Comune di GENOVA

UNICALCE S.p.A.

Cave Ghigliazza S.r.l.

CAVA GIUNCHETTO – CAVA GNEO

Progetto unitario di coltivazione e recupero ambientale

Integrazioni alle verifiche di stabilità

a cura di: *Vincenzo PIOVANO geologo*

Relazione C3533-S08

Cuneo, novembre 2012

GEOMIN srl

INDICE

1. PREMESSA....1
2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO....2
2.1 Classificazione....2
2.2 Substrato roccioso....3
2.2.1 Categorie di suolo e condizioni topografiche....3
2.2.2 Azione sismica....3
2.3 Rilevato....4
2.3.1 Categorie di suolo e condizioni topografiche....4
2.3.2 Azione sismica....4
3. VERIFICHE DI STABILITA' DEI FRONTI IN ROCCIA....6
3.1 Introduzione....6
3.2 Calcoli di stabilità dei cinematismi potenziali....6
3.2.1 Scivolamento di cunei....6
3.2.2 Considerazioni conclusive....6
3.3 Verifica degli effetti del detensionamento sulla stabilità dei fronti..8
3.3.1 Programma e codice di calcolo....8
3.3.2 Modello geologico - geomeccanico....9
3.3.3 Maglia di discretizzazione....10
3.3.4 Calcolo dello SRF....11
3.3.5 Risultati delle verifiche....11
4. VERIFICHE DI STABILITA' DEL RILEVATO DI SABBIE LIMOSE....17
4.1 Introduzione....17
4.2 Verifica di stabilità....17
5. VERIFICHE DI STABILITA' DELLE OPERE IN SOTTERRANEO....27
5.1 Introduzione....27
5.2 Assetto strutturale e caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso....28
5.3 Analisi agli elementi finiti....28
5.3.1 Programma e codice di calcolo....28
5.3.2 Modello geologico - geomeccanico....28
5.3.3 Condizioni di carico e parametri geomeccanici....28
5.3.4 Maglia di discretizzazione....30
5.3.5 Risultati dell'analisi numerica....30
5.4 Conclusioni....31

FIGURE NEL TESTO

Fig. 1 Localizzazione del sito di cava
Fig. 2 Ubicazione della sezione D-D′
Fig. 3 Sezione D-D′. Maglia di discretizzazione
Fig. 4 Sezione D-D′. Valori di SRF e shear strain
Fig. 5 Sezione D-D′. Valori di spostamento
Fig. 6 Sezione D-D′. SRF in funzione dello spostamento massimo
Fig. 7 – Sezioni del rilevato di inerti. Stralcio dalla tavola di progetto
Fig. 8 Rilevato di inerti. Sezione x-x′. Caratteristiche geometriche
Fig. 9 Rilevato di inerti. Sezione x-x′. Verifiche di stabilità
Fig. 10 Rilevato di inerti. Sezione y-y′. Caratteristiche geometriche
Fig. 11 Rilevato di inerti. Sezione y-y′. Verifiche di stabilità
Fig. 12 Rilevato di inerti. Sezione a-a′. Caratteristiche geometriche
Fig. 13 Rilevato di inerti. Sezione a-a′. Verifiche di stabilità
Fig. 14 Rilevato di inerti. Sezione b-b′. Caratteristiche geometriche
Fig. 15 Rilevato di inerti. Sezione b-b′. Verifiche di stabilità
Fig. 16 – Opere in sotterraneo. Stralcio dalla tavola di progetto
Fig. 17 Sezione A-A′. Stage 1. Maglia di discretizzazione
Fig. 18 Sezione A-A′. Stage 1. Valori di σ1 mediante isolinee
Fig. 19 Sezione A-A′. Stage 1. Spostamento totale e sua direzione
Fig. 20 Sezione A-A′. Stage 1. Isolinee dello Strength factor.
Fig. 21 Sezione A-A′. Stage 2. Maglia di discretizzazione
Fig. 22 Sezione A-A′. Stage 2. Valori di σ1 mediante isolinee
Fig. 23 Sezione A-A′. Stage 2. Spostamento totale e sua direzione
Fig. 24 Sezione A-A′. Stage 2. Isolinee dello Strength factor
Fig. 25 Sezione B-B′. Stage 1. Maglia di discretizzazione
Fig. 26 Sezione B-B′. Stage 1. Valori di σ1 mediante isolinee
Fig. 27 Sezione B-B′. Stage 1. Spostamento totale e sua direzione
Fig. 28 Sezione B-B′. Stage 1. Isolinee dello Strength factor
Fig. 29 Sezione B-B′. Stage 2. Maglia di discretizzazione
Fig. 30 Sezione B-B′. Stage 2. Valori di σ1 mediante isolinee
Fig. 31 Sezione B-B′. Stage 2. Spostamento totale e sua direzione
Fig. 32 Sezione B-B′. Stage 2. Isolinee dello Strength factor

1. PREMESSA

Nello svolgimento della Procedura di VIA del "Progetto per la coltivazione e recupero ambientale della cava Giunchetto - Gneo e della cava Vecchie Fornaci", il Comitato tecnico del Territorio-Sezione per la VIA della Regione Liguria ha richiesto una serie di integrazioni relative agli aspetti geologici.
Esse in particolare riguardano:

- la caratterizzazione sismica del sito, con la richiesta dell'assunzione di una classe d'uso più restrittiva;
- un'analisi con il metodo numerico agli elementi finiti del fronte finale di scavo per valutare gli effetti delle modifiche dello stato tensionale prodotto dalla coltivazione;
- verifiche di stabilità lungo sezioni meridiane del rilevato di inerti;
- verifiche di stabilità con il metodo numerico agli elementi finiti delle opere in sotterraneo.

Il cambiamento della classe d'uso nella caratterizzazione sismica ha comportato anche la necessità del rifacimento delle verifiche di stabilità dei fronti in roccia e del rilevato in materiali di risulta.

La relazione che segue risponde punto per punto alle richieste avanzate dal comitato tecnico.

2. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

2.1 Classificazione

La pericolosità sismica di riferimento è stata ricavata, sulla base dei dati forniti a livello nazionale nel sito *web* dell'INGV, con il *software* NCTSISMA (Castalia Srl).
Le coordinate geografiche decimali del centroide del sito di cava nel sistema ED 50 sono le seguenti:

lat: 44,446719; long: 8,851159

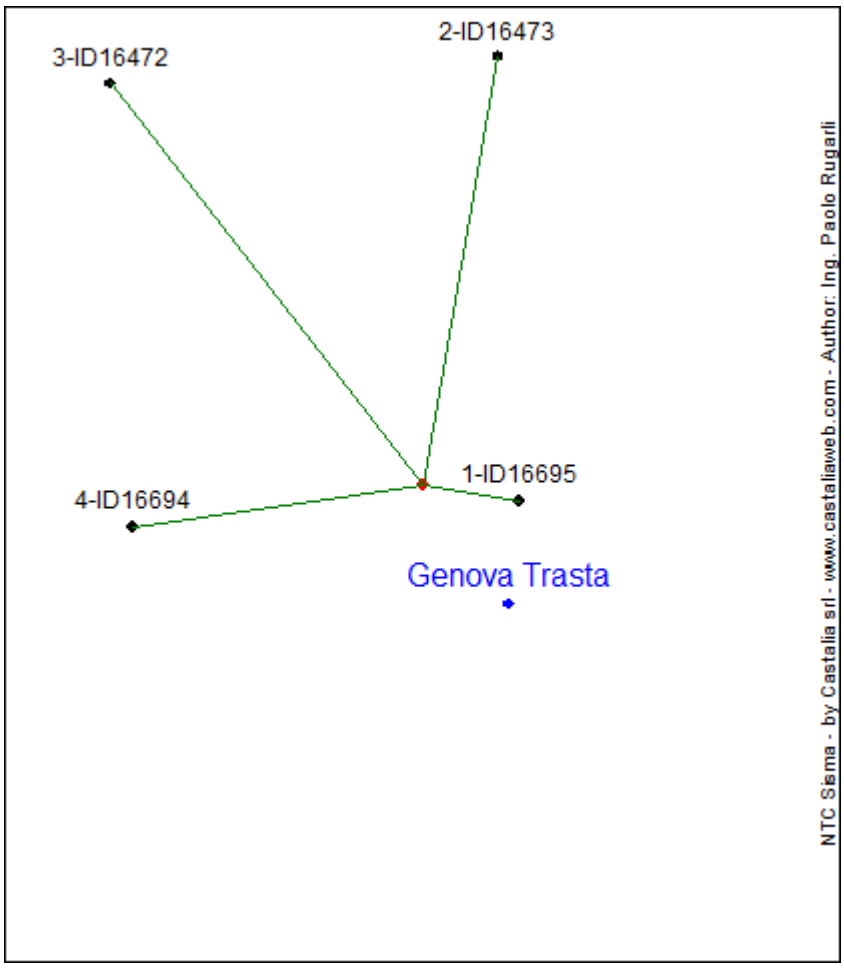


Fig. 1 – Localizzazione del sito di cava (in rosso) e dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento entro la quale si trova il sito.

I risultati ottenuti sono riportati in fig. 1 e nella tabella 1. Sulla base delle indicazioni delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008, § 2.4), nella stima dei parametri sismici si è tenuto conto cautelativamente di una Vita Nominale di 50 anni (opera ordinaria) e di una Classe d'uso III, per

costruzioni con affollamenti significativi di persone. E' stato assunto di conseguenza un periodo di riferimento, Vr, uguale a 75 anni (D.M. 14/01/2008, § 2.4.3).

Parametri	SLO	SLD	SLV	SLC
Probabilità di superamento nel Vr	0.81	0.63	0.1	0.05
Tr	45 anni	75 anni	711 anni	1462 anni
a_g	0.0276 g	0.0342 g	0.0785 g	0.1008 g
F_o	2.5247	2.5403	2.5234	2.5186
Tc	0.1969 sec	0.2226 sec	0.2904 sec	0.2963 sec

Tabella 1 – Parametri sismici ottenuti per le condizioni degli stati limite del collasso (SLC), del danno (SLD), di operatività (SLO) e di salvaguardia della vita (SLV). (Vr periodo di riferimento, Tr tempo di ritorno, ag accelerazione massima di riferimento, F_o fattore di amplificazione spettrale, Tc periodo relativo all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro).

2.2 Substrato roccioso

2.2.1 Categorie di suolo e condizioni topografiche

Il profilo stratigrafico del substrato roccioso nei fronti di cava è assimilabile ai sottosuoli compresi nella categoria A, per la quale il parametro di amplificazione stratigrafica S_S vale 1 (D.M. 14/01/2008, Tabella 3.2.V).
Per pendii con inclinazione media superiore ai 15°, le condizioni topografiche del sito rientrano nella categoria T2 della tabella 3.2.VI delle citate Norme Tecniche per le Costruzioni, cui corrisponde un valore di ST = 1,20.

2.2.2 Azione sismica

Poiché mancano analisi specifiche riguardanti la risposta sismica locale, l'accelerazione massima attesa nel sito può essere calcolata (§ 7.11.3.5.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni) con la relazione

$$a_{max} = S_S \, ST \, a_g$$

che, utilizzando i parametri ottenuti nei paragrafi precedenti, fornisce per il sito i valori di a_{max} riportati nella tabella sottostante.

	SLO	SLD	SLV	SLC
a_{max}	0.03312 g	0.04104 g	0.09420 g	0.12960 g

Tabella 2 – Valori di a_{max} ottenuti per i diversi stati limite

Nel metodo di verifica di stabilità pseudo - statico che è stato adottato, l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, i cui coefficienti sismici orizzontale e verticale possono calcolarsi secondo le relazioni:

$$k_h = \beta s_{amax}/g$$
$$k_v = 0.5\ kh$$

in cui k_h è il coefficiente della componente orizzontale della forza, kv il coefficiente della componente verticale e β_s il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa, valutato secondo i valori riportati nella tabella 7.11.I delle Norme Tecniche per le Costruzioni e pari nel caso attuale a 0.20 per SLO, SLD, SLV e 0,27 per SLC. I valori ottenuti sono riportati nella tabella che segue.

	SLO	SLD	SLV	SLC
k_h	0.00662	0.00820	0.01884	0.03265
k_v	0.00331	0.00410	0.00942	0.01632

Tabella 3 – Coefficienti sismici ottenuti per le condizioni degli stati limite del collasso (SLC), del danno (SLD), di operatività (SLO) e di salvaguardia della vita (SLV).

2.3 Rilevato

2.3.1 Categorie di suolo e condizioni topografiche

Il profilo stratigrafico dei terreni che costituiscono il rilevato di inerti è assimilabile ai sottosuoli compresi nella categoria E, per la quale il parametro di amplificazione stratigrafica S_S ha un valore di 1,8÷1,9 (D.M. 14/01/2008, Tabella 3.2.V).
Per pendii con inclinazione media superiore ai 15°, le condizioni topografiche del sito rientrano nella categoria T2 della tabella 3.2.VI delle citate Norme Tecniche per le Costruzioni, cui corrisponde un valore di ST = 1,20.

2.3.2 Azione sismica

Poiché mancano analisi specifiche riguardanti la risposta sismica locale, l'accelerazione massima attesa nel sito può essere calcolata (§ 7.11.3.5.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni) con la relazione

$$a_{max} = S_S\ ST\ a_g$$

che, utilizzando i parametri ottenuti nei paragrafi precedenti, fornisce per il sito i valori di a_{max} riportati nella tabella sottostante.

	SLO	SLD	SLV	SLC
a_{max}	0,0635 g	0,0779 g	0,1676 g	0,2080 g

Tabella 4 – Valori di a_{max} ottenuti per l diversi stati limite

Nel metodo di verifica di stabilità pseudo - statico che è stato adottato, l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, i cui coefficienti sismici orizzontale e verticale possono calcolarsi secondo le relazioni:

$$k_h = \beta s \, a_{max}/g$$
$$k_v = 0.5 \, k_h$$

in cui kh è il coefficiente della componente orizzontale della forza, kv il coefficiente della componente verticale e βs il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa, valutato secondo i valori riportati nella tabella 7.11.I delle Norme Tecniche per le Costruzioni e pari nel caso attuale a 0.20. I valori ottenuti sono riportati nella tabella che segue.

E	SLO	SLD	SLV	SLC
k_h	0,0127	0,0156	0,0335	0,0416
k_v	0,0064	0,0078	0,0168	0,0208

Tabella 5 – Coefficienti sismici ottenuti per le condizioni degli stati limite del collasso (SLC), del danno (SLD), di operatività (SLO) e di salvaguardia della vita (SLV).

3. VERIFICHE DI STABILITA' DEI FRONTI IN ROCCIA

3.1 Introduzione

Per quanto riguarda la caratterizzazione geomeccanica, la valutazione dei parametri geomeccanici che ne deriva ed i Test di Markland per la definizione dei possibili cinematismi le richieste di integrazione non hanno comportato modifiche; si rimanda pertanto alla relazione C3533-S02 del giugno 2012.
Con i nuovi parametri sismici sono state eseguite una seconda volta le verifiche di stabilità dei cunei potenzialmente individuati dai test di Markland, riguardanti esclusivamente la stabilità dei singoli gradoni.

3.2 Calcoli di stabilità dei cinematismi potenziali

3.2.1 Scivolamento di cunei

I nuovi coefficienti di sicurezza ottenuti dai calcoli sono riportati nella tabella 11.

Cinematismo	Fattore di sicurezza	Volume (m^3)	Peso (t)
Gradone 20°/70°			
Cuneo S/K2	0,28	0,020	0,050
Cuneo S'/K2	0,41	0,050	0,120
Gradone 35°/70°			
Cuneo K2/K3	2,30	0,150	0,400
Cuneo S/K2	0,30	0,006	0,015
Gradone 65°/70°			
Cuneo K2/K3	2,30	0,170	0,440
Gradone 115°/70°			
Cuneo K2/K3	2,30	0,060	0,160
Cuneo F2/K3	1,04	4,980	13,190
Gradone 165°/70°			
Cuneo S/K1	0,36	0,147	0,390
Cuneo S'/K1	0,29	0,002	0,005

Tabella 6 Fattori di sicurezza calcolati per i cinematismi potenziali

3.2.2 Considerazioni conclusive

I fattori di sicurezza calcolati risultano superiori al limite di 1,1 tranne che in cinque casi (i cunei S/K2 e S'/K2 del gradone immergente verso 20° ed il cuneo S/K2 del gradone 35°, i cunei S/K1 ed S'/K1 del gradone immergente verso 165°) per i quali i fattori di sicurezza sono ampiamente inferiori all'unità.
Tuttavia il volume ed il peso di alcuni cunei (S/K2 dei gradoni 20° e 35° e S'/K1 del gradone 165°, vedi tabella 6), stimati sulla base dei valori modali di persistenza, sono del tutto trascurabili. La forma geometrica dei cunei

inoltre (lastre molto sottili, a causa del piccolo angolo tra le due superfici di discontinuità) appare irrealistica (vedi rappresentazione tridimensionale in allegato).
I due cunei rimanenti hanno ancora volumi ridotti, inferiori ad 1 m^3. Ciò significa che nel caso in cui durante la coltivazione si verifichino effettivamente condizioni di rischio, cioè che le discontinuità componenti il cuneo si intersechino sul bordo superiore del gradone per dar luogo ad un blocco rimuovibile, i volumi instabili possono essere eliminati attraverso le consuete operazioni di disgaggio delle scarpate, senza che la stabilità del gradone nel suo insieme venga compromessa.

Per quanto riguarda l'impatto sulla stabilità del sistema di faglie F2, presente quasi esclusivamente nei fronti della cava Gneo e caratterizzato da elevata persistenza, i cunei che si formano con il sistema S nel fronte immergente verso 115° sono sostanzialmente stabili (fattore di sicurezza di poco inferiore a 1,1). Sarà comunque cura della direzione della cava, dato il valore al limite del fattore di sicurezza, il controllo delle reali condizioni di stabilità di tale cinematismo, per un eventuale disgaggio. Il volume stimato, pur essendo pari a qualche metro cubo (intorno a 5 m^3) consente ancora la messa in sicurezza della scarpata senza compromettere la geometria del gradone nel suo insieme.

3.3 Verifica degli effetti del detensionamento sulla stabilità dei fronti

Lungo la sezione D-D', tracciata in corrispondenza del rilievo del Monte Gazzo, è stata condotta una verifica degli affetti del detensionamento indotto dalla realizzazione del nuovo fronte finale della cava.

3.3.1 Programma e codice di calcolo

L'analisi numerica è stata eseguita con il programma *Phase2* della Rocscience Inc. di Toronto (Canada), nella versione 8.011.

Phase2 utilizza un codice di calcolo agli elementi finiti per ricostruire il comportamento elasto – plastico dell'ammasso roccioso in prossimità dei vuoti calcolandone lo stato tensionale e gli spostamenti in campo bidimensionale.
I limiti del campo tensionale sono definiti in *Phase2* attraverso un modello degli elementi al contorno (*boundary element model*).

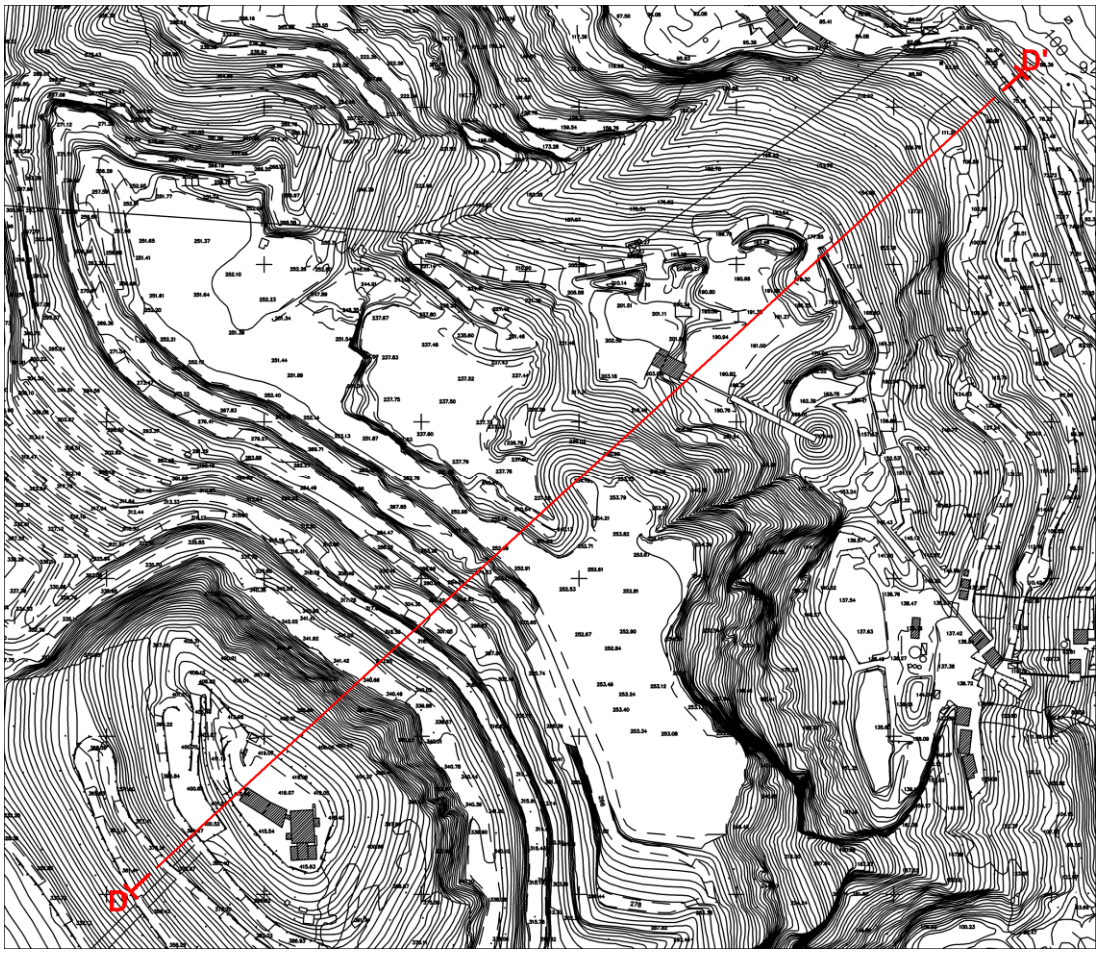


Fig. 2 – Ubicazione della sezione D-D'

3.3.2 Modello geologico - geomeccanico

All'ammasso roccioso sono stati attribuite proprietà fisiche e parametri geomeccanici stabiliti nella relazione riguardante le verifiche di stabilità delle opere in sotterraneo (C3533-S06 di luglio 2012.).
Per quanto riguarda i parametri di resistenza dell'ammasso roccioso, come valori caratteristici sono stati assunti i parametri del criterio di rottura di Mohr – Coulomb, cui sono stati applicati i coefficienti parziali previsti dalle NTC 2008 per ottenere i valori dei parametri di progetto.
I parametri di resistenza utilizzati sono riportati nella tabella sottostante. Il modulo di Young utilizzato è la media tra i valori ottenuti con la classificazione Q e con la classificazione GSI.

Unit weight	0.0265 MN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	10025 MPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	0.436 MPa
Residual tensile strength	0.35 MPa
Peak friction angle	46 degrees
Peak cohesion	1.1 MPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	30 degrees
Residual Friction Angle	35 degrees
Residual Cohesion	0.7 MPa

I parametri residui sono stati calcolati sulla base delle indicazioni riportate in Bruschi[1] (2004). Il parametro *Dilation* è stato stimati sulla base della relazione indicata nelle istruzioni del programma stesso, con φ' angolo d'attrito di picco:

$$D = 0.666\ \varphi'$$

Per tener conto dell'anisotropia dipendente dalla presenza dei sistemi di discontinuità, si è utilizzata la funzione *Joint Network*, che simula le caratteristiche geometriche di un sistema di discontinuità sulla base dei principali parametri rappresentativi (orientazione, spaziatura lunghezza, persistenza), i quali vengono fatti variare secondo una distribuzione statistica scelta e basata sui dati del rilievo geomeccanico.

[1] A. Bruschi (2004) *Meccanica delle rocce* D. Flaccovio Editore, Palermo.

Nella simulazione sono stati introdotti i due sistemi più significativi, K2, orientato circa normalmente alla sezione D-D', con immersione a franappoggio, e caratterizzato dalla maggiore frequenza e lunghezza media tra i sistemi di frattura, e la stratificazione S, fortemente inclinata a reggipoggio, con persistenza molto elevata.

Le caratteristiche di resistenza dei sistemi di discontinuità K2 ed S, derivate dai risultati del rilievo geomeccanico, sono riportate nella tabella sottostante.

Sistema	K2	S
Normal stiffness	42000 MPa/m	42000 MPa/m
Shear stiffness	10000 MPa/m	10000 MPa/m
Initial joint deformation	allowed	allowed
Slip Criterion	Barton-Bandis	Barton-Bandis
JCS	80 MPa	100 MPa
JRC	6.3	4.6
Residual Friction angle	30 degrees	30 degrees
Residual Strength	Yes	Yes

La componente normale della rigidezza delle discontinuità (*Joint Normal Stiffness*) è stata calcolata con la relazione

$$K_s = E_i E_m / L (E_i - E_m)$$

in cui K_s è la componente normale della rigidezza delle discontinuità, E_i ed E_m sono rispettivamente il modulo di deformazione della roccia intatta e dell'ammasso roccioso (in MPa), L è la spaziatura della discontinuità (in m).

Per quanto riguarda i parametri geometrici, per S si è fatta l'assunzione di persistenza dell'80%; per K2 sono stati adottati valori di persistenza molto inferiori (30%) in accordo con i dati del rilievo geomeccanico, utilizzati anche per la stima di spaziatura e giacitura.

E' stato assunto un campo tensionale di tipo gravitazionale, con un coefficiente k=1 (rapporto tra componente orizzontale e verticale delle tensioni).

3.3.3 Maglia di discretizzazione

La maglia di discretizzazione è costituita da elementi triangolari a sei nodi. Nella tabella che segue sono riportati il numero di nodi e di elementi per ciascuna fase.

Element type	6 noded triangles
Number of elements on Stage 1	28648
Number of nodes on Stage 1	54684
Number of elements on Stage 2:	24022
Number of nodes on Stage 2	46039

3.3.4 Calcolo dello SRF

Le condizioni di stabilità di un versante possono essere calcolate con l'analisi agli elementi finiti (FEM) attraverso l'uso della tecnica SSR (Shear Strength Reduction), per ottenere un fattore di sicurezza, chiamato SRF (Stress Reduction Factor), ma avente analogo significato (rapporto tra resistenza al taglio dell'ammasso roccioso e resistenza al taglio richiesta per l'equilibrio).
Alcuni dei vantaggi che l'analisi numerica FEM offre sono l'eliminazione delle necessarie assunzioni a priori sulla forma e posizione delle superfici potenziali di scivolamento, la capacità di modellare una rottura progressiva, il calcolo delle deformazioni al livello delle tensioni caratteristiche del pendio[2].

Il codice di calcolo segue una serie di passaggi. Viene innanzitutto calcolato il modello FEM dell'ammasso roccioso utilizzando i valori stimati di resistenza dei materiali e delle discontinuità che costituiscono l'ammasso roccioso. Successivamente è condotta un'analisi FEM iterativa riducendo i parametri di resistenza secondo il fattore di riduzione SRF fino a che non è raggiunto un valore critico di SRF che induce condizioni di instabilità nel versante. Per il caso di un versante con fattore di sicurezza inferiore ad 1 la procedura è la stessa, eccetto che le caratteristiche di resistenza sono aumentate in iterazioni successive (con SRF frazionari minori di 1) fino a che il pendio non diviene stabile. Lo SRF viene calcolato sull'ultima fase (*stage*) dell'analisi FEM.

3.3.5 Risultati delle verifiche

Nelle fig. 3-6 ed in allegato sono riprodotti i risultati dell'analisi numerica.
Lo SRF ottenuto, pari a 1.72, indica che, nella configurazione finale del progetto di coltivazione, sono ampiamente assicurate le condizioni di stabilità del fronte. Gli effetti della variazione dello stato tensionale nella configurazione finale del fronte di cava sono quindi sopportabili senza conseguenze. Nelle condizioni di SRF = 1 lo spostamento massimo ha infatti

[2] Hammah, R.E., J.H. Curran, T.E. Yacoub, and B. Corkum (2004). Stability analysis of rock slopes using the Finite Element Method. In *Proceedings of the ISRM Regional Symposium EUROCK 2004 and the 53rd Geomechanics Colloquy, Salzburg, Austria*.

un valore trascurabile, intorno a 2 cm; con SRF = 1.72, valore critico di instabilità del modello numerico, gli spostamenti massimi, alla base del fronte, sono dell'ordine della decina di cm; gli spostamenti aumentano poi considerevolmente con l'aumentare di SRF (vedi tabulati in allegato).

