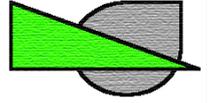


Cliente:
GMC S.p.A.
Corso Rosselli 5h
54033 Carrara (MS)

Studio di Ingegneria Valentino
Via Masa 8, Calcio (BG)
P. IVA 10350130018
☎ +39.348.90.47.032
@ valentino.daniele@gmail.com

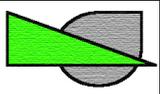


Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al
contorno dello scavo esistente e della situazione a progetto
presso la cava N°37 - Fossa Grande – Carrara

Analisi Statistica di stabilità dei fronti previsionale

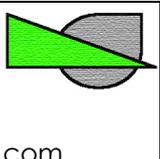
Date: 22/5/25
Ref: 037-CE-PRST-25-01
Release: Rel.01

Note

Studio di Ingegneria Valentino Via Masa 8, Calcio (BG) P. IVA 10350130018 ☎ +39.348.90.47.032 @ valentino.daniele@gmail.com		Object: Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo e analisi di stabilità dei fronti, presso la cava 37 – Fossa Grande.	2
---	--	--	---

Sommario

1.	PREMESSA.....	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3.	RILIEVO GEOMECCANICO	4
4.	ANALISI DELL'ASSETTO TENSIONALE A GRANDE SCALA DELLA CAVA FOSSA GRANDE MEDIANTE MODELLAZIONE FEM.	9
4.1	INTRODUZIONE AL METODO DEGLI ELEMENTI FINITI (FEM) DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO.	9
4.2	ANALISI DELLE SEZIONI RAPPRESENTATIVE DELLA CAVA FOSSA GRANDE	11
4.3	RISULTATI.....	27
5.	ANALISI PREVISIONALE DI STABILITÀ DEI BLOCCHI.....	28
5.1	LA DETERMINAZIONE DELLE CONDIZIONI DI CARICO SISMICO SECONDO LE NTC 18 (DM 17/01/18).....	35
5.2	RISULTATI DELLE ANALISI.....	38
6.	CONCLUSIONI	39

Studio di Ingegneria Valentino Via Masa 8, Calcio (BG) P. IVA 10350130018 ☎ +39.348.90.47.032 @ valentino.daniele@gmail.com		Object: Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo e analisi di stabilità dei fronti, presso la cava 37 – Fossa Grande.	3
---	--	--	---

1. Premessa

Nel presente documento si esamina la situazione delle condizioni statiche al contorno dello scavo a cielo aperto presso la cava N° 37 Fossa Grande.

Il sito estrattivo si trova nel bacino marmifero di Torano – Carrara (MS) ed è esercita dalla Società GMC S.p.A., la coltivazione si sviluppa a cielo aperto con coltivazione a mezzacosta impostata su gradonatura discendente. Attualmente è in fase di richiesta autorizzativa un nuovo progetto di coltivazione, che prevede di proseguire con il metodo a gradoni discendenti, dalla quota 945 m s.l.m. fino a 929 m s.l.m.

Il piano prevede un primo gradone di circa 3 m di altezza, seguito da due gradoni di 6 m (vedi fig. 1). Il progetto è stato elaborato dallo Studio Sirgiovanni di Massa.

Per valutare l'effetto sulla stabilità del sito estrattivo in seguito alle lavorazioni previste, è stato sviluppato un modello agli elementi finiti capace di simulare l'asportazione del materiale lapideo e la conseguente redistribuzione delle sollecitazioni al contorno dello scavo.

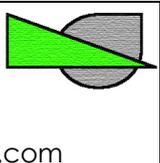
Le analisi derivate dal modello si concentrano principalmente sull'andamento delle sollecitazioni all'interno del modello, permettendo un confronto tra le condizioni attuali e quelle previste dal progetto, al fine di stimare l'impatto delle nuove sollecitazioni sull'assetto strutturale del sito.

Inoltre, è stata condotta un'analisi per valutare la possibilità di formazione di blocchi cinematicamente ammissibili, generati dalla combinazione delle discontinuità naturali dell'ammasso roccioso e delle superfici libere create dalle future attività di coltivazione, verificando il relativo fattore di sicurezza.

2. Normativa di riferimento

L'incarico è stato svolto in conformità alle vigenti normative tecniche, in particolare al D.P.R. 128/59, D.Lgs 624/96 e D.M. 11/3/88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni di progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione", e alle disposizioni del Legislatore che, tramite il D.M. 14/01/08, impone l'applicazione del metodo semiprobabilistico definito dettagliatamente nei testi Eurocodice anche nel campo della progettazione civile e geotecnica.

Di seguito si riportano l'elenco della Normativa di riferimento ottemperata:

Studio di Ingegneria Valentino Via Masa 8, Calcio (BG) P. IVA 10350130018 ☎ +39.348.90.47.032 @ valentino.daniele@gmail.com		Object: Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo e analisi di stabilità dei fronti, presso la cava 37 – Fossa Grande.	4
---	--	--	---

- D.M. 11 marzo 1988 n. 47, norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- Circ. LL.PP. 24 settembre 1988;
- D.M. dei Lavori Pubblici del 14 luglio del 1984, classificazione sismica attuale del territorio;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, nuova classificazione sismica del territorio e norme tecniche per progetto sismico di opere di fondazione e di sostegno dei terreni;
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006, criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone;
- D.M. 14 gennaio 2008, Norme tecniche sulle costruzioni;
- Eurocodice 8 (1998), "indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture"- Parte 5
- Eurocodice 7.1 (1997), "progettazione geotecnica"- Parte I: Regole generali- UNI
- Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003, "primi elementi in materia di criteri generali per a classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica"
- D.G.R. N° 431 del 19/6/2006 "Riclassificazione sismica del territorio regionale: attuazione del D.M. del 14/9/2005 e O.P.C.M. n°3519 del 28 aprile 2006".

3. Rilievo Geomeccanico

I dati sperimentali utilizzati per le valutazioni riportate in questo documento, provengono come detto da relazioni tecniche redatte dai professionisti incaricati dall'azienda e da rilievi condotti dallo scrivente nel mese di maggio 2025 che hanno integrato la base dati esistente.

La figura 1 riporta la planimetria generale della cava N° 37 "Fossa Grande" con evidenza degli stendimenti lungo i quali sono stati condotte le misure speditive.

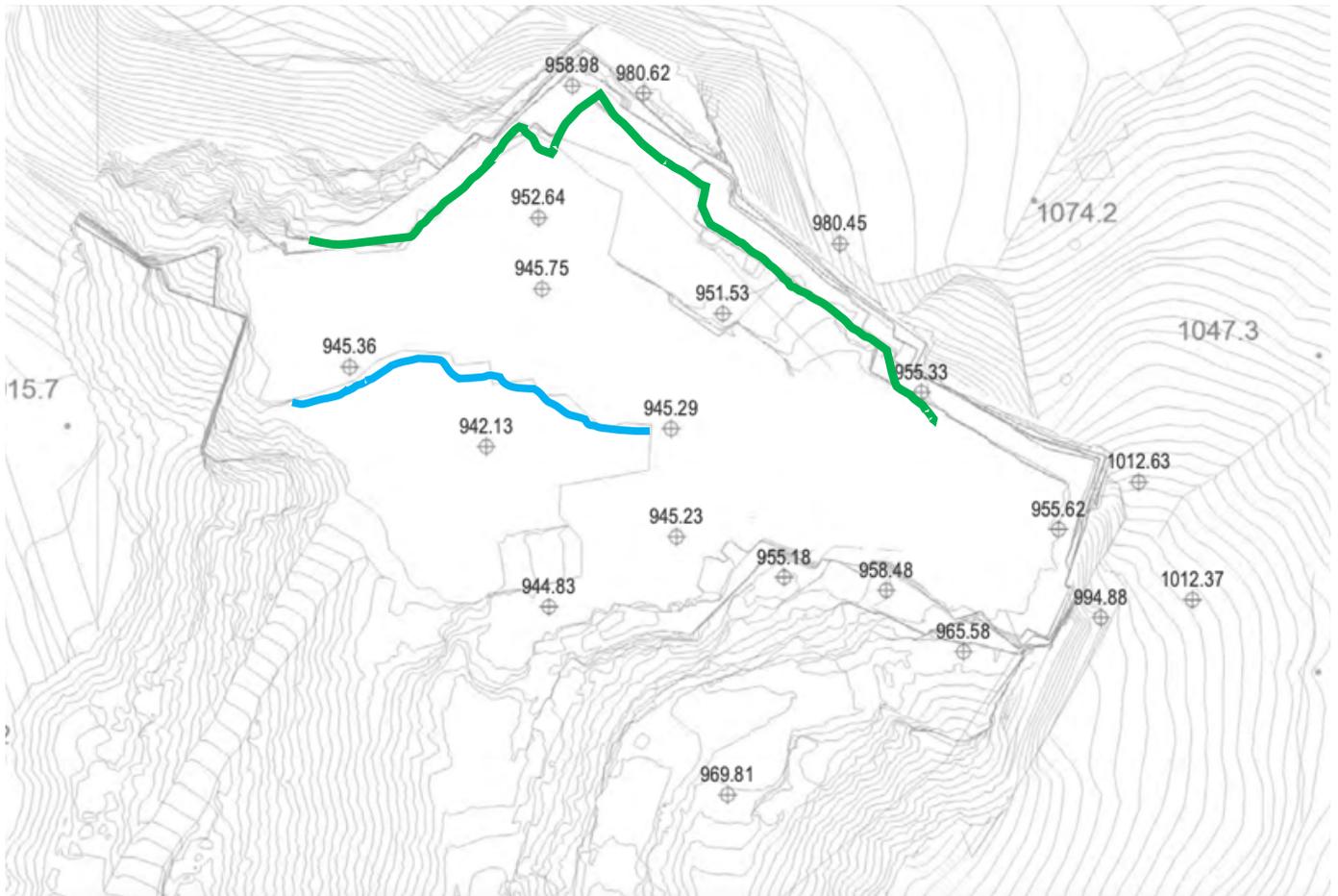
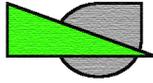


Fig. 1: situazione topografica allo stato di fatto, e le misurazioni 2024 (in verde) e le misure 2025 (in blu) stime dei parametri e valutazioni sono state condotte su questa configurazione.

La figura seguente mostra gli stereogrammi di Schmidt tramite i quali è possibile valutare le principali famiglie di discontinuità che interessano l'ammasso roccioso. Da esso inoltre è possibile una rapida analisi dei dati, con quelli disponibili nel database, e quindi agevolare la comparazione tra i dati.

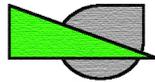


TABELLA DI SINTESI PRINCIPALI SET DI FRATTURA		
SET	SUB-SET	dip/dip-direction
K1	-	78/017
K2	-	76/273
K3	K3.1	83/046
	K3.2	85/228
K4	-	67/156

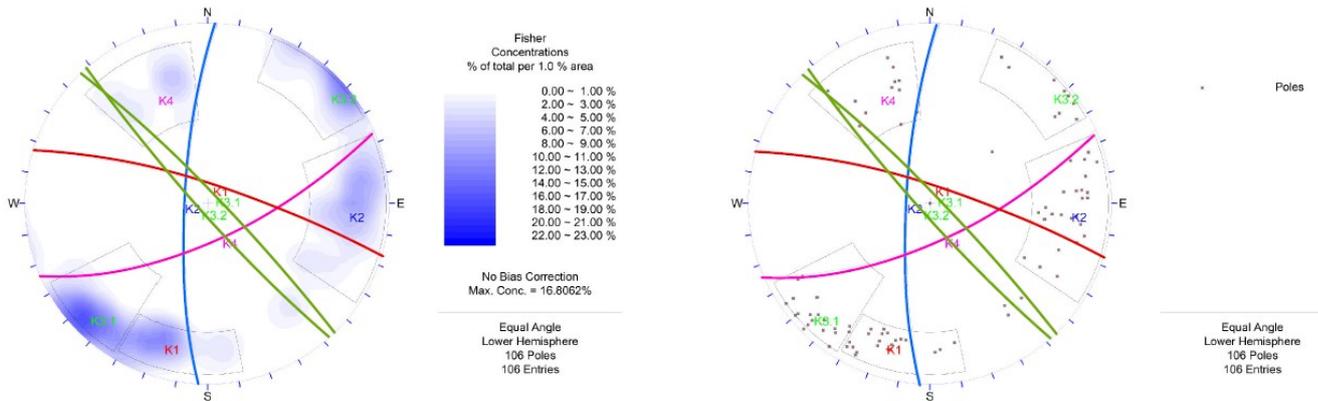


Fig 2: stereogrammi di Schmidt e trattamento statistico dei dati (stralcio dello studio geomeccanico Dott. Geol. E. Sirgiovanni e L. Vaselli).

Oltre alle valutazioni sulle discontinuità, che costituiscono la variabile geometrica del problema, è necessario stimare le caratteristiche geomeccaniche e soprattutto le resistenze mobilitabili sui giunti.

Per svolgere questa stima si utilizza il metodo suggerito dal Prof. Barton secondo il quale la stima dell'angolo di attrito mobilitabile sulla discontinuità si può ottenere mediante la conoscenza dello stesso, ma solo in condizioni cosiddette "di base" ottenibili in laboratorio, e a seguito della valutazione dei due parametri empirici denominati JCS (Joint Compressive Strength) e JRC (Joint Roughness Coefficient).

La tabella 1 riporta i dati sperimentali dei saggi condotti mediante il pettine di Barton su alcune discontinuità individuate durante il rilievo e ritenute più importanti da un punto di vista statico.

La tabella 2 invece raccoglie i dati desunti sulle medesime discontinuità ma con l'ausilio del martello di Schmidt, il quale consente di ottenere delle indicazioni sulla resistenza superficiale delle superfici delle discontinuità.

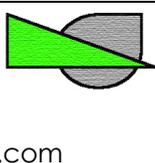
Studio di Ingegneria Valentino Via Masa 8, Calcio (BG) P. IVA 10350130018 +39.348.90.47.032 valentino.daniele@gmail.com		Object: Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo e analisi di stabilità dei fronti, presso la cava 37 – Fossa Grande.	7
---	--	--	---

Tabella 1: Profili discontinuità rilevati mediante pettine di Barton.

Rilievo del profilo JRC (Joint Roughness Coefficient)		
# ID	Traccia	JRC
		10 cm
1		4-6
2		6-8
3		8-10
4		6-8

Il valore delle JRC misurato sulle fratture indicate in tabella è stato reso possibile mediante un pettine di Barton con lunghezza 30 cm, si considera questo strumento più rappresentativo dei normali strumenti di lunghezza standard.

In base alle misure registrate, il JRC medio registrato è pari a JRC 6-8.

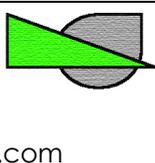
Tabella 2: misure impulsive su discontinuità, valore medio corretto, rilevate mediante sclerometro.

Famiglia	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10	media	Dev. St
K3,2	51,0	52,0	37,3	55,2	44,7	40,5	42,6	40,5	40,5	40,5	47,8	6,0
K2	49,9	36,3	30,3	46,8	47,8	51,0	55,2	49,9	47,8	47,8	45,9	7,4
K4	42,6	43,6	44,7	47,8	45,7	40,5	44,7	46,8	41,5	48,9	43,8	2,7
K1	45,7	35,2	47,8	51	49,9	43,6	53,1	54,1	48,9	38,4	49,3	6,1

Il coefficiente JRC si ottiene confrontandolo i profili tipo riportati nelle raccomandazioni ISRM con quelli ottenuti sperimentalmente, mentre invece il parametro JCS si ottiene dalle letture mediante sclerometro, opportunamente corrette in base alla posizione del martello durante l'esecuzione della prova e poi mediante la formula di seguito riportata (eq 1) la quale definisce il coefficiente JCS.

$$\log(JCS) = 8.8 \times 10^{-4} \times \gamma \times R + 1.01 \quad \text{eq.1}$$

Una volta ottenuti i parametri JRC e JCS è possibile determinare l'angolo di attrito medio su una discontinuità noto quello di base, valutato su una superficie levigata, e considerando il contributo della ondulazione della discontinuità e della relativa resistenza.

Studio di Ingegneria Valentino Via Masa 8, Calcio (BG) P. IVA 10350130018 +39.348.90.47.032 valentino.daniele@gmail.com		Object: Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo e analisi di stabilità dei fronti, presso la cava 37 – Fossa Grande.	8
---	--	--	---

A tal fine, possiamo sfruttare l'equazione suggerita da Barton e riportata di seguito:

$$\phi = \phi_{base} + JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \quad \text{eq.2}$$

dove i parametri JRC e JCS sono quelli appena descritti, l'angolo di attrito di base per materiali simili a quello presente in cava può essere assunto pari a 31°, mentre il valore di σ_n (cioè la pressione ortogonale media agente sulla discontinuità), pertanto in questo caso è variabile ma è possibile considerarlo costante, ovviamente con un'approssimazione cautelativa che prevede di considerare durante gli stendimenti in calata un carico litostatico proporzionale a 20 m di copertura ($\sigma = 0,54$ MPa).

Tabella 3: quadro sinottico delle famiglie di discontinuità e valori geomeccanici caratteristici*

Famiglia	JRC minimo	JRC medio	JCS minimo	JCS medio	Φ_{min}	Φ_{med}
K ₁	7	6	43.6	46.4	42.4	44.5
K ₂	7	6	30.2	33.9	41.5	43.6
K ₃₋₁	7	6	38.3	41.7	42.1	44.2
K ₃₋₂	7	6	46.3	49.3	42.6	44.7
K ₄	7	6	46.3	49.4	42.6	44.7

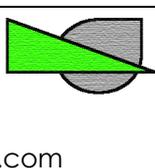
*i risultati esposti tengono in considerazione anche i dati sperimentali rilevati durante le precedenti campagne di misurazione e che costituiscono la base dati del sito in esame.

A livello di ammasso roccioso a grande scala esso si caratterizza per una buona compattezza e condizioni geomeccaniche soddisfacenti; la fratturazione non è particolarmente intensa, anche se sono presenti alcune zone a maggiore intensità che in passato sono state oggetto di consolidamento preventivo.

Per l'analisi in esame è stato fatto riferimento a valori di resistenza meccanica di materiali simili, con tessitura e formazione comparabili, applicando opportuni fattori di riduzione dei parametri a titolo puramente cautelativo. La tabella seguente illustra i parametri di resistenza dell'ammasso roccioso in esame.

Tabella 4: parametri di resistenza caratteristica dell'ammasso roccioso e utilizzati per la modellazione FEM.

Descrizione	Coesione [MPa]	Angolo di attrito [°]
Ammasso roccioso	0,35	40°
Discontinuità principali	0,15	31°

Studio di Ingegneria Valentino Via Masa 8, Calcio (BG) P. IVA 10350130018 +39.348.90.47.032 valentino.daniele@gmail.com		Object: Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo e analisi di stabilità dei fronti, presso la cava 37 – Fossa Grande.	9
---	--	--	---

4. Analisi dell'assetto tensionale a grande scala della cava Fossa Grande mediante modellazione FEM.

Come anticipato nella premessa, l'analisi in oggetto vuole valutare l'andamento dello stato tensionale al contorno dello scavo sia nella configurazione attuale che quella relativa al nuovo progetto.

Tale analisi ha riguardato nello specifico N° 3 sezioni verticali considerate rappresentative, ovvero Sezion1, Sezion2, Sezion3 (figura 1).

