STUDIO di GEOLOGIA TECNICA dott. geol. GUIDO CARIERI

Via Untoria 31r, 17100 - SAVONA - Tel. 019801866;019807203; fax 0198403931; e-mail: guido@carieri.com

P.I. 01211680093

COMMITTENTE: Cave di Boissano Srl

COMUNE: BOISSANO

LOCALITA': SEGIUNA'

OGGETTO: MODELLO GEOTECNICO DI SINTESI ED ANALISI DI STABILITA' LUNGO LE SEZIONI DESUNTE DAL MODELLO GEOLOGICO DI SINTESI

DATA: Marzo 2016



NORMATIVA

- D.M. 14/01/2008-Testo Unitario Norme tecniche per le costruzioni
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici-"istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni" Circolare 2 febbraio 2009
- Consiglio superiore dei lavori pubblici-Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione del territorio nazionale. Allegato al voto n.36 del 27/07/2007
- Eurocodice 8 (1998)-Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture (parte 5): Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici
- Eurocodice 7.1- Progettazione geotecnica
- Eurocodice 7.2- Progettazione geotecnica
- Eurocodice 7.3-Progettazione geotecnica

PREMESSA:

La Società Cave di Boissano Srl, ha presentato istanza di rilascio delle autorizzazioni previste per la realizzazione del PUO di "Recupero ambientale – Ristrutturazione Urbanistica del Distretto di Trasformazione TRZ nelle aree dell'ex cava Segiunà"

Il presente studio geotecnico viene redatto in risposta al parare di richiesta integrazioni della Provincia di Savona, Settore Direzione Generale, Servizio Procedimenti Concertativi (vd. Class. 002.013.007/25-2015 e 002.013.004/19-2015).

Il progetto di "Recupero ambientale e ristrutturazione urbanistica del TRZ ex cava Segiunà", presentato dalla ditta Cave di Boissano S.r.l., Via delle Ginestre 80 Boissano, era già corredato da analisi geotecniche mirate a soddisfare i requisiti di progettazione prescritti dalla vigente normativa, con analisi di stabilità agli SLU lungo le sezioni considerate maggiormente critiche.

In osservanza del vigente dettato normativo "Norme Tecniche per le Costruzioni", ex D.M. 14.01.2008 e della Circolare n° 617 del 02.02.2009 :"Istruzioni per l'applicazione delle N.T.C. di cui al D.M. 14.01.2008". del Ministero Inf. e Trasporti – Cons. Sup. LL.PP. del 02.02.09, gli elaborati di progetto devono essere corredati da una relazione che illustri il modello geotecnico dell'area di sedime degli interventi, al fine di escludere elementi di pregiudizio per l'edificato esistente e definire gli elementi di interazione del progetto con il terreno di sedime degli interventi.

In osservanza di quanto sopra, è stato elaborato il modello geotecnico del versante, oggetto, in passato, dell'attività estrattiva, desunto direttamente dal modello geologico di cui alla relazione specialistica allegata al progetto (Allegato D) e si è provveduto a modellizzare in ambiente bidimensionale le sezioni n. 2 e n. 6, trasversali al fronte ex estrattivo, quali sezioni maggiormente onerose.
L'analisi dei differenti stati tensionali e delle conseguenti deformazioni innescatesi lungo il declivio è stata sviluppata per fasi storiche d'intervento:
1) a partire dal modello del fronte di cava così come profilato sino alla metà degli anni '70, quando l'insorgere del dissesto gravitativo a scala di versante rese il fronte non idoneo alla prosecuzione dell'attività di cava;
2) assumendo la conformazione attuale del fronte residuo della cava e dei piazzali realizzati in rilevato a partire dai primi anni '80 e sino a tutt'oggi;
3) assumendo, in ultimo, la conformazione di progetto prevista dall'intervento di recupero ambientale delle aree di ex cava, costituente l'intervento propedeutico e necessario a garantire le condizioni di sicurezza per l'intervento ubicato a valle, di "ristrutturazione urbanistica del distretto di trasformazione TRZ". (vd. Cap. 1 – "progettazione per fasi di lavoro" a seguire).

Le fasi di lavoro sono sviluppate mediante delle slides esemplificative degli interventi realizzati in successione, e non attraverso una descrizione delle stesse, nella logica di definire visivamente gli steps di sviluppo delle fasi operative dell'analisi geotecnica.

Allo stesso modo, i risultati dell'analisi dell'interazione tra il terreno coinvolto nelle fasi di abbancamento previste a progetto sono rappresentati mediante screenshot colorati che evidenziano il variare dei parametri di tensioni/deformazioni nel terreno oggetto d'analisi.

Il modello geotecnico del terreno è stato modellizzato mediante un programma d'analisi agli elementi finiti (PlaxisVB realise 2016). Il programma realizzato da un gruppo di ricercatori della Delft University of Tecnology guidati dal Prof. P.A. Vermeer, con il supporto scientifico delle Università di Grenoble, Oxford e Stuttgart, Graz, è un programma bidimensionale agli elementi finiti che permette di tenere conto del comportamento non lineare del terreno, seguendo contemporaneamete, per passi successivi, la variazione di stato tensionale e deformativo nei vari punti del substrato considerato e degli elementi strutturali collegati. Il programma PLAXIS è nato per specifiche esigenze di tipo geotecnico; esso permette di

esaminare casi di stato piano di deformazione o di assialsimmetria. La sua caratteristica peculiare è di utilizzare materiali con caratteristiche elastoplastiche, seguendo passo passo gli incrementi di carico (fino a grandi deformazioni, nel qual caso è possibile aggiornare la mesh) utilizzando modelli matematici del terreno via via più complessi (Mohr Coulomb, Hardening Soil, Soft soil, ecc.). Il terreno è schematizzato mediante un insieme di elementi finiti a forma triangolare a quindici nodi che forniscono una distribuzione cubica delle tensioni e delle deformazioni all'interno di ciascun elemento (essendo polinomi 4° ordine le funzioni di forma interpolanti il campo degli spostamenti); di conseguenza il programma individua con accuratezza campi di tensione e di deformazione complessi anche con un limitato numero di elementi. Esiste la possibilità di mettere in conto la presenza di elementi lineari del tipo "beam", "truss" e geotessili resistenti solo a trazione, di considerare la presenza di molle elastoplastiche, e di ridurre le caratteristiche meccaniche del terreno a contatto con elementi di diversa natura. Il calcolo prevede in genere la suddivisione delle diverse fasi (corrispondenti all'applicazione di carichi, o a modifiche della configurazione geometrica per scavi o riporti, o a modifiche delle pressioni isostatiche, o a dissipazione di pressioni neutre) in passi di calcolo, ed è possibile quindi seguire l'evoluzione delle condizioni del terreno parallelamente alle prevedibili fasi costruttive. Il programma è concepito in modo tale da applicare per passi i carichi desiderati, aggiornando di volta in volta i valori delle deformazioni e delle tensioni. Il programma è utilizzato ampiamente da Università, centri di ricerca, società d'ingegneria, studi professionali; numerosi casi sono stati affrontati e confrontati con risultati derivati da metodi analitici in forma chiusa ottenendo una buona rispondenza.

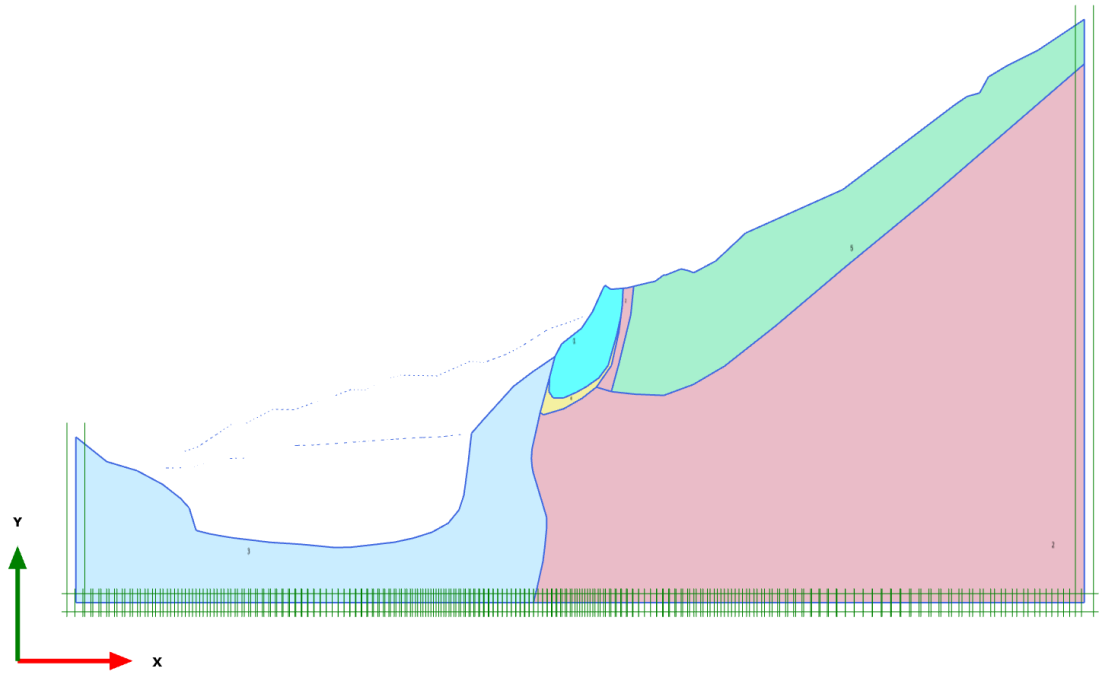
Le fasi in analisi sono elaborate adottando i criteri prestazionali previsti dalla vigente normativa geotecnica agli stati limite di esercizio ed agli stati limite ultimi (SLE+SLU), assumendo in particolare l'Approccio 1 – Combinazione 1 e 2: A1+ M1+R1 e A2+M2+R2 (vd. Tab. 6.2.II ex D.M. 14.01.2008 e s.m.i.)

L'azione sismica è stata risolta mediante l'applicazione del criterio di analisi pseudostatico, assumendo i rispettivi valori di incremento del carico litostatico nelle due direzioni principali del piano (orizzontale Kx; verticale Ky).

Le condizioni idrogeologiche lungo il versante rappresentano una geometria conservativa e tarata sui riscontri di campagna desunti dalle misure realizzate sui piezometri installati lungo il versante (vd. Relazione Monitoraggi "E" e Tav E1).

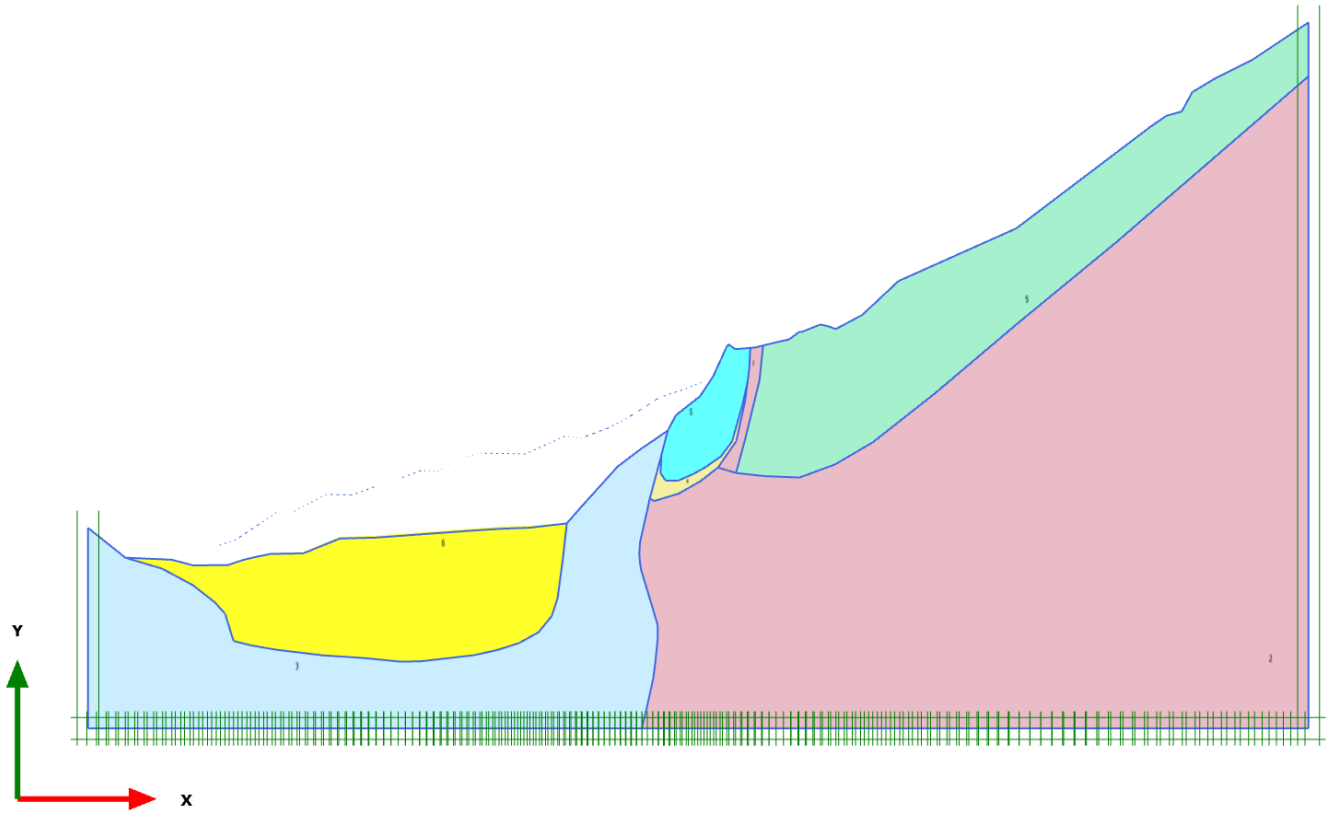
Sezione n. 2

Calculation results, fronte cava [Phase_1] (1/542), Materials plot



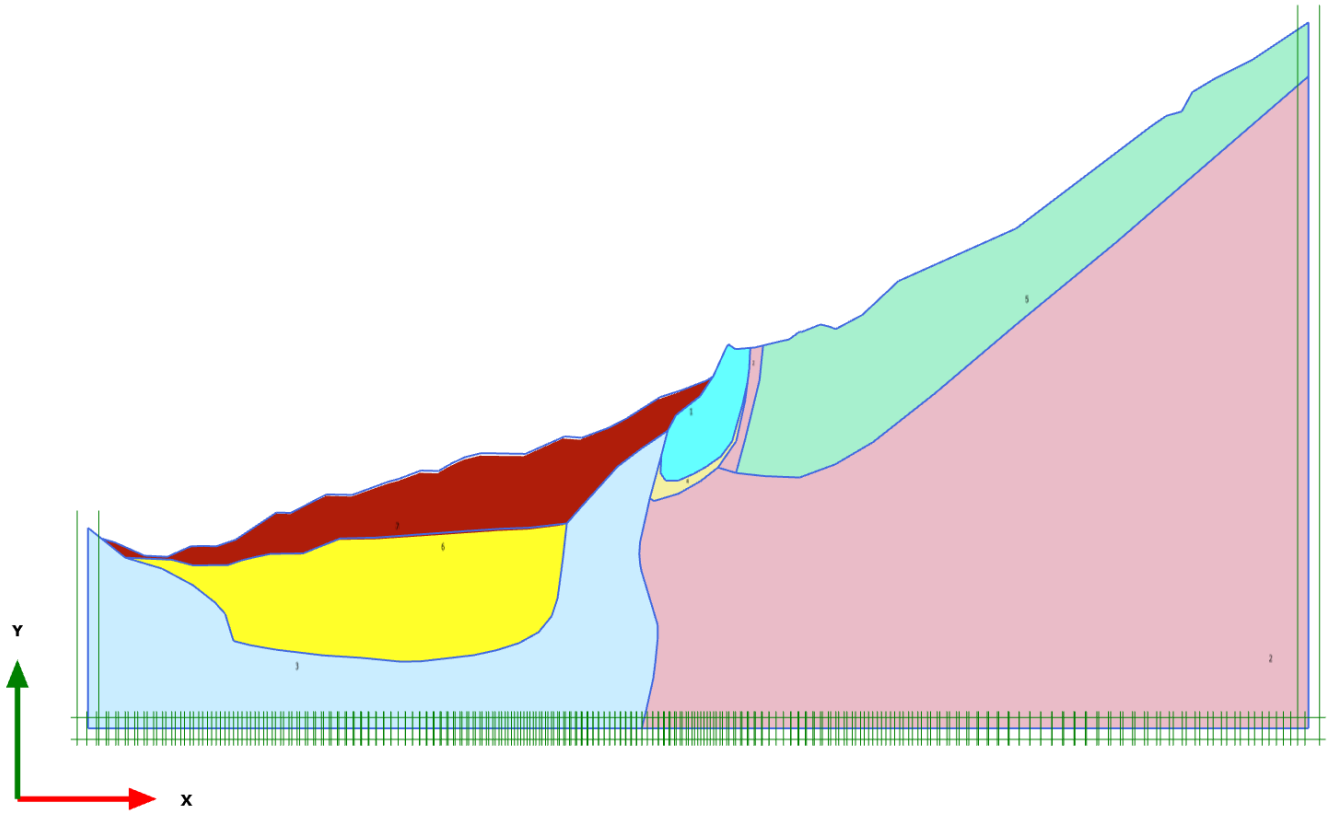
Materials plot

1.1.1.3 Calculation results, stato attuale SLU [Phase_7] (8/1222), Materials plot



Materials plot

Calculation results, stato di progetto SLU [Phase_8] (9/945), Materials plot



Materials plot

Materials - Soil and interfaces - Hoek-Brown

Identification		**calcari di val Tanarello**	**dolomie di Monte Carmo**	**dolomie S.Pietro dei Monti**	**formazione di Caprauna**	**quarziti di Ponte di Nava**
Identification number		1	2	3	4	5
Drainage type		Drained	Drained	Drained	Non-porous	Drained
Colour						
Comments						
γ_{unsat}	kN/m³	27,00	27,00	28,00	26,00	22,00
γ_{sat}	kN/m³	27,00	27,00	28,00	26,00	24,00
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/m²	1,640E6	3,500E6	3,400E6	2,090E6	2,900E6
v (nu)		0,2500	0,2000	0,3300	0,3500	0,2500
σ_{ci}	kN/m²	57,73E3	100,0E3	54,63E3	30,00E3	48,87E3
m_i		12,00	15,00	9,000	8,600	20,00
GSI		45,00	50,00	40,00	35,00	33,00
D		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
ψ_{max}	°	0,000	0,000	2,000	7,000	2,000
σ_{ψ}	kN/m²	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Undrained behaviour		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard

Identification		**calcari di val Tanarello**	**dolomie di Monte Carmo**	**dolomie S.Pietro dei Monti**	**formazione di Caprauna**	**quarziti di Ponte di Nava**
Strength		Rigid	Rigid	Rigid	Rigid	Rigid
R_{inter}		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Consider gap closure		Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
δ_{inter}		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
$K_{0,x}$		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
$K_{0,z}$		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Data set		Standard	Standard	Standard	Standard	Standard
Type		Coarse	Coarse	Coarse	Coarse	Coarse
< 2 µm	%	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
2 µm - 50 µm	%	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
50 µm - 2 mm	%	77,00	77,00	77,00	77,00	77,00
Set to default values		No	No	No	No	No
k_x	m/day	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
k_y	m/day	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
$-\psi_{unsat}$	m	10,00E3	10,00E3	10,00E3	10,00E3	10,00E3
e_{init}		0,5000	0,5000	0,5000	0,5000	0,5000
c_k		1,000E15	1,000E15	1,000E15	1,000E15	1,000E15

Materials - Soil and interfaces - Mohr-Coulomb

Identification		**riporti antropici attuali**	**riporti di progetto**
Identification number		6	7
Drainage type		Drained	Drained
Colour			
Comments			
γ_{unsat}	kN/m³	17,40	18,00
γ_{sat}	kN/m³	19,00	19,00
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/m²	14,00E3	17,00E3
v (nu)		0,3000	0,3300
G	kN/m²	5385	6391
E_{oed}	kN/m²	18,85E3	25,19E3
c_{ref}	kN/m²	0,000	5,000

Identification		**riporti antropici attuali**	**riporti di progetto**
φ (phi)	°	30,83	28,00
ψ (psi)	°	0,000	0,000
V_s	m/s	55,10	59,02
V_p	m/s	103,1	117,2
Set to default values		Yes	Yes
E_{inc}	kN/m²/m	0,000	0,000
y_{ref}	m	0,000	0,000
c_{inc}	kN/m²/m	0,000	0,000
y_{ref}	m	0,000	0,000
Tension cut-off		Yes	Yes
Tensile strength	kN/m²	0,000	0,000
Undrained behaviour		Standard	Standard
Skempton-B		0,9783	0,9738
v_u		0,4950	0,4950
$K_{w,ref}$ / n	kN/m²	525,0E3	620,3E3
Strength		Rigid	Rigid
R_{inter}		1,000	1,000
Consider gap closure		Yes	Yes
δ_{inter}		0,000	0,000

Identification		**riporti antropici attuali**	**riporti di progetto**
K_0 determination		Automatic	Automatic
$K_{0,x} = K_{0,z}$		Yes	Yes
$K_{0,x}$		0,4875	0,5305
$K_{0,z}$		0,4875	0,5305
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
Set to default values		Yes	Yes
k_x	m/day	0,6000	0,6000
k_y	m/day	0,6000	0,6000
$-\psi_{unsat}$	m	10,00E3	10,00E3
e_{init}		0,5000	0,5000
S_s	1/m	0,000	0,000
c_k		1,000E15	1,000E15

DEFINIZIONI

DEFORMAZIONI

Spostamenti totali:

I valori di rigidezza alle piccole deformazioni sono interpretati come una proprietà fondamentale che presentano quasi tutti i terreni, dai colloidi alle ghiaie ed anche le rocce. La proprietà si manifesta applicando carichi statico/dinamici, sia in condizioni non drenate che drenate. In letteratura, la resistenza a deformazione per piccoli spostamenti è addotta all'interazione delle forze inter-particellari all'interno dello scheletro del suolo. Di conseguenza, il terreno può venir modificato solo se queste forze inter-particella sono riorganizzate sotto l'influenza delle variazioni tensionali indotte da forze esterne (Benz et al., 2009).

Deformazioni volumetriche €v: costituiscono una misura della deformazione del volume racchiuso tra le particelle del terreno rispetto ad un volume iniziale di riferimento. I tensori di deformazioni volumetrici sono dati dalla somma delle singole deformazioni che intervengono lungo i tre assi dello spazio (€x - €y ed €z). A valori positivi di €v corrisponde un effetto di dilatazione del volume di riferimento, ed al contrario, a valori negativi sono associate contrazioni del volume intraparticellare.