In fig. 6 è riprodotto il grafico che riproduce i diversi SFR ottenuti per ogni iterazione in funzione dello spostamento massimo misurato.
I punti in colore verde rappresentano iterazioni per le quali i risultati analitici hanno raggiunto la convergenza all'interno del valore di tolleranza specificato. I punti in colore rosso rappresentano per contro analisi per le quali i risultati non mostrano convergenza all'interno del valore di tolleranza specificato, indicando l'instabilità del modello, caratterizzato da un aumento via via sempre maggiore degli spostamenti massimi. Il valore critico di SRF è il massimo valore di SRF per il quale il modello numerico rimane stabile (l'analisi converge).

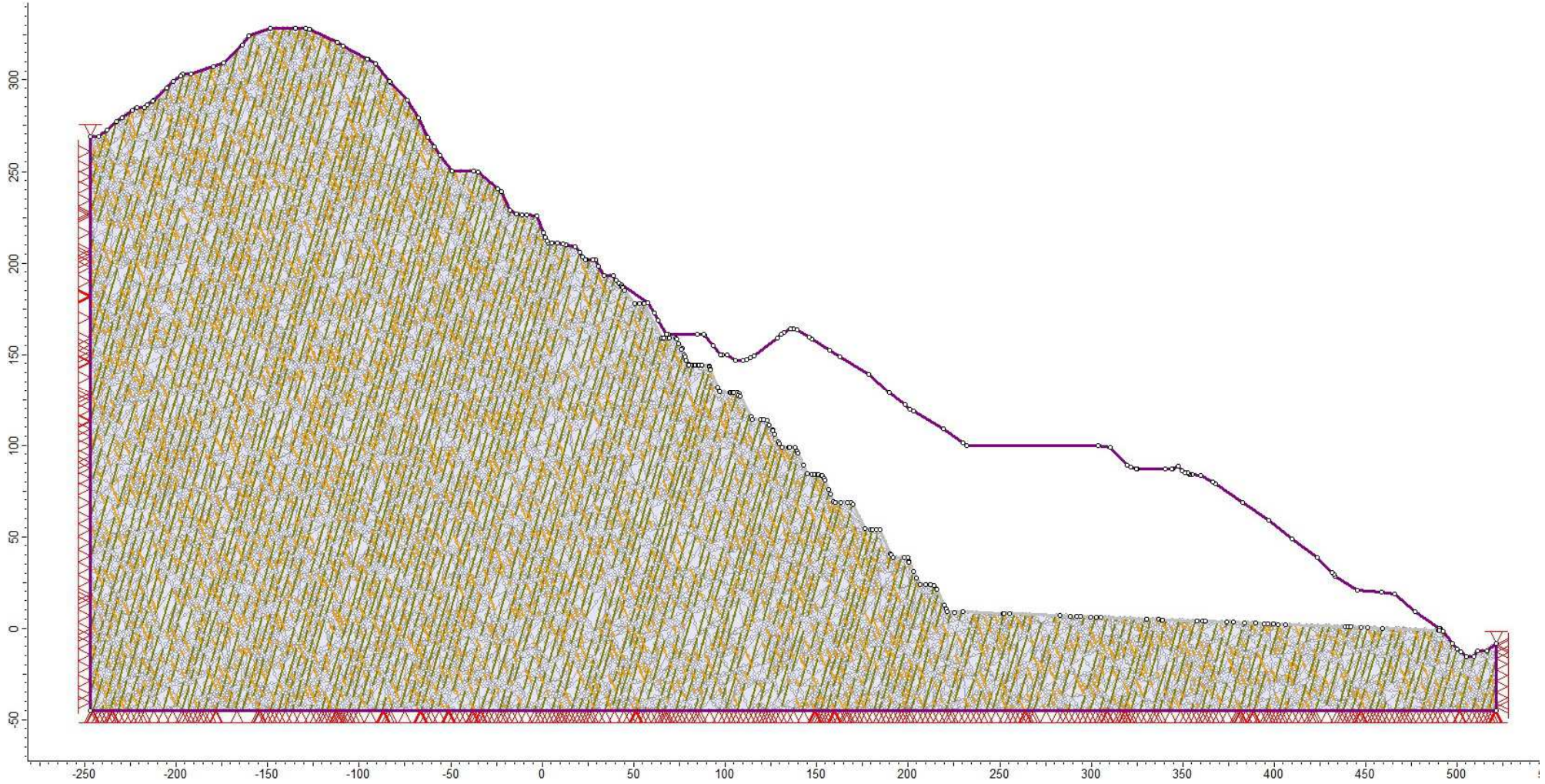


Fig. 3 – Sezione D-D'. Stage 2. Maglia di discretizzazione. In colore verde il sistema S, in colore arancione il sistema K2. Scala in m, quote fittizie.

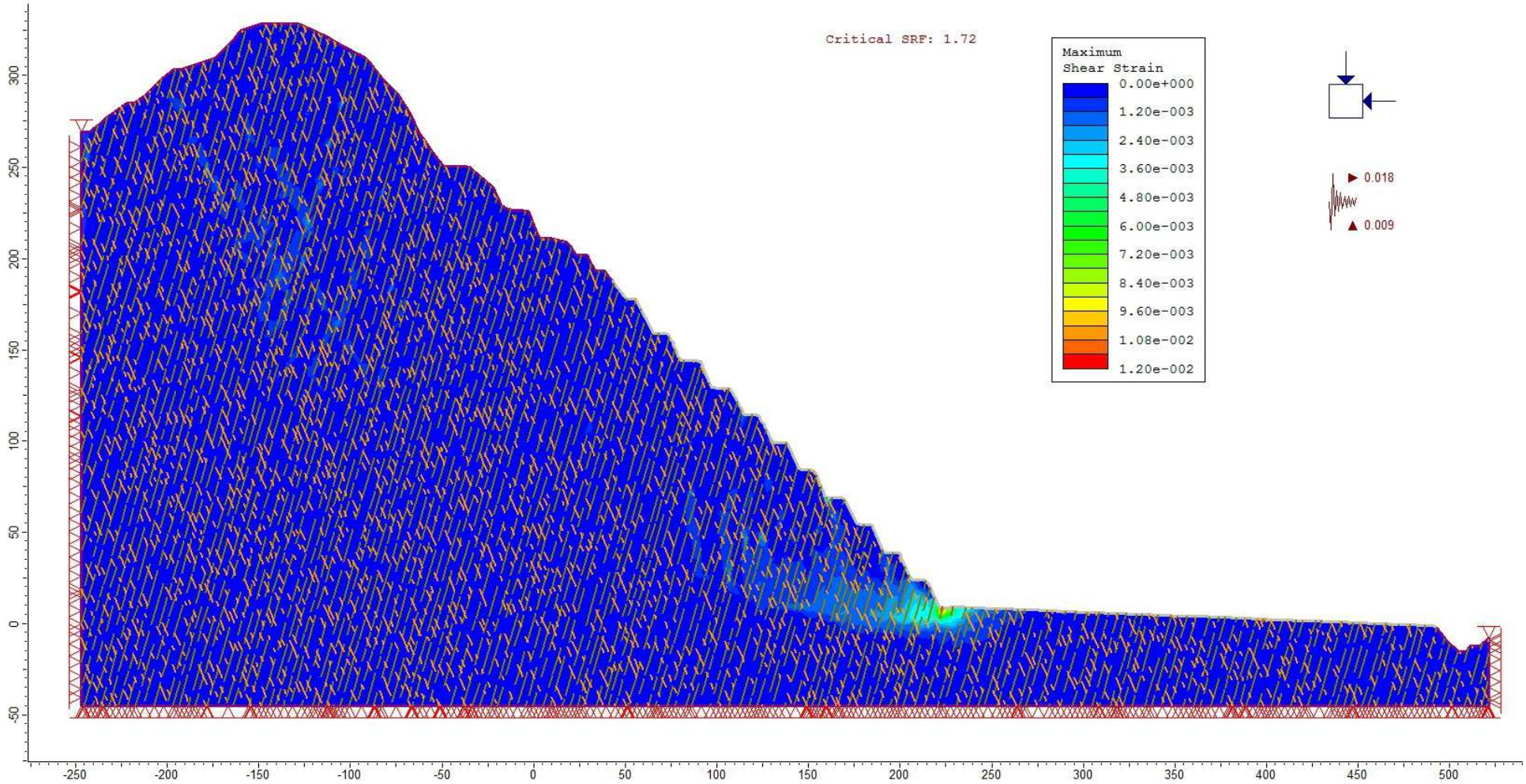


Fig. 4 –Sezione D-D'. Verifiche di stabilità dell'ammasso roccioso. E' rappresentato il valore minimo dello Strenght Reduction Factor ed i valori della deformazione massima di taglio nelle condizioni di SRF = 1.72.

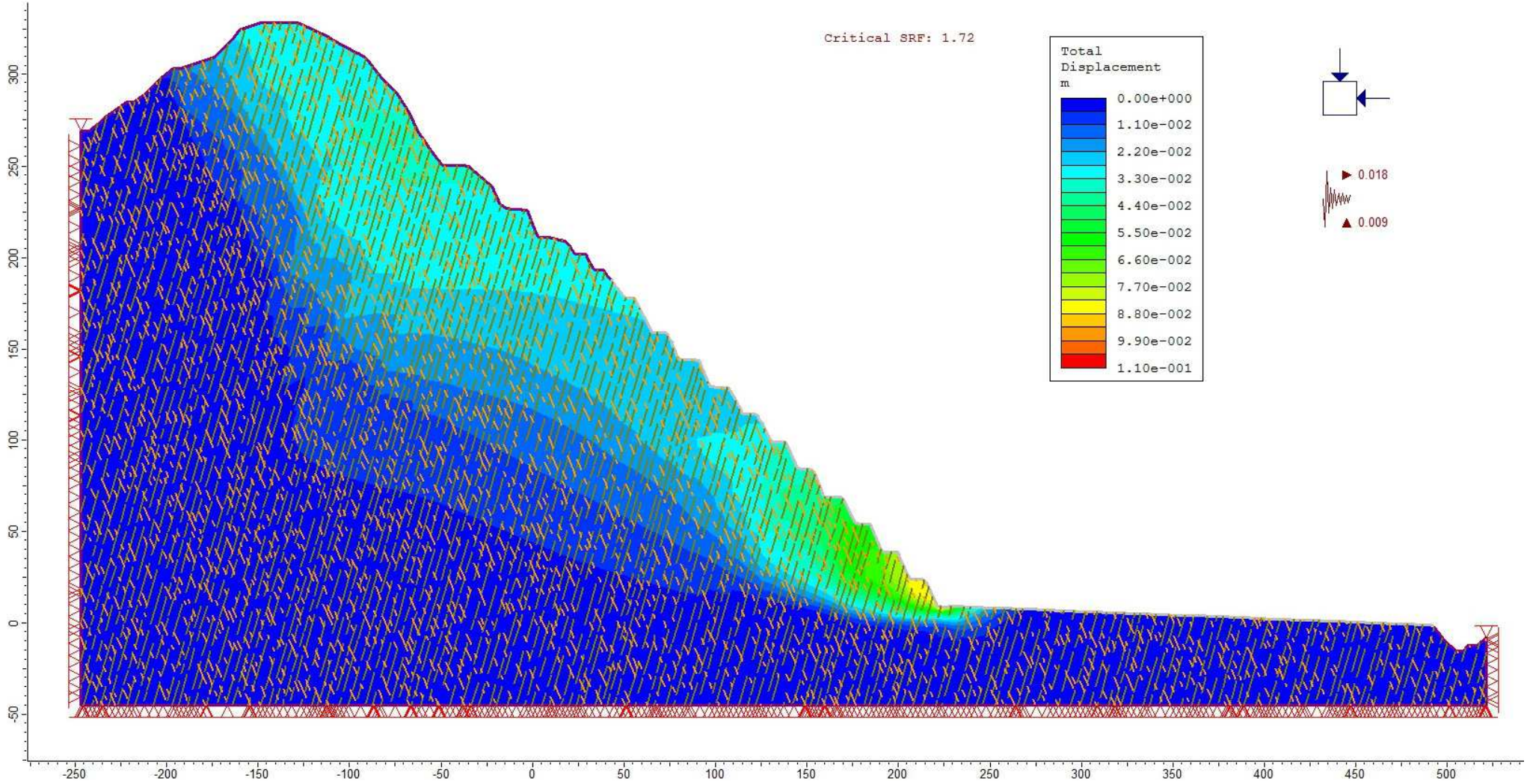


Fig. 5 – Sezione D-D'. Verifiche di stabilità dell'ammasso roccioso. Sono rappresentati i valori dello spostamento ad SRF = 1.72.

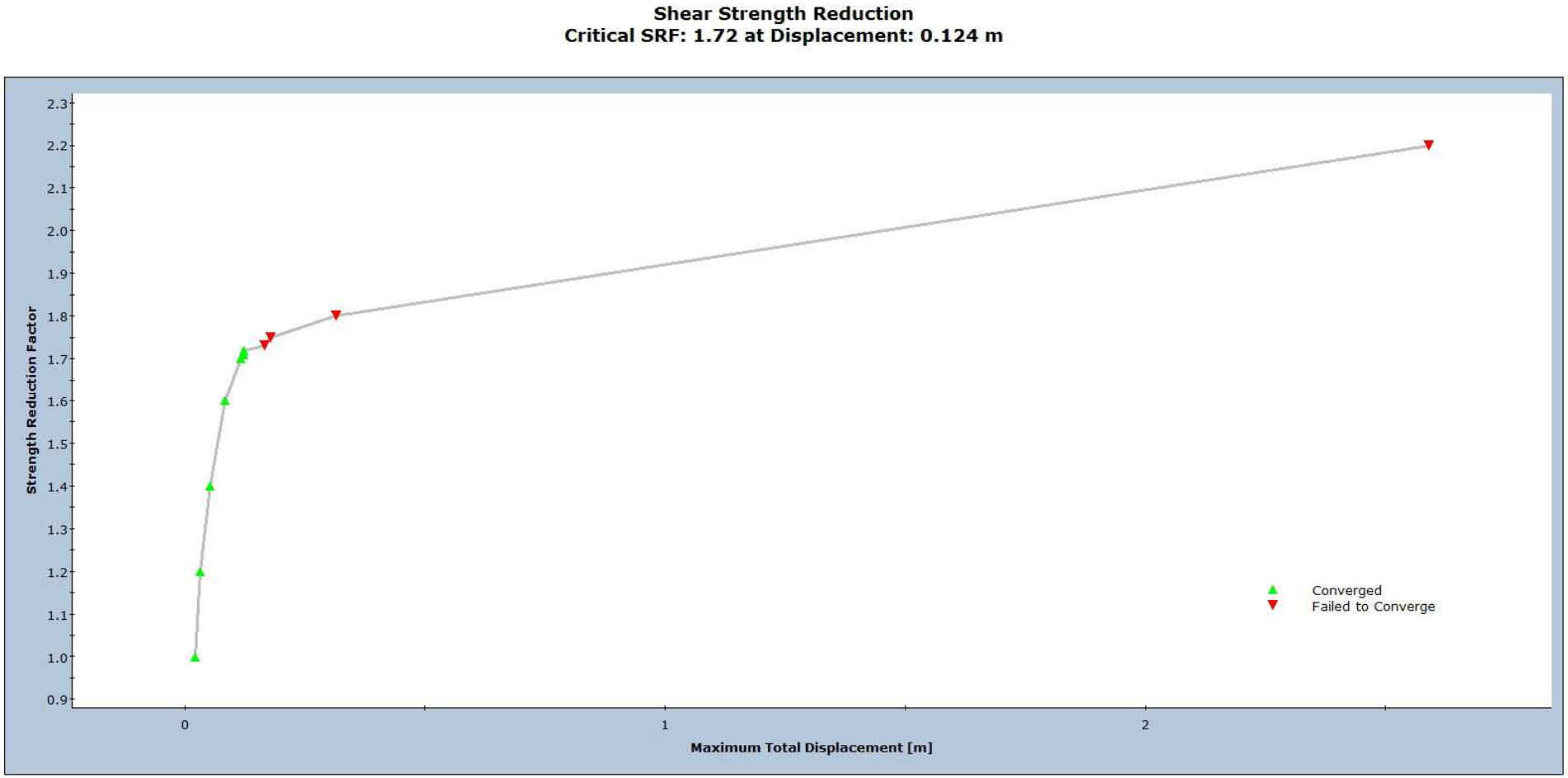


Fig. 6 –Sezione D-D'. Verifiche di stabilità dell'ammasso roccioso. Grafico degli SRF in funzione dello spostamento massimo.

4. VERIFICHE DI STABILITA' DEL RILEVATO DI SABBIE LIMOSE

4.1 Introduzione

Per la descrizione delle caratteristiche geometriche del rilevato e dei materiali posti a discarica e per la definizione dei parametri di progetto si rimanda alla relazione C3533-S02 del giugno 2012.

Due nuove sezioni ad andamento meridiano sono state tracciate sul rilevato, in aggiunta alle due disegnate nella citata relazione normalmente alla direzione di massima pendenza (fig. 7). Le verifiche sono state eseguite con i nuovi parametri sismici su tutte e quattro le sezioni.

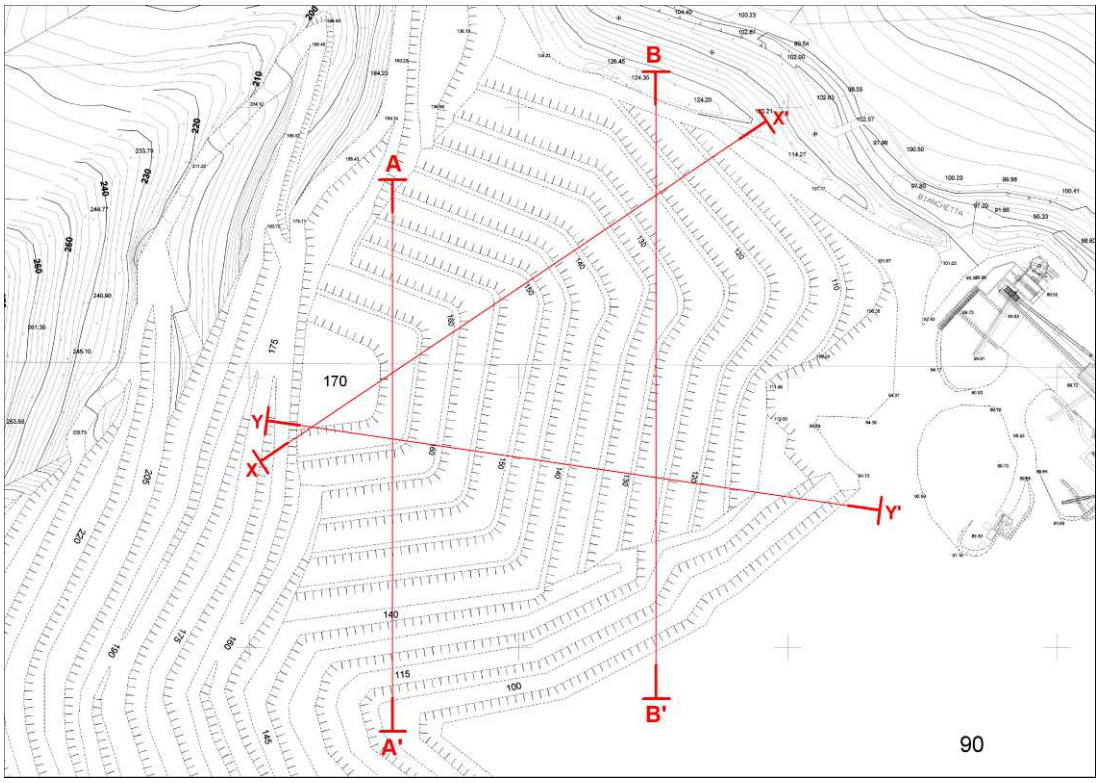


Fig. 7 – Sezioni del rilevato di inerti. Stralcio dalla tavola di progetto

4.2 Verifica di stabilità

Secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008, § 7.1) il rispetto degli stati ultimi in condizioni sismiche si considera soddisfatto quando siano state eseguite le verifiche relative agli stati limite SLD, stato limite di danno, e SLV, stato limite di salvaguardia della vita.
Non essendo valutabile per un rilevato uno stato limite di esercizio, nelle verifiche di stabilità è stato preso in considerazione solo lo stato limite ultimo SLV.

I calcoli di stabilità sono stati eseguiti applicando il metodo dell'equilibrio limite nelle versioni di Bishop, Spencer, Lowe - Karafiath e GLE/Morgenstern-Price, per potenziali superfici di scorrimento circolari, con il programma *Slide 5.0* (Rocscience Inc.- Toronto, Canada). Sono stati adottati i parametri geotecnici definiti nella citata relazione.

Per quanto riguarda le condizioni idrauliche, la permeabilità medio – bassa dei materiali fini posti a discarica, la permeabilità per contro elevata del substrato carbonatico ed il positivo effetto del sistema di regimazione delle acque progettato, consentono di ritenere che all'interno del rilevato non si possa sviluppare una circolazione sotterranea significativa. Tuttavia cautelativamente nelle verifiche di stabilità si è ipotizzato, in corrispondenza della fossa basale su cui verrà realizzato il rilevato, un livello piezometrico di qualche metro di spessore (intorno a 5 m il valore maggiore).

Sono stati calcolati i fattori di sicurezza di oltre 4800 superfici di scivolamento potenziale distribuite sull'intera sezione. I valori dei fattori di sicurezza sono rappresentati nelle fig. 9, 11, 13, e 15 con aree di diverso colore nel quadrato che racchiude i centri dei cerchi di scorrimento. Il cerchio riprodotto è relativo al fattore di sicurezza minimo calcolato con il metodo di Bishop.
I risultati delle verifiche hanno fornito per la larghissima maggioranza delle superfici esaminate fattori di sicurezza ampiamente superiori a 1,1. In due sezioni (A-A' e X-X') sono stati ottenuti fattori di sicurezza intorno a 1,08, assimilabili per approssimazione, a 1,1. In entrambe le sezioni si tratta di poche superfici di scarsa profondità e ridotte dimensioni; anche un eventuale dissesto non comprometterebbe la stabilità complessiva del rilevato.

I tabulati delle verifiche di stabilità sono riportati in allegato.

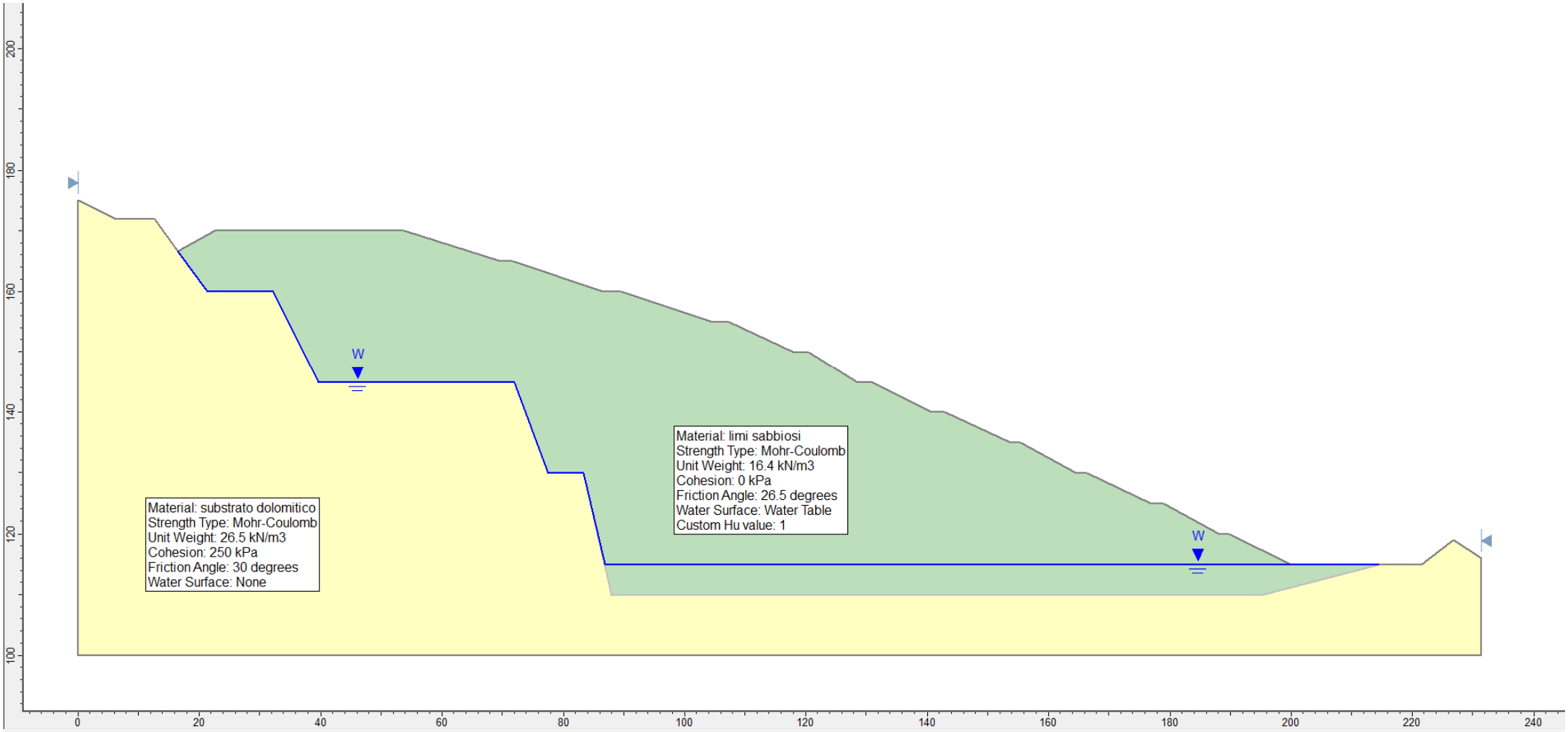


Fig. 8 –Rilevato in sabbie limose. Sezione x-x'. Caratteristiche geometriche. Scala in m, quote assolute (m s.l.m.).

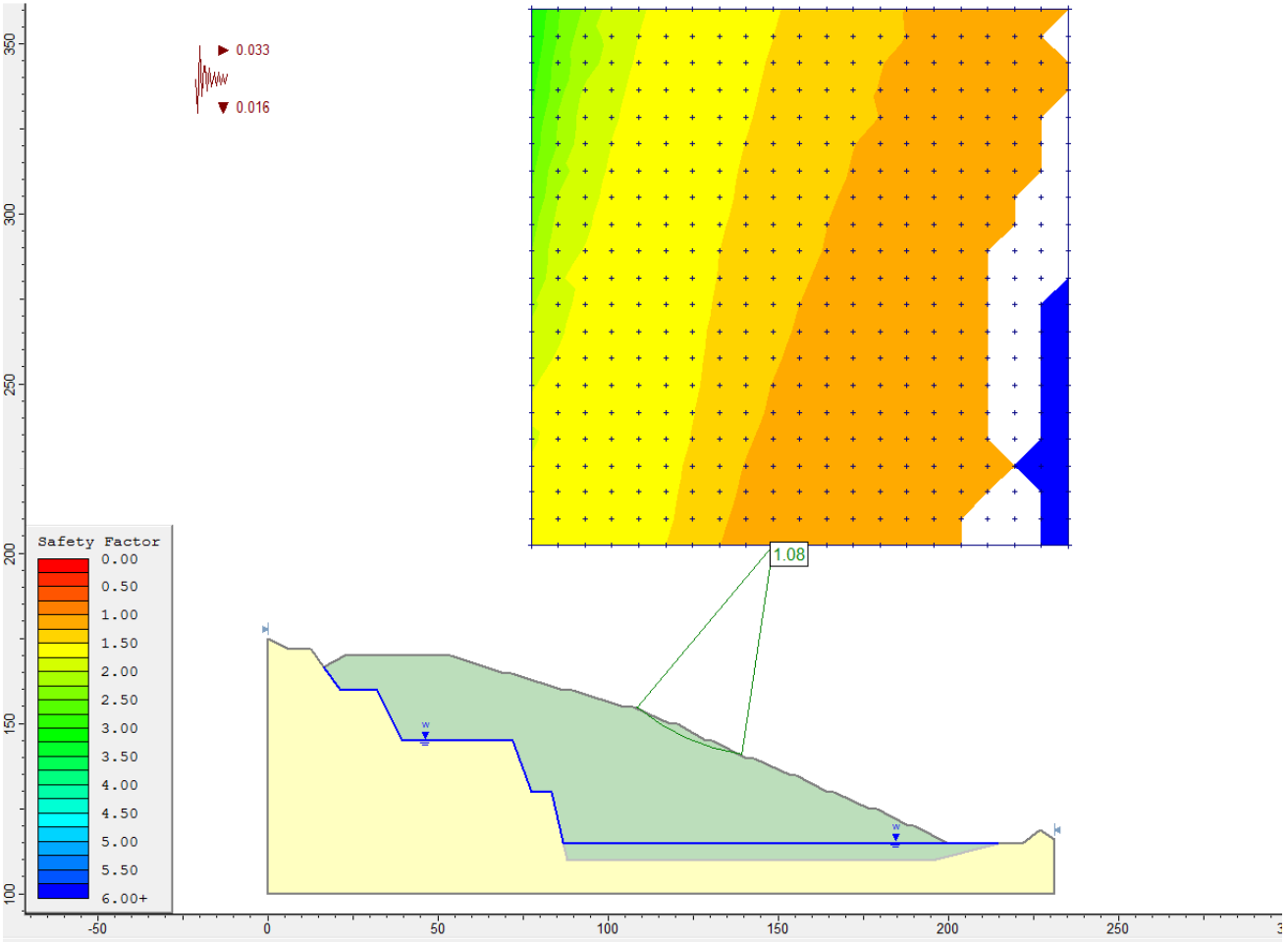


Fig. 9 –Rilevato in sabbie limose. Sezione x-x'. Verifiche di stabilità. E' rappresentato il valore minimo del coefficiente di sicurezza.