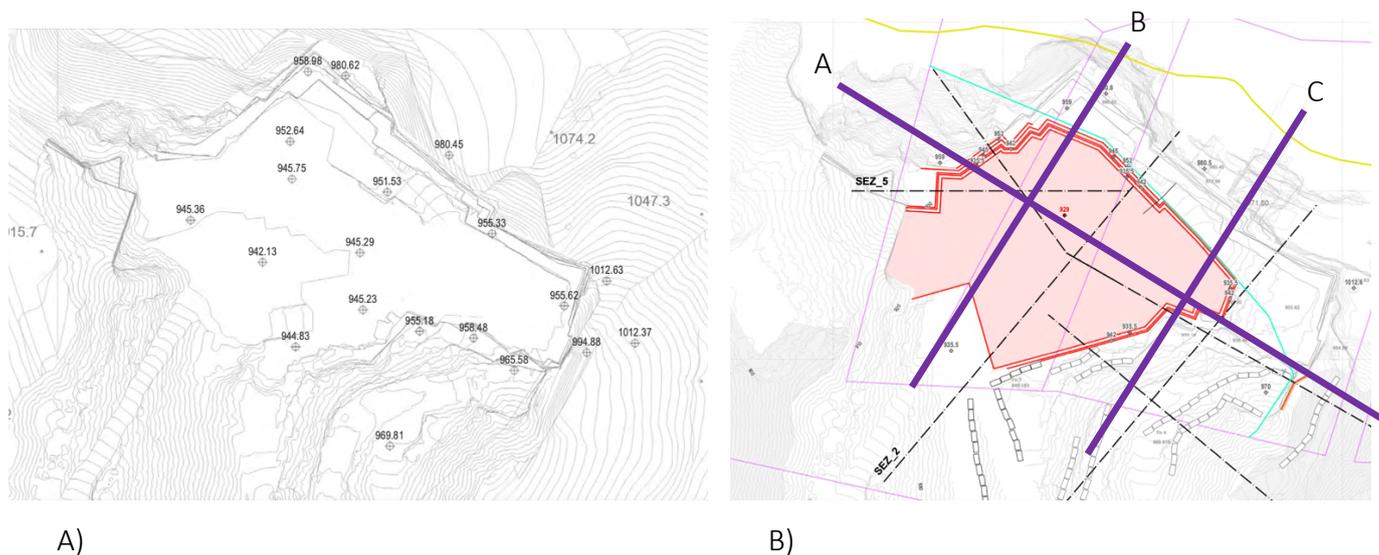


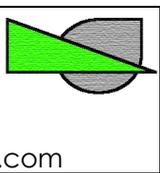
fig.3: A) stralcio della situazione topografica attuale della cava N°37 Fossa Grande. B) in evidenza le sezioni utilizzate nel modello FEM.

4.1 Introduzione al metodo degli elementi finiti (FEM) definizione dei parametri di progetto.

Come già anticipato, e per la maggior parte dei problemi di ingegneria delle rocce, quando è necessario stimare il regime tensio-deformativo, si riscontra l'assenza di soluzioni analitiche alle equazioni che regolano i modelli comportamentali dell'ammasso roccioso. Questa situazione può interessare sia le condizioni al contorno del modello sia il comportamento intrinseco dell'ammasso stesso.

In tali casi, l'utilizzo di tecniche numeriche per risolvere le equazioni differenziali diventa indispensabile, rendendo necessario ricorrere a codici di calcolo dedicati.

Il metodo numerico FEM impiegato in ambito della meccanica delle rocce è caratterizzato dal fatto che ogni equazione differenziale che descrive il problema viene rappresentata tramite espressioni algebriche, in termini di variabili di campo, calcolate in punti discreti dello spazio. Ogni elemento di calcolo, con cui si suddivide l'ammasso roccioso in analisi, riproduce in modo approssimato il comportamento fisico e meccanico

Studio di Ingegneria Valentino Via Masa 8, Calcio (BG) P. IVA 10350130018 +39.348.90.47.032 valentino.daniele@gmail.com		Object: Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo e analisi di stabilità dei fronti, presso la cava 37 – Fossa Grande.	10
---	--	--	----

della regione corrispondente, grazie a un insieme di nodi che collegano e semplificano le infinite connessioni presenti nel mezzo continuo reale.

L'elemento numerico è quindi una sottoregione in cui si descrivono in modo semplice le funzioni incognite rappresentate dagli spostamenti.

Il metodo del dominio impiegato in questa sede è il metodo agli elementi finiti (FEM), come detto il dominio del problema è suddiviso in elementi discreti che forniscono una forma approssimata della continuità tensionale e deformativa dell'ammasso roccioso. Le equazioni sono scritte relativamente ai nodi della discretizzazione e sui quali gli elementi fanno perno.

Le equazioni relazionano gli spostamenti nodali a forze ottenute per intersezione sugli elementi delle forze di massa attraverso la cosiddetta matrice di rigidezza.

In estrema sintesi le due espressioni algebriche riportate di seguito riportano l'essenza del metodo di calcolo:

$$\sigma = D\varepsilon \quad (\text{eq 3})$$

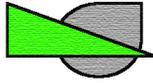
da questa espressione si evince che lo stato tensionale si ricava tramite la relazione tensioni-deformazioni, dove D è la matrice di rigidezza che, per il caso di deformazione piana per un mezzo isotropo lineare elastico (ILE), è pari a:

$$D = \frac{E(1 - \nu)}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{1 - \nu} & 0 \\ \frac{\nu}{1 - \nu} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1 - 2\nu}{2(1 - \nu)} \end{bmatrix} \quad (\text{eq 4})$$

con E , ν le costanti elastiche del materiale.

L'applicazione di questi metodi numerici consente anche di tenere in considerazione la presenza di giunti o fratture. Ovviamente sarà necessario inserire i parametri di rigidezza della discontinuità e rimodulare l'espressione della matrice riportata nell'equazione 2, ma soprattutto nel caso in esame è un aspetto di fondamentale importanza vista la persistenza di alcuni giunti presenti nell'ammasso roccioso della cava Fossa Grande.

Si precisa che, in sede di calcolo, la persistenza dei giunti rilevati in galleria è stata considerata molto più estesa rispetto a quanto rinvenibile sulle pareti. Questo approccio è sicuramente cautelativo poiché da un lato tende ad accentuare il comportamento dei giunti sull'assetto tensio-deformativo dell'ammasso, e dall'altro si sottolinea che difficilmente la persistenza di questi giunti potrà essere così elevata nella realtà.



Nelle pagine seguenti si riportano le sezioni dei modelli FEM utilizzati per l'analisi tensio- deformativa della sezione rappresentativa della cava in esame.

4.2 *Analisi delle sezioni rappresentative della cava Fossa Grande*

Le figure riportate nelle pagine seguenti mostrano il risultato delle analisi condotte mediante il modello FEM realizzato.

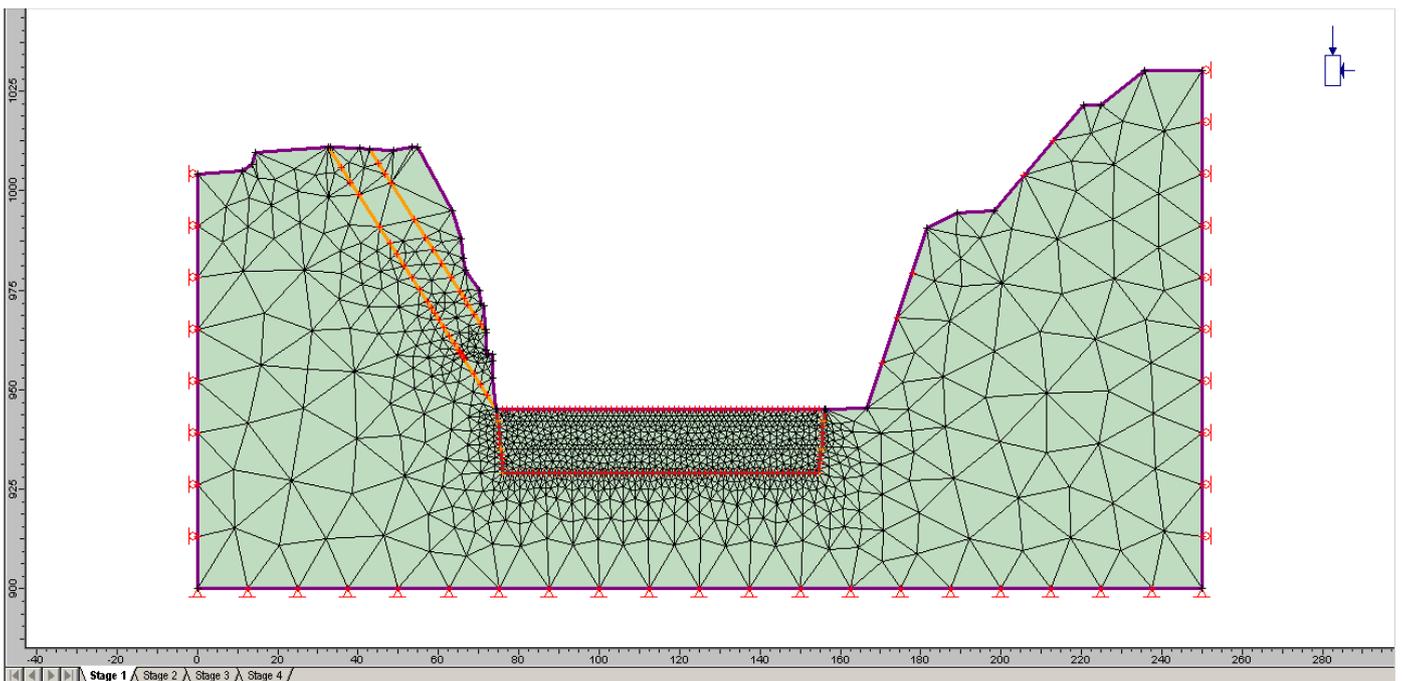


fig.4: mesh del modello FEM realizzato in corrispondenza della sezione rappresentativa A-A.

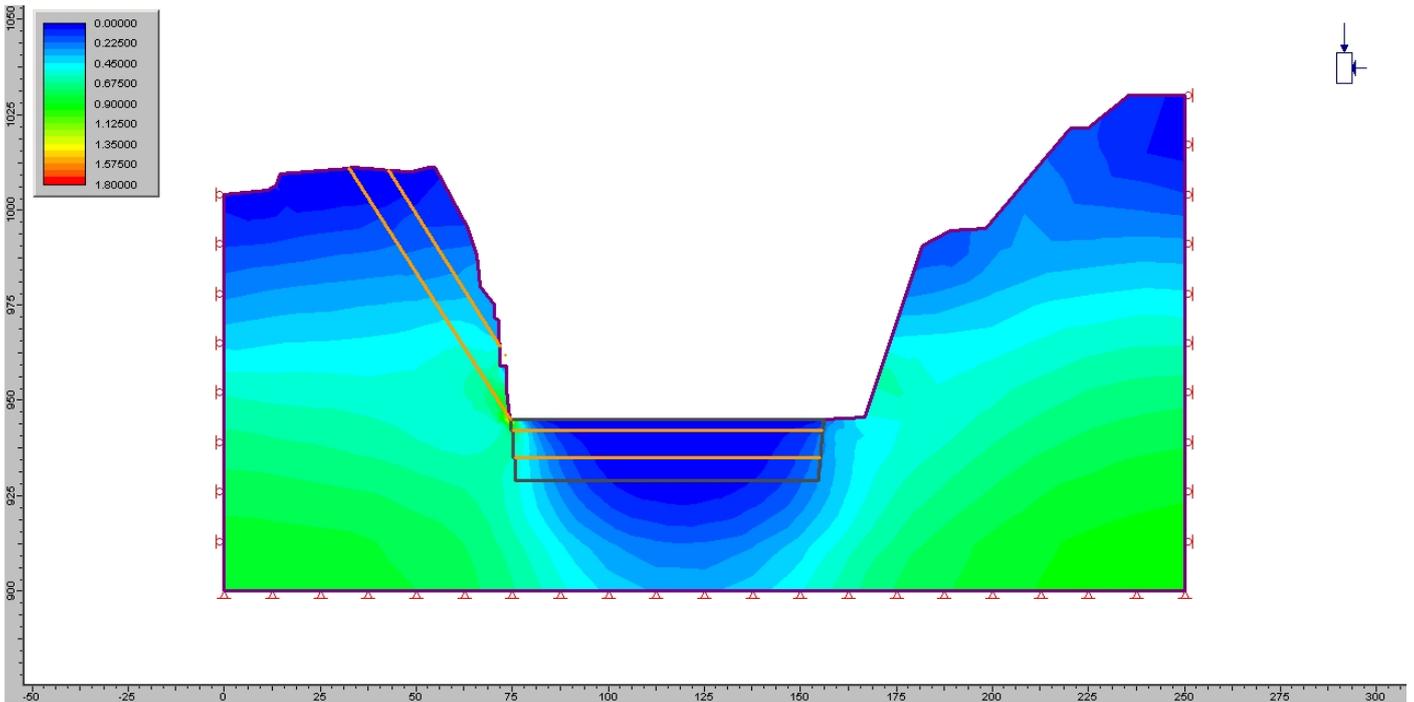
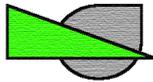


Fig. 5: sez. A-A, andamento dello sforzo deviatorico parallelo al piano del modello con evidenza delle fasi di escavo (stage attuale)

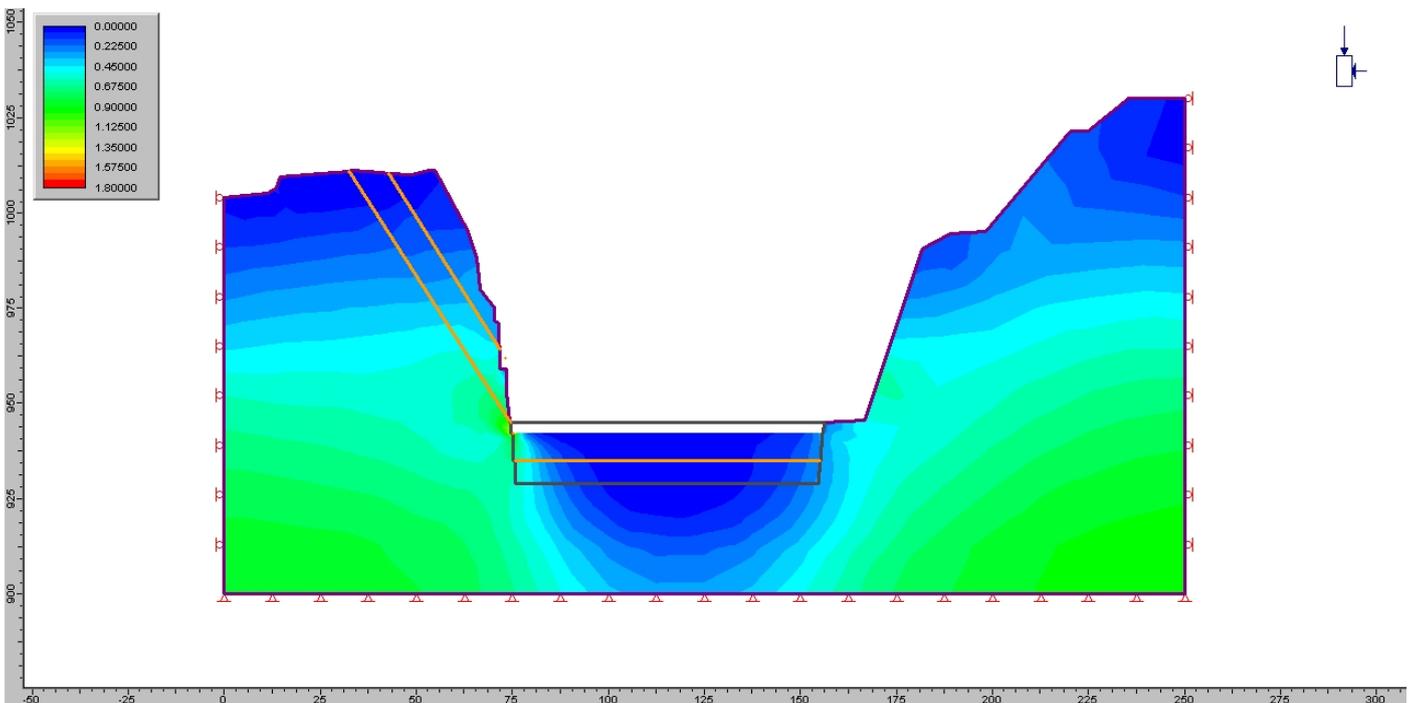


fig. 6: sez. A-A, andamento dello sforzo deviatorico parallelo al piano del modello con evidenza delle fasi di escavo (stage 942 m s.l.m)

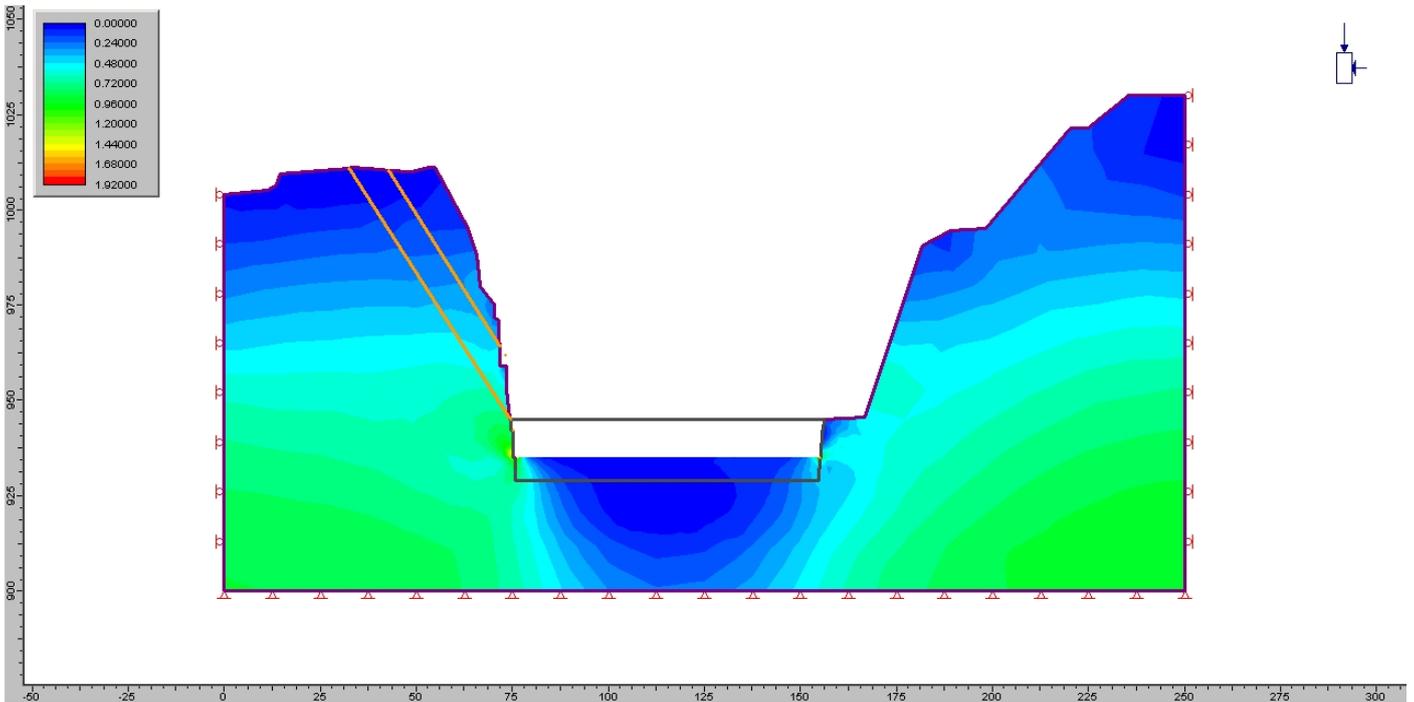
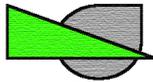


fig. 7: sez. A-A, andamento dello sforzo deviatorico parallelo al piano del modello con evidenza delle fasi di escavo (stage 935,5 m slm)