Deformazioni deviatoriche ¥v: costituiscono una misura della deformazione angolare subita dall'elemento elementare di volume intraparticellare del terreno, nelle direzioni degli assi di riferimento. L'entità delle deformazioni è proporzionale alle variazioni degli stati

tensionali indotti dall'applicazione di forze esterne al terreno, lungo i 3 assi di riferimento (X, Y, e Z). Valori positivi della deformazione deviatorica indicano una contrazione con riduzione del volume intraparticellare, ed al contrario, valori negativi indicano un detensionamento dello scheletro del terreno con riorientamento degli assi secondo cui agiscono le forze costitutive resistenti agenti tra le particelle.

Tensioni di taglio relative τ_{rel}: indicano quanto la deformazione sia prossima all'inviluppo di rottura indotto dall'applicazione di un sistema esterno di tensioni; il valore delle tensioni di taglio relative è dato dal rapporto:

$$\boldsymbol{\tau}_{rel} = \boldsymbol{\tau}_{mob}/\boldsymbol{\tau}_{max}$$

dove:

$\boldsymbol{\tau}_{max}$ = è il massimo valore delle tensioni di taglio indicato dal cerchio di Mhor nel punto di tangenza con l'inviluppo a rottura di Coulomb, mantenendo costante il centro del cerchio di Mohr. Quando si applica il modello di rottura di Hoek-Brown nell'analisi degli ammassi rocciosi, partendo dall'enunciazione del criterio di rottura:

$$f_{HB} = \sigma'_1 - \sigma'_3 + f^*(\sigma'_3) = 0$$

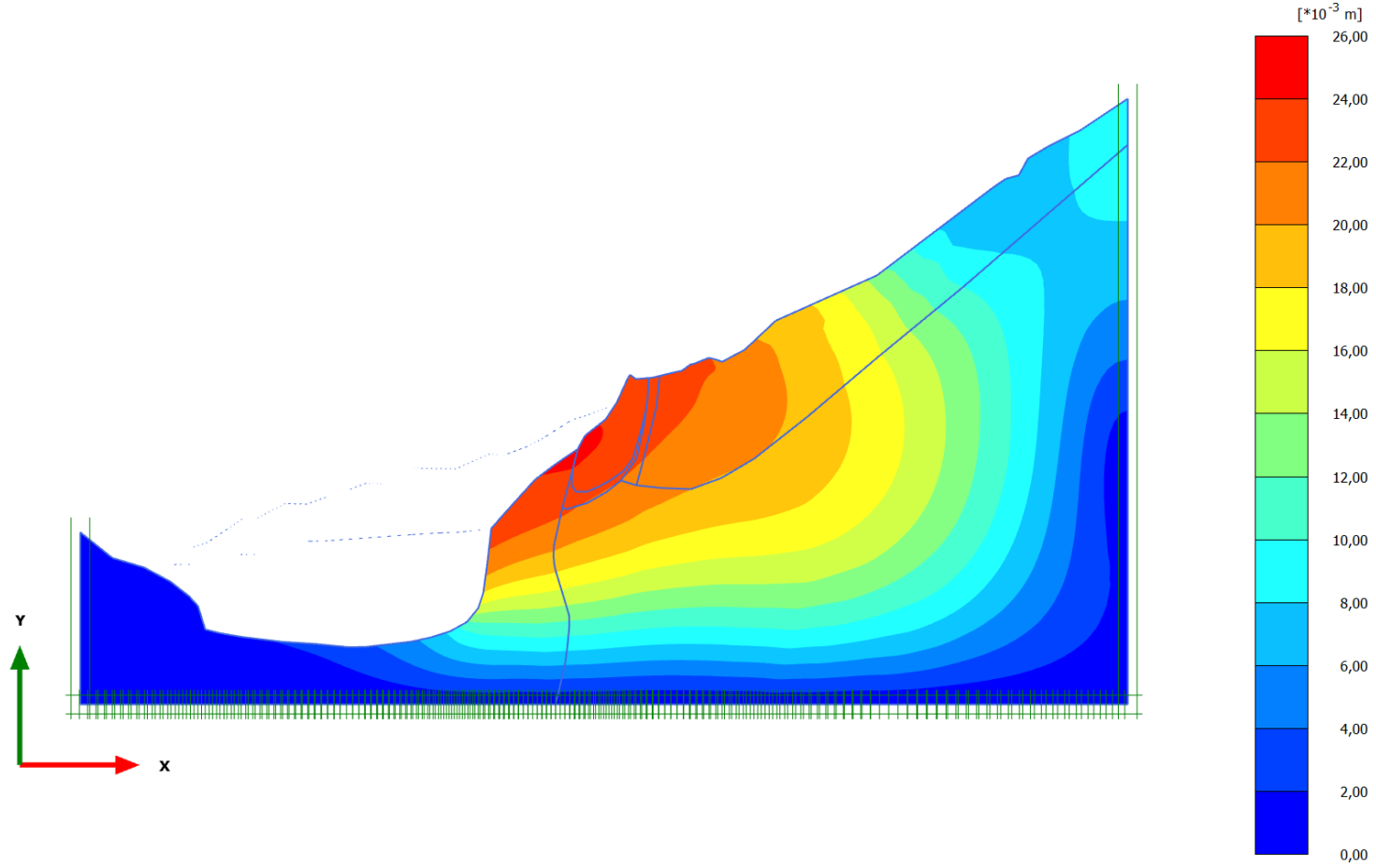
la definizione di $\boldsymbol{\tau}_{max}$ risulta la seguente:

$$\boldsymbol{\tau}_{max} = ½\ f^*(\sigma'_3) \text{ dove } f^*(\sigma'_3) = \sigma_{ci}\ (m_b - \sigma'3/\sigma_{ci} + s)^a$$

di conseguenza $\boldsymbol{\tau}_{rel} = |\sigma'_1 - \sigma'_3| / f^*(\sigma'_3)$

Tensione di resistenza a taglio resa disponibile τ_{mob}: è il valore massimo dello stress di taglio, equivalente al raggio del cerchio di Mohr definito anche come ½ della differenza tra gli sforzi di taglio principali $|\sigma'_1 - \sigma'_3|$

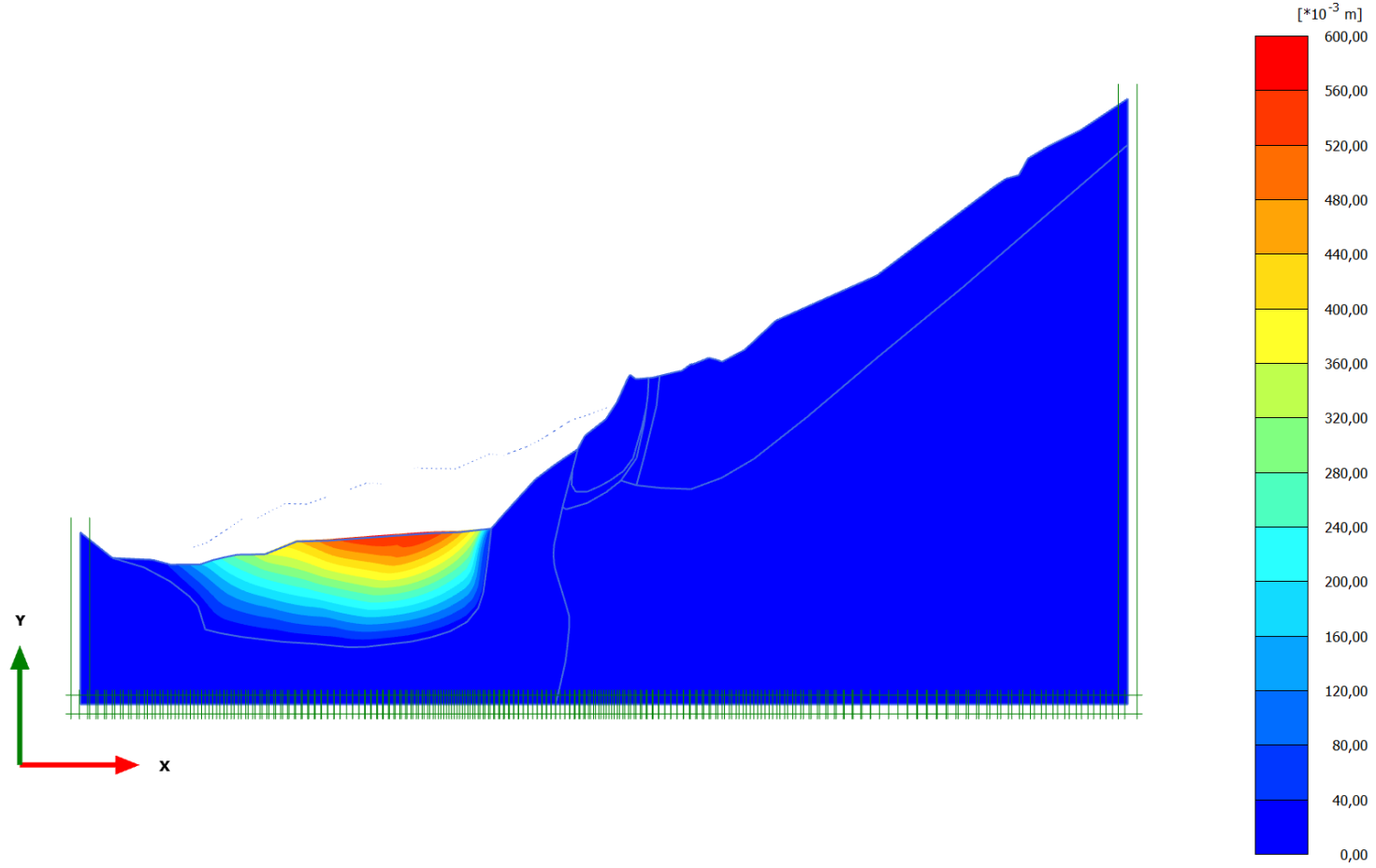
Calculation results, fronte cava [Phase_1] (1/542), Total displacements |u|



Total displacements |u|

Maximum value = 0,02432 m (Element 275 at Node 7381)

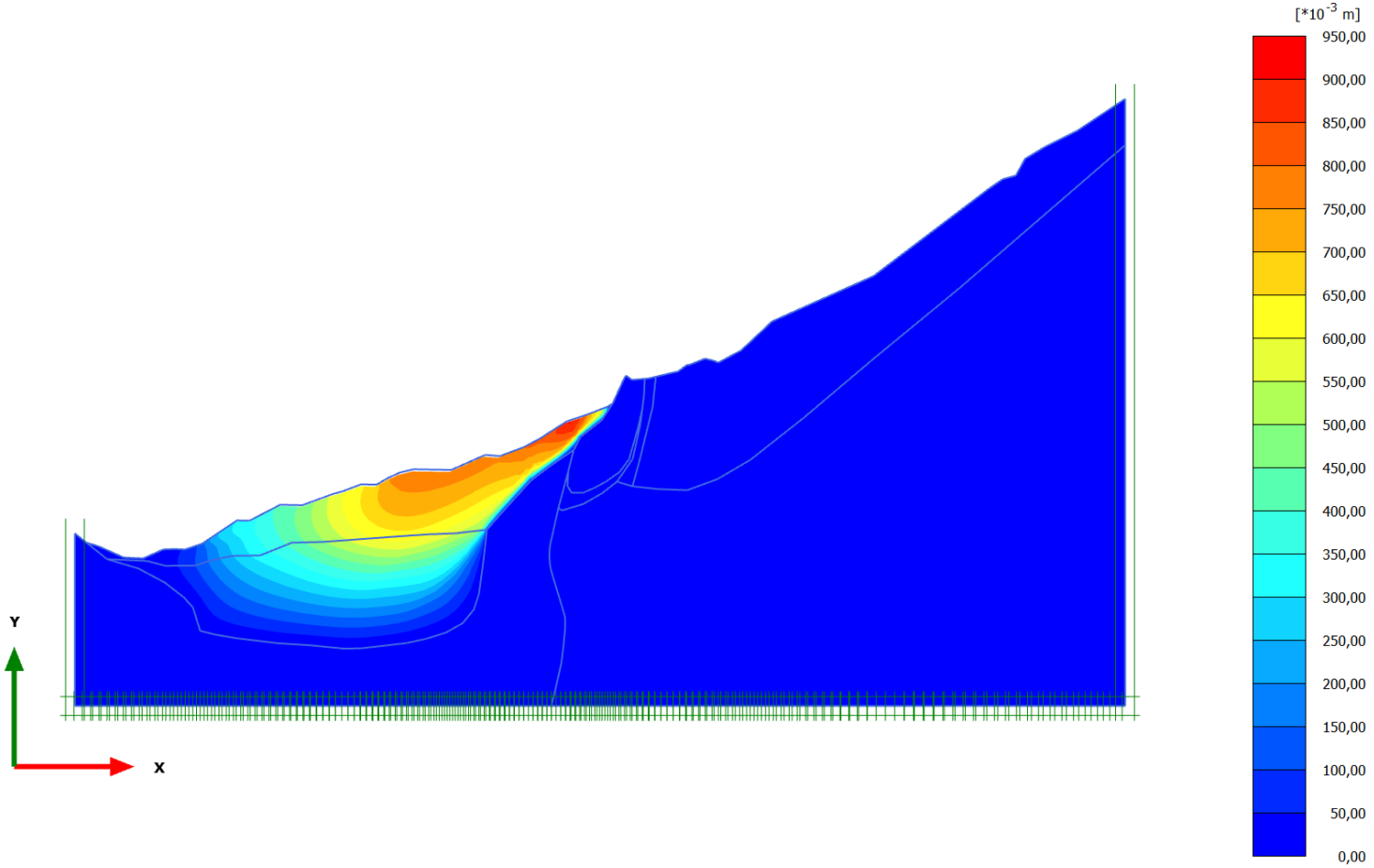
Calculation results, stato attuale SLU [Phase_7] (8/1222), Total displacements |u|



Total displacements |u|

Maximum value = 0,5693 m (Element 1131 at Node 9788)

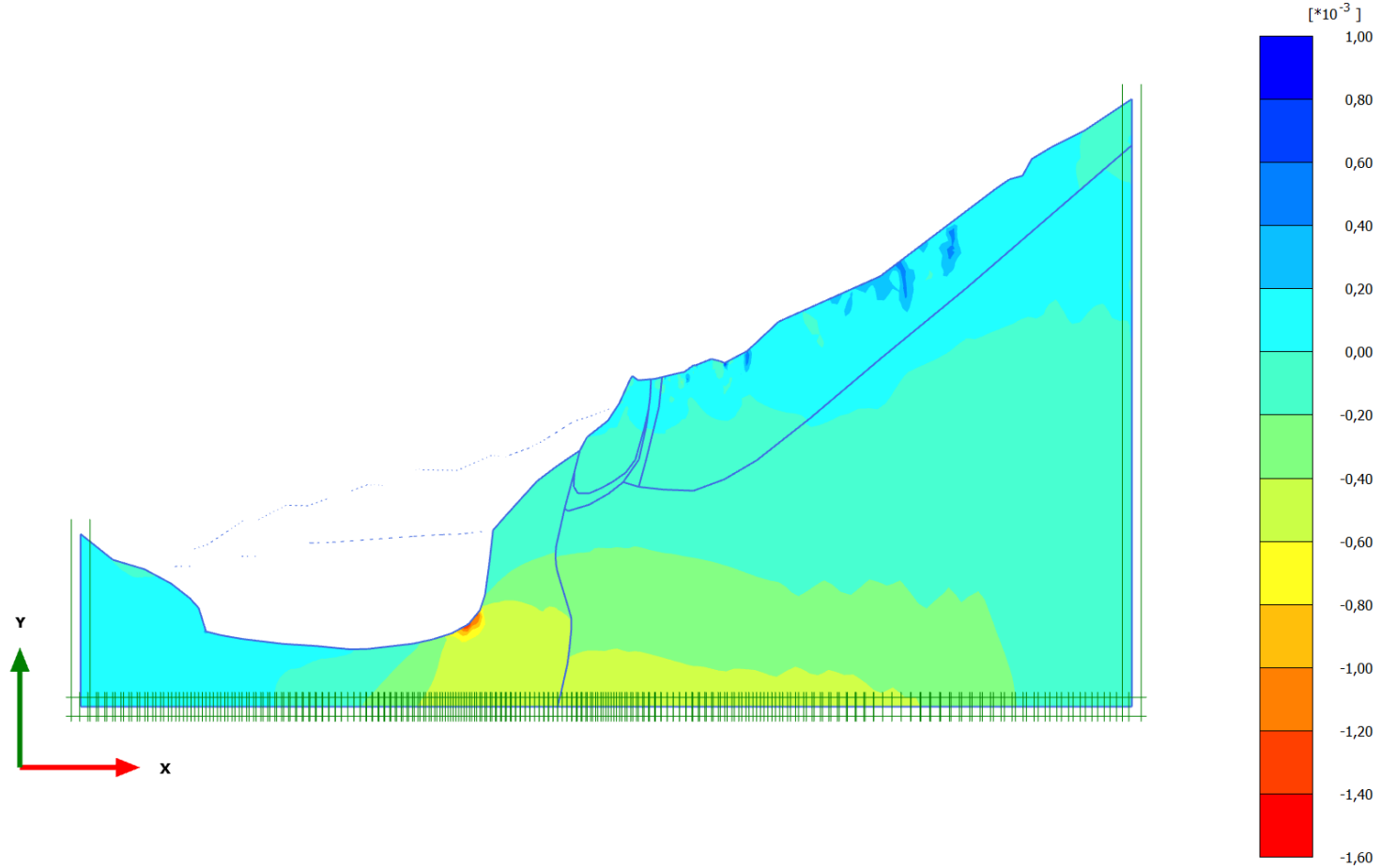
Calculation results, stato di progetto SLU [Phase_8] (9/945), Total displacements |u|



Total displacements |u|

Maximum value = 0,9082 m (Element 572 at Node 7345)

Calculation results, fronte cava [Phase_1] (1/542), Total cartesian strain γ_{xy}

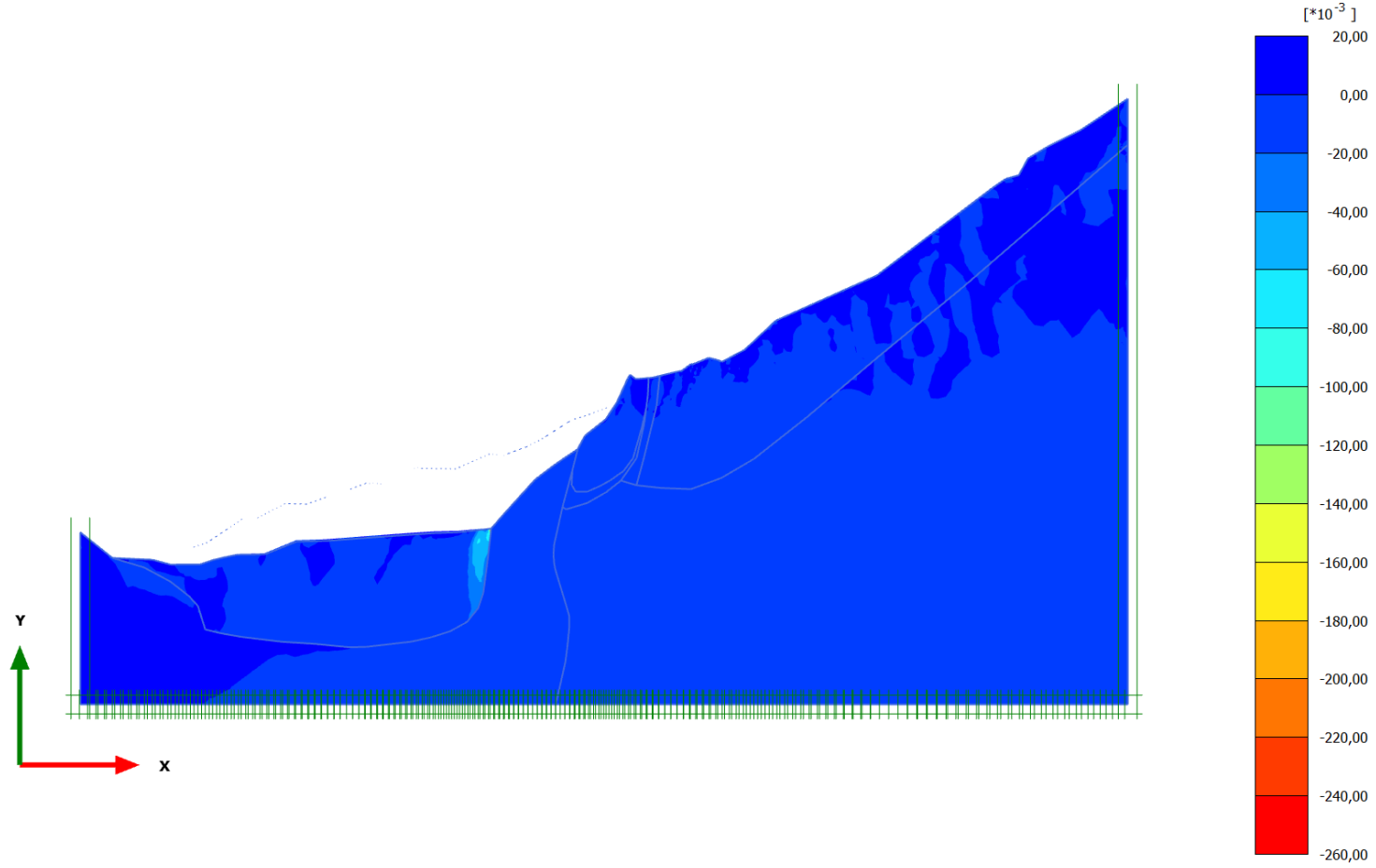


Total cartesian strain γ_{xy}

Maximum value = $0{,}9073*10^{-3}$ (Element 120 at Node 2123)

Minimum value = $-1{,}597*10^{-3}$ (Element 186 at Node 2333)

Calculation results, stato attuale SLU [Phase_7] (8/1222), Total cartesian strain γ_{xy}