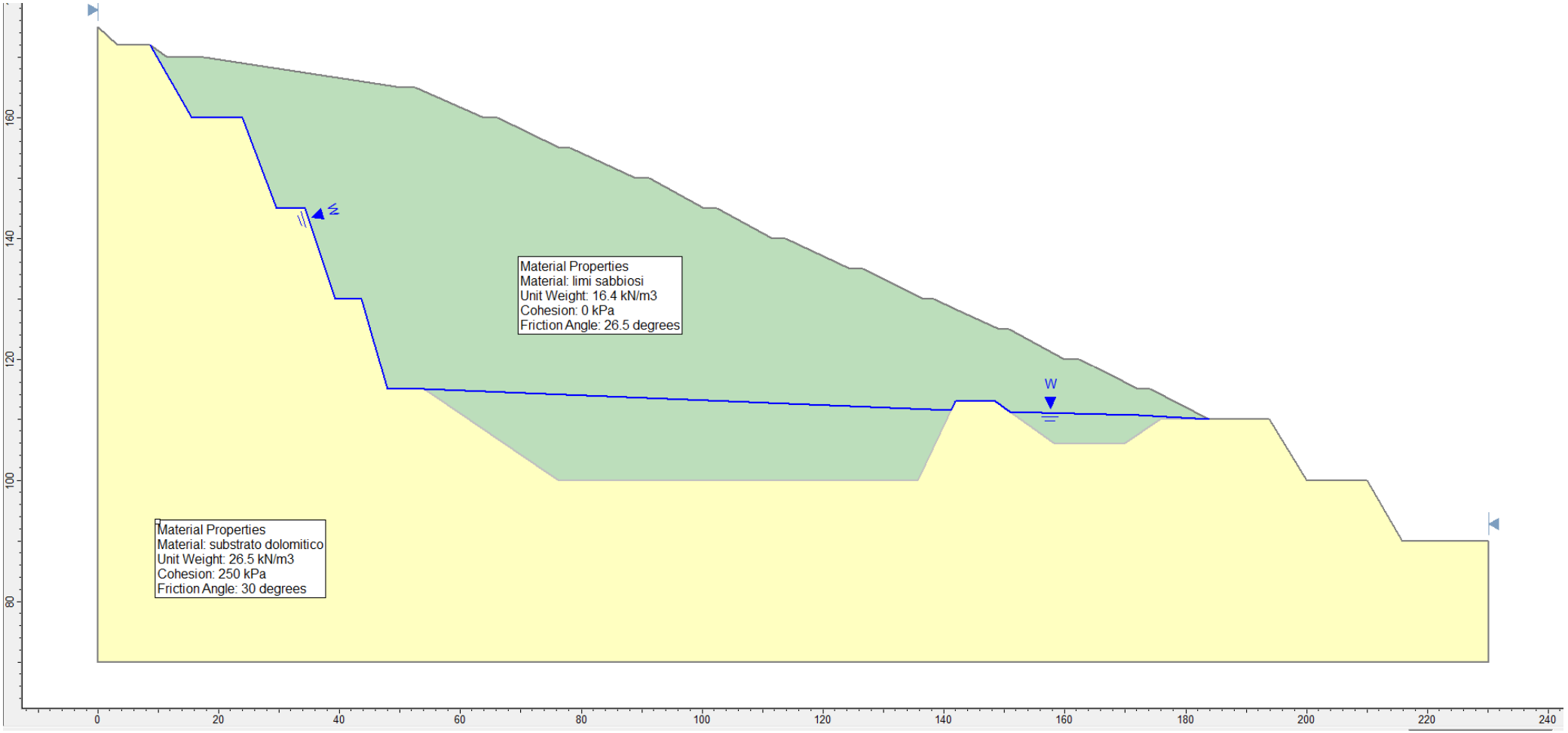


Fig. 10 –Rilevato in sabbie limose. Sezione y-y'. Caratteristiche geometriche. Scala in m, quote assolute (m s.l.m.).

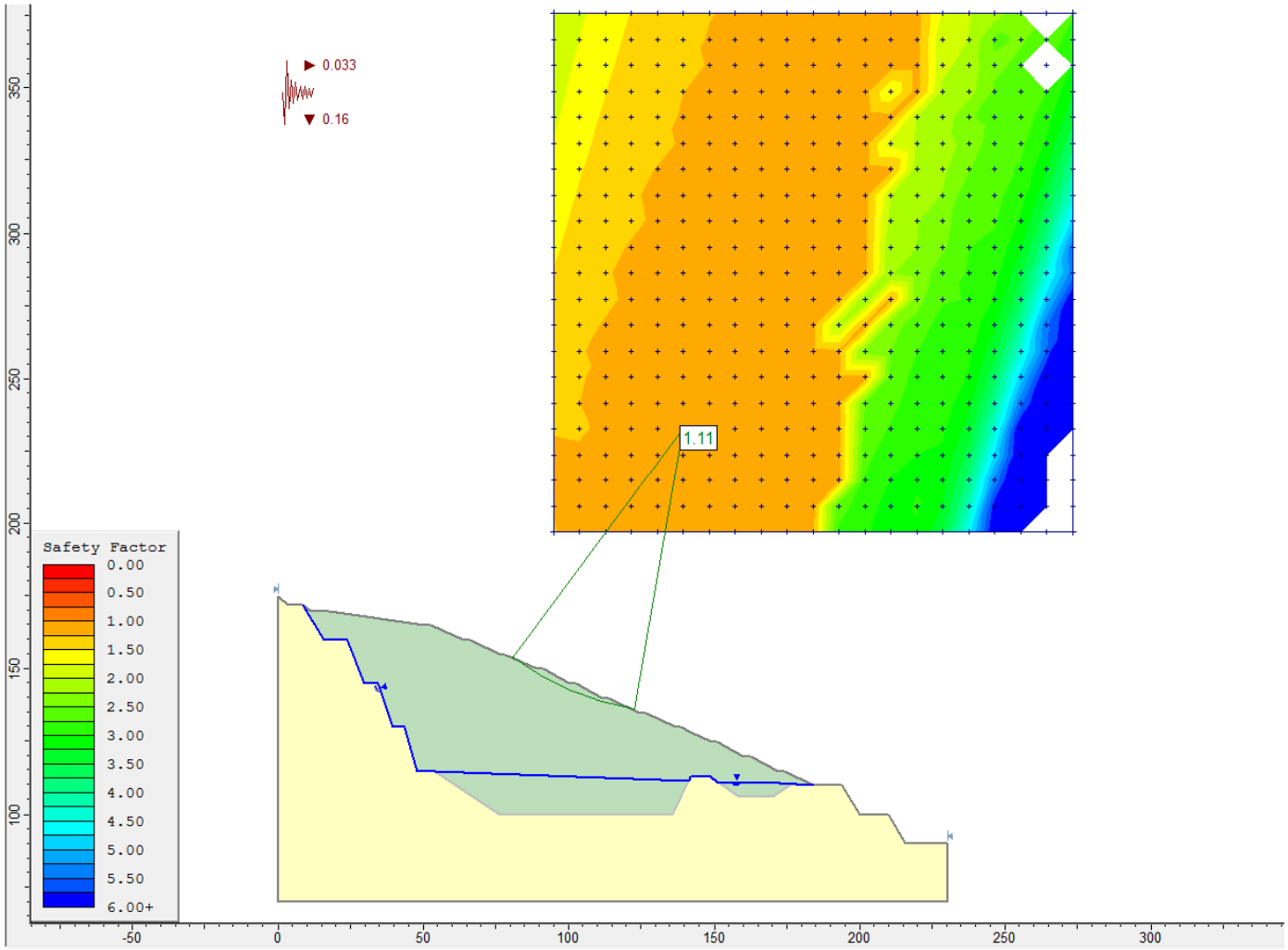


Fig. 11 – Rilevato in sabbie limose. Sezione y-y'. Verifiche di stabilità. E' rappresentato il valore minimo del coefficiente di sicurezza

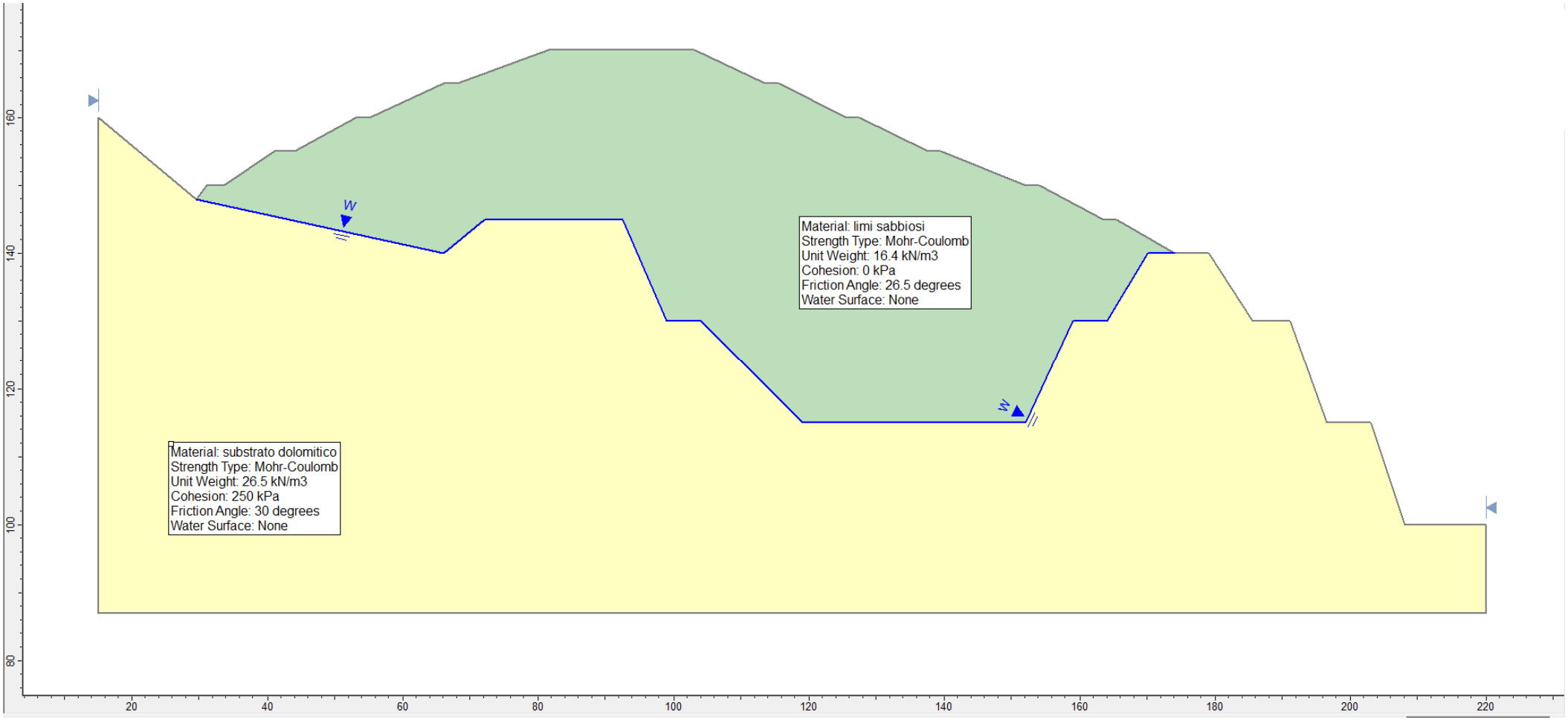


Fig. 12 –Rilevato in sabbie limose. Sezione a-a'. Caratteristiche geometriche. Scala in m, quote assolute (m s.l.m.).

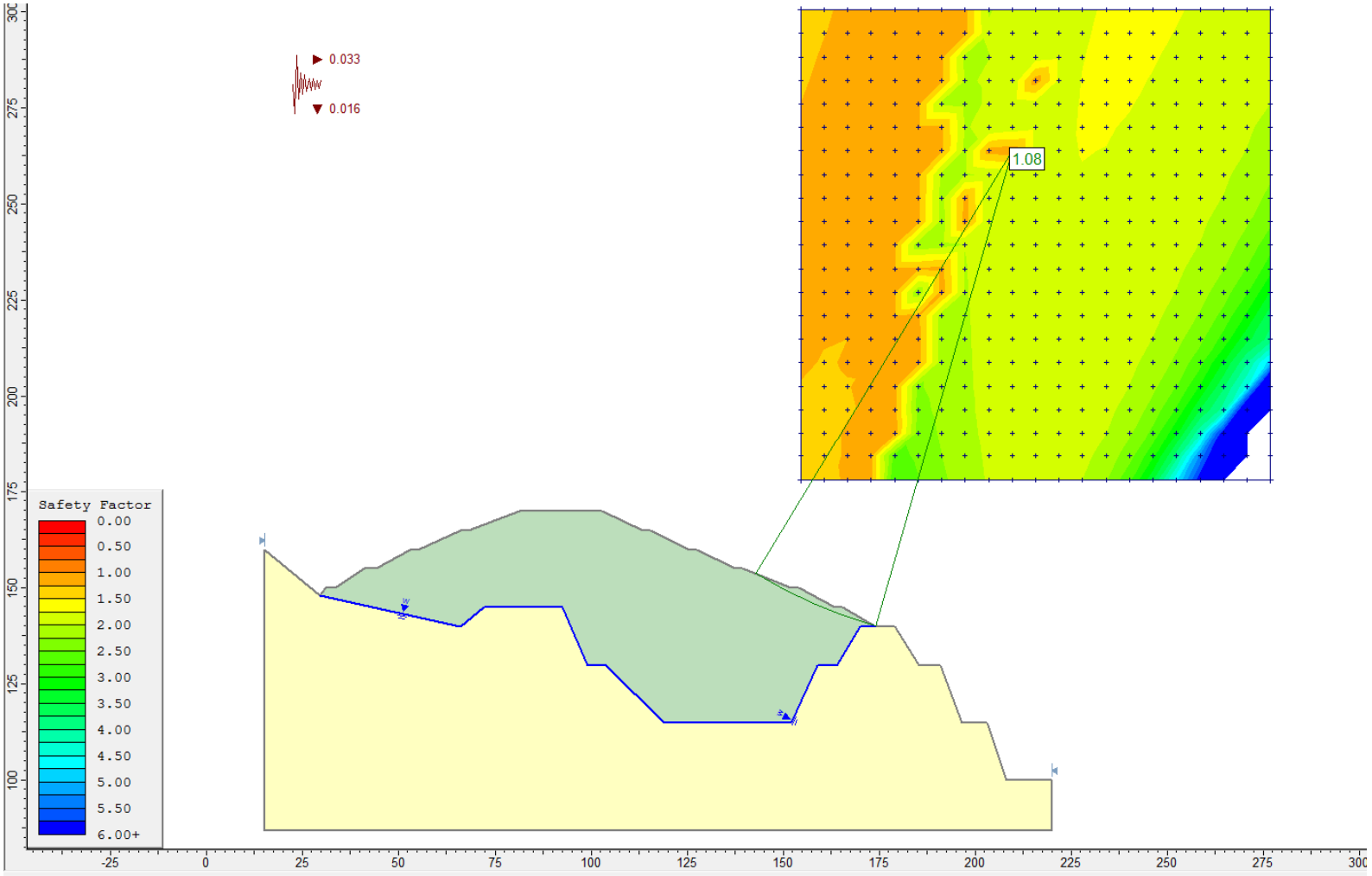


Fig. 13 – Rilevato in sabbie limose. Sezione a-a'. Verifiche di stabilità. E' rappresentato il valore minimo del coefficiente di sicurezza

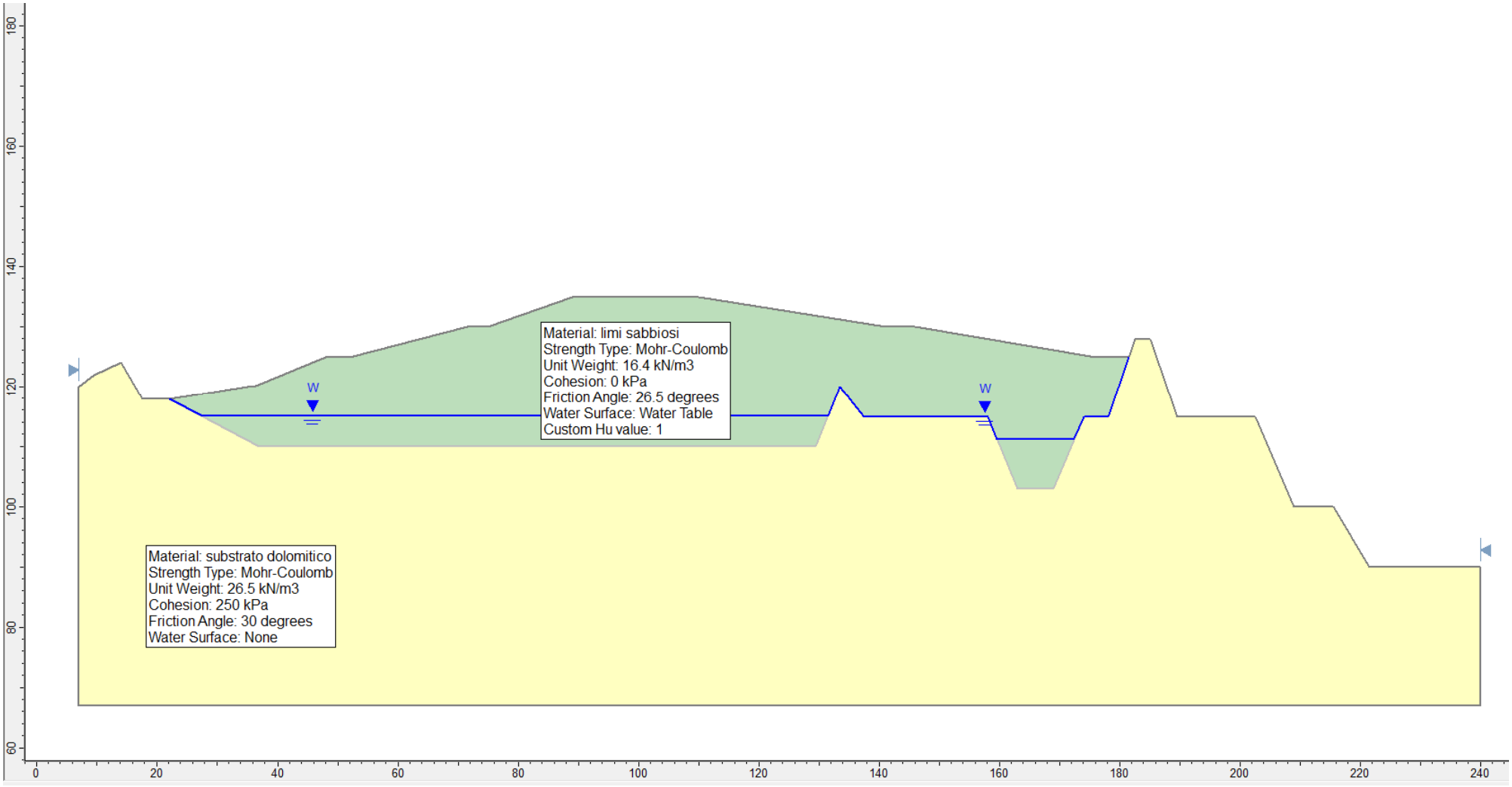


Fig. 14 –Rilevato in sabbie limose. Sezione b-b'. Caratteristiche geometriche. Scala in m, quote assolute (m s.l.m.).

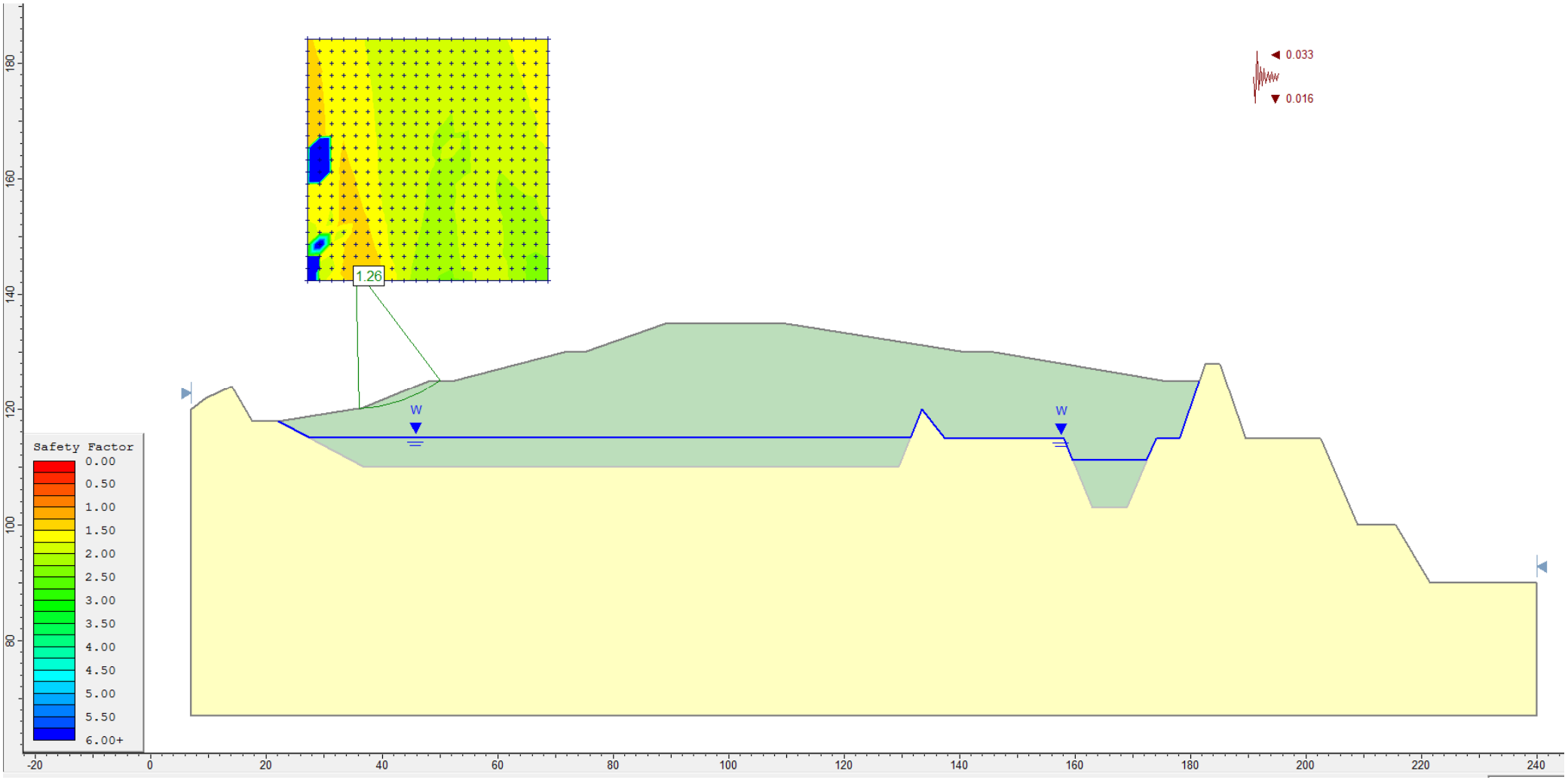


Fig. 15 – Rilevato in sabbie limose. Sezione b-b'. Verifiche di stabilità. E' rappresentato il valore minimo del coefficiente di sicurezza

5. VERIFICHE DI STABILITA' DELLE OPERE IN SOTTERRANEO

5.1 Introduzione

Il progetto di coltivazione della cava Giunchetto prevede l'esecuzione di una galleria principale, della lunghezza di circa 150 m, con direzione inizialmente ONO (circa un centinaio di metri) e successivamente NNE, a partire da quota 70 m s.l.m., e di una camera di frantumazione posta al termine della galleria.

Alcune gallerie minori collegano la galleria principale alla camera di frantumazione (galleria accesso impianti) e alla zona di carico. Una breve galleria che si stacca dalla camera di frantumazione è adibita ad accumulo acqua.

Le gallerie avranno una sezione a volta di 6,00 m di larghezza per 5,50 m di altezza. La camera di frantumazione avrà una larghezza di 14 m, una lunghezza di circa 80 m in direzione ONO ed un'altezza massima di 14 m.

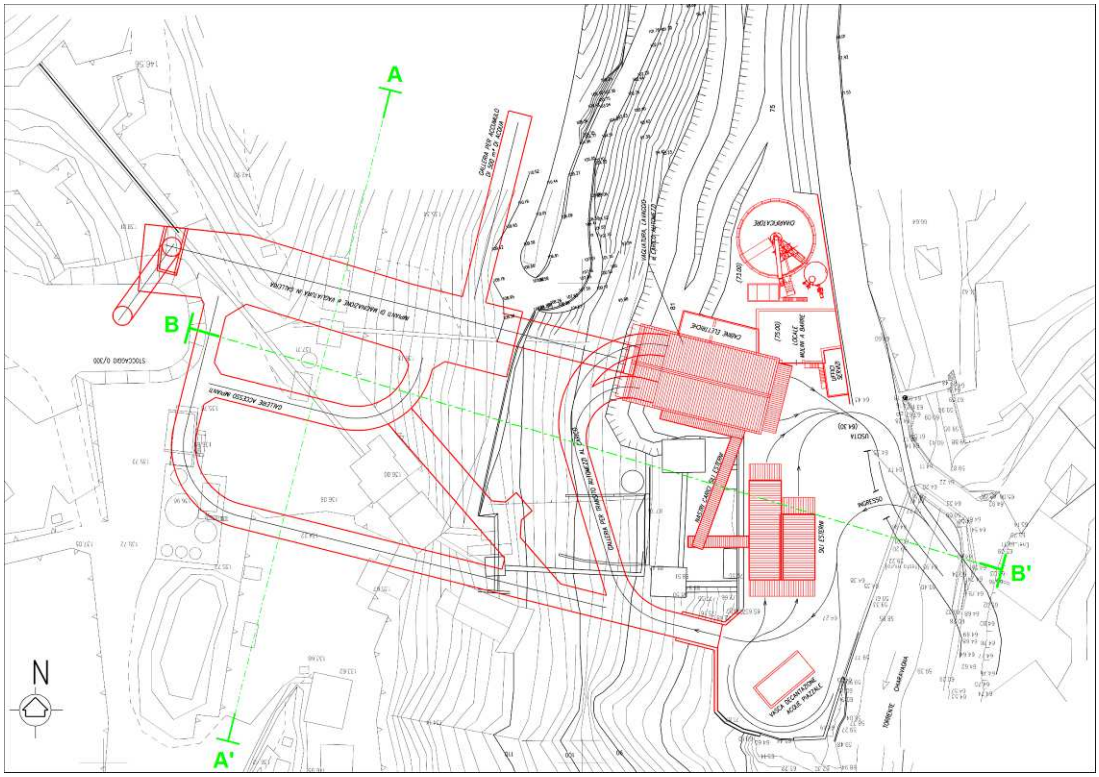


Fig. 16 – Opere in sotterraneo con sezioni di verifica. Stralcio dalla tavola di progetto UCg/3/M/012

5.2 Assetto strutturale e caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

Per quanto riguarda l'inquadramento geologico e l'assetto strutturale si rimanda ai relativi paragrafi del progetto di coltivazione delle cave Giunchetto e Gneo (relazione C3533-S02 del giugno 2012.).
Relativamente invece alla caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso nel sottosuolo si fa riferimento alla prima relazione C3533-S06 di luglio 2012 riguardante le verifiche di stabilità delle opere in sotterraneo.