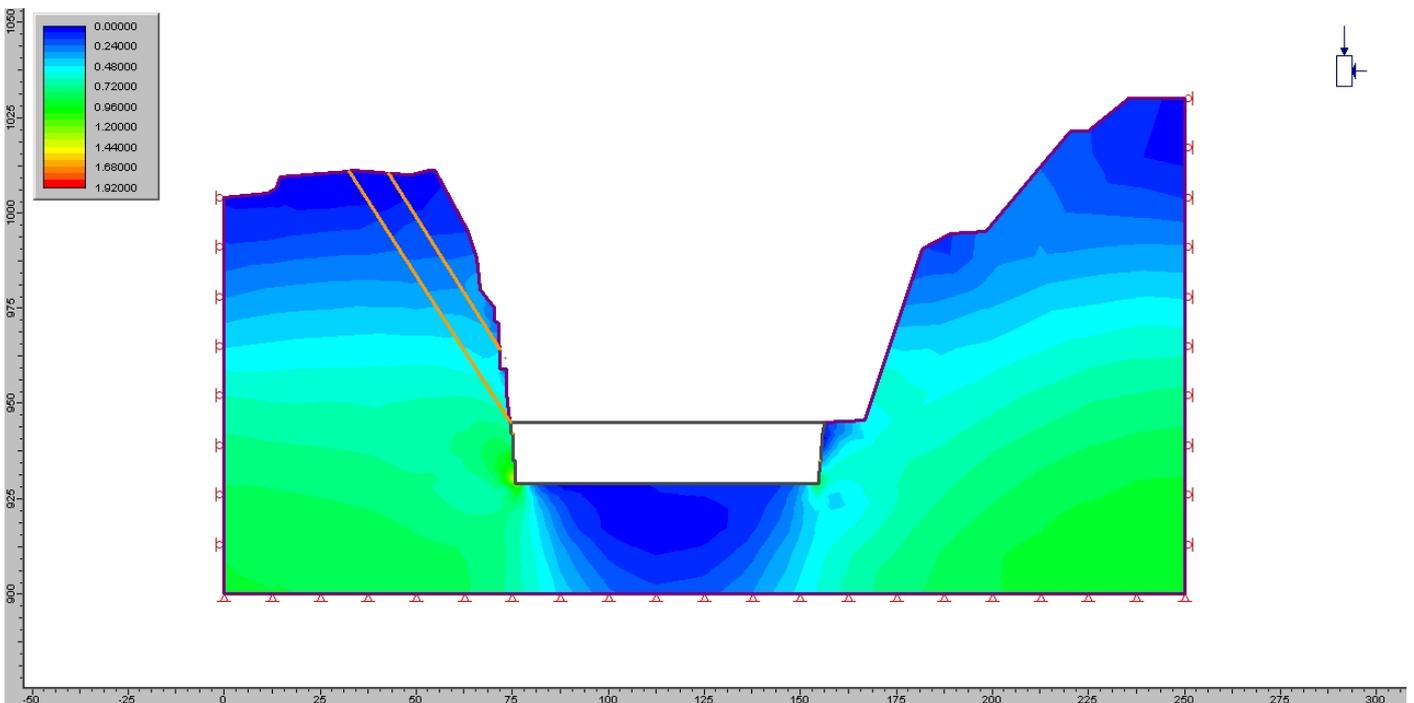


fig. 8: sez. A-A, andamento dello sforzo deviatorico parallelo al piano del modello con evidenza delle fasi di escavo (stage 929 m slm)

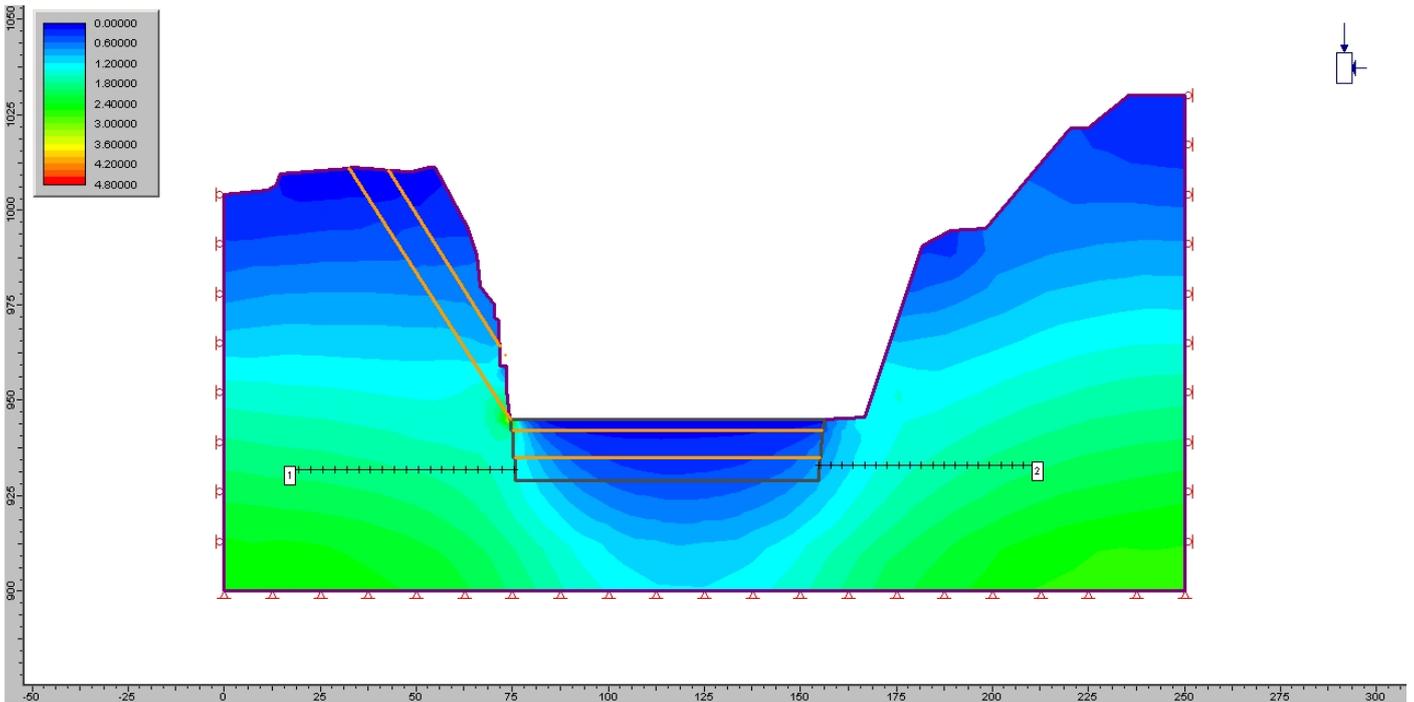
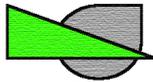


fig. 9: sez. A-A, posizione degli allineamenti lungo i quali sono state fatte delle valutazioni di stato di sforzo incrementale.

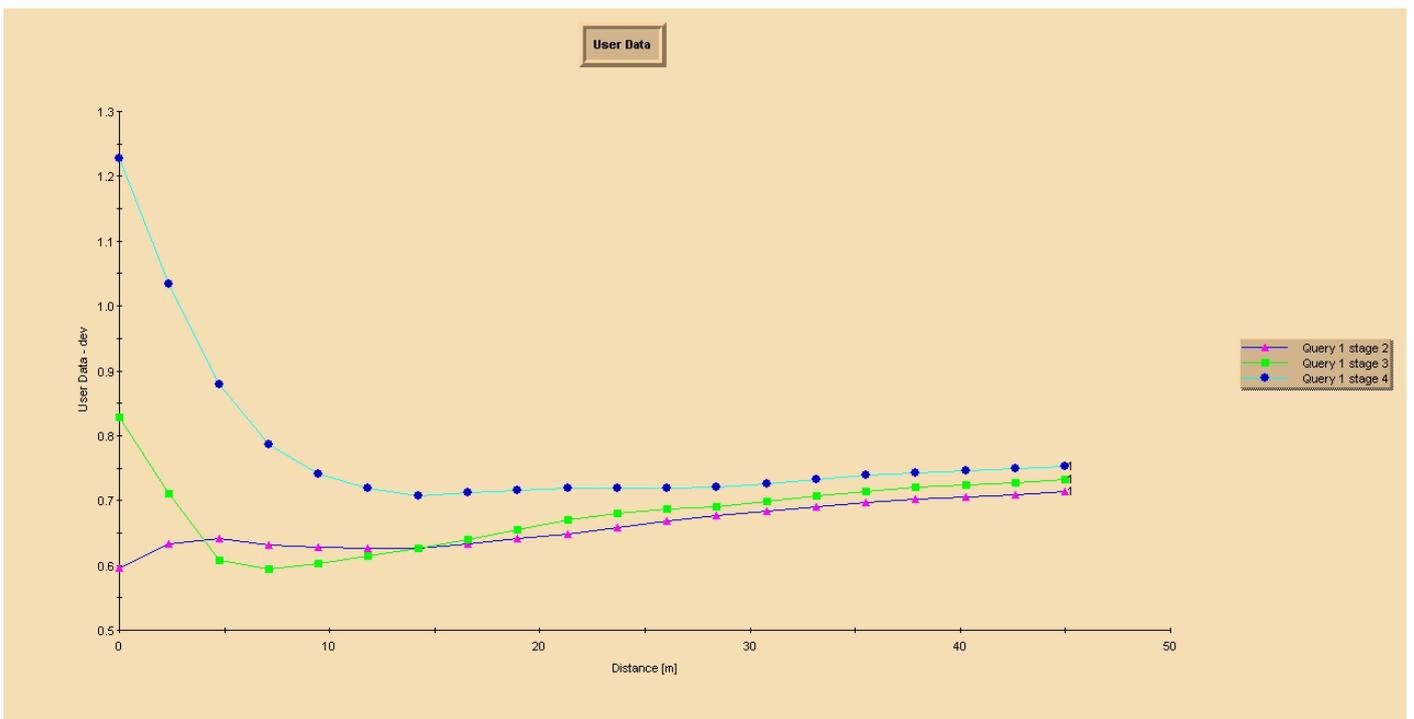


fig. 10: sez. A-A, andamento dello sforzo deviatorico lungo la query 1 nelle diverse fasi del progetto

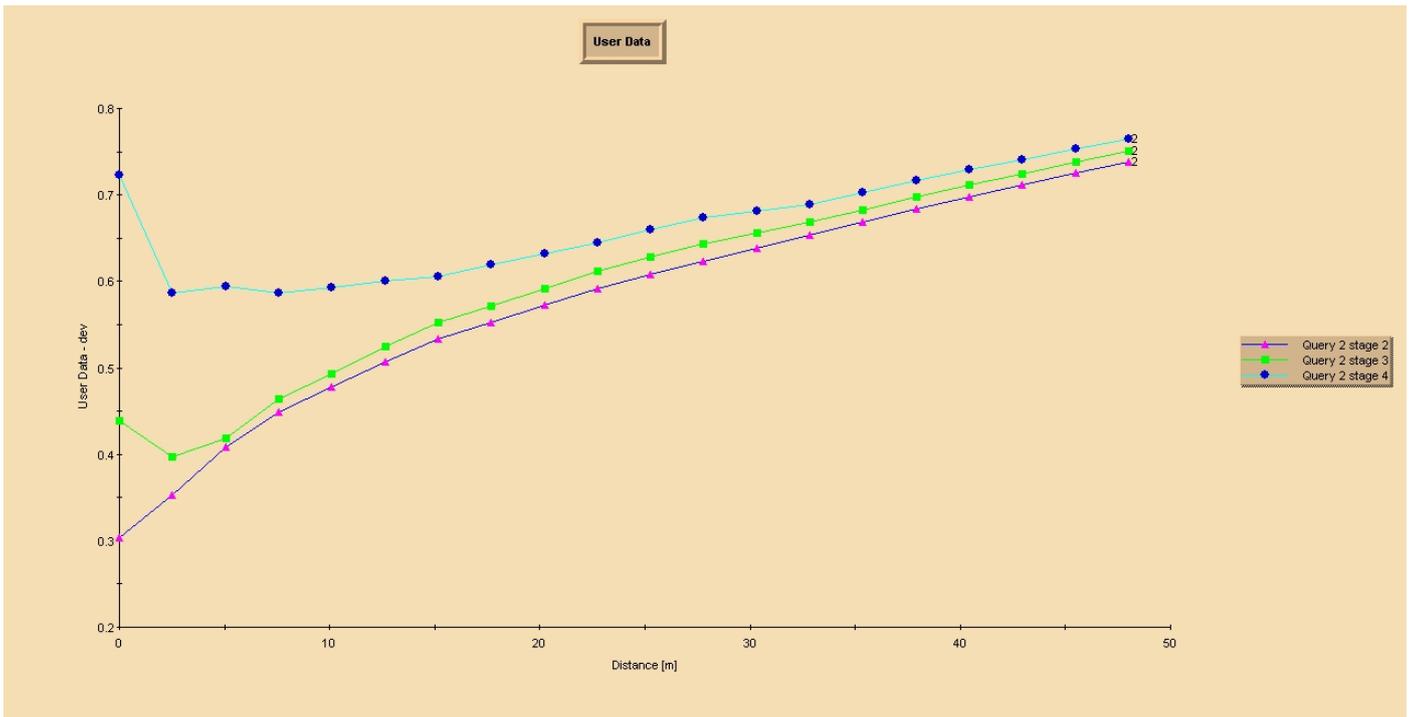
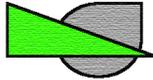


fig. 11: fig. 14: sez. A-A, andamento dello sforzo deviatorico lungo la query 2 nelle diverse fasi del progetto

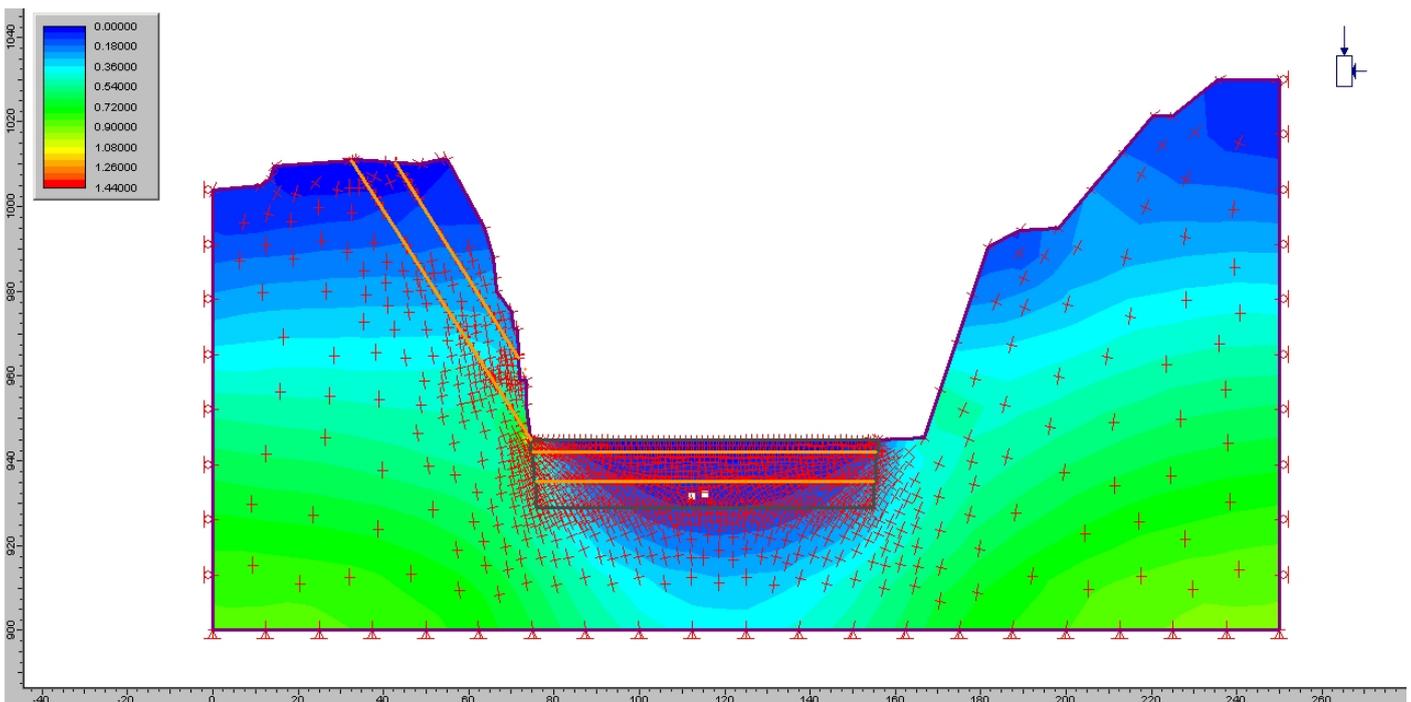


fig. 12: sez. A-A, andamento delle sollecitazioni principali massime nella fase attuale

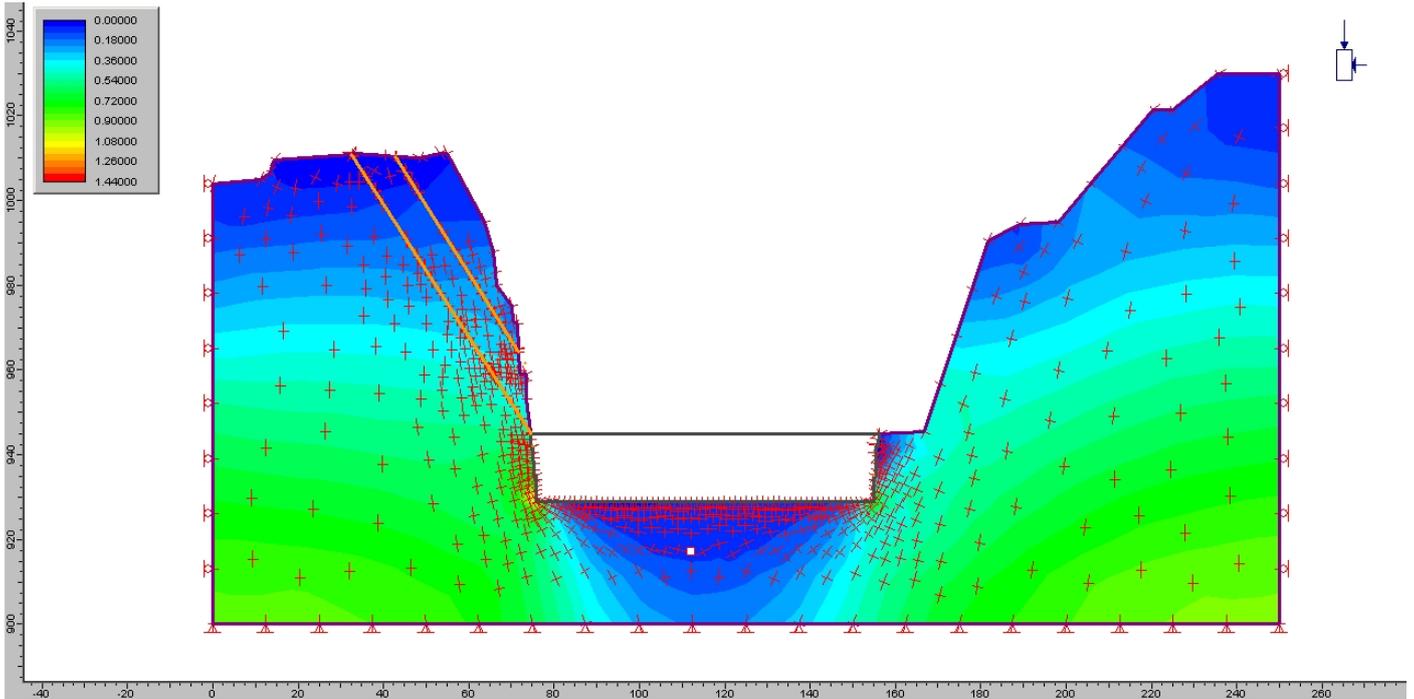
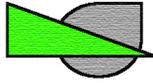


fig. 13: sez. A-A, andamento delle sollecitazioni principali massime nella fase posto escavo

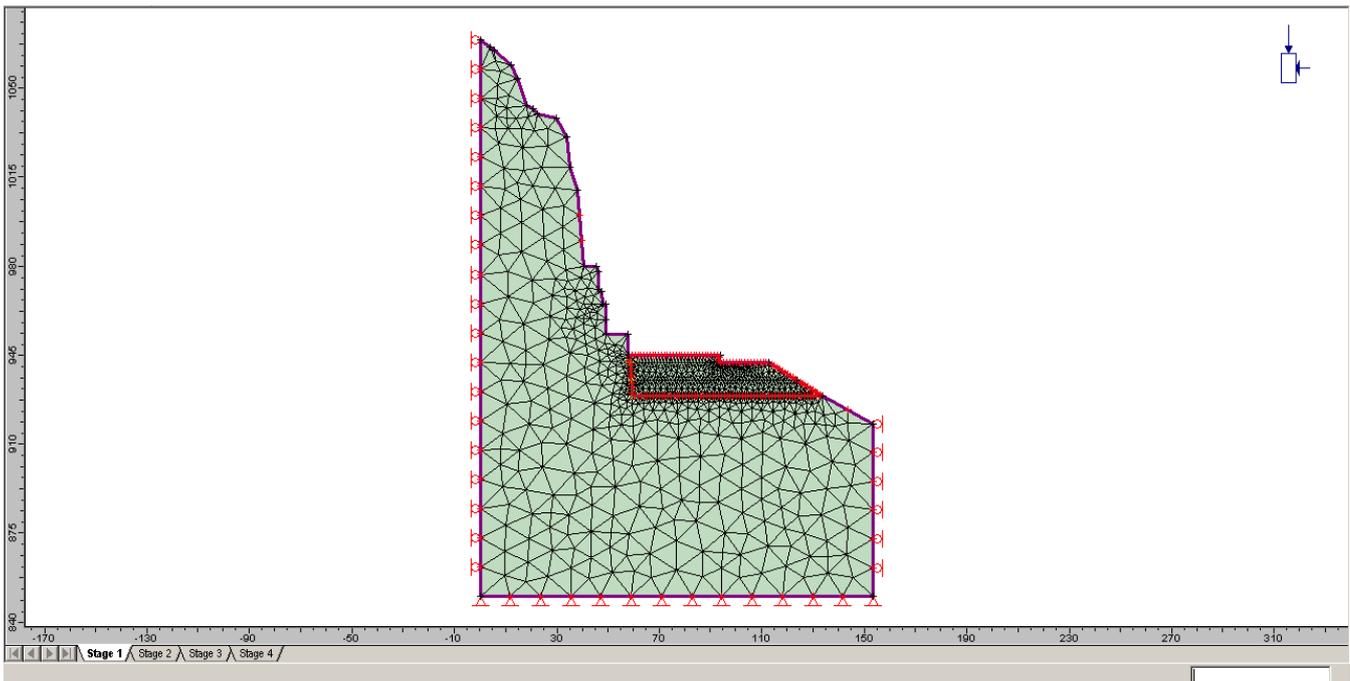


fig.14: dettaglio della mesh del modello FEM realizzato in corrispondenza della sezione rappresentativa B-B.