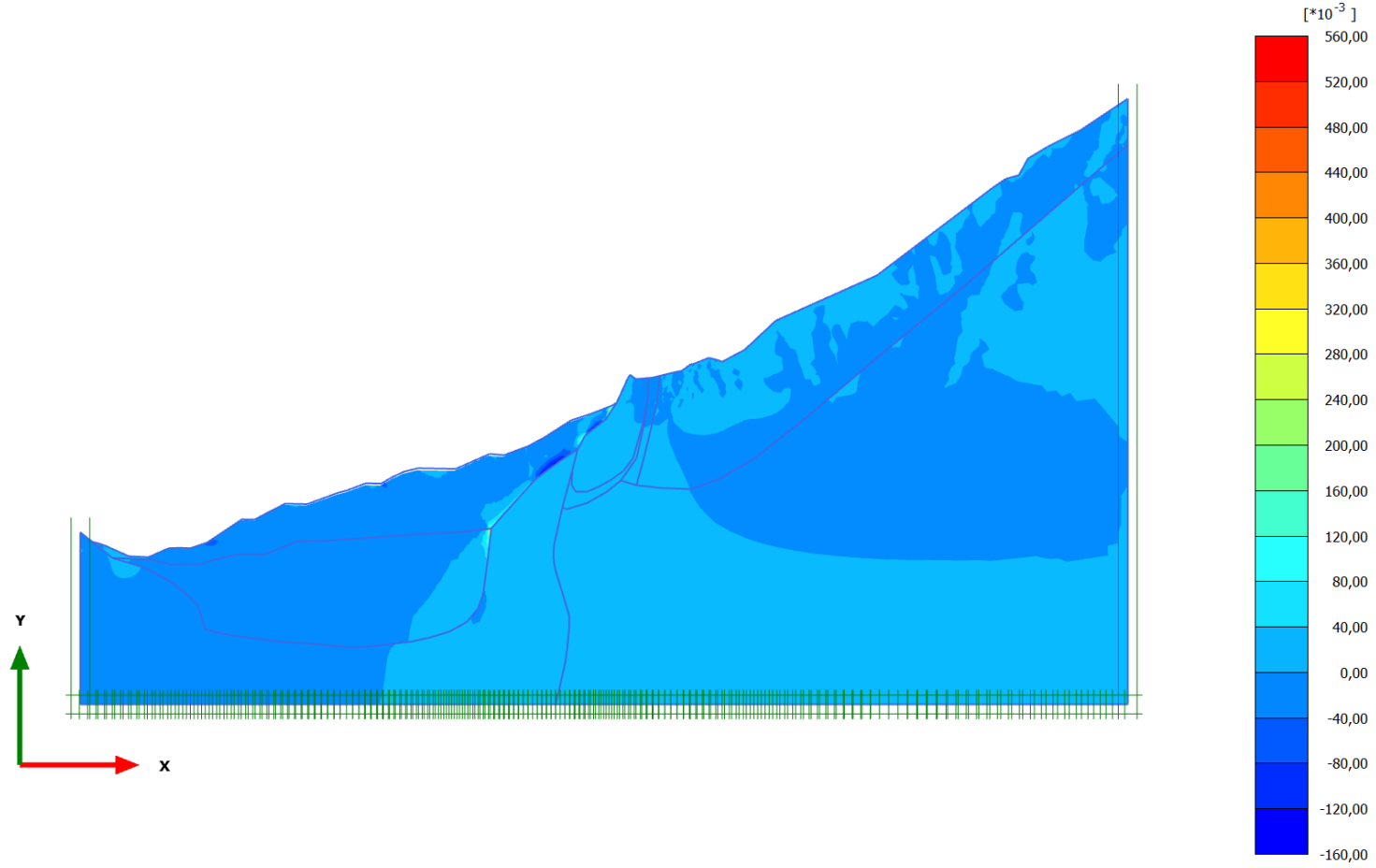


Total cartesian strain γ_{xy}

Maximum value = 0,01063 (Element 1196 at Node 11182)

Minimum value = -0,2440 (Element 1218 at Node 9167)

Calculation results, stato di progetto SLU [Phase_8] (9/945), Total cartesian strain γ_{xy}

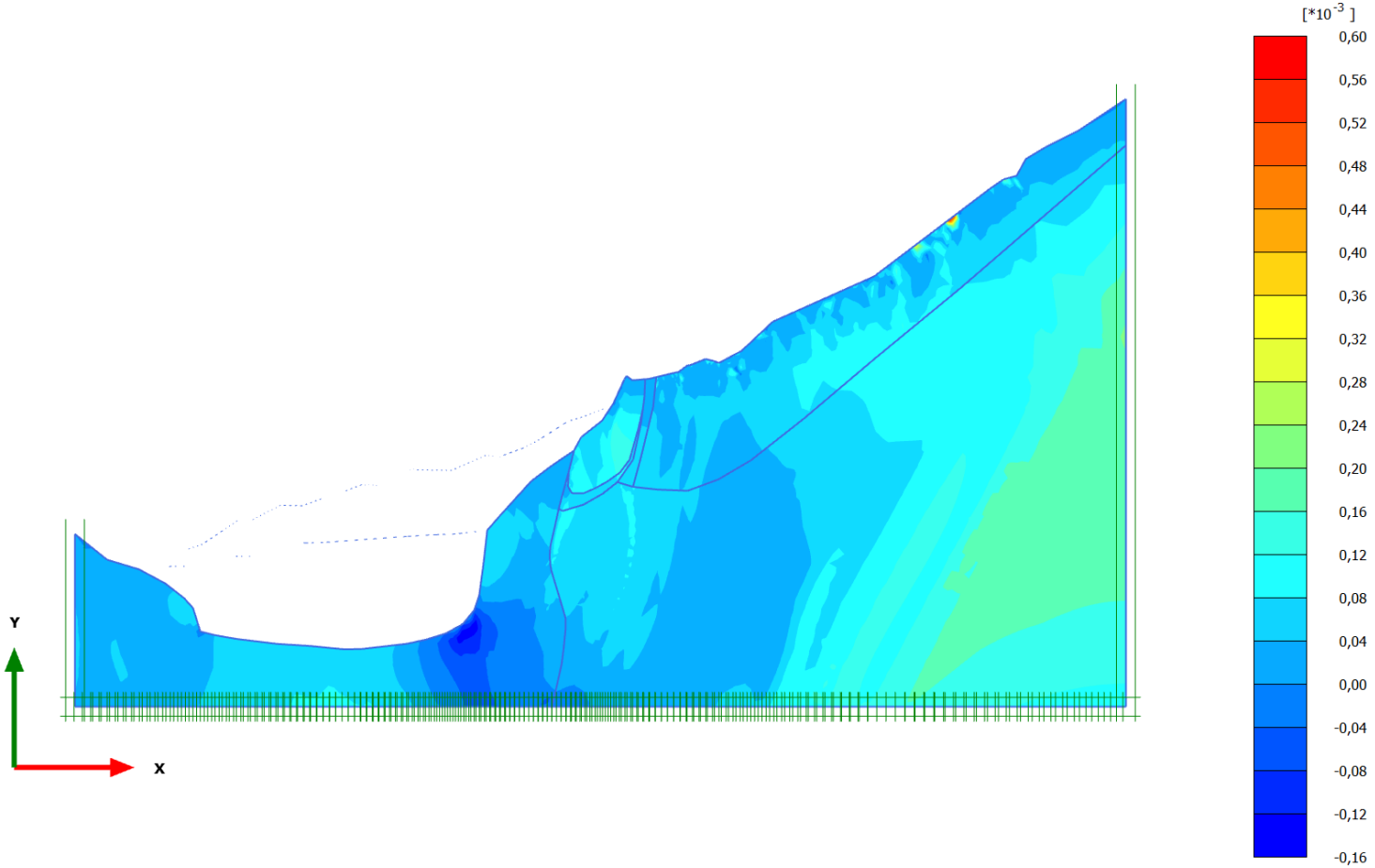


Total cartesian strain γ_{xy}

Maximum value = 0,5256 (Element 1218 at Node 9167)

Minimum value = -0,1370 (Element 598 at Node 6910)

Calculation results, fronte cava [Phase_1] (1/542), Total volumetric strain ε_V

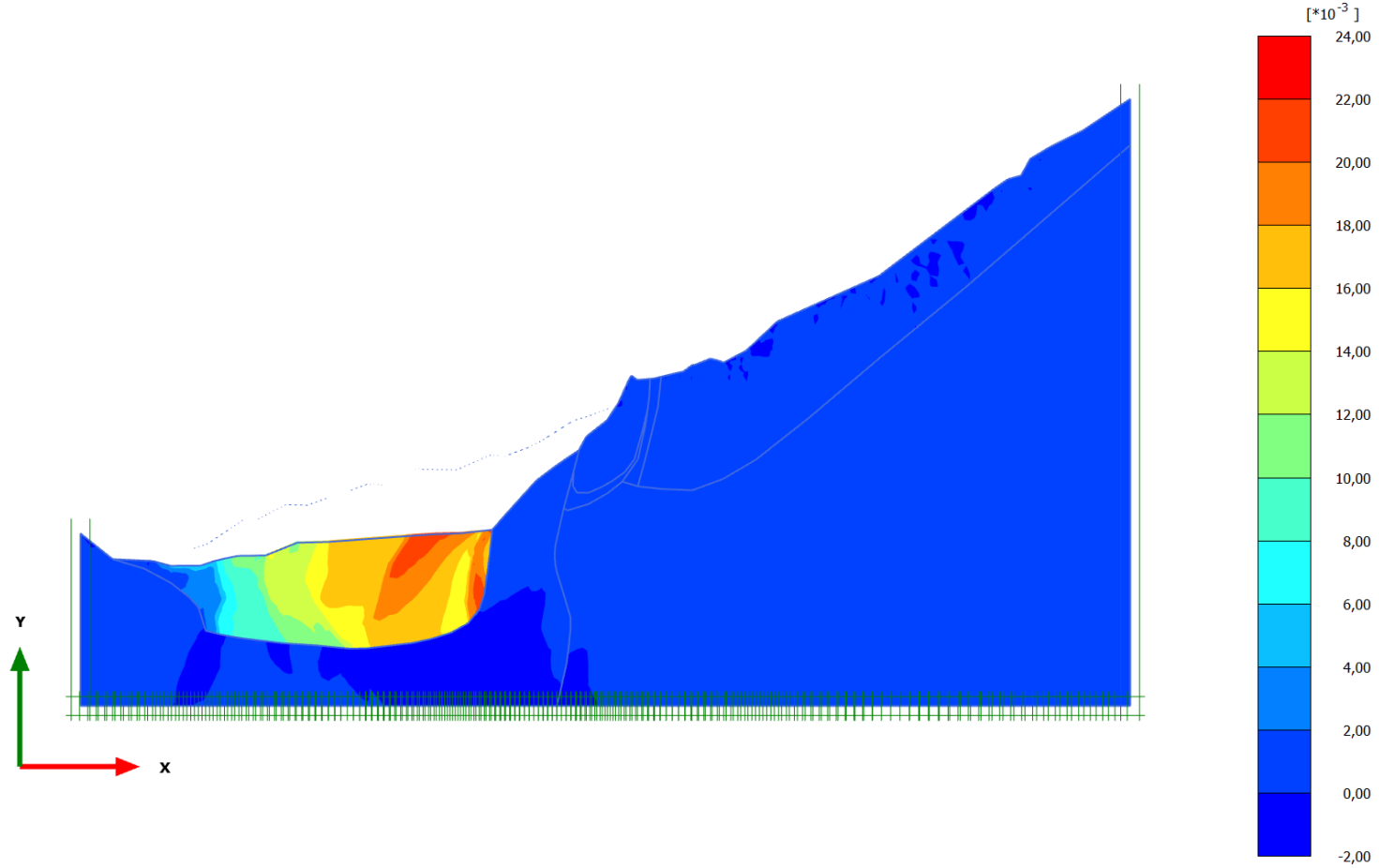


Total volumetric strain ε_V

Maximum value = $0{,}5730*10^{-3}$ (Element 62 at Node 613)

Minimum value = $-0{,}1441*10^{-3}$ (Element 1371 at Node 9542)

Calculation results, stato attuale SLU [Phase_7] (8/1222), Total volumetric strain ε_V

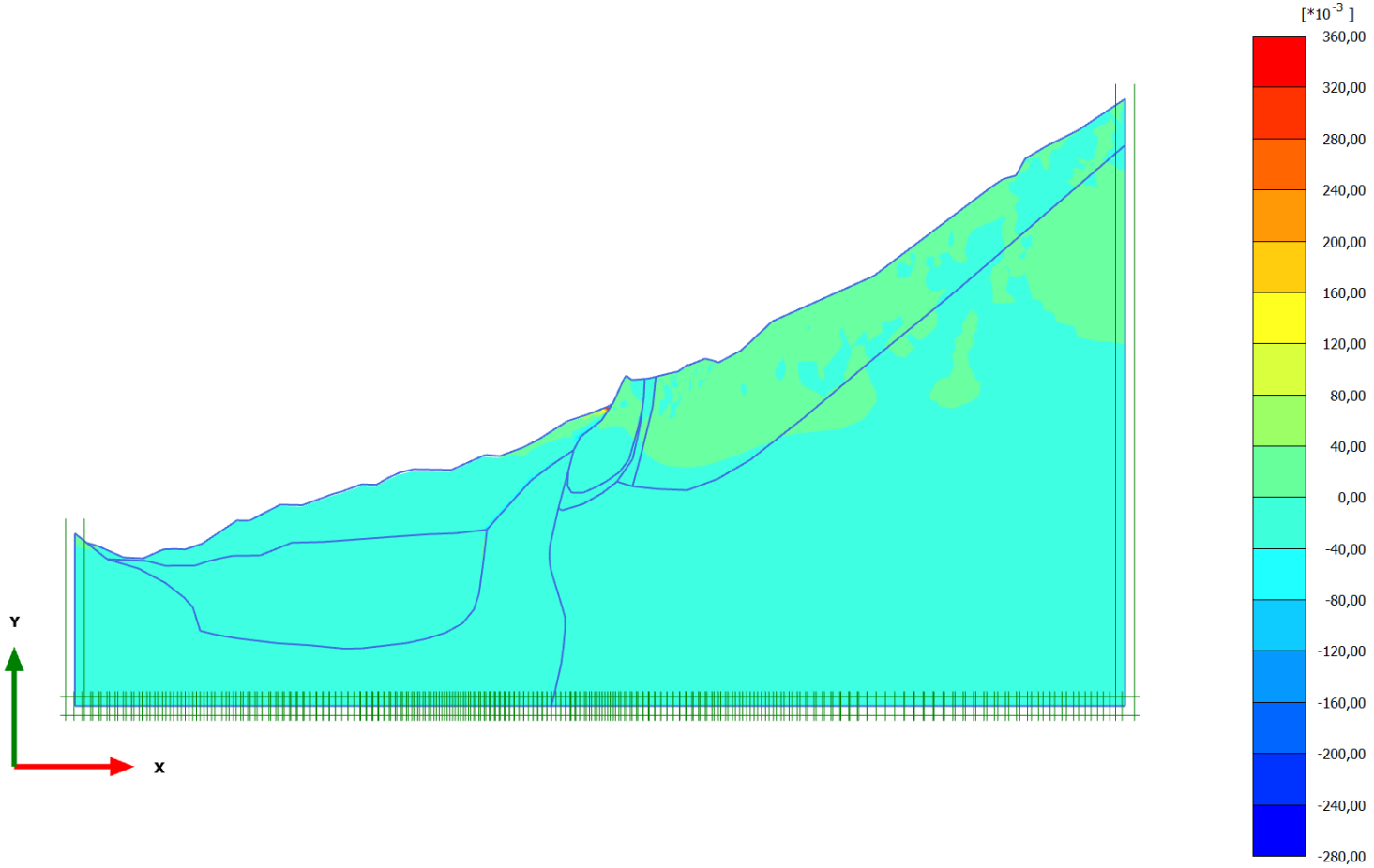


Total volumetric strain ε_V

Maximum value = 0,02244 (Element 1218 at Node 9167)

Minimum value = -0,2189*10^{-3} (Element 1363 at Node 9483)

Calculation results, stato di progetto SLU [Phase_8] (9/945), Total volumetric strain ε_V

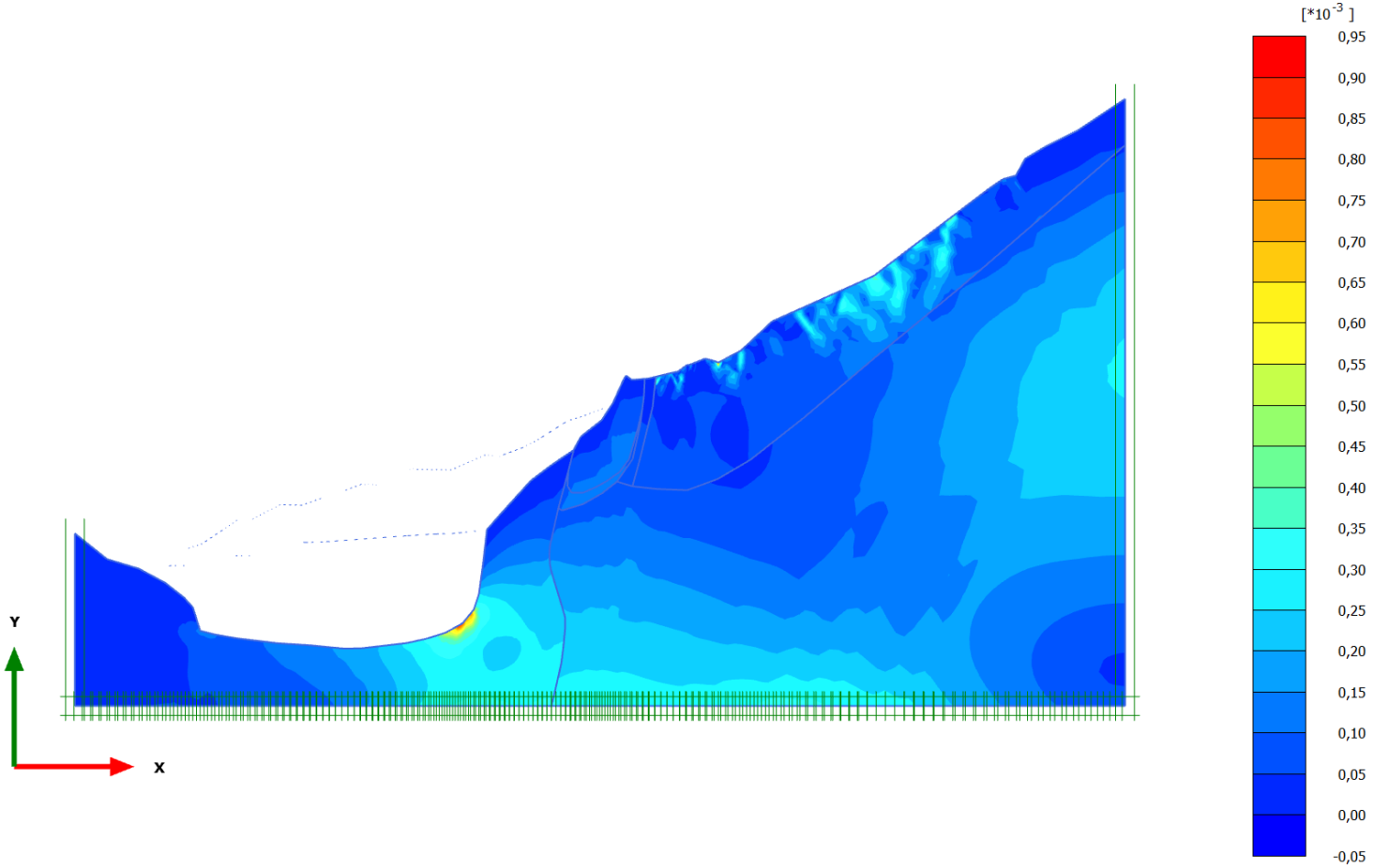


Total volumetric strain ε_V

Maximum value = 0,3441 (Element 697 at Node 6156)

Minimum value = -0,2552 (Element 648 at Node 6557)

Calculation results, fronte cava [Phase_1] (1/542), Total deviatoric strain γ_s

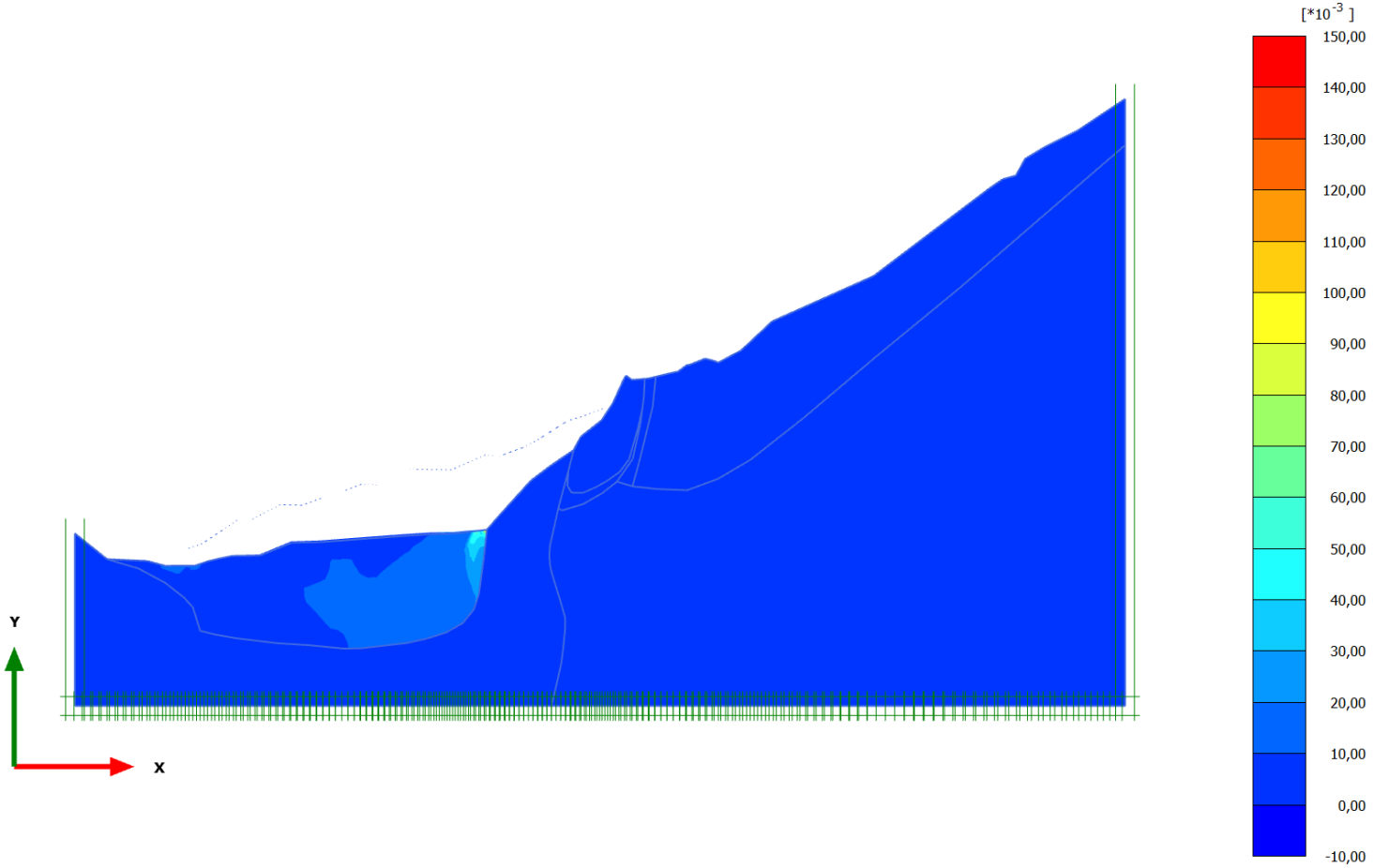


Total deviatoric strain γ_s

Maximum value = $0{,}9421*10^{-3}$ (Element 186 at Node 2333)

