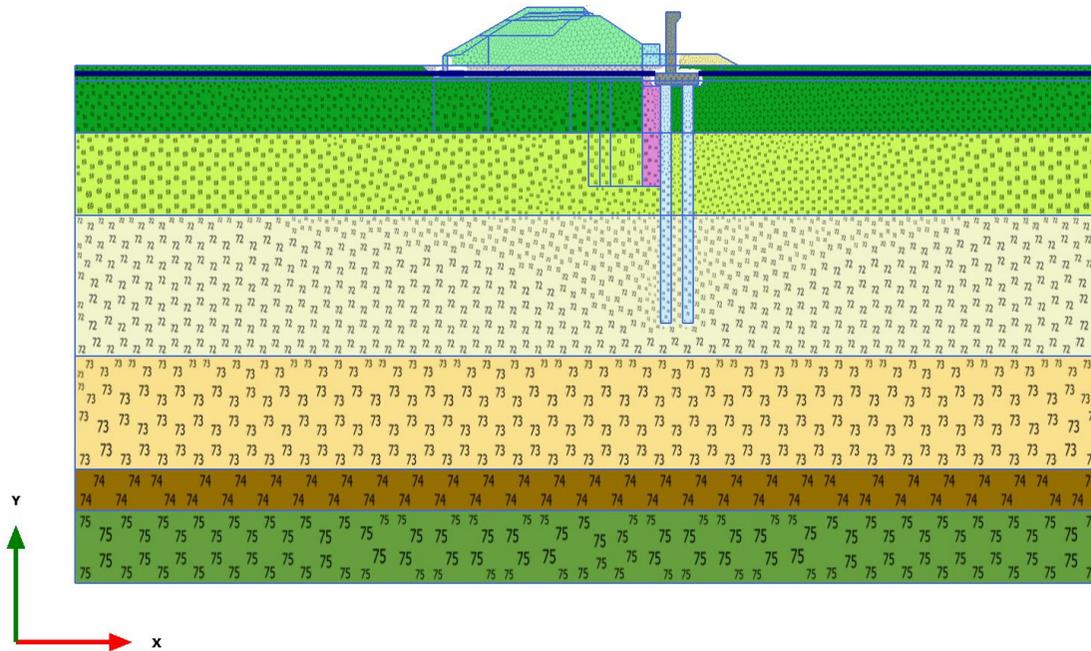
Connectivity plot

1.1.1.7 Calculation results, bonifico+pali+muro [Phase_6] (6/70), Connectivity plot



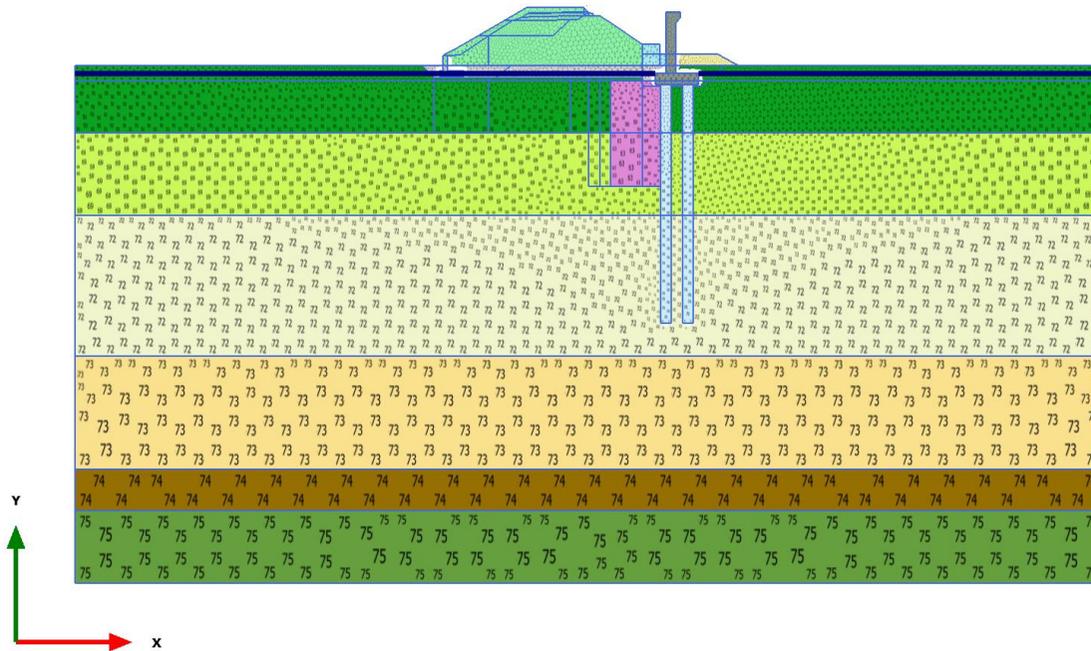
Connectivity plot

1.1.1.8 Calculation results, riempimento dx [Phase_7] (7/74), Connectivity plot



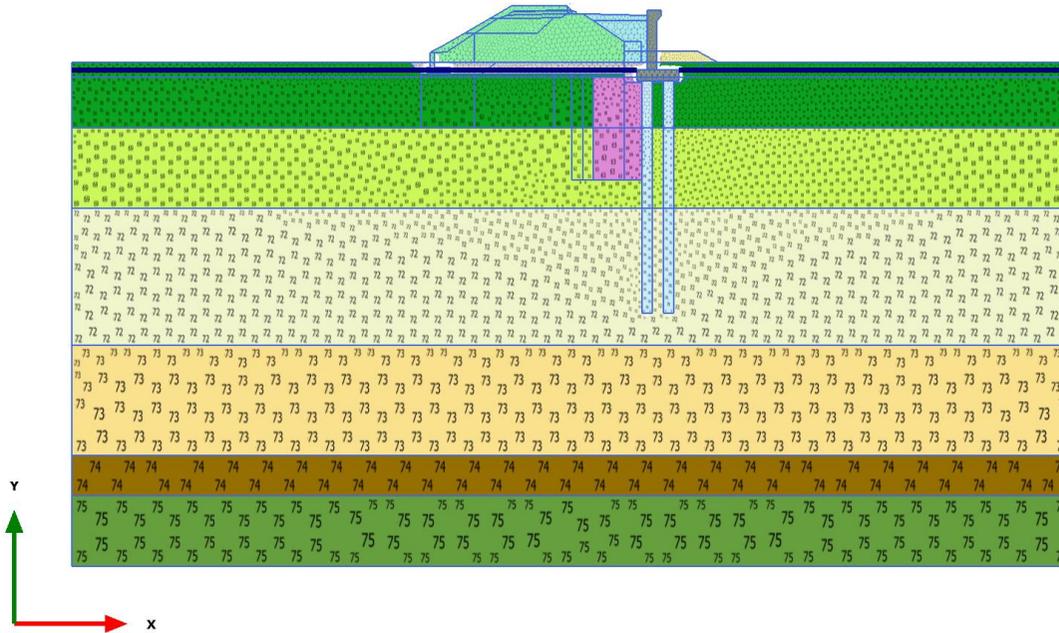
Connectivity plot

1.1.1.9 Calculation results, deep mixing 2 [Phase_8] (8/77), Connectivity plot



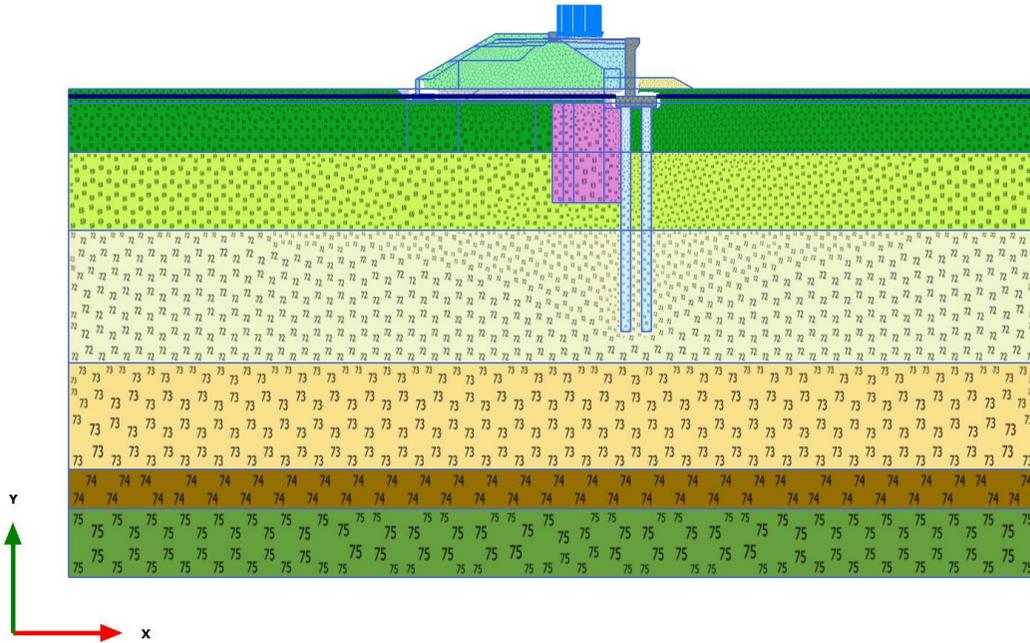
Connectivity plot

1.1.1.10 Calculation results, piano di lavoro 1c [Phase_9] (9/79), Connectivity plot



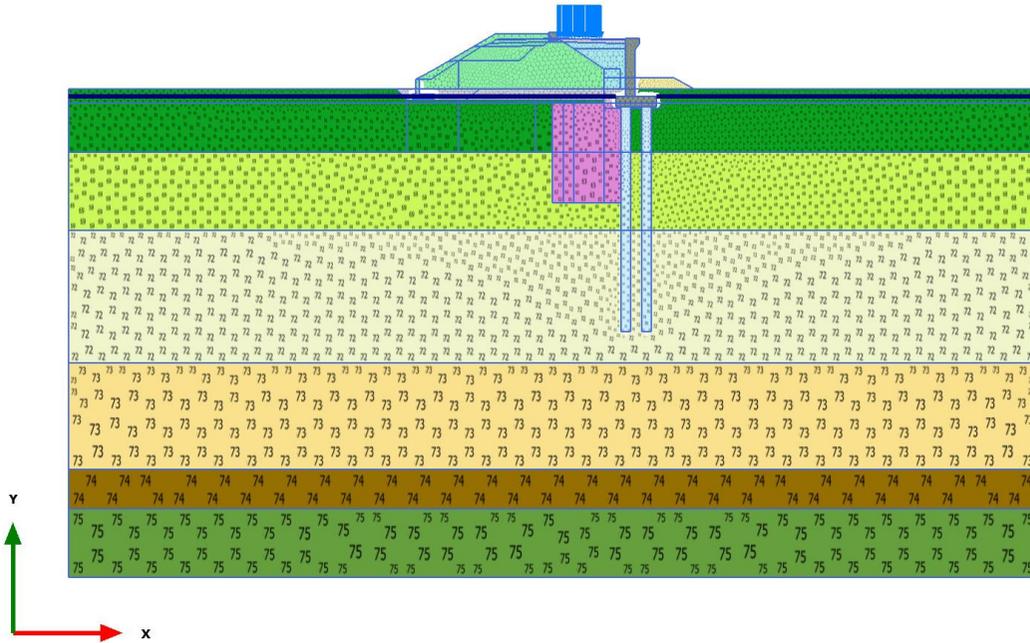
Connectivity plot

1.1.1.12 Calculation results, armamento dx [Phase_11] (11/89), Connectivity plot



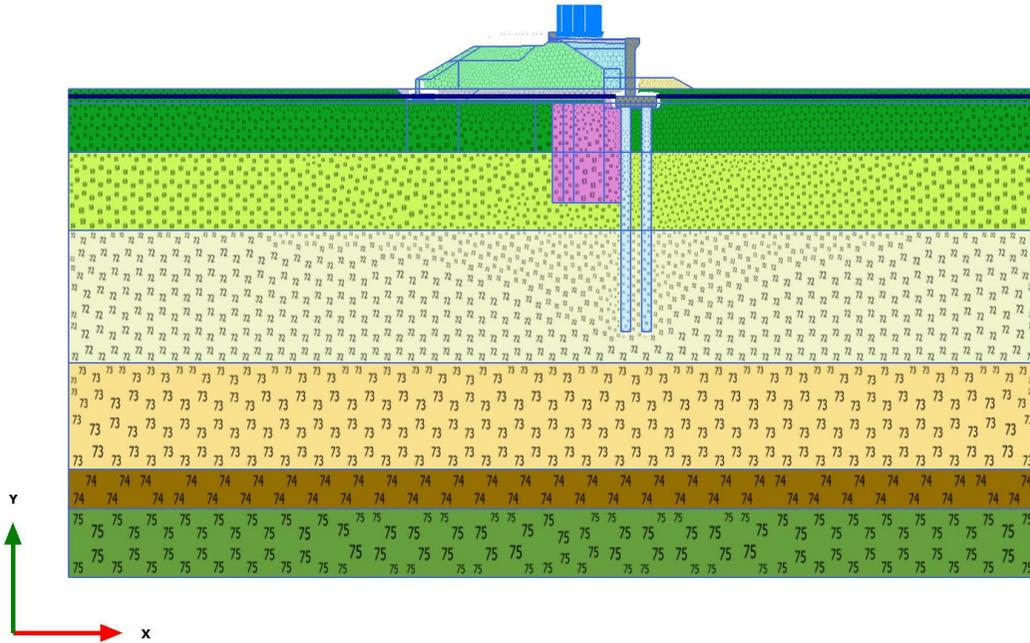
Connectivity plot

1.1.1.13 Calculation results, esercizio n.l. dx [Phase_12] (12/91), Connectivity plot



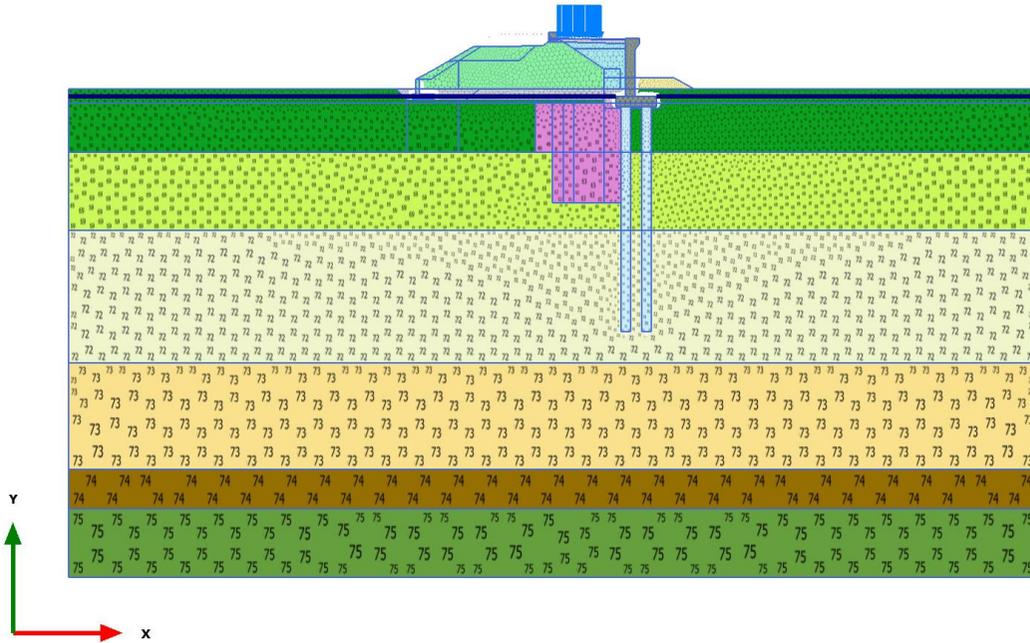
Connectivity plot

1.1.1.14 Calculation results, piano di lavoro 2a [Phase_13] (13/95), Connectivity plot



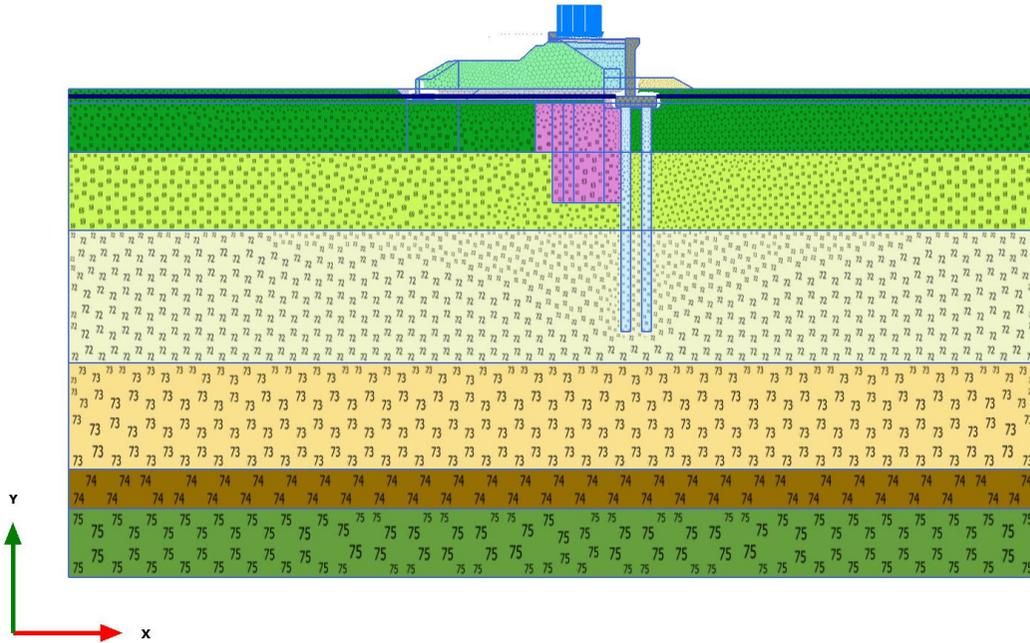
Connectivity plot

1.1.1.15 Calculation results, deep mixing 4 [Phase_14] (14/98), Connectivity plot



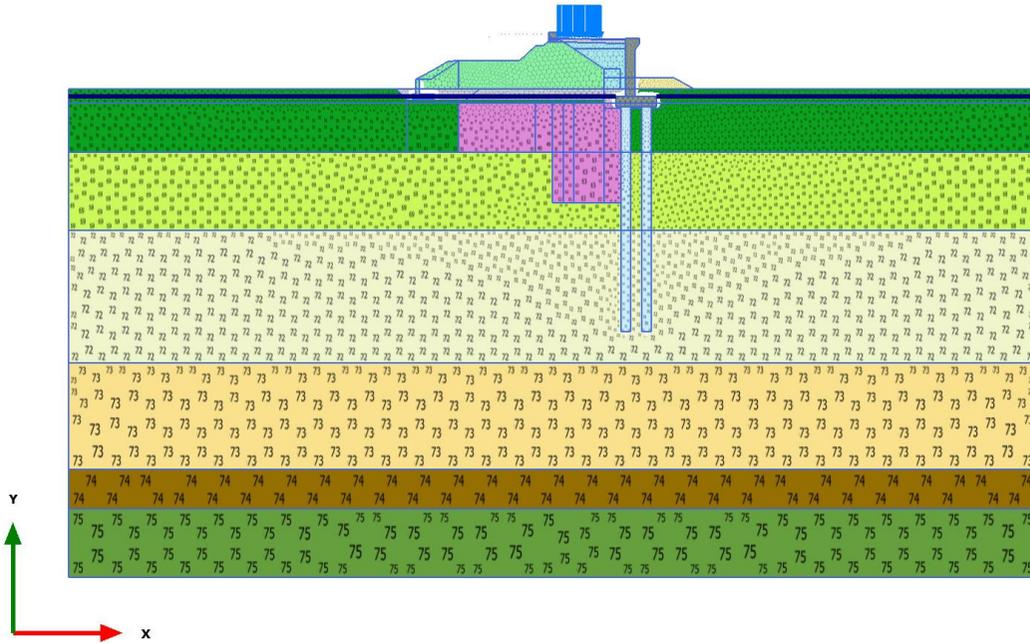
Connectivity plot

1.1.1.16 Calculation results, piano di lavoro 2b [Phase_15] (15/102), Connectivity plot



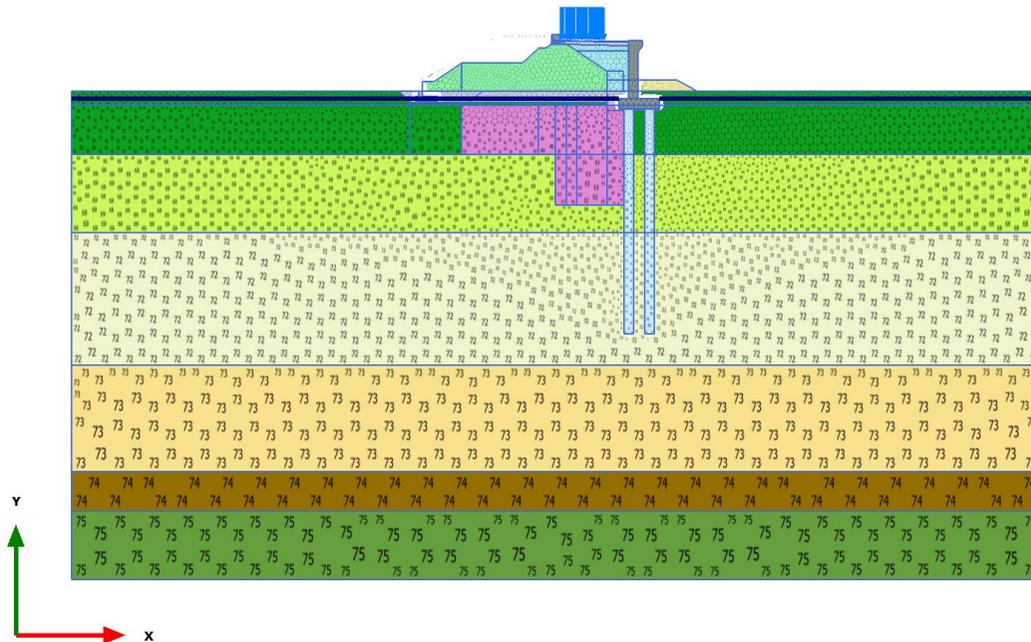
Connectivity plot

1.1.1.17 Calculation results, deep mixing 5 [Phase_16] (16/106), Connectivity plot



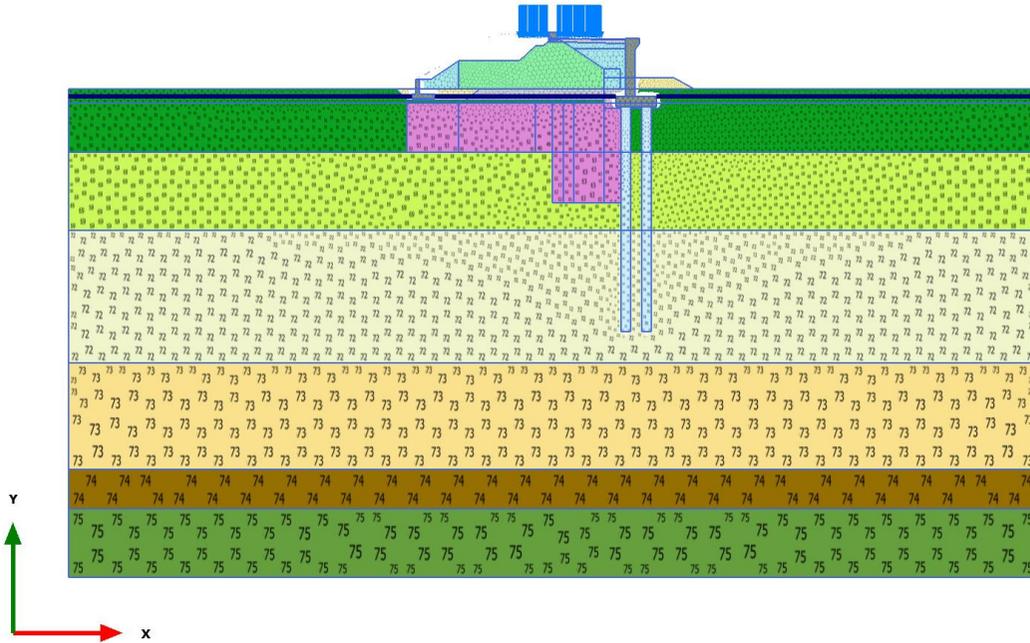
Connectivity plot

1.1.1.18 Calculation results, sbancamento ril vecchio sx [Phase_17] (17/108), Connectivity plot



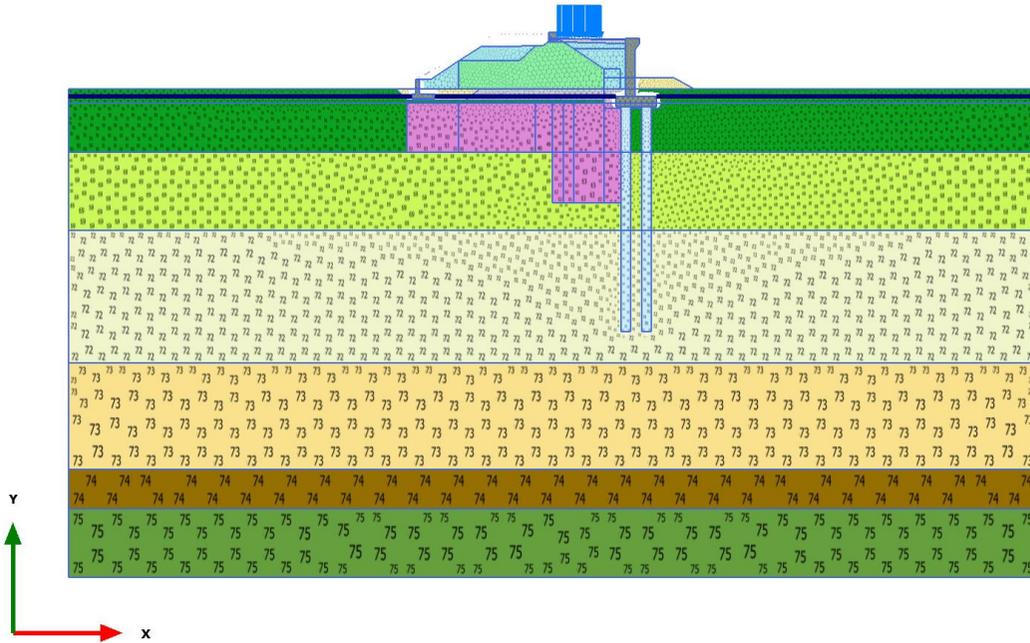
Connectivity plot

1.1.1.19 Calculation results, deep+ril sx+muro [Phase_18] (18/115), Connectivity plot



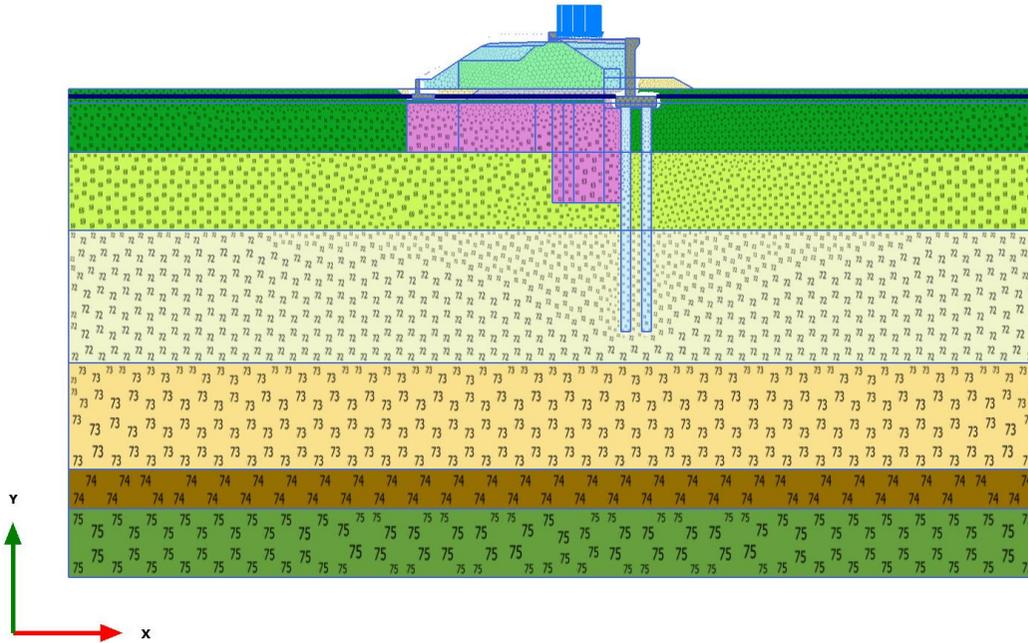
Connectivity plot

1.1.1.20 Calculation results, rilevato sx 2 [Phase_19] (19/126), Connectivity plot



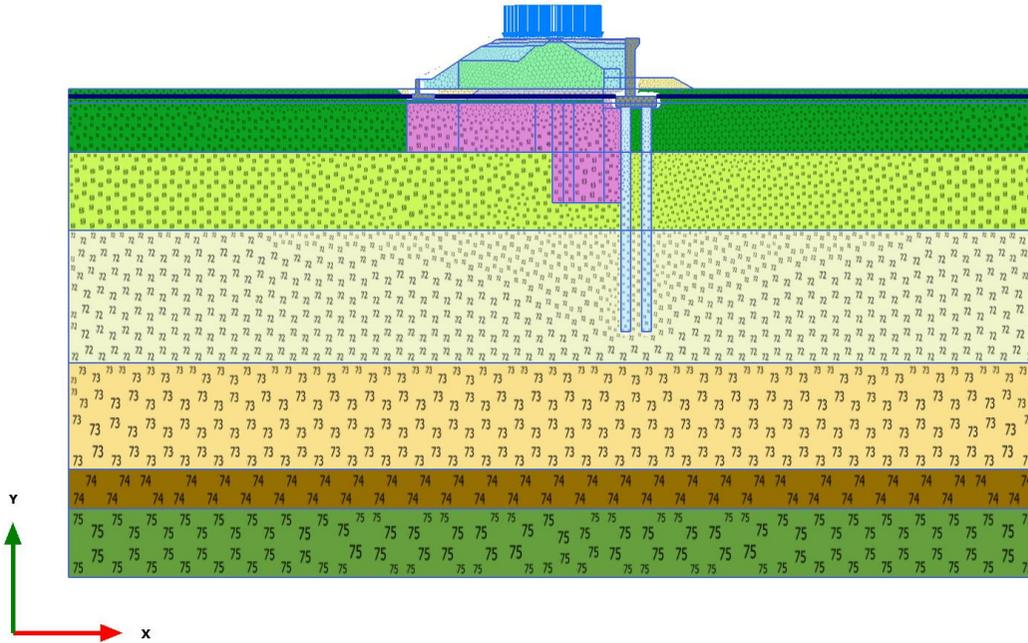
Connectivity plot

1.1.1.21 Calculation results, rilevato sx 3 [Phase_20] (20/129), Connectivity plot



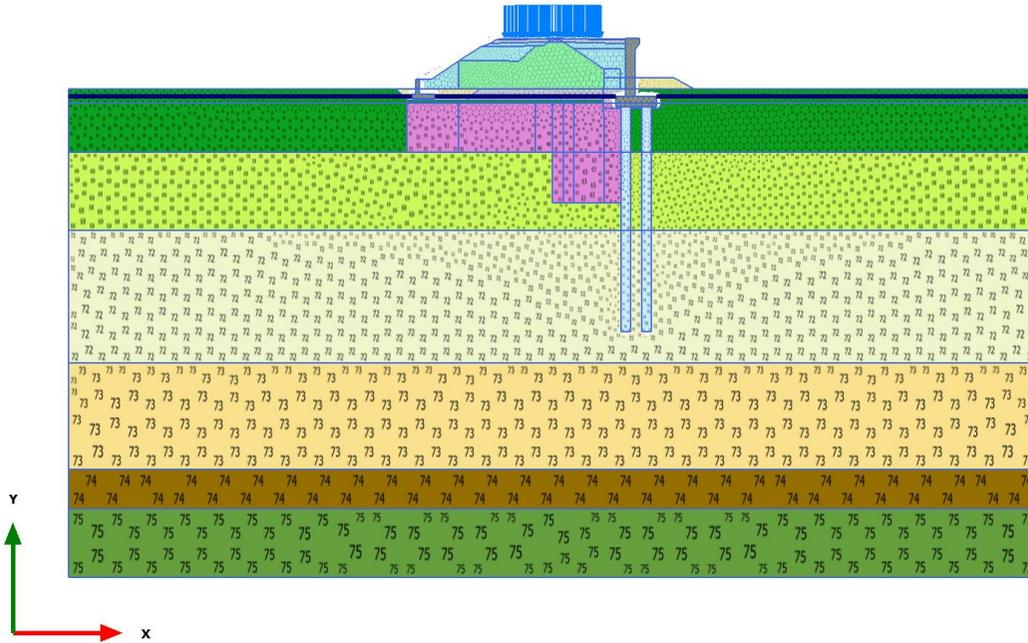
Connectivity plot

1.1.1.22 Calculation results, armamento sx [Phase_21] (21/138), Connectivity plot



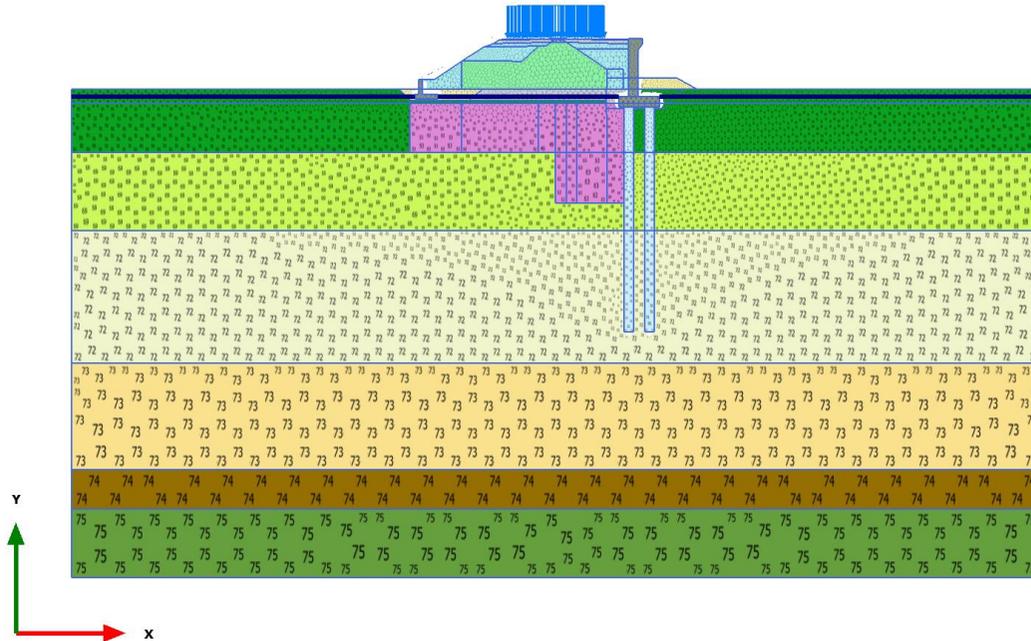
Connectivity plot

1.1.1.23 Calculation results, esercizio n.l. sx [Phase_22] (22/140), Connectivity plot



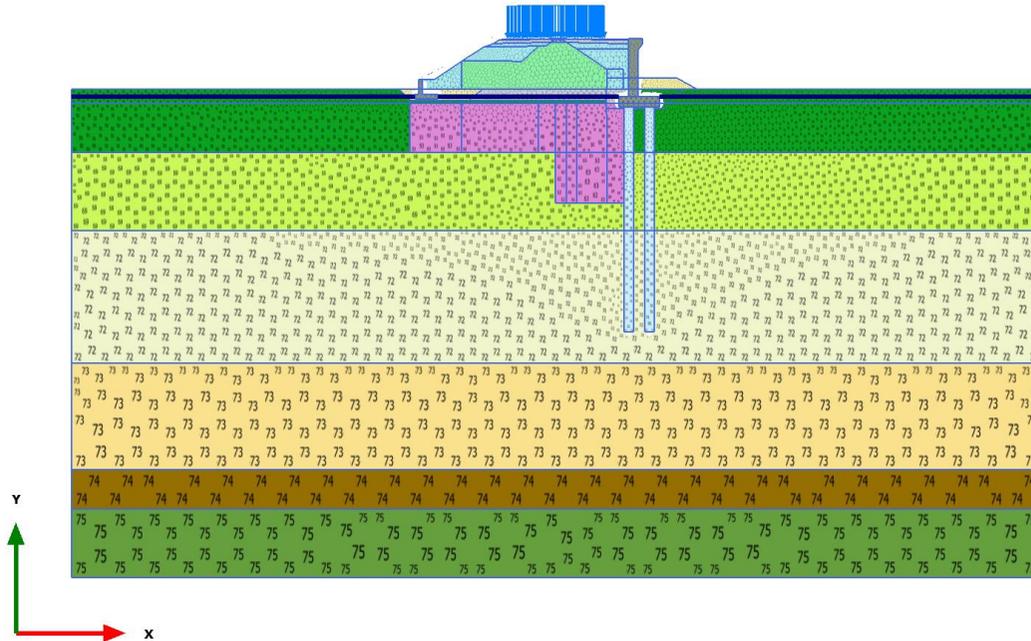
Connectivity plot

1.1.1.24 Calculation results, consolidazione n.ril. 1 anno [Phase_23] (23/148), Connectivity plot



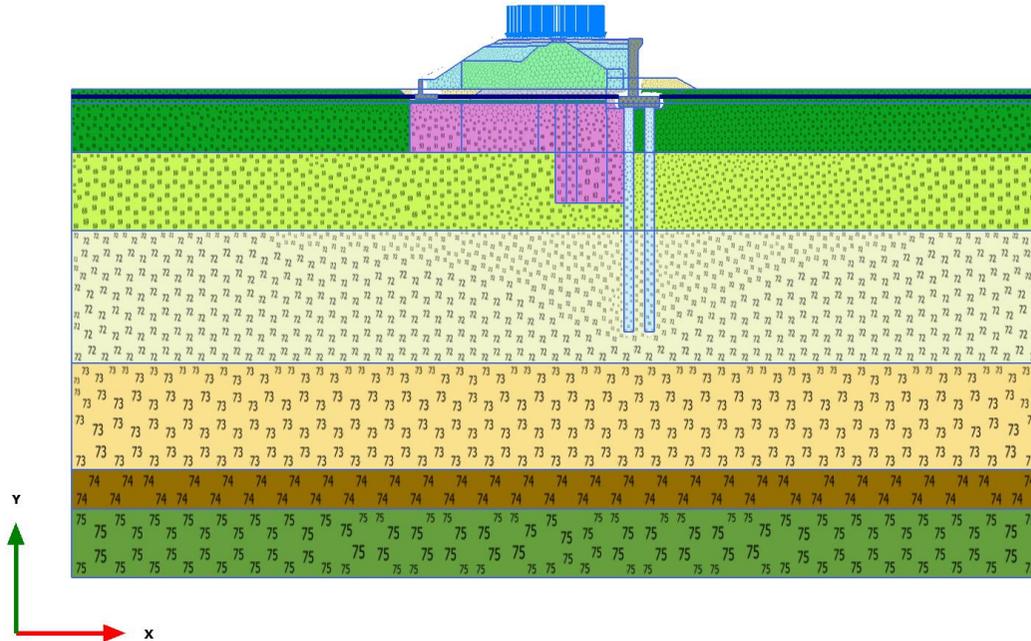
Connectivity plot

1.1.1.25 Calculation results, consolidazione n.ril. 2 anni [Phase_24] (24/156), Connectivity plot



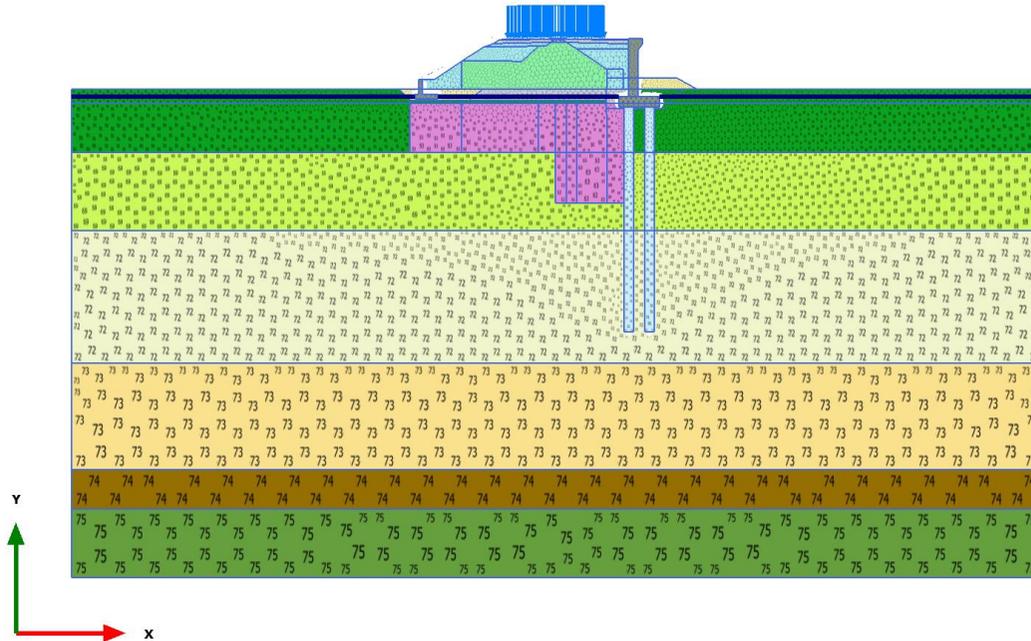
Connectivity plot

1.1.1.26 Calculation results, consolidazione n.ril. 10 anni [Phase_25] (25/167), Connectivity plot



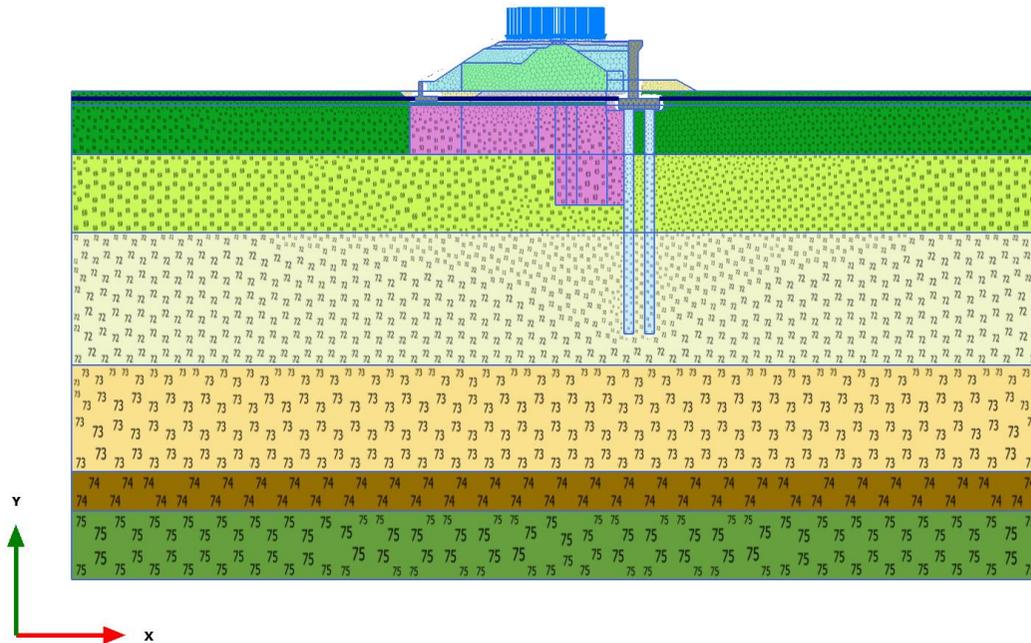
Connectivity plot

1.1.1.27 Calculation results, consolidazione n.ril. 30 anni [Phase_26] (26/180), Connectivity plot



Connectivity plot

1.1.1.28 Calculation results, consolidazione n.ril. 75 anni [Phase_27] (27/192), Connectivity plot



Connectivity plot

| 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

| 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} | | 0.6199 | 0.9338 | 0.6437 | 0.5809 | 1.164 |
| K _{0,z} | | 0.6199 | 0.9338 | 0.6437 | 0.5809 | 1.164 |
| OCR | | 1.200 | 1.600 | 1.100 | 1.050 | 2.200 |
| 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 |

| 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 | | | | | | |
| γ_{unsat} | kN/m ³ | 19.00 | 20.00 | 19.00 | 20.00 | 19.00 |
| γ_{sat} | kN/m ³ | 19.00 | 20.00 | 19.00 | 20.00 | 19.00 |
| Dilatancy cut-off | | No | No | No | No | No |
| ϵ_{init} | | 0.5000 | 0.5000 | 0.5000 | 0.5000 | 0.5000 |
| ϵ_{min} | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| ϵ_{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 |