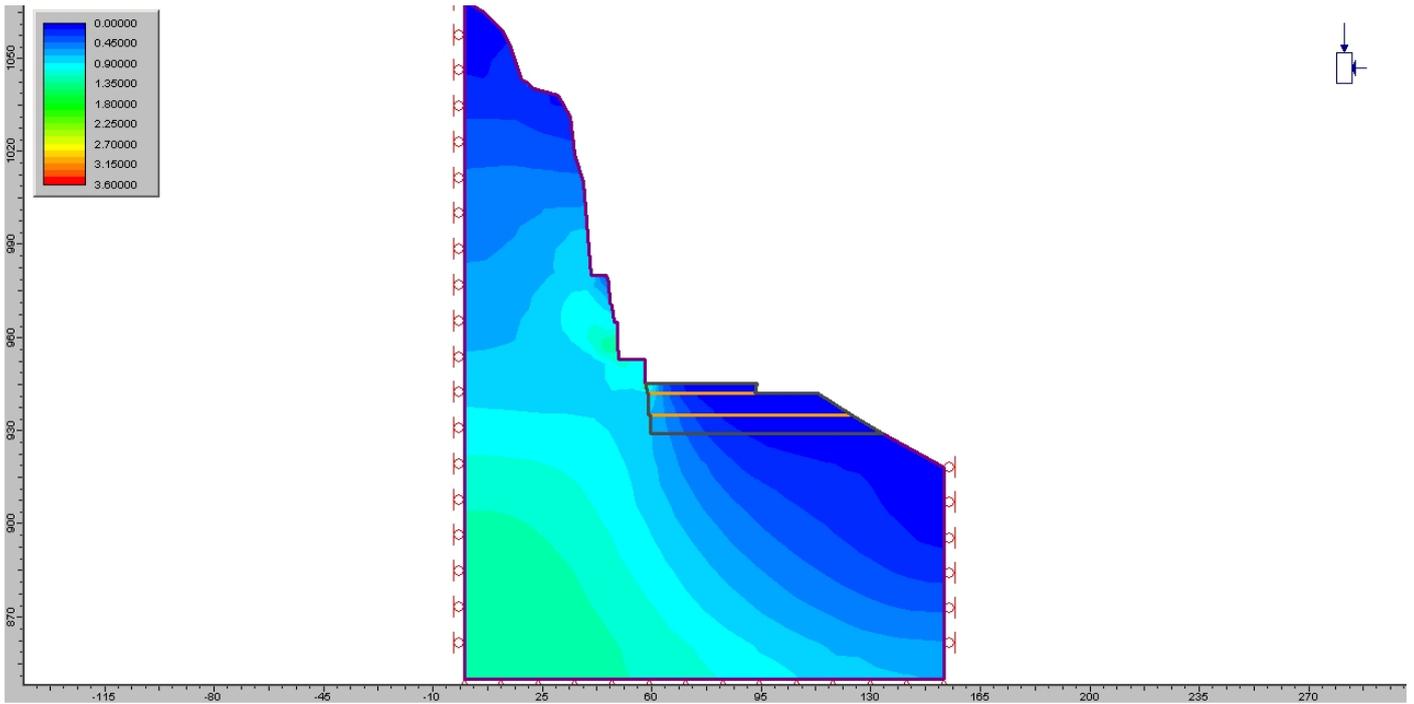
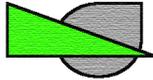


Fig. 15: sez. B-B, andamento dello sforzo deviatorico parallelo al piano del modello con evidenza delle fasi di escavo (stage attuale)

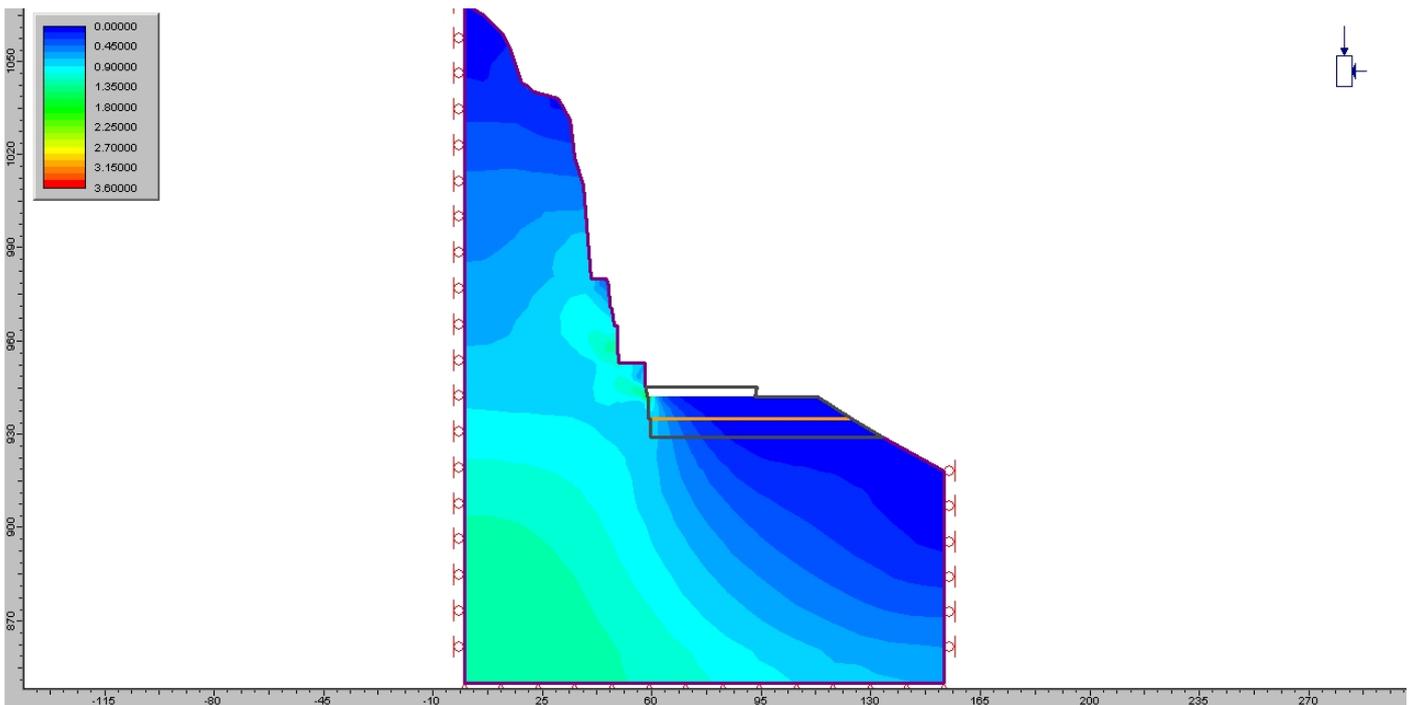


fig.16: sez. A-A, andamento dello sforzo deviatorico parallelo al piano del modello con evidenza delle fasi di escavo (stage 942).

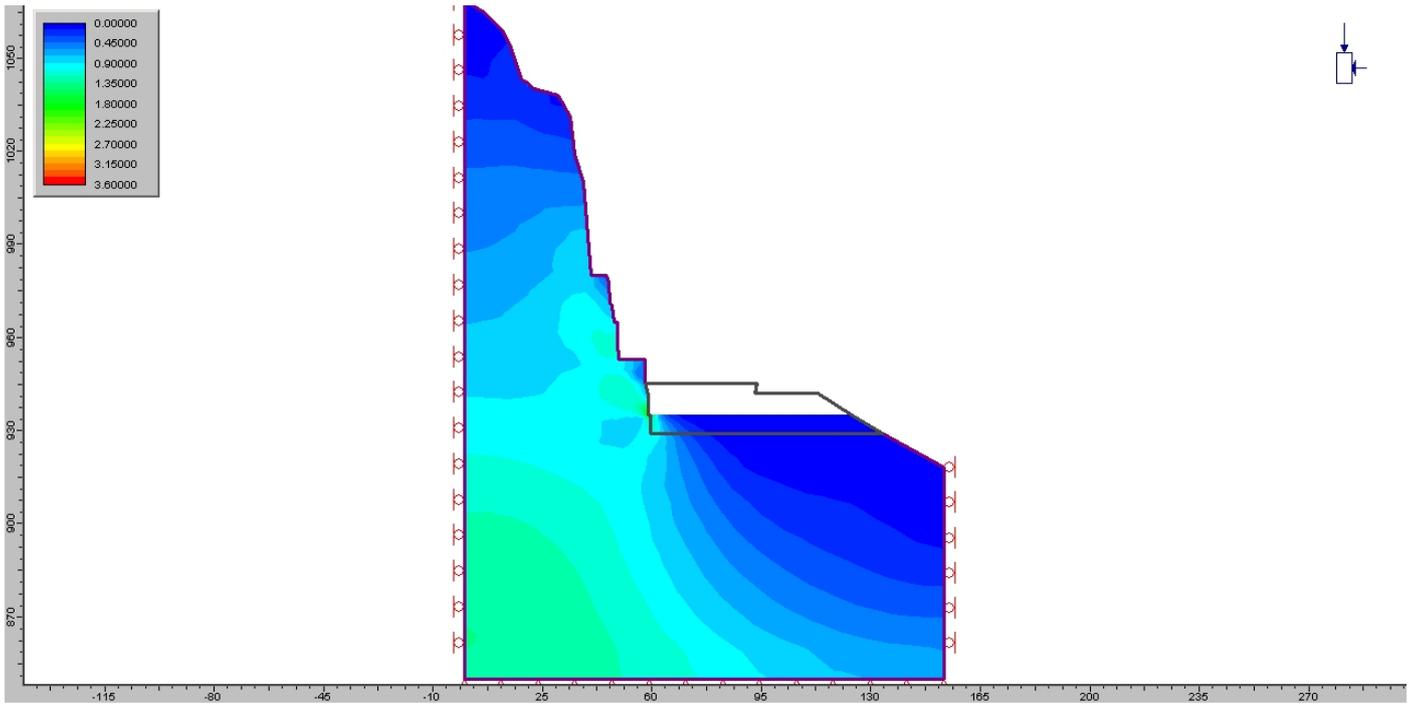
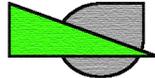


fig.17: sez. A-A, andamento dello sforzo deviatorico parallelo al piano del modello con evidenza delle fasi di escavo (stage 935,5).

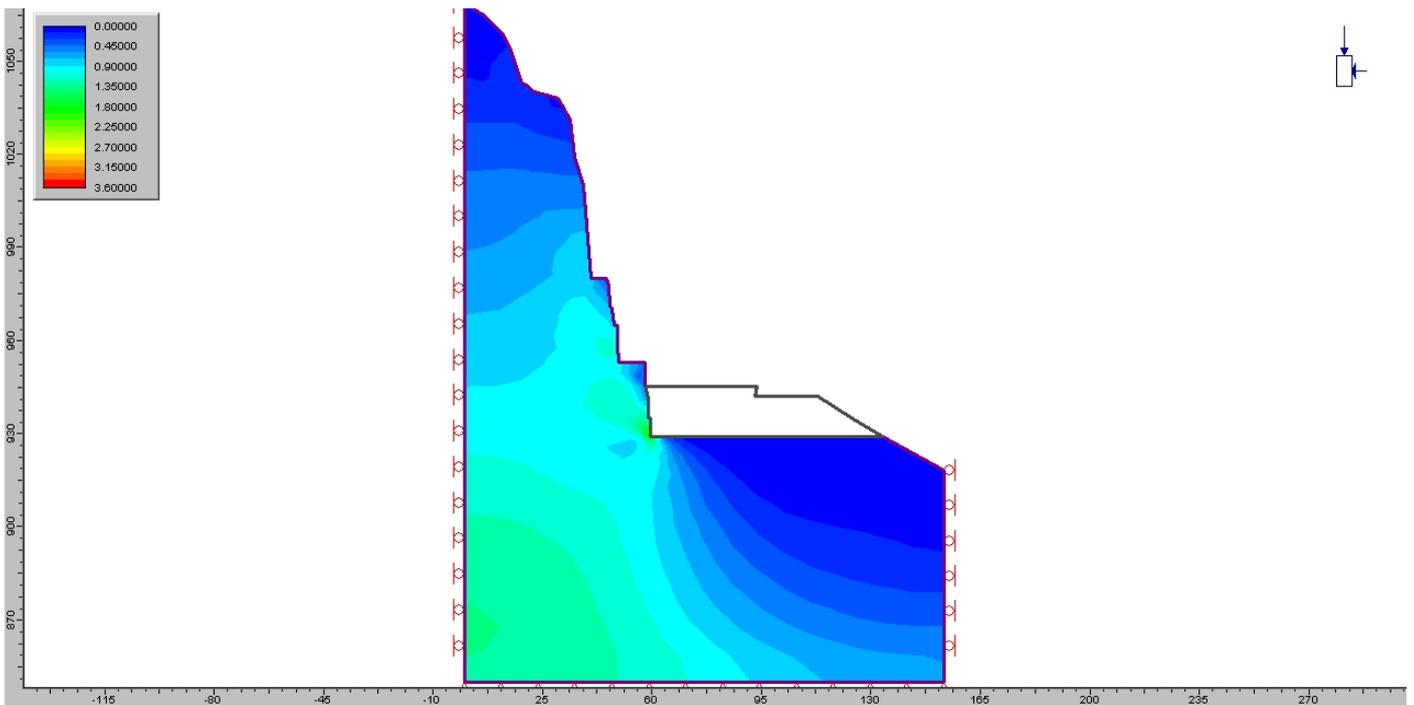


fig.18: sez. A-A, andamento dello sforzo deviatorico parallelo al piano del modello con evidenza delle fasi di escavo (stage 929).

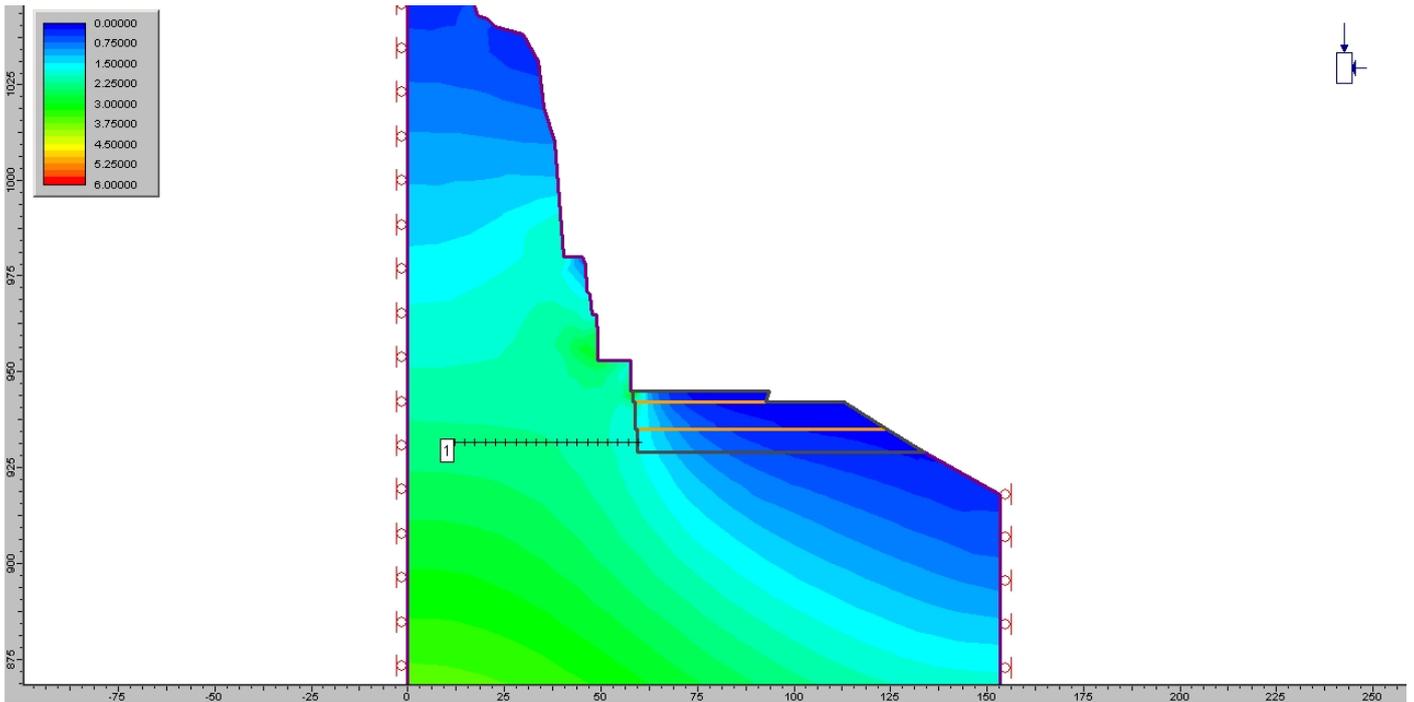
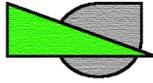


Fig. 19: sez. B-B, posizione degli allineamenti lungo i quali sono state fatte delle valutazioni di stato di sforzo incrementale.