Minimum value = $0{,}04908*10^{-6}$ (Element 350 at Node 3293)

Calculation results, stato attuale SLU [Phase_7] (8/1222), Total deviatoric strain γ_s

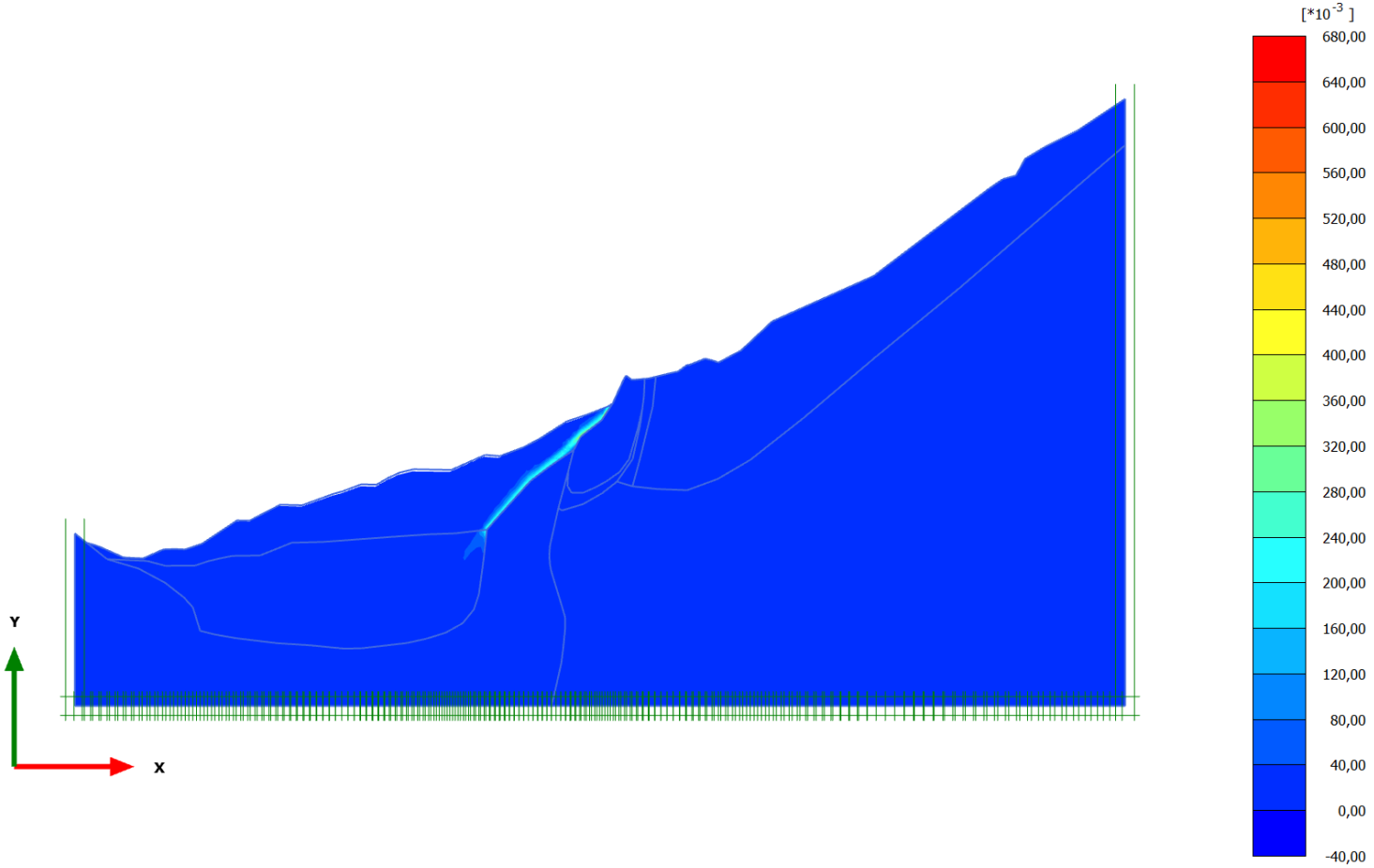


Total deviatoric strain γ_s

Maximum value = 0,1486 (Element 1218 at Node 9167)

Minimum value = $0{,}03458*10^{-6}$ (Element 350 at Node 3293)

Calculation results, stato di progetto SLU [Phase_8] (9/945), Total deviatoric strain γ_s

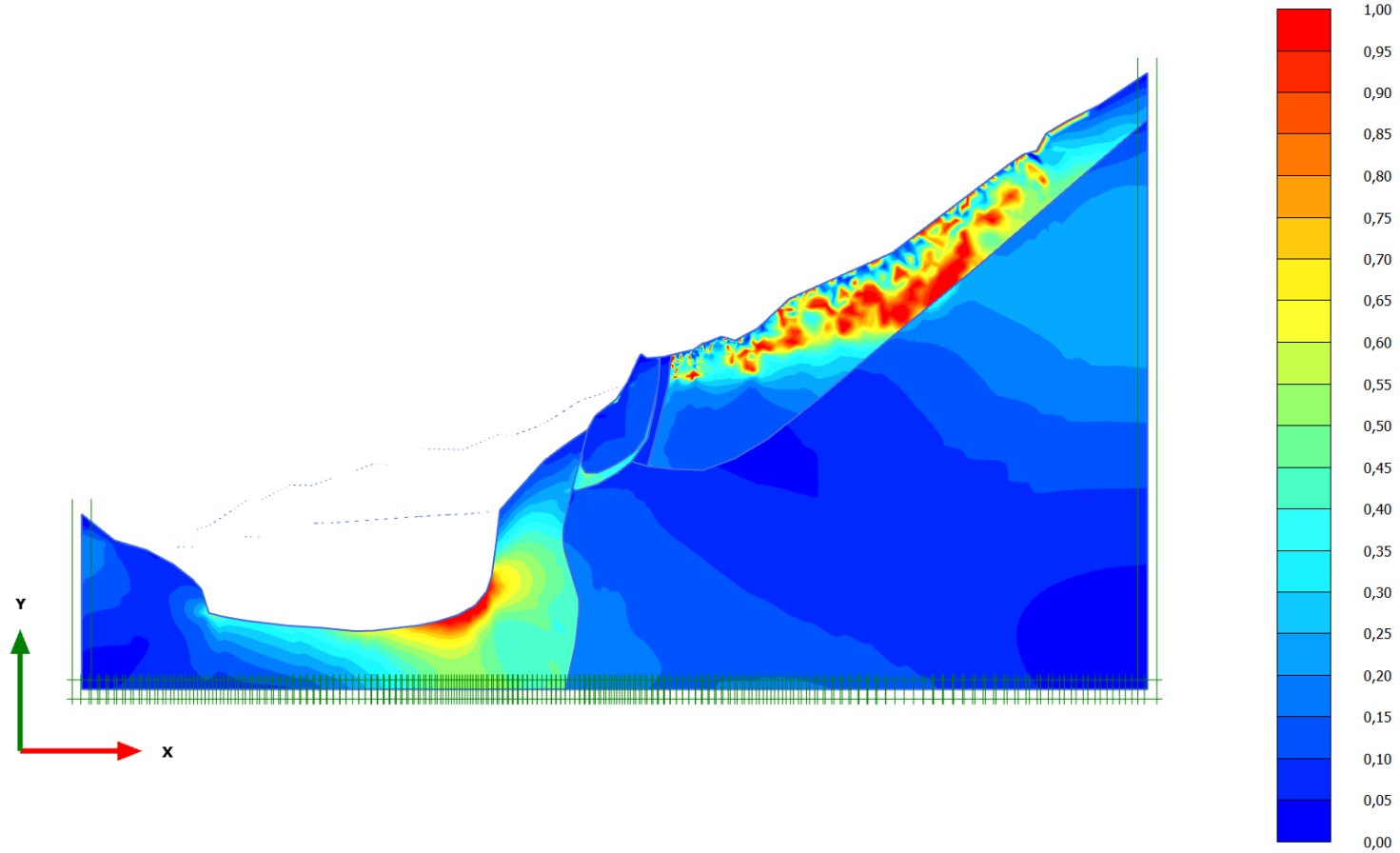


Total deviatoric strain γ_s

Maximum value = 0,6704 (Element 648 at Node 6556)

Minimum value = $2{,}700*10^{-9}$ (Element 387 at Node 3655)

Calculation results, fronte cava [Phase_1] (1/542), Relative shear stress τ_{rel}

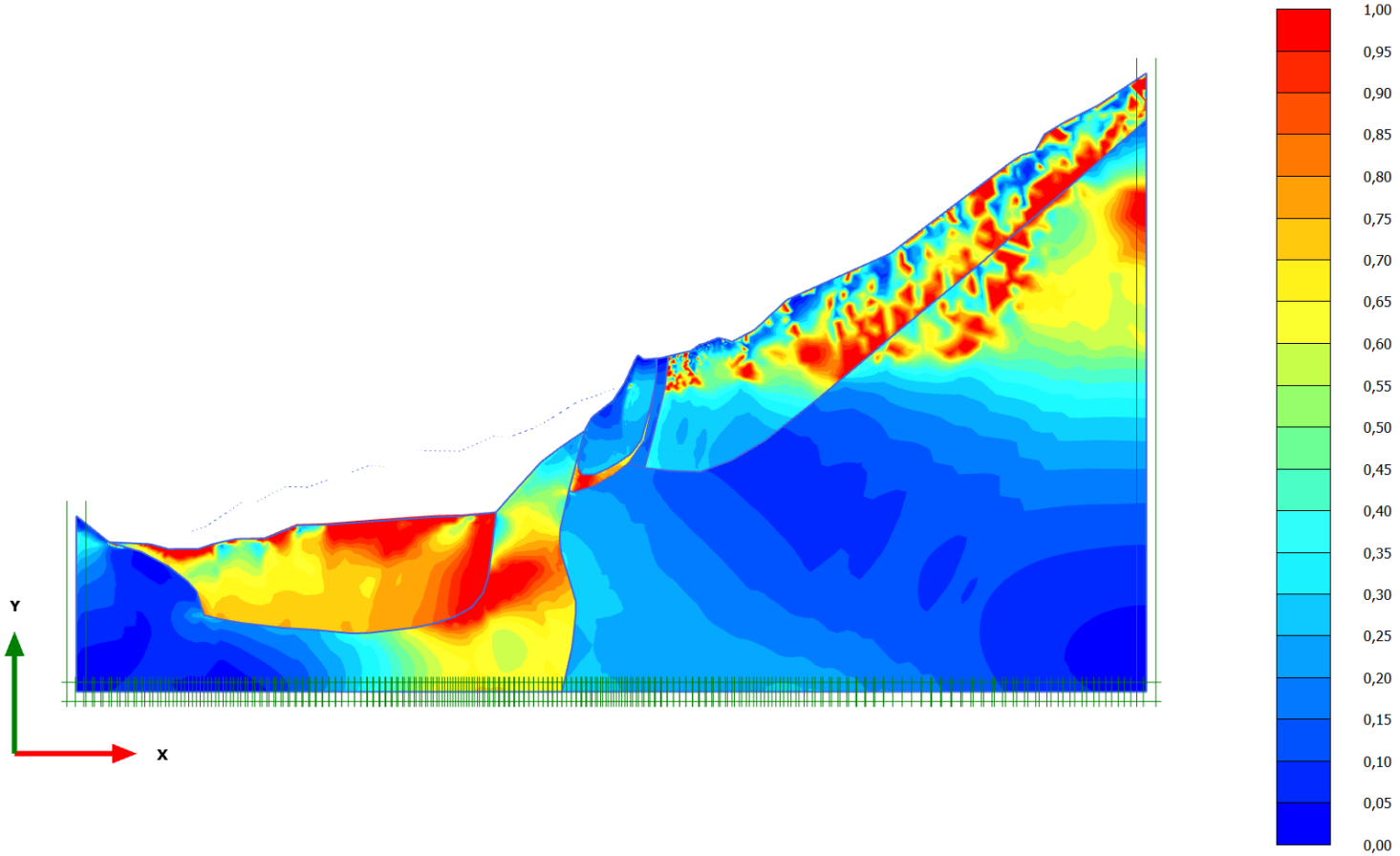


Relative shear stress τ_{rel}

Maximum value = 1,000 (Element 1 at Node 1249)

Minimum value = $0{,}2035*10^{-3}$ (Element 350 at Node 3293)

Calculation results, stato attuale SLU [Phase_7] (8/1222), Relative shear stress τ_{rel}

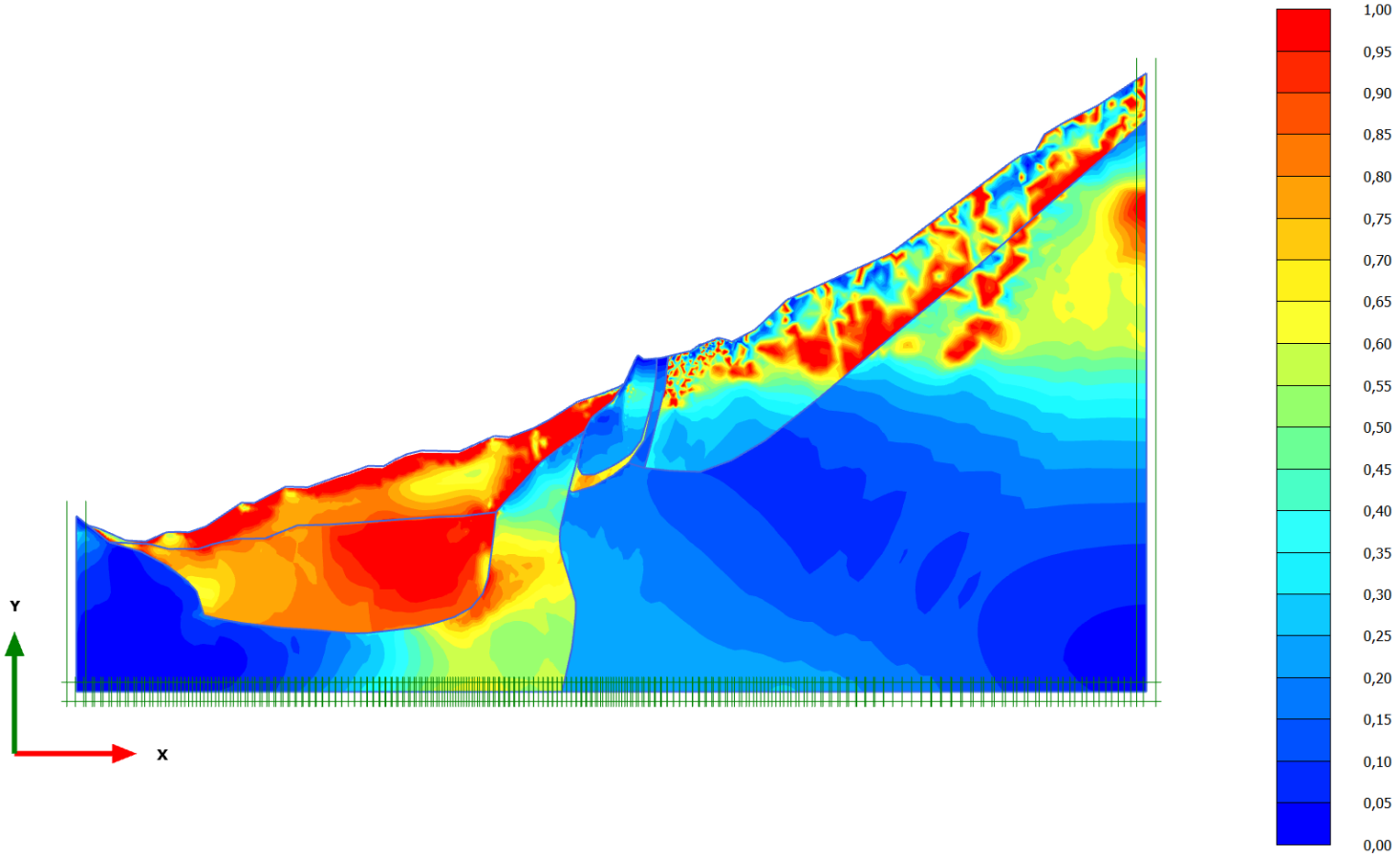


Relative shear stress τ_{rel}

Maximum value = 1,000 (Element 1 at Node 1445)

Minimum value = $0{,}1429*10^{-3}$ (Element 350 at Node 3293)

Calculation results, stato di progetto SLU [Phase_8] (9/945), Relative shear stress τ_{rel}

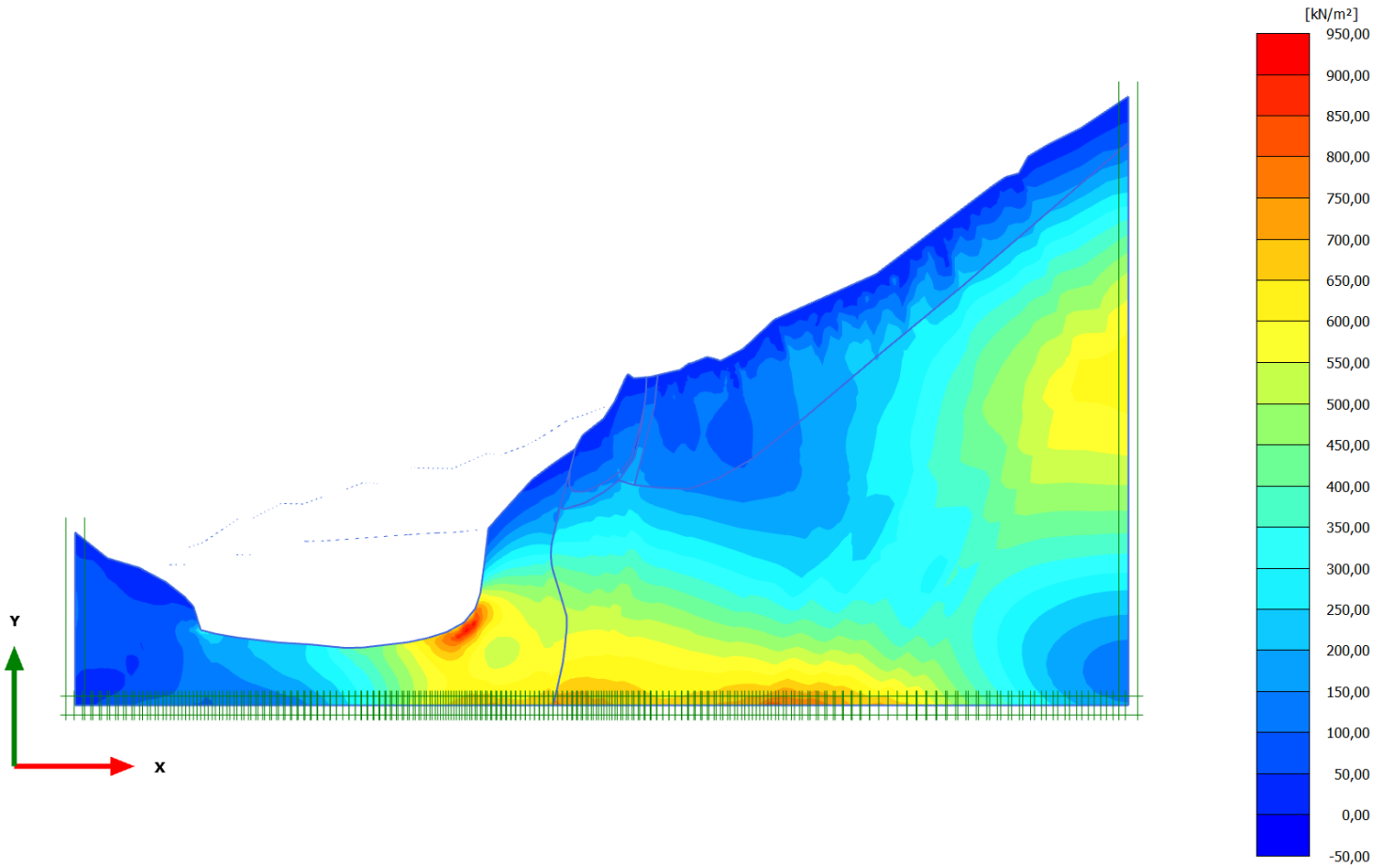


Relative shear stress τ_{rel}

Maximum value = 1,000 (Element 1 at Node 1445)

Minimum value = $0{,}1350*10^{-3}$ (Element 350 at Node 3293)

Calculation results, fronte cava [Phase_1] (1/542), Mobilized shear strength τ_{mob}