5.3 Analisi agli elementi finiti

5.3.1 Programma e codice di calcolo

L'analisi numerica è stata eseguita con il programma *Phase2* della Rocscience Inc. di Toronto (Canada), nella versione 8.011. Per le caratteristiche del programma utilizzato si rimanda al § 3.3.1.

5.3.2 Modello geologico - geomeccanico

La modellazione numerica è stata eseguita su due sezioni, A-A' e B-B' (fig. 16). La sezione A-A', passante per la camera di frantumazione e per le gallerie di accesso alla camera e agli impianti, ha orientazione normale alla direzione delle opere principali. La sezione, che interessa gran parte degli interventi in sotterraneo, può considerarsi la più rappresentativa delle condizioni globali che gli scavi produrranno nel sottosuolo. La sezione B-B', normale alla precedente, è attraversata dalle gallerie di transito e di accesso alla camera di frantumazione. I vuoti hanno in questa sezione volumi minori.

Nel caso della sezione A-A', tracciata circa parallelamente alla stratificazione, si è fatta l'assunzione che l'ammasso roccioso dolomitico abbia caratteristiche di sostanziale omogeneità ed isotropia.
Al contrario nella sezione B-B', per tener conto della forte anisotropia dell'ammasso roccioso dipendente dalla presenza del sistema di discontinuità predominante (la stratificazione a giacitura sub - verticale), avente orientazione media circa normale alla sezione, si è utilizzata la funzione *Joint Network*, che simula un sistema di discontinuità sulla base dei principali parametri rappresentativi (orientazione, spaziatura lunghezza, persistenza), variabili secondo una distribuzione statistica scelta sulla base dei dati del rilievo geomeccanico.

5.3.3 Condizioni di carico e parametri geomeccanici

E' stato assunto un campo tensionale di tipo gravitazionale, con un coefficiente k=1 (rapporto tra componente orizzontale e verticale delle tensioni).

All'ammasso roccioso sono stati attribuiti proprietà fisiche e parametri geomeccanici stabiliti nella relazione riguardante le verifiche di stabilità delle opere in sotterraneo (C3533-S06 di luglio 2012).
Il criterio di rottura utilizzato è quello di Hoek-Brown generalizzato, valido per gli ammassi rocciosi. Il modulo di Young utilizzato è la media tra i valori ottenuti con la classificazione Q e con la classificazione GSI.

Unit weight	0.0265 MN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	10,025 MPa
Poisson's ratio	0.3
Failure Criterion	Generalized Hoek-Brown
Material type	Elastic
Compressive strength	80 MPa
mb parameter	2.157
s parameter	0.0117
a parameter	0.503

Le caratteristiche di resistenza del sistema di discontinuità S, derivate dai risultati del rilievo geomeccanico, sono riportate nella tabella sottostante.

Normal stiffness	42000 MPa/m
Shear stiffness	10000 MPa/m
Initial joint deformation	allowed
Slip Criterion	Barton-Bandis
JCS	80 MPa
JRC	4.6
Residual Friction angle	30 degrees
Residual Strength	Yes

La componente normale della rigidezza delle discontinuità (*Joint Normal Stiffness*) è stata calcolata con la relazione

$$K_s = E_i E_m / L (E_i - E_m)$$

in cui è la componente normale della rigidezza delle discontinuità, E_i ed E_m sono rispettivamente il modulo di deformazione della roccia intatta e dell'ammasso roccioso (MPa), L è la spaziatura della discontinuità (in m).

Per quanto riguarda i parametri geometrici, si è fatta l'assunzione cautelativa di persistenza infinita; spaziatura e giacitura rispecchiano invece i dati del rilievo geomeccanico.

5.3.4 Maglia di discretizzazione

La maglia di discretizzazione è costituita da elementi triangolari di dimensioni progressivamente minori in prossimità dei vuoti (*graded*).

Sono state simulate due fasi (*stages*) dello sviluppo della cava, la prima corrispondente al profilo topografico attuale (massimo carico citostatico), la seconda con il profilo minimo di scavo, relativo alla configurazione finale della coltivazione (minimo carico litostatico).
Nella tabella che segue sono riportati il numero di nodi e di elementi per ciascuna fase.

	Sezione A-A'	Sezione B-B'
Number of elements on Stage 1	1320	3956
Number of nodes on Stage 1	742	2019
Number of elements on Stage 2:	1160	3048
Number of nodes on Stage 2	664	1566

5.3.5 Risultati dell'analisi numerica

Sezione A-A'

I risultati sono rappresentati nelle figure 17-20 per la prima fase (*stage 1*, con massimo carico litostatico) e nelle figure 21-24 per la seconda fase (*stage 2*, profilo minimo di scavo).
Lo *strength factor,* calcolato come rapporto tra la resistenza dell'ammasso roccioso secondo il criterio di rottura di Hoek-Brown generalizzato e la tensione indotta in ciascun punto, risulta sempre superiore ad 1 (1,4 come valore minimo, raggiunto solo localmente), confermando così il comportamento elastico dell'ammasso roccioso in entrambe le fasi esaminate.
Lo spostamento totale ha valori molto bassi nelle due fasi, dell'ordine di 1,6 mm nella volta della camera di frantumazione nella fase 1 e di poco superiore a 2 mm nella seconda fase.
La distanza tra le diverse gallerie e la camera di frantumazione è tale per cui le modifiche allo stato tensionale indotto da un singolo intervento di scavo hanno un'influenza assai ridotta sulle opere adiacenti.

Sezione B-B'

I risultati sono rappresentati nelle figure 25-28 per la prima fase (*stage 1*, con massimo carico litostatico) e nelle figure 29-32 per la seconda fase (*stage 2*, profilo minimo di scavo).

Lo *strength factor* risulta sempre superiore ad 1 (1,54 come valore minimo), confermando così anche nella sezione normale alla stratificazione il comportamento elastico dell'ammasso roccioso in entrambe le fasi esaminate.

Lo spostamento totale ha valori sempre molto bassi anche se leggermente superiori a quelli rilevati nella sezione A-A'. Essi sono compresi tra 2,4 e 4,5 mm nella fase 1 e 2,7 e 3,9 mm e nella seconda fase.
La distanza tra le diverse gallerie è tale per cui le modifiche allo stato tensionale indotto da un singolo intervento di scavo hanno un'influenza assai ridotta sulle opere adiacenti.

5.4 Conclusioni

I risultati dell'analisi numerica sono in accordo con il quadro delineato nella prima relazione sulle verifiche di stabilità delle opere in sotterraneo. Si conferma cioè che le tensioni indotte dagli scavi delle gallerie e della camera di frantumazione rimangono in campo elastico e non producono fenomeni di plasticizzazione nell'intorno del cavo.

Le condizioni di stabilità delle opere in sotterraneo sono quindi legate sostanzialmente alla distribuzione ed alle caratteristiche dei sistemi di discontinuità dell'ammasso roccioso, così come analizzato nella prima relazione.

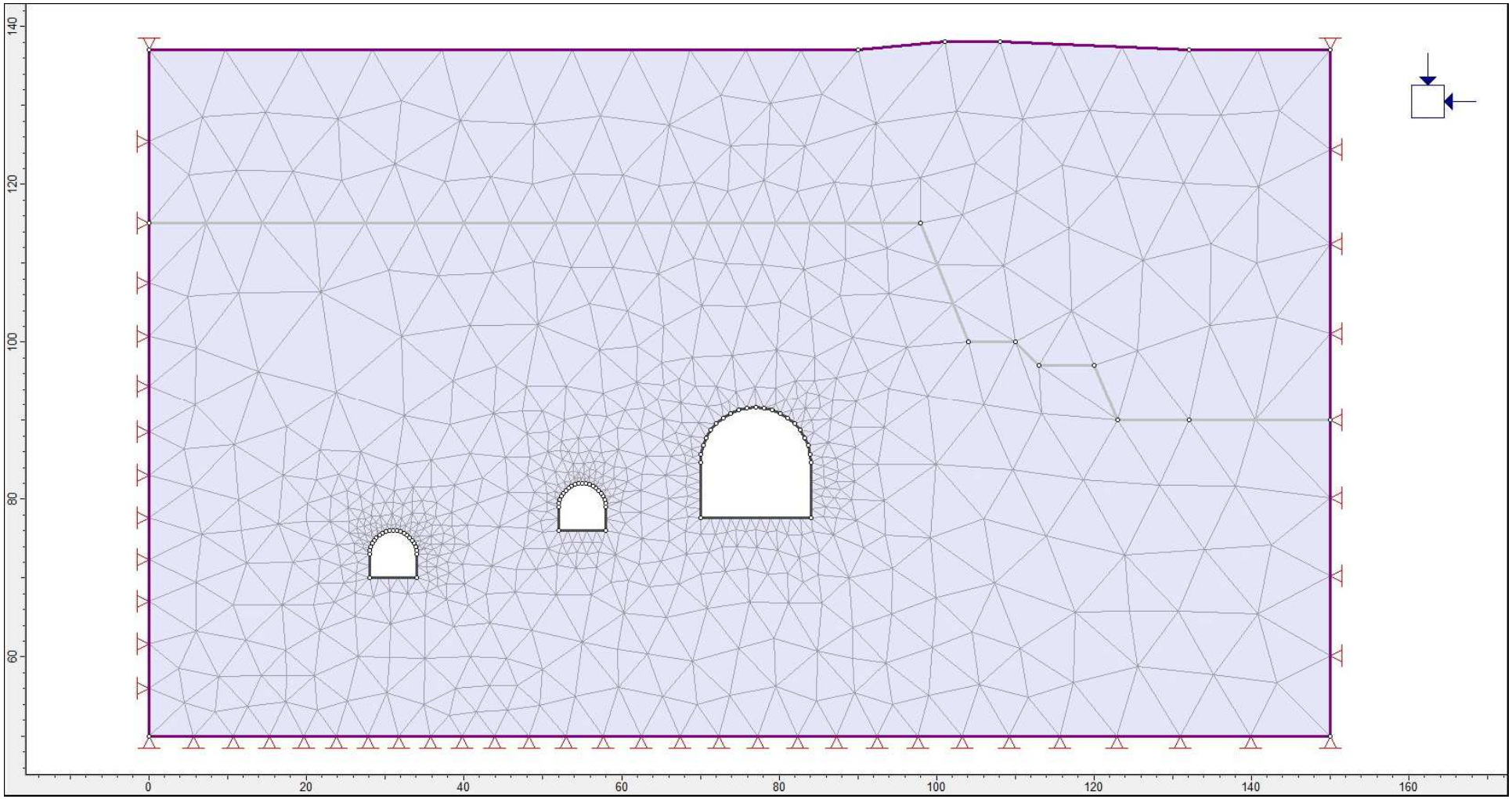


Fig. 17 – Sezione A-A'. Stage 1. Maglia di discretizzazione. Scala in m, quote assolute (m s.l.m.).

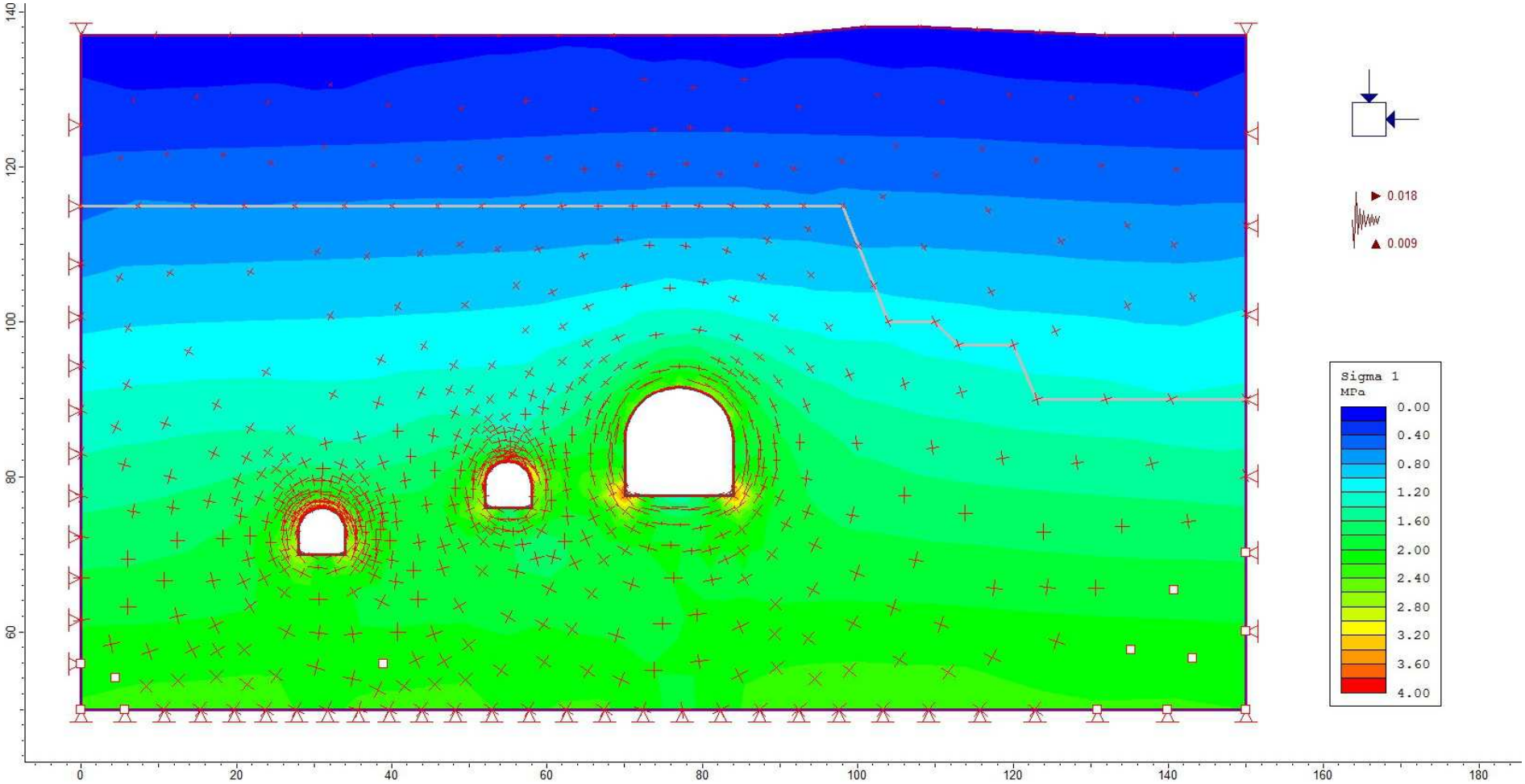


Fig. 18 – Sezione A-A'. Stage 1. Rappresentazione dei valori di σ1 mediante isolinee e delle traiettorie (simbolo a croce) della tensione principale σ1 (linea lunga) e della tensione minore σ3 (linea breve) nel piano 2D

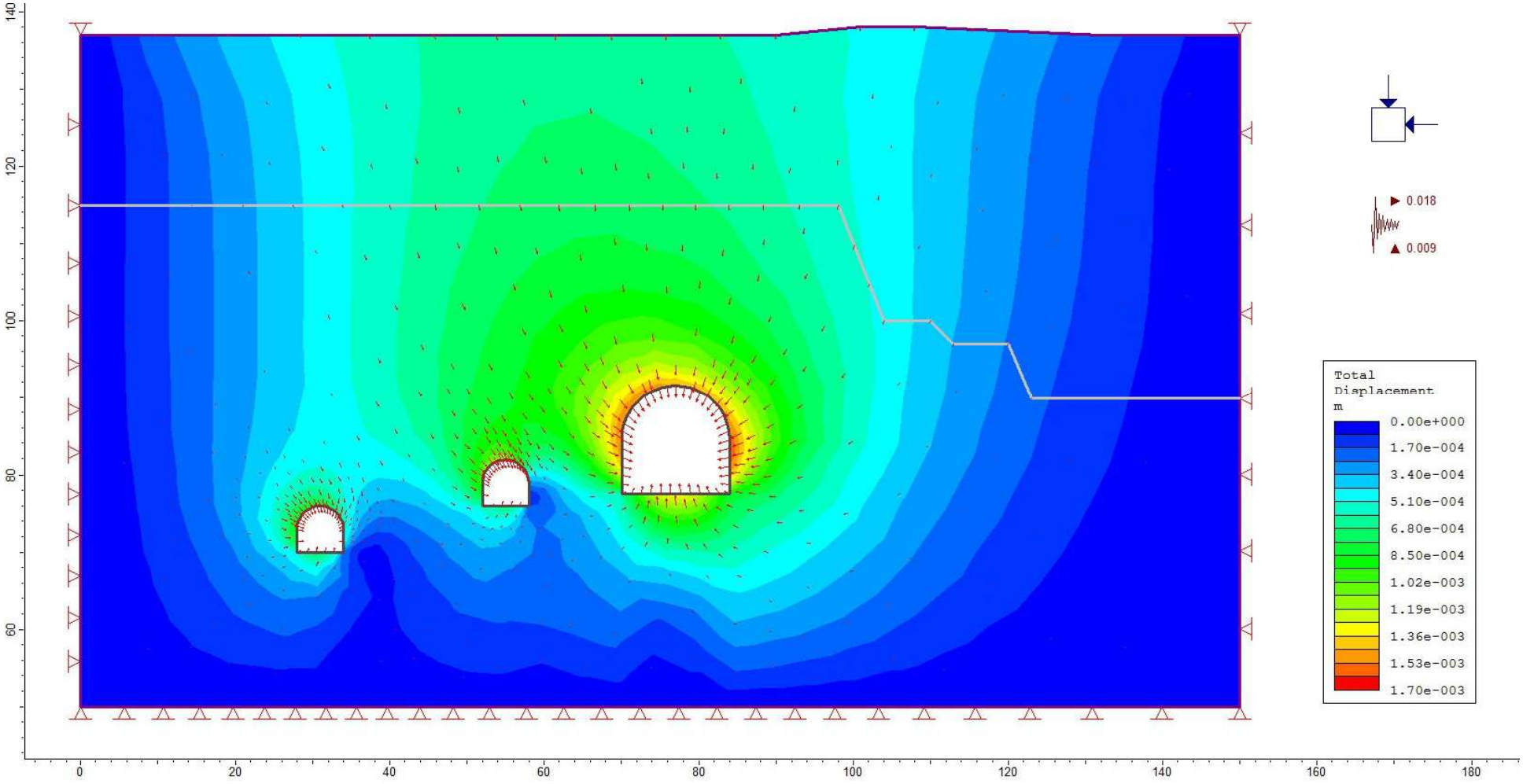


Fig. 19 – Sezione A-A'. Stage 1. Spostamento totale (isolinee) e sua direzione (frecce di colore rosso).

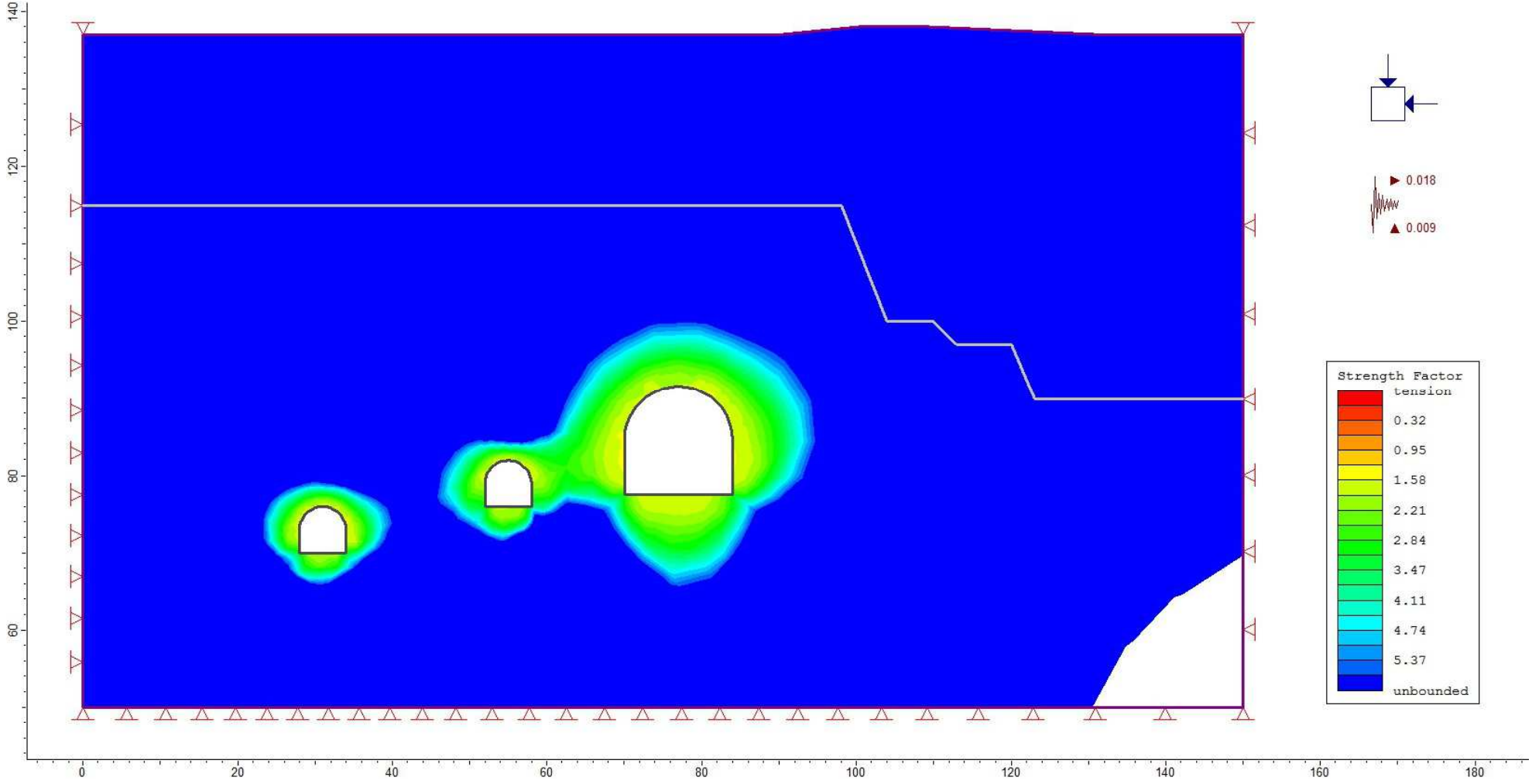


Fig. 20 – Sezione A-A'. Stage 1. Isolinee dello Strength factor.

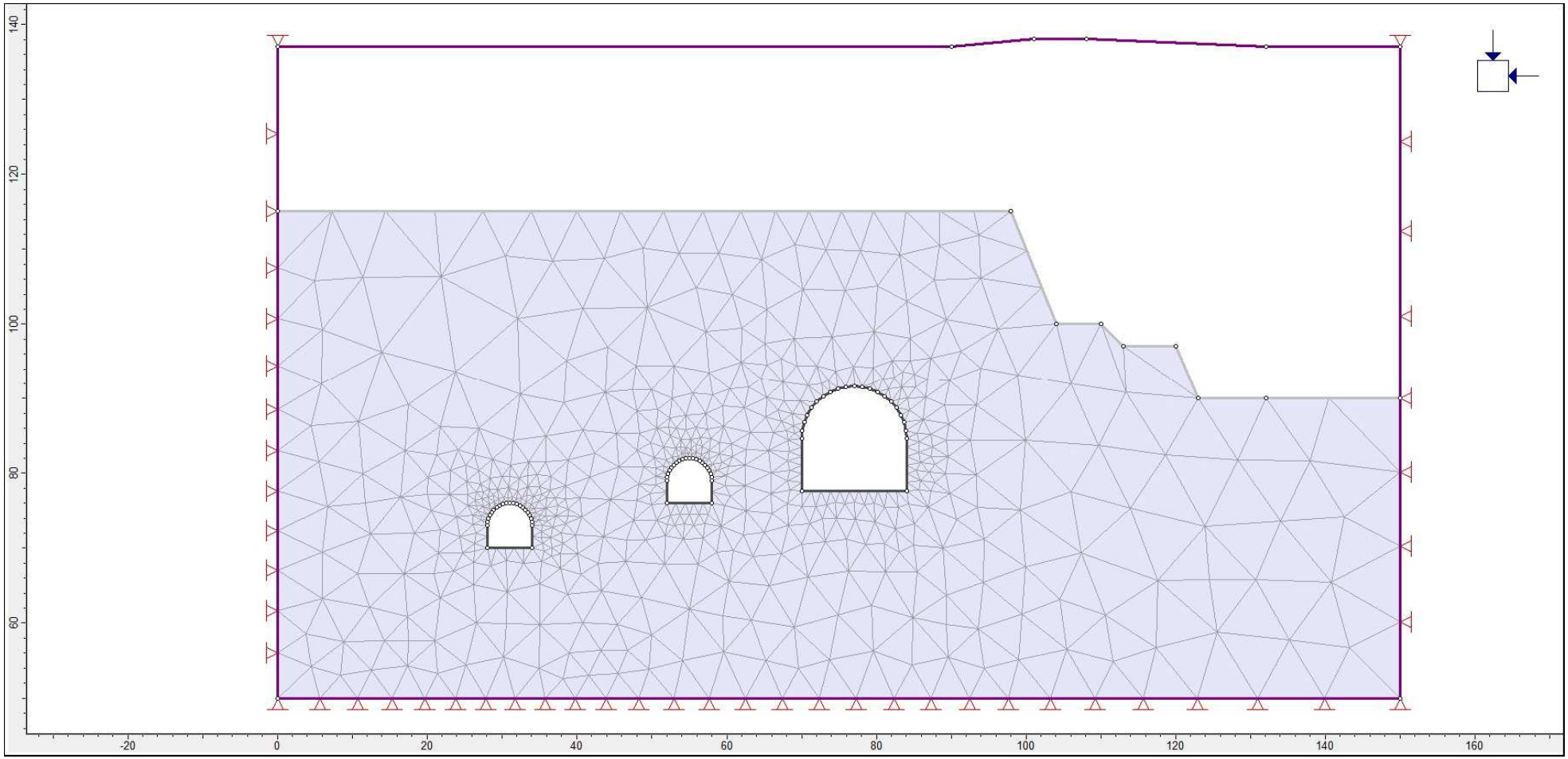


Fig. 21 – Sezione A-A'. Stage 2. Maglia di discretizzazione. Scala in m, quote assolute (m s.l.m.).