| ν (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 |

| Identification | | G,S | supercompattato | rilevato | sub-ballast | BONIFICO |
|-------------------------------------|-----------------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-------------|
| Consider gap closure | | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes |
| $\bar{\sigma}_{inter}$ | | 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 |

| 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 |

| Identification | | Riporto antropico esistente | Trattamento |
|-----------------------|-------------------|---|---|
| Identification number | | 14 | 15 |
| Drainage type | | Drained | Drained |
| Colour | |  |  |
| Comments | | | |
| γ_{unsat} | kN/m ³ | 19.00 | 18.00 |
| γ_{sat} | kN/m ³ | 19.00 | 18.00 |
| 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 | 31.00E3 |
| ν (nu) | | 0.3000 | 0.2500 |
| G | kN/m ² | 5769 | 12.40E3 |
| E_{oed} | kN/m ² | 20.19E3 | 37.20E3 |

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

| Identification | | Riporto antropico esistente | Trattamento |
|------------------------|----------------------|-----------------------------|-------------|
| C _{ref} | kN/m ² | 0.000 | 28.50 |
| φ (phi) | ° | 34.00 | 22.00 |
| ψ (psi) | ° | 0.000 | 0.000 |
| V _s | m/s | 54.58 | 82.21 |
| V _p | m/s | 102.1 | 142.4 |
| 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 | 0.9833 |
| v _u | | 0.4950 | 0.4950 |
| K _{w,ref} / n | kN/m ² | 562.5E3 | 1.215E6 |
| Strength | | Manual | Rigid |
| R _{inter} | | 0.6600 | 1.000 |
| Consider gap closure | | Yes | Yes |

| Identification | | Riporto antropico esistente | Trattamento |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------|
| $\bar{\alpha}_{inter}$ | | 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 | 0.6254 |
| K _{0,z} | | 0.4408 | 0.6254 |
| OCR | | 1.000 | 1.000 |
| POP | kN/m ² | 0.000 | 0.000 |
| Data set | | Standard | Standard |
| Type | | Coarse | Coarse |
| < 2 μm | % | 10.00 | 10.00 |
| 2 μm - 50 μm | % | 13.00 | 13.00 |
| 50 μm - 2 mm | % | 77.00 | 77.00 |
| Use defaults | | None | None |
| k _x | m/day | 0.8640 | 0.08640E-3 |
| k _y | m/day | 0.8640 | 8.640E-6 |
| -Ψ _{unsat} | m | 10.00E3 | 10.00E3 |
| e _{init} | | 0.5000 | 0.5000 |

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

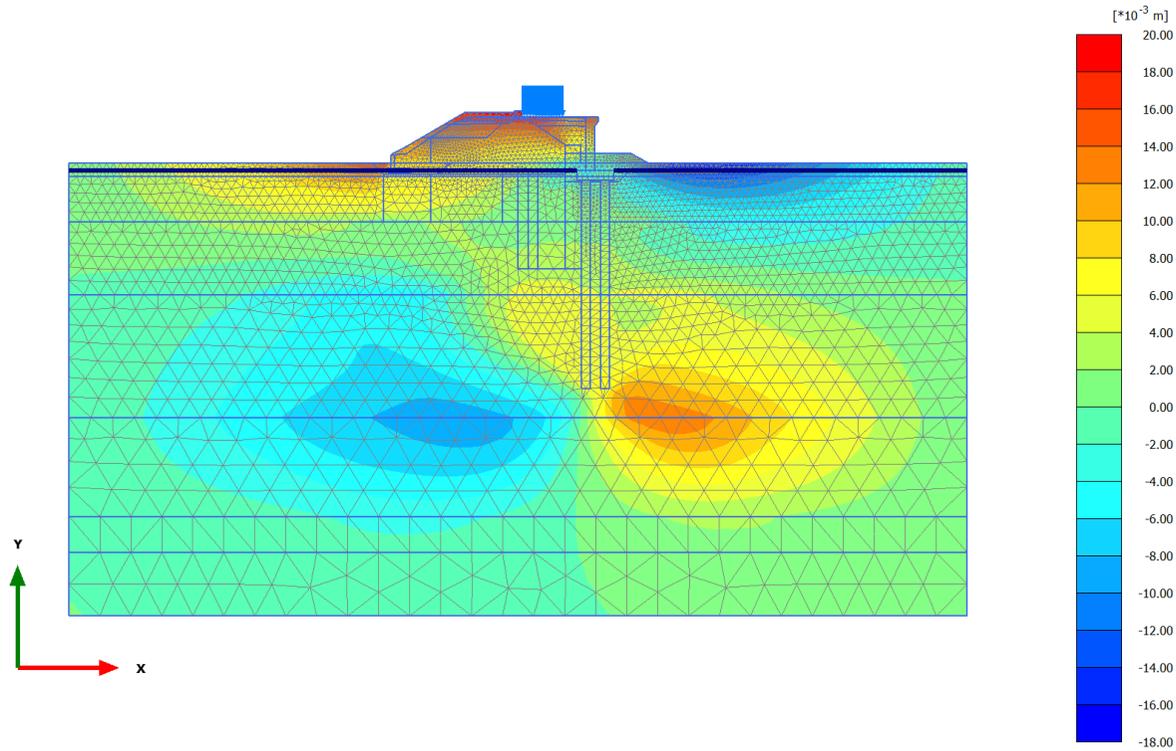
| Identification | | cls | Rilevato esistente | pali |
|-----------------------|-------------------|---|---|---|
| Identification number | | 9 | 10 | 13 |
| Drainage type | | Non-porous | Drained | Non-porous |
| Colour | |  |  |  |
| Comments | | | | |
| γ_{unsat} | kN/m ³ | 25.00 | 19.00 | 25.00 |
| 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 |
| γ_{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 |
| $\bar{\sigma}_{inter}$ | | 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_11] (11/89), Total displacements u_x

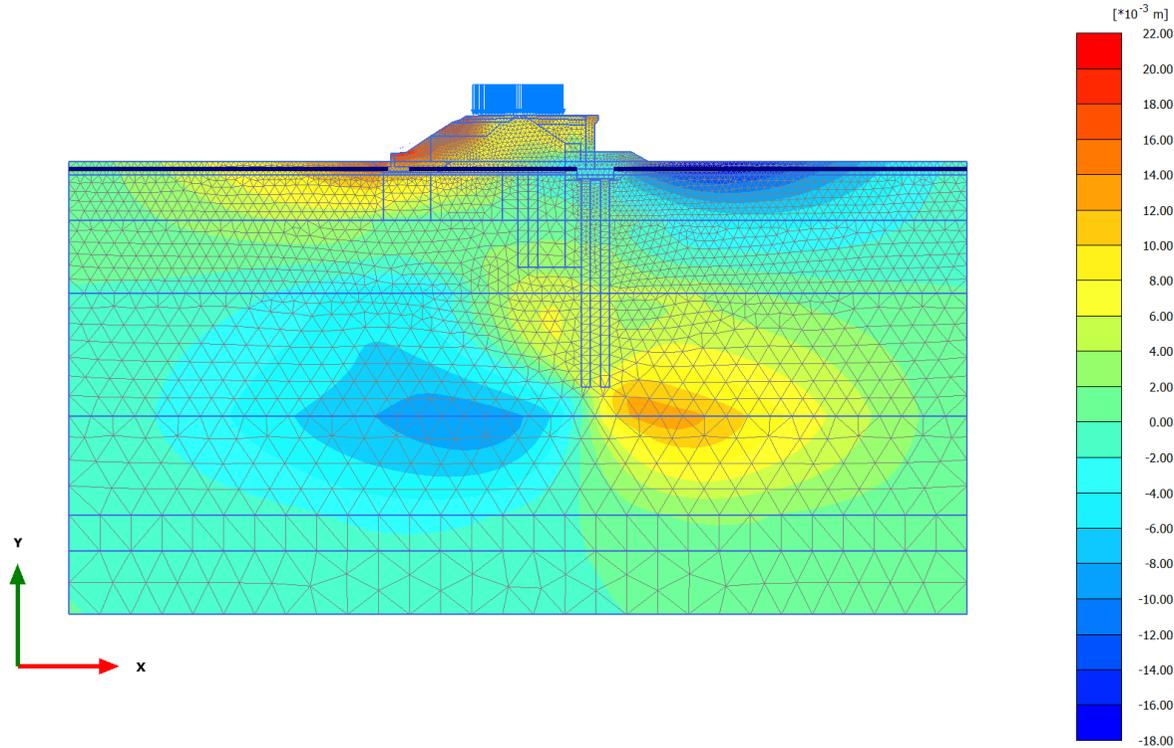


Total displacements u_x (scaled up 50.0 times) (Time 19.32*10³ day)

Maximum value = 0.01987 m (Element 1 at Node 978)

Minimum value = -0.01631 m (Element 2749 at Node 10308)

2.1.1.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_21] (21/138), Total displacements u_x

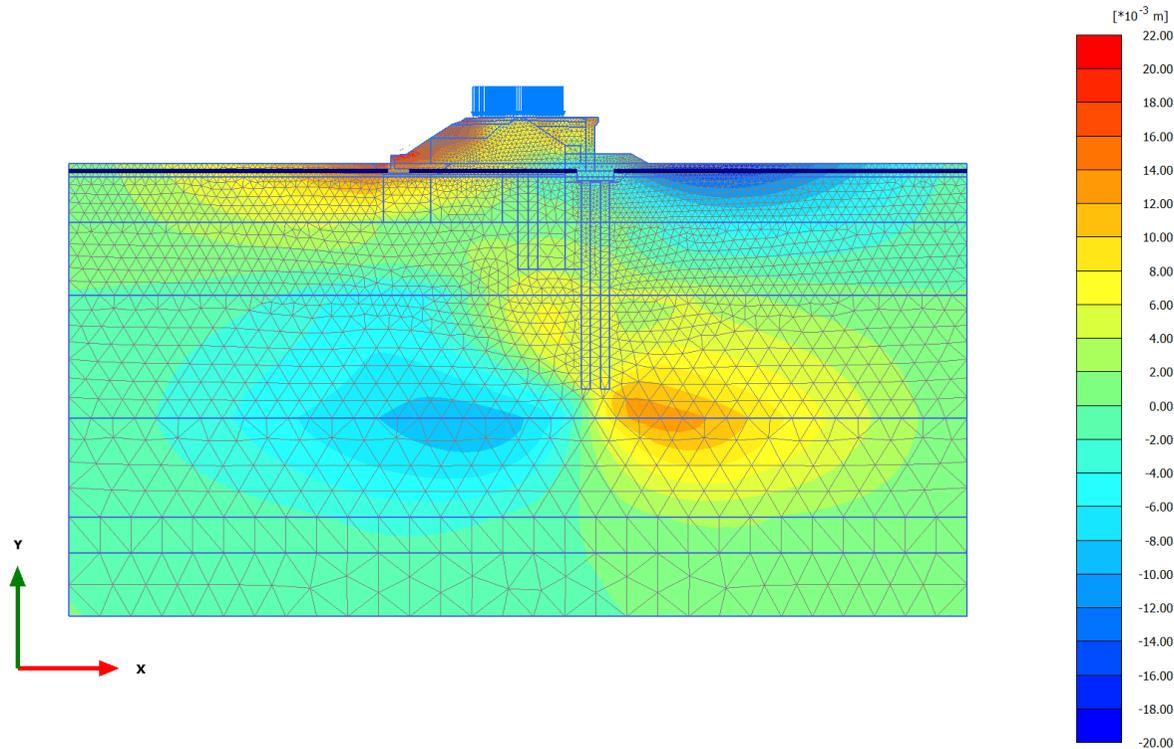


Total displacements u_x (scaled up 50.0 times) (Time $19.70 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.02079 m (Element 246 at Node 17)

Minimum value = -0.01772 m (Element 2749 at Node 10308)

2.1.1.1.3 Calculation results, consolidazione n.ril. 1 anno [Phase_23] (23/148), Total displacements u_x

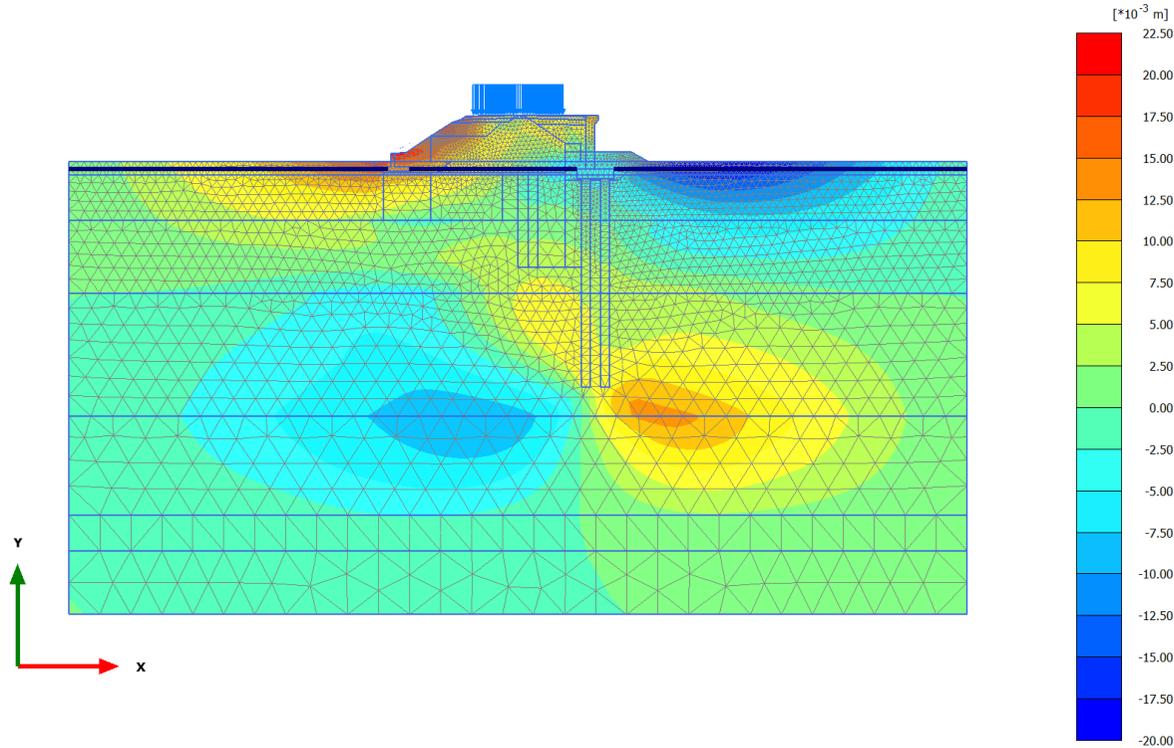


Total displacements u_x (scaled up 50.0 times) (Time $20.07 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.02071 m (Element 1724 at Node 2201)

Minimum value = -0.01835 m (Element 2719 at Node 10535)