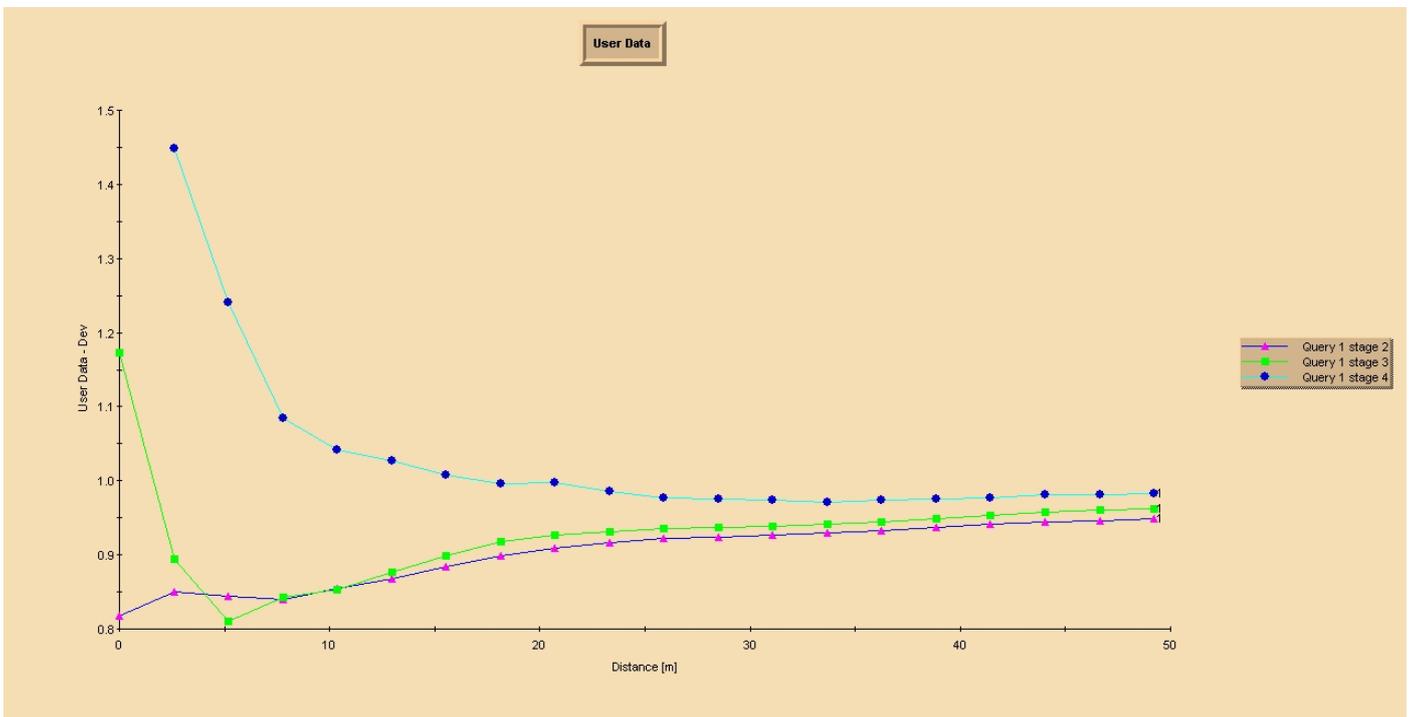


fig. 20: sez. B-B, andamento dello sforzo deviatorico lungo la query 1 nelle diverse fasi del progetto

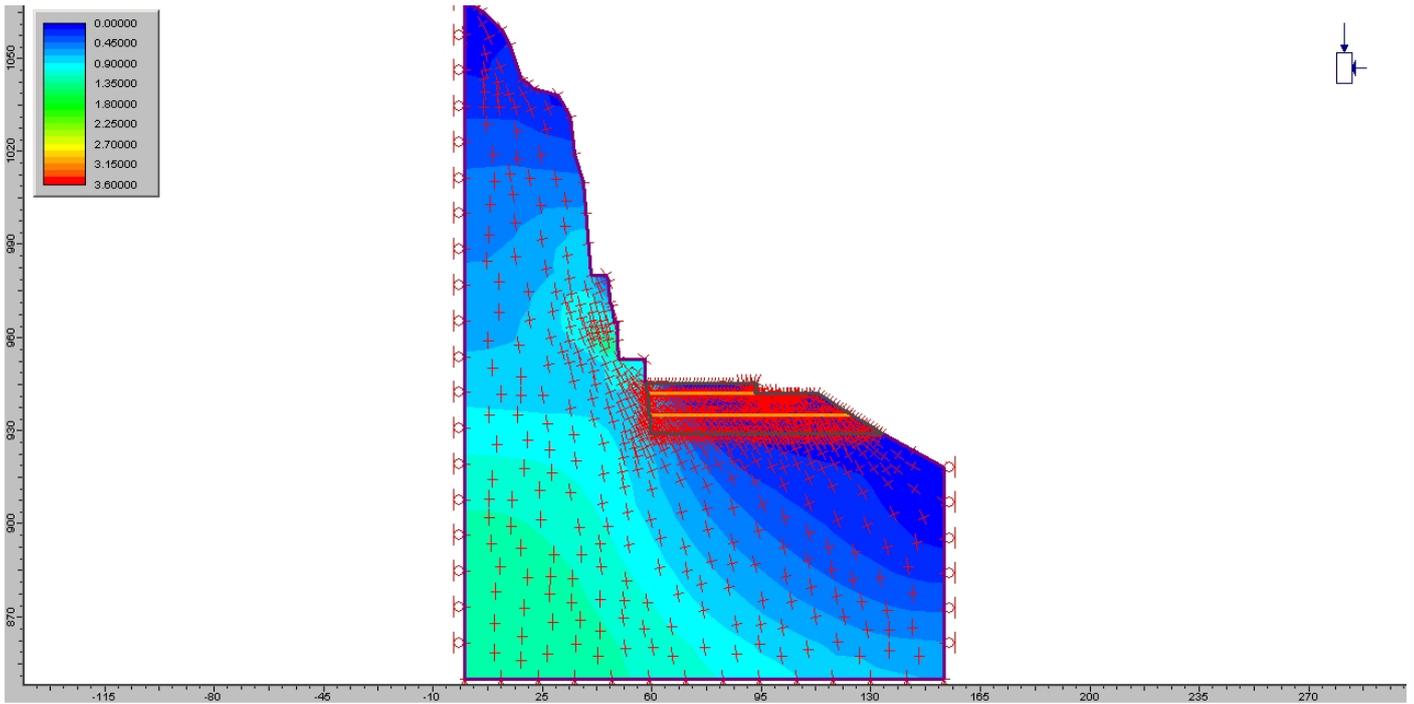
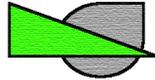


fig. 21: sez. B-B, andamento delle sollecitazioni principali massime nella fase attuale

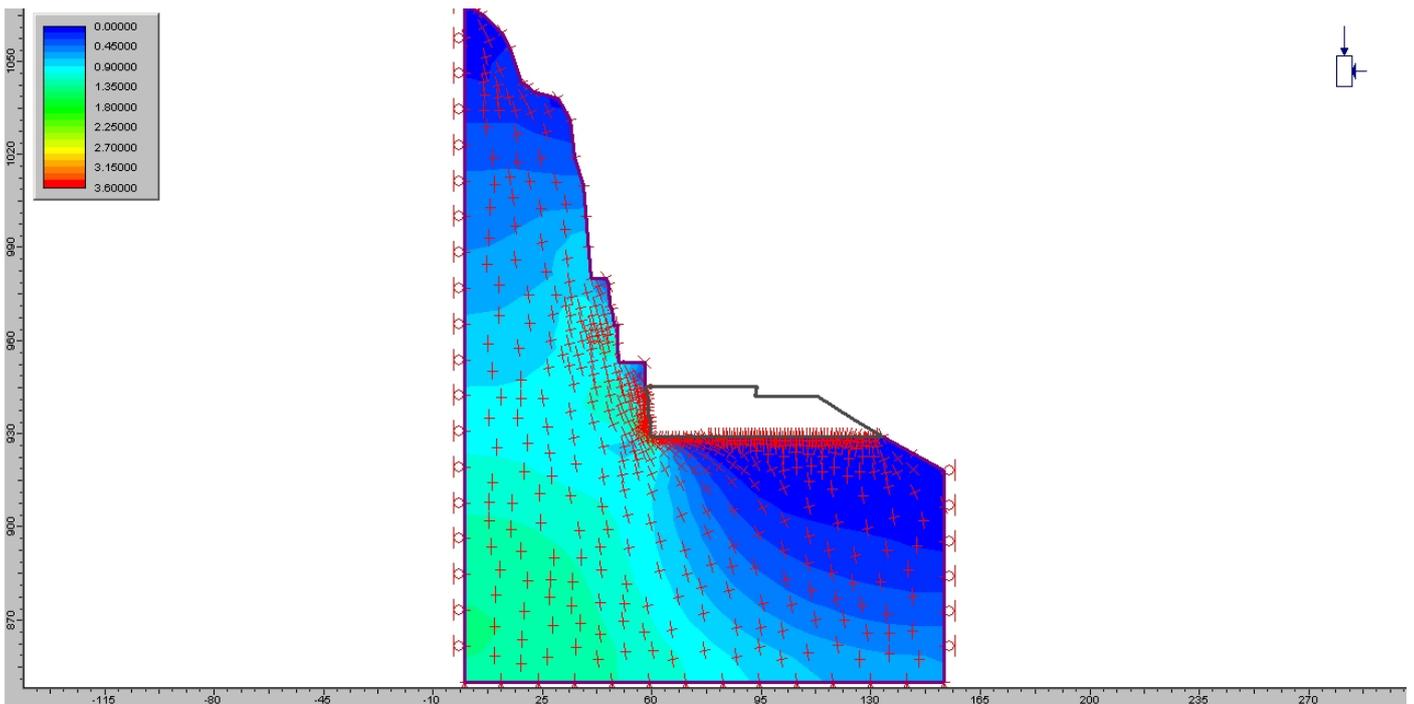


fig. 22: sez. B-B, andamento delle sollecitazioni principali massime nella fase post scavo

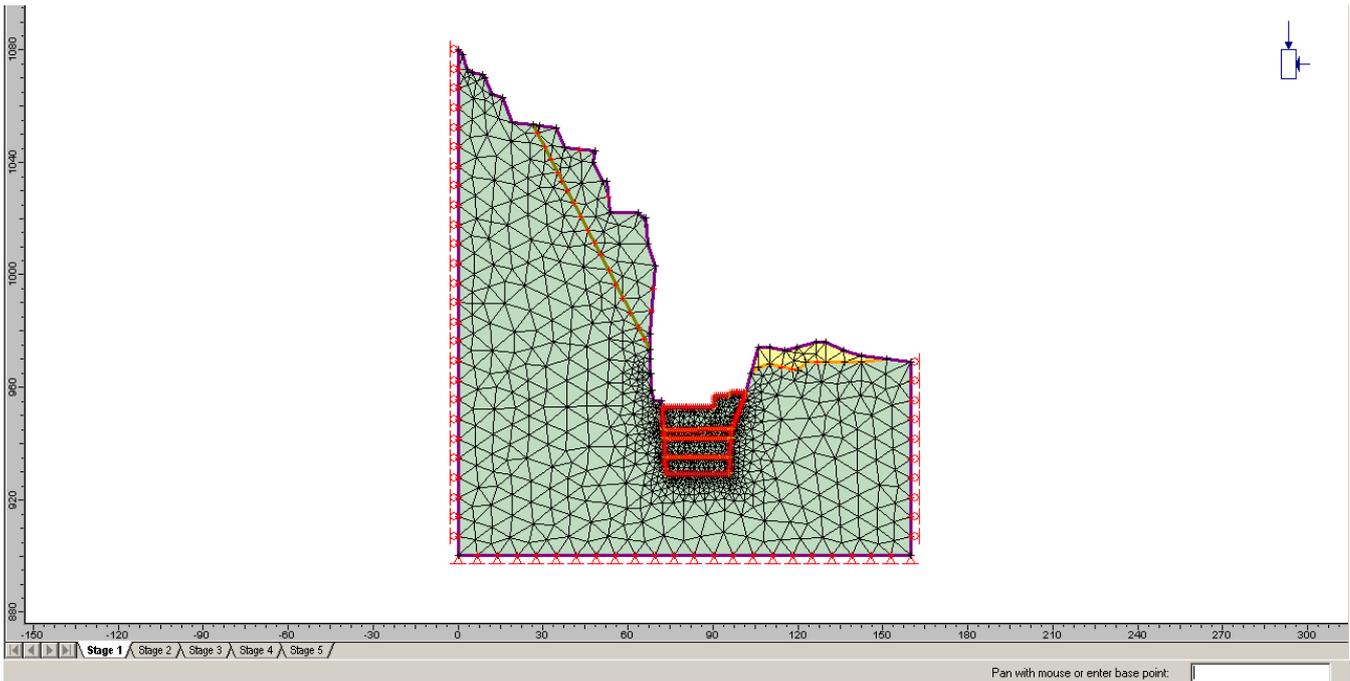
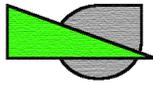


fig.23: dettaglio della mesh del modello FEM realizzato in corrispondenza della sezione rappresentativa C-C.

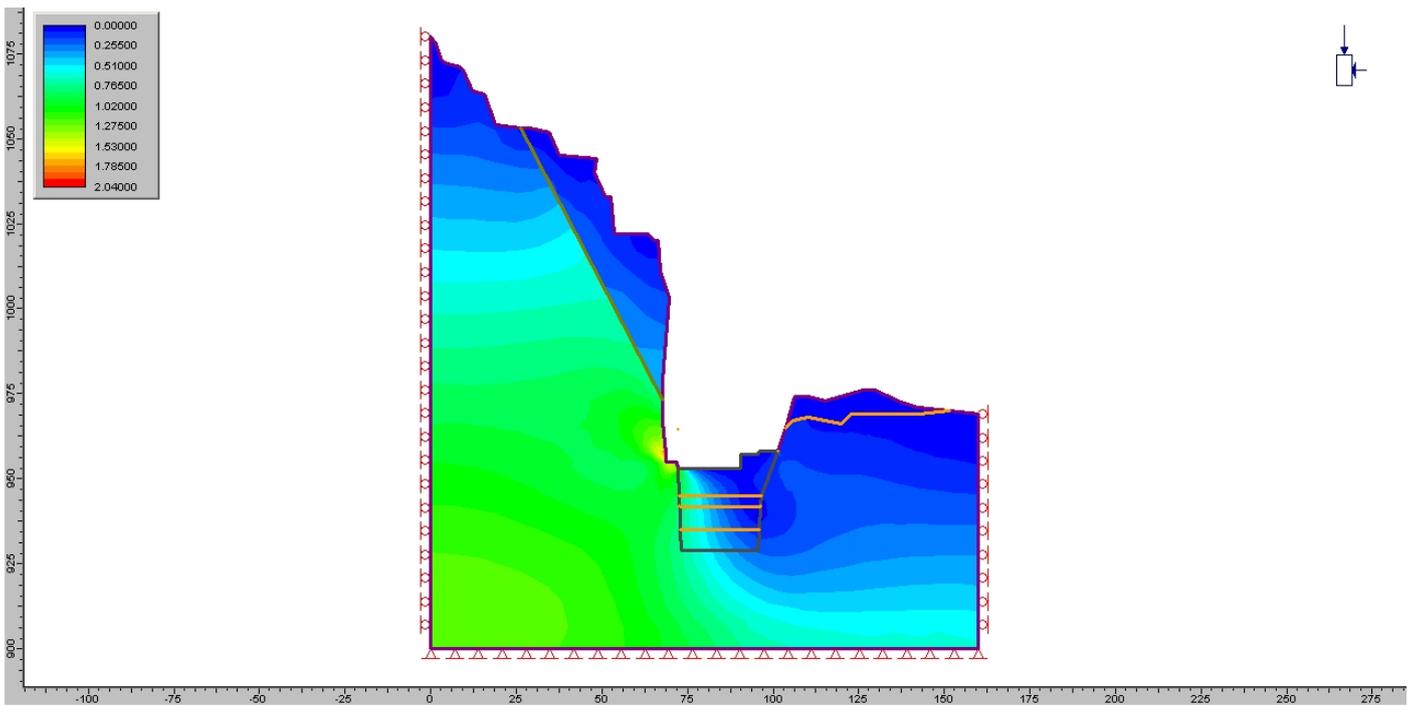


fig. 24: sez. C-C, andamento dello sforzo deviatorico parallelo al piano del modello con evidenza delle fasi di escavo (stage attuale)

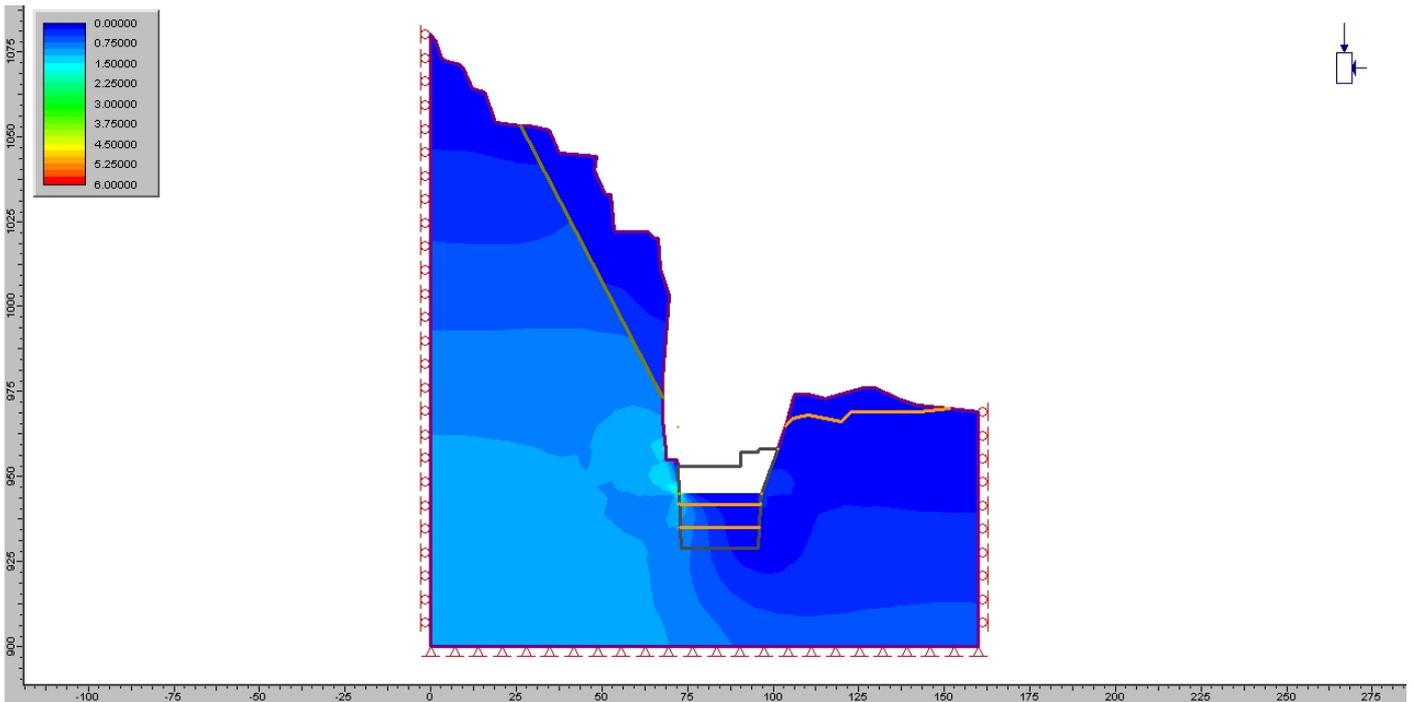
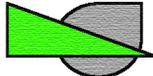


fig. 25: sez. C-C, andamento dello sforzo deviatorico parallelo al piano del modello con evidenza delle fasi di escavo (stage 945)