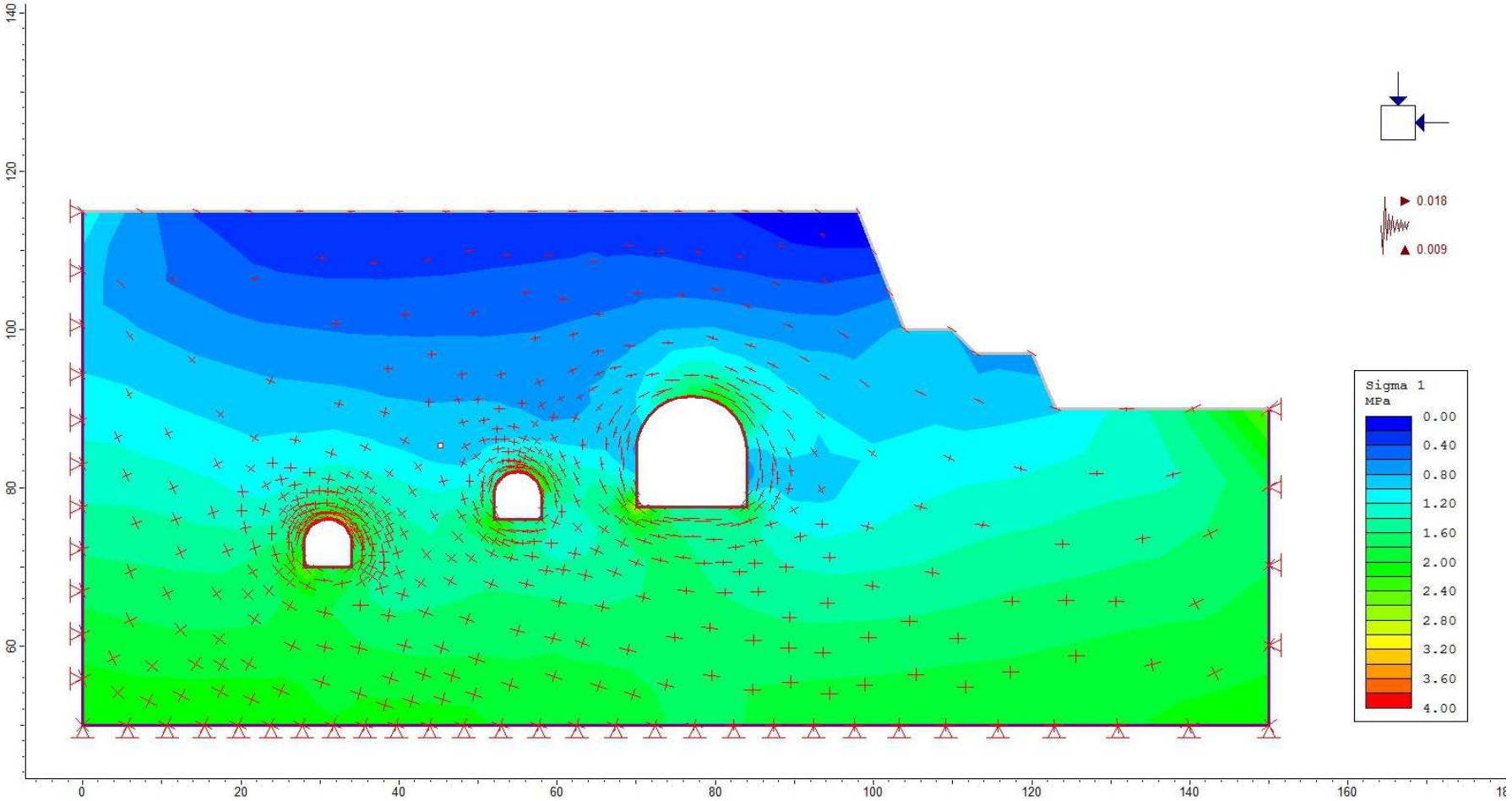


Fig. 22 – Sezione A-A'. Stage 2. Rappresentazione dei valori di σ1 mediante isolinee e delle traiettorie (simbolo a croce) della tensione principale σ1 (linea lunga) e della tensione minore σ3 (linea breve) nel piano 2D

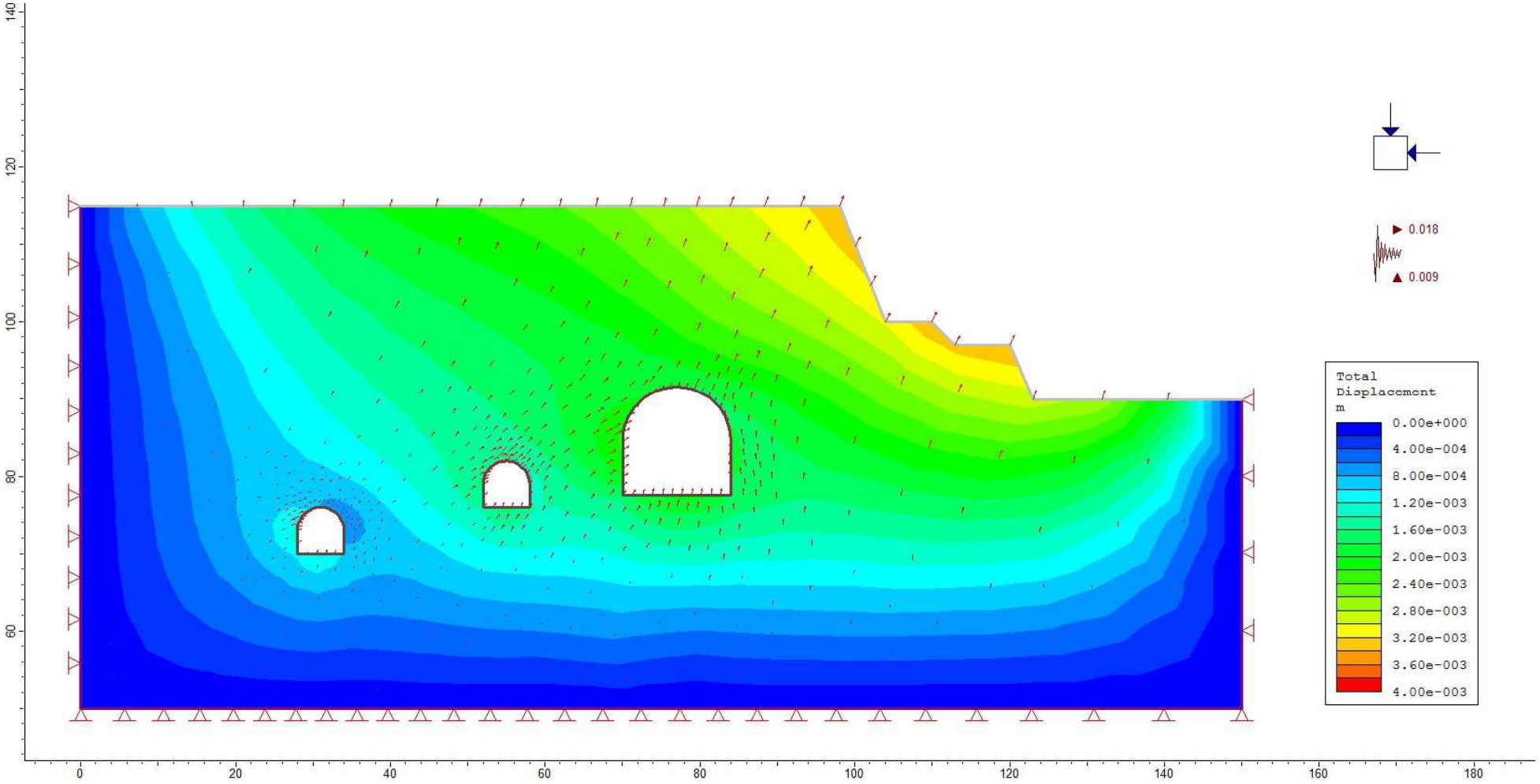


Fig. 23 – Sezione A-A'. Stage 2. Spostamento totale (isolinee) e sua direzione (frecce di colore rosso).

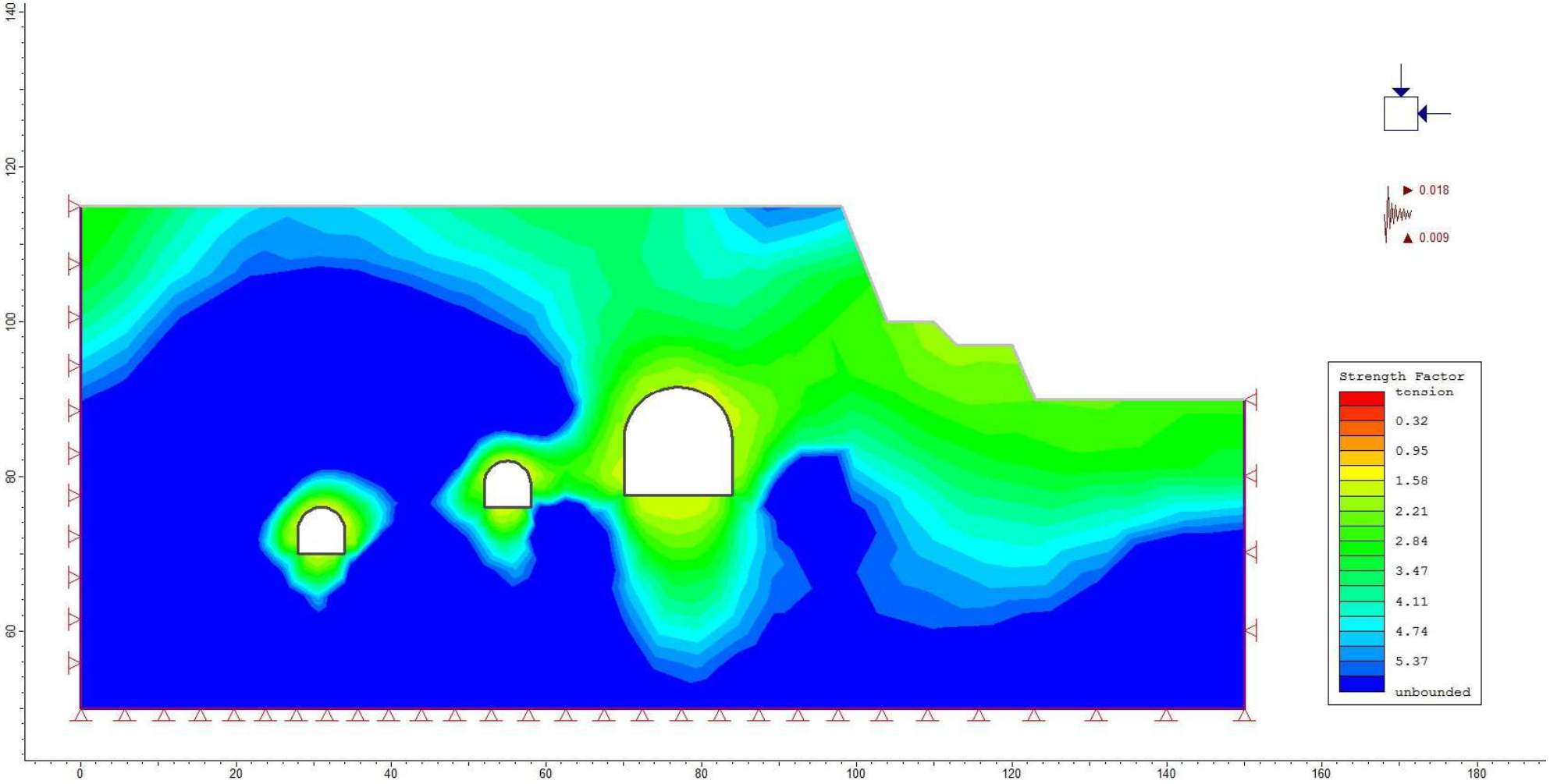


Fig. 24 – Sezione A-A'. Stage 2. Isolinee dello Strength factor.

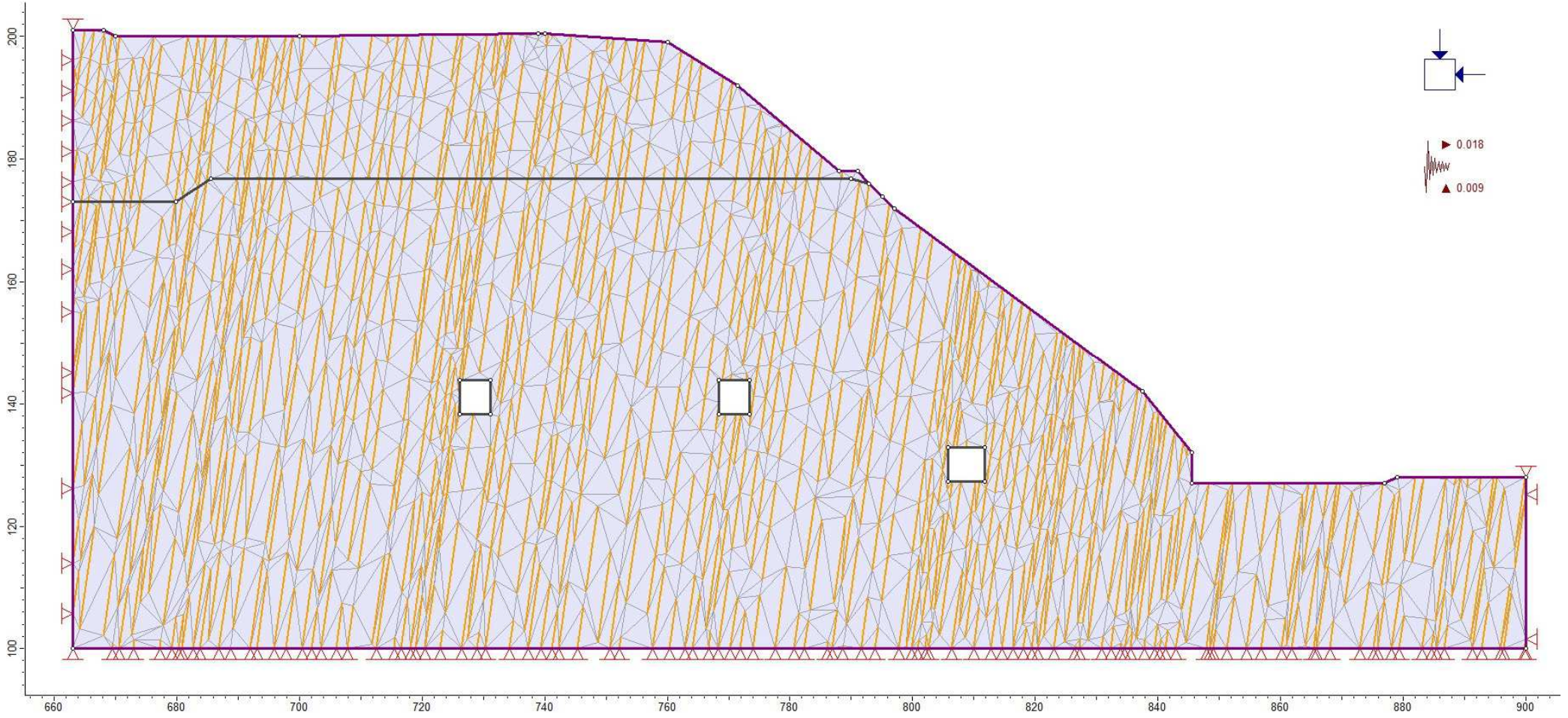


Fig. 25 – Sezione B – B'. Stage 1. Maglia di discretizzazione. Le linee color arancione rappresentano il sistema di discontinuità S. Scala in m, quote fittizie.

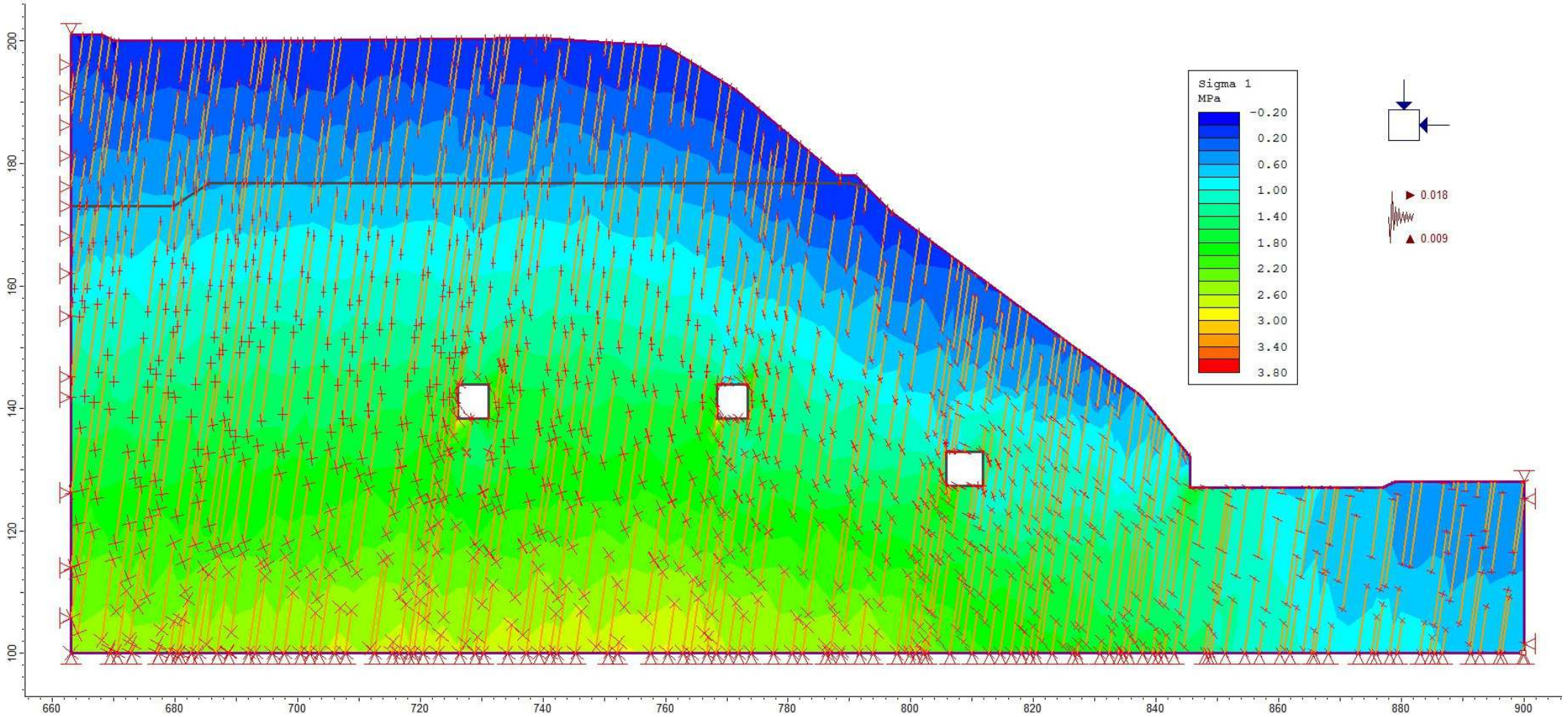


Fig. 26 – Sezione B – B'. Stage 1. Rappresentazione dei valori di σ1 mediante isolinee e delle traiettorie (simbolo a croce) della tensione principale σ1 (linea lunga) e della tensione minore σ3 (linea breve) nel piano 2D

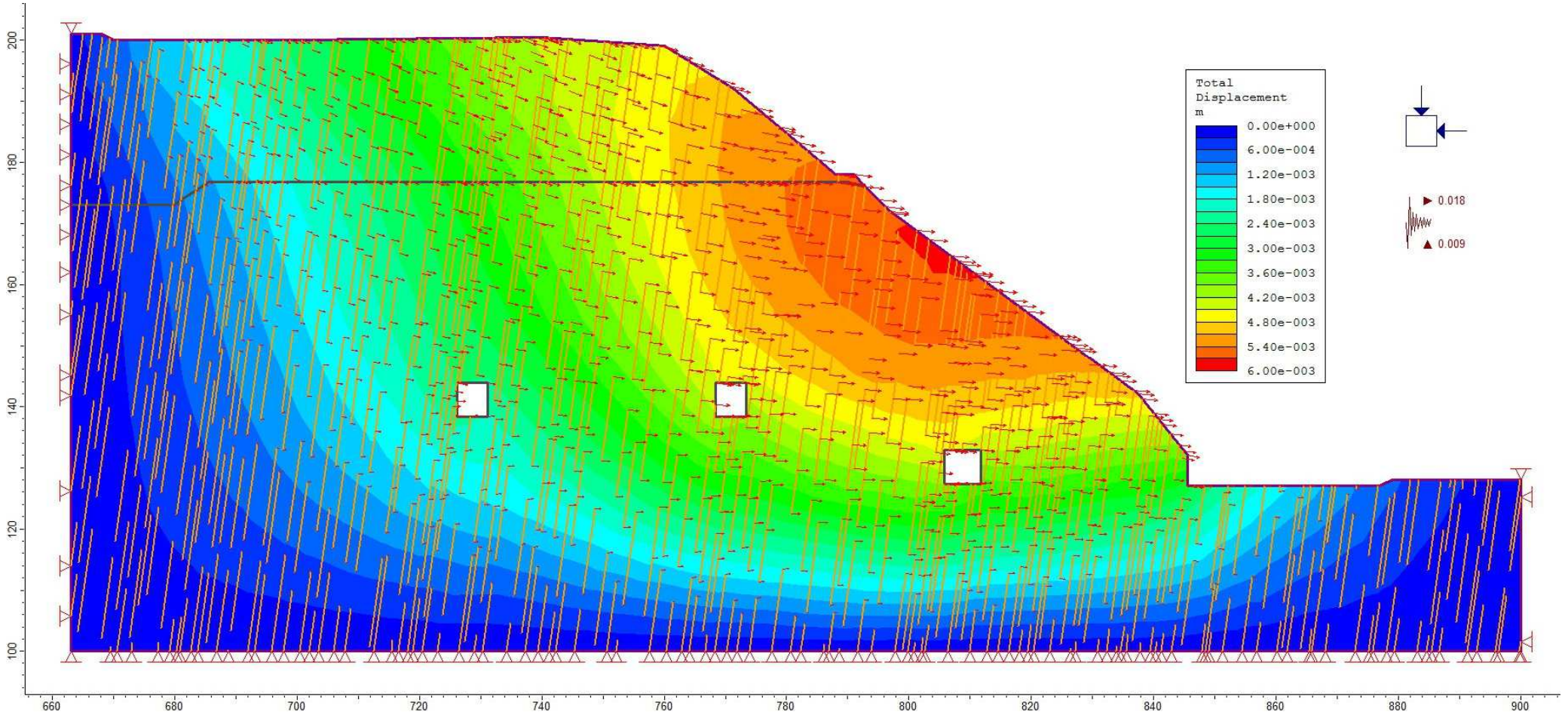


Fig. 27 – Sezione B – B'. Stage 1. Spostamento totale (isolinee) e sua direzione (frecce di colore rosso).

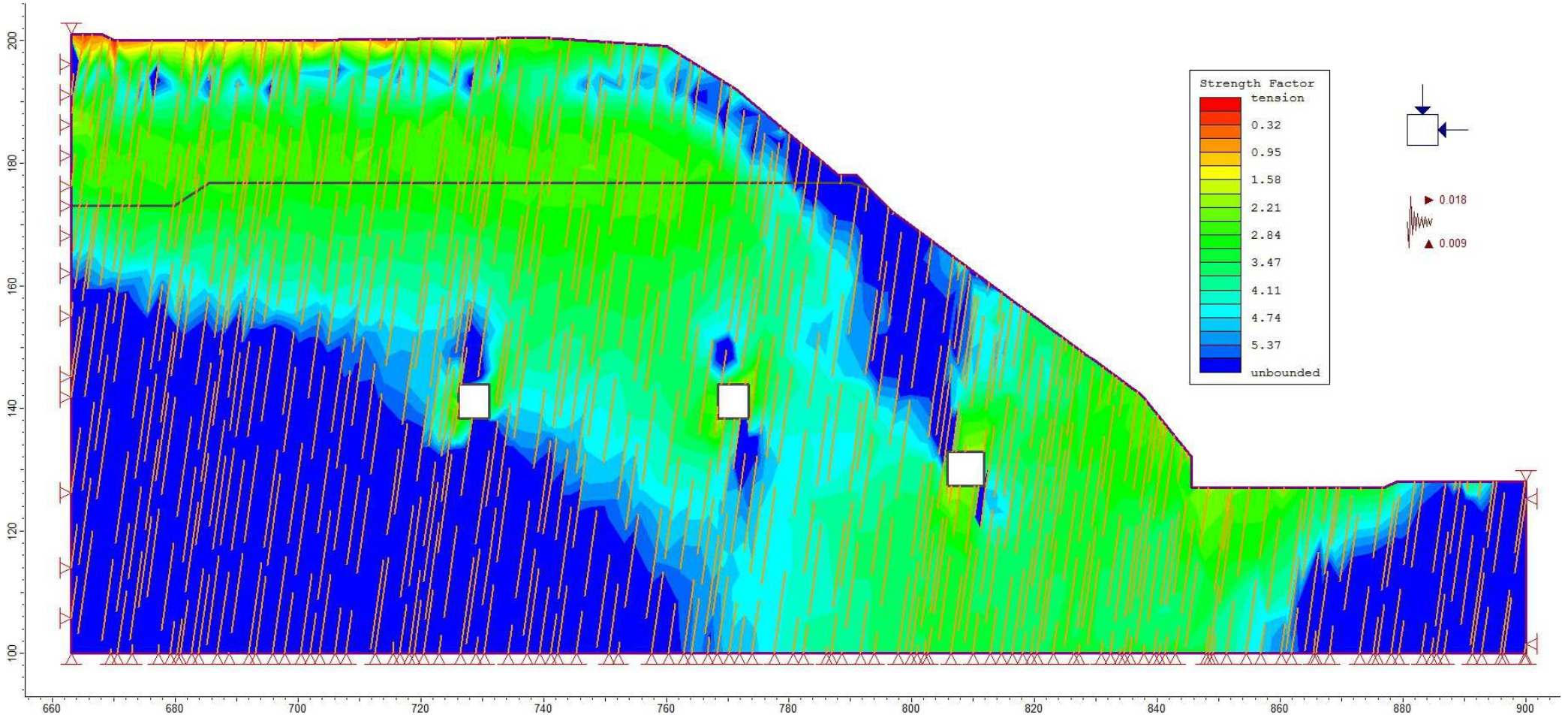


Fig. 28 – Sezione B – B'. Stage 1. Isolinee dello Strength factor.

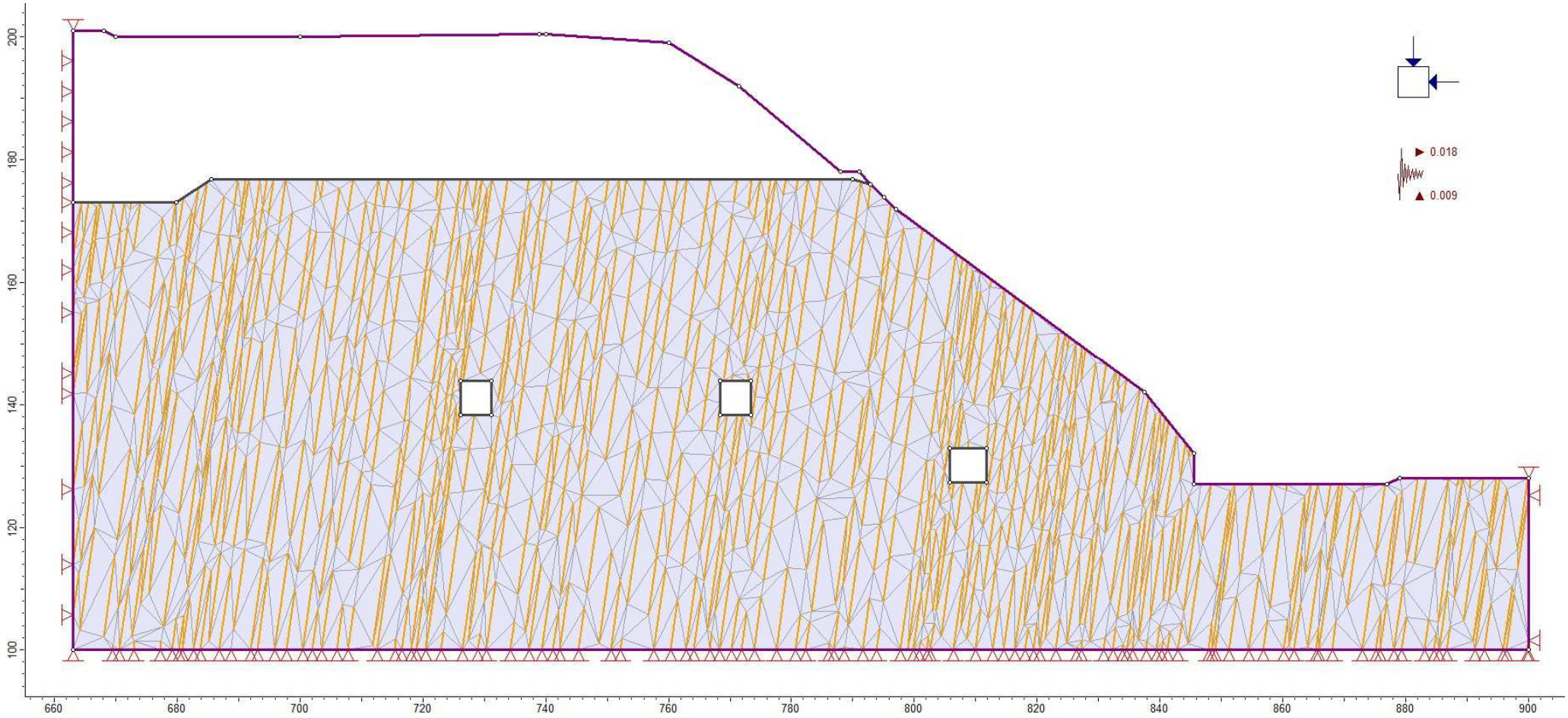


Fig. 29 – Sezione B – B'. Stage 2. Maglia di discretizzazione. Scala in m, quote fittizie.