2.1.1.1.4 Calculation results, consolidazione n.ril. 75 anni [Phase_27] (27/192), Total displacements u_x

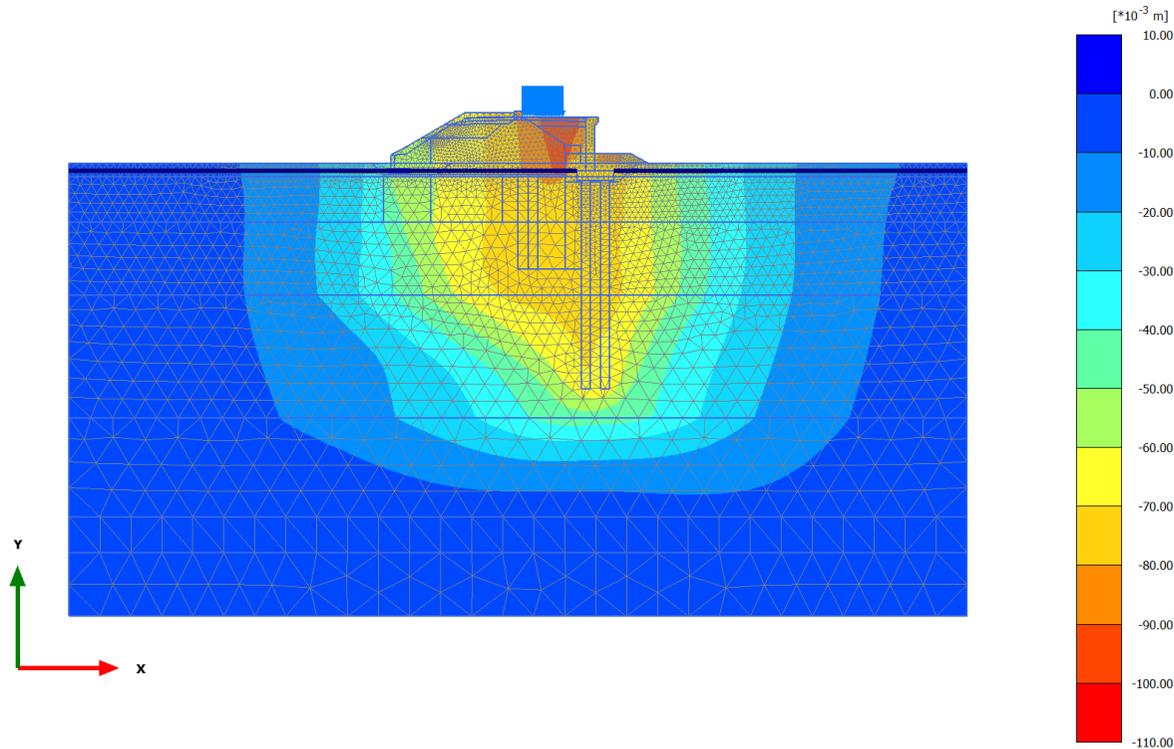


Total displacements u_x (scaled up 50.0 times) (Time $47.07 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.02143 m (Element 1724 at Node 2201)

Minimum value = -0.01995 m (Element 2746 at Node 10540)

2.1.1.2.1 Calculation results, armamento dx [Phase_11] (11/89), Total displacements u_y

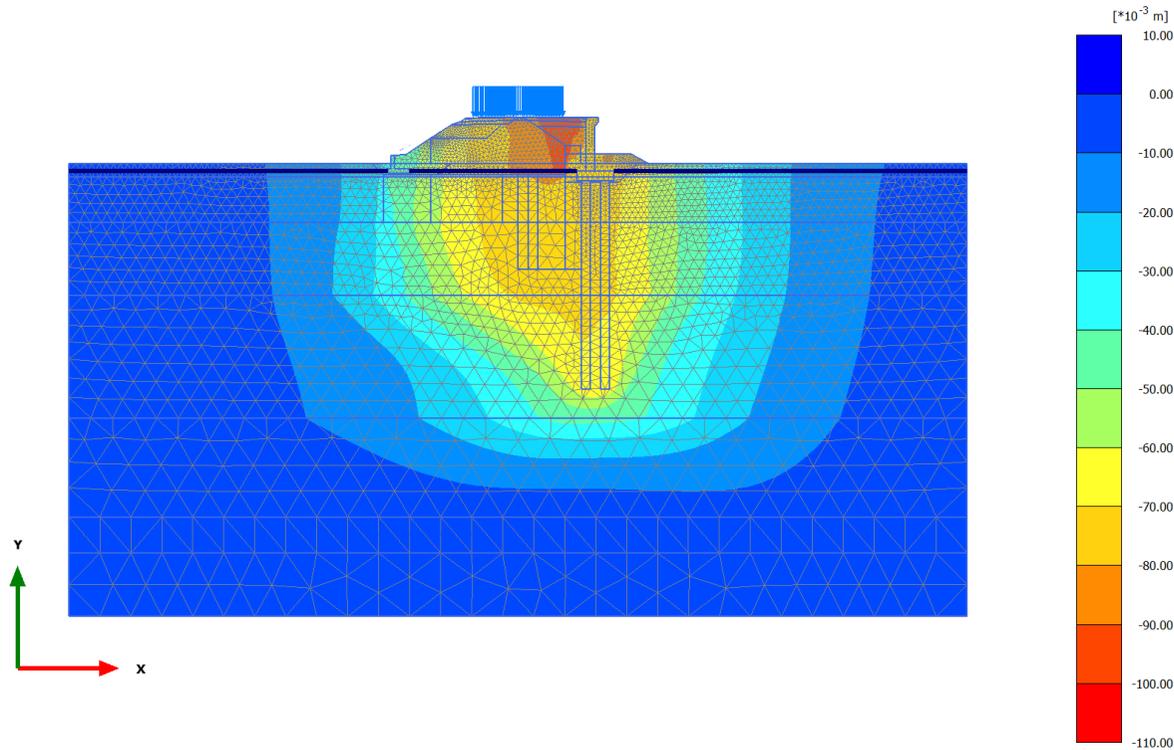


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time $19.32 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.000 m (Element 6984 at Node 7746)

Minimum value = -0.1017 m (Element 706 at Node 4537)

2.1.1.2.2 Calculation results, armamento sx [Phase_21] (21/138), Total displacements u_y

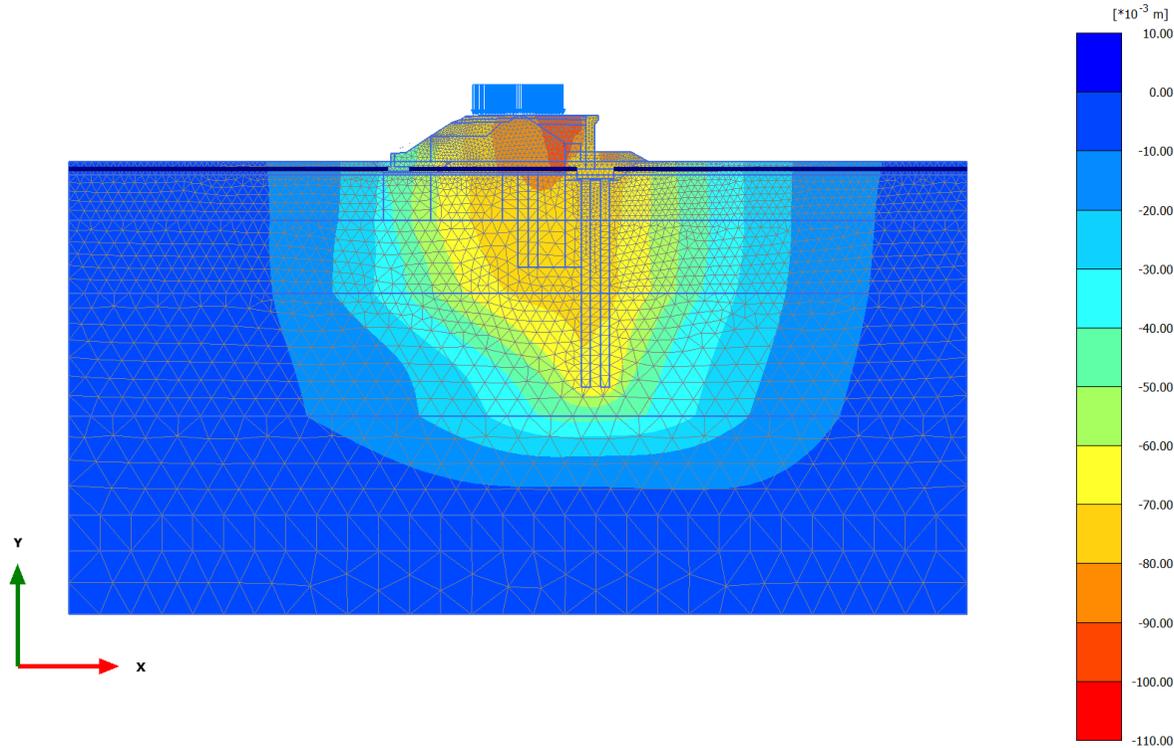


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time 19.70*10³ day)

Maximum value = 0.000 m (Element 6984 at Node 7746)

Minimum value = -0.1010 m (Element 706 at Node 4537)

2.1.1.2.3 Calculation results, consolidazione n.ril. 1 anno [Phase_23] (23/148), Total displacements u_y

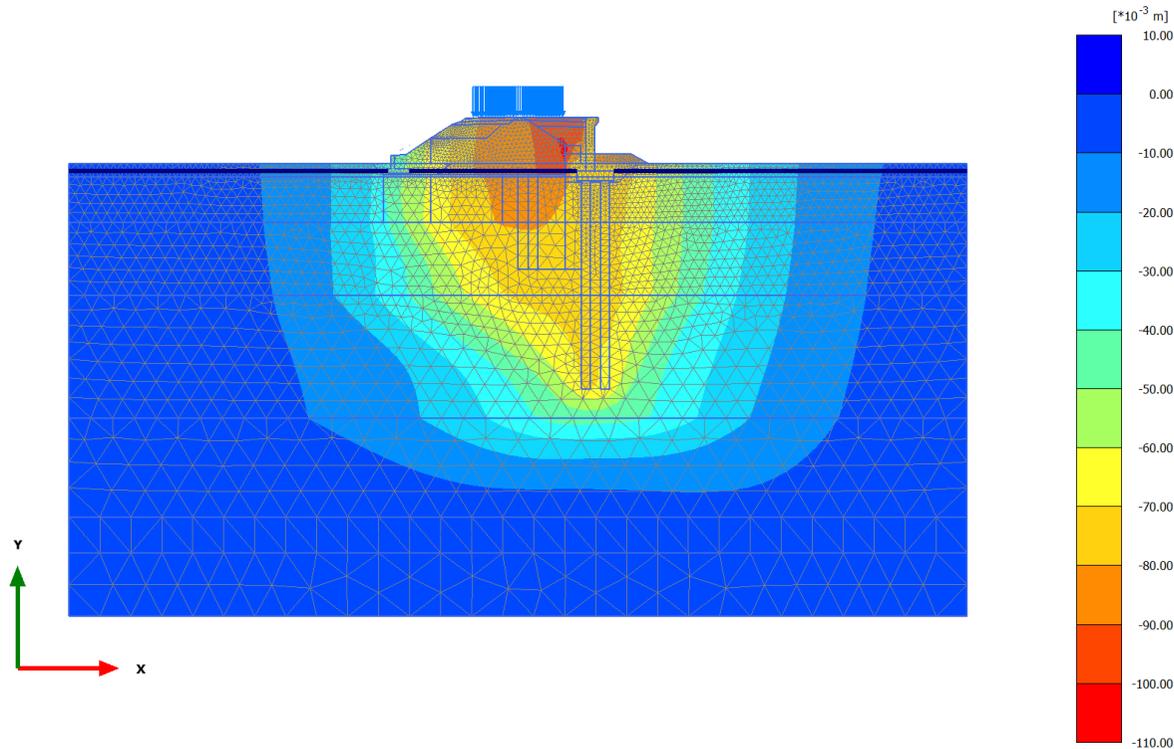


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time 20.07*10³ day)

Maximum value = 0.000 m (Element 6984 at Node 7746)

Minimum value = -0.1019 m (Element 706 at Node 4537)

2.1.1.2.4 Calculation results, consolidazione n.ril. 75 anni [Phase_27] (27/192), Total displacements u_y

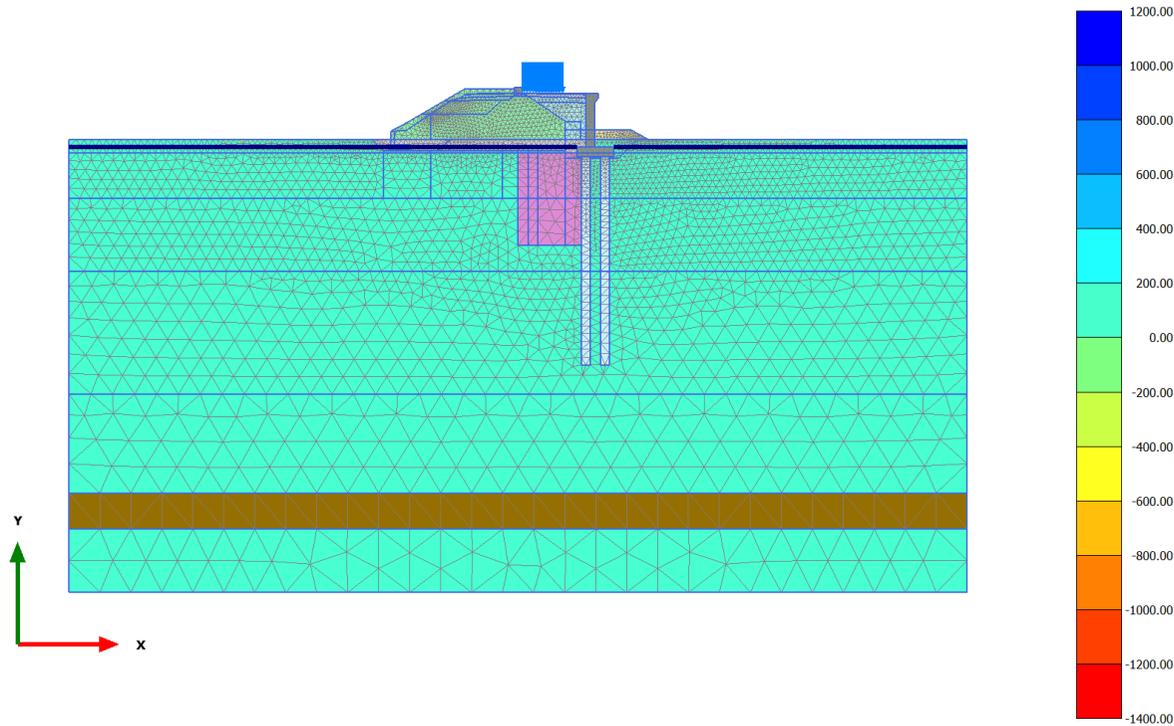


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time $47.07 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.000 m (Element 6984 at Node 7746)

Minimum value = -0.1050 m (Element 706 at Node 4537)

2.2.1.1.1 Calculation results, armamento dx [Phase_11] (11/89), Isotropic overconsolidation ratio

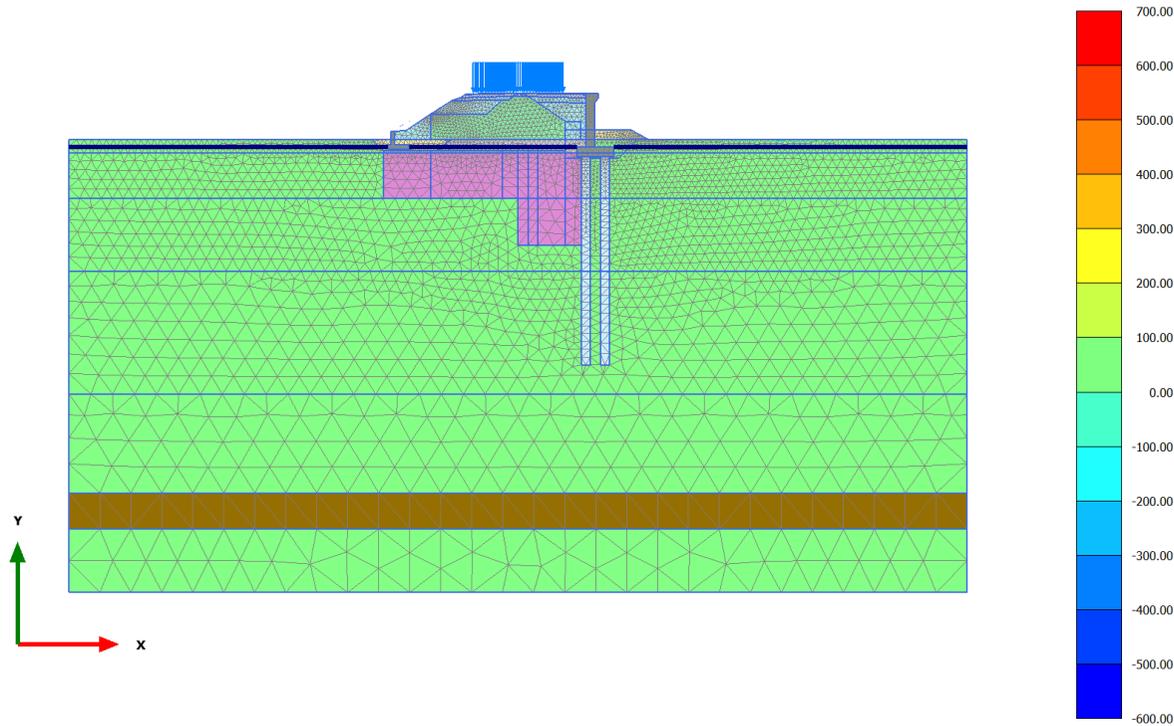


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.32 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 1000 (Element 2834 at Node 7715)

Minimum value = -1370 (Element 2247 at Node 3402)

2.2.1.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_21] (21/138), Isotropic overconsolidation ratio

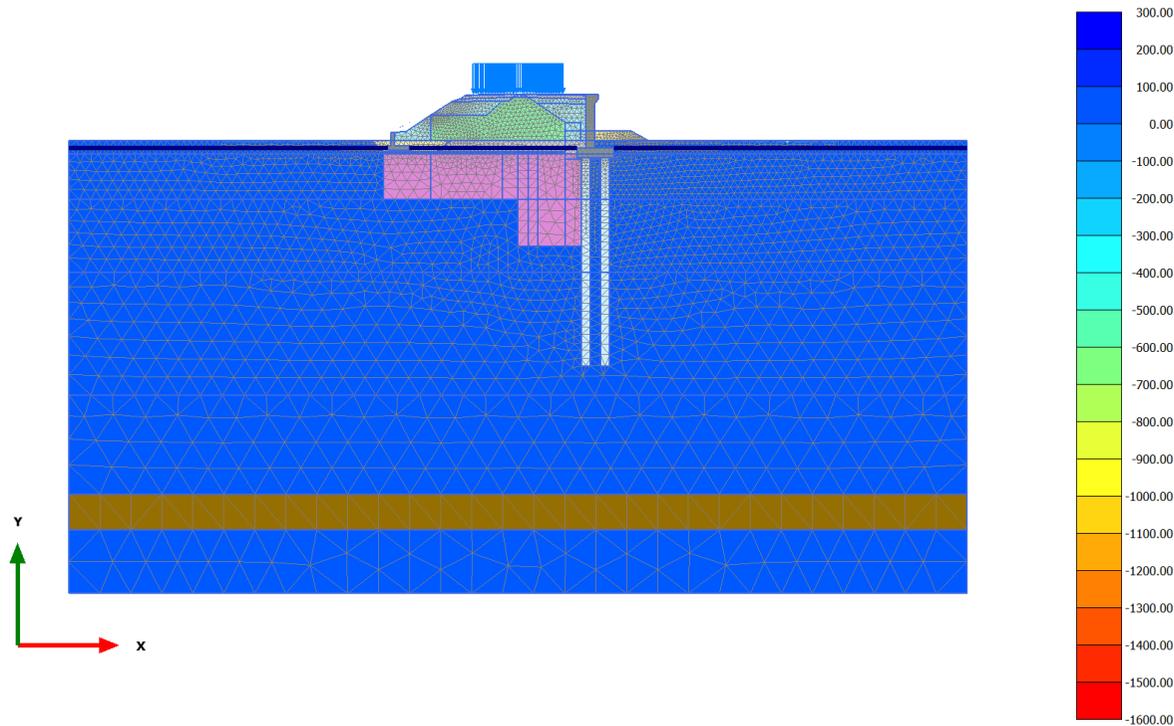


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.70 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 647.4 (Element 2627 at Node 12329)

Minimum value = -530.3 (Element 2611 at Node 12585)

2.2.1.1.3 Calculation results, consolidazione n.ril. 1 anno [Phase_23] (23/148), Isotropic overconsolidation ratio

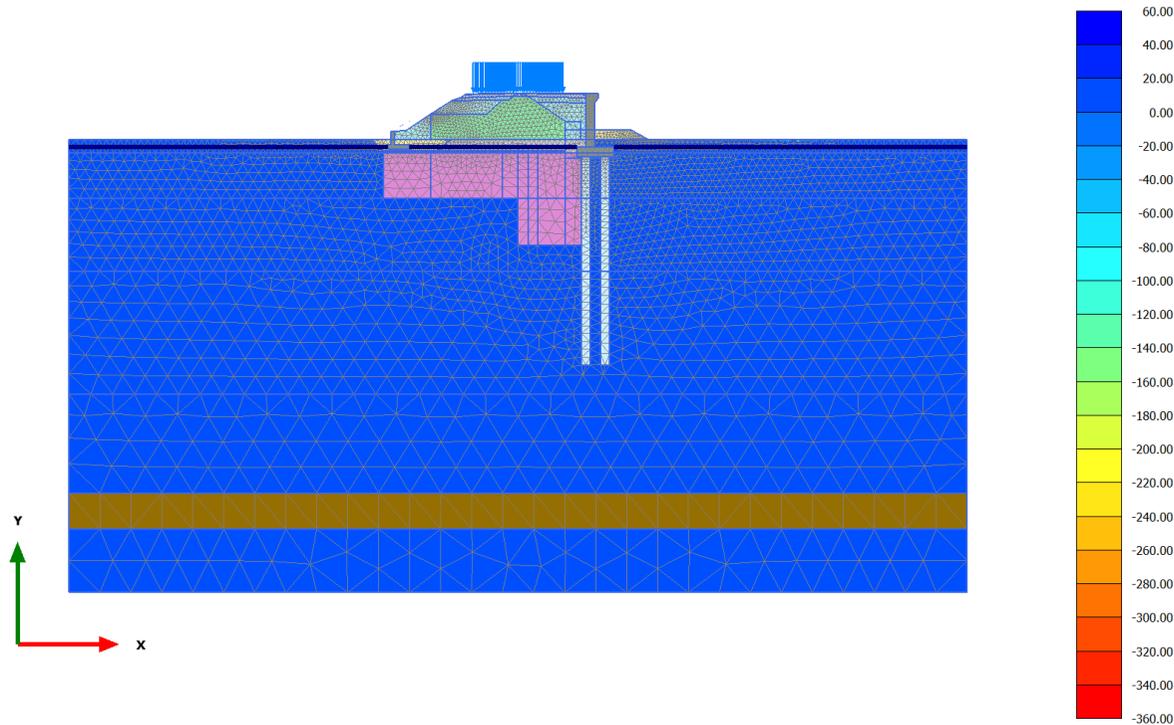


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $20.07 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 291.3 (Element 2624 at Node 12393)

Minimum value = -1508 (Element 2592 at Node 12760)

2.2.1.1.4 Calculation results, consolidazione n.ril. 75 anni [Phase_27] (27/192), Isotropic overconsolidation ratio

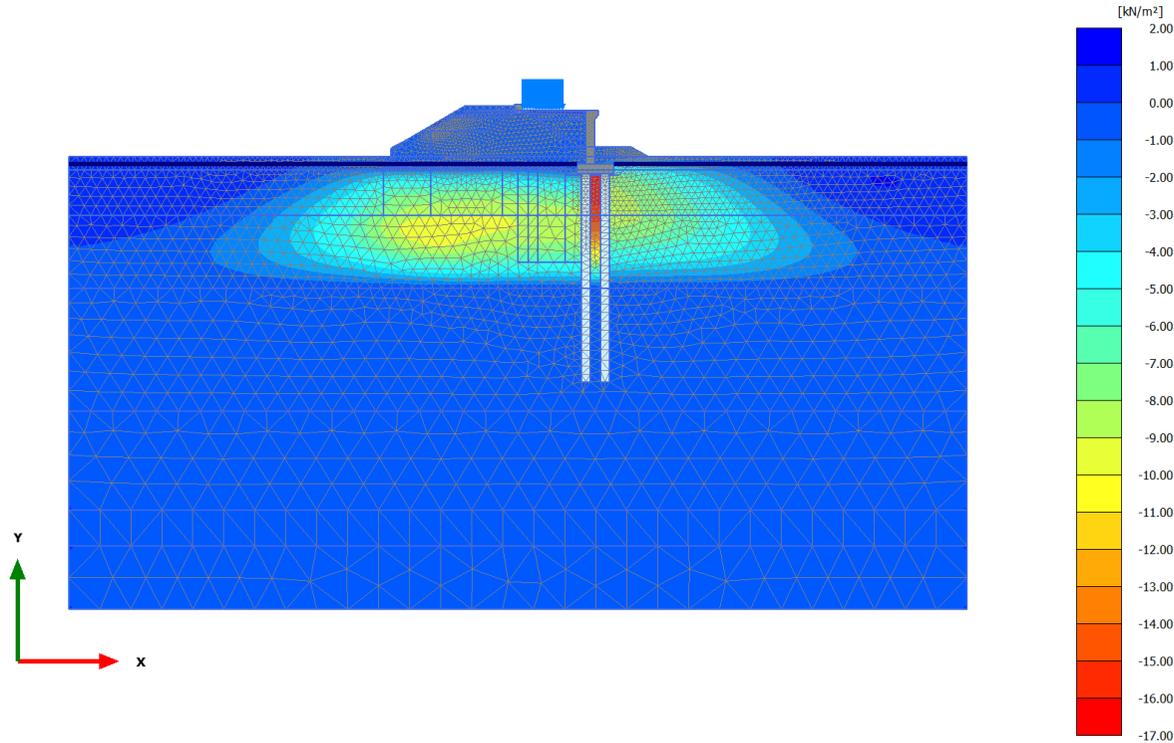


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $47.07 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 52.13 (Element 2571 at Node 12925)

Minimum value = -341.9 (Element 2560 at Node 13072)

2.2.2.1.1 Calculation results, armamento dx [Phase_11] (11/89), Excess pore pressures p_{excess}

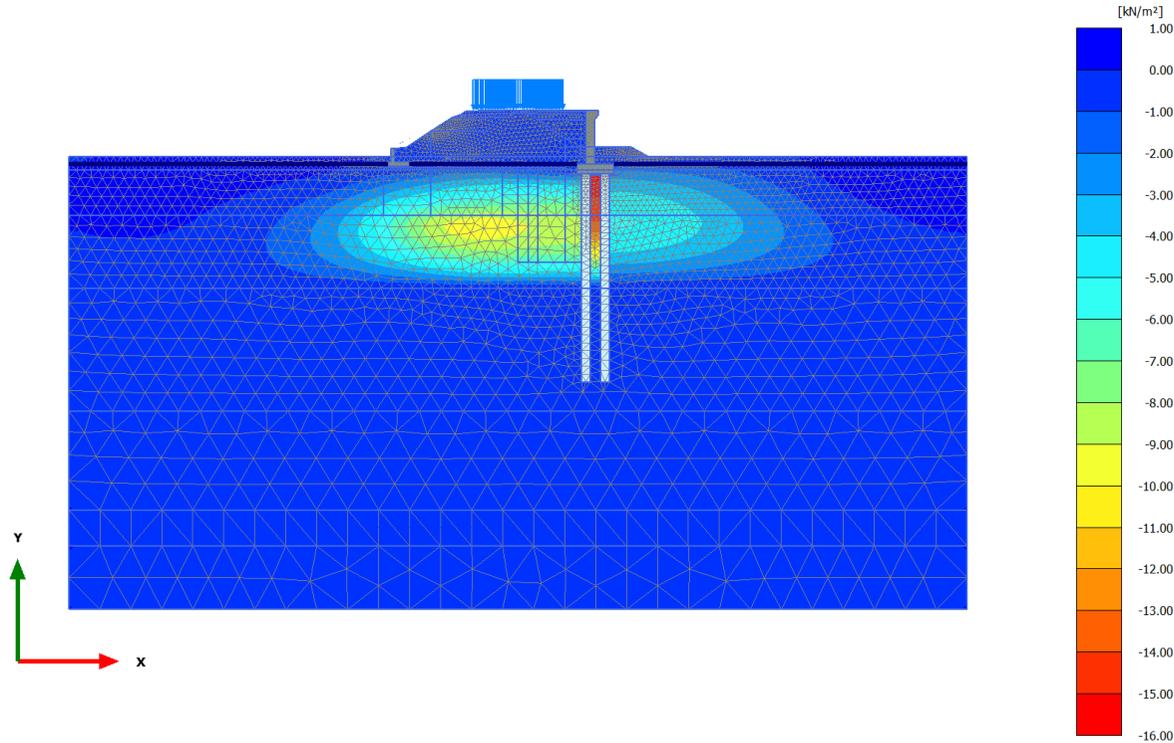


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 0.200 times) (Pressure = negative) (Time $19.32 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 1.040 kN/m² (Element 3813 at Node 14351)

Minimum value = -16.37 kN/m² (Element 2990 at Node 6900)

2.2.2.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_21] (21/138), Excess pore pressures p_{excess}

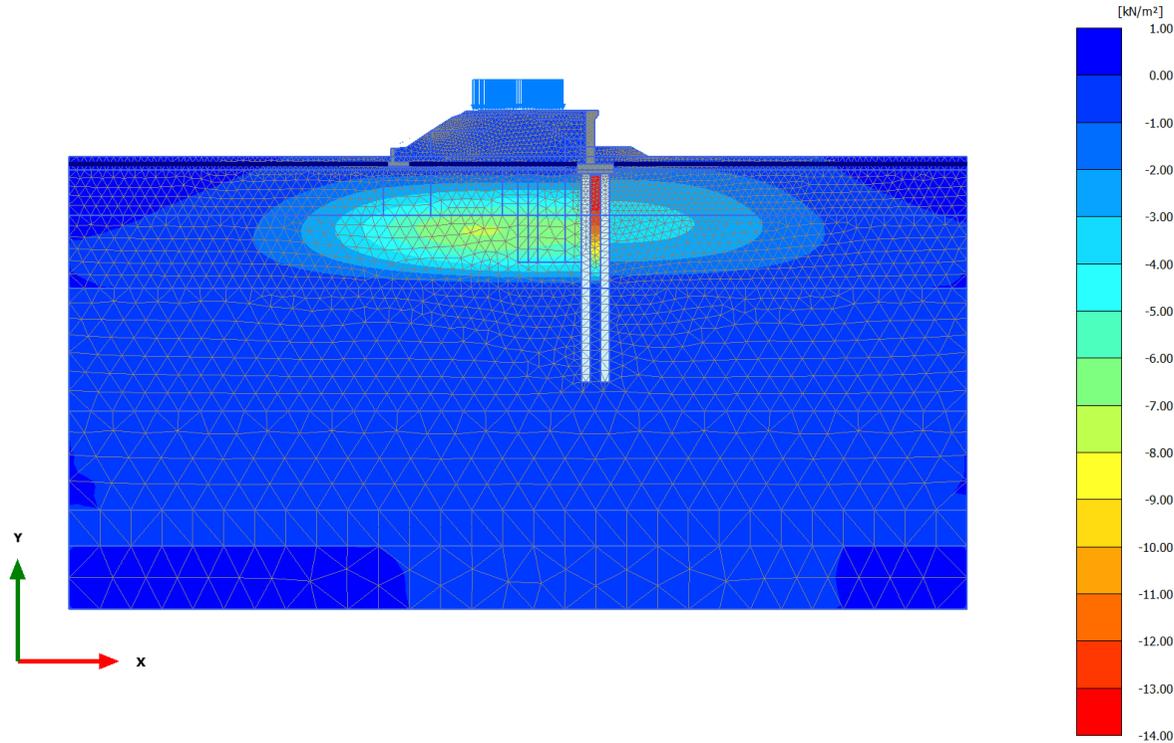


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 0.200 times) (Pressure = negative) (Time $19.70 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.3987 kN/m^2 (Element 3844 at Node 14367)