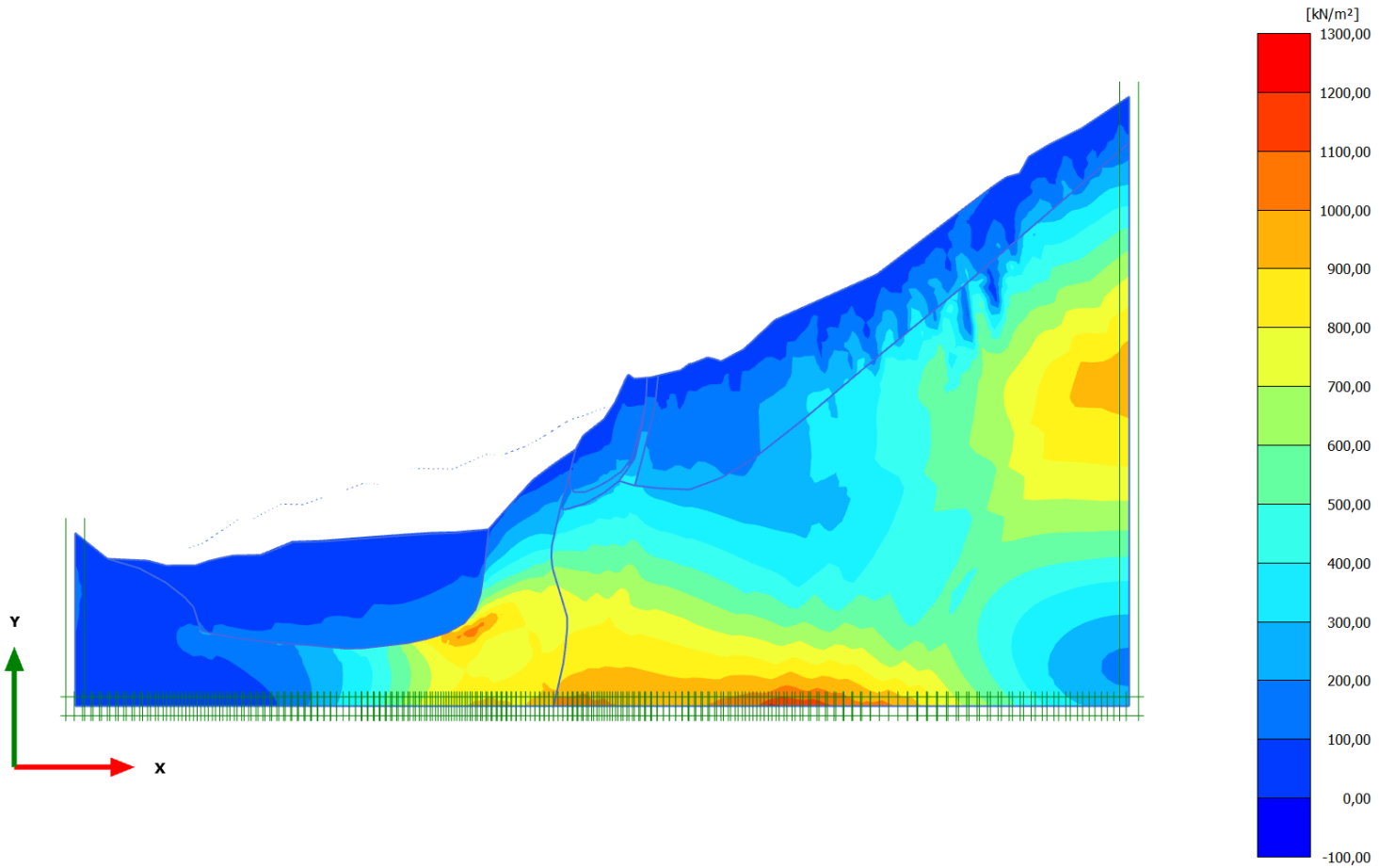


Mobilized shear strength τ_{mob}

Maximum value = 923,1 kN/m² (Element 1371 at Node 9491)

Minimum value = $0{,}4441*10^{-15}$ kN/m² (Element 186 at Node 2332)

Calculation results, stato attuale SLU [Phase_7] (8/1222), Mobilized shear strength τ_{mob}

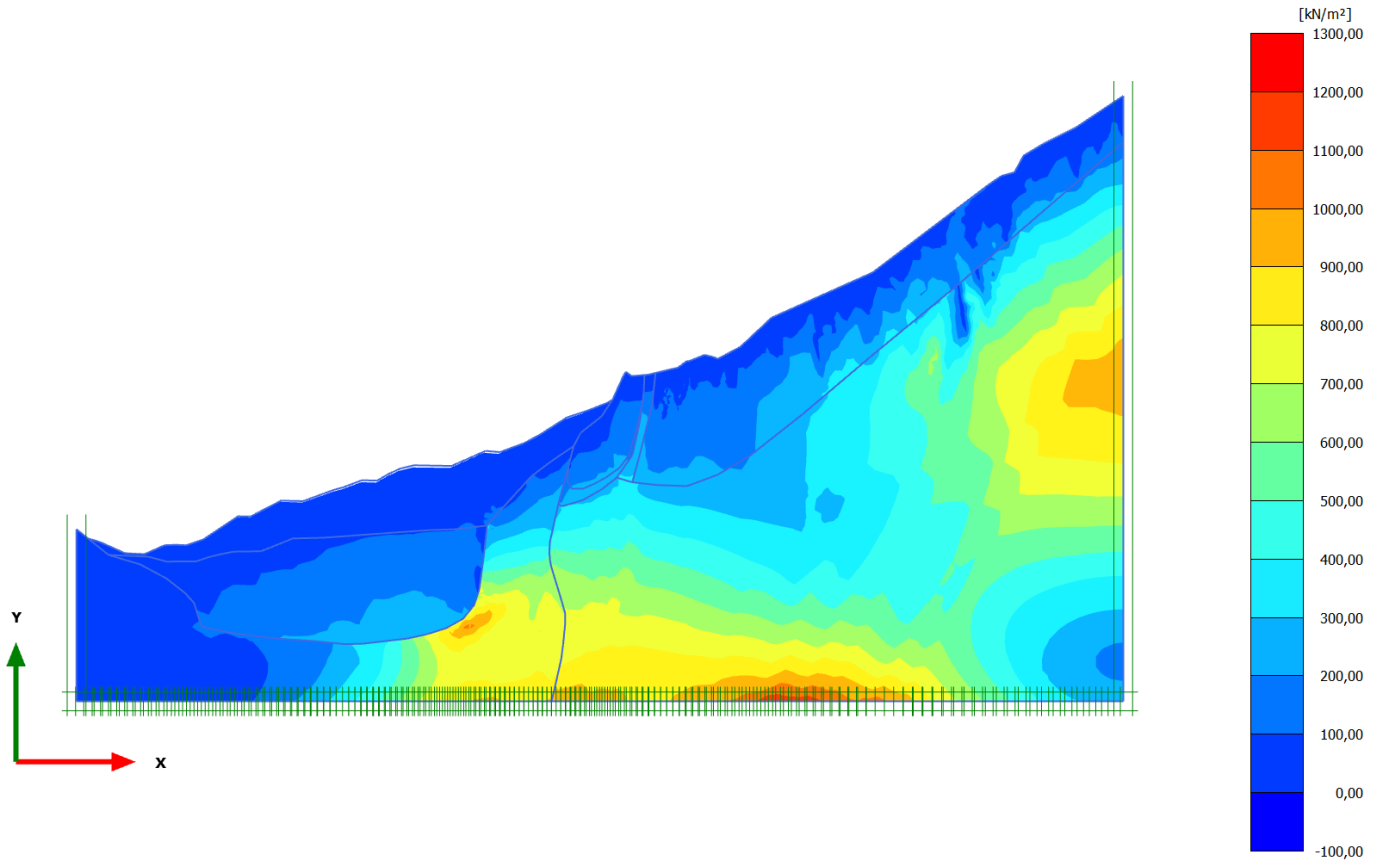


Mobilized shear strength τ_{mob}

Maximum value = 1250 kN/m² (Element 882 at Node 4465)

Minimum value = 0,03913 kN/m² (Element 350 at Node 3293)

Calculation results, stato di progetto SLU [Phase_8] (9/945), Mobilized shear strength T_{mob}

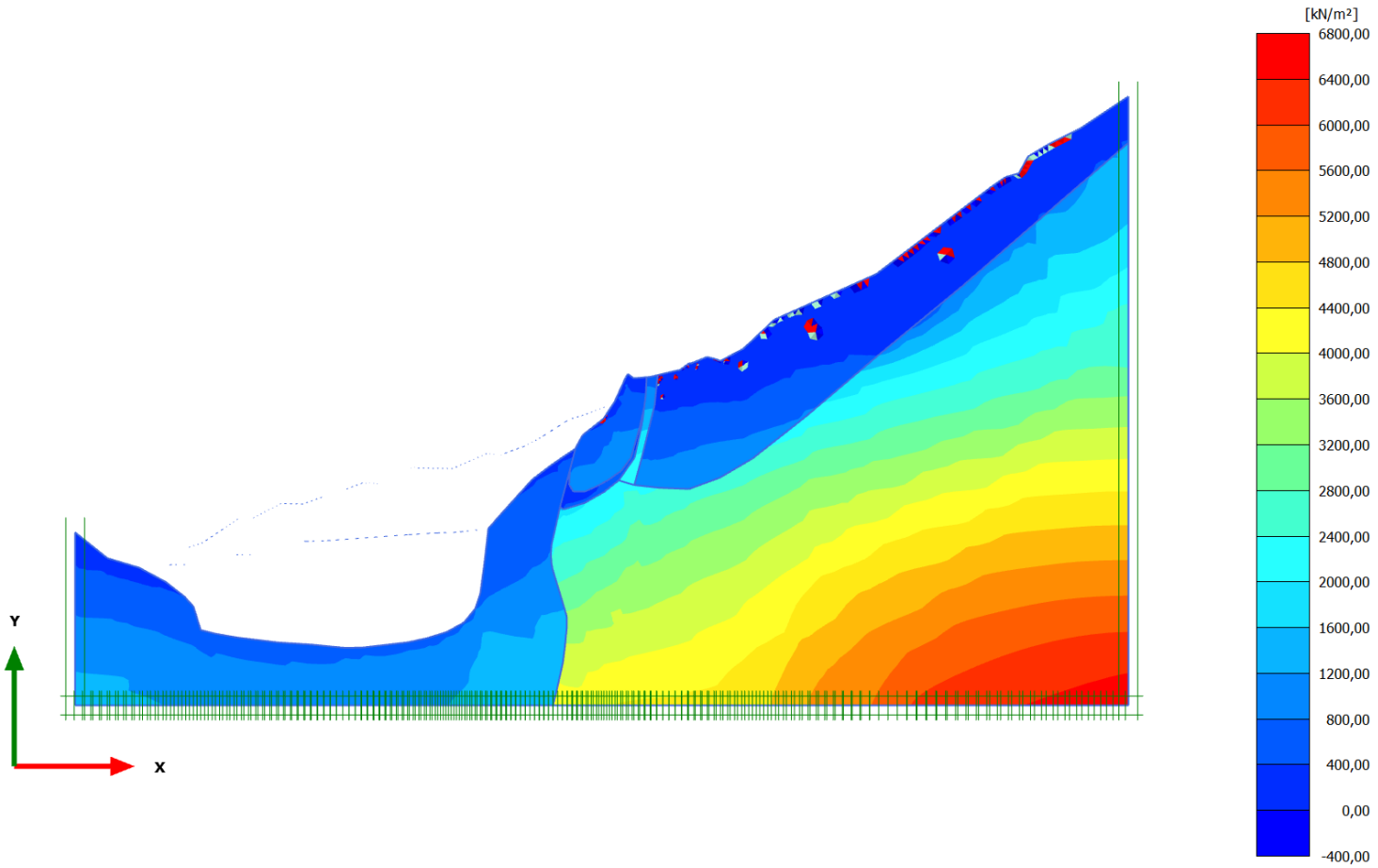


Mobilized shear strength τ_{mob}

Maximum value = 1223 kN/m² (Element 882 at Node 4465)

Minimum value = 0,000 kN/m² (Element 159 at Node 2151)

Calculation results, fronte cava [Phase_1] (1/542), Shear stress τ_{max}

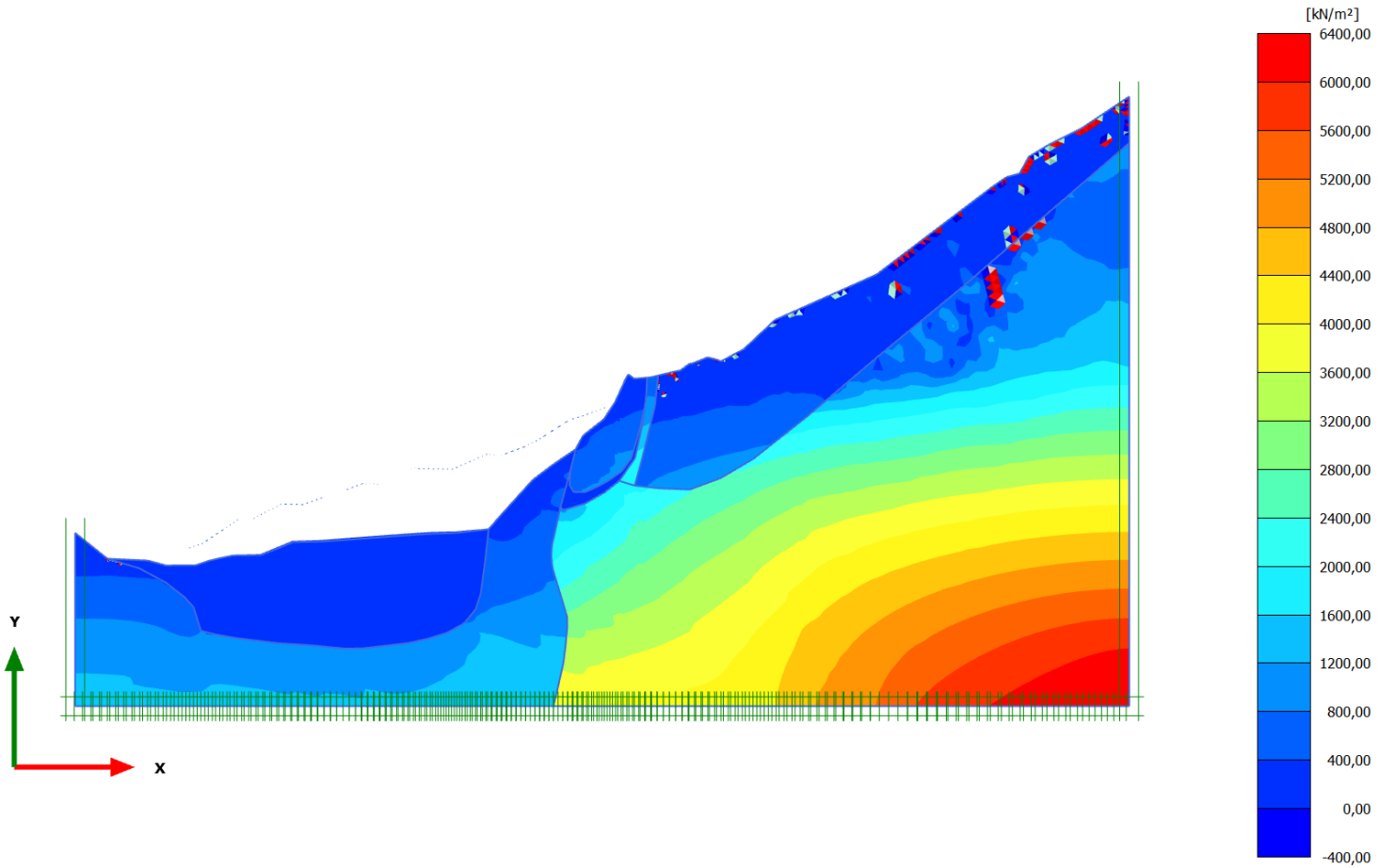


Shear stress τ_{max}

Maximum value = 6551 kN/m² (Element 704 at Node 1132)

Minimum value = 0,1509 kN/m² (Element 159 at Node 2151)

Calculation results, stato attuale SLU [Phase_7] (8/1222), Shear stress τ_{max}

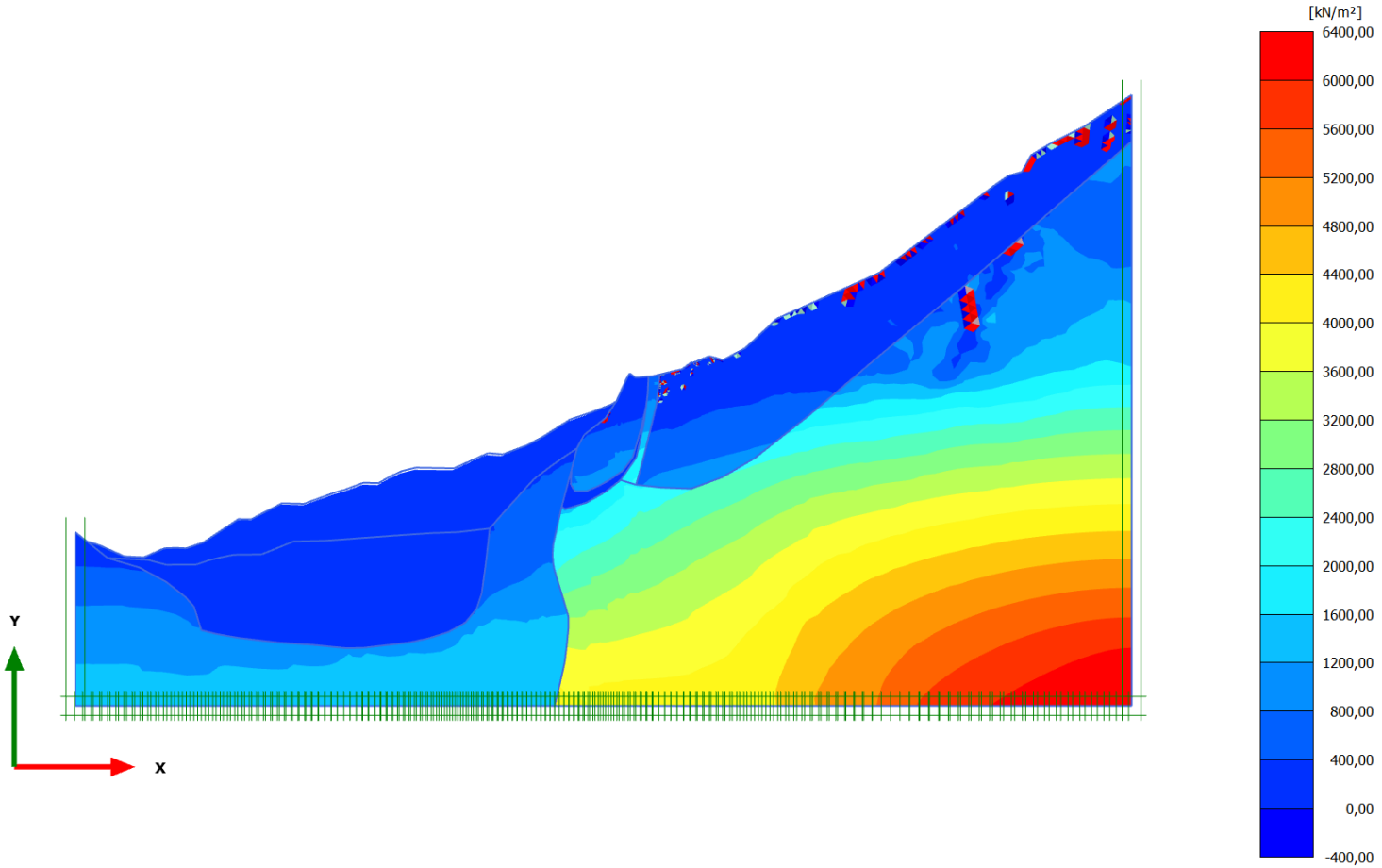


Shear stress τ_{max}

Maximum value = 6360 kN/m² (Element 704 at Node 1132)

Minimum value = 0,000 kN/m² (Element 1149 at Node 9595)

Calculation results, stato di progetto SLU [Phase_8] (9/945), Shear stress τ_{max}

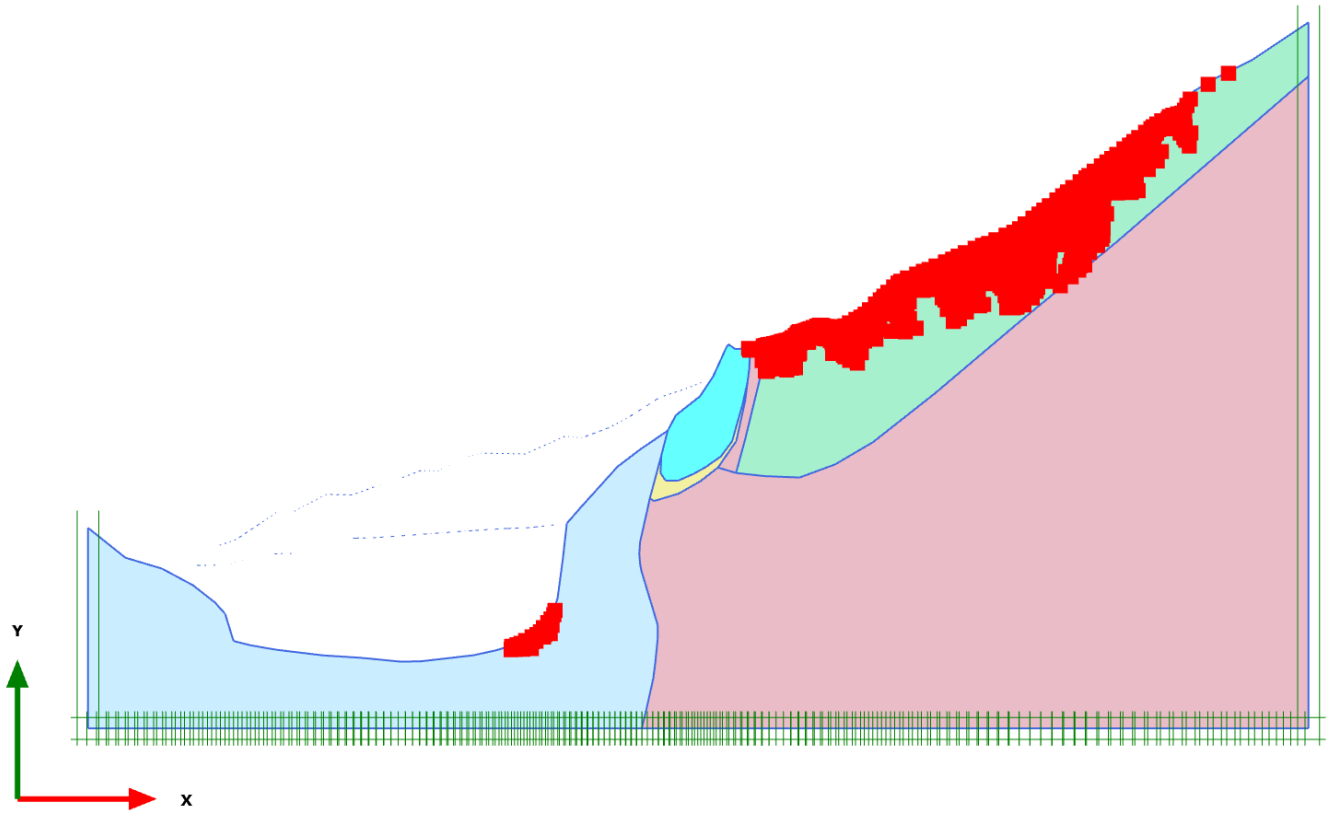


Shear stress τ_{max}

Maximum value = 6358 kN/m² (Element 704 at Node 1132)

Minimum value = 0,000 kN/m² (Element 1218 at Node 9167)