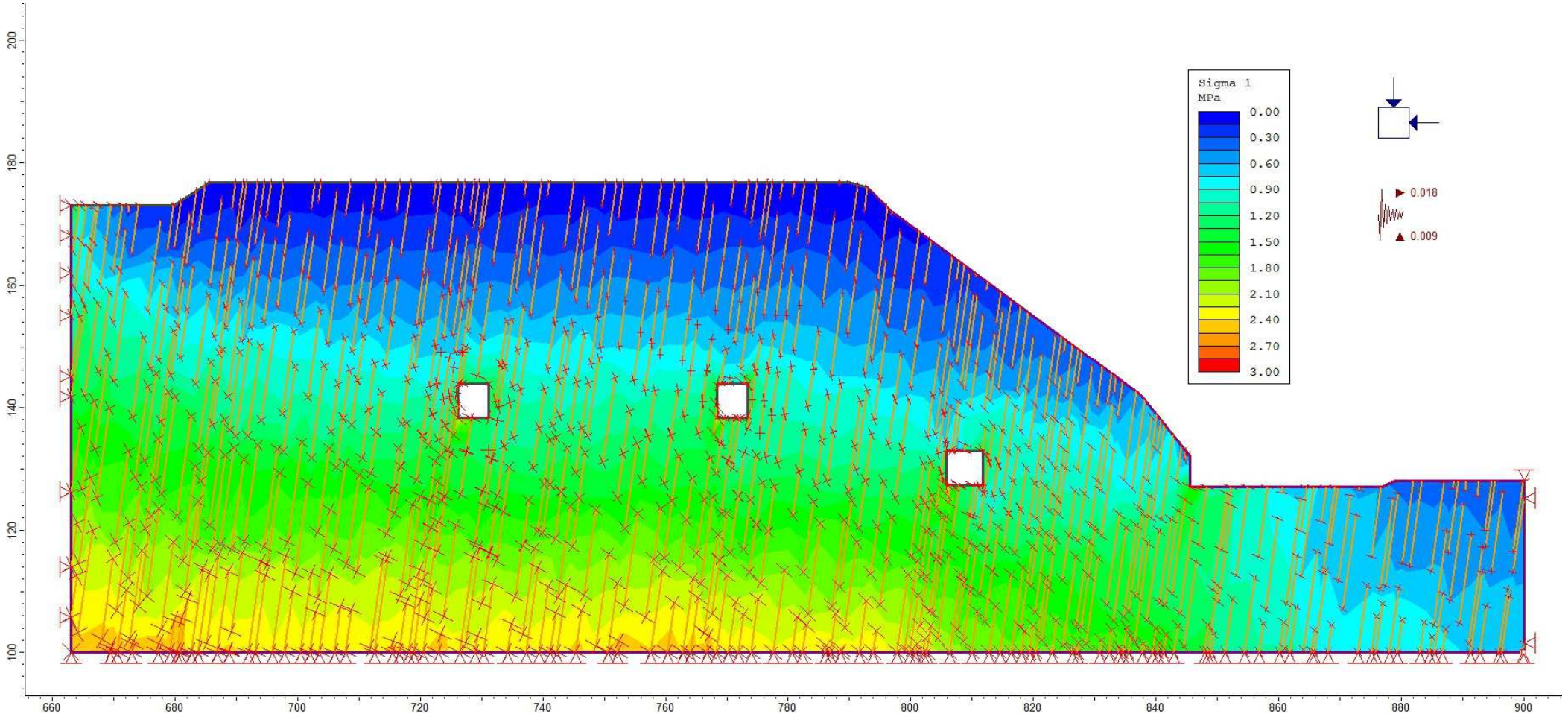


Fig. 30 – Sezione B – B'. Stage 2. Rappresentazione dei valori di σ1 mediante isolinee e delle traiettorie (simbolo a croce) della tensione principale σ1 (linea lunga) e della tensione minore σ3 (linea breve) nel piano 2D

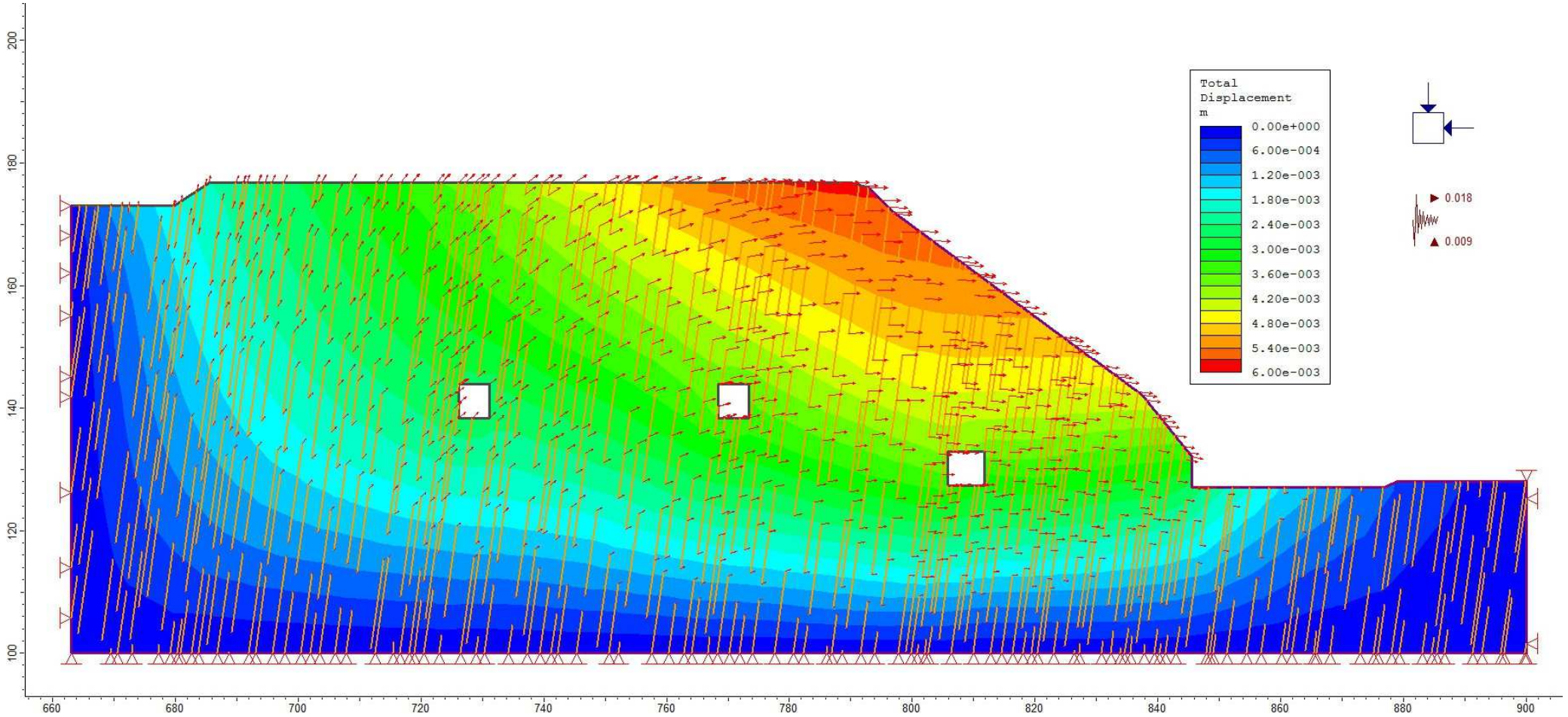


Fig. 31 – Sezione B – B'. Stage 2. Spostamento totale (isolinee) e sua direzione (frecce di colore rosso).

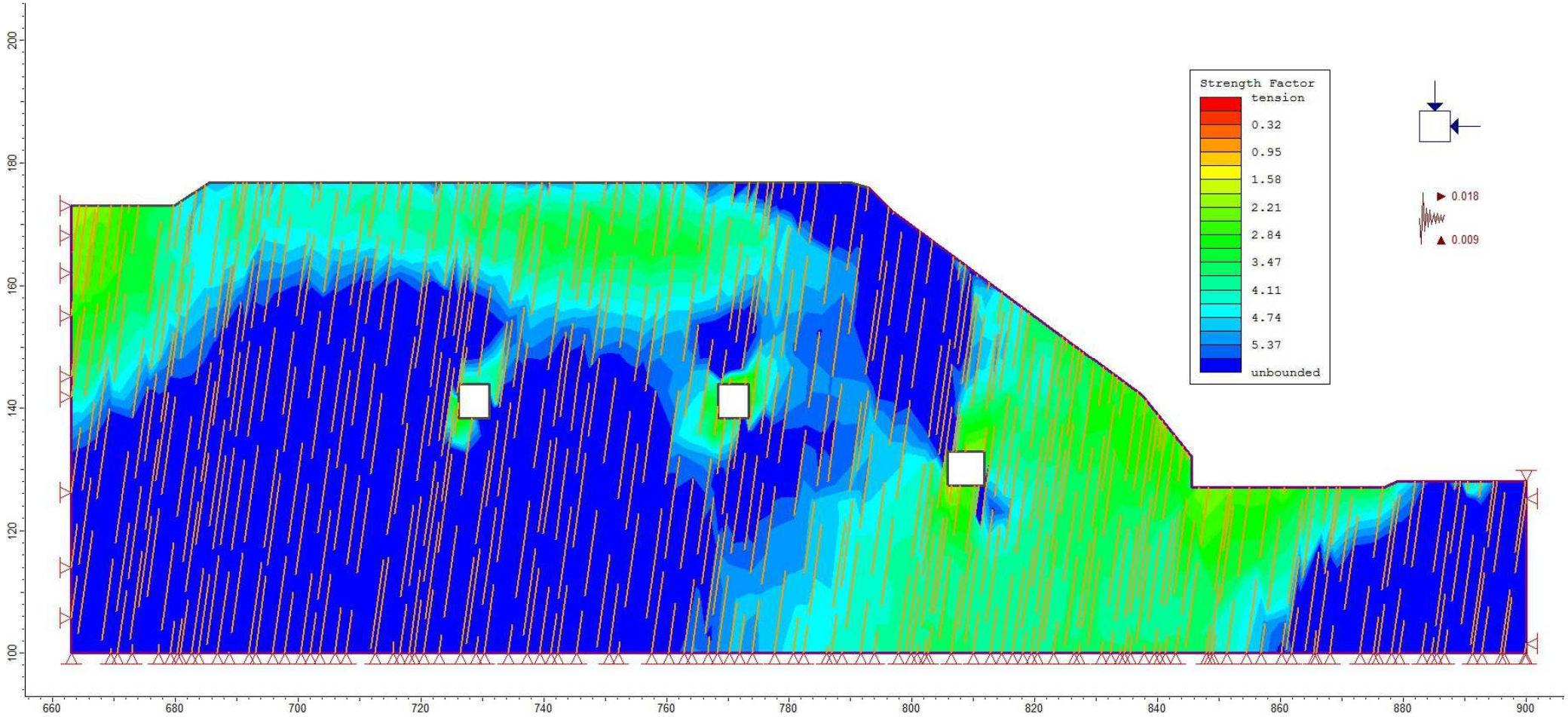
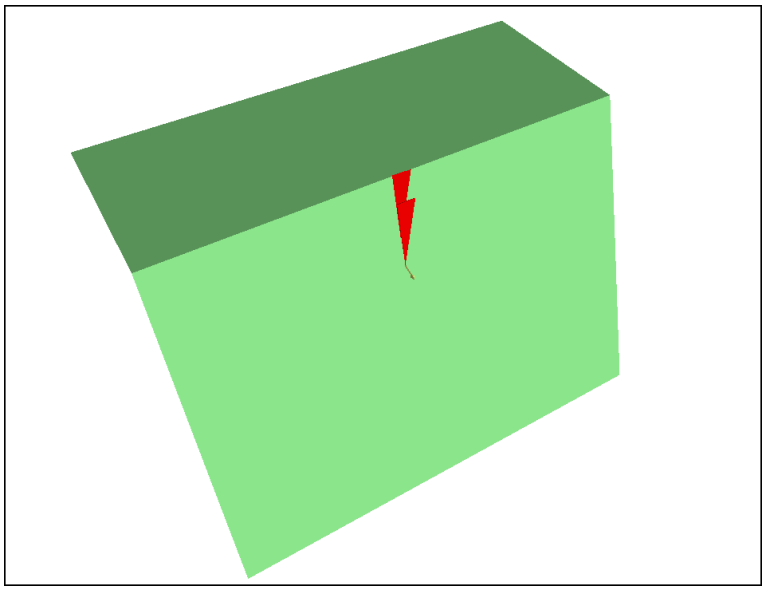


Fig. 32 – Sezione B – B'. Stage 2. Isolinee dello Strength factor.

ALLEGATI

Gradoni del fronte 20°
Cuneo S/K2



Swedge Analysis Information
Analysis Results:

- Analysis type: Deterministic
- Wedge is scaled, scale factor: 0.1765
- Safety Factor: 0.2830
- Wedge height (on slope) [m]: 2.65
- Bench width (on upper face) [m]: 0.05
- Wedge volume [m^3]: 0.019
- Wedge weight [tonnes]: 0.050
- Wedge area (joint1) [m^2]: 0.06
- Wedge area (joint2) [m^2]: 1.28
- Wedge area (slope) [m^2]: 1.27
- Wedge area (upper face) [m^2]: 0.02

Effective Normal and Strength Properties:

	Joint 1	Joint 2
Effective Normal force [tonnes]	0.00	0.02
Effective Normal stress [t/m^2]	0.00	0.01
Shear Strength [t/m^2]	0.00	0.01
Strength due to Waviness [t/m^2]	0.00	0.00

- Driving force [tonnes]: 0.05
- Resisting force [tonnes]: 0.01

Seismic Force:

- Seismic force [tonnes]: 0.00

Failure Mode:

- Sliding on joint2

Joint Sets 1&2 line of Intersection:

Plunge [deg]	Trend [deg]	Length [m]
68.95	27.14	2.84

Trace Lengths:

	Slope Face [m]	Upper Face [m]
Joint 1	2.82	0.05
Joint 2	3.00	0.91

Persistence:

- Joint 1 [m]: 2.84
- Joint 2 [m]: 3.00

Intersection Angles:

	Slope Face	Upper Face
Joint 1 & Joint 2	17.44	81.00
Joint 1 & Crest	92.67	96.00
Joint 2 & Crest	69.89	3.00

Dip and Dip Direction:

	Dip [deg]	Dip Direction [deg]
Joint Set 1	85.00	104.00
Joint Set 2	69.00	23.00
Slope	70.00	20.00
Upper Face	0.00	20.00

Joint Set 1 Data:

- Cohesion [t/m^2]: 0.00
- Friction Angle [deg]: 33.00

Joint Set 2 Data:

- Cohesion [t/m^2]: 0.00
- Friction Angle [deg]: 38.00

Slope Data:

- Slope height [m]: 15.00
- Rock unit weight [t/m^3]: 2.65
- Water pressures in the slope: NO
- Overhanging slope face: NO
- Externally applied force: NO
- Tension crack: NO

Seismic Data:

- Direction: line of intersection J1&J2 but horizontal
- Seismic coefficient: 0.019
- Trend [deg]: 27.14, Plunge [deg]: -0.00

Gradoni del fronte 20°
Cuneo S'/K2

Swedge Analysis Information
Analysis Results:

- Analysis type: Deterministic
- Wedge is scaled, scale factor: 0.1765
- Safety Factor: 0.4117
- Wedge height (on slope) [m]: 2.65
- Bench width (on upper face) [m]: 0.07
- Wedge volume [m^3]: 0.047
- Wedge weight [tonnes]: 0.124
- Wedge area (joint1) [m^2]: 0.10
- Wedge area (joint2) [m^2]: 2.02
- Wedge area (slope) [m^2]: 2.00
- Wedge area (upper face) [m^2]: 0.05

Effective Normal and Strength Properties:

	Joint 1	Joint 2
Effective Normal force [tonnes]	0.02	0.04
Effective Normal stress [t/m^2]	0.17	0.02
Shear Strength [t/m^2]	0.11	0.02
Strength due to Waviness [t/m^2]	0.03	0.00

- Driving force [tonnes]: 0.12
- Resisting force [tonnes]: 0.05

Seismic Force:

- Seismic force [tonnes]: 0.00

Failure Mode:

- Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:

Plunge [deg]	Trend [deg]	Length [m]
67.27	359.40	2.87

Trace Lengths:

	Slope Face [m]	Upper Face [m]
Joint 1	2.84	0.07
Joint 2	3.00	1.42

Persistence:

- Joint 1 [m]: 2.87
- Joint 2 [m]: 3.00

Intersection Angles:

	Slope Face	Upper Face
Joint 1 & Joint 2	27.97	86.00
Joint 1 & Crest	82.14	91.00
Joint 2 & Crest	69.89	3.00

Dip and Dip Direction:

	Dip [deg]	Dip Direction [deg]
Joint Set 1	82.00	289.00
Joint Set 2	69.00	23.00
Slope	70.00	20.00
Upper Face	0.00	20.00

Joint Set 1 Data:

- Cohesion [t/m^2]: 0.00
- Friction Angle [deg]: 33.00

Joint Set 2 Data:

- Cohesion [t/m^2]: 0.00
- Friction Angle [deg]: 38.00

Slope Data:

- Slope height [m]: 15.00
- Rock unit weight [t/m^3]: 2.65
- Water pressures in the slope: NO
- Overhanging slope face: NO
- Externally applied force: NO
- Tension crack: NO

Seismic Data:

- Direction: line of intersection J1&J2 but horizontal
- Seismic coefficient: 0.019
- Trend [deg]: 359.40, Plunge [deg]: -0.00

Gradoni del fronte 35°
Cuneo K2/K3

Swedge Analysis Information
Analysis Results:

- Analysis type: Deterministic
- Wedge is scaled, scale factor: 0.1600
- Safety Factor: 2.2985
- Wedge height (on slope) [m]: 2.40
- Bench width (on upper face) [m]: 0.35
- Wedge volume [m^3]: 0.151
- Wedge weight [tonnes]: 0.401
- Wedge area (joint1) [m^2]: 2.16
- Wedge area (joint2) [m^2]: 0.80
- Wedge area (slope) [m^2]: 1.38
- Wedge area (upper face) [m^2]: 0.19

Effective Normal and Strength Properties:

	Joint 1	Joint 2
Effective Normal force [tonnes]	0.58	0.48
Effective Normal stress [t/m^2]	0.27	0.60
Shear Strength [t/m^2]	0.21	0.37
Strength due to Waviness [t/m^2]	0.00	0.00

- Driving force [tonnes]: 0.33
- Resisting force [tonnes]: 0.75

Seismic Force:

- Seismic force [tonnes]: 0.01

Failure Mode:

- Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:

Plunge [deg]	Trend [deg]	Length [m]
53.15	82.19	3.00

Trace Lengths:

	Slope Face [m]	Upper Face [m]
Joint 1	2.57	1.68
Joint 2	2.67	0.66

Persistence:

- Joint 1 [m]: 3.00
- Joint 2 [m]: 3.00

Intersection Angles:

	Slope Face	Upper Face
Joint 1 & Joint 2	23.77	20.00
Joint 1 & Crest	82.83	12.00
Joint 2 & Crest	73.40	148.00

Dip and Dip Direction:

	Dip [deg]	Dip Direction [deg]
Joint Set 1	69.00	23.00
Joint Set 2	82.00	3.00
Slope	70.00	35.00
Upper Face	0.00	35.00

Joint Set 1 Data:

- Cohesion [t/m^2]: 0.00
- Friction Angle [deg]: 38.00

Joint Set 2 Data:

- Cohesion [t/m^2]: 0.00
- Friction Angle [deg]: 32.00

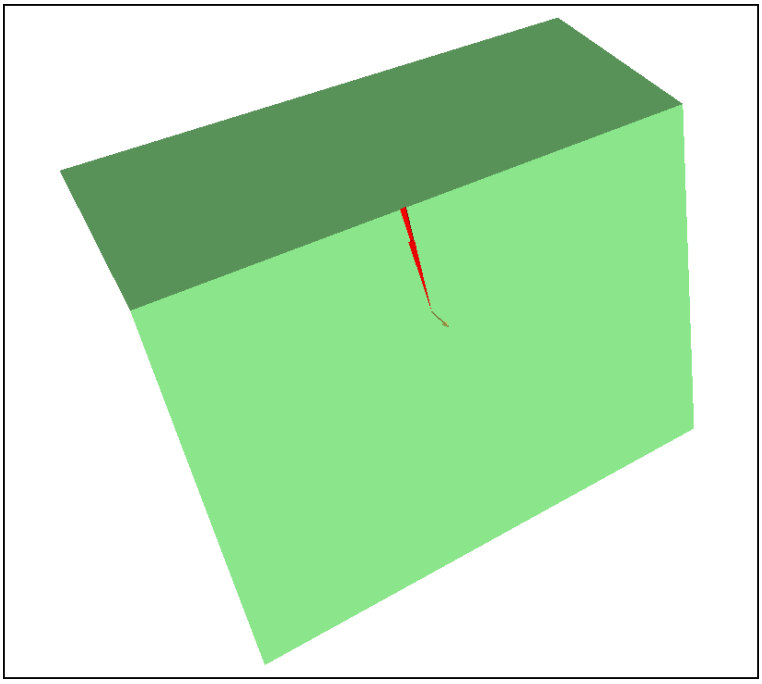
Slope Data:

- Slope height [m]: 15.00
- Rock unit weight [t/m^3]: 2.65
- Water pressures in the slope: NO
- Overhanging slope face: NO
- Externally applied force: NO
- Tension crack: NO

Seismic Data:

- Direction: line of intersection J1&J2 but horizontal
- Seismic coefficient: 0.019
- Trend [deg]: 82.19, Plunge [deg]: -0.00

Gradoni del fronte 35°
Cuneo S/K2



Swedge Analysis Information
Analysis Results:

- Analysis type: Deterministic
- Wedge is scaled, scale factor: 0.1865
- Safety Factor: 0.3002
- Wedge height (on slope) [m]: 2.80
- Bench width (on upper face) [m]: 0.05
- Wedge volume [m^3]: 0.006
- Wedge weight [tonnes]: 0.015
- Wedge area (joint1) [m^2]: 0.07
- Wedge area (joint2) [m^2]: 0.35
- Wedge area (slope) [m^2]: 0.37
- Wedge area (upper face) [m^2]: 0.01

Effective Normal and Strength Properties:

	Joint 1	Joint 2
Effective Normal force [tonnes]	0.00	0.00
Effective Normal stress [t/m^2]	0.00	0.01
Shear Strength [t/m^2]	0.00	0.01
Strength due to Waviness [t/m^2]	0.00	0.00

- Driving force [tonnes]: 0.01
- Resisting force [tonnes]: 0.00

Seismic Force:

- Seismic force [tonnes]: 0.00

Failure Mode:

- Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:

Plunge [deg]	Trend [deg]	Length [m]
68.95	27.14	3.00

Trace Lengths:

	Slope Face [m]	Upper Face [m]
Joint 1	2.98	0.05
Joint 2	3.00	0.23

Persistence:

- Joint 1 [m]: 3.00
- Joint 2 [m]: 3.00

Intersection Angles:

	Slope Face	Upper Face
Joint 1 & Joint 2	4.70	99.00
Joint 1 & Crest	92.48	69.00
Joint 2 & Crest	82.83	12.00

Dip and Dip Direction:

	Dip [deg]	Dip Direction [deg]
Joint Set 1	85.00	104.00
Joint Set 2	69.00	23.00
Slope	70.00	35.00
Upper Face	0.00	35.00

Joint Set 1 Data:

- Cohesion [t/m^2]: 0.00
- Friction Angle [deg]: 33.00

Joint Set 2 Data:

- Cohesion [t/m^2]: 0.00

- Friction Angle [deg]: 38.00

Slope Data:

- Slope height [m]: 15.00
- Rock unit weight [t/m^3]: 2.65
- Water pressures in the slope: NO
- Overhanging slope face: NO
- Externally applied force: NO
- Tension crack: NO

Seismic Data:

- Direction: line of intersection J1&J2 but horizontal
- Seismic coefficient: 0.019
- Trend [deg]: 27.14, Plunge [deg]: -0.00

Gradoni del fronte 65°
Cuneo K2/K3

Swedge Analysis Information
Analysis Results:

- Analysis type: Deterministic
- Wedge is scaled, scale factor: 0.1600
- Safety Factor: 2.2985
- Wedge height (on slope) [m]: 2.40
- Bench width (on upper face) [m]: 0.85
- Wedge volume [m^3]: 0.165
- Wedge weight [tonnes]: 0.438
- Wedge area (joint1) [m^2]: 1.62
- Wedge area (joint2) [m^2]: 1.16
- Wedge area (slope) [m^2]: 0.62
- Wedge area (upper face) [m^2]: 0.21

Effective Normal and Strength Properties:

	Joint 1	Joint 2
Effective Normal force [tonnes]	0.63	0.52
Effective Normal stress [t/m^2]	0.39	0.45
Shear Strength [t/m^2]	0.30	0.28
Strength due to Waviness [t/m^2]	0.00	0.00

- Driving force [tonnes]: 0.36
- Resisting force [tonnes]: 0.82

Seismic Force:

- Seismic force [tonnes]: 0.01

Failure Mode:

- Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:

Plunge [deg]	Trend [deg]	Length [m]
53.15	82.19	3.00

Trace Lengths:

	Slope Face [m]	Upper Face [m]
Joint 1	2.59	1.26
Joint 2	2.56	0.96

Persistence:

- Joint 1 [m]: 3.00
- Joint 2 [m]: 3.00

Intersection Angles:

	Slope Face	Upper Face
Joint 1 & Joint 2	10.90	20.00
Joint 1 & Crest	80.95	42.00
Joint 2 & Crest	88.15	118.00

Dip and Dip Direction:

	Dip [deg]	Dip Direction [deg]
Joint Set 1	69.00	23.00
Joint Set 2	82.00	3.00
Slope	70.00	65.00
Upper Face	0.00	65.00

Joint Set 1 Data:

- Cohesion [t/m^2]: 0.00
- Friction Angle [deg]: 38.00

Joint Set 2 Data:

- Cohesion [t/m^2]: 0.00
- Friction Angle [deg]: 32.00

Slope Data:

- Slope height [m]: 15.00
- Rock unit weight [t/m^3]: 2.65
- Water pressures in the slope: NO
- Overhanging slope face: NO
- Externally applied force: NO
- Tension crack: NO

Seismic Data:

- Direction: line of intersection J1&J2 but horizontal
- Seismic coefficient: 0.019
- Trend [deg]: 82.19, Plunge [deg]: -0.00

Gradoni del fronte 115°
Cuneo K2/K3

Swedge Analysis Information
Analysis Results:

- Analysis type: Deterministic
- Wedge is scaled, scale factor: 0.1600
- Safety Factor: 2.2985
- Wedge height (on slope) [m]: 2.40
- Bench width (on upper face) [m]: 0.64
- Wedge volume [m^3]: 0.060
- Wedge weight [tonnes]: 0.160
- Wedge area (joint1) [m^2]: 0.82
- Wedge area (joint2) [m^2]: 0.83
- Wedge area (slope) [m^2]: 0.30
- Wedge area (upper face) [m^2]: 0.08

Effective Normal and Strength Properties:

	Joint 1	Joint 2
Effective Normal force [tonnes]	0.23	0.19
Effective Normal stress [t/m^2]	0.28	0.23
Shear Strength [t/m^2]	0.22	0.14
Strength due to Waviness [t/m^2]	0.00	0.00

- Driving force [tonnes]: 0.13
- Resisting force [tonnes]: 0.30

Seismic Force:

- Seismic force [tonnes]: 0.00

Failure Mode:

- Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:

Plunge [deg]	Trend [deg]	Length [m]
53.15	82.19	3.00

Trace Lengths:

	Slope Face [m]	Upper Face [m]
Joint 1	2.73	0.64
Joint 2	2.65	0.69

Persistence:

- Joint 1 [m]: 3.00
- Joint 2 [m]: 3.00

Intersection Angles:

	Slope Face	Upper Face
Joint 1 & Joint 2	4.77	20.00
Joint 1 & Crest	69.55	92.00
Joint 2 & Crest	105.68	68.00

Dip and Dip Direction:

	Dip [deg]	Dip Direction [deg]
Joint Set 1	69.00	23.00
Joint Set 2	82.00	3.00
Slope	70.00	115.00
Upper Face	0.00	115.00

Joint Set 1 Data:

- Cohesion [t/m^2]: 0.00
- Friction Angle [deg]: 38.00

Joint Set 2 Data:

- Cohesion [t/m^2]: 0.00
- Friction Angle [deg]: 32.00

Slope Data:

- Slope height [m]: 15.00
- Rock unit weight [t/m^3]: 2.65
- Water pressures in the slope: NO
- Overhanging slope face: NO
- Externally applied force: NO
- Tension crack: NO

Seismic Data:

- Direction: line of intersection J1&J2 but horizontal
- Seismic coefficient: 0.019
- Trend [deg]: 82.19, Plunge [deg]: -0.00

Gradoni del fronte 115°
Cuneo F2/K3

Swedge Analysis Information
Analysis Results:

- Analysis type: Deterministic
- Wedge is scaled, scale factor: 0.5289
- Safety Factor: 1.0398
- Wedge height (on slope) [m]: 7.93
- Bench width (on upper face) [m]: 2.24
- Wedge volume [m^3]: 4.977
- Wedge weight [tonnes]: 13.189
- Wedge area (joint1) [m^2]: 10.98
- Wedge area (joint2) [m^2]: 9.69
- Wedge area (slope) [m^2]: 7.09
- Wedge area (upper face) [m^2]: 1.88

Effective Normal and Strength Properties:

	Joint 1	Joint 2
Effective Normal force [tonnes]	10.86	5.94
Effective Normal stress [t/m^2]	0.99	0.61
Shear Strength [t/m^2]	0.67	0.38
Strength due to Waviness [t/m^2]	0.00	0.00