Minimum value = -15.17 kN/m^2 (Element 2990 at Node 6900)

2.2.2.1.3 Calculation results, consolidazione n.ril. 1 anno [Phase_23] (23/148), Excess pore pressures p_{excess}

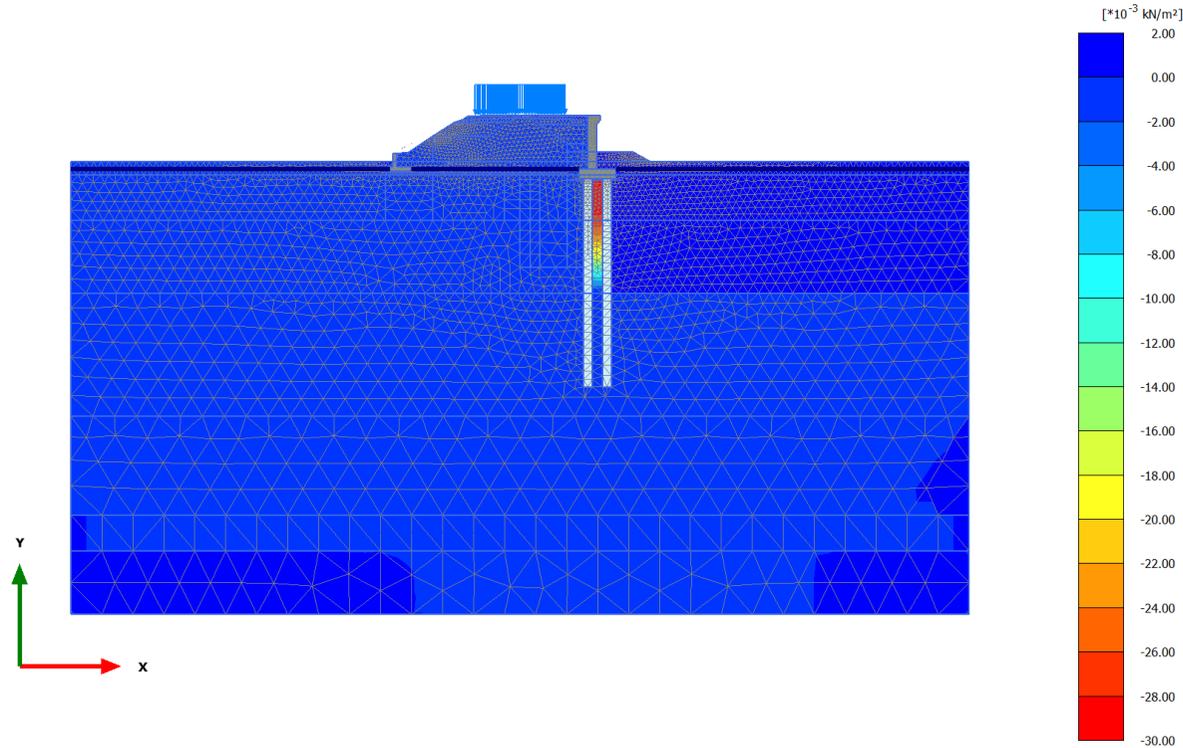


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 0.200 times) (Pressure = negative) (Time $20.07 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.1494 kN/m² (Element 3842 at Node 14404)

Minimum value = -13.76 kN/m² (Element 2990 at Node 6900)

2.2.2.1.4 Calculation results, consolidazione n.ril. 75 anni [Phase_27] (27/192), Excess pore pressures p_{excess}

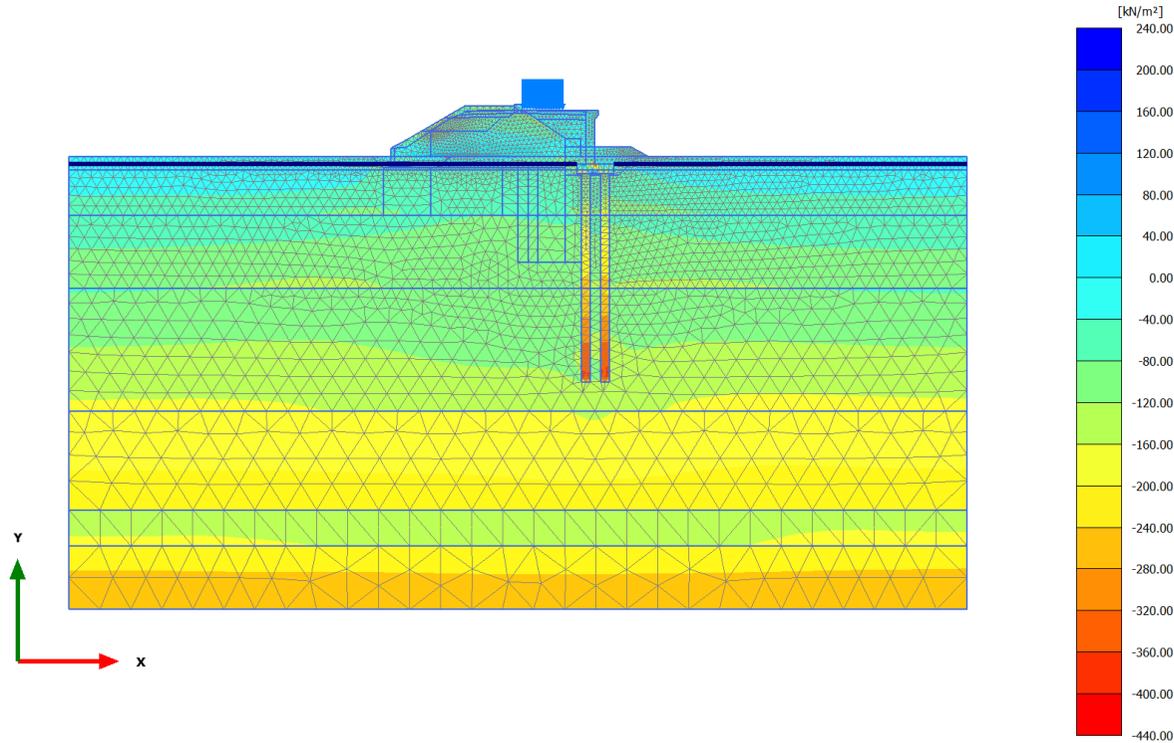


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 100 times) (Pressure = negative) (Time $47.07 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $0.4117 \cdot 10^{-3}$ kN/m² (Element 5271 at Node 9972)

Minimum value = -0.02960 kN/m² (Element 2995 at Node 6903)

2.2.3.1.1 Calculation results, armamento dx [Phase_11] (11/89), Cartesian effective stress σ'_{xx}

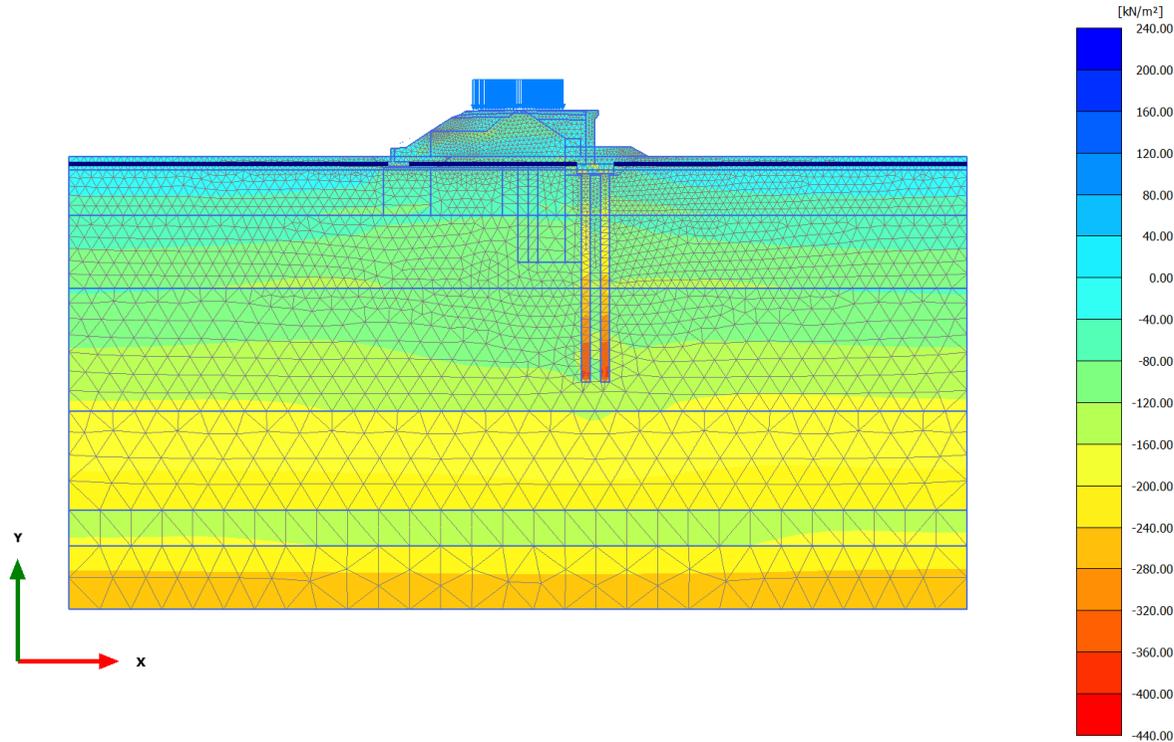


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.32 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 236.1 kN/m² (Element 2961 at Node 6157)

Minimum value = -427.4 kN/m² (Element 5776 at Node 11418)

2.2.3.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_21] (21/138), Cartesian effective stress σ'_{xx}

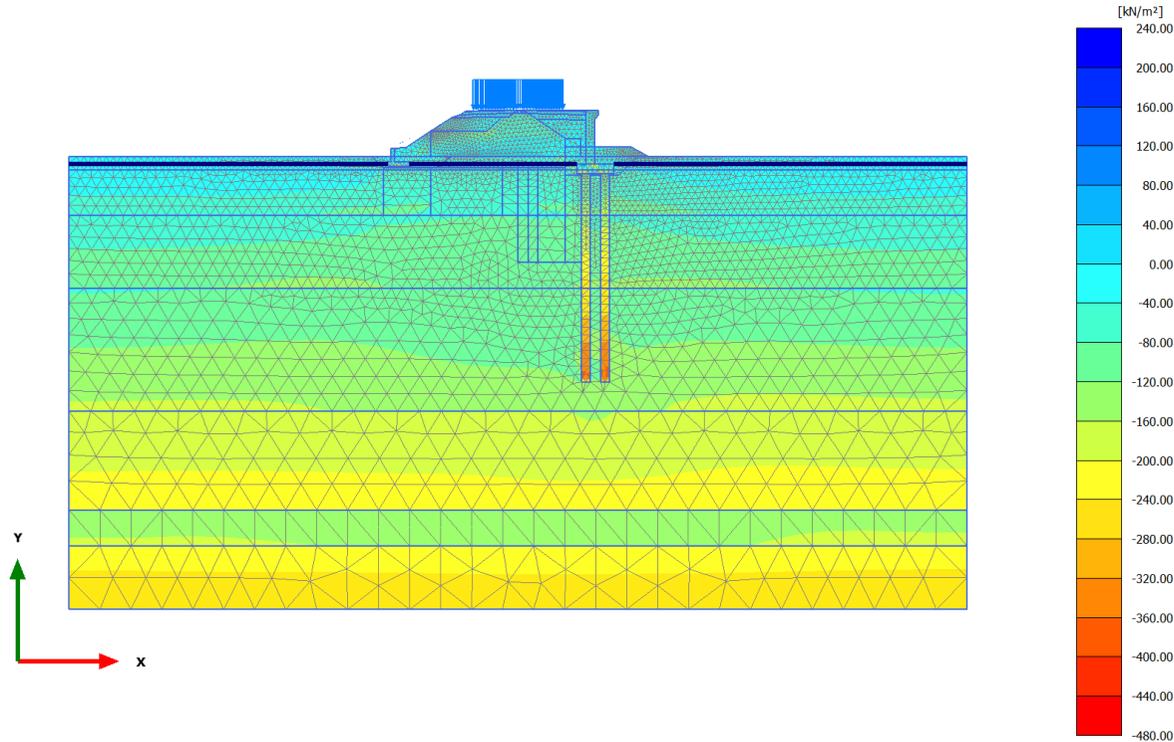


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.70 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 200.4 kN/m² (Element 2857 at Node 5241)

Minimum value = -428.6 kN/m² (Element 5776 at Node 11418)

2.2.3.1.3 Calculation results, consolidazione n.ril. 1 anno [Phase_23] (23/148), Cartesian effective stress σ'_{xx}

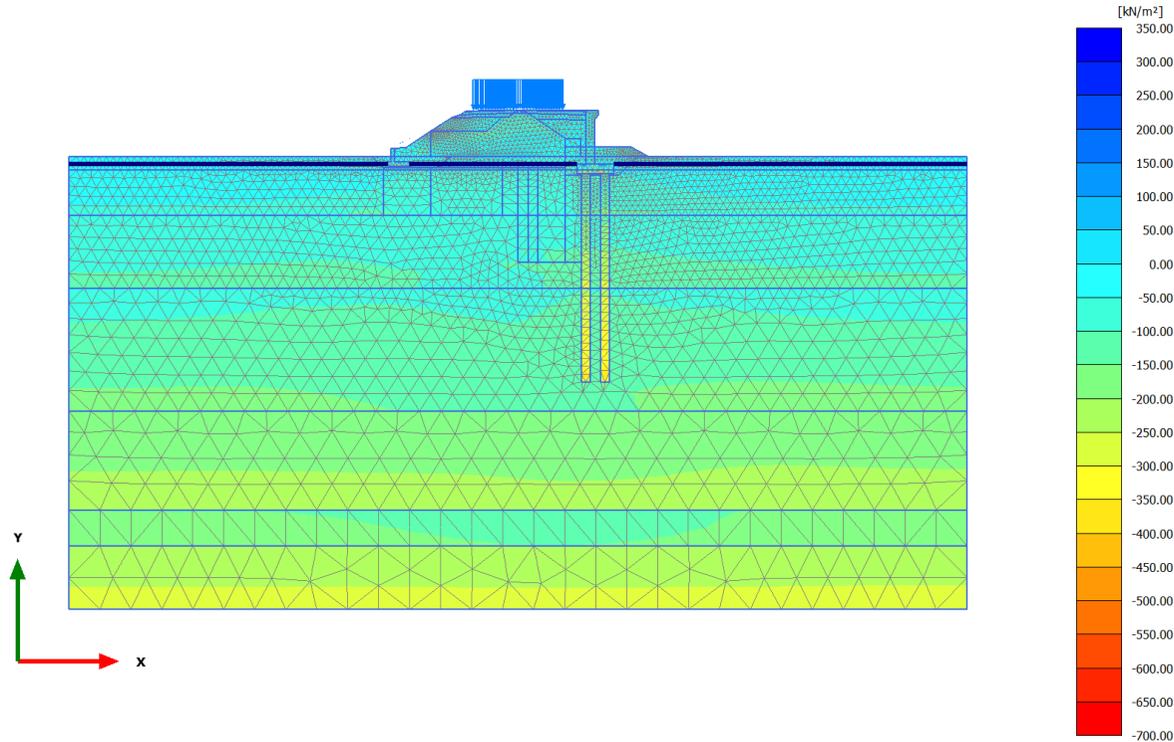


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $20.07 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 213.8 kN/m² (Element 2857 at Node 5241)

Minimum value = -441.0 kN/m² (Element 2965 at Node 6906)

2.2.3.1.4 Calculation results, consolidazione n.ril. 75 anni [Phase_27] (27/192), Cartesian effective stress σ'_{xx}

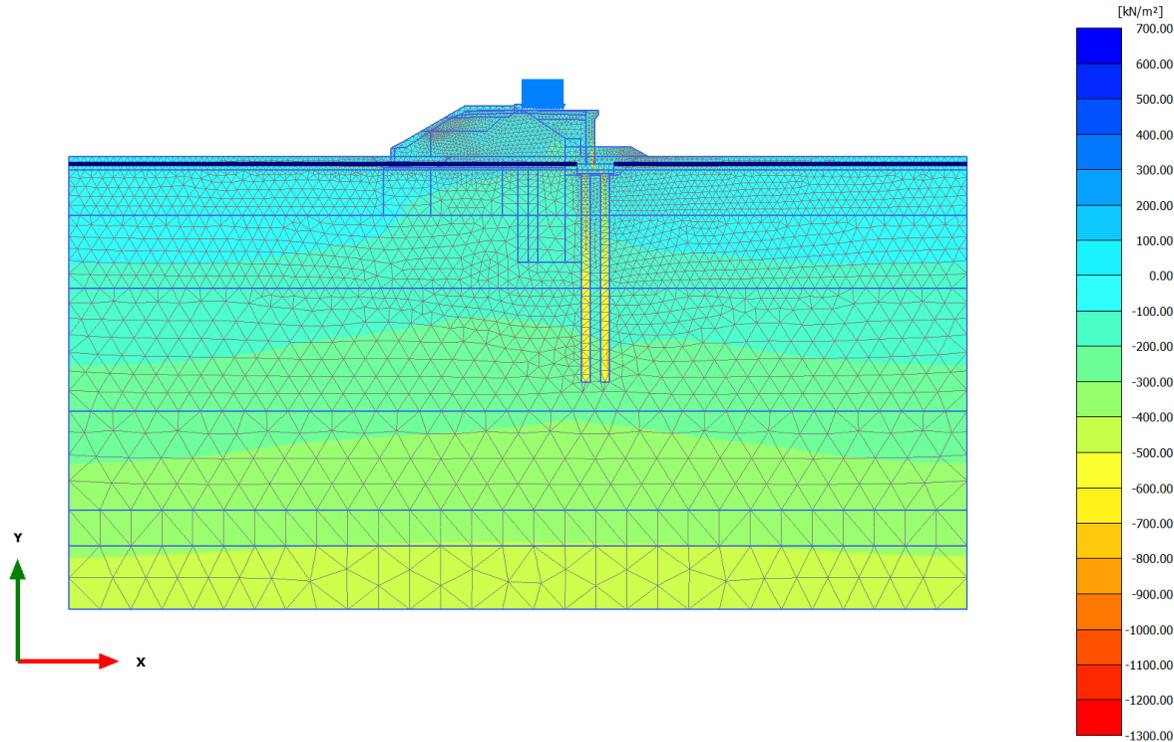


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $47.07 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 306.5 kN/m² (Element 2857 at Node 5241)

Minimum value = -677.1 kN/m² (Element 2955 at Node 6905)

2.2.3.2.1 Calculation results, armamento dx [Phase_11] (11/89), Cartesian effective stress σ'_{yy}

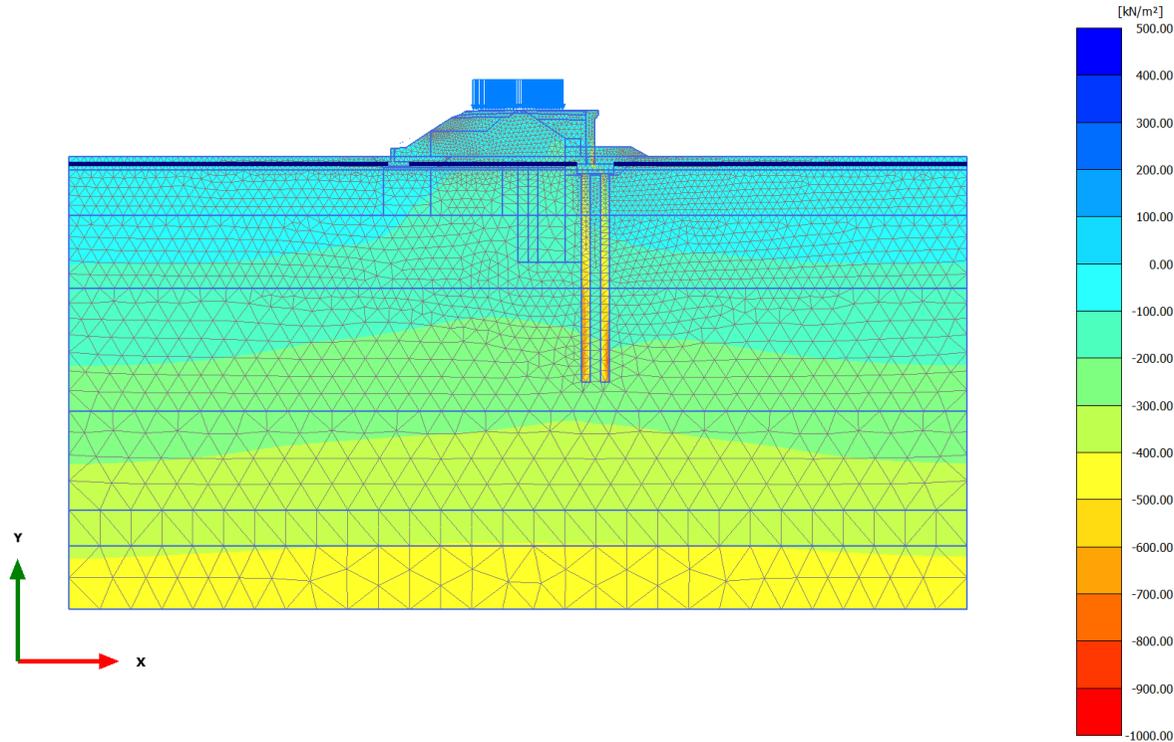


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.32 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 623.6 kN/m² (Element 1725 at Node 5513)

Minimum value = -1251 kN/m² (Element 1731 at Node 5639)

2.2.3.2.2 Calculation results, armamento sx [Phase_21] (21/138), Cartesian effective stress σ'_{yy}

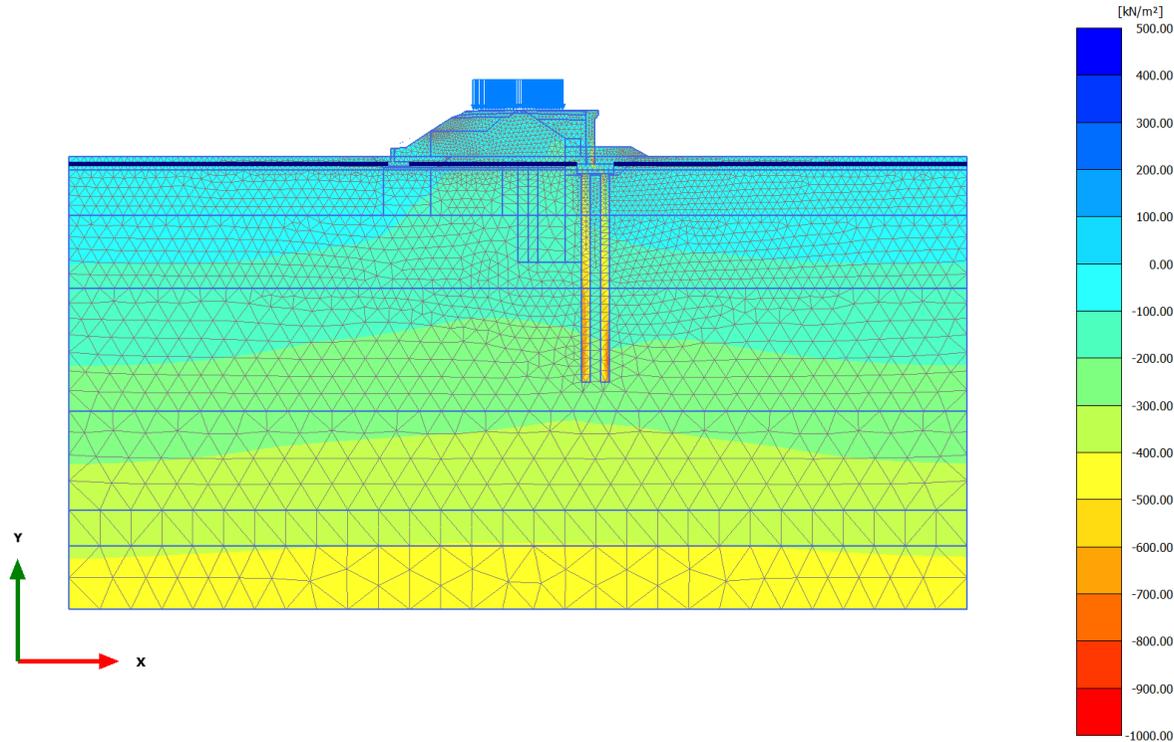


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.70 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 425.2 kN/m² (Element 1725 at Node 5513)

Minimum value = -988.4 kN/m² (Element 1731 at Node 5639)

2.2.3.2.3 Calculation results, consolidazione n.ril. 1 anno [Phase_23] (23/148), Cartesian effective stress σ'_{yy}

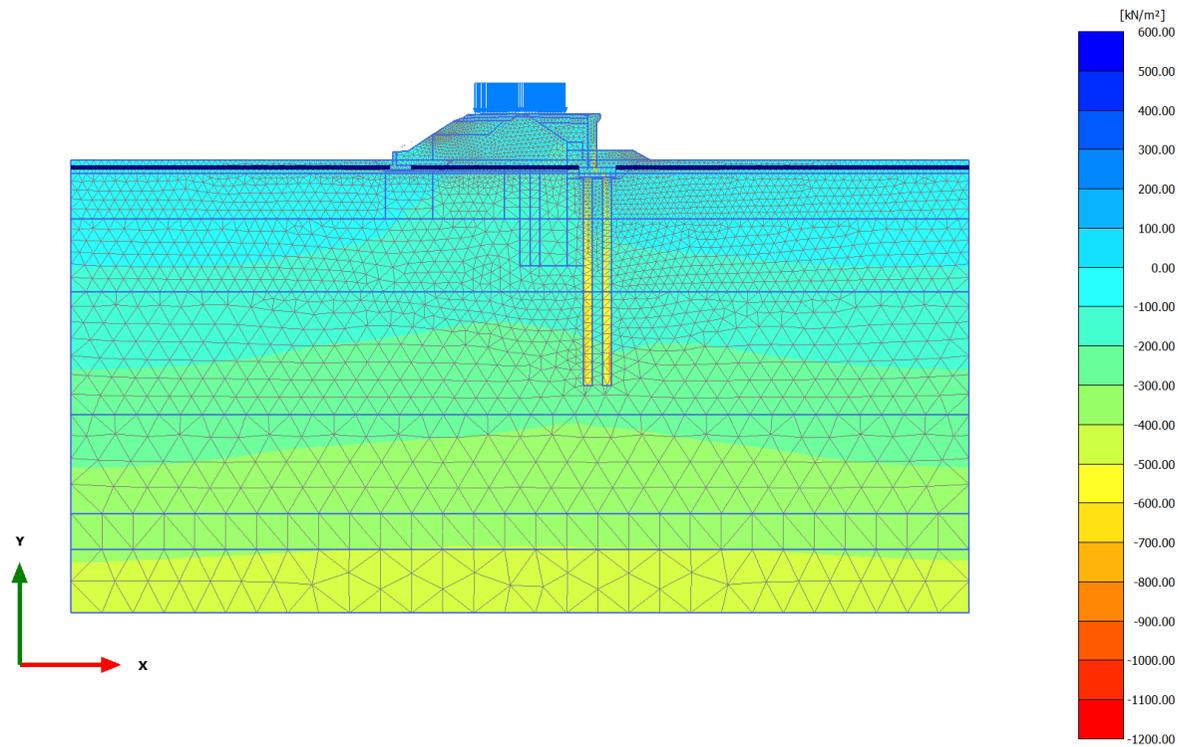


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $20.07 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 418.0 kN/m² (Element 1725 at Node 5513)

Minimum value = -978.8 kN/m² (Element 1731 at Node 5639)

2.2.3.2.4 Calculation results, consolidazione n.ril. 75 anni [Phase_27] (27/192), Cartesian effective stress σ'_{yy}



Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $2.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $47.07 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 565.4 kN/m² (Element 1725 at Node 5513)

Minimum value = -1192 kN/m² (Element 4490 at Node 6905)



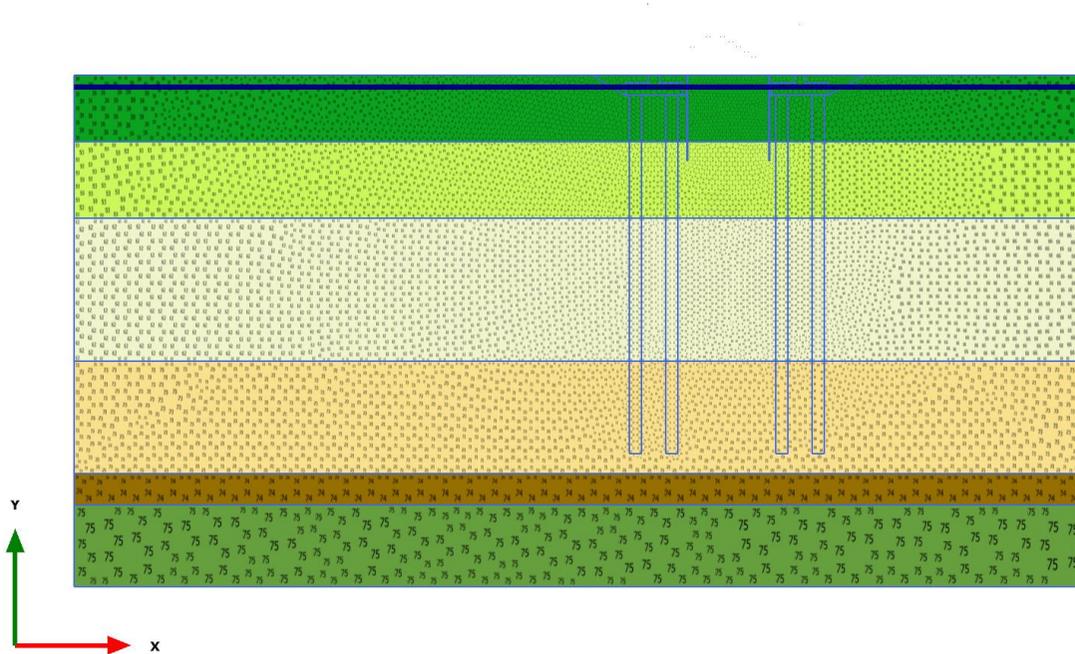
VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA - PESCARA.
RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA
- CHIETI. LOTTO 1: TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM
SAN GIOVANNI TEATINO
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ECONOMICA