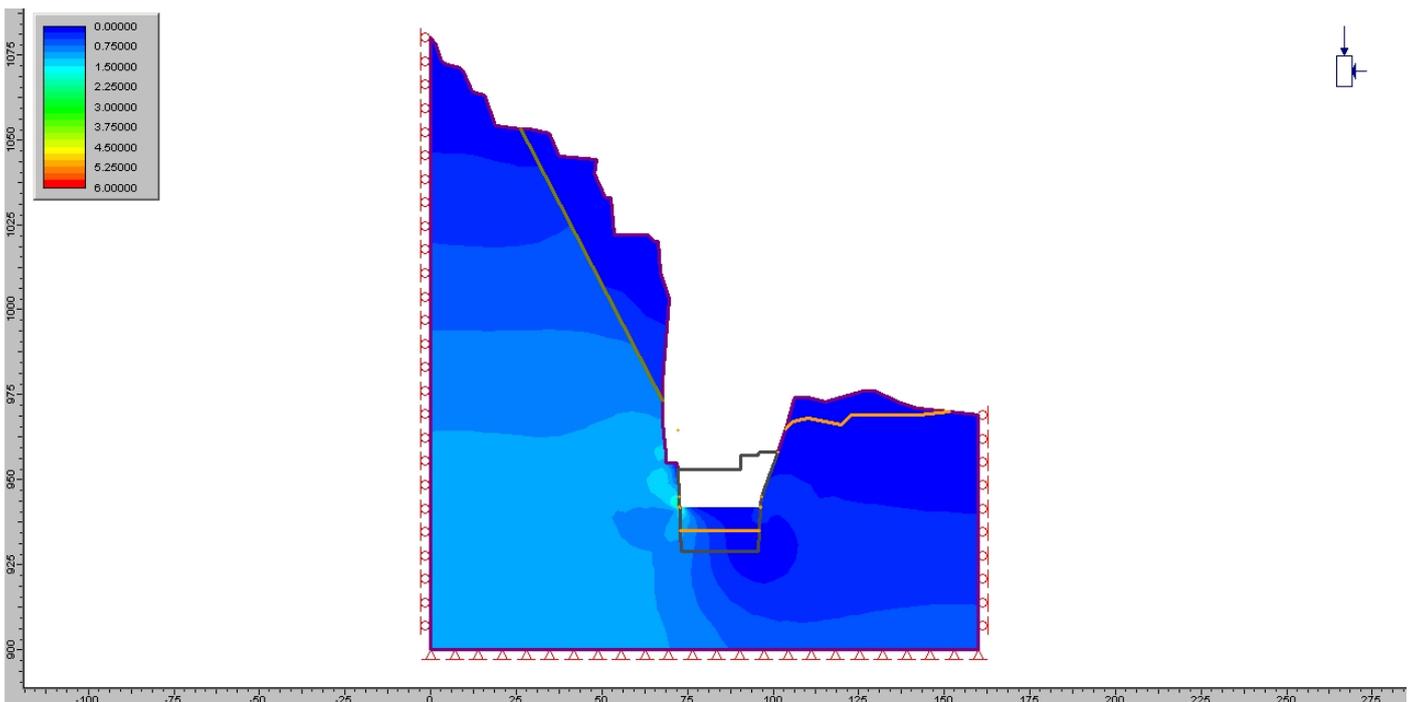


fig. 26: sez. C-C, andamento dello sforzo deviatorico parallelo al piano del modello con evidenza delle fasi di escavo (stage 942)

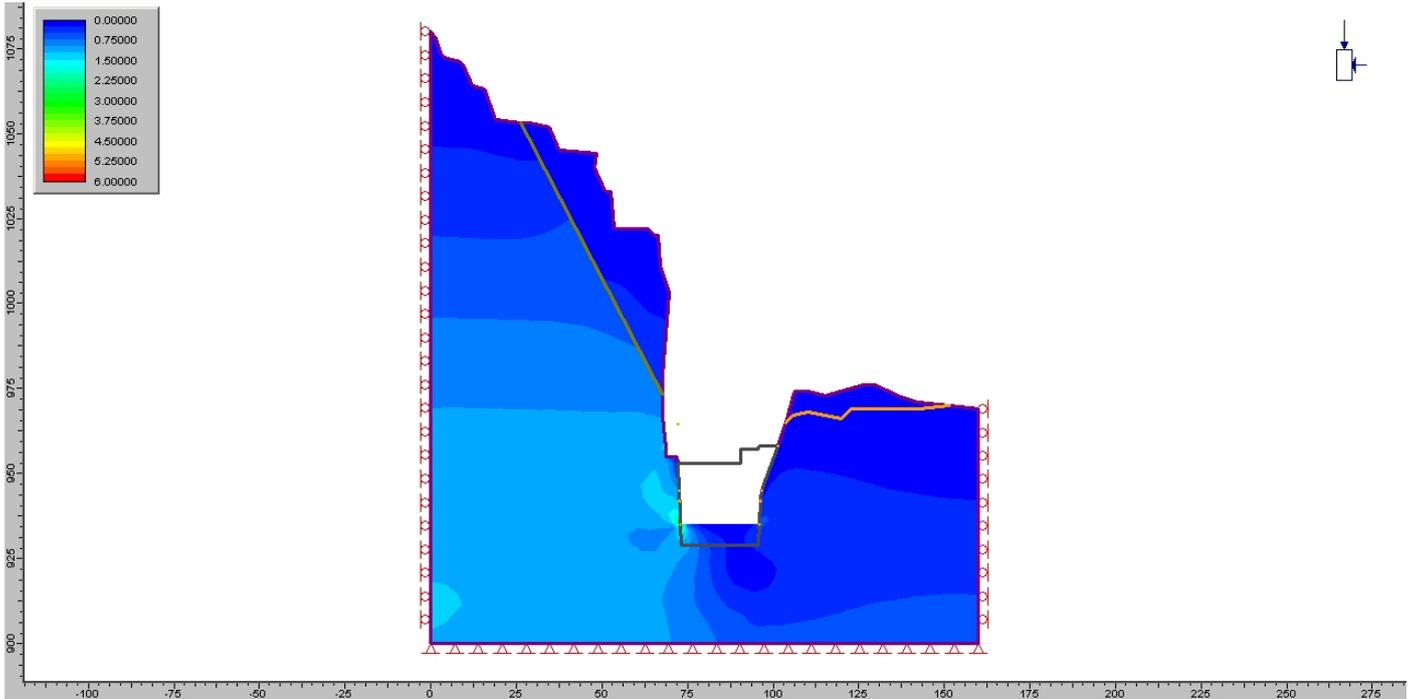
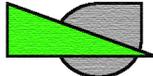


fig. 27: sez. C-C, andamento dello sforzo deviatorico parallelo al piano del modello con evidenza delle fasi di escavo (stage 935)

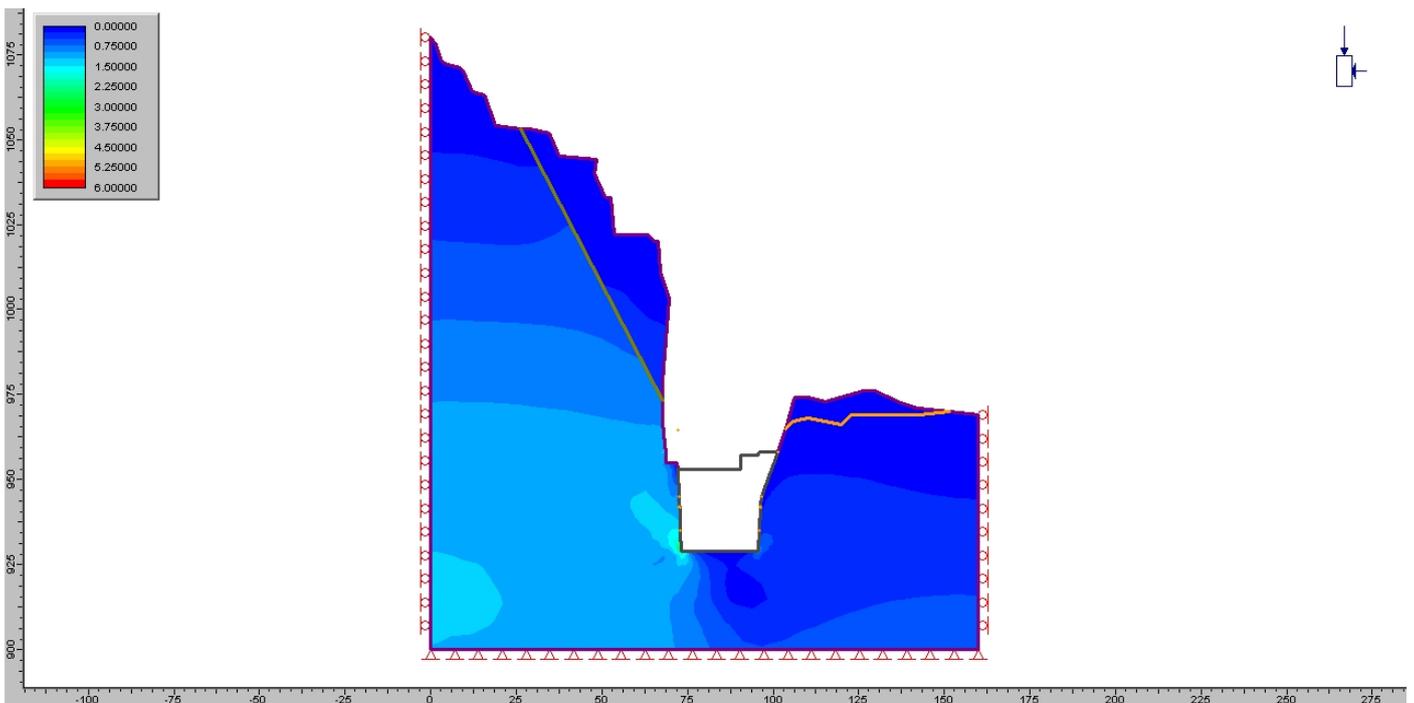


fig. 28: sez. C-C, andamento dello sforzo deviatorico parallelo al piano del modello con evidenza delle fasi di escavo (stage 929)

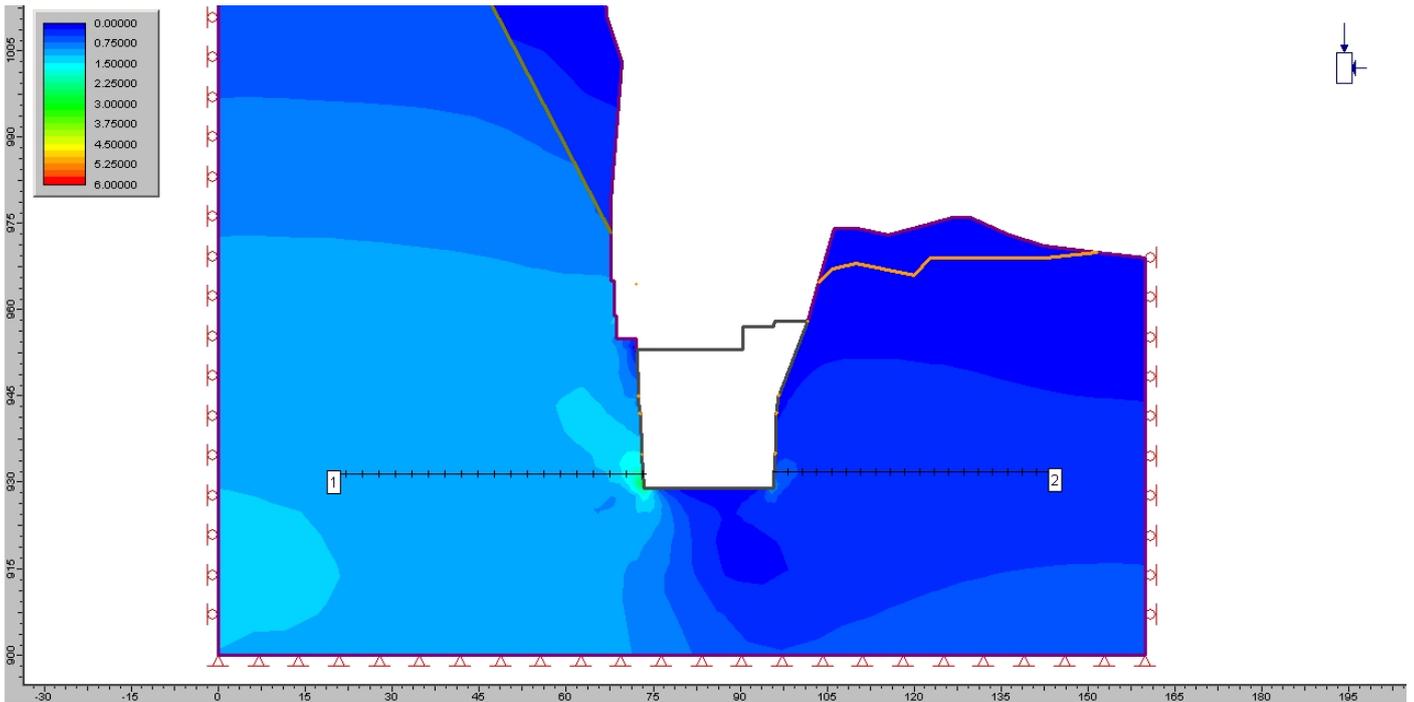
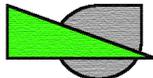


fig. 29: sez. C-C, posizione degli allineamenti lungo i quali sono state fatte delle valutazioni di stato di sforzo incrementale.

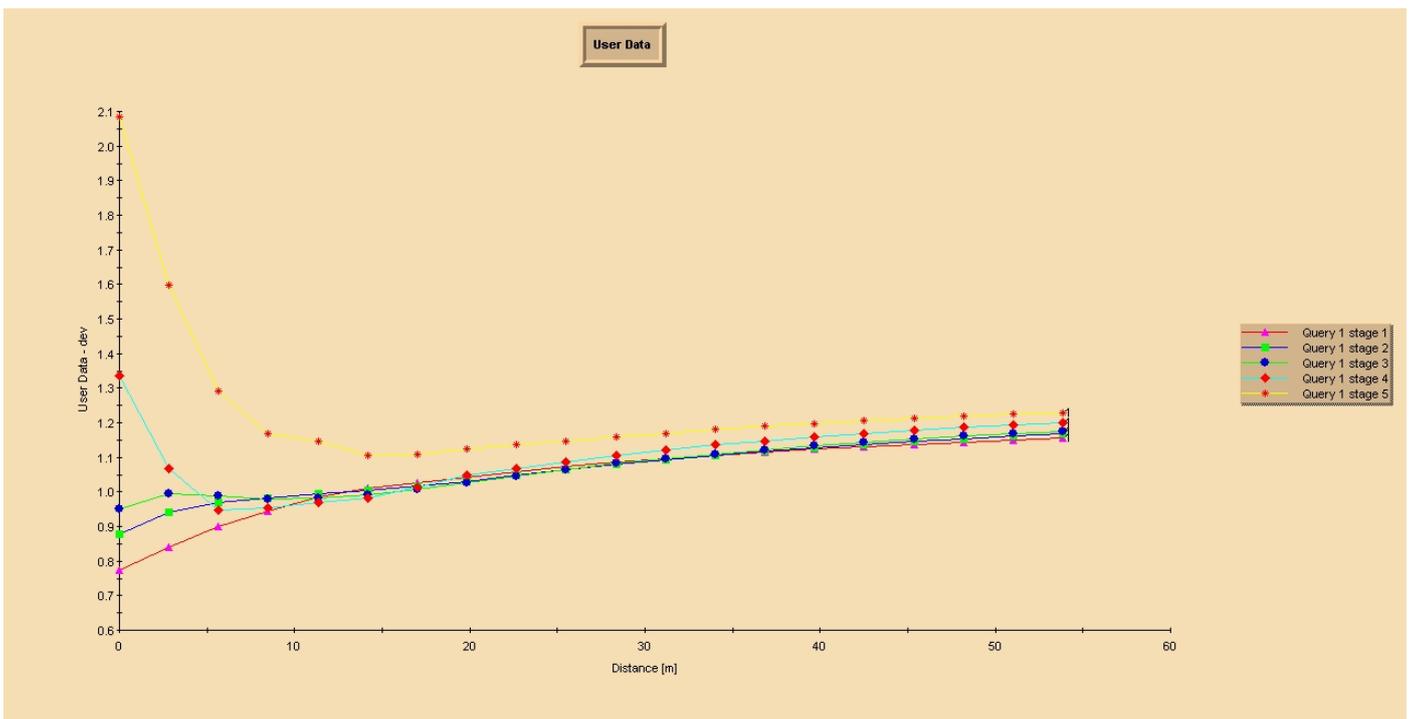


fig. 30: sez. C-C, andamento dello sforzo deviatorico lungo la query 1 nelle diverse fasi del progetto

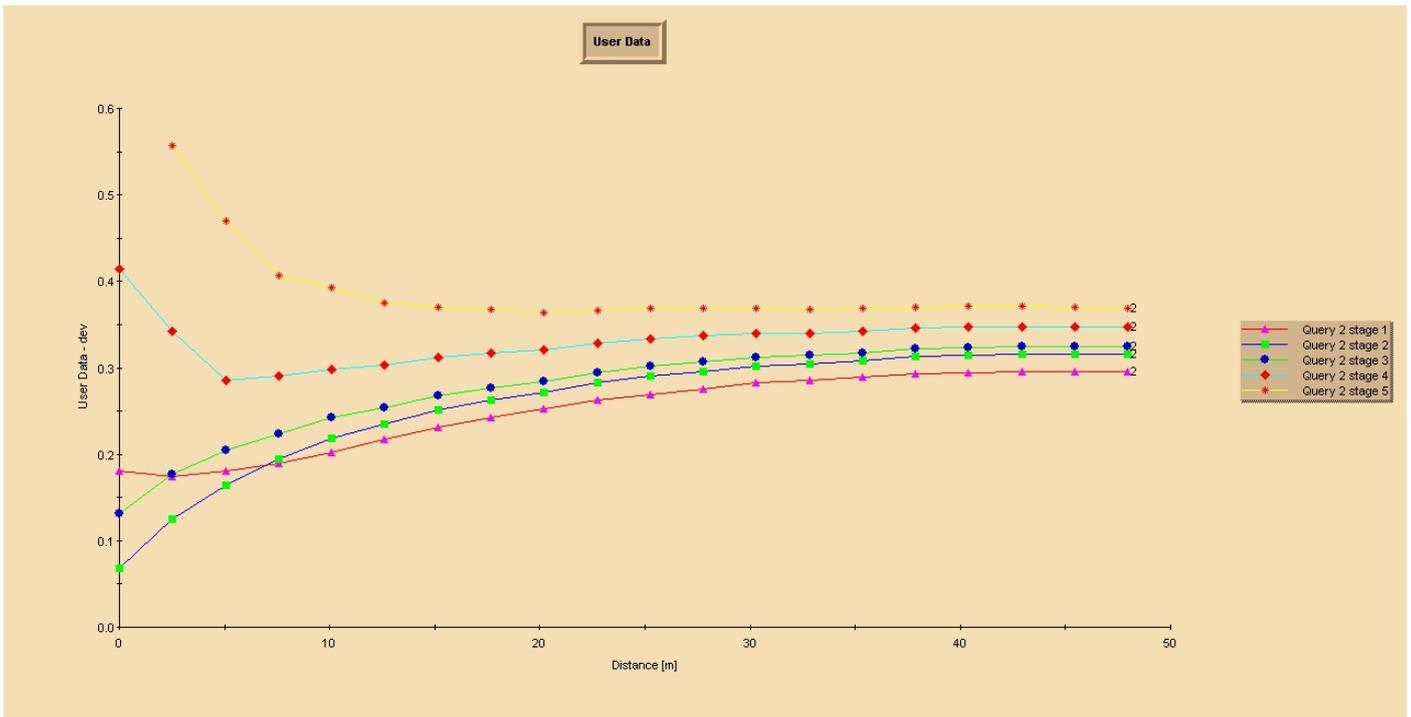
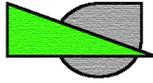


fig. 31: sez. C-C, andamento dello sforzo deviatorico lungo la query 2 nelle diverse fasi del progetto