- Driving force [tonnes]: 10.62
- Resisting force [tonnes]: 11.04

Seismic Force:

- Seismic force [tonnes]: 0.25

Failure Mode:

- Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:

Plunge [deg]	Trend [deg]	Length [m]
52.51	82.44	10.00

Trace Lengths:

	Slope Face [m]	Upper Face [m]
Joint 1	9.36	2.37
Joint 2	8.77	2.42

Persistence:

- Joint 1 [m]: 10.00
- Joint 2 [m]: 10.00

Intersection Angles:

	Slope Face	Upper Face
Joint 1 & Joint 2	9.94	41.00
Joint 1 & Crest	64.39	71.00
Joint 2 & Crest	105.68	68.00

Dip and Dip Direction:

	Dip [deg]	Dip Direction [deg]
Joint Set 1	59.00	44.00
Joint Set 2	82.00	3.00
Slope	70.00	115.00
Upper Face	0.00	115.00

Joint Set 1 Data:

- Cohesion [t/m^2]: 0.00
- Friction Angle [deg]: 34.00

Joint Set 2 Data:

- Cohesion [t/m^2]: 0.00
- Friction Angle [deg]: 32.00

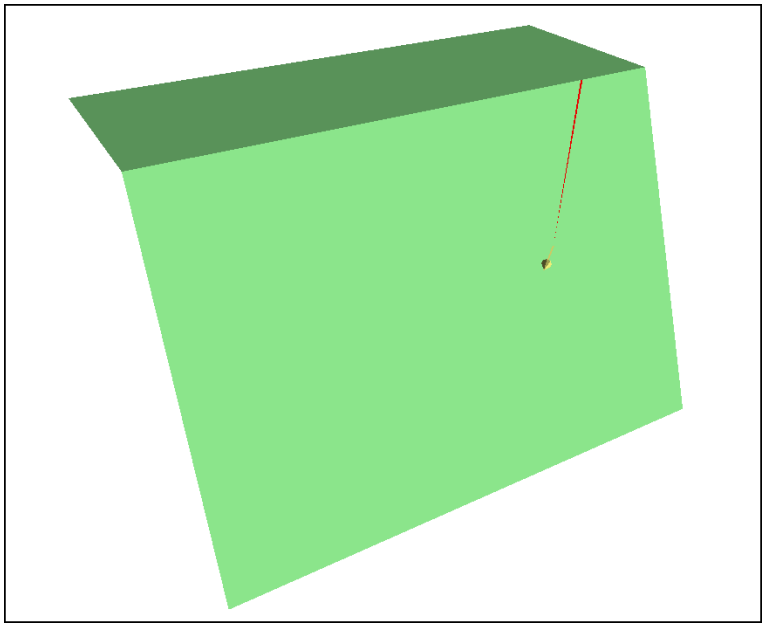
Slope Data:

- Slope height [m]: 15.00
- Rock unit weight [t/m^3]: 2.65
- Water pressures in the slope: NO
- Overhanging slope face: NO
- Externally applied force: NO
- Tension crack: NO

Seismic Data:

- Direction: line of intersection J1&J2 but horizontal
- Seismic coefficient: 0.019
- Trend [deg]: 82.44, Plunge [deg]: -0.00

Gradoni del fronte 165°
Cuneo S/K1



Swedge Analysis Information
Analysis Results:

- Analysis type: Deterministic
- Wedge is scaled, scale factor: 0.1759
- Safety Factor: 0.3605
- Wedge height (on slope) [m]: 2.64
- Bench width (on upper face) [m]: 0.38
- Wedge volume [m^3]: 0.147
- Wedge weight [tonnes]: 0.390
- Wedge area (joint1) [m^2]: 0.58
- Wedge area (joint2) [m^2]: 1.14
- Wedge area (slope) [m^2]: 1.23
- Wedge area (upper face) [m^2]: 0.17

Effective Normal and Strength Properties:

	Joint 1	**Joint 2**
Effective Normal force [tonnes]	0.03	0.18
Effective Normal stress [t/m^2]	0.05	0.15
Shear Strength [t/m^2]	0.03	0.09
Strength due to Waviness [t/m^2]	0.01	0.00

- Driving force [tonnes]: 0.35

- Resisting force [tonnes]: 0.12

Seismic Force:

- Seismic force [tonnes]: 0.01

Failure Mode:

- Sliding on intersection line (joints 1&2)

Joint Sets 1&2 line of Intersection:

Plunge [deg]	Trend [deg]	Length [m]
61.61	184.68	3.00

Trace Lengths:

	Slope Face [m]	Upper Face [m]
Joint 1	2.82	0.44
Joint 2	3.03	0.76

Persistence:

- Joint 1 [m]: 3.00
- Joint 2 [m]: 3.03

Intersection Angles:

	Slope Face	Upper Face
Joint 1 & Joint 2	16.68	89.00
Joint 1 & Crest	95.46	61.00
Joint 2 & Crest	67.86	30.00

Dip and Dip Direction:

	Dip [deg]	Dip Direction [deg]
Joint Set 1	85.00	104.00
Joint Set 2	62.00	195.00
Slope	70.00	165.00
Upper Face	0.00	165.00

Joint Set 1 Data:

- Cohesion [t/m^2]: 0.00
- Friction Angle [deg]: 33.00

Joint Set 2 Data:

- Cohesion [t/m^2]: 0.00
- Friction Angle [deg]: 30.00

Slope Data:

- Slope height [m]: 15.00
- Rock unit weight [t/m^3]: 2.65
- Water pressures in the slope: NO
- Overhanging slope face: NO
- Externally applied force: NO
- Tension crack: NO

Seismic Data:

- Direction: line of intersection J1&J2 but horizontal
- Seismic coefficient: 0.019
- Trend [deg]: 184.68, Plunge [deg]: -0.00

Gradoni del fronte 165°
Cuneo S'/K1

Swedge Analysis Information
Analysis Results:

- Analysis type: Deterministic
- Wedge is scaled, scale factor: 0.2907
- Safety Factor: 0.2938
- Wedge height (on slope) [m]: 4.36
- Bench width (on upper face) [m]: 0.03
- Wedge volume [m^3]: 0.002
- Wedge weight [tonnes]: 0.005
- Wedge area (joint1) [m^2]: 0.09
- Wedge area (joint2) [m^2]: 0.16
- Wedge area (slope) [m^2]: 0.18
- Wedge area (upper face) [m^2]: 0.00

Effective Normal and Strength Properties:

	Joint 1	Joint 2
Effective Normal force [tonnes]	0.00	0.00
Effective Normal stress [t/m^2]	0.00	0.01
Shear Strength [t/m^2]	0.00	0.01
Strength due to Waviness [t/m^2]	0.00	0.00

- Driving force [tonnes]: 0.00
- Resisting force [tonnes]: 0.00

Seismic Force:

- Seismic force [tonnes]: 0.00

Failure Mode:

- Sliding on joint2

Joint Sets 1&2 line of Intersection:

Plunge [deg]	Trend [deg]	Length [m]
60.72	213.52	5.00

Trace Lengths:

	Slope Face [m]	Upper Face [m]
Joint 1	4.98	0.04
Joint 2	5.01	0.07

Persistence:

- Joint 1 [m]: 5.00
- Joint 2 [m]: 5.01

Intersection Angles:

	Slope Face	Upper Face
Joint 1 & Joint 2	0.84	94.00
Joint 1 & Crest	111.31	56.00
Joint 2 & Crest	67.86	30.00

Dip and Dip Direction:

	Dip [deg]	Dip Direction [deg]
Joint Set 1	82.00	289.00
Joint Set 2	62.00	195.00
Slope	70.00	165.00
Upper Face	0.00	165.00

Joint Set 1 Data:

- Cohesion [t/m^2]: 0.00
- Friction Angle [deg]: 33.00

Joint Set 2 Data:

- Cohesion [t/m^2]: 0.00
- Friction Angle [deg]: 30.00

Slope Data:

- Slope height [m]: 15.00
- Rock unit weight [t/m^3]: 2.65
- Water pressures in the slope: NO
- Overhanging slope face: NO
- Externally applied force: NO
- Tension crack: NO

Seismic Data:

- Direction: line of intersection J1&J2 but horizontal
- Seismic coefficient: 0.019
- Trend [deg]: 213.52, Plunge [deg]: -0.00

ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI
SEZIONE D – D'
Phase2 Analysis Information

General Settings

- Number of Stages: 2
- Analysis Type: Plane Strain
- Solver Type: Gaussian Elimination
- Units: Metric, stress as MPa

Analysis Options

- Maximum Number of Iterations: 500
- Tolerance: 0.001
- Number of Load Steps: Automatic
- Convergence Type: Absolute Energy
- Tensile Failure: Reduces Shear Strength
- Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01

Strength Reduction Settings

- Inital Estimate of SRF: 1
- Step Size: Automatic
- Tolerance (SRF): 0.01
- Limit SSR Search Area: No
- Apply SSR to Mohr-Coulomb Tensile Strength: Yes
- Convergence Parameters: Automatic

Groundwater Analysis

- Method: Piezometric Lines
- Pore Fluid Unit Weight: 0.00981 MN/m3
- Probability: None

Field Stress

- Field stress: gravity
- Using actual ground surface
- Total stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 1
- Total stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 1

- Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
- Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Seismic Loading

- Horizontal seismic load coefficient: 0.018 (positive to the right)
- Vertical seismic load coefficient: 0.009 (positive up)
- Seismic load applied in: Stage 2

Mesh

- Mesh type: uniform
- Element type: 6 noded triangles
- Number of elements on Stage 1: 28648
- Number of nodes on Stage 1: 54684
- Number of elements on Stage 2: 24022
- Number of nodes on Stage 2: 46039

Mesh Quality

- 47 of 21146 Elements (0.2 % of elements) are poor quality elements
- 2 of 21146 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because of the side length ratio
- 47 of 21146 Elements (0.2 % of elements) are poor quality elements because of the minimum interior angle
- 1 of 21146 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because of the maximum interior angle
- 0 of 21146 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because they are inverted
- Note: Elements can be of poor quality for more than one reason

Poor quality elements defined as:

- Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00
- Minimum interior angle < 2.0 degrees
- Maximum interior angle > 175.0 degrees

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

- Excavation Area: 159608.582 m2

- Excavation Perimeter: 2064.442 m
- External Boundary Area: 159608.582 m2
- External Boundary Perimeter: 2064.442 m

Stage 1

- Values not available until this stage is viewed in a window

Stage 2

- Values not available until this stage is viewed in a window

Material Properties

Material: Dolomia

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	0.0265 MN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	10025 MPa
Poisson's ratio	0.3
Failure criterion	Mohr-Coulomb
Peak tensile strength	0.35 MPa
Residual tensile strength	0.15 MPa
Peak friction angle	46 degrees
Peak cohesion	1.1 MPa
Material type	Plastic
Dilation Angle	30 degrees
Residual Friction Angle	35 degrees
Residual Cohesion	0.7 MPa
Piezo to use	None
Ru value	0

Shear Strength Reduction - Material Properties

- Strength Reduction Factor: 1
- Maximum Total Displacement: 0.0215389 m
- Converged: yes

Material	Dolomia
Peak friction angle	46 degrees
Peak cohesion	1.1 MPa
Residual Friction Angle	35 degrees
Residual Cohesion	0.7 MPa

- Strength Reduction Factor: 1.2
- Maximum Total Displacement: 0.0325673 m
- Converged: yes

Material	Dolomia
Peak friction angle	40.7923 degrees
Peak cohesion	0.916667 MPa
Residual Friction Angle	30.2638 degrees
Residual Cohesion	0.583333 MPa

- Strength Reduction Factor: 1.4
- Maximum Total Displacement: 0.051594 m
- Converged: yes

Material	Dolomia
Peak friction angle	36.489 degrees
Peak cohesion	0.785714 MPa
Residual Friction Angle	26.5718 degrees
Residual Cohesion	0.5 MPa

- Strength Reduction Factor: 1.6
- Maximum Total Displacement: 0.0835048 m
- Converged: yes

Material	Dolomia
Peak friction angle	32.9112 degrees
Peak cohesion	0.6875 MPa
Residual Friction Angle	23.6356 degrees
Residual Cohesion	0.4375 MPa

- Strength Reduction Factor: 1.7

- Maximum Total Displacement: 0.116938 m
- Converged: yes

Material	Dolomia
Peak friction angle	31.3471 degrees
Peak cohesion	0.647059 MPa
Residual Friction Angle	22.3861 degrees
Residual Cohesion	0.411765 MPa

- Strength Reduction Factor: 1.71
- Maximum Total Displacement: 0.123386 m
- Converged: yes

Material	Dolomia
Peak friction angle	31.198 degrees
Peak cohesion	0.643275 MPa
Residual Friction Angle	22.268 degrees
Residual Cohesion	0.409357 MPa

- Critical Strength Reduction Factor: 1.72
- Maximum Total Displacement: 0.123588 m
- Converged: yes

Material	Dolomia
Peak friction angle	31.0501 degrees
Peak cohesion	0.639535 MPa
Residual Friction Angle	22.1511 degrees
Residual Cohesion	0.406977 MPa

- Strength Reduction Factor: 1.73
- Maximum Total Displacement: 0.165714 m
- Converged: no

Material	Dolomia
Peak friction angle	30.9036 degrees
Peak cohesion	0.635838 MPa
Residual Friction Angle	22.0354 degrees
Residual Cohesion	0.404624 MPa

- Strength Reduction Factor: 1.75

- Maximum Total Displacement: 0.178256 m
- Converged: no

Material	Dolomia
Peak friction angle	30.6141 degrees
Peak cohesion	0.628571 MPa
Residual Friction Angle	21.8073 degrees
Residual Cohesion	0.4 MPa

- Strength Reduction Factor: 1.8
- Maximum Total Displacement: 0.315161 m
- Converged: no

Material	Dolomia
Peak friction angle	29.9116 degrees
Peak cohesion	0.611111 MPa
Residual Friction Angle	21.2562 degrees
Residual Cohesion	0.388889 MPa

- Strength Reduction Factor: 2.2
- Maximum Total Displacement: 2.5902 m
- Converged: no

Material	Dolomia
Peak friction angle	25.2062 degrees
Peak cohesion	0.5 MPa
Residual Friction Angle	17.655 degrees
Residual Cohesion	0.318182 MPa

Joint Properties

Joint: Joint 1

Color	
Normal stiffness	42000 MPa/m
Shear stiffness	10000 MPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater	Not Included

Analysis	
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Barton-Bandis
JCS	80 MPa
JRC	6.3
Residual Friction angle	30 degrees
Residual Strength	Yes

Joint: Joint 2

Color	
Normal stiffness	42000 MPa/m
Shear stiffness	10000 MPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Not Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Barton-Bandis
JCS	100 MPa
JRC	4.6
Residual Friction angle	30 degrees
Residual Strength	Yes

Joint Networks

Joint Network 1

- Multiple Joint Sets: No

Joint Model	Parallel Statistical
Installation Stage	0
Joint Property	Joint 2
Orientation: Use Trace Plane	Yes
Trace Plane Dip Direction	318 deg

Dip	82 deg
Dip Direction	289 deg
Spacing Mean	5 m
Spacing Distribution	Exponential
Spacing Rel. Min.	2 m
Spacing Rel. Max.	2 m
Infinite Length	No
Length Mean	15 m
Length Distribution	Exponential
Length Rel. Min.	10 m
Length Rel. Max.	10 m
Persistence Mean	0.8
Persistence Distribution	Normal
Persistence Std. Dev.	0.1
Persistence Rel. Min.	0.2
Persistence Rel. Max.	0.1
Joint Ends	All Closed

Joint Network 2

- Multiple Joint Sets: No

Joint Model	Parallel Statistical
Installation Stage	0
Joint Property	Joint 1
Orientation: Use Trace Plane	Yes
Trace Plane Dip Direction	318 deg
Dip	69 deg
Dip Direction	23 deg
Spacing Mean	3 m
Spacing Distribution	Exponential
Spacing Rel. Min.	1 m
Spacing Rel. Max.	3 m
Infinite Length	No
Length Mean	3 m
Length Distribution	Exponential

Length Rel. Min.	1 m
Length Rel. Max.	10 m
Persistence Mean	0.3
Persistence Distribution	Normal
Persistence Std. Dev.	0.1
Persistence Rel. Min.	0.2
Persistence Rel. Max.	0.2
Joint Ends	All Closed

Displacements

- Displacement data is not available for Stage 1 until total displacement is viewed in a window
- Displacement data is not available for Stage 2 until total displacement is viewed in a window

Yielded Elements

Yielded Mesh Elements

- Number of yielded mesh elements is not available for Stage 1 until the stage is viewed in a window
- Number of yielded mesh elements is not available for Stage 2 until the stage is viewed in a window

Yielded Joint Elements

- Number of yielded joint elements on Stage 1: 1274
- Number of yielded joint elements on Stage 2: 1590

List of All Coordinates

Excavation boundary

X	Y
521.473	-44.9119
521.473	-7.91186
516.269	-

	11.9119
511.129	-11.9119
508.855	-14.9119
504.852	-14.9119
501.815	-12.605
499.774	-10.9481
497.388	-7.92875
492.105	-1.19923
43.1933	188.044
42.7849	188.318
42.299	188.644
41.6563	189.062
40.6089	190.481
38.7152	193.088
33.8521	193.088
30.8786	198.227
29.0127	201.645
27.844	201.983
23.9192	202.088
23.499	202.088
22.2053	203.561
20.6211	205.718
18.1927	209.085
12.7085	210.168
11.3824	210.429
8.11399	211.073
5.27877	211.088
3.05964	211.088
2.44997	211.958
1.59965	213.983
0.606921	216.532
-3.10393	226.066
-8.73937	226.088
-11.0741	226.48

-14.0071	227.021
-17.6546	229.088
-22.3796	239.016
-24.1941	240.622
-35.0289	249.955
-37.5306	250.088
-49.5155	250.088
-56.1356	259.01
-59.1184	263.631
-62.4646	268.829
-67.746	279.088
-73.7422	289.088
-82.9012	298.811
-83.3517	299.319
-91.1113	308.791
-95.2116	311.208
-95.7257	311.492
-108.99	318.784
-112.115	320.366
-127.243	327.88
-129.422	328.073
-135.016	328.088
-148.719	328.088
-160.591	324.088
-163.76	319.088
-174.051	309.21
-179.686	307.242
-192.081	303.088
-196.351	303.088
-197.676	302.282
-201.842	299.185
-205.382	295.728
-212.076	289.13
-212.858	288.515
-215.664	286.334
-217.267	285.088
-221.421	285.088
-224.015	283.445
-229.82	279.194
-232.439	277.089

-237.959	272.629
-242.341	269.088
-247.018	269.088
-247.018	-44.9119

External boundary

X	Y
521.473	-44.9119
521.473	-7.91186
516.269	-11.9119
511.129	-11.9119
508.855	-14.9119
504.852	-14.9119
501.815	-12.605
499.774	-10.9481
497.388	-7.92875
492.105	-1.19923
43.1933	188.044
42.7849	188.318
42.299	188.644
41.6563	189.062
40.6089	190.481
38.7152	193.088
33.8521	193.088
30.8786	198.227
29.0127	201.645
27.844	201.983
23.9192	202.088
23.499	202.088
22.2053	203.561
20.6211	205.718

18.1927	209.085
12.7085	210.168
11.3824	210.429
8.11399	211.073
5.27877	211.088
3.05964	211.088
2.44997	211.958
1.59965	213.983
0.606921	216.532
-3.10393	226.066
-8.73937	226.088
-11.0741	226.48
-14.0071	227.021
-17.6546	229.088
-22.3796	239.016
-24.1941	240.622
-35.0289	249.955
-37.5306	250.088
-49.5155	250.088
-56.1356	259.01
-59.1184	263.631
-62.4646	268.829
-67.746	279.088
-73.7422	289.088
-82.9012	298.811
-83.3517	299.319
-91.1113	308.791
-95.2116	311.208
-95.7257	311.492
-108.99	318.784
-112.115	320.366
-127.243	327.88
-129.422	328.073
-135.016	328.088
-148.719	328.088
-160.591	324.088
-163.76	319.088
-174.051	309.21
-179.686	307.242

-192.081	303.088
-196.351	303.088
-197.676	302.282
-201.842	299.185
-205.382	295.728
-212.076	289.13
-212.858	288.515
-215.664	286.334
-217.267	285.088
-221.421	285.088
-224.015	283.445
-229.82	279.194
-232.439	277.089
-237.959	272.629
-242.341	269.088
-247.018	269.088
-247.018	-44.9119

Stage boundary

X	Y
43.1933	188.044
43.4768	187.168
43.8666	186.353
44.9912	184.95
50.4569	178.105
52.996	178.027
54.9794	178.04
55.7588	178.027

Stage boundary

X	Y

55.7588	178.027
65.4	159
66.2258	158.999
69.1971	158.982
72.8759	158.872
73.3719	158.743
74.6993	156.129
76.3084	153.5
76.1933	153.103
77.4541	150.064
77.8928	148.704
78.5982	147.039
79.941	144.963
80.2527	144.227
82.1217	144.084
83.4066	144.085
83.8562	144.092
85.0204	144.1
85.6174	144.1
87.1652	144.088
91.3574	143.763
91.2405	143.359
91.7175	142.157

91.6064	141.774
95.8681	132.16
96.777	129.976
96.6576	129.564
102.459	129.2
103.22	129.264
103.804	129.154
104.485	129.2
106.802	129.113
107.564	128.702
107.302	127.687
108.158	127.087
114.042	115.694
114.8	114.2
119.101	114.192
120.746	114.136
122.735	114.004
124.123	111.178
126.096	108.559
125.925	107.968
126.967	106.296
128.989	102.033
129.617	100.796
130.88	98.88

2	
134.443	99
135.189	99
138.092	98.8035
139.12	97.1822
139.572	96.1099
142.665	89.4539
144.824	84.5465
147.571	84
149.104	84.0523
150.183	83.9914
150.728	83.9786
152.32	83.8916
153.152	83.7516
153.846	82.1486
154.244	81.3754
156.399	76.0027
157.489	73.2663
158.99	69.255
159.887	69.0772
163.226	69.0304
166.919	69
168.991	69
169.64	67.9582
176.61	54.483

9	
179.403	54.1526
180.484	54.1009
182.545	54.1
184.7	54.1
190.088	41.0651
190.501	40.3122
191.526	39.1064
197.732	39.0717
199.614	38.8501
200.44	36.8296
200.316	36.4021
203.061	31.0422
204.586	27.4911
206.359	24.2
209.541	24.1441
212.048	24.2
214.282	23.7828
215.722	21.4865
219.603	12.8688
220.445	10.9673
221.144	9.18569
225.175	9.02552
229.68	9.08902

8	
251.542	8.25564
252.422	8.18277
255.502	8.10463
282.821	7.06288
288.686	7.01011
292.072	6.74853
294.08	6.63511
299.448	6.42882
302.892	6.18817
305.255	6.2074
330.16	5.25769
336.851	5.00346
338.434	4.96702
339.087	4.91727
357.698	4.20757
360.739	4.05757
362.078	4.04053
374.178	3.57912
377.805	3.52549
383.516	3.22306
389.689	2.98766
394.231	2.81168
396.48	2.72833

9	
399.451	2.61539
402.161	2.41235
406.342	2.35262
438.747	1.1169
440.375	1.11781
441.985	0.993442
447.628	0.778234
451.145	0.65564
459.028	0.343532
489.63	-0.823443
490.404	-0.920738
492.105	-1.19923

RILEVATO IN LIMI SABBIOSI
Sezione x-x'

Slide Analysis Information

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Left to Right
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
Lowe-Karafiath
Spencer

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Grid Search
Radius increment: 10
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: 1.25

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.033
Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.016

Material Properties

Material: substrato dolomitico
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 26.5 kN/m3
Cohesion: 250 kPa

Friction Angle: 30 degrees
Water Surface: None

Material: limi sabbiosi
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 16.4 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 26.5 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Global Minimums

Method: bishop simplified
FS: 1.076990
Center: 148.361, 202.421
Radius: 62.386
Left Slip Surface Endpoint: 108.349, 154.556
Right Slip Surface Endpoint: 139.302, 140.696
Resisting Moment=26747.6 kN-m
Driving Moment=24835.6 kN-m

Method: spencer
FS: 1.075760
Center: 148.361, 202.421
Radius: 62.386
Left Slip Surface Endpoint: 108.349, 154.556
Right Slip Surface Endpoint: 139.302, 140.696
Resisting Moment=26717.1 kN-m
Driving Moment=24835.6 kN-m
Resisting Horizontal Force=391.826 kN
Driving Horizontal Force=364.231 kN

Method: lowe-karafiath
FS: 1.075630
Center: 148.361, 202.421
Radius: 62.386
Left Slip Surface Endpoint: 108.349, 154.556
Right Slip Surface Endpoint: 139.302, 140.696
Resisting Horizontal Force=391.827 kN
Driving Horizontal Force=364.276 kN

Method: gle/morgenstern-price
FS: 1.074930
Center: 148.361, 202.421
Radius: 62.386
Left Slip Surface Endpoint: 108.349, 154.556
Right Slip Surface Endpoint: 139.302, 140.696
Resisting Moment=26696.5 kN-m
Driving Moment=24835.6 kN-m
Resisting Horizontal Force=391.721 kN
Driving Horizontal Force=364.416 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified
Number of Valid Surfaces: 4398
Number of Invalid Surfaces: 453
Error Codes:
Error Code -103 reported for 98 surfaces
Error Code -106 reported for 9 surfaces
Error Code -107 reported for 23 surfaces
Error Code -115 reported for 125 surfaces
Error Code -1000 reported for 198 surfaces

Method: spencer
Number of Valid Surfaces: 4395
Number of Invalid Surfaces: 456
Error Codes:
Error Code -103 reported for 98 surfaces
Error Code -106 reported for 9 surfaces
Error Code -107 reported for 23 surfaces
Error Code -111 reported for 3 surfaces
Error Code -115 reported for 125 surfaces
Error Code -1000 reported for 198 surfaces

Method: lowe-karafiath
Number of Valid Surfaces: 4361
Number of Invalid Surfaces: 490
Error Codes:
Error Code -103 reported for 98 surfaces
Error Code -106 reported for 9 surfaces
Error Code -107 reported for 23 surfaces
Error Code -108 reported for 18 surfaces
Error Code -111 reported for 19 surfaces
Error Code -115 reported for 125 surfaces
Error Code -1000 reported for 198 surfaces

Method: gle/morgenstern-price
Number of Valid Surfaces: 4394
Number of Invalid Surfaces: 457
Error Codes:
Error Code -103 reported for 98 surfaces
Error Code -106 reported for 9 surfaces
Error Code -107 reported for 23 surfaces
Error Code -111 reported for 4 surfaces
Error Code -115 reported for 125 surfaces
Error Code -1000 reported for 198 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

-103 = Two surface / slope intersections,
but one or more surface / nonslope external polygon
intersections lie between them. This usually occurs

when the slip surface extends past the bottom of the soil region, but may also occur on a benched slope model with two sets of Slope Limits.

-106 = Average slice width is less than 0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region). This limitation is imposed to avoid numerical errors which may result from too many slices, or too small a slip region.

-107 = Total driving moment or total driving force is negative. This will occur if the wrong failure direction is specified, or if high external or anchor loads are applied against the failure direction.

-108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).

-111 = safety factor equation did not converge

-115 = Surface too shallow, below the minimum depth.