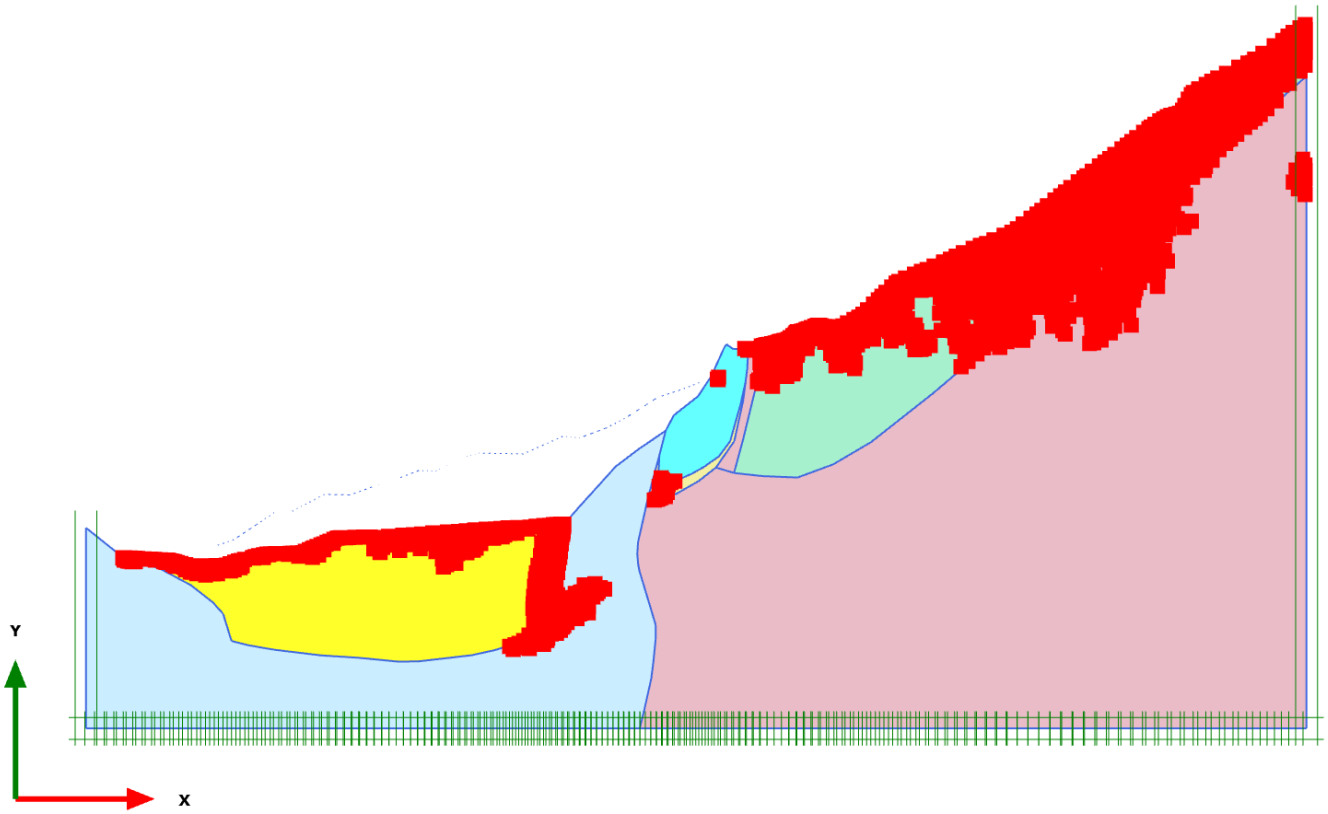
Calculation results, fronte cava [Phase_1] (1/542), Plastic point history Failure



Plastic point history Failure

■ Failure point ☐ Tension cut-off point

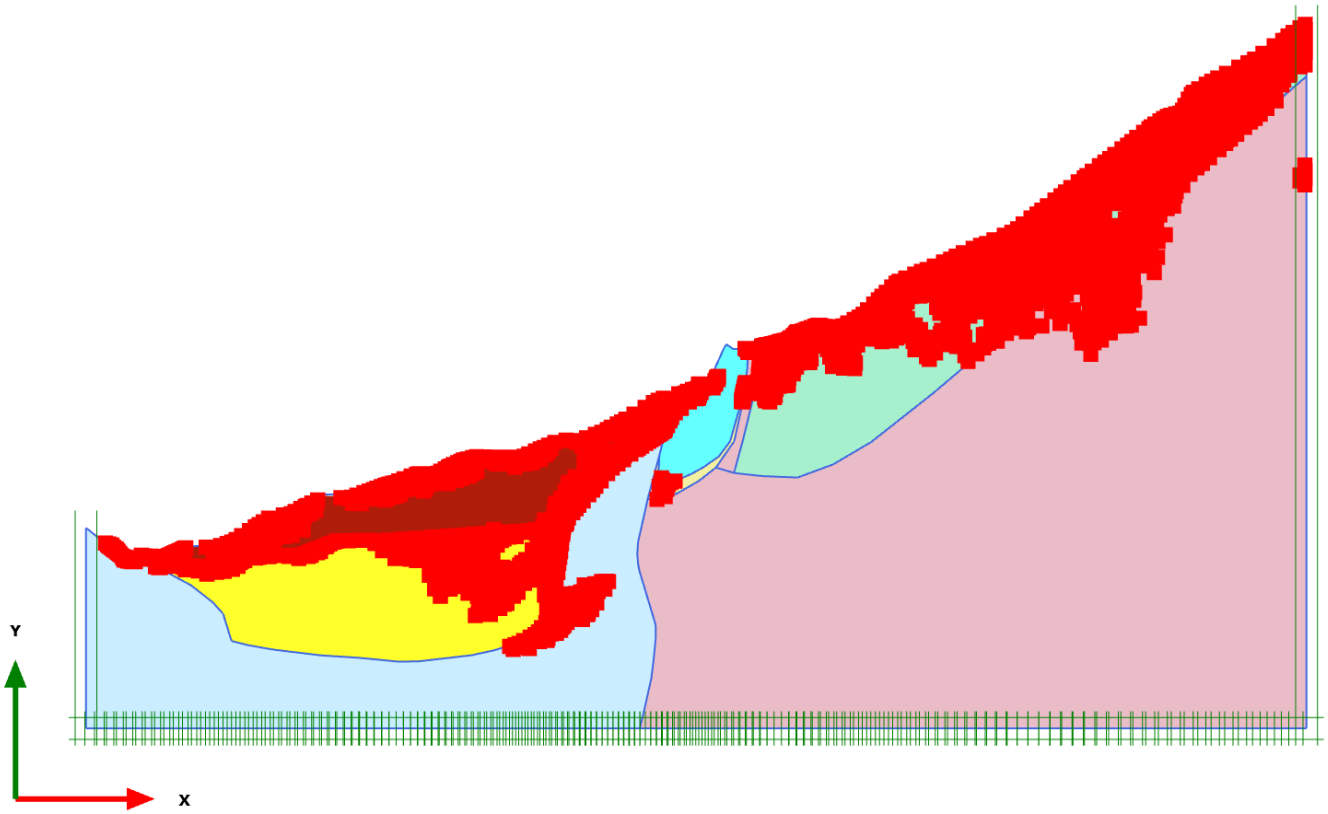
Calculation results, stato attuale SLU [Phase_7] (8/1222), Plastic point history Failure



Plastic point history Failure

■ Failure point ☐ Tension cut-off point

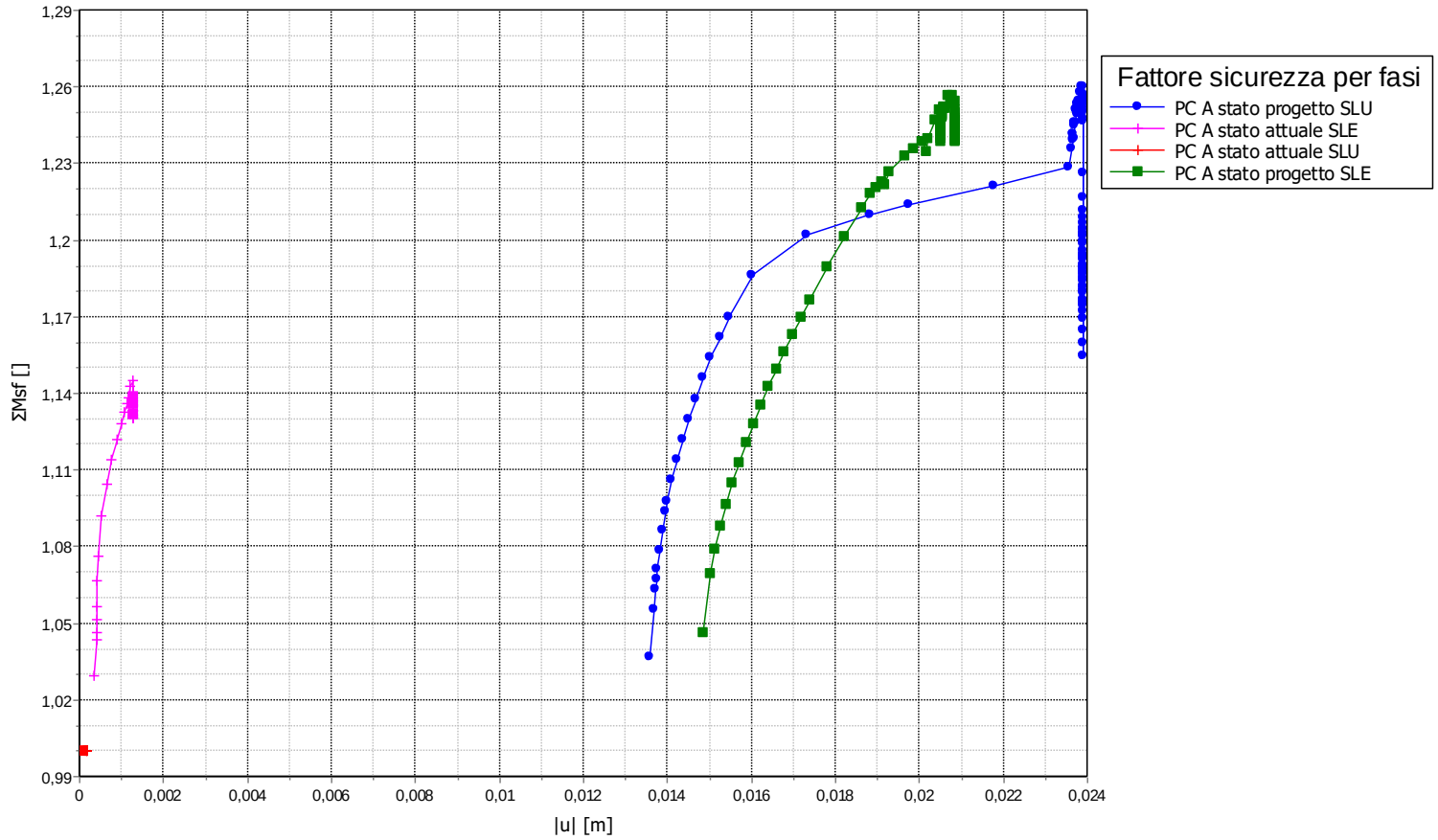
Calculation results, stato di progetto SLU [Phase_8] (9/945), Plastic point history Failure



Plastic point history Failure

■ Failure point ☐ Tension cut-off point

Output Version 2016.0.20962.14753

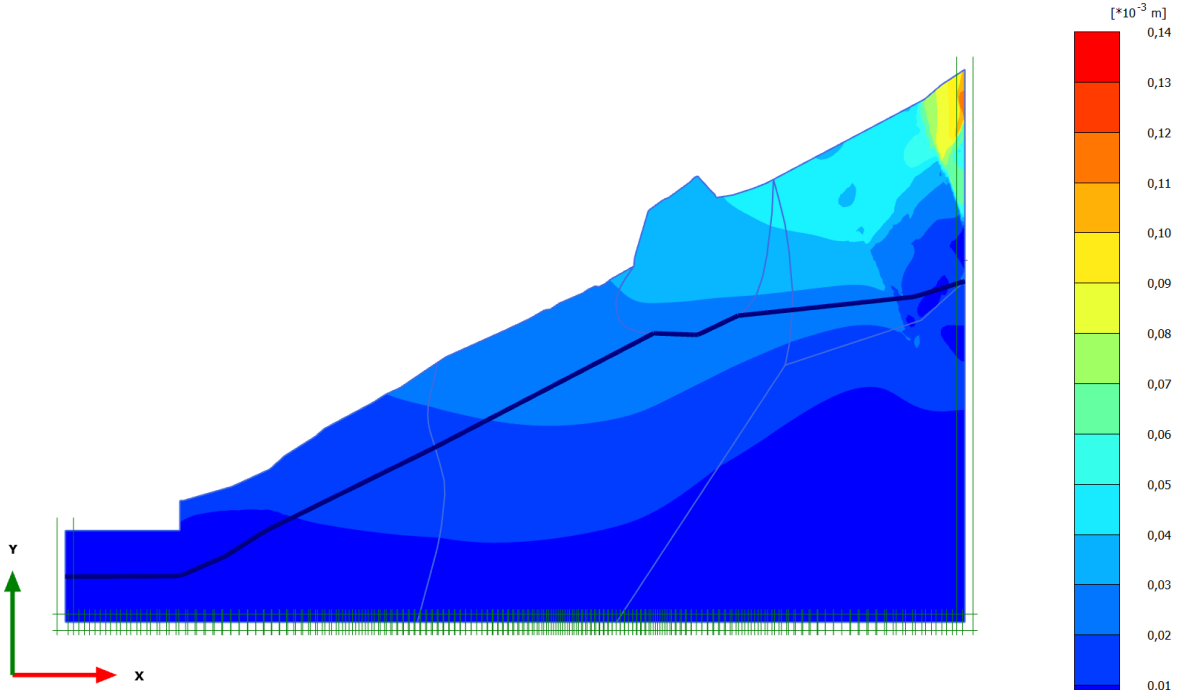


PLAXIS

Project description		Date
Fs/U		05/04/2016
Project filename	**Step**	**User name**
sezione_2_completa	1045	Dott. Geol. Guido Carieri

Sezione n. 6

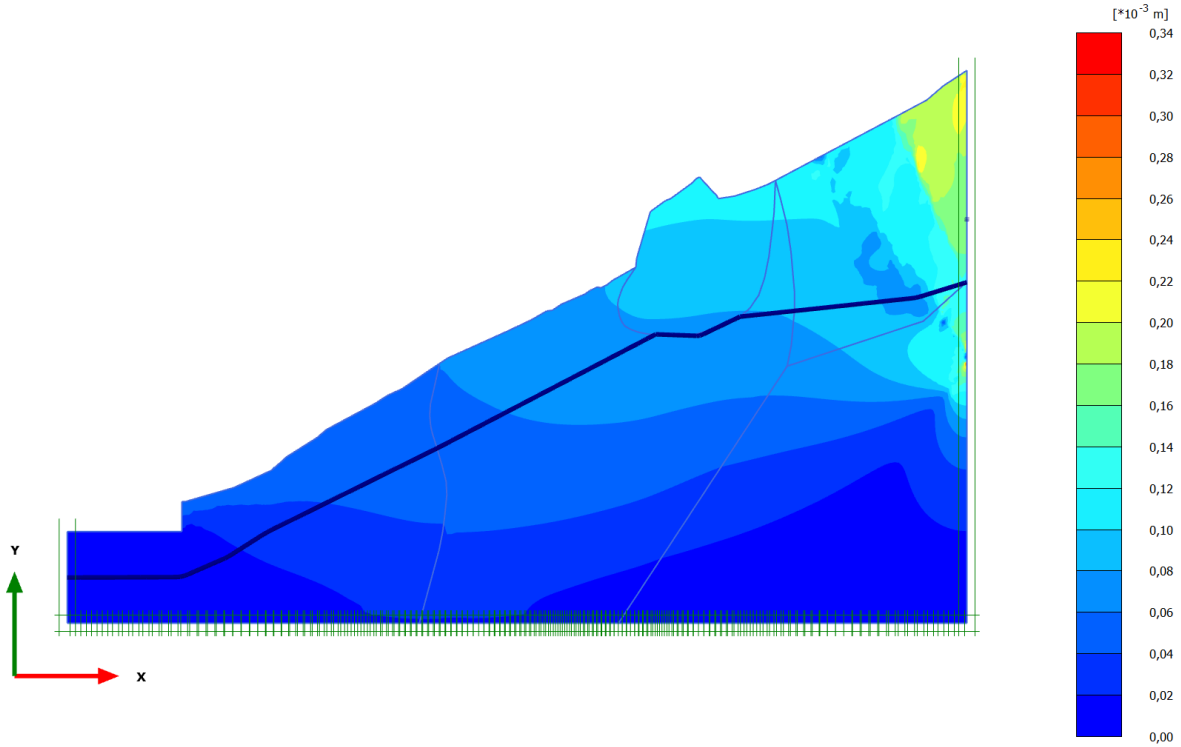
2.1.1.1.1 Calculation results, stato attuale SLE [Phase_2] (2/5700), Incremental displacements |Δu|



Incremental displacements |Δu|

Maximum value = 0,1324*10^{-3} m (Element 421 at Node 408)

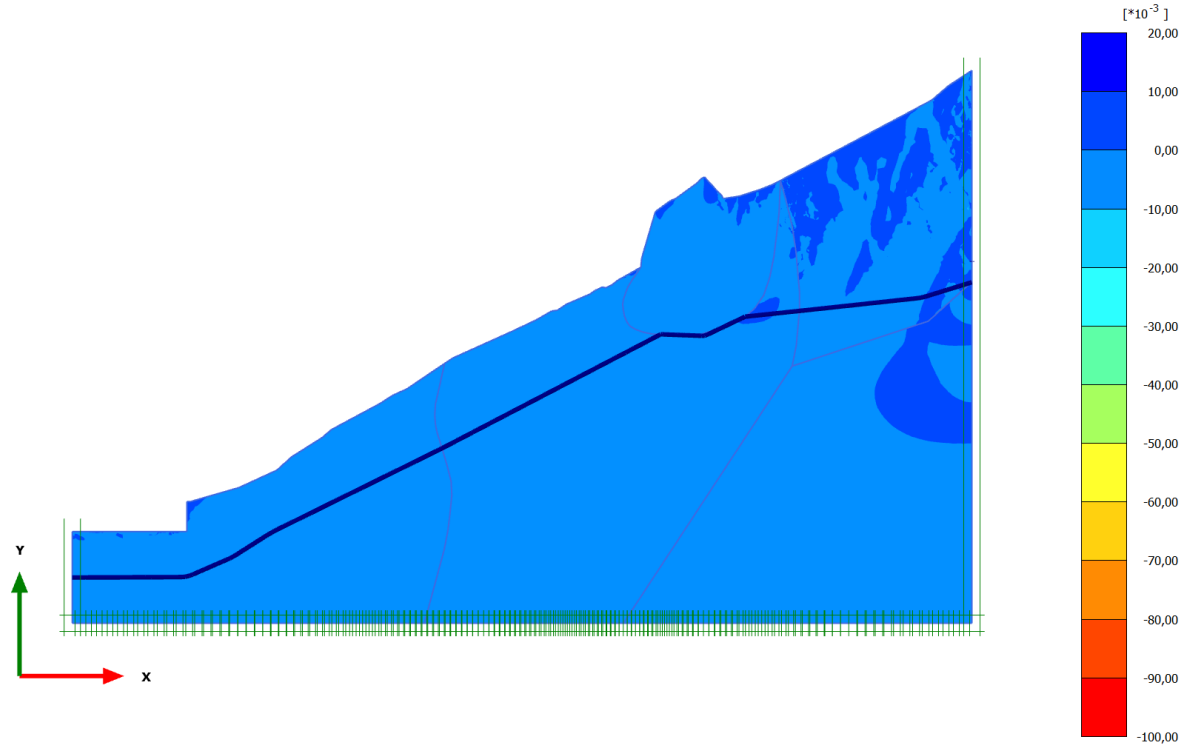
2.1.1.1.2 Calculation results, stato attuale SLU [Phase_4] (4/11542), Incremental displacements |Δu|



Incremental displacements |Δu|

Maximum value = 0,3244*10^{-3} m (Element 280 at Node 576)

2.1.2.1.1 Calculation results, stato attuale SLE [Phase_2] (2/5700), Total cartesian strain γ_{xy}

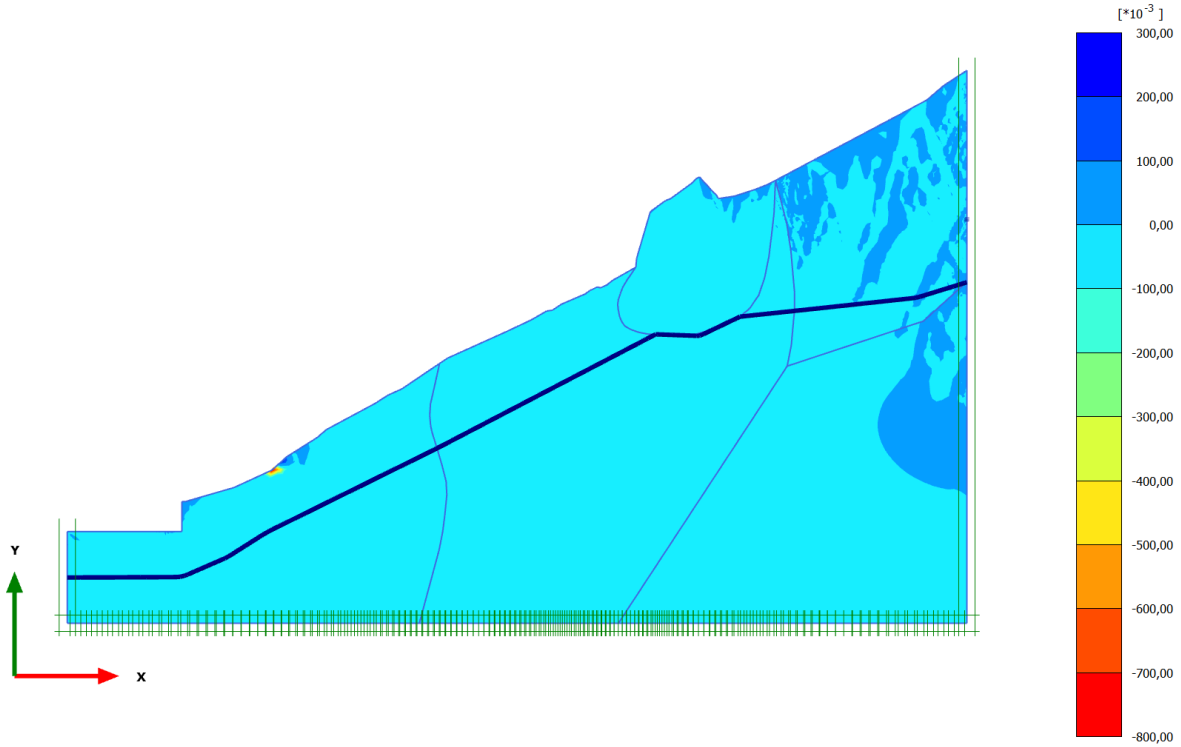


Total cartesian strain γ_{xy}

Maximum value = 0,01060 (Element 506 at Node 2258)