RELAZIONE DI CALCOLO RILEVATI 0+000-1+250

| | | | | | |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|----------------------|
| COMMESSA IA4S | LOTTO 01 D29 | CODIFICA CL | DOCUMENTO GE0006 001 | REV. A | FOGLIO 358 di 419 |
|------------------|-----------------|----------------|-------------------------|-----------|----------------------|

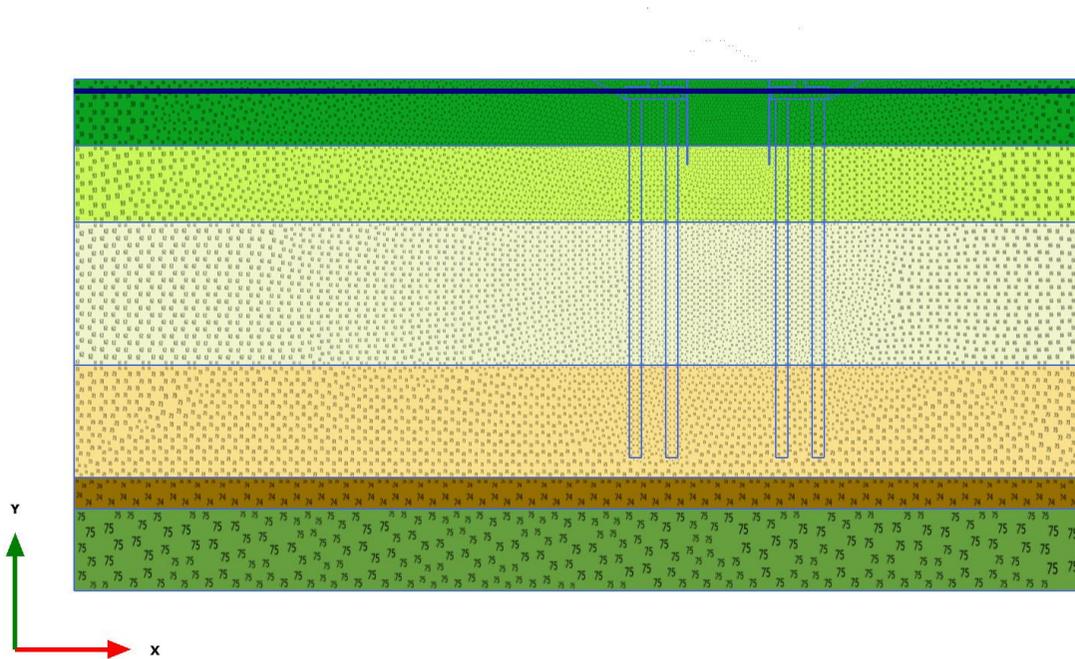
ALLEGATO E – RISULTATI ANALISI PLAXIS FERMATA SAN MARCO

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



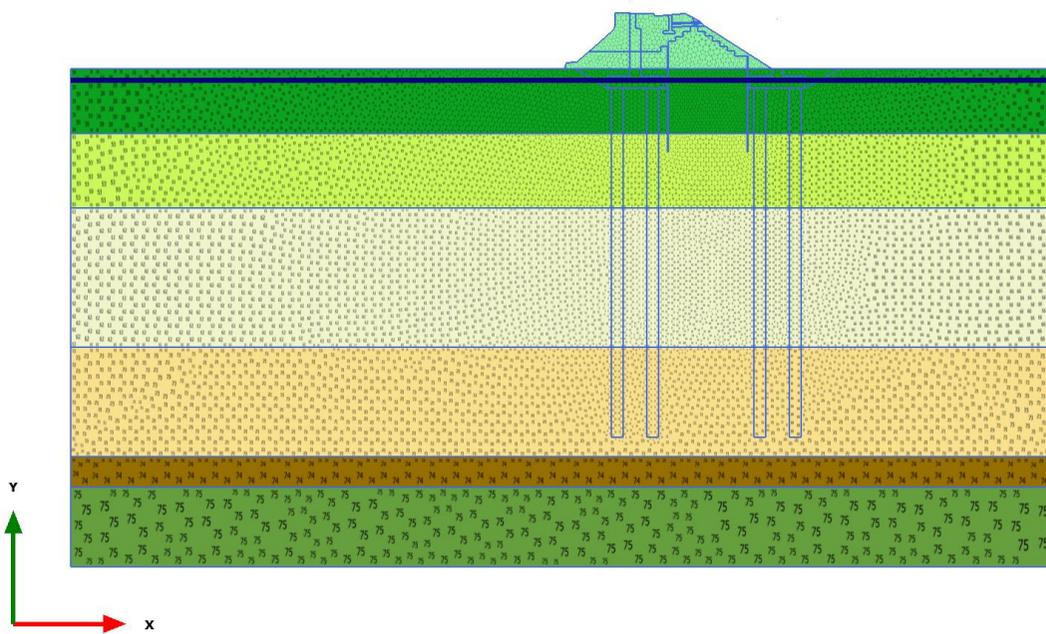
Connectivity plot

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



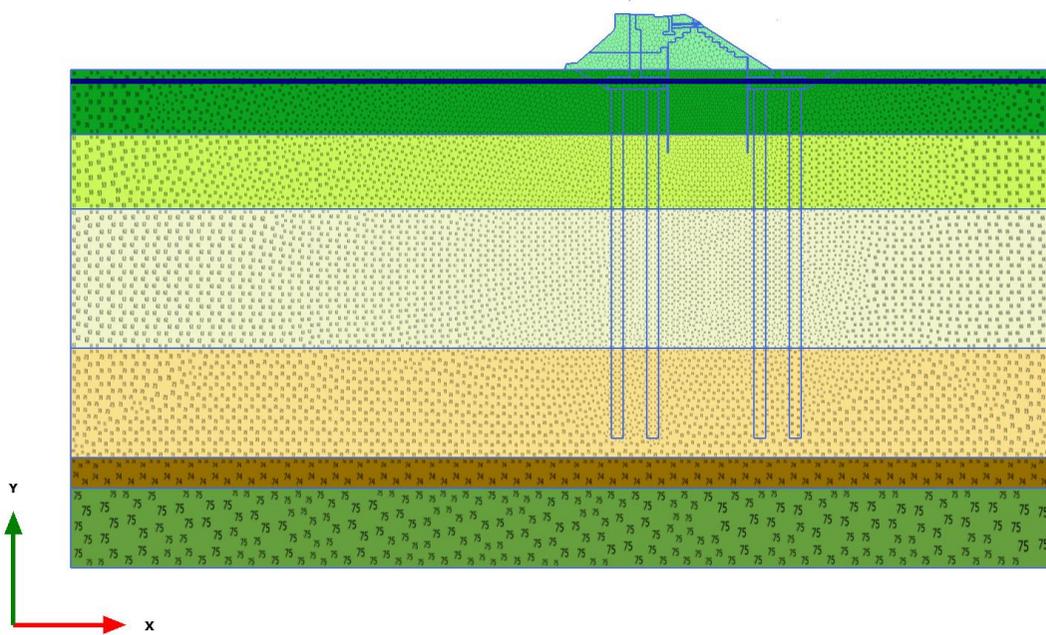
Connectivity plot

1.1.1.3 Calculation results, costr. ril. esistente [Phase_2] (2/44), Connectivity plot



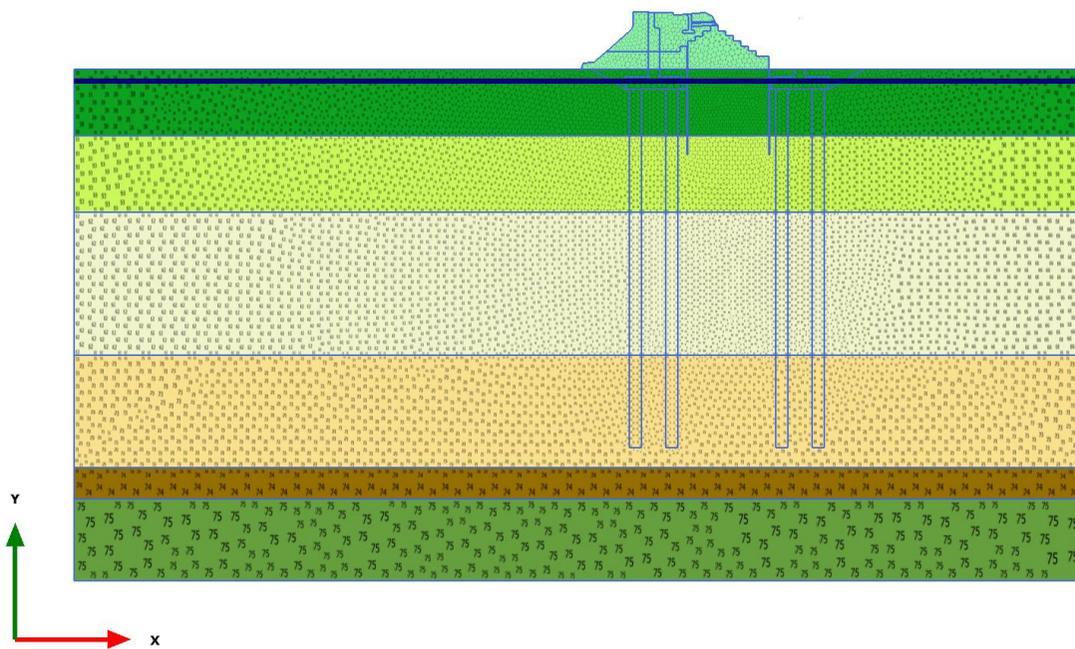
Connectivity plot

1.1.1.4 Calculation results, consolidaz. ril. esistente [Phase_3] (3/86), Connectivity plot



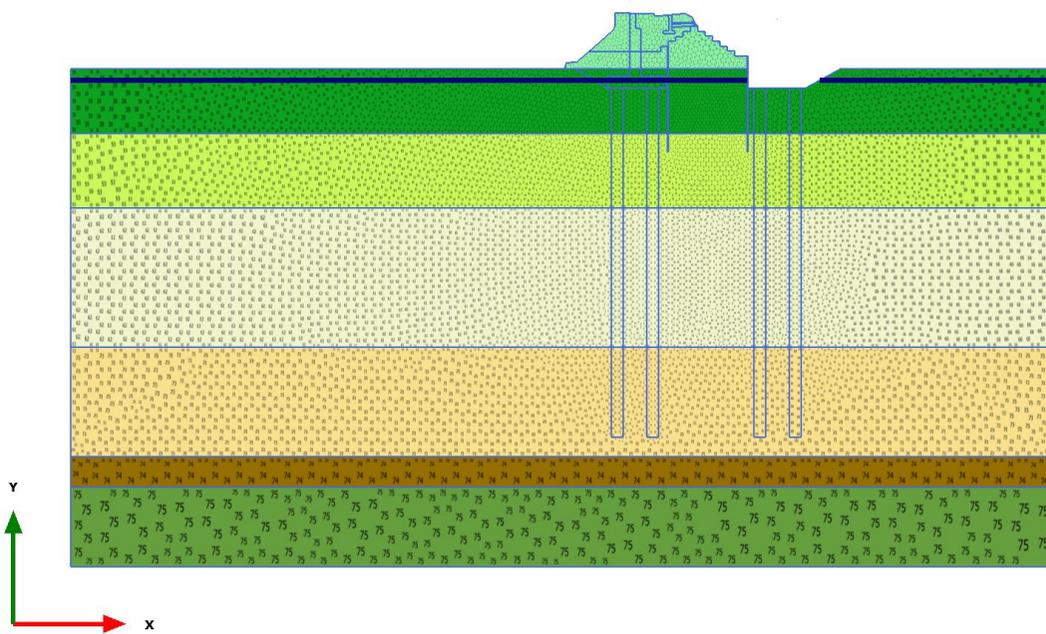
Connectivity plot

1.1.1.5 Calculation results, scavo ril. dx [Phase_4] (4/91), Connectivity plot



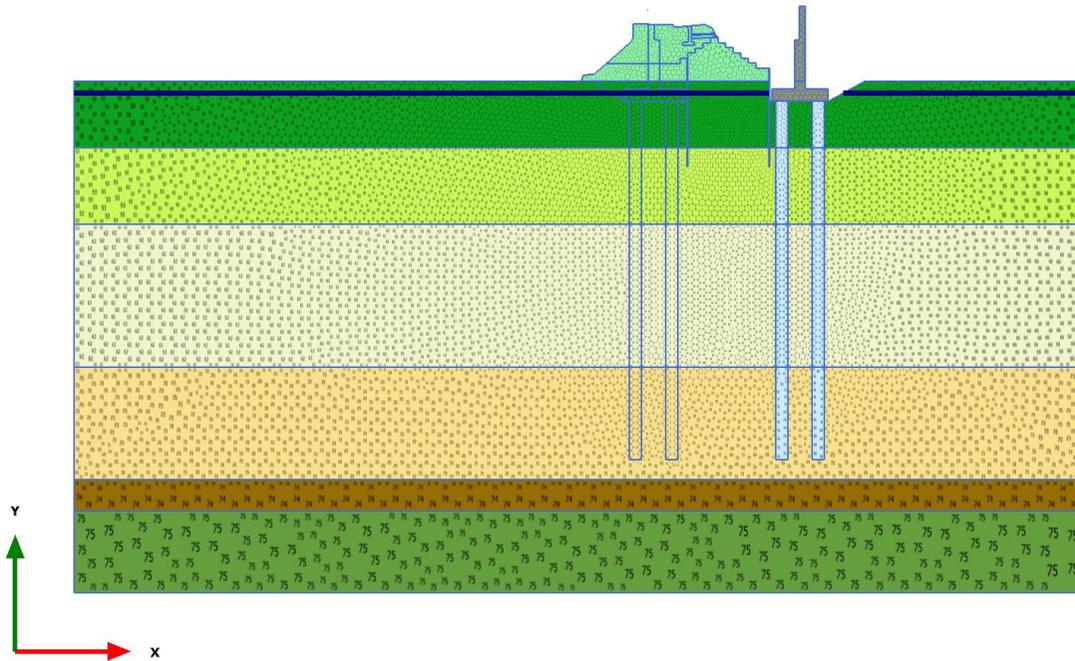
Connectivity plot

1.1.1.6 Calculation results, palancola+scavo piede [Phase_5] (5/96), Connectivity plot



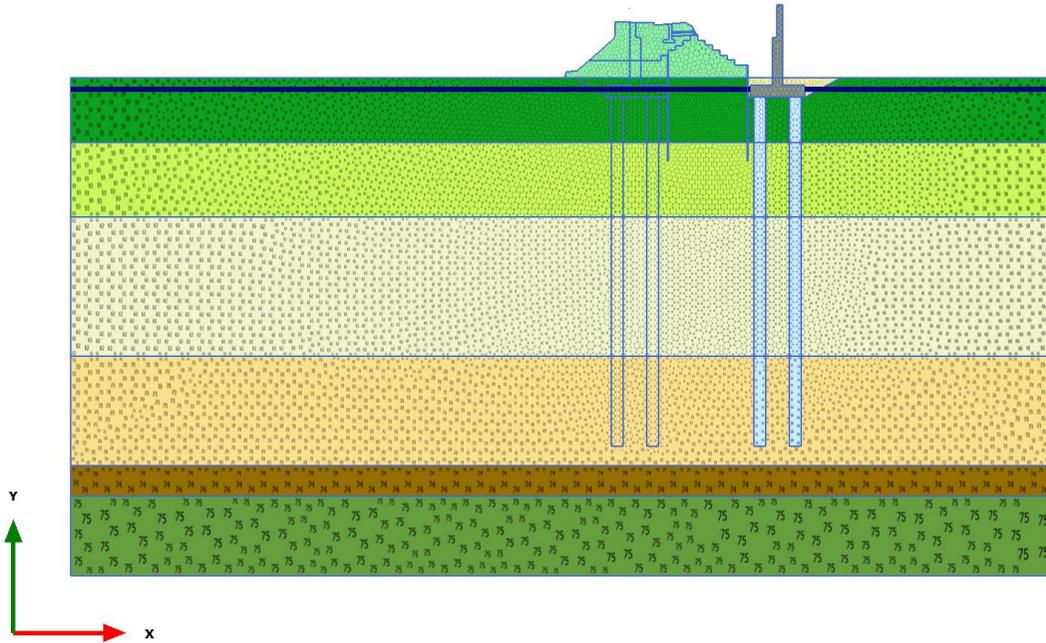
Connectivity plot

1.1.1.7 Calculation results, pali+plinto [Phase_6] (6/100), Connectivity plot



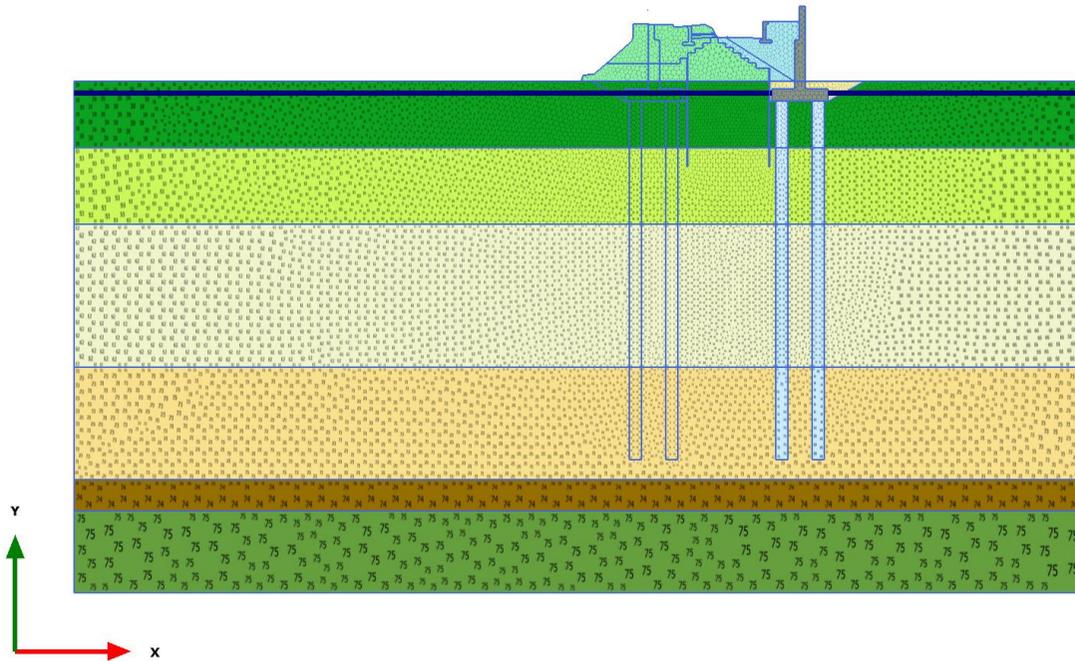
Connectivity plot

1.1.1.8 Calculation results, riempimento piede [Phase_7] (7/102), Connectivity plot



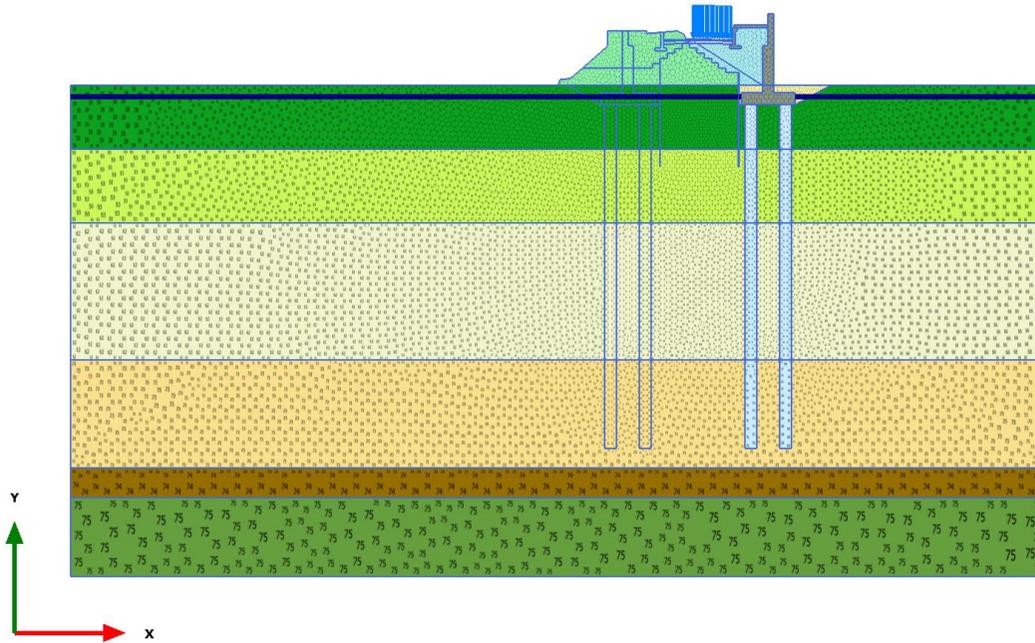
Connectivity plot

1.1.1.9 Calculation results, rilevato dx [Phase_19] (19/107), Connectivity plot



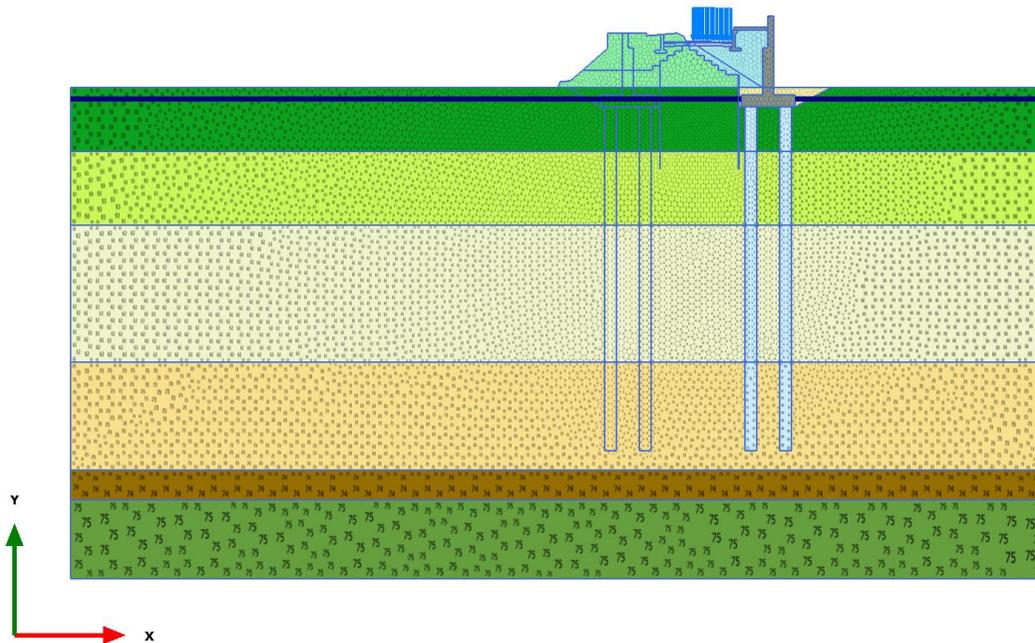
Connectivity plot

1.1.1.10 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/116), Connectivity plot