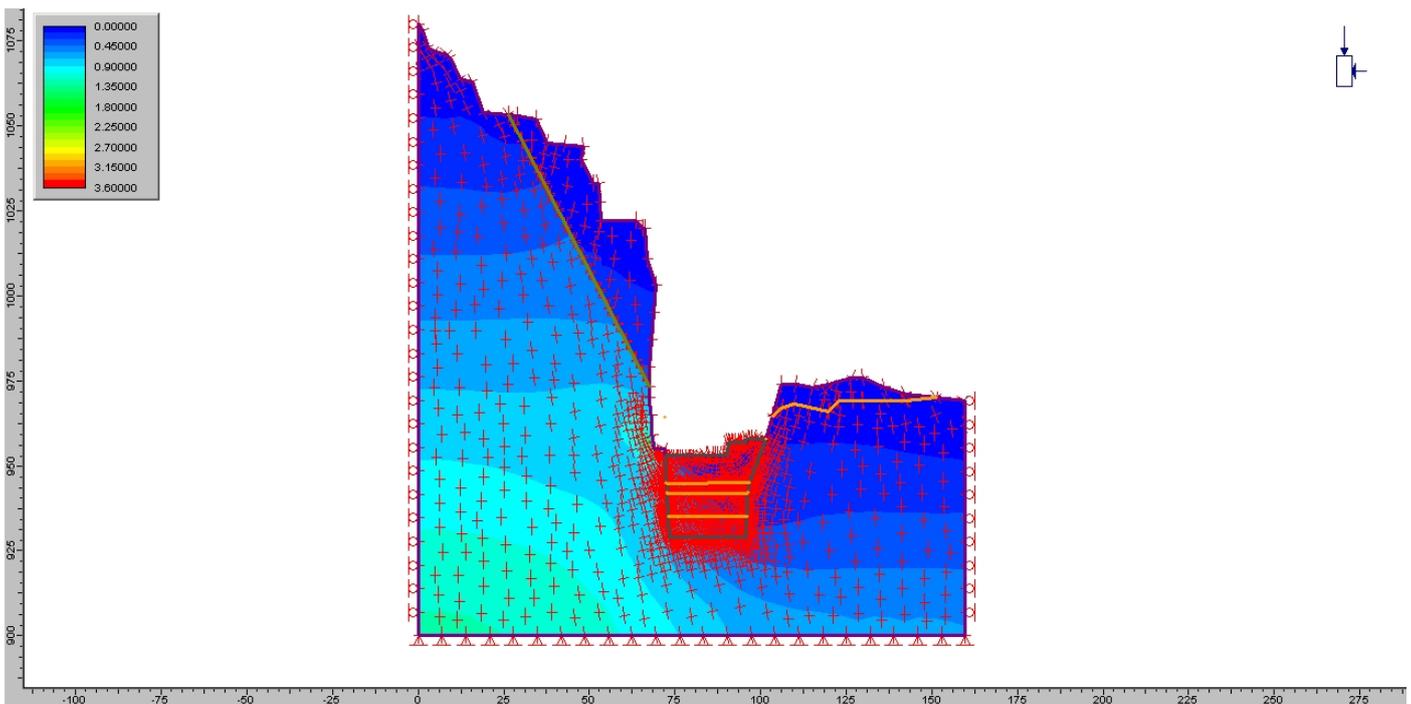


fig.32: sez. B-B, andamento delle sollecitazioni principali massime nella fase attuale

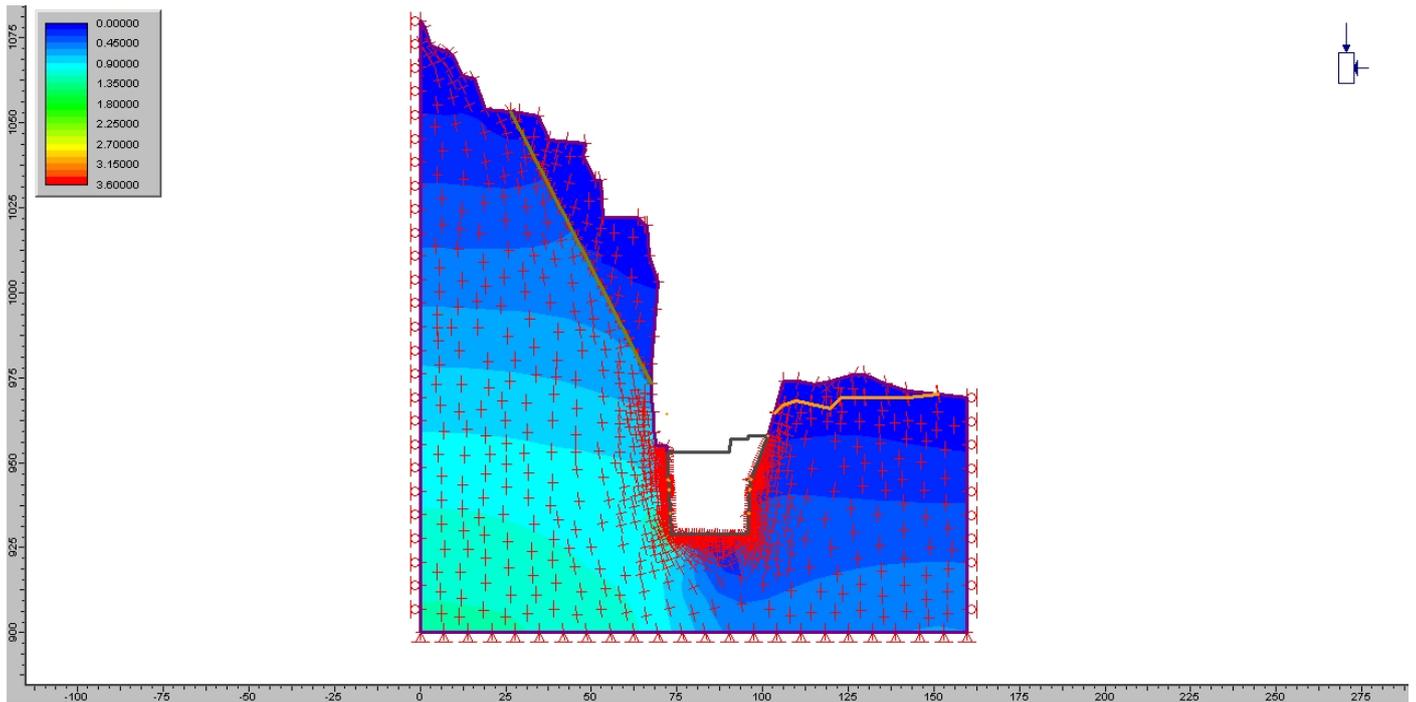
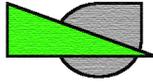
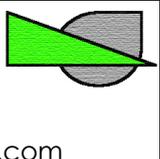


fig.33: sez. B-B, andamento delle sollecitazioni principali massime nella fase finale post scavo

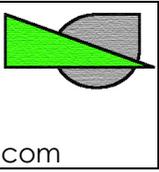
Studio di Ingegneria Valentino Via Masa 8, Calcio (BG) P. IVA 10350130018 ☎ +39.348.90.47.032 @ valentino.daniele@gmail.com		Object: Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo e analisi di stabilità dei fronti, presso la cava 37 – Fossa Grande.	27
---	--	--	----

4.3 Risultati

L'analisi delle sollecitazioni nel modello numerico, in particolare dello sforzo deviatorico lungo il piano e in direzione ortogonale allo stesso, evidenzia una distribuzione coerente con la situazione attuale e la geometria dello scavo a progetto lungo le tre sezioni esaminate.

Le sollecitazioni seguono le leggi di deformazione del mezzo elastico, anche sono stati introdotti i parametri residui di resistenza per un'analisi anche in campo plastico. In entrambe i casi non sono state individuate situazioni tali da essere considerate critiche in termini di valori massimi, anche in prossimità di giunti o spigoli dello scavo, e sono compatibili con la resistenza dell'ammasso roccioso.

Le analisi lungo le direzioni "Query" — rappresentative dal punto di vista geomeccanico — confermano che i carichi indotti dallo scavo sono compatibili con i limiti ammissibili di resistenza dell'ammasso, confermando che l'impatto sull'assetto strutturale a grande scala rientra nei limiti accettabili.

Studio di Ingegneria Valentino Via Masa 8, Calcio (BG) P. IVA 10350130018 +39.348.90.47.032 valentino.daniele@gmail.com		Object: Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo e analisi di stabilità dei fronti, presso la cava 37 – Fossa Grande.	28
---	--	--	----

5. Analisi previsionale di stabilità dei blocchi

Sulla base dei dati sperimentale ottenuto mediante i rilievi appena descritti si riporta di seguito la metodologia impiegata per la valutazione della condizione statica della porzione di cava descritta.

Si fa riferimento in questo elaborato alle disposizioni imposte dal Legislatore che prevedono l'applicazione delle "norme tecniche per le costruzioni", nelle quali un capitolo è dedicato alla progettazione geotecnica. Tali disposizioni definiscono l'uso di un metodo semi-probabilistico per la definizione del fattore di sicurezza. Come noto, tale normativa recepisce i criteri di progettazione contenuti negli Eurocodici e sostanzialmente si basa sull'applicazione del concetto di "stato limite" e non più di "tensione ammissibile".

Le equazioni corrispondenti alla metodologia di calcolo introdotta sono:

$$E_d \leq R_d \quad \text{eq.5}$$

dove

$$E_d = E \cdot \left(\gamma_F \cdot F_K; \frac{X_K}{\gamma_m}; a_d \right) \quad \text{eq.6}$$

dove $\gamma_F \cdot F_K; \frac{X_K}{\gamma_m}; a_d$ sono parametri di progetto mentre a_d è un coefficiente che definisce la geometria di progetto.

Lo stesso discorso può essere applicato alle "resistenze" ovvero:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \cdot \left(\gamma_F \cdot F_K; \frac{X_K}{\gamma_R}; a_d \right) \quad \text{eq.7}$$

dove in questo caso γ_R è un coefficiente di riduzione del parametro.

Il suddetto metodo è anche detto "dei coefficienti parziali"; i relativi indici sono riportati nelle tabelle di seguito. Tali indici sono riduttivi o maggiorativi a seconda dell'azione presa in considerazione. Questi coefficienti vanno in pratica a "coprire" parte delle incertezze sul modello e sui parametri sperimentali adottati durante il calcolo. Di seguito si riportano alcune tabelle con i valori (cfr. D.M. 14/1/08 - cap. 6, pg. 193) e successive modifiche.

Tabella 6: Coefficienti parziali per le azioni

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

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali ⁽¹⁾	Favorevole	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano completamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

Tabella 7: Coefficienti parziali per le resistenze (in questo caso parametri geotecnici o geomeccanici)

Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	γ_ϕ	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_r	1,0	1,0

Pertanto, dopo aver opportunamente corretto i carichi o i parametri di resistenza dall'equazione 3 oppure 4, si evince l'espressione del F.S., che sarà espresso come segue:

$$F_s \geq 1$$

eq. 8

Il metodo di calcolo appena descritto è più cautelativo di quello basato sul metodo delle tensioni ammissibili. Per tale motivo si vuole procedere alla verifica di stabilità deterministica di alcune porzioni di roccia potenzialmente rimuovibili e valutarne la condizione statica nelle condizioni di Stato Limite Ultimo (SLU), tenendo conto anche degli effetti dinamici dovuti all'eventuale azione di un sisma. Questi ultimi parametri sono stati desunti dalla specifica normativa e da siti WEB (cfr. geostru.it).

Alla luce di quanto è stato sopra esposto possiamo riassumere in una tabella i parametri che andremo ad utilizzare nei calcoli riportati di seguito.

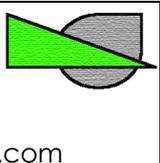
Studio di Ingegneria Valentino Via Masa 8, Calcio (BG) P. IVA 10350130018 +39.348.90.47.032 valentino.daniele@gmail.com		Object: Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo e analisi di stabilità dei fronti, presso la cava 37 – Fossa Grande.	30
---	--	--	----

Tabella 8: Riepilogo dei coefficienti geomeccanici applicabili al modello secondo il metodo dei coefficienti parziali e in condizioni di Stato Limite Ultimo (SLU)

Riepilogo dei parametri geomeccanici utilizzabili nel caso di analisi SLU			
Parametro geotecnico	Secondo metodo delle TA (dati sperimentali ottenuti secondo normativa ISRM suggested methods)	Coeff. Correttivo Parziale	Secondo metodo delle SLU (dati sperimentali ottenuti secondo normativa ISRM suggested methods)
Coesione c	0,2 MPa	1,25	0,16 MPa
Media dell'angolo di attrito minimo sulle famiglie di discontinuità	$\tan 42,2^\circ = 0.907$	1,25	$\tan 35,9^\circ = 0.725$

I valori riportati in tabella 6 saranno impiegati per le valutazioni sulle condizioni statiche dei cinematismi potenzialmente rimuovibili individuabili presso il cantiere esterno della cava N°37 "Fossa Grande".

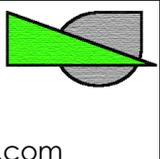
Andremo dapprima a definire il contesto geostrutturale in cui è inserita la cava N°37 valutando in base al metodo di calcolo denominato del blocco chiave, sviluppata da Goodman e Shi (1985), quali potrebbero essere le tipologie di cinematismi generabili dalla intersezione tra le famiglie di discontinuità desunte dall'analisi statistica e i fronti artificiali generati dalla coltivazione del giacimento. Dopodiché valuteremo singolarmente le condizioni di quei cunei ritenuti potenzialmente rimuovibili dalla loro sede in base ai sopralluoghi congiunti tra la D.L. e il personale sorvegliante.

Si riporta di seguito una breve introduzione al metodo di calcolo citato e sviluppato da Goodman & Shi nel 1985. Tale teoria formulata in termini esclusivamente topologici e di giaciture, permette una valutazione delle condizioni di stabilità dei blocchi in accordo a cinematismi semplici di scivolamento.

L'analisi è basata su ipotesi semplificative di discontinuità ubiquitarie e totalmente persistenti all'interno dell'ammasso roccioso, prive di coesione e con giacitura corrispondente a quella media della famiglia cui appartengono. I risultati ottenuti rappresentano quindi una previsione pessimistica del potenziale grado di instabilità e potranno essere messi in rapporto con la struttura effettiva locale della massa rocciosa in grado di configurare, o meno, blocchi potenzialmente instabili nei fronti.

La teoria dei blocchi opera per mezzo di uno strumento grafico in grado di contemplare sia le giaciture dei sistemi di discontinuità presenti in un dato settore di massa rocciosa sia le giaciture delle pareti libere realizzate dalle operazioni di coltivazione del giacimento.

I piani rappresentativi di ogni sistema di discontinuità e di ogni superficie libera una volta traslati idealmente nell'origine di una sfera di riferimento sono proiettati su un piano equatoriale mediante una proiezione

Studio di Ingegneria Valentino Via Masa 8, Calcio (BG) P. IVA 10350130018 +39.348.90.47.032 valentino.daniele@gmail.com		Object: Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo e analisi di stabilità dei fronti, presso la cava 37 – Fossa Grande.	31
---	--	--	----

equiangola usando come fuoco, generalmente e in questo caso, il vertice inferiore della sfera di riferimento (Lower focal point), ma è possibile anche la proiezione con il fuoco nel vertice superiore della sfera di riferimento (upper focal point).

Il meccanismo di proiezione equiangola proietta le intersezioni sulla sfera dei sistemi di discontinuità e delle superfici libere in circonferenze sul piano equatoriale. I punti della semisfera inferiore proiettano fuori dal cerchio di riferimento sul piano equatoriale mentre tutte le direzioni volte verso l'alto o "sopra" proiettano all'interno del cerchio di riferimento.

In base a queste ipotesi una considerando la proiezione di una circonferenza i -sima avremo che i punti interni al cerchio rappresentano tutte quelle direzioni che stanno sopra il piano i mentre quelli esterni le direzioni che stanno sotto il piano i , è intuitivo che il cerchio rappresenta tutte le direzioni sul piano di discontinuità (o della superficie libera).

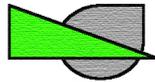
Si adotta come regola quella di assegnare il codice 0 per indicare il "sopra" o la parte interna del cerchio, mentre il codice 1 indica sta ad indicare le zone fuori dal cerchio. Tale codifica permette di attribuire facilmente delle sigle alle regioni risultanti dalle intersezioni dei piani di discontinuità denominate JP (Joint Pyramid).

Affinché un blocco possa muoversi dalla massa rocciosa non può che farlo entro l'insieme delle direzioni libere, che viene definito come spazio della piramide SP (Space Pyramid). Ne deriva la seguente assunzione di rilievo generale: **"un blocco è rimovibile se la sua JP è interamente contenuta nella SP"**.

Tra i blocchi di tipo rimovibile solo quelli in grado di sviluppare una direzione \hat{s} compatibile, ossia compresa nella JP del blocco in esame (a sua volta contenuta interamente nella SP), e configurante la minore apertura angolare $0 \leq \theta = \cos^{-1}(\hat{s} \times \hat{r}) < 90$ con il versore \hat{r} della risultante delle forze attive, possono eventualmente lasciare la loro sede, o staccandosi da tutti i piani (\hat{s} è interna alla JP) o scivolando su uno o su due piani (\hat{s} appartiene alla superficie della JP). Il verso di possibile eventuale movimento è detto modo e per il potenziale scivolamento di un blocco possono sussistere due tipi di modi: lo scivolamento su un piano (modo i) o quello

lungo la linea di intersezione di due piani (modo ij). Il caso in cui \hat{s} sia contenuto nella JP configura il modo 0 che implica $\hat{r} \equiv \hat{s}$ e $\theta=0$, questo modo è tipico dei blocchi che possono staccarsi dal tetto di un vuoto

Una volta evidenziate tutte le JP di blocco rimovibile e originanti modi per un eventuale scivolamento planare i o a cuneo ij, definite come KB (key block), mediante valutazioni statiche all'equilibrio limite, assumendo un modello lineare di resistenza a taglio lungo discontinuità, solo attritivo, e ipotizzando l'assenza di carichi idraulici sulle discontinuità (drenaggio ideale), si distingue tra i blocchi che rappresentano KB "potenziali" e



KB “reali” (secondo la terminologia utilizzata nella teoria) in funzione del fattore di sicurezza F_s rispettivamente >1 o <1 .

Pertanto, gli obiettivi perseguibili mediante l'applicazione della teoria suddetta sono sintetizzabili quindi in:

- 1) Identificazione di tutte le tipologie di blocchi sviluppabili dall'intersezione delle discontinuità naturali e i fronti di cava;
- 2) individuazione dei blocchi rimuovibili e le relative funzioni dei modi;
- 3) dato il versore \hat{r} della forza instabilizzante determinazione dei blocchi eventualmente instabili;

Nel corso dell'analisi, così come indica la stessa teoria, si sono individuati dapprima i blocchi rimovibili e in funzione dei modi i KB, successivamente sulla base di considerazioni sull'equilibrio limite si sono distinti i KB potenziali da quelli reali.

Le valutazioni successive prendono in considerazione come superfici libere quella generata dai tagli di coltivazione.