Minimum value = -0,09908 (Element 564 at Node 2315)

2.1.2.1.2 Calculation results, stato attuale SLU [Phase_4] (4/11542), Total cartesian strain γ_{xy}

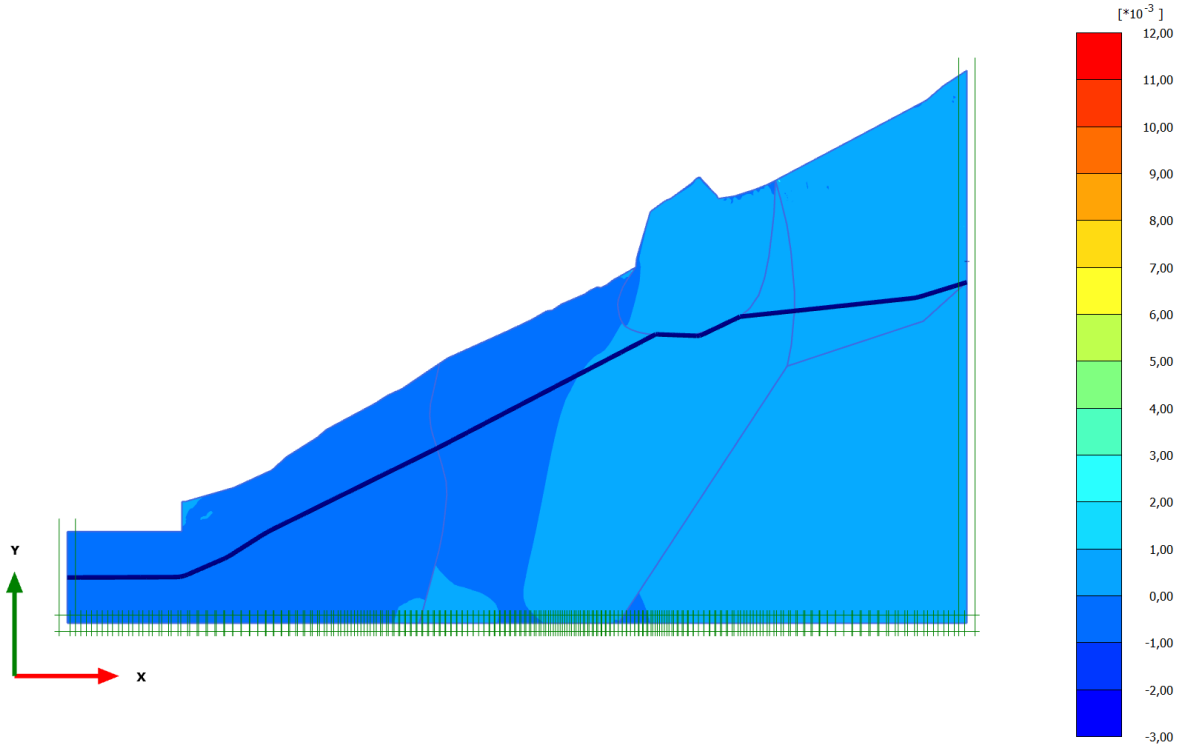


Total cartesian strain γ_{xy}

Maximum value = 0,2416 (Element 2171 at Node 18405)

Minimum value = -0,7894 (Element 2134 at Node 18511)

2.1.3.1.1 Calculation results, stato attuale SLE [Phase_2] (2/5700), Total volumetric strain ε_V

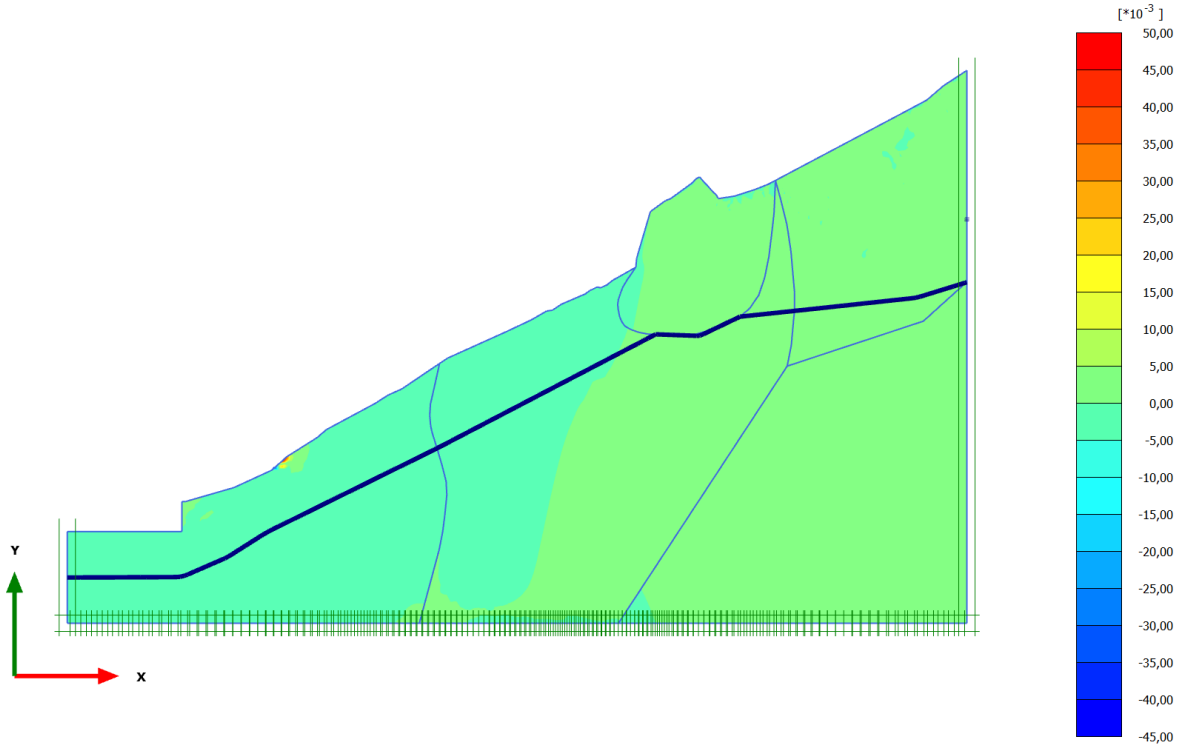


Total volumetric strain ε_V

Maximum value = 0,01185 (Element 564 at Node 2317)

Minimum value = -2,255*10^{-3} (Element 564 at Node 2290)

2.1.3.1.2 Calculation results, stato attuale SLU [Phase_4] (4/11542), Total volumetric strain ε_V

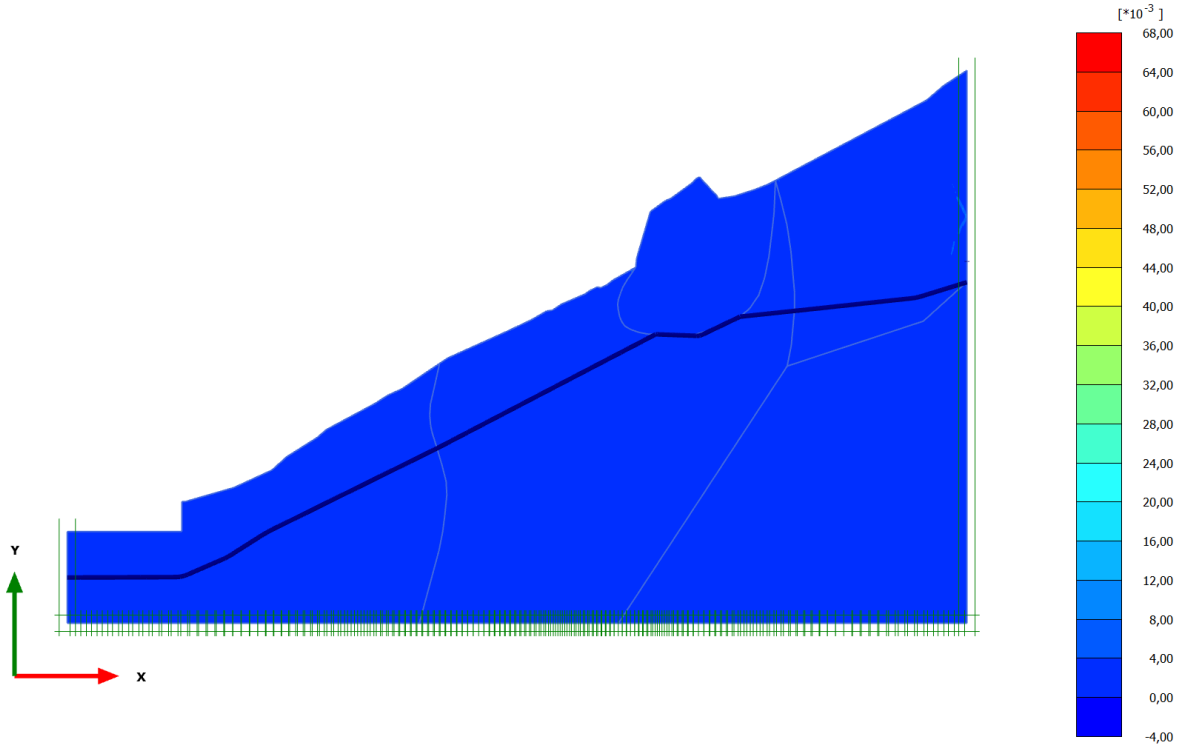


Total volumetric strain ε_V

Maximum value = 0,04879 (Element 2171 at Node 18405)

Minimum value = -0,04333 (Element 2171 at Node 18407)

2.1.3.2.1 Calculation results, stato attuale SLE [Phase_2] (2/5700), Total deviatoric strain γ_s

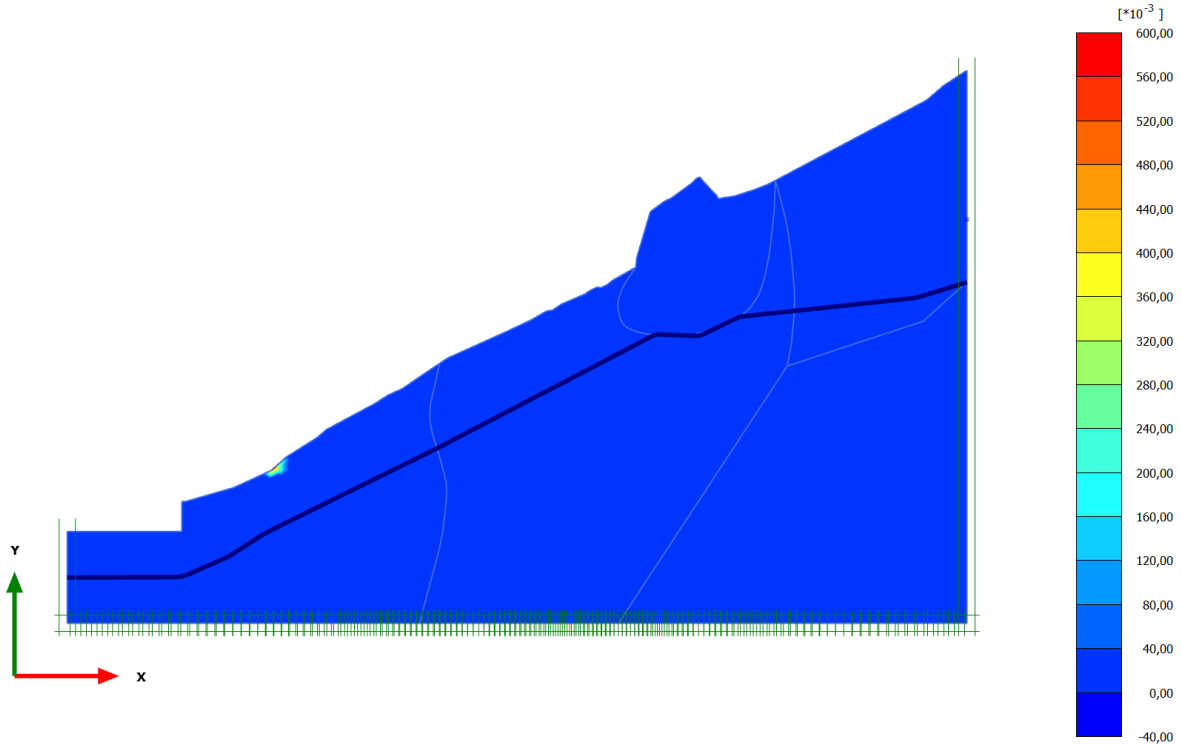


Total deviatoric strain γ_s

Maximum value = 0,06552 (Element 564 at Node 2315)

Minimum value = $0,2973*10^{-6}$ (Element 2360 at Node 18685)

2.1.3.2.2 Calculation results, stato attuale SLU [Phase_4] (4/11542), Total deviatoric strain γ_s

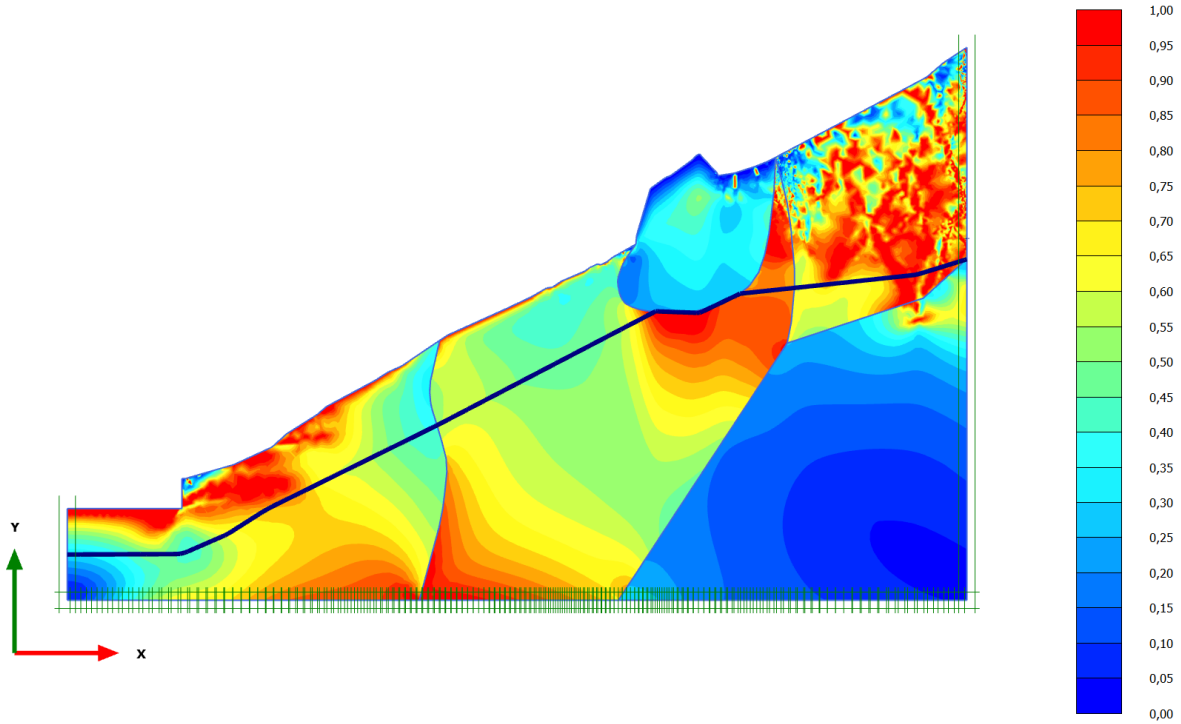


Total deviatoric strain γ_s

Maximum value = 0,5659 (Element 2171 at Node 18407)

Minimum value = $0{,}1185*10^{-6}$ (Element 843 at Node 7165)

2.2.1.1.1 Calculation results, stato attuale SLE [Phase_2] (2/5700), Relative shear stress T_{rel}

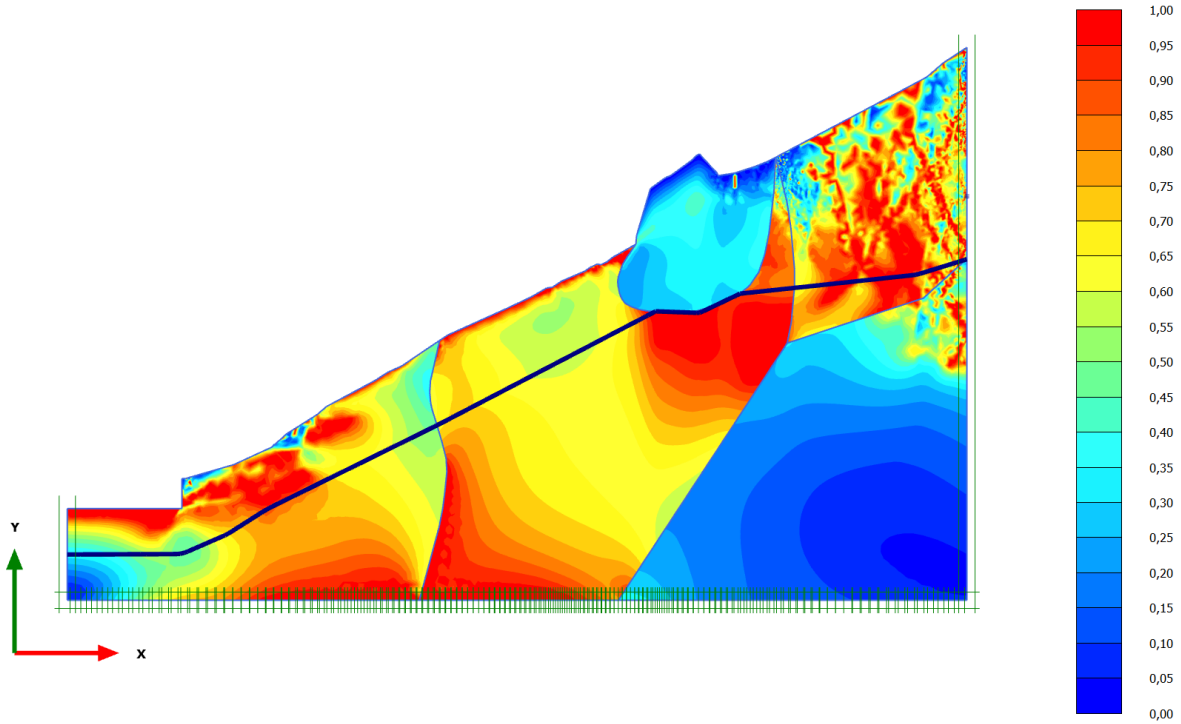


Relative shear stress τ_{rel}

Maximum value = 1,000 (Element 1 at Node 1525)

Minimum value = $1{,}938*10^{-3}$ (Element 883 at Node 6389)

2.2.1.1.2 Calculation results, stato attuale SLU [Phase_4] (4/11542), Relative shear stress τ_{rel}

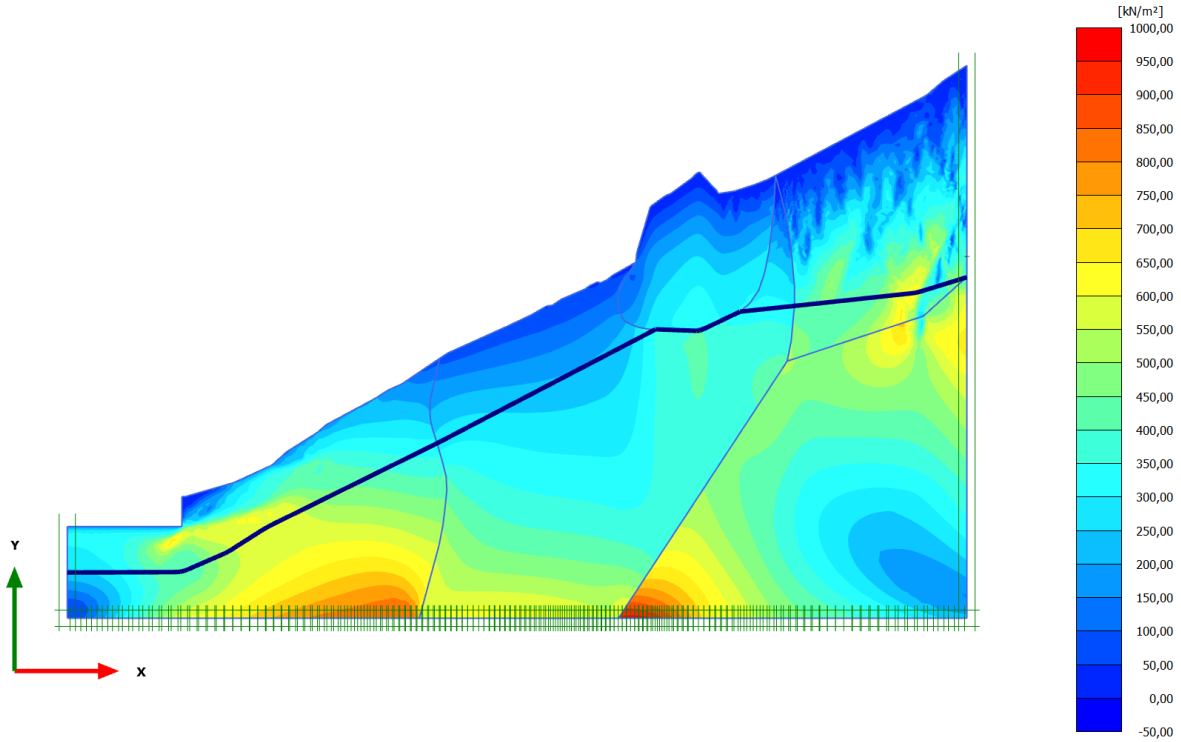


Relative shear stress τ_{rel}

Maximum value = 1,000 (Element 1 at Node 1525)

Minimum value = $0{,}4750*10^{-3}$ (Element 843 at Node 7165)