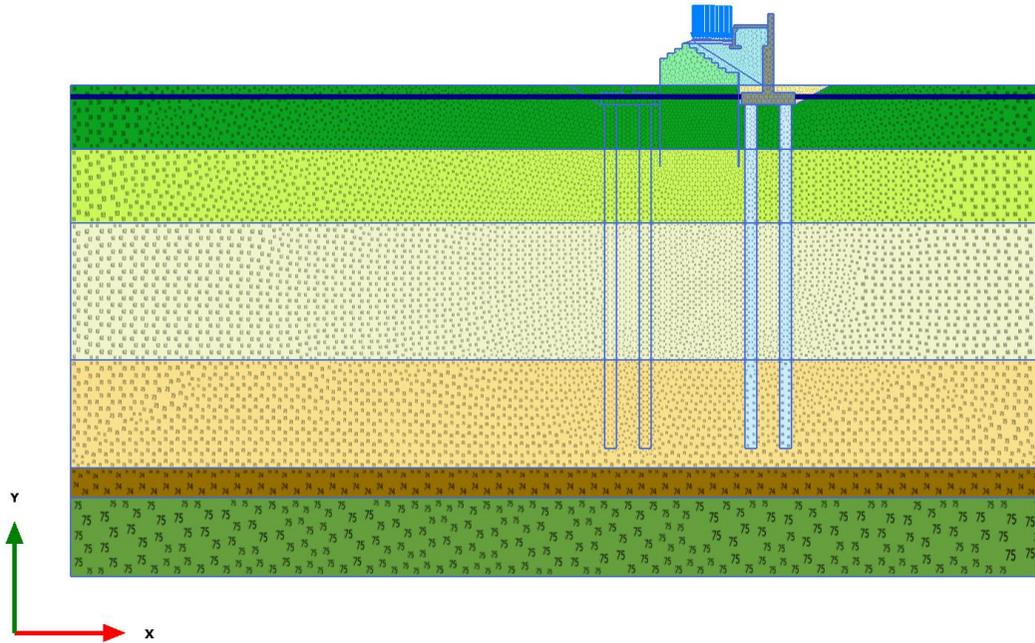
Connectivity plot

1.1.1.11 Calculation results, esercizio nuova linea [Phase_14] (14/119), Connectivity plot



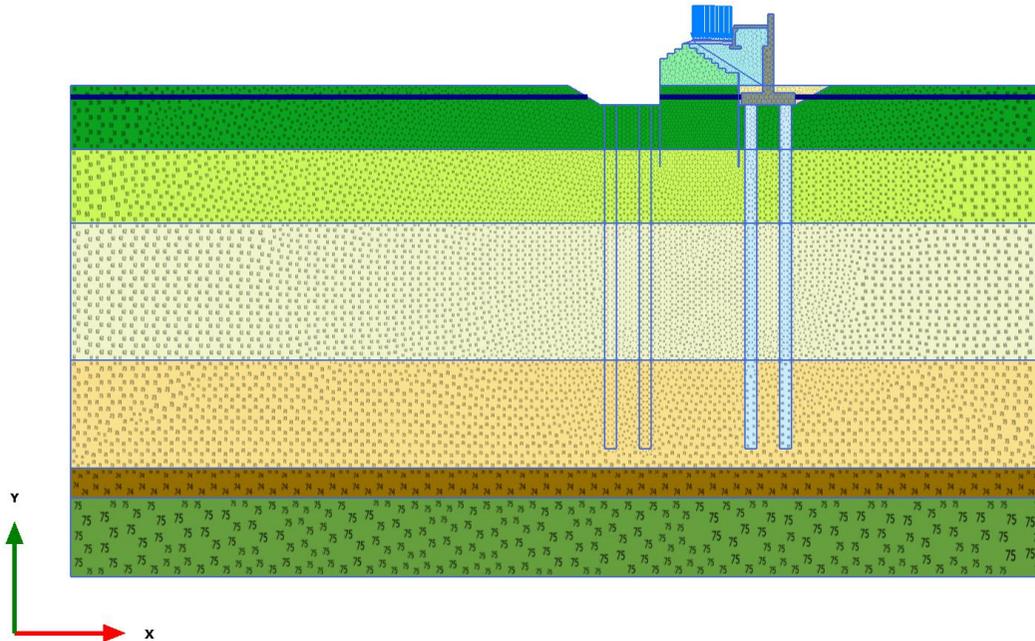
Connectivity plot

1.1.1.12 Calculation results, scavo rilevato sx [Phase_9] (9/125), Connectivity plot



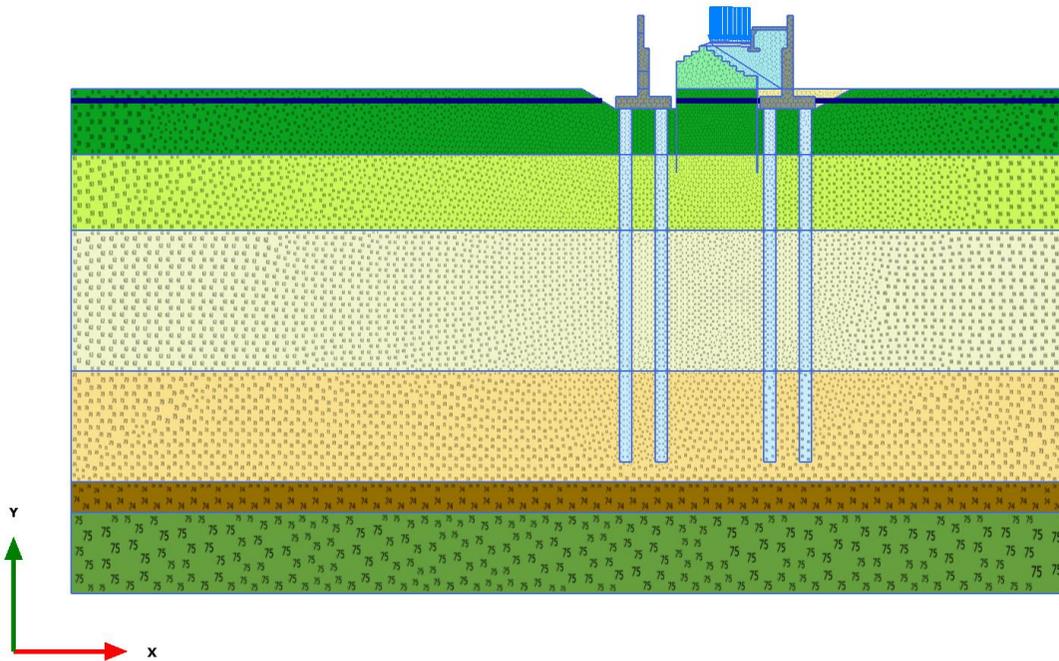
Connectivity plot

1.1.1.13 Calculation results, palancola+scavo piede [Phase_10] (10/131), Connectivity plot



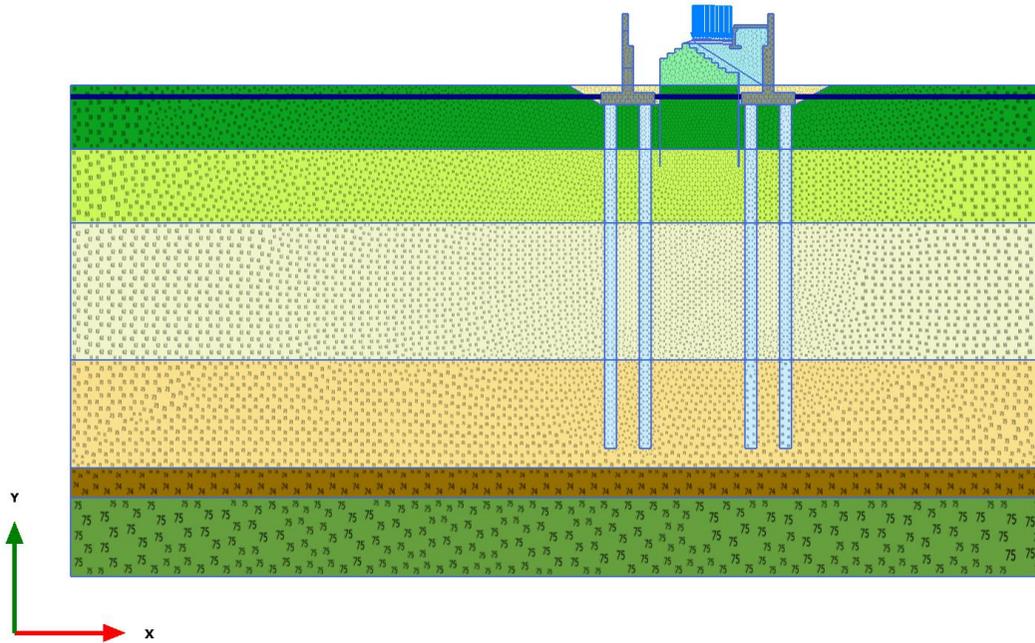
Connectivity plot

1.1.1.14 Calculation results, pali+muro [Phase_20] (20/142), Connectivity plot



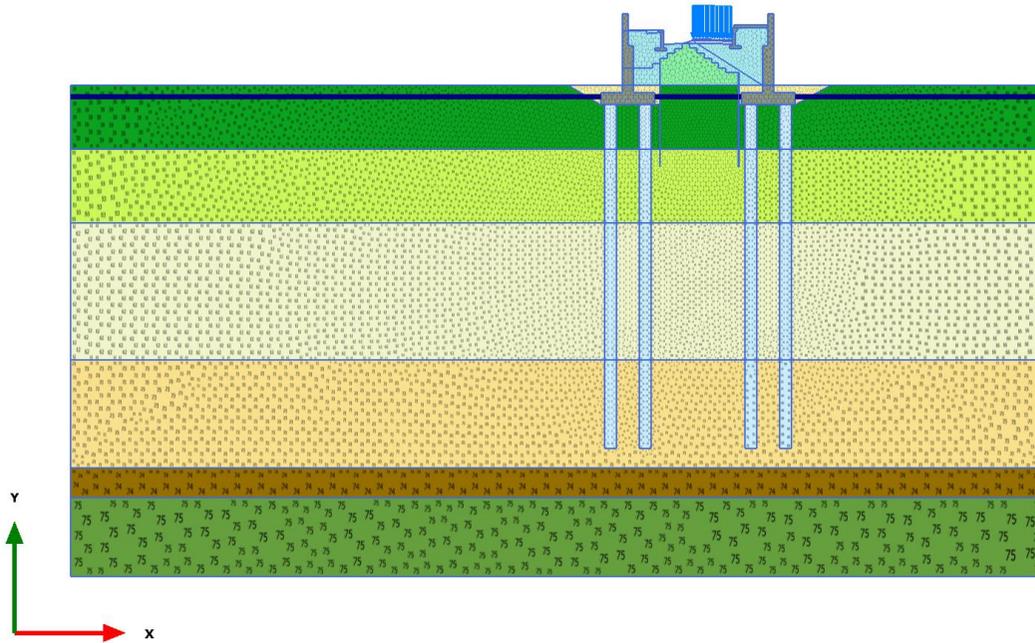
Connectivity plot

1.1.1.15 Calculation results, bonifico piede [Phase_21] (21/146), Connectivity plot



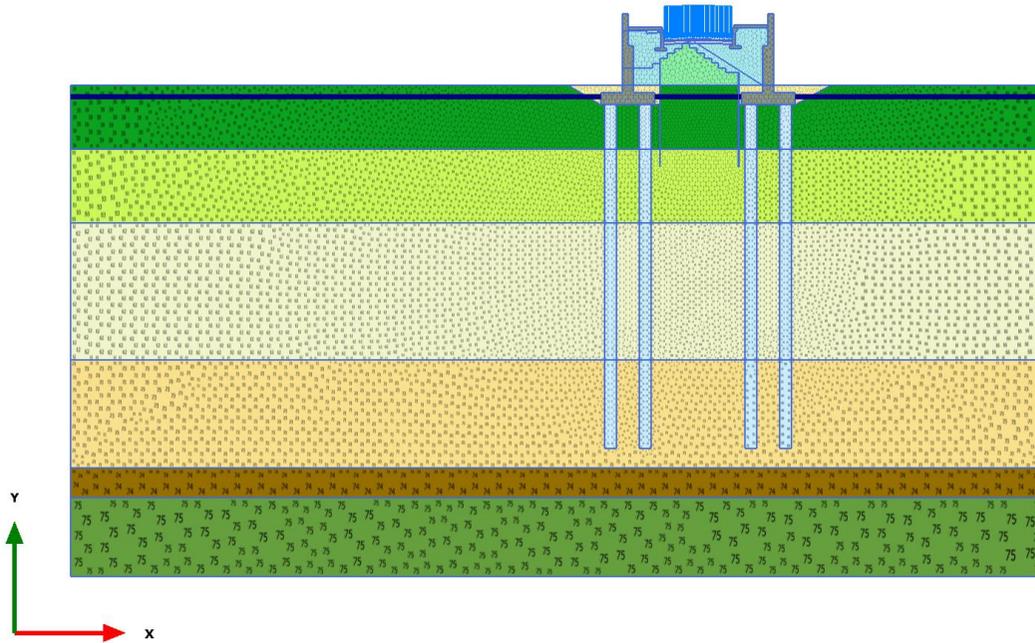
Connectivity plot

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



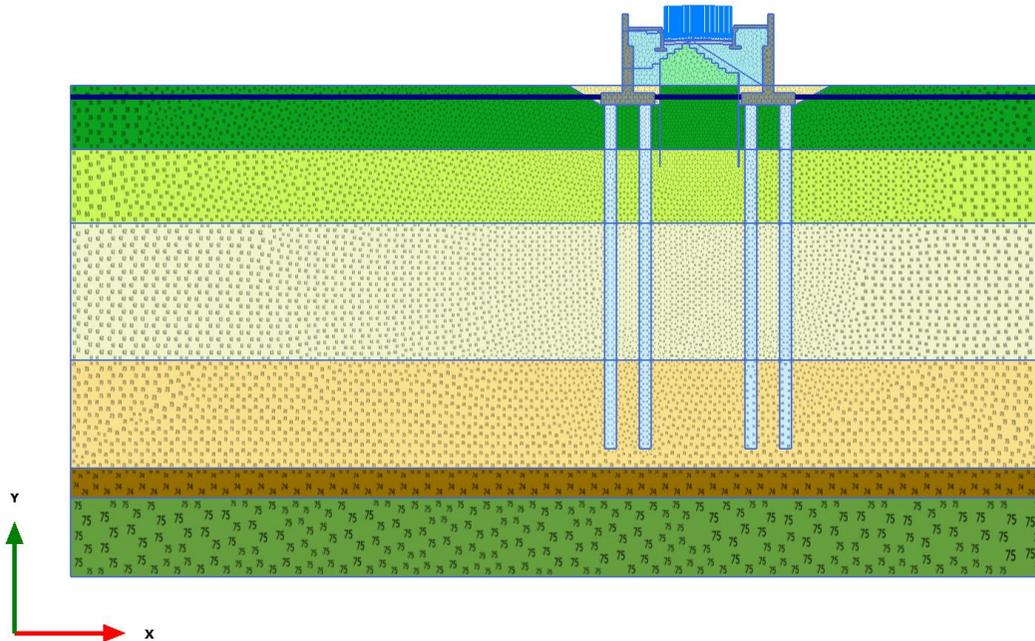
Connectivity plot

1.1.1.17 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/164), Connectivity plot



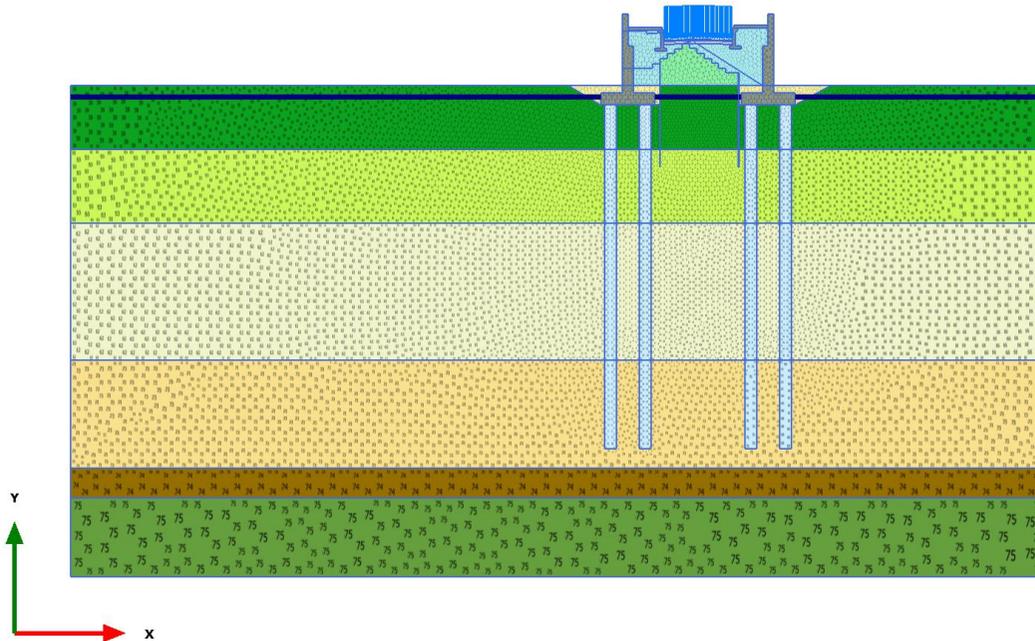
Connectivity plot

1.1.1.18 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/172), Connectivity plot



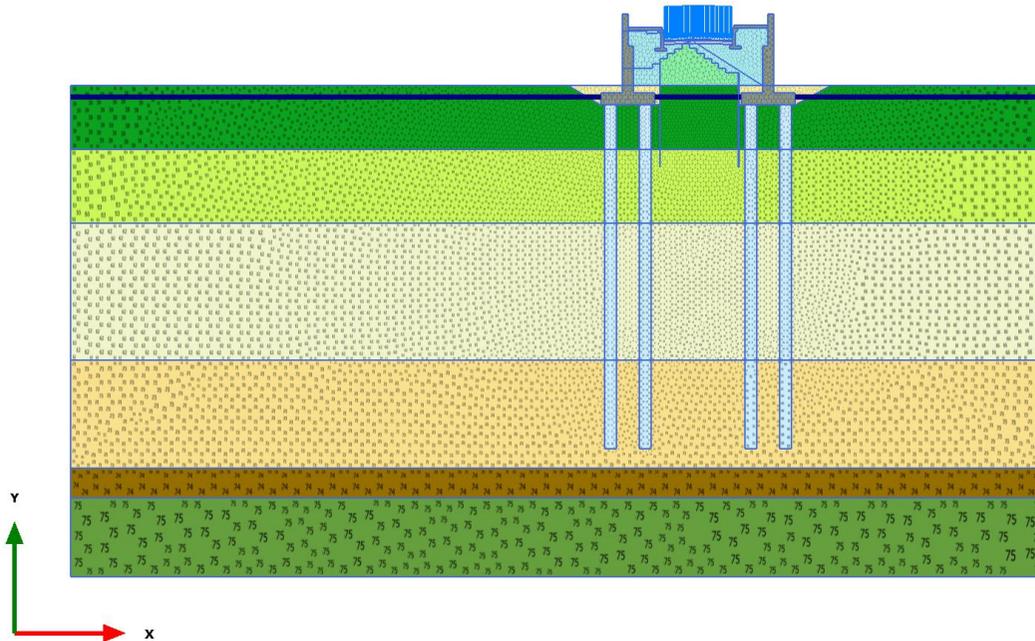
Connectivity plot

1.1.1.19 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (2 anni) [Phase_15] (15/180), Connectivity plot



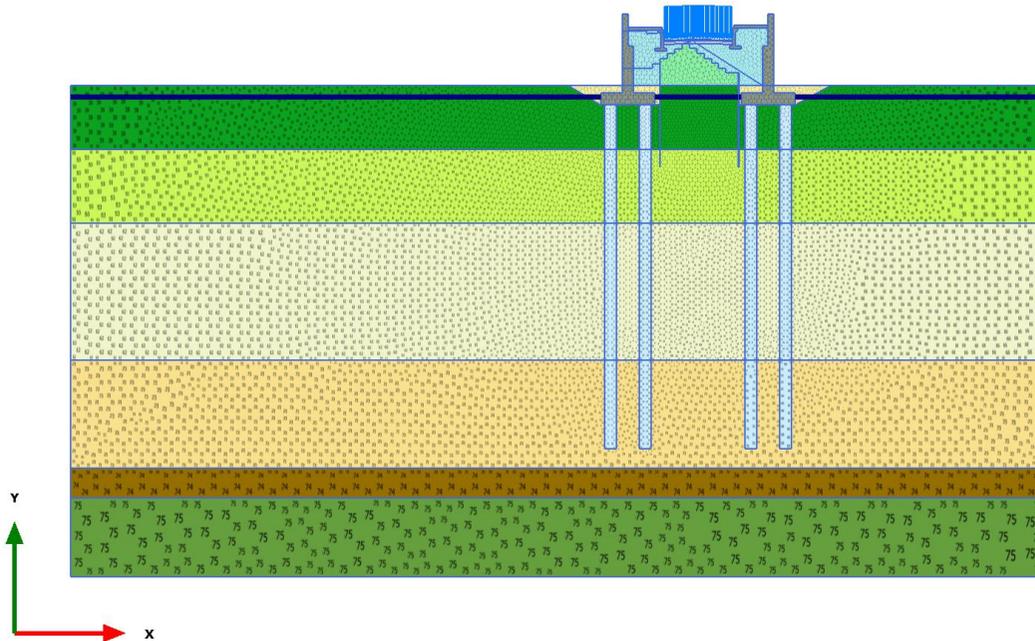
Connectivity plot

1.1.1.20 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (10 anni) [Phase_16] (16/191), Connectivity plot



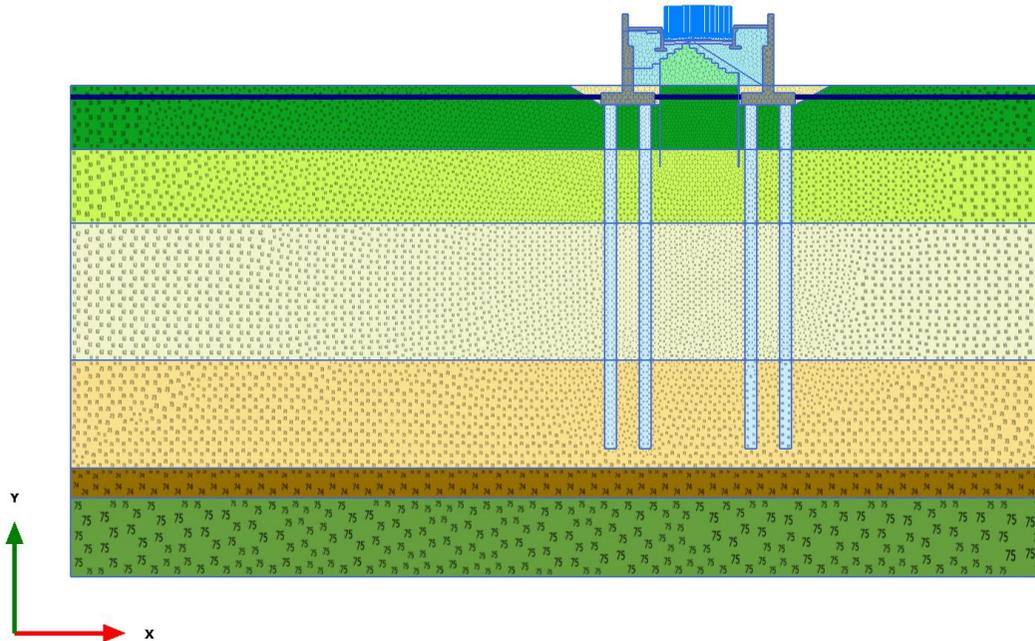
Connectivity plot

1.1.1.21 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (30 anni) [Phase_17] (17/203), Connectivity plot



Connectivity plot

1.1.1.22 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/215), Connectivity plot



Connectivity plot

| 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

| 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} | | 0.6199 | 0.9338 | 0.6437 | 0.5809 | 1.164 |
| K _{0,z} | | 0.6199 | 0.9338 | 0.6437 | 0.5809 | 1.164 |
| OCR | | 1.200 | 1.600 | 1.100 | 1.050 | 2.200 |
| 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 |

| 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 | | | | | | |
| γ_{unsat} | kN/m ³ | 19.00 | 20.00 | 19.00 | 20.00 | 19.00 |
| γ_{sat} | kN/m ³ | 19.00 | 20.00 | 19.00 | 20.00 | 19.00 |
| Dilatancy cut-off | | No | No | No | No | No |
| ϵ_{init} | | 0.5000 | 0.5000 | 0.5000 | 0.5000 | 0.5000 |
| ϵ_{min} | | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| ϵ_{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 |
| ν (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 |

| Identification | | G,S | supercompattato | rilevato | sub-ballast | BONIFICO |
|-------------------------------------|-----------------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|-------------|
| Consider gap closure | | Yes | Yes | Yes | Yes | Yes |
| $\bar{\sigma}_{inter}$ | | 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 |

| 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 |

Identification

Riporto antropico esistente

Identification number

14

Drainage type

Drained

Colour



Comments

γ_{unsat}

kN/m³

19.00

γ_{sat}

kN/m³

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/m²

15.00E3

ν (nu)

0.3000

G

kN/m²

5769

E_{oed}

kN/m²

20.19E3

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

| 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 |

| Identification | | Riporto antropico esistente |
|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| $\bar{\sigma}_{inter}$ | | 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

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

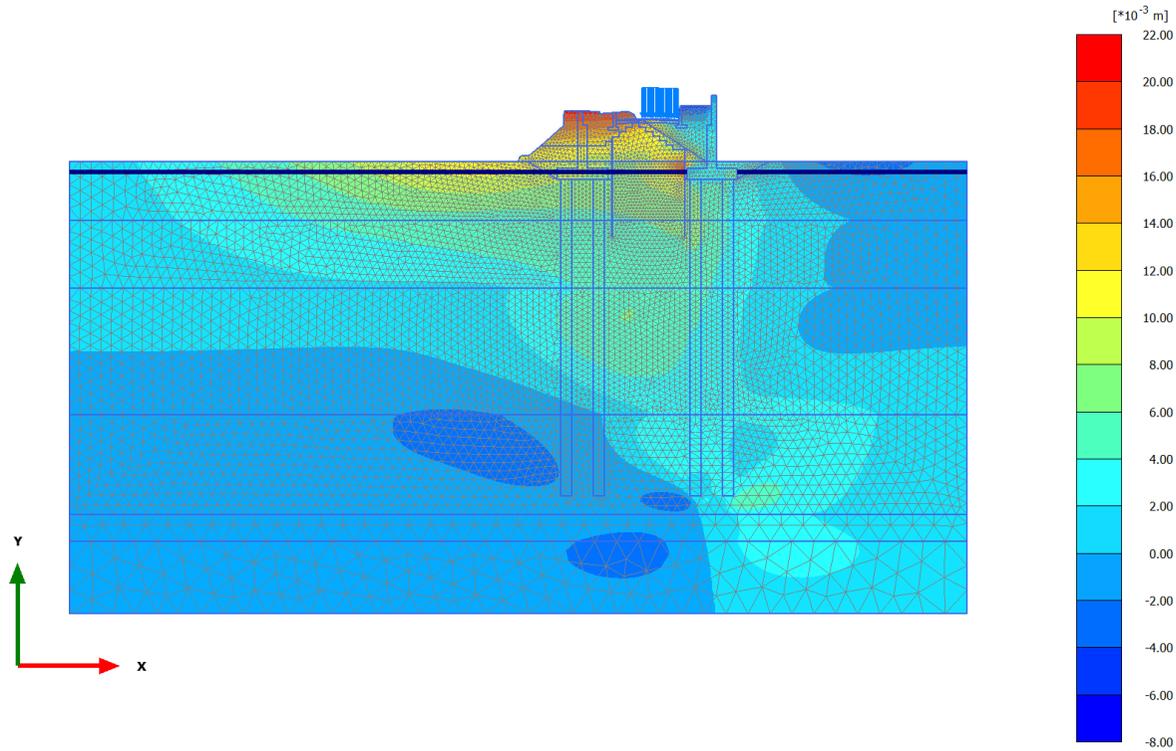
| Identification | | cls | Rilevato esistente | pali |
|-----------------------|-------------------|---|---|---|
| Identification number | | 9 | 10 | 13 |
| Drainage type | | Non-porous | Drained | Non-porous |
| Colour | |  |  |  |
| Comments | | | | |
| γ_{unsat} | kN/m ³ | 25.00 | 19.00 | 25.00 |
| 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 |
| v (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 |
| γ_{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 |
| $\bar{\sigma}_{inter}$ | | 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] (8/116), Total displacements u_x

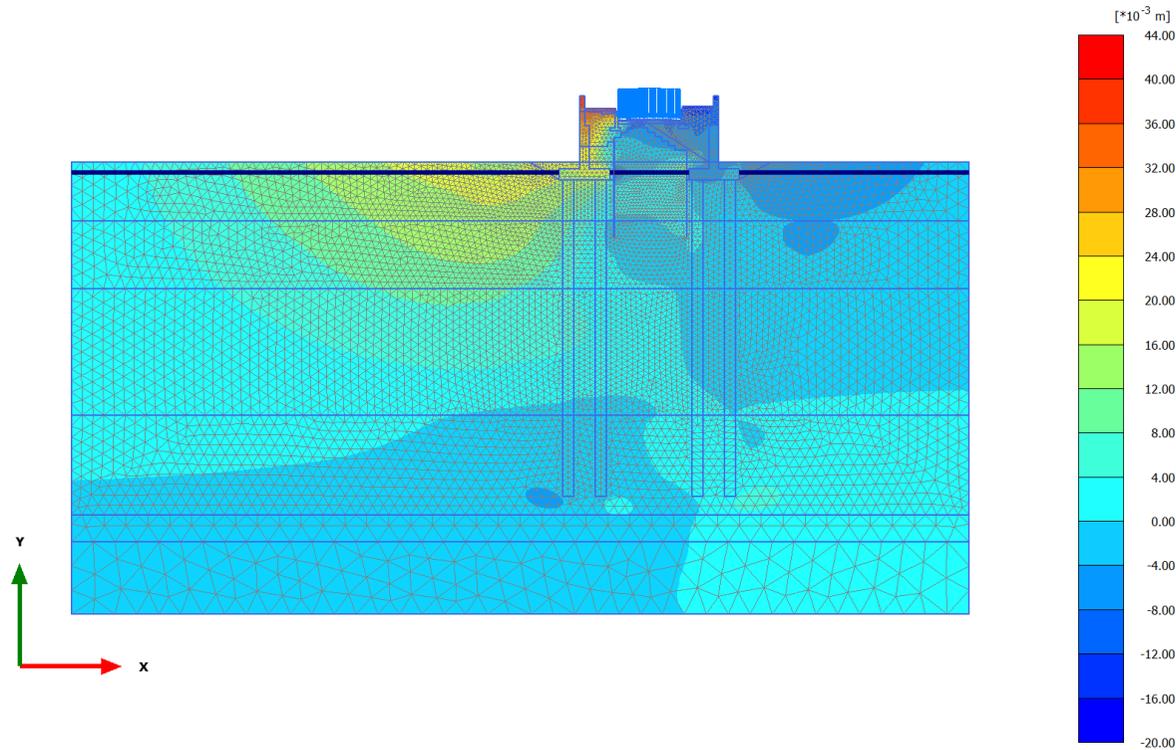


Total displacements u_x (scaled up 100 times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.02067 m (Element 389 at Node 2360)

Minimum value = $-6.067 \cdot 10^{-3}$ m (Element 21 at Node 239)

2.1.1.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/164), Total displacements u_x

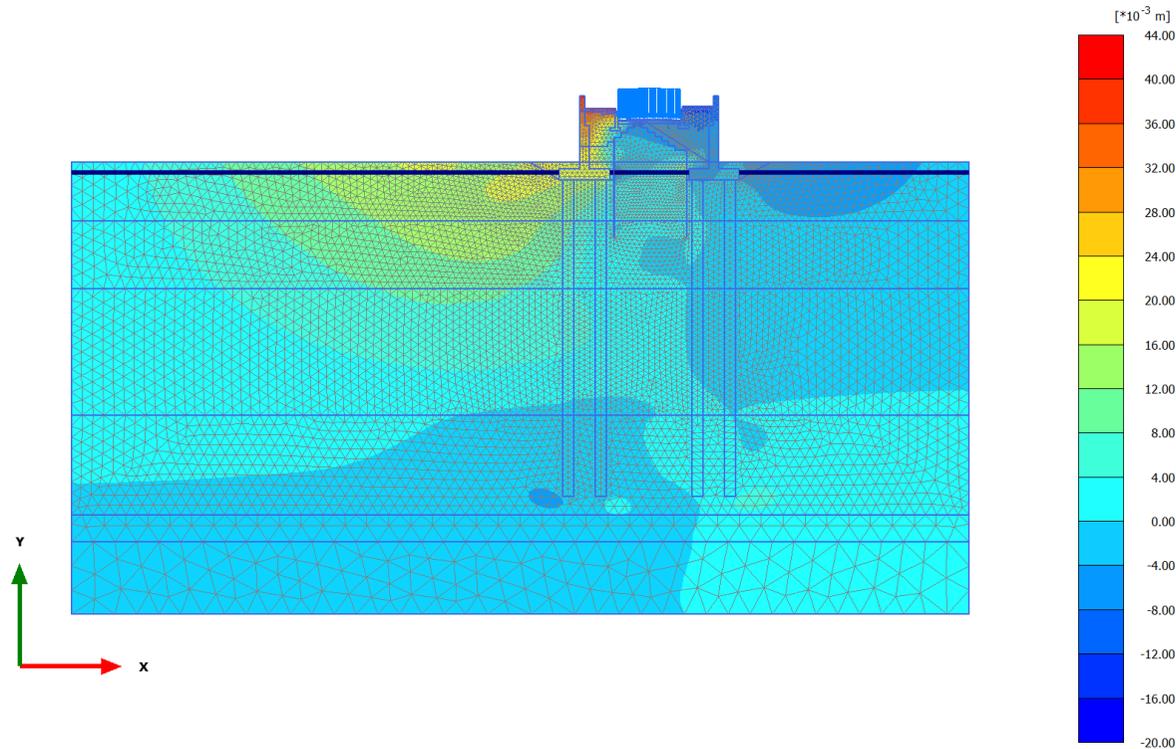


Total displacements u_x (scaled up 50.0 times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.04237 m (Element 31 at Node 58)

Minimum value = -0.01725 m (Element 10 at Node 438)

2.1.1.1.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/172), Total displacements u_x

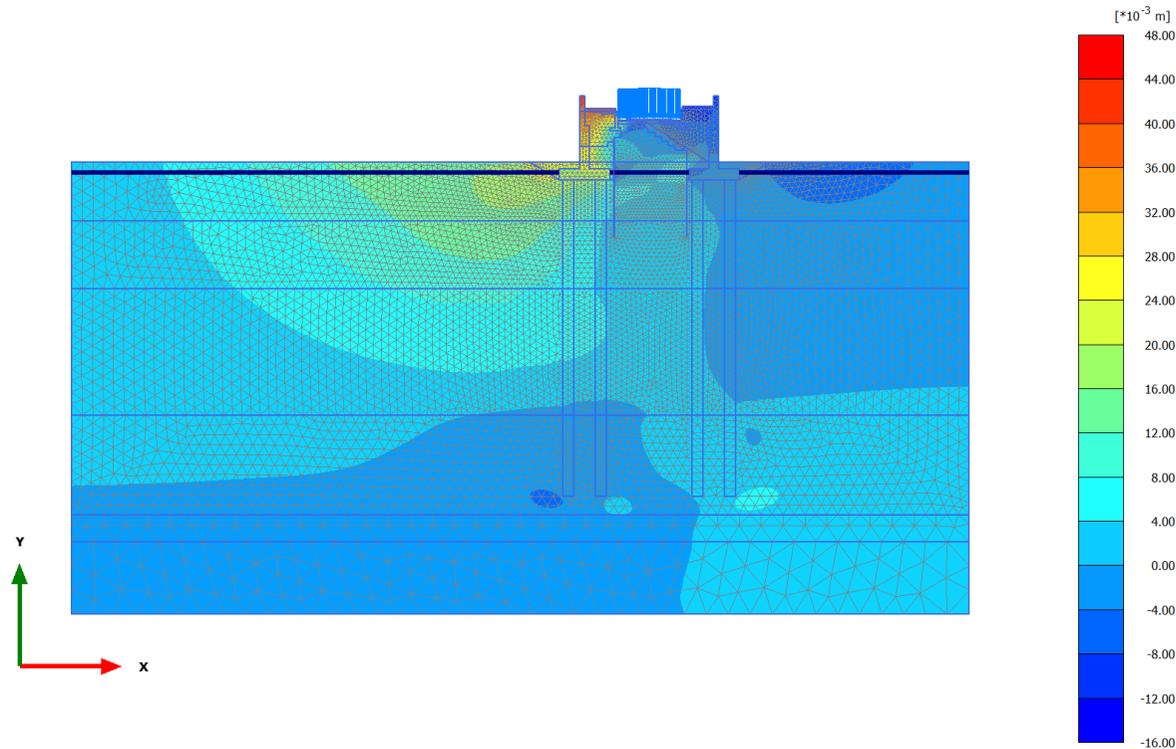


Total displacements u_x (scaled up 50.0 times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 0.04328 m (Element 31 at Node 58)