-1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

List of All Coordinates

Search Grid

77.404	202.421
235.088	202.421
235.088	360.105
77.404	360.105

Material Boundary

16.500	166.600
21.300	160.000
32.200	160.000
39.600	145.000
71.900	145.000
77.500	130.000
83.300	130.000
88.000	110.000
195.000	110.000
214.400	115.000

External Boundary

0.000	100.000
231.300	100.000
231.300	116.000

226.700	119.000
221.500	115.000
214.400	115.000
200.000	115.000
189.800	120.000
188.200	120.000
179.000	125.000
177.000	125.000
166.300	130.000
164.600	130.000
155.300	135.000
153.700	135.000
142.900	140.000
140.700	140.000
130.610	145.026
128.564	144.994
120.500	150.000
118.108	149.995
107.400	155.000
104.600	155.000
89.600	160.000
86.600	160.000
71.700	165.000
69.600	165.000
53.700	170.000
22.500	170.000
16.500	166.600
12.600	172.000
6.200	172.000
0.000	175.000

Water Table

16.500	166.600
21.300	160.000
32.200	160.000
39.600	145.000
71.900	145.000
77.500	130.000
83.300	130.000
86.797	115.120
200.000	115.000
214.400	115.000

RILEVATO IN LIMI SABBIOSI
Sezione y-y'

Slide Analysis Information

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Left to Right
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
Lowe-Karafiath
Spencer

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Grid Search
Radius increment: 10
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: 1.5

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.033
Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.16

Material Properties

Material: substrato dolomitico
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 26.5 kN/m3
Cohesion: 250 kPa

Friction Angle: 30 degrees
Water Surface: None

Material: limi sabbiosi
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 16.4 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 26.5 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Global Minimums

Method: bishop simplified
FS: 1.110490
Center: 139.257, 232.646
Radius: 98.227
Left Slip Surface Endpoint: 80.483, 153.943
Right Slip Surface Endpoint: 122.625, 135.837
Resisting Moment=72530.2 kN-m
Driving Moment=65313.6 kN-m

Method: spencer
FS: 1.108520
Center: 121.414, 205.881
Radius: 66.613
Left Slip Surface Endpoint: 78.689, 154.774
Right Slip Surface Endpoint: 114.616, 139.615
Resisting Moment=40146.3 kN-m
Driving Moment=36216.1 kN-m
Resisting Horizontal Force=554.431 kN
Driving Horizontal Force=500.155 kN

Method: lowe-karafiath
FS: 1.109990
Center: 139.257, 232.646
Radius: 98.227
Left Slip Surface Endpoint: 80.483, 153.943
Right Slip Surface Endpoint: 122.625, 135.837
Resisting Horizontal Force=678.418 kN
Driving Horizontal Force=611.193 kN

Method: gle/morgenstern-price
FS: 1.106030
Center: 139.257, 232.646
Radius: 98.227
Left Slip Surface Endpoint: 80.483, 153.943
Right Slip Surface Endpoint: 122.625, 135.837
Resisting Moment=72238.7 kN-m
Driving Moment=65313.6 kN-m
Resisting Horizontal Force=677.622 kN
Driving Horizontal Force=612.662 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified
Number of Valid Surfaces: 4715
Number of Invalid Surfaces: 136
Error Codes:
Error Code -103 reported for 7 surfaces
Error Code -106 reported for 3 surfaces
Error Code -115 reported for 49 surfaces
Error Code -1000 reported for 77 surfaces

Method: spencer
Number of Valid Surfaces: 4708
Number of Invalid Surfaces: 143
Error Codes:
Error Code -103 reported for 7 surfaces
Error Code -106 reported for 3 surfaces
Error Code -111 reported for 7 surfaces
Error Code -115 reported for 49 surfaces
Error Code -1000 reported for 77 surfaces

Method: lowe-karafiath
Number of Valid Surfaces: 4573
Number of Invalid Surfaces: 278
Error Codes:
Error Code -103 reported for 7 surfaces
Error Code -106 reported for 3 surfaces
Error Code -108 reported for 92 surfaces
Error Code -111 reported for 50 surfaces
Error Code -115 reported for 49 surfaces
Error Code -1000 reported for 77 surfaces

Method: gle/morgenstern-price
Number of Valid Surfaces: 4692
Number of Invalid Surfaces: 159
Error Codes:
Error Code -103 reported for 7 surfaces
Error Code -106 reported for 3 surfaces
Error Code -111 reported for 23 surfaces
Error Code -115 reported for 49 surfaces
Error Code -1000 reported for 77 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

-103 = Two surface / slope intersections,
but one or more surface / nonslope external polygon
intersections lie between them. This usually occurs
when the slip surface extends past the bottom of the
soil region, but may also occur on a benched
slope model with two sets of Slope Limits.

-106 = Average slice width is less than
0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region).
This limitation is imposed to avoid numerical errors
which may result from too many slices, or too
small a slip region.

-108 = Total driving moment
or total driving force < 0.1. This is to
limit the calculation of extremely high safety
factors if the driving force is very small
(0.1 is an arbitrary number).

-111 = safety factor equation did not converge

-115 = Surface too shallow, below the minimum depth.

-1000 = No valid slip surfaces are generated
at a grid center. Unable to draw a surface.

List of All Coordinates

Search Grid

94.648	196.959
273.082	196.959
273.082	375.393
94.648	375.393

Material Boundary

8.600	172.000
15.600	160.000
23.900	160.000
29.600	145.000
34.300	145.000
39.300	130.000
43.600	130.000
47.900	115.000
54.000	115.000
76.300	100.000
135.700	100.000
141.900	113.000
148.500	113.000
158.400	106.000
169.800	106.000
175.800	110.000
183.900	110.000

External Boundary

0.000	70.000
230.100	70.000
230.100	90.000
215.800	90.000
210.000	100.000
200.000	100.000

193.900	110.000
183.900	110.000
174.100	115.000
172.100	115.000
162.400	120.000
160.000	120.000
150.762	125.000
149.100	125.000
141.768	128.394
138.300	130.000
136.600	130.000
126.600	135.000
124.400	135.000
113.800	140.000
111.700	140.000
102.500	145.000
100.300	145.000
91.200	150.000
89.000	150.000
78.200	155.000
76.400	155.000
66.100	160.000
63.900	160.000
52.500	165.000
50.200	165.000
17.600	170.000
11.500	170.000
8.600	172.000
3.200	172.000
0.000	175.000

Water Table

8.600	172.000
15.600	160.000
23.900	160.000
29.600	145.000
34.300	145.000
39.300	130.000
43.600	130.000
47.900	115.000
54.000	115.000
141.237	111.610
141.900	113.000
148.500	113.000
150.895	111.307
172.195	110.778
183.900	110.000

RILEVATO IN LIMI SABBIOSI
Sezione a-a'

Slide Analysis Information

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Left to Right
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
Lowe-Karafiath
Spencer

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Grid Search
Radius increment: 10
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: 1.25

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.033
Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.016

Material Properties

Material: substrato dolomitico
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 26.5 kN/m3
Cohesion: 250 kPa

Friction Angle: 30 degrees
Water Surface: None

Material: limi sabbiosi
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 16.4 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 26.5 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Global Minimums

Method: bishop simplified
FS: 1.075020
Center: 209.556, 263.764
Radius: 128.745
Left Slip Surface Endpoint: 142.791, 153.683
Right Slip Surface Endpoint: 173.912, 140.052
Resisting Moment=42092.5 kN-m
Driving Moment=39155.3 kN-m

Method: spencer
FS: 1.075220
Center: 209.556, 263.764
Radius: 128.745
Left Slip Surface Endpoint: 142.791, 153.683
Right Slip Surface Endpoint: 173.912, 140.052
Resisting Moment=42100.7 kN-m
Driving Moment=39155.3 kN-m
Resisting Horizontal Force=300.298 kN
Driving Horizontal Force=279.289 kN

Method: lowe-karafiath
FS: 1.074630
Center: 209.556, 263.764
Radius: 128.745
Left Slip Surface Endpoint: 142.791, 153.683
Right Slip Surface Endpoint: 173.912, 140.052
Resisting Horizontal Force=300.268 kN
Driving Horizontal Force=279.416 kN

Method: gle/morgenstern-price
FS: 1.075470
Center: 209.556, 263.764
Radius: 128.745
Left Slip Surface Endpoint: 142.791, 153.683
Right Slip Surface Endpoint: 173.912, 140.052
Resisting Moment=42110.2 kN-m
Driving Moment=39155.3 kN-m
Resisting Horizontal Force=300.31 kN
Driving Horizontal Force=279.237 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified
Number of Valid Surfaces: 4755
Number of Invalid Surfaces: 96
Error Codes:
Error Code -103 reported for 14 surfaces
Error Code -106 reported for 4 surfaces
Error Code -115 reported for 34 surfaces
Error Code -1000 reported for 44 surfaces

Method: spencer
Number of Valid Surfaces: 4432
Number of Invalid Surfaces: 419
Error Codes:
Error Code -103 reported for 14 surfaces
Error Code -106 reported for 4 surfaces
Error Code -108 reported for 200 surfaces
Error Code -111 reported for 123 surfaces
Error Code -115 reported for 34 surfaces
Error Code -1000 reported for 44 surfaces

Method: lowe-karafiath
Number of Valid Surfaces: 4054
Number of Invalid Surfaces: 797
Error Codes:
Error Code -103 reported for 14 surfaces
Error Code -106 reported for 4 surfaces
Error Code -108 reported for 558 surfaces
Error Code -111 reported for 143 surfaces
Error Code -115 reported for 34 surfaces
Error Code -1000 reported for 44 surfaces

Method: gle/morgenstern-price
Number of Valid Surfaces: 4371
Number of Invalid Surfaces: 480
Error Codes:
Error Code -103 reported for 14 surfaces
Error Code -106 reported for 4 surfaces
Error Code -108 reported for 199 surfaces
Error Code -111 reported for 185 surfaces
Error Code -115 reported for 34 surfaces
Error Code -1000 reported for 44 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:

-103 = Two surface / slope intersections,
but one or more surface / nonslope external polygon
intersections lie between them. This usually occurs
when the slip surface extends past the bottom of the
soil region, but may also occur on a benched

slope model with two sets of Slope Limits.

-106 = Average slice width is less than
0.0001 * (maximum horizontal extent of soil region).
This limitation is imposed to avoid numerical errors
which may result from too many slices, or too
small a slip region.

-108 = Total driving moment
or total driving force < 0.1. This is to
limit the calculation of extremely high safety
factors if the driving force is very small
(0.1 is an arbitrary number).

-111 = safety factor equation did not converge

-115 = Surface too shallow, below the minimum depth.

-1000 = No valid slip surfaces are generated
at a grid center. Unable to draw a surface.

List of All Coordinates

Search Grid

154.556	178.208
276.778	178.208
276.778	300.431
154.556	300.431

Material Boundary

29.500	148.000
66.000	140.000
72.000	145.000
92.500	145.000
99.000	130.000
104.000	130.000
119.000	115.000
152.000	115.000
159.000	130.000
164.000	130.000
170.000	140.000
174.000	140.000

External Boundary

15.000	87.000
220.000	87.000
220.000	100.000
208.000	100.000
203.000	115.000
196.500	115.000
191.000	130.000
185.500	130.000
179.000	140.000

174.000	140.000
165.500	145.000
163.500	145.000
154.000	150.000
152.000	150.000
139.500	155.000
137.500	155.000
127.500	160.000
125.500	160.000
115.500	165.000
113.500	165.000
103.000	170.000
81.500	170.000
68.000	165.000
66.000	165.000
55.000	160.000
53.000	160.000
44.000	155.000
41.000	155.000
33.500	150.000
31.000	150.000
29.500	148.000
15.000	160.000

Water Table

29.500	148.000
66.000	140.000
72.000	145.000
92.500	145.000
99.000	130.000
104.000	130.000
108.837	125.163
156.774	125.231
159.000	130.000
164.000	130.000
170.000	140.000
174.000	140.000

RILEVATO IN LIMI SABBIOSI
Sezione b-b'

Slide Analysis Information

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Right to Left
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m3
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified
GLE/Morgenstern-Price with interslice force function: Half Sine
Lowe-Karafiath
Spencer

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Circular
Search Method: Grid Search
Radius increment: 10
Composite Surfaces: Disabled
Reverse Curvature: Create Tension Crack
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: 1.25

Loading

Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.033
Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.016

Material Properties

Material: substrato dolomitico
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 26.5 kN/m3
Cohesion: 250 kPa

Friction Angle: 30 degrees
Water Surface: None

Material: limi sabbiosi
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 16.4 kN/m3
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 26.5 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Global Minimums

Method: bishop simplified
FS: 1.262480
Center: 35.387, 144.514
Radius: 24.486
Left Slip Surface Endpoint: 36.093, 120.039
Right Slip Surface Endpoint: 50.177, 125.000
Resisting Moment=3256.49 kN-m
Driving Moment=2579.43 kN-m

Method: spencer
FS: 1.261070
Center: 35.387, 144.514
Radius: 24.486
Left Slip Surface Endpoint: 36.093, 120.039
Right Slip Surface Endpoint: 50.177, 125.000
Resisting Moment=3252.84 kN-m
Driving Moment=2579.43 kN-m
Resisting Horizontal Force=124.019 kN
Driving Horizontal Force=98.344 kN

Method: lowe-karafiath
FS: 1.260910
Center: 35.387, 144.514
Radius: 24.486
Left Slip Surface Endpoint: 36.093, 120.039
Right Slip Surface Endpoint: 50.177, 125.000
Resisting Horizontal Force=124.02 kN
Driving Horizontal Force=98.3575 kN

Method: gle/morgenstern-price
FS: 1.258020
Center: 35.387, 144.514
Radius: 24.486
Left Slip Surface Endpoint: 36.093, 120.039
Right Slip Surface Endpoint: 50.177, 125.000
Resisting Moment=3244.97 kN-m
Driving Moment=2579.43 kN-m
Resisting Horizontal Force=123.94 kN
Driving Horizontal Force=98.5205 kN

Valid / Invalid Surfaces

Method: bishop simplified
Number of Valid Surfaces: 4769
Number of Invalid Surfaces: 82
Error Codes:
Error Code -107 reported for 37 surfaces
Error Code -115 reported for 45 surfaces

Method: spencer
Number of Valid Surfaces: 4761
Number of Invalid Surfaces: 90
Error Codes:
Error Code -107 reported for 37 surfaces
Error Code -108 reported for 8 surfaces
Error Code -115 reported for 45 surfaces

Method: lowe-karafiath
Number of Valid Surfaces: 3940
Number of Invalid Surfaces: 911
Error Codes:
Error Code -107 reported for 37 surfaces
Error Code -108 reported for 508 surfaces
Error Code -111 reported for 321 surfaces
Error Code -115 reported for 45 surfaces

Method: gle/morgenstern-price
Number of Valid Surfaces: 4762
Number of Invalid Surfaces: 89
Error Codes:
Error Code -107 reported for 37 surfaces
Error Code -108 reported for 7 surfaces
Error Code -115 reported for 45 surfaces

Error Codes

The following errors were encountered during the computation:
-107 = Total driving moment or
total driving force is negative. This will occur
if the wrong failure direction is specified,
or if high external or anchor loads are applied
against the failure direction.
-108 = Total driving moment
or total driving force < 0.1. This is to
limit the calculation of extremely high safety
factors if the driving force is very small
(0.1 is an arbitrary number).
-111 = safety factor equation did not converge
-115 = Surface too shallow, below the minimum depth.

List of All Coordinates

Search Grid

27.044	142.429
68.759	142.429
68.759	184.143
27.044	184.143

Material Boundary

22.000	118.000
37.000	110.000
129.500	110.000
133.500	120.000
137.500	115.000
158.000	115.000
163.000	103.000
169.000	103.000
174.000	115.000
178.000	115.000
181.500	125.000

External Boundary

7.000	67.000
240.000	67.000
240.000	90.000
221.500	90.000
215.500	100.000
209.000	100.000
202.500	115.000
189.500	115.000
185.000	128.000
182.500	128.000
181.500	125.000
176.000	125.000
146.000	130.000
141.000	130.000
110.000	135.000
89.000	135.000
75.000	130.000
71.500	130.000
52.000	125.000
48.000	125.000
36.000	120.000
35.000	120.000
22.000	118.000
17.500	118.000
14.000	124.000
9.500	122.000
7.000	120.000

Water Table

22.000	118.000
27.528	115.052
131.533	115.084
133.500	120.000
137.500	115.000

158.000	115.000
159.562	111.251
172.460	111.303
174.000	115.000
178.000	115.000
181.500	125.000

ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI
SEZIONE A – A'
Phase2 Analysis Information

General Settings

- Number of Stages: 2
- Analysis Type: Plane Strain
- Solver Type: Gaussian Elimination
- Units: Metric, stress as MPa

Analysis Options

- Maximum Number of Iterations: 500
- Tolerance: 0.001
- Number of Load Steps: Automatic
- Convergence Type: Absolute Energy
- Tensile Failure: Reduces Shear Strength

Groundwater Analysis

- Method: Piezometric Lines
- Pore Fluid Unit Weight: 0.00981 MN/m3
- Probability: None

Field Stress

- Field stress: gravity
- Using actual ground surface
- Total stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 1
- Total stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 1
- Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
- Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Seismic Loading

- Horizontal seismic load coefficient: 0.018 (positive to the right)
- Vertical seismic load coefficient: 0.009 (positive up)
- Seismic load applied when load split is applied

Mesh

- Mesh type: graded
- Element type: 3 noded triangles
- Number of elements on Stage 1: 1320
- Number of nodes on Stage 1: 742
- Number of elements on Stage 2: 1160
- Number of nodes on Stage 2: 664

Mesh Quality

- All elements are of good quality

Poor quality elements defined as:

- Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00
- Minimum interior angle < 2.0 degrees
- Maximum interior angle > 175.0 degrees

Areas of Excavated and Filled Elements

Stage 2

- Material: dolomia, Area Excavated: 4374.500 m2

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

- Area of All Excavations: 238.811 m2
- Excavation (with centroid 31.000, 72.716) Area: 32.079 m2
- Excavation (with centroid 31.000, 72.716) Perimeter: 21.415 m
- Excavation (with centroid 55.000, 78.716) Area: 32.079 m2
- Excavation (with centroid 55.000, 78.716) Perimeter: 21.415 m
- Excavation (with centroid 77.000, 83.937) Area: 174.653 m2
- Excavation (with centroid 77.000, 83.937) Perimeter: 49.969 m
- External Boundary Area: 13074.500 m2

- External Boundary Perimeter: 474.066 m

Stage 1

- Excavation (with centroid 31.000, 72.716) Area: 32.065 m2 (-0.0136387 m2 change from original area)
- Excavation (with centroid 31.000, 72.716) Perimeter: 21.412 m (-0.00332117 m change from original perimeter)
- Excavation (with centroid 55.000, 78.716) Area: 32.067 m2 (-0.0120446 m2 change from original area)
- Excavation (with centroid 55.000, 78.716) Perimeter: 21.412 m (-0.00296012 m change from original perimeter)
- Excavation (with centroid 77.000, 83.937) Area: 174.588 m2 (-0.064759 m2 change from original area)
- Excavation (with centroid 77.000, 83.937) Perimeter: 49.962 m (-0.0064699 m change from original perimeter)
- External Boundary Area: 13074.441 m2 (-0.0593218 m2 change from original area)
- External Boundary Perimeter: 474.066 m (-3.2749e-006 m change from original perimeter)
- Volume Loss to Excavation: 0.0248405 %

Stage 2

- Excavation (with centroid 31.001, 72.717) Area: 32.070 m2 (-0.0094903 m2 change from original area)
- Excavation (with centroid 31.001, 72.717) Perimeter: 21.413 m (-0.00220153 m change from original perimeter)
- Excavation (with centroid 55.001, 78.717) Area: 32.072 m2 (-0.0067643 m2 change from original area)
- Excavation (with centroid 55.001, 78.717) Perimeter: 21.414 m (-0.00154283 m change from original perimeter)
- Excavation (with centroid 77.001, 83.939) Area: 174.622 m2 (-0.0313553 m2 change from original area)
- Excavation (with centroid 77.001, 83.939) Perimeter: 49.966 m (-0.00280825 m change from original perimeter)
- External Boundary Area: 13074.500 m2 (0 m2 change from original area)

- External Boundary Perimeter: 474.066 m (0 m change from original perimeter)
- Volume Loss to Excavation: 0 %

Material Properties

Material: dolomia

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	0.0265 MN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	10025 MPa
Poisson's ratio	0.3
Failure Criterion	Generalized Hoek-Brown
Material type	Elastic
Compressive strength	80 MPa
mb parameter	2.157
s parameter	0.0117
a parameter	0.503
Piezo to use	None
Ru value	0

Displacements

- Maximum total displacement for Stage 1: 0.00160428 m
- Maximum total displacement for Stage 2: 0.00339374 m

List of All Coordinates

Excavation boundary

X	Y
34	70
34	73
33.9631	73.4693
33.853	73.927

2	1
33.673	74.362
33.4271	74.7634
33.1213	75.1213
32.7634	75.4271
32.362	75.673
31.9271	75.8532
31.4693	75.9631
31	76
30.5307	75.9631
30.0729	75.8532
29.638	75.673
29.2366	75.4271
28.8787	75.1213
28.5729	74.7634
28.327	74.362
28.1468	73.9271
28.0369	73.4693
28	73
28	70

Excavation boundary

X	Y
58	76
58	79
57.9631	79.4693
57.8532	79.9271
57.673	80.362

57.4271	80.7634
57.1213	81.1213
56.7634	81.4271
56.362	81.673
55.9271	81.8532
55.4693	81.9631
55	82
54.5307	81.9631
54.0729	81.8532
53.638	81.673
53.2366	81.4271
52.8787	81.1213
52.5729	80.7634
52.327	80.362
52.1468	79.9271
52.0369	79.4693
52	79
52	76

Excavation boundary

X	Y
84	77.6
84	84.6
83.9138	85.695
83.6574	86.7631
83.237	87.7779
82.663	88.714

1	5
81.9497	89.5497
81.1145	90.2631
80.1779	90.837
79.1631	91.2574
78.095	91.5138
77	91.6
75.905	91.5138
74.8369	91.2574
73.8221	90.837
72.8855	90.2631
72.0503	89.5497
71.3369	88.7145
70.763	87.7779
70.3426	86.7631
70.0862	85.695
70	84.6
70	77.6

External boundary

X	Y
0	50
150	50
150	90
150	137
13	13

2	7
108	138
101	138
90	137
0	137
0	115

Stage boundary

X	Y
0	115
98	115
104	100
110	100
113	97
120	97
123	90
132	90
150	90

ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI
SEZIONE B – B'
Phase2 Analysis Information

General Settings

- Number of Stages: 2
- Analysis Type: Plane Strain
- Solver Type: Gaussian Elimination
- Units: Metric, stress as MPa

Analysis Options

- Maximum Number of Iterations: 500
- Tolerance: 0.001
- Number of Load Steps: Automatic
- Convergence Type: Absolute Energy
- Tensile Failure: Reduces Shear Strength
- Joint tension reduces joint stiffness by a factor of 0.01

Groundwater Analysis

- Method: Piezometric Lines
- Pore Fluid Unit Weight: 0.00981 MN/m3
- Probability: None

Field Stress

- Field stress: gravity
- Using actual ground surface
- Total stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 1
- Total stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 1
- Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
- Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Seismic Loading

- Horizontal seismic load coefficient: 0.018 (positive to the right)
- Vertical seismic load coefficient: 0.009 (positive up)
- Seismic load applied when load split is applied

Mesh

- Mesh type: graded
- Element type: 3 noded triangles
- Number of elements on Stage 1: 3956
- Number of nodes on Stage 1: 2019
- Number of elements on Stage 2: 3048
- Number of nodes on Stage 2: 1566

Mesh Quality

- 2 of 3004 Elements (0.1 % of elements) are poor quality elements
- 1 of 3004 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because of the side length ratio
- 2 of 3004 Elements (0.1 % of elements) are poor quality elements because of the minimum interior angle
- 0 of 3004 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because of the maximum interior angle
- 0 of 3004 Elements (0.0 % of elements) are poor quality elements because they are inverted
- Note: Elements can be of poor quality for more than one reason

Poor quality elements defined as:

- Side length ratio (maximum / minimum) > 30.00
- Minimum interior angle < 2.0 degrees
- Maximum interior angle > 175.0 degrees

Areas of Excavated and Filled Elements

Stage 2

- Material: Dolomia, Area Excavated: 2691.742 m2

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

- Area of All Excavations: 2779.716 m2
- Excavation (with centroid 728.675, 141.081) Area: 27.499 m2

- Excavation (with centroid 728.675, 141.081) Perimeter: 21.000 m
- Excavation (with centroid 770.939, 141.081) Area: 27.504 m2
- Excavation (with centroid 770.939, 141.081) Perimeter: 21.001 m
- Excavation (with centroid 808.785, 130.080) Area: 32.971 m2
- Excavation (with centroid 808.785, 130.080) Perimeter: 22.989 m
- Excavation (with centroid 718.061, 187.558) Area: 2691.742 m2
- Excavation (with centroid 718.061, 187.558) Perimeter: 297.352 m
- External Boundary Area: 16993.635 m2
- External Boundary Perimeter: 632.825 m

Stage 1

- Excavation (with centroid 728.677, 141.081) Area: 27.494 m2 (-0.00514254 m2 change from original area)
- Excavation (with centroid 728.677, 141.081) Perimeter: 20.998 m (-0.0016004 m change from original perimeter)
- Excavation (with centroid 770.944, 141.081) Area: 27.499 m2 (-0.0052217 m2 change from original area)
- Excavation (with centroid 770.944, 141.081) Perimeter: 21.000 m (-0.00127383 m change from original perimeter)
- Excavation (with centroid 808.789, 130.080) Area: 32.964 m2 (-0.00647529 m2 change from original area)
- Excavation (with centroid 808.789, 130.080) Perimeter: 22.988 m (-0.0015936 m change from original perimeter)
- Excavation (with centroid 718.063, 187.557) Area: 2691.827 m2 (0.0852684 m2 change from original area)
- Excavation (with centroid 718.063, 187.557) Perimeter: 297.362 m (0.0102018 m change from original perimeter)
- External Boundary Area: 16993.839 m2 (0.204778 m2 change from original area)
- External Boundary Perimeter: 632.826 m (0.000461883 m change from original perimeter)
- Volume Loss to Excavation: -0.00736688 %

Stage 2

- Excavation (with centroid 728.677, 141.083) Area: 27.497 m2 (-0.00245969 m2 change from original area)
- Excavation (with centroid 728.677, 141.083) Perimeter: 20.999 m (-0.000668871 m change from original perimeter)
- Excavation (with centroid 770.943, 141.082) Area: 27.501 m2 (-0.00328129 m2 change from original area)
- Excavation (with centroid 770.943, 141.082) Perimeter: 21.001 m (-0.00070271 m change from original perimeter)
- Excavation (with centroid 808.788, 130.080) Area: 32.965 m2 (-0.00577569 m2 change from original area)
- Excavation (with centroid 808.788, 130.080) Perimeter: 22.988 m (-0.00138345 m change from original perimeter)
- Excavation (with centroid 718.061, 187.559) Area: 2691.513 m2 (-0.229021 m2 change from original area)
- Excavation (with centroid 718.061, 187.559) Perimeter: 297.362 m (0.0100053 m change from original perimeter)
- External Boundary Area: 16993.855 m2 (0.220548 m2 change from original area)
- External Boundary Perimeter: 632.825 m (-0.000170786 m change from original perimeter)
- Volume Loss to Excavation: -0.00793419 %

Material Properties

Material: Dolomia

Color	
Initial element loading	field stress & body force
Unit weight	0.0265 MN/m3
Elastic type	isotropic
Young's modulus	10025 MPa
Poisson's ratio	0.3
Failure Criterion	Generalized Hoek-Brown

Material type	Elastic
Compressive strength	80 MPa
mb parameter	2.157
s parameter	0.0117
a parameter	0.503
Piezo to use	None
Ru value	0

Joint Properties

Joint: Stratificazione

Color	
Normal stiffness	42000 MPa/m
Shear stiffness	10000 MPa/m
Initial joint deformation	allowed
Pressure from Groundwater Analysis	Not Included
Additional Pressure Inside Joint	Not Included
Slip Criterion	Barton-Bandis
JCS	100 MPa
JRC	4.6
Residual Friction angle	30 degrees
Residual Strength	Yes

Joint Networks

Joint Network 1

- Multiple Joint Sets: No

Joint Model	Parallel Statistical
Installation Stage	0
Joint Property	Stratificazione
Orientation: Use Trace	Yes

Plane	
Trace Plane Dip Direction	17 deg
Dip	82 deg
Dip Direction	289 deg
Spacing Mean	2 m
Spacing Distribution	Exponential
Spacing Rel. Min.	1.5 m
Spacing Rel. Max.	2 m
Infinite Length	No
Length Mean	15 m
Length Distribution	Normal
Length Std. Dev.	1 m
Length Rel. Min.	10 m
Length Rel. Max.	10 m
Persistence Mean	0.8
Persistence Distribution	Normal
Persistence Std. Dev.	0.1
Persistence Rel. Min.	0.2
Persistence Rel. Max.	0.1
Joint Ends	All Closed

Displacements

- Maximum total displacement for Stage 1: 0.00576915 m
- Maximum total displacement for Stage 2: 0.00578171 m

Yielded Elements

Yielded Joint Elements

- Number of yielded joint elements on Stage 1: 555
- Number of yielded joint elements on Stage 2: 356

List of All Coordinates

Excavation boundary

X	Y
726.17	138.33

5	1
731.175	138.331
731.175	143.831
726.175	143.831

Excavation boundary

X	Y
773.44	138.331
773.439	143.831
768.439	143.831
768.439	138.331

Excavation boundary

X	Y
805.782	127.331
811.782	127.331
811.782	132.831
805.793	132.831

Excavation boundary

X	Y
792.926	176.02
663	173
679.885	173
685.5	176.8
789.962	176.8

External boundary

X	Y
663	100
900	100
900	128
879.008	128
877	127
845.5	127
845.5	132
837.5	142
797	172
795.087	173.913
792.926	176.02
663	173