2.2.1.2.1 Calculation results, stato attuale SLE [Phase_2] (2/5700), Mobilized shear strength τ_{mob}

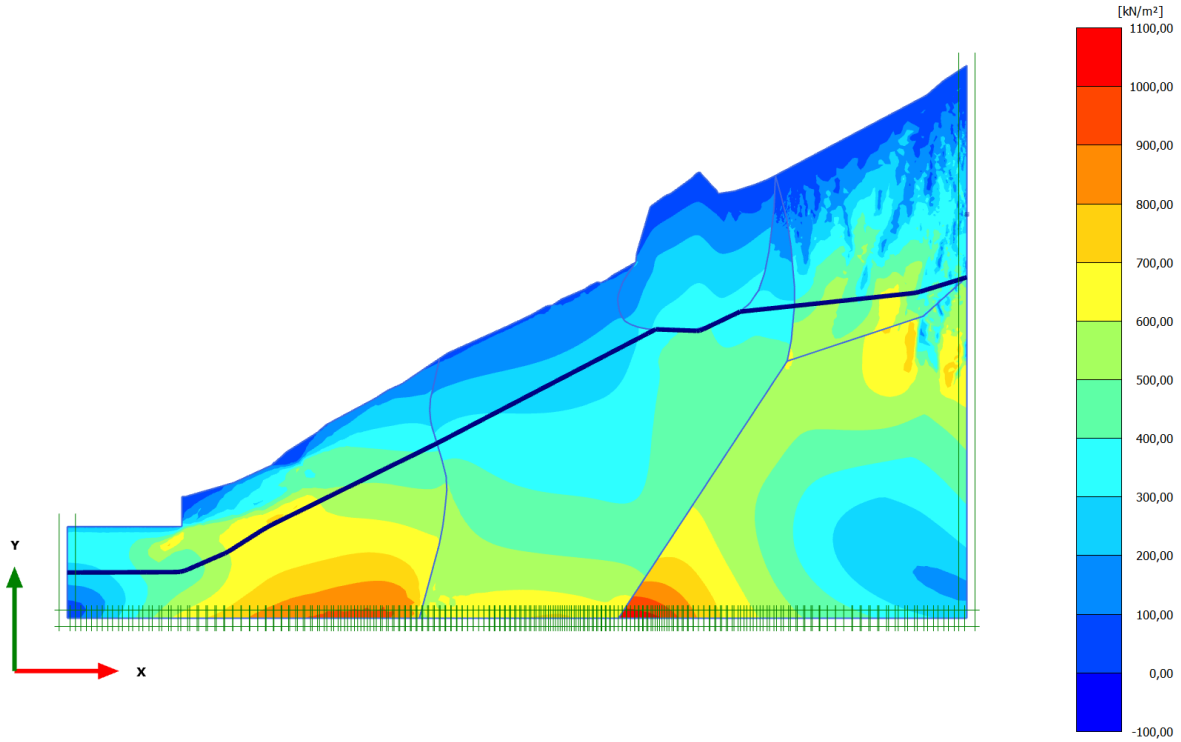


Mobilized shear strength τ_{mob}

Maximum value = 973,4 kN/m² (Element 2010 at Node 15169)

Minimum value = 0,000 kN/m² (Element 3 at Node 1300)

2.2.1.2.2 Calculation results, stato attuale SLU [Phase_4] (4/11542), Mobilized shear strength τ_{mob}

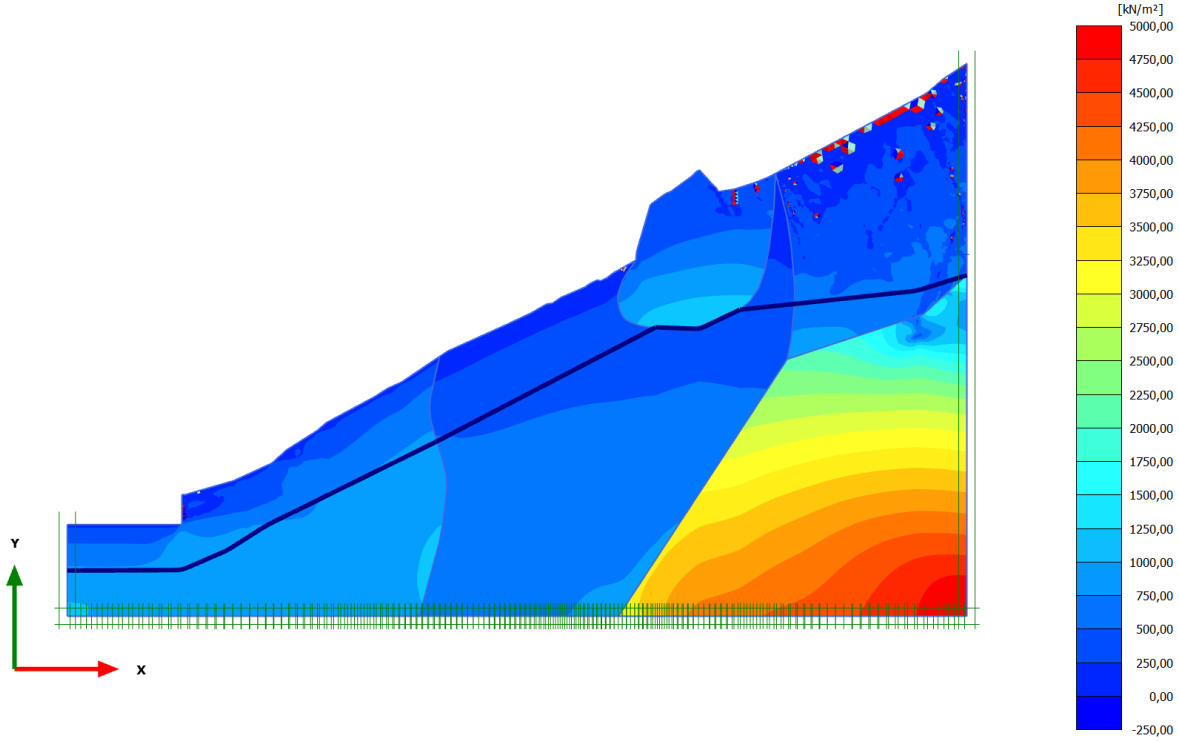


Mobilized shear strength τ_{mob}

Maximum value = 1069 kN/m² (Element 2010 at Node 15169)

Minimum value = 0,000 kN/m² (Element 217 at Node 521)

2.2.1.3.1 Calculation results, stato attuale SLE [Phase_2] (2/5700), Shear stress τ_{max}

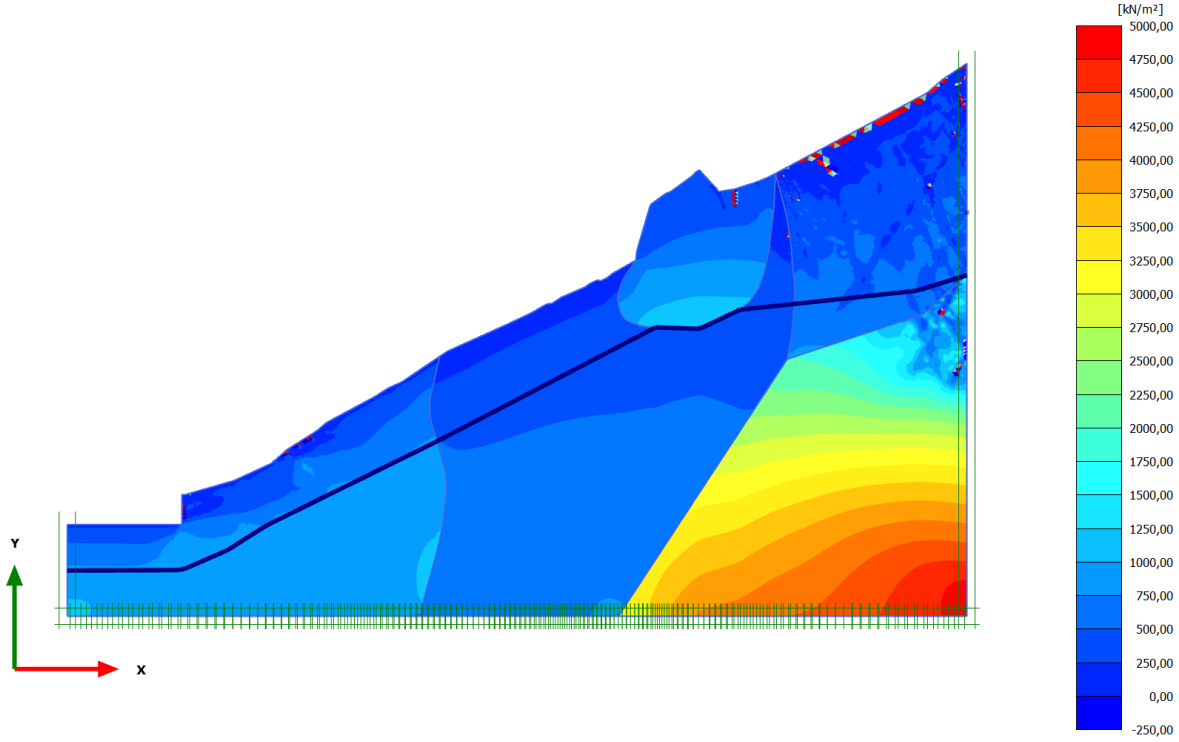


Shear stress τ_{max}

Maximum value = 4988 kN/m² (Element 1771 at Node 10095)

Minimum value = 0,7502 kN/m² (Element 280 at Node 582)

2.2.1.3.2 Calculation results, stato attuale SLU [Phase_4] (4/11542), Shear stress τ_{max}

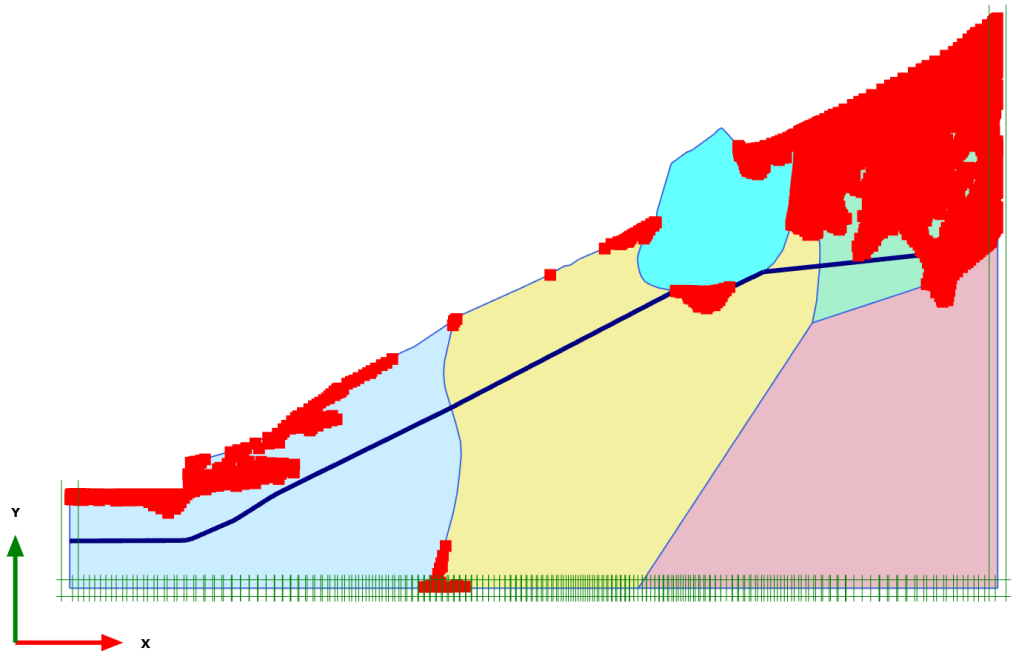


Shear stress τ_{max}

Maximum value = 4868 kN/m² (Element 1771 at Node 10095)

Minimum value = 1,065 kN/m² (Element 11 at Node 1480)

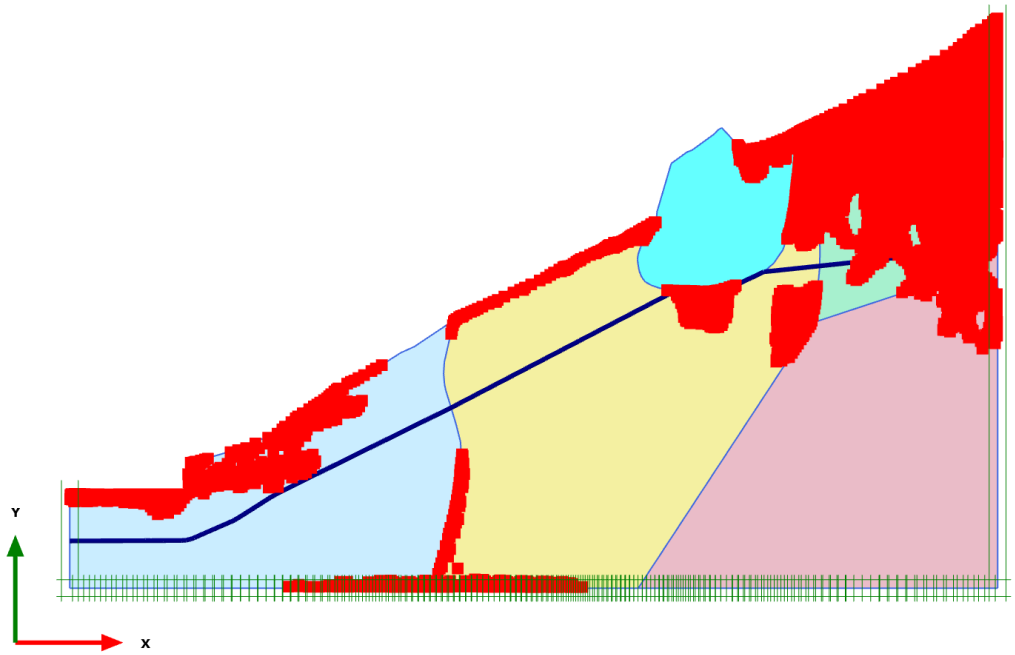
2.2.3.1.1 Calculation results, stato attuale SLE [Phase_2] (2/5700), Plastic point history Failure



Plastic point history Failure

■ Failure point ☐ Tension cut-off point

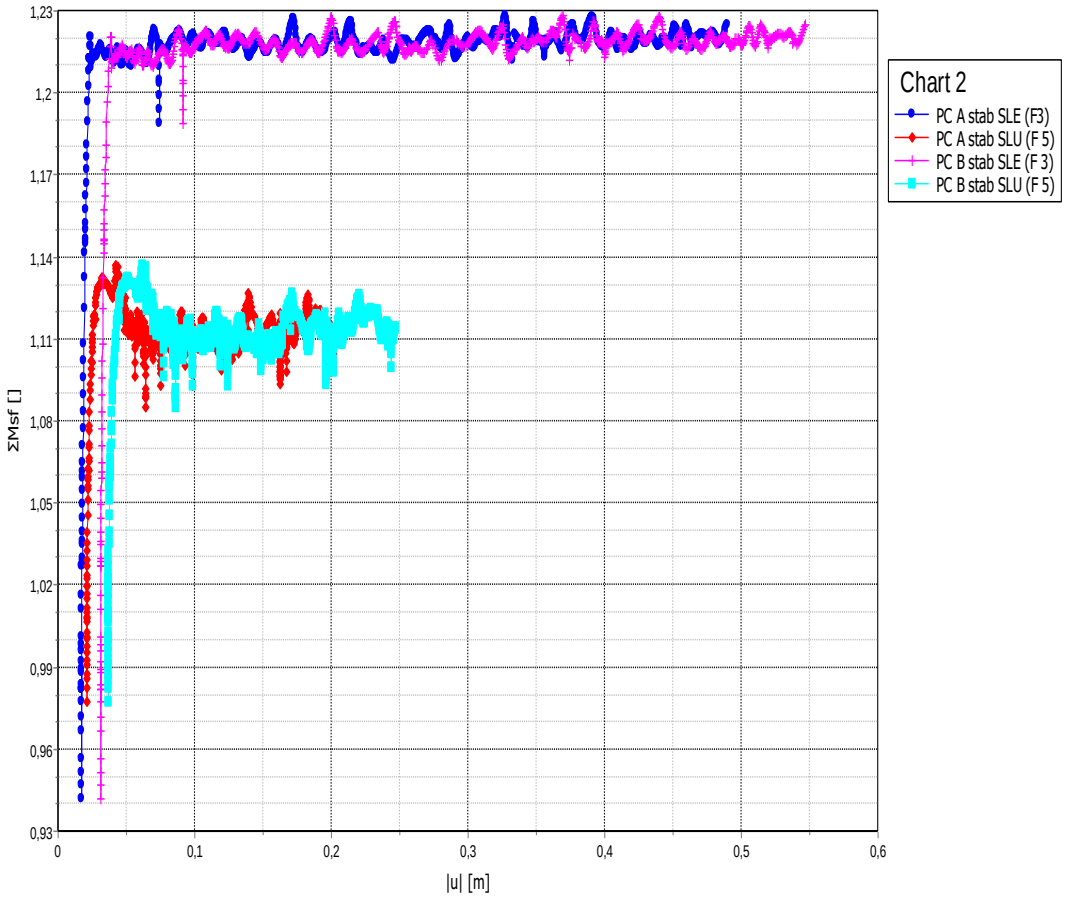
2.2.3.1.2 Calculation results, stato attuale SLU [Phase_4] (4/11542), Plastic point history Failure



Plastic point history Failure

■ Failure point ☐ Tension cut-off point

Output Version 2016.0.20962.14753



PLAXIS

Project description	Date
sezione 6 stato_attuale_completa	05/04/2016

Project filename	Step	User name
sezione 6 stato_attuale_com ...	0	Dott. Geol. Guido Carieri

ANALISI COMPARATIVA DELLE VERIFICHE DI STABILITÀ SECONDO IL CRITERIO DELL'EQUILIBRIO LIMITE ED AGLI ELEMENTI FINITI – SEZIONI 2 E 6

Come già ricordato in premessa, lo scrivente aveva già eseguito l'analisi di stabilità lungo le tracce di sezione assunte quali maggiormente onerose rispetto al rilievo di superficie dei fronti della ex cava Segiunà, estese ad un tratto di versante significativamente ad essi correlato, sia a monte che lungo il tratto a valle.

In particolare, le sezioni contemplavano le fasi di lavorazione attinenti lo stato attuale dei luoghi e la morfologia assunta dal versante in seguito all'abbancamento previsto a progetto.

Le verifiche di stabilità all'equilibrio limite eseguite lungo le sezioni geologiche/geotecniche rappresentative del tratto di versante in frana (n° 1, 2, 6 ed 8) e del riempimento presente al piede, adottano un programma di calcolo, che analizza le condizioni di stabilità delle coltri sciolte di copertura e del substrato roccioso alterato sottostante, attraverso l'algoritmo proposto da JANBU.

Nel seguito, si analizzano comparativamente i valori dei fattori di sicurezza ottenuti lungo le sezioni trasversali ai fronti della ex cava n. 2 e 6, ottenuti mediante l'analisi all'equilibrio limite ed attraverso l'analisi agli elementi finiti.

Si sottolinea che l'analisi condotta lungo le sezioni n. 2 e 6 agli elementi finiti adotta criteri di rottura differenti, applicati ai materiali costituenti il modello geotecnico del declivio in oggetto: i terreni litoidi (calcari dolomitici di M. Carmo, calcari di Val Tanarello, formazione di Caprauna, dolomie di S. Pietro dei Monti, quarziti di Ponte di Nava) sono analizzati mediante l'assunzione del criterio di rottura noto in letteratura come criterio di Hoeck&Brown, ed i terreni sciolti, costituenti i rilevati di stato attuale e di progetto, mediante il criterio di rottura introdotto da Mohr –Coulomb.

Tale approccio consente di analizzare le condizioni di tensione/deformazione dei singoli materiali adottando il modello di comportamento maggiormente coerente con la natura di ciascun geomateriale.

Ne segue che, in termini di affidabilità dei risultati desunti dalle verifiche di stabilità, l'analisi agli elementi finiti rappresenti certamente il modello più affidabile e di riferimento.

E' altrettanto vero che, l'onerosità della modellazione del contesto geologico e geotecnico agli elementi finiti, se rapportato all'analisi agli stati limite delle condizioni di stabilità, spesso non giustifica l'utilizzo del primo approccio, in relazione ai risultati ottenuti.

Nel seguito, si riportano le tabelle di sintesi atte a rappresentare l'analisi comparativa dei valori dei fattori di sicurezza nelle diverse conformazioni di stato attuale – progetto lungo le due sezioni in analisi:

Analisi di stabilità lungo la sezione 2

Metodo di Janbu semplificato	Verifica di stabilità profilo di stato attuale	Analisi agli elementi finiti	Verifica di stabilità profilo di stato attuale
Superficie profonda	Fs=1,08	Stato limite di esercizio SLE	Fs = 1,13
Superficie breve	Fs=1,05	Stato limite ultimo SLU	Fs = 1,00

Metodo di Janbu semplificato	Verifica di stabilità profilo di stato progetto	Analisi agli elementi finiti	Verifica di stabilità profilo di stato progetto
Superficie profonda	Fs=1,28	Stato limite di esercizio SLE	Fs = 1,24
Superficie breve	Fs=1,43	Stato limite ultimo SLU	Fs = 1,115

Analisi di stabilità lungo la sezione 6

Metodo di Janbu semplificato	Verifica di stabilità profilo di stato attuale	Verifica di stabilità profilo di stato di progetto	Analisi agli elementi finiti	Verifica di stabilità profilo di stato attuale
Sup.profonda in dolomia	Fs=1,07	Fs=1,12	Stato limite di esercizio SLE	Fs = 1,22
Sup. media in caprauna	Fs=1,10	Fs=1,19	Stato limite ultimo SLU	Fs = 1,115
Sup. alla base blocco calcari	Fs=2,22	Fs=2,39		

L’analisi comparativa dei valori dei fattori di sicurezza calcolati con i differenti approcci di calcolo consente di avvallare i risultati ottenuti mediante le analisi agli stati limite di equilibrio, indicando differenze, tutto sommato, trascurabili tra i valori di Fs nelle condizioni di stato attuale e di progetto.

Conclusioni

Le verifiche di stabilità agli stati limite (SLE ed SLU), svolte utilizzando il programma Plaxis 2D realise 2016 confermano i risultati ottenuti dalle verifiche di stabilità all'equilibrio limite condotte secondo i criteri definiti dal vigente dettato normativo (ex D.M: 14.01.2008 e Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - "Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni" Circolare 2 febbraio 2009) e indicano condizioni di equilibrio molto prossime alla condizione di equilibrio critico, in accordo con quanto emerso attraverso 2 anni di attività di monitoraggio inclinometrico ed ottico di superficie.

I valori dei fattori di sicurezza agli stati limite di esercizio (SLE) nelle condizioni di stato attuale indicano valori appena superiori al valore previsto dalla vigente normativa, mentre nelle condizioni di progetto riconfermano la valenza stabilizzante degli interventi proposti rispetto alle problematiche di tipo gravitativo come sopra esposte.

L'analisi comparativa dei valori dei fattori di sicurezza calcolati con i differenti approcci di calcolo consente di avvallare i risultati già presentati a corredo del progetto e riconducibili alle analisi agli stati limite di equilibrio, indicando differenze, tutto sommato, trascurabili tra i valori di Fs nelle condizioni di stato attuale e di progetto.