Minimum value = -0.01664 m (Element 10 at Node 438)

2.1.1.1.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/215), Total displacements u_x

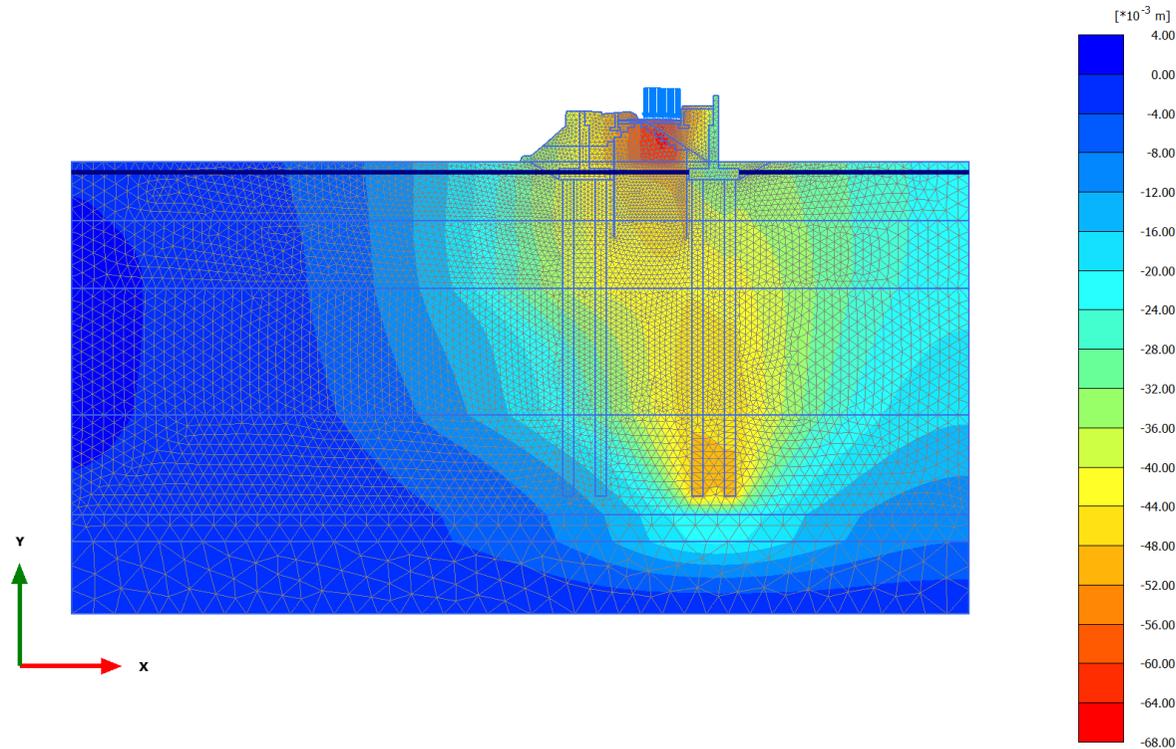


Total displacements u_x (scaled up 50.0 times) (Time 47.08*10³ day)

Maximum value = 0.04566 m (Element 31 at Node 58)

Minimum value = -0.01487 m (Element 21 at Node 239)

2.1.1.2.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/116), Total displacements u_y

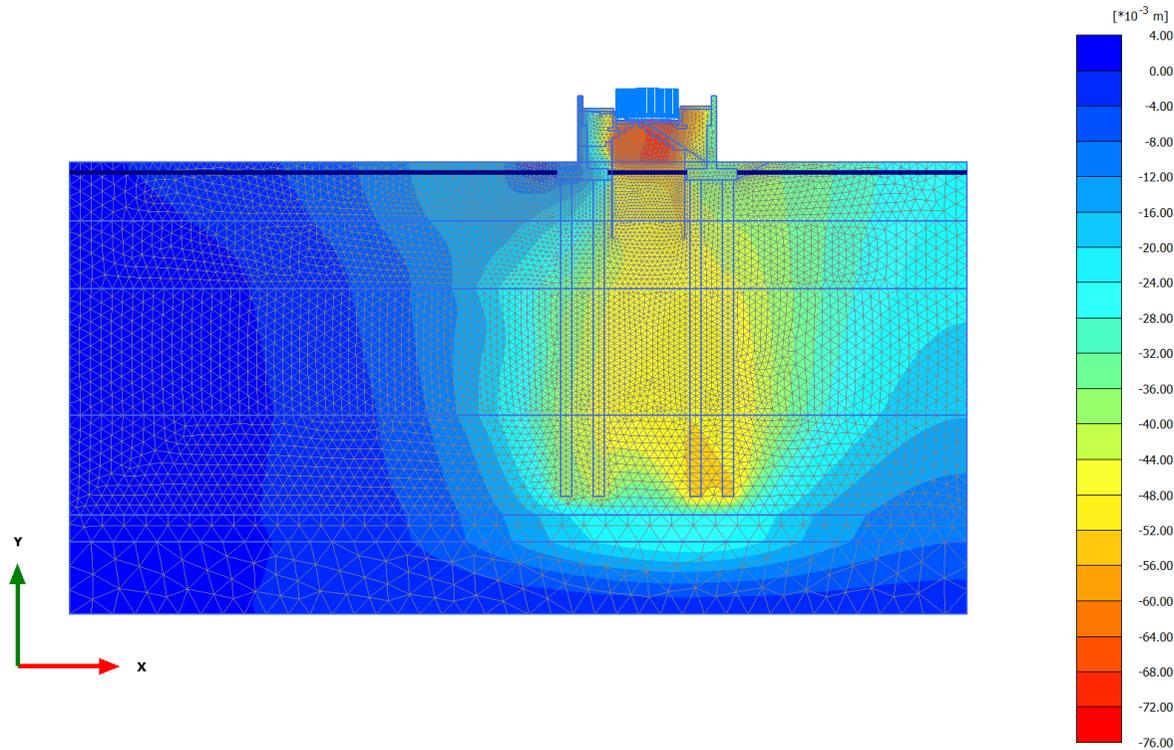


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $0.2988 \cdot 10^{-3}$ m (Element 5624 at Node 29445)

Minimum value = -0.06472 m (Element 937 at Node 1046)

2.1.1.2.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/164), Total displacements u_y

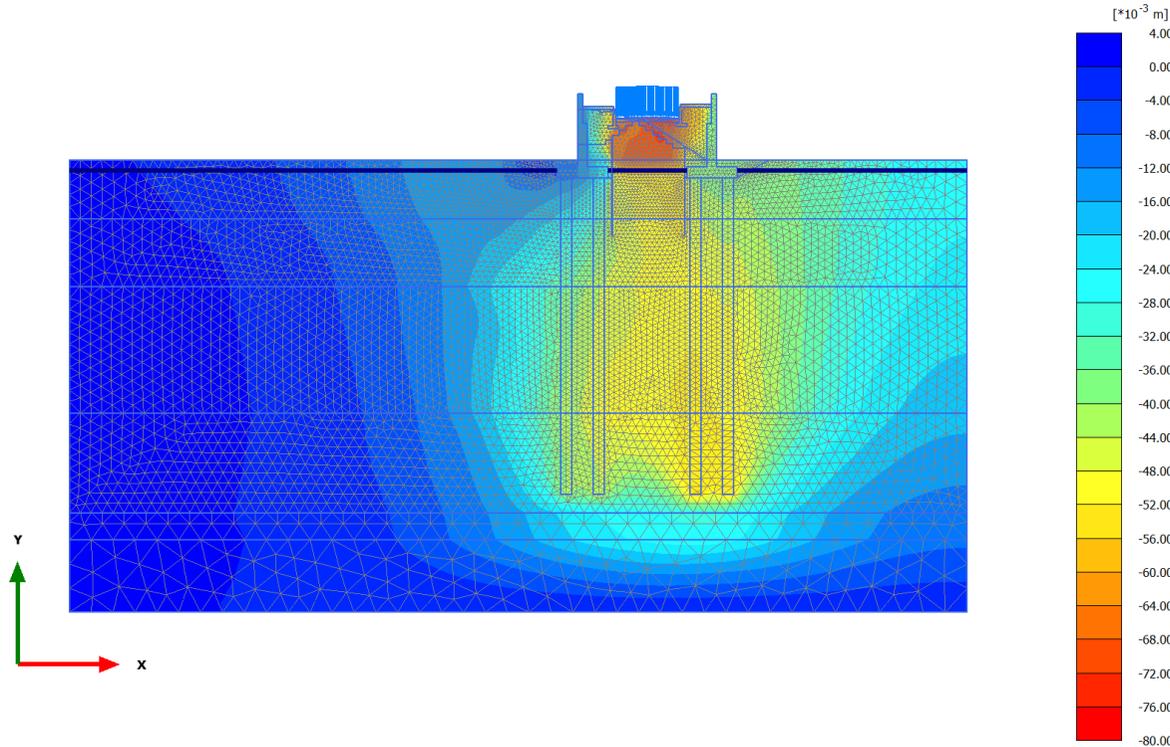


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time 19.71*10³ day)

Maximum value = 3.148*10⁻³ m (Element 1560 at Node 9240)

Minimum value = -0.07428 m (Element 121 at Node 134)

2.1.1.2.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/172), Total displacements u_y

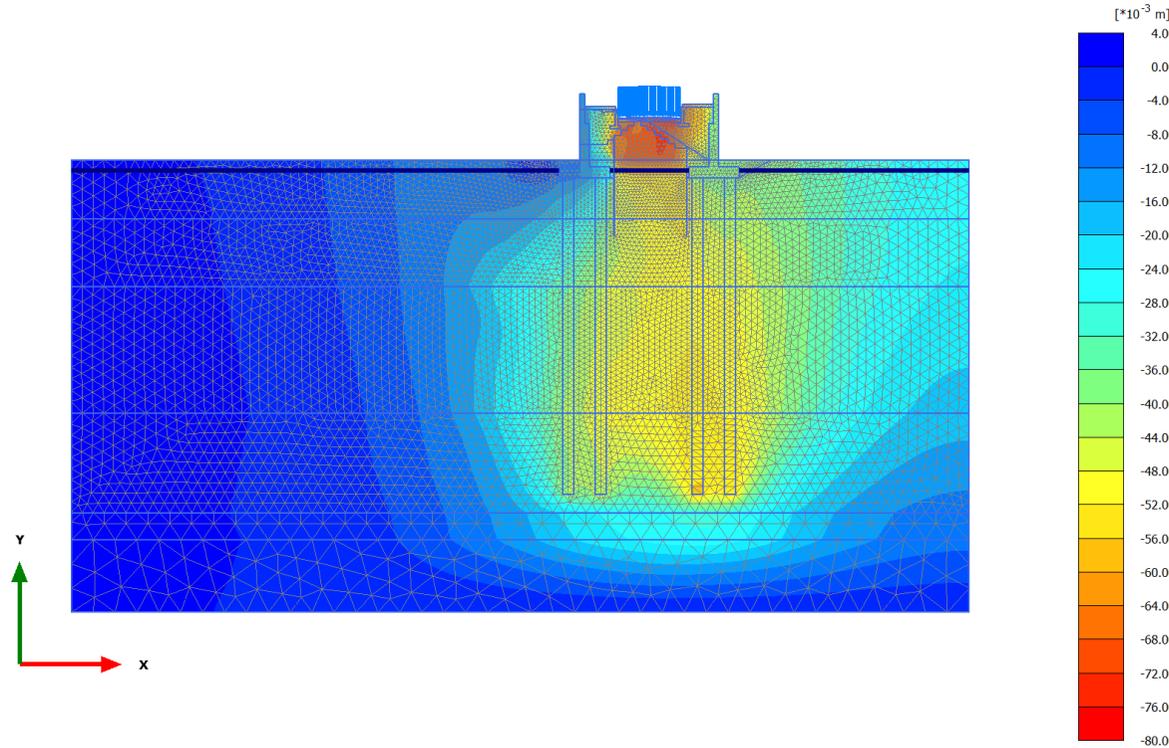


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $1.914 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ (Element 1560 at Node 9240)

Minimum value = -0.07606 m (Element 121 at Node 134)

2.1.1.2.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/215), Total displacements u_y

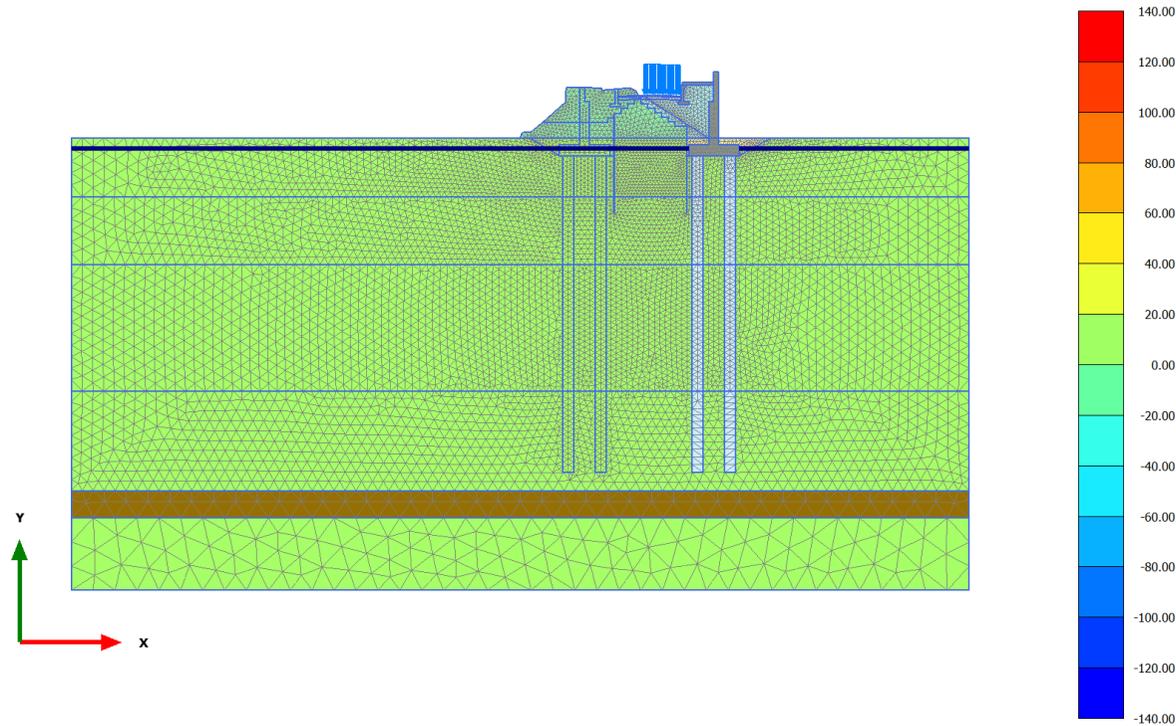


Total displacements u_y (scaled up 50.0 times) (Time 47.08*10³ day)

Maximum value = 2.613*10⁻³ m (Element 1560 at Node 9240)

Minimum value = -0.07631 m (Element 121 at Node 133)

2.2.1.1.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/116), Isotropic overconsolidation ratio

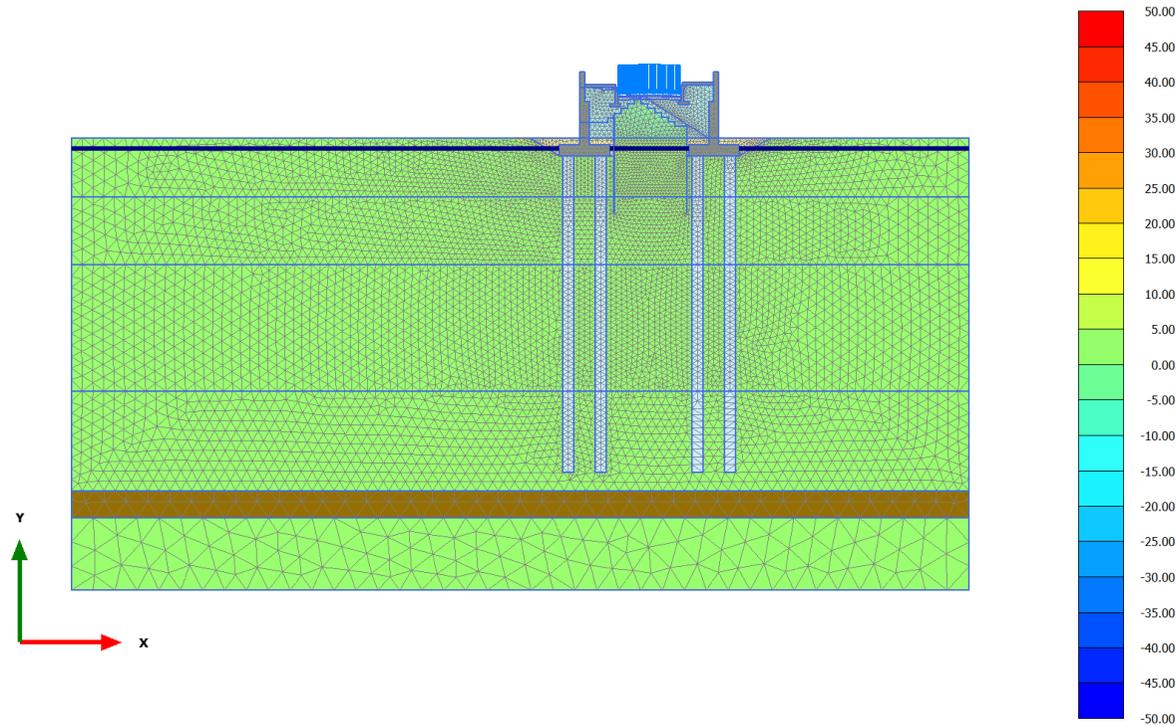


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up 0.0100 times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 129.6 (Element 3747 at Node 16877)

Minimum value = -136.9 (Element 3705 at Node 17758)

2.2.1.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/164), Isotropic overconsolidation ratio

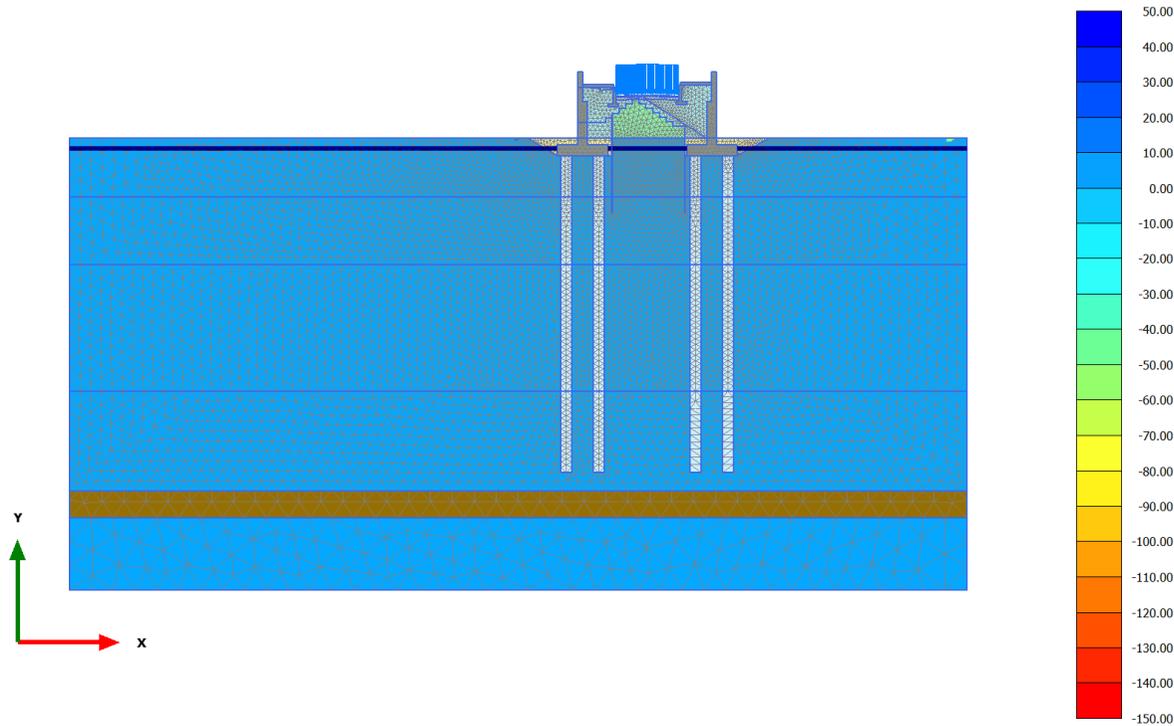


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up 0.0500 times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 47.48 (Element 3265 at Node 23323)

Minimum value = -48.16 (Element 4571 at Node 6768)

2.2.1.1.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/172), Isotropic overconsolidation ratio

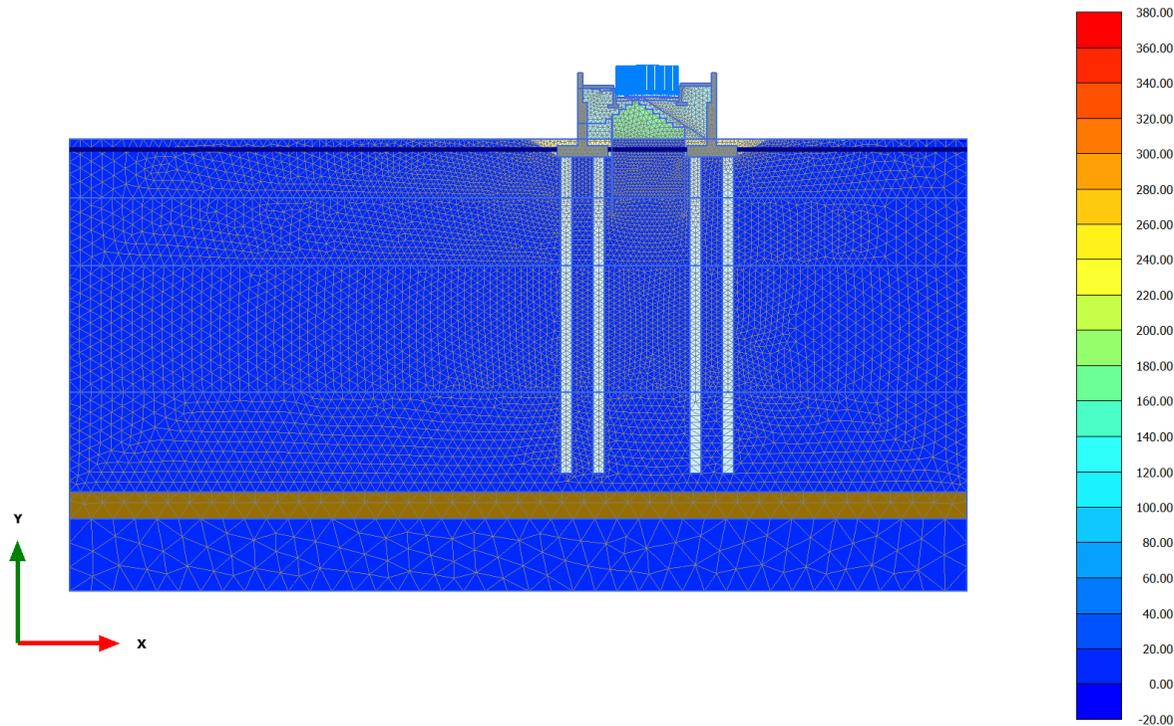


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up 0.0200 times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 40.39 (Element 4307 at Node 10741)

Minimum value = -142.0 (Element 4325 at Node 7912)

2.2.1.1.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/215), Isotropic overconsolidation ratio

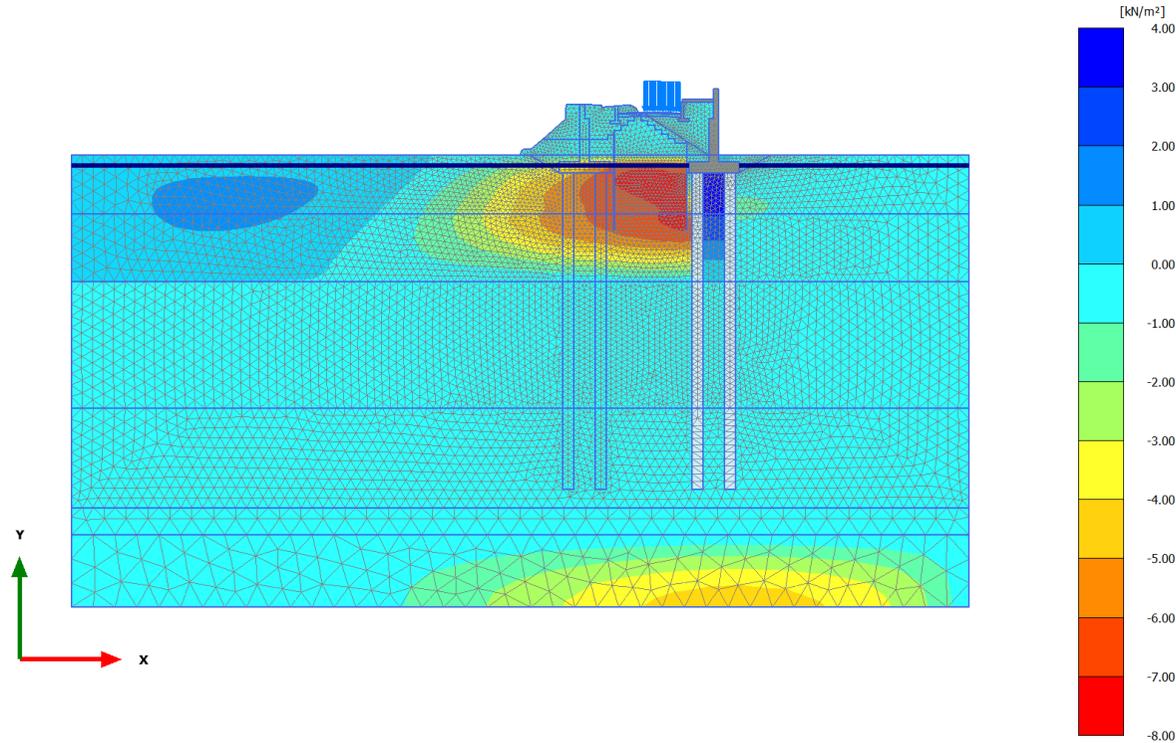


Isotropic overconsolidation ratio (scaled up $5.00 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 363.2 (Element 4600 at Node 6765)

Minimum value = -11.22 (Element 4153 at Node 12334)

2.2.2.1.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/116), Excess pore pressures p_{excess}

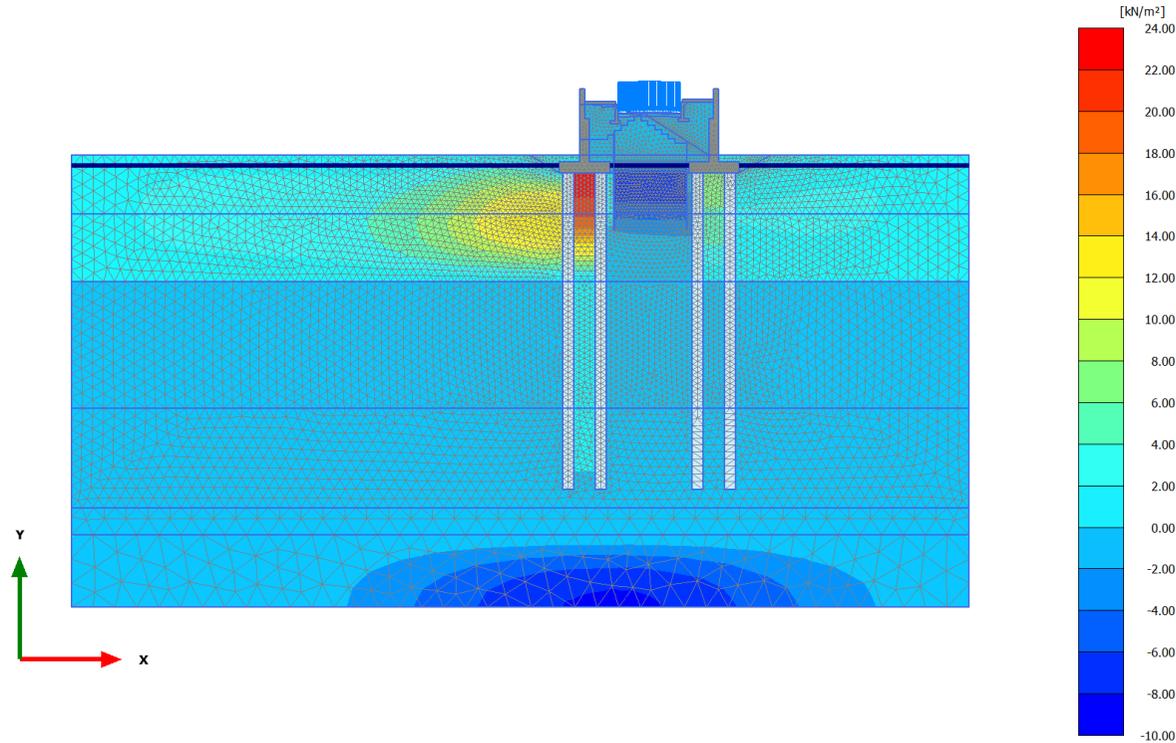


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 0.500 times) (Pressure = negative) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 3.467 kN/m² (Element 5387 at Node 2965)

Minimum value = -7.443 kN/m² (Element 2301 at Node 3036)

2.2.2.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/164), Excess pore pressures p_{excess}

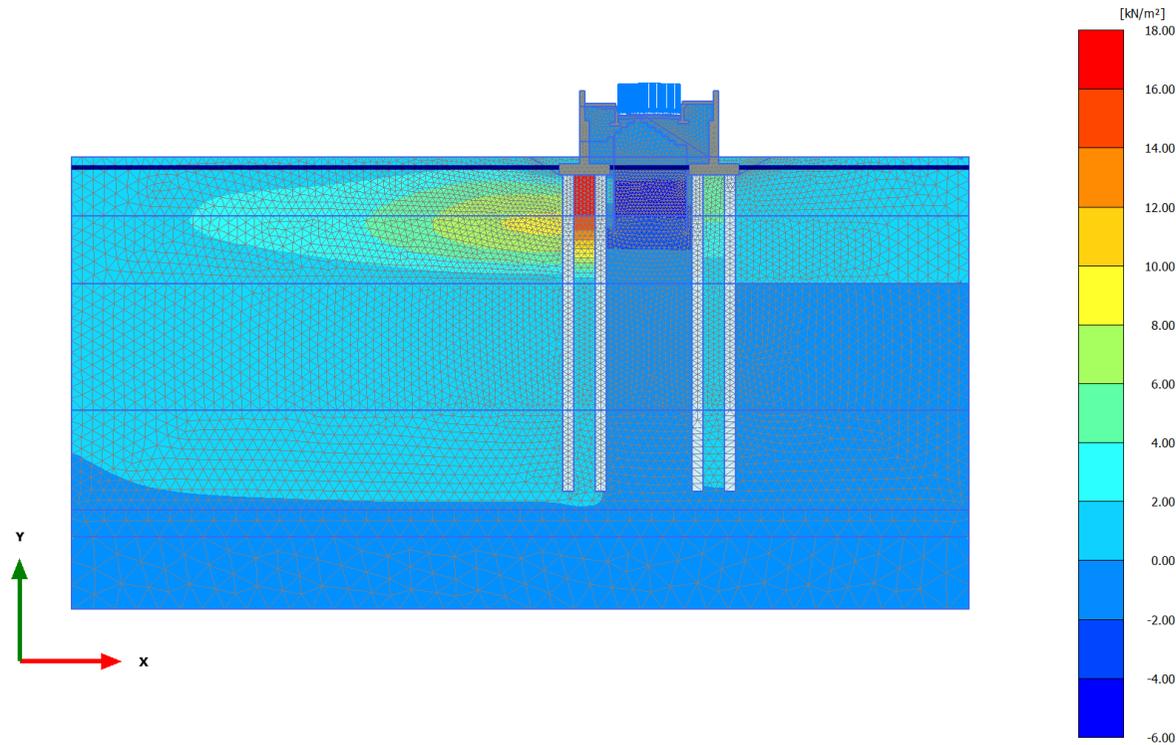


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 0.100 times) (Pressure = negative) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 22.60 kN/m² (Element 5078 at Node 7035)

Minimum value = -8.511 kN/m² (Element 14861 at Node 24579)

2.2.2.1.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/172), Excess pore pressures p_{excess}

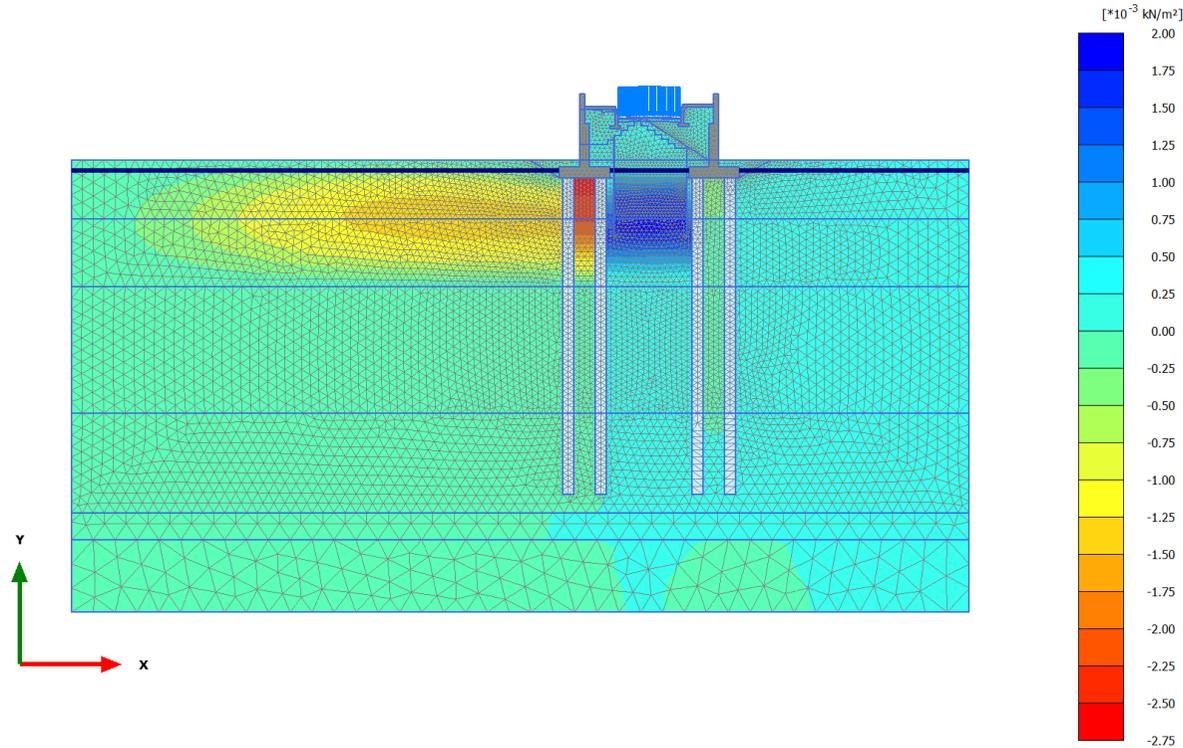


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 0.200 times) (Pressure = negative) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 17.66 kN/m² (Element 5079 at Node 8214)

Minimum value = -4.630 kN/m² (Element 2310 at Node 3933)

2.2.2.1.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/215), Excess pore pressures p_{excess}

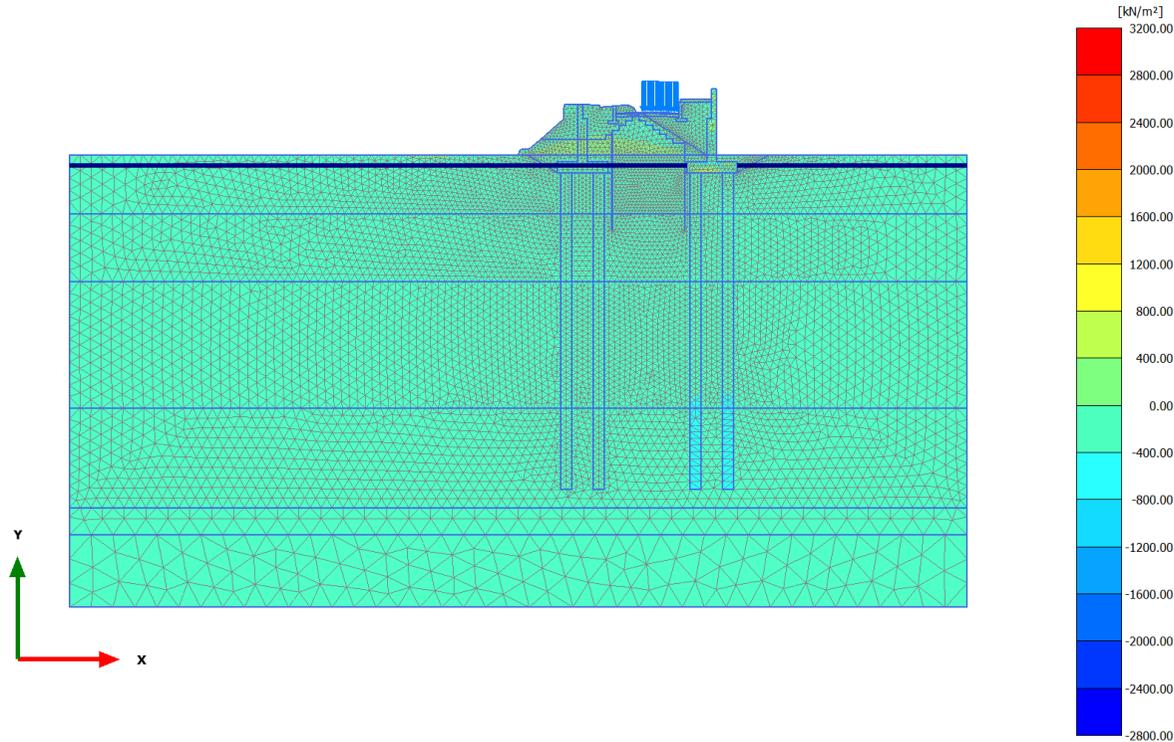


Excess pore pressures p_{excess} (scaled up 500 times) (Pressure = negative) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = $1.792 \cdot 10^{-3}$ kN/m² (Element 8181 at Node 6475)

Minimum value = $-2.526 \cdot 10^{-3}$ kN/m² (Element 5146 at Node 7522)

2.2.3.1.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/116), Cartesian effective stress σ'_{xx}

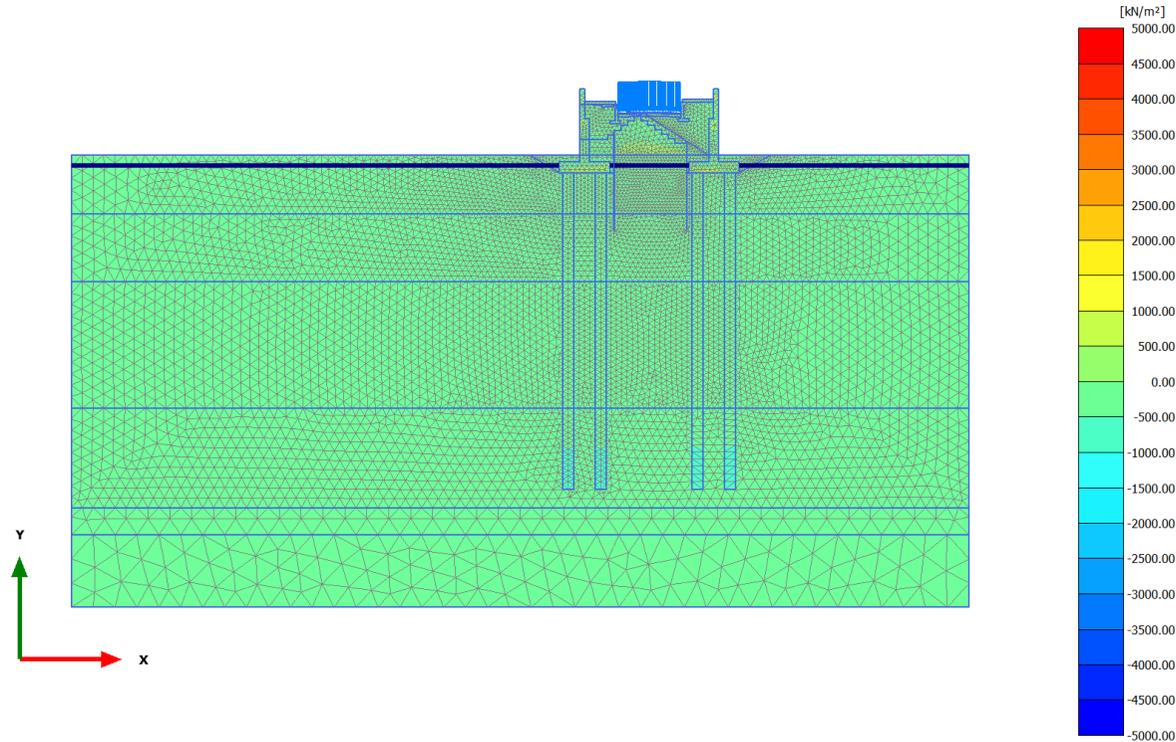


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $0.500 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 2880 kN/m² (Element 15 at Node 524)

Minimum value = -2677 kN/m² (Element 19 at Node 701)

2.2.3.1.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/164), Cartesian effective stress σ'_{xx}

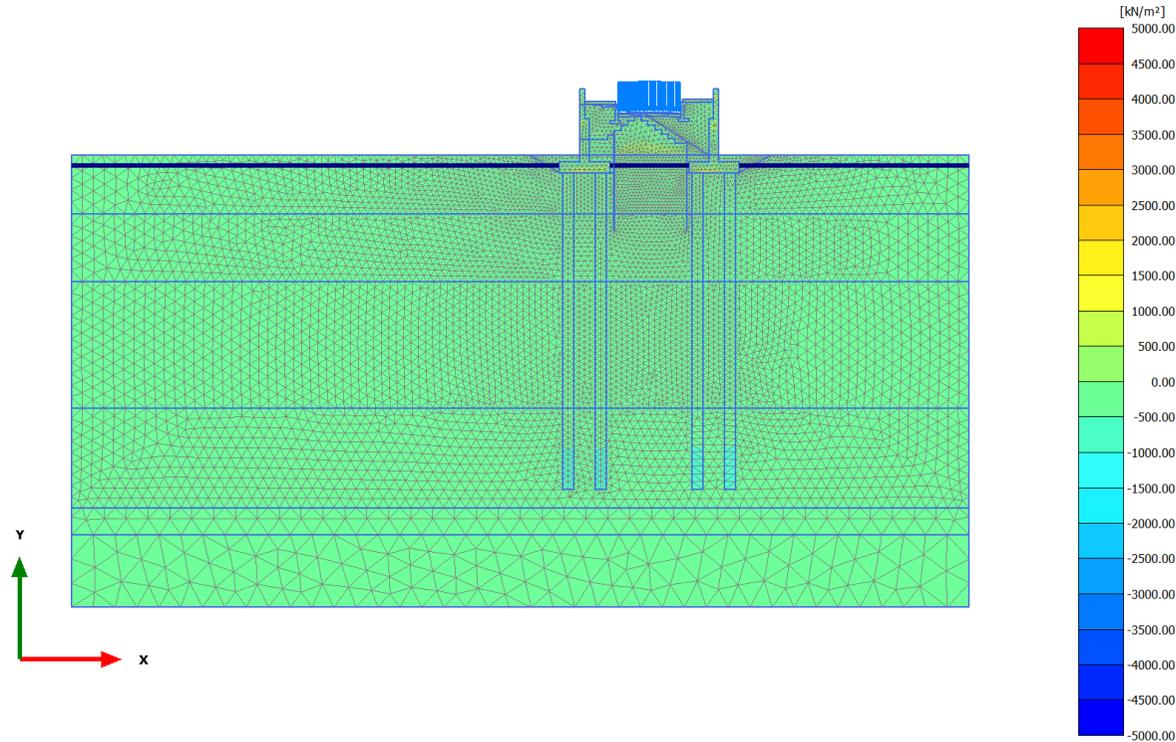


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $0.500 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 4798 kN/m² (Element 15 at Node 524)

Minimum value = -4495 kN/m² (Element 19 at Node 701)

2.2.3.1.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/172), Cartesian effective stress σ'_{xx}

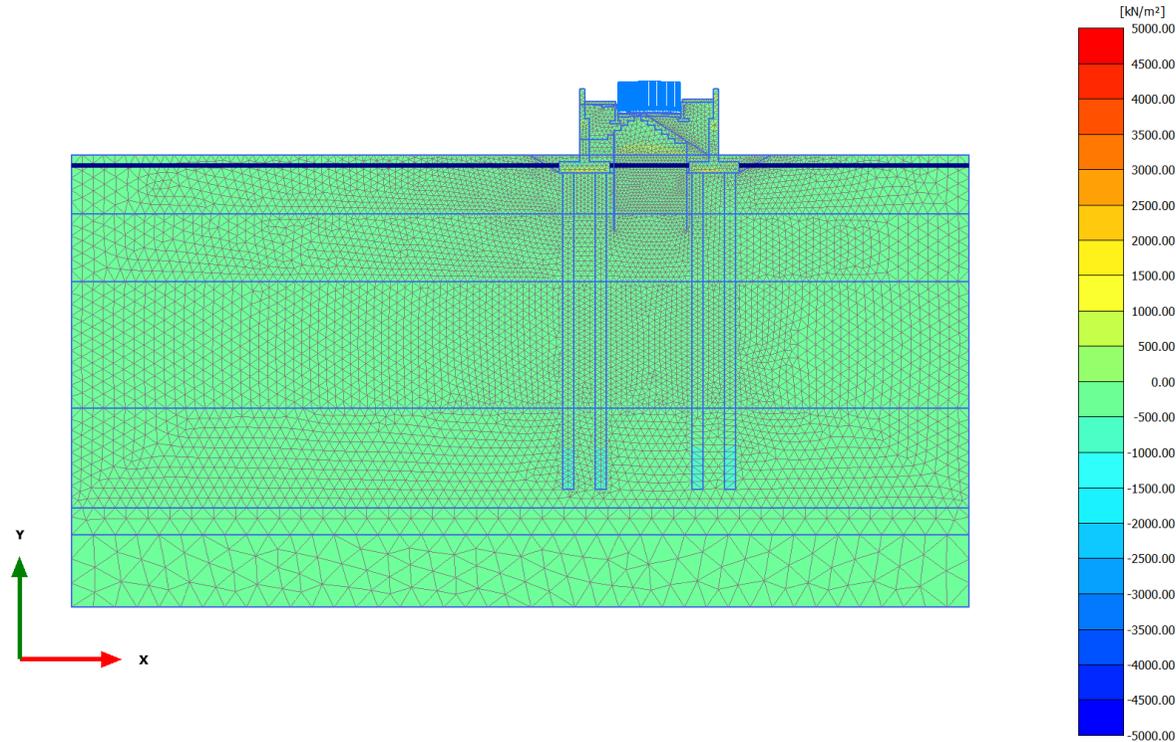


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $0.500 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 4844 kN/m² (Element 15 at Node 524)

Minimum value = -4545 kN/m² (Element 19 at Node 701)

2.2.3.1.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/215), Cartesian effective stress σ'_{xx}

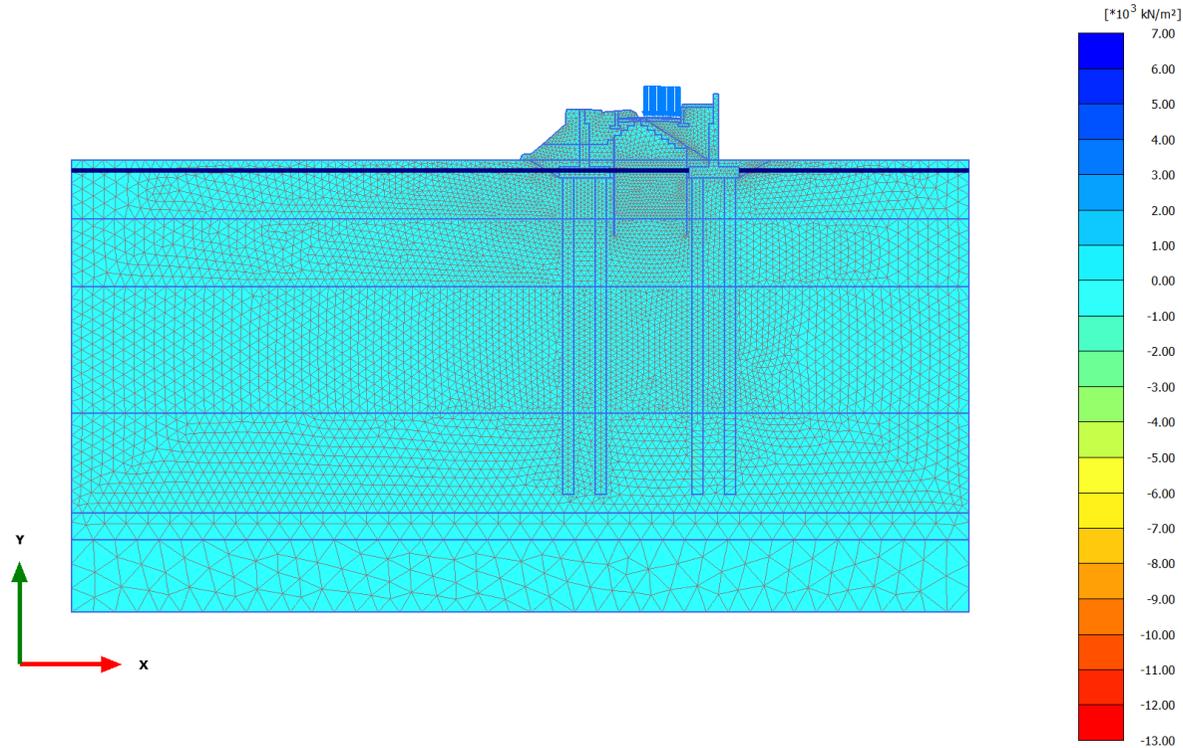


Cartesian effective stress σ'_{xx} (scaled up $0.500 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 4941 kN/m² (Element 15 at Node 524)

Minimum value = -4644 kN/m² (Element 19 at Node 701)

2.2.3.2.1 Calculation results, armamento dx [Phase_8] (8/116), Cartesian effective stress σ'_{yy}

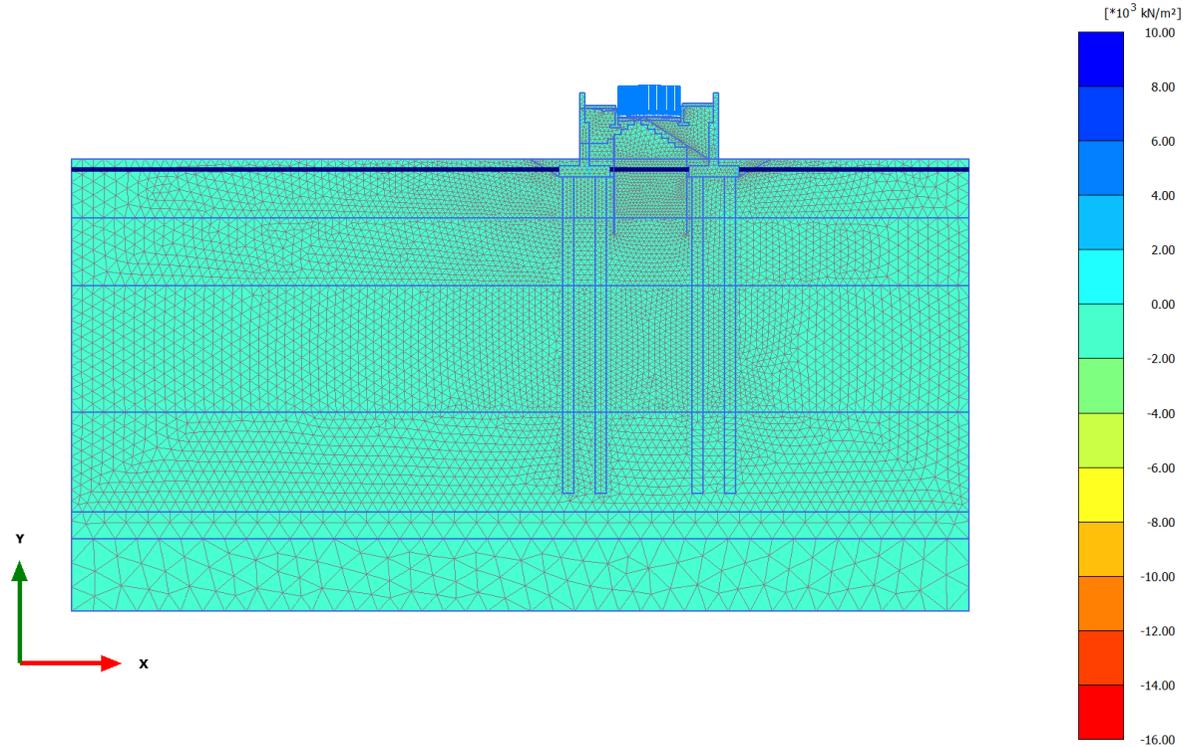


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $0.200 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.34 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 6870 kN/m² (Element 2826 at Node 1932)

Minimum value = $-12.90 \cdot 10^3$ kN/m² (Element 2825 at Node 1830)

2.2.3.2.2 Calculation results, armamento sx [Phase_12] (12/164), Cartesian effective stress σ'_{yy}

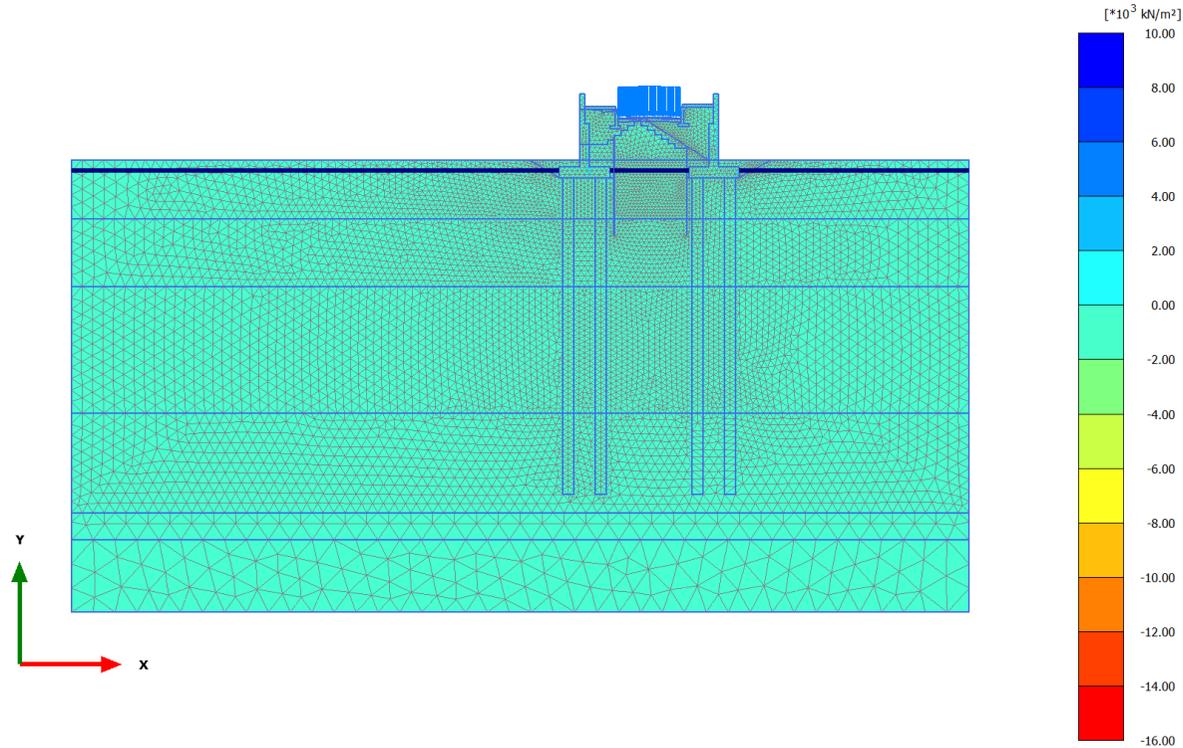


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $0.200 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $19.71 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 8198 kN/m² (Element 2826 at Node 1932)

Minimum value = $-15.07 \cdot 10^3$ kN/m² (Element 1928 at Node 4889)

2.2.3.2.3 Calculation results, consolidaz nuovo ril. (1 anno) [Phase_13] (13/172), Cartesian effective stress σ'_{yy}

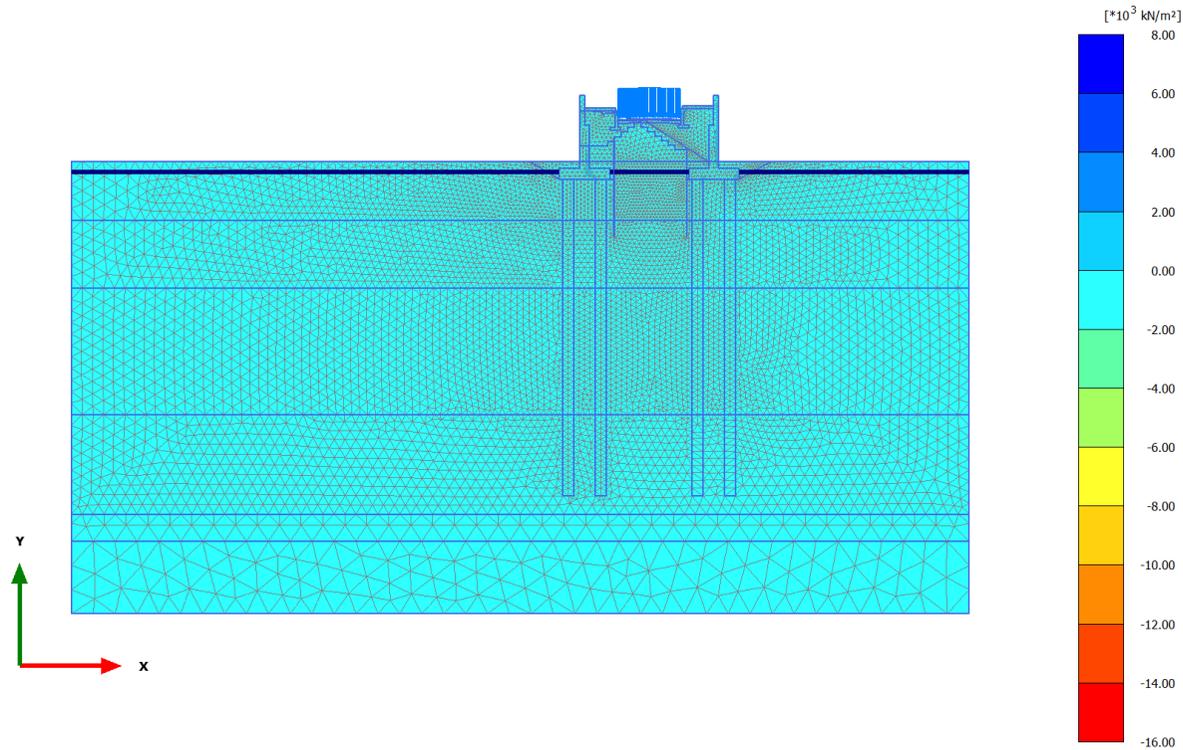


Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $0.200 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $20.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 8080 kN/m² (Element 2826 at Node 1932)

Minimum value = $-15.19 \cdot 10^3$ kN/m² (Element 1928 at Node 4889)

2.2.3.2.4 Calculation results, consolidaz. nuovo ril. (75 anni) [Phase_18] (18/215), Cartesian effective stress σ'_{yy}



Cartesian effective stress σ'_{yy} (scaled up $0.200 \cdot 10^{-3}$ times) (Time $47.08 \cdot 10^3$ day)

Maximum value = 7916 kN/m² (Element 2826 at Node 1932)

Minimum value = $-15.25 \cdot 10^3$ kN/m² (Element 1928 at Node 4889)