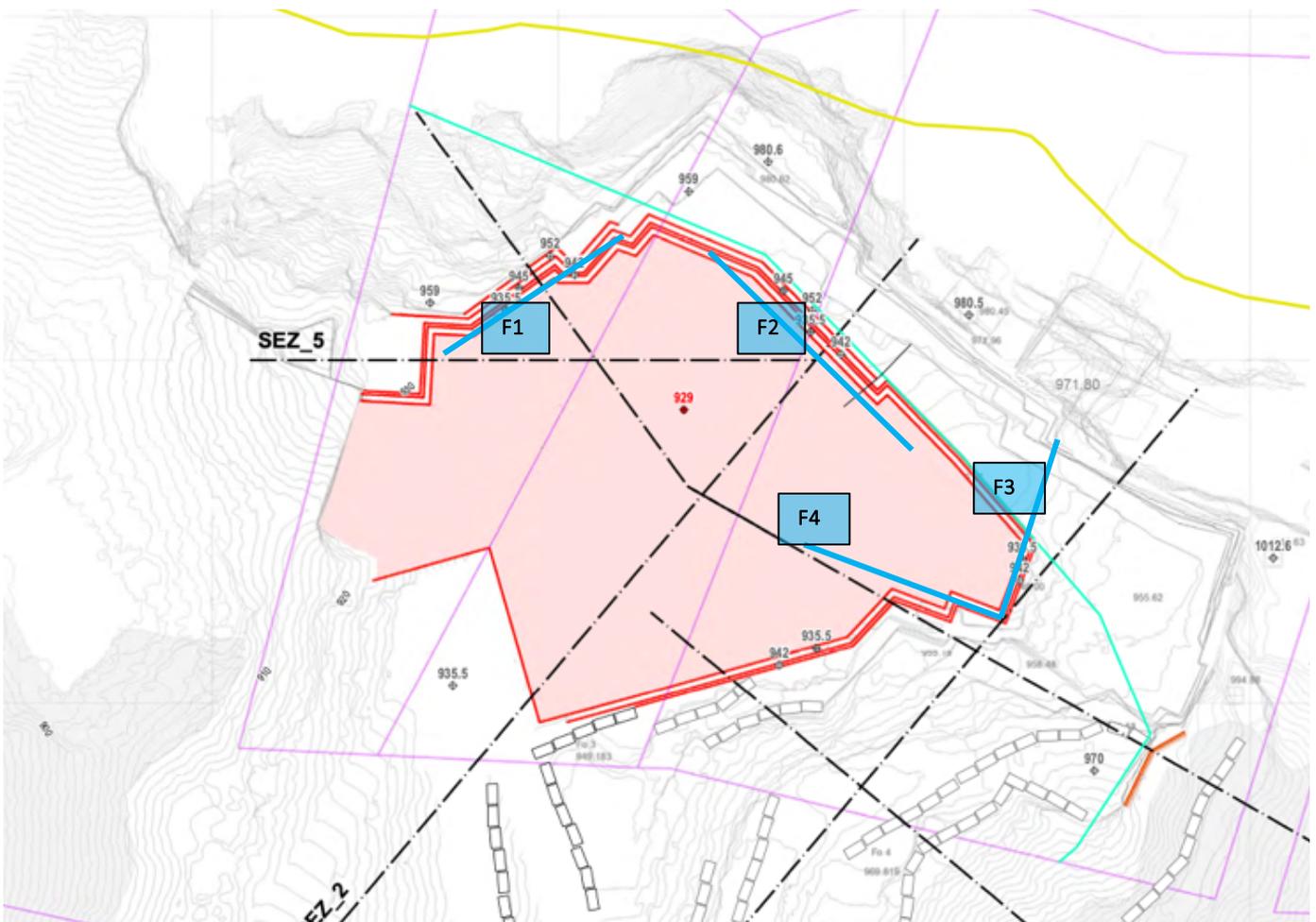


Fig. 34: situazione topografica allo stato di fatto del maggio 2025, con evidenza dei fronti utilizzati per l'analisi di stabilità descritta di seguito.

Tabella 9: sintesi dei fronti presi in esame per l'analisi di stabilità deterministica.

Angolo	F1	F2	F3	F4
DIP DIR°	130	218	022	284
DIP°	88	88	88	88

Nella figura seguente si riportano gli stereogrammi dei cinematismi individuati sui principali fronti di coltivazione.

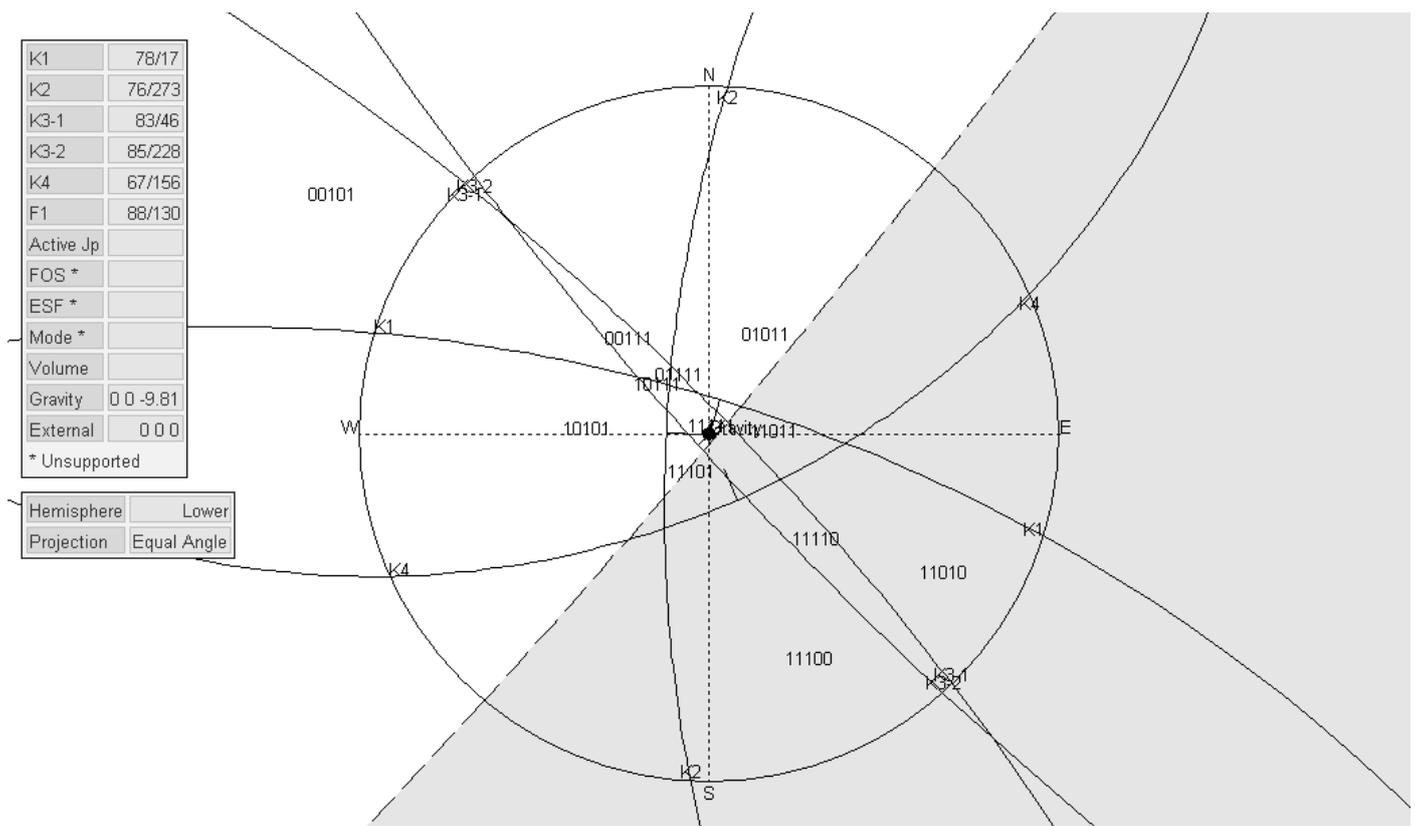


Figura 35: stereogramma delle JP in corrispondenza del fronte #1.

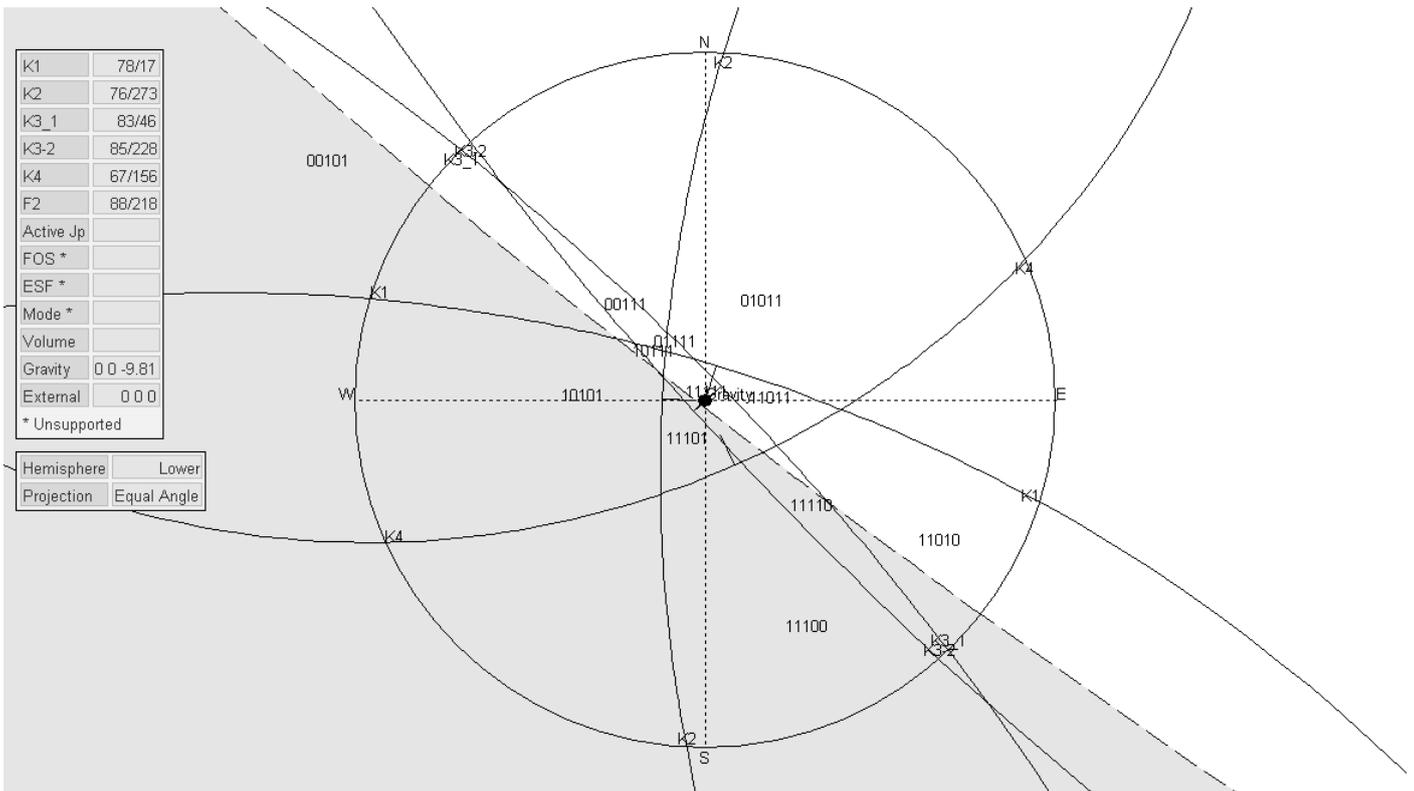
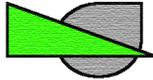


Figura 36: stereogramma delle JP in corrispondenza del fronte #2.

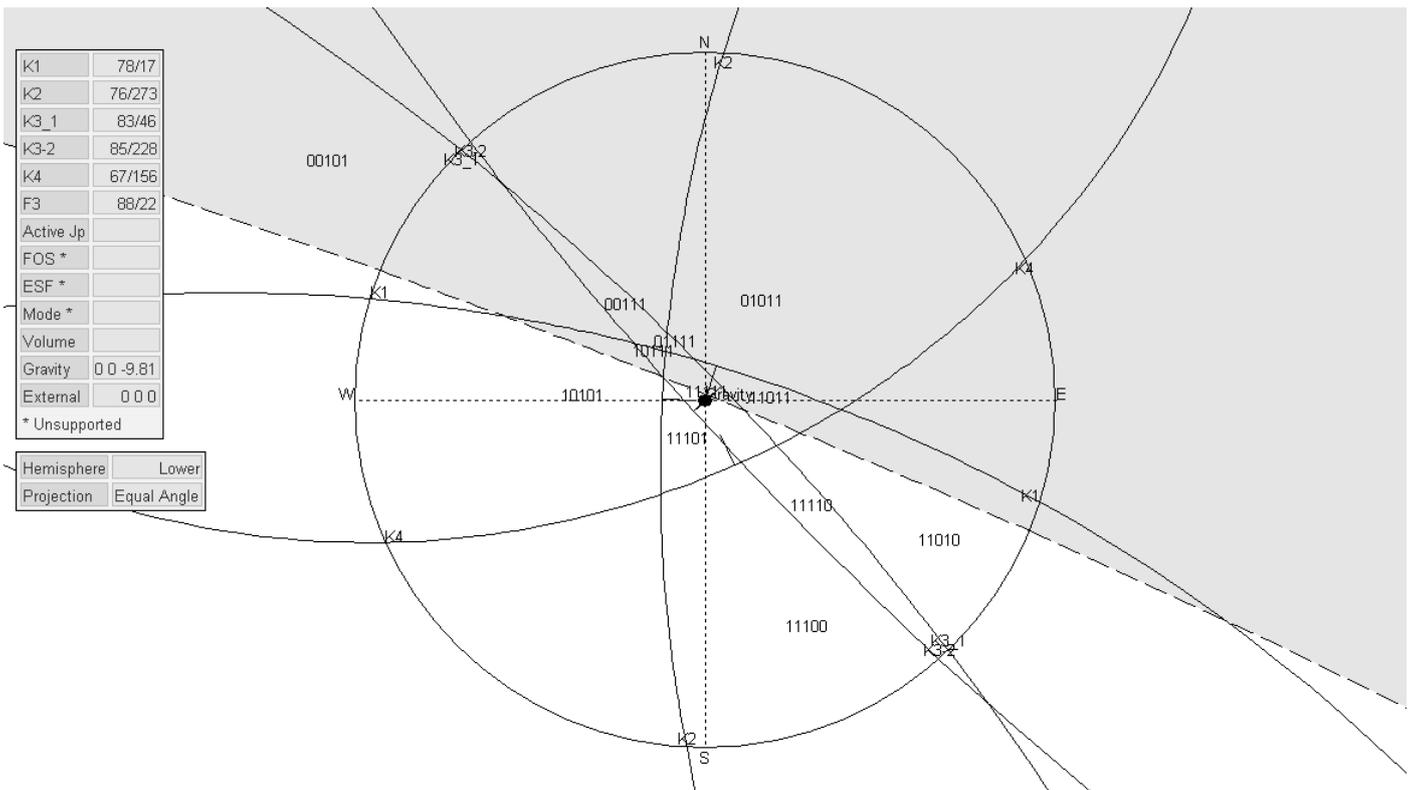


Figura 37: stereogramma delle JP in corrispondenza del fronte #3.

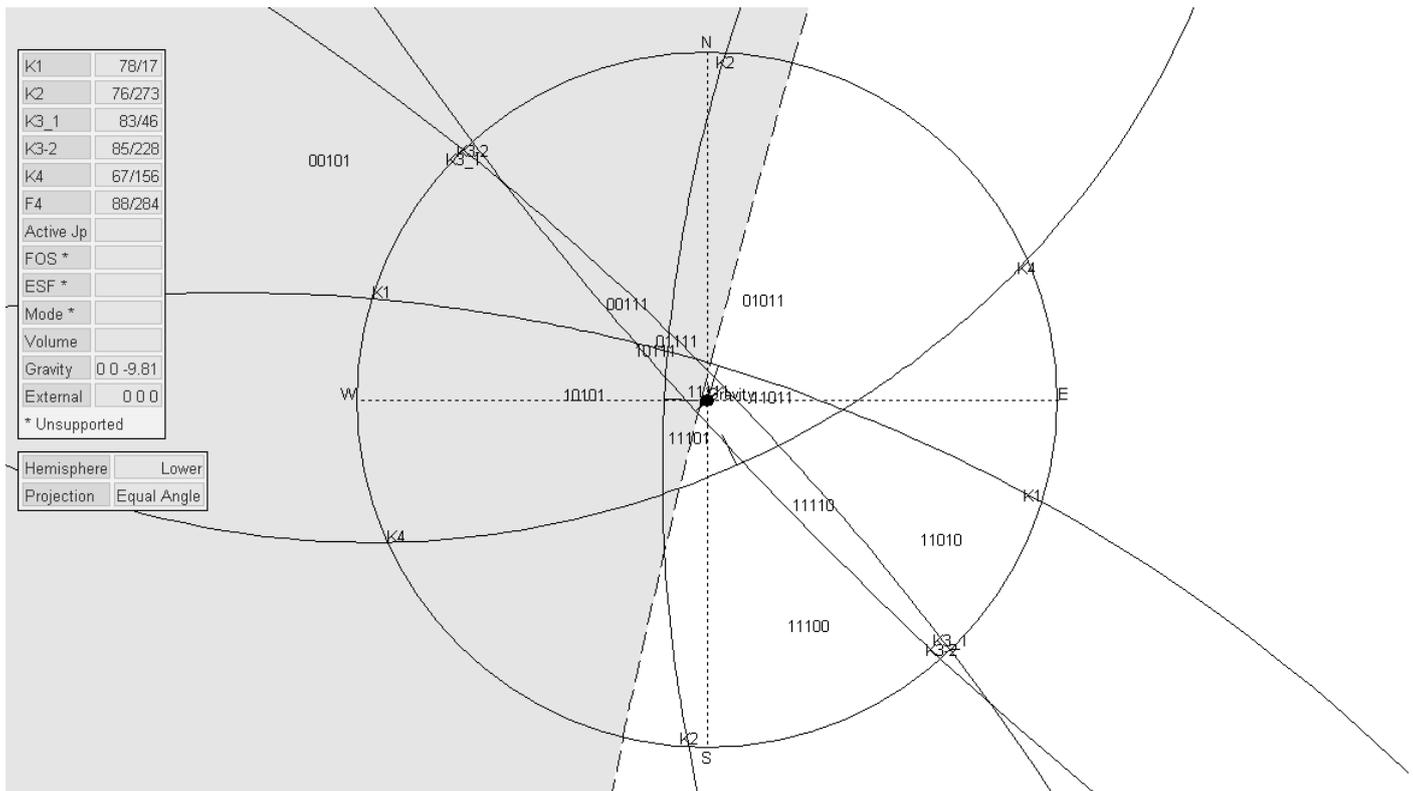
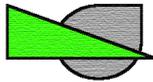


Figura 38: stereogramma delle JP in corrispondenza del fronte #4.

5.1 La determinazione delle condizioni di carico sismico secondo le NTC 18 (DM 17/01/18)

L'area di Carrara è classificata come zona sismica di classe 3, in ambito minerario vengono comunque utilizzate le normative specifiche del settore delle costruzioni, in particolare le Norme Tecniche riferibili al DM 14/1/08 e DM 17/1/08.

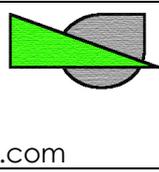
I parametri caratteristici ottenuti dalle campagne di rilevamento sperimentale, con le quali si stimano i parametri geomeccanici, subiscono una riduzione secondo il coefficiente pari a 1,25 portando quindi l'analisi alle condizioni allo Stato Limite Ultimo (SLU).

Il decreto ministeriale richiede inoltre di effettuare la verifica nelle condizioni in cui si applica un'accelerazione orizzontale massima (caratteristica per ogni sito) che vuole simulare l'effetto di un sisma, questo metodo denominato pseudostatico, seppur semplificato, consente di ottenere dei risultati attendibili e risulta di più agevole applicazione.

Si parte dalla espressione dell'accelerazione massimo orizzontale (AGO) riassunta dalla seguente equazione:

$$AGO = S_s S_t a_g$$

Dove a_g è l'accelerazione sismica orizzontale definita nell'allegato al DM relativo alla pericolosità della zona

Studio di Ingegneria Valentino Via Masa 8, Calcio (BG) P. IVA 10350130018 +39.348.90.47.032 valentino.daniele@gmail.com		Object: Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo e analisi di stabilità dei fronti, presso la cava 37 – Fossa Grande.	36
---	--	--	----

Il parametro di accelerazione sismica deve essere corretto da due fattori di cui il primo legato agli aspetti più geologici (o stratigrafici) S_s ; mentre l'altro dalla forma o fattore topografico della superficie S_t .

Per il primo coefficiente intervengono 5 classi e la tabella seguente riporta gli intervalli definiti dal DM.

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

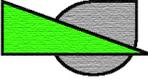
Passando dalla classe A => E l'amplificazione sismica diventa più accentuata.

La tabella seguente invece riporta le caratteristiche salienti per la classificazione in base alla topografia dell'area di interesse, la tabella successiva invece il coefficiente di amplificazione topografica S_t corrispondente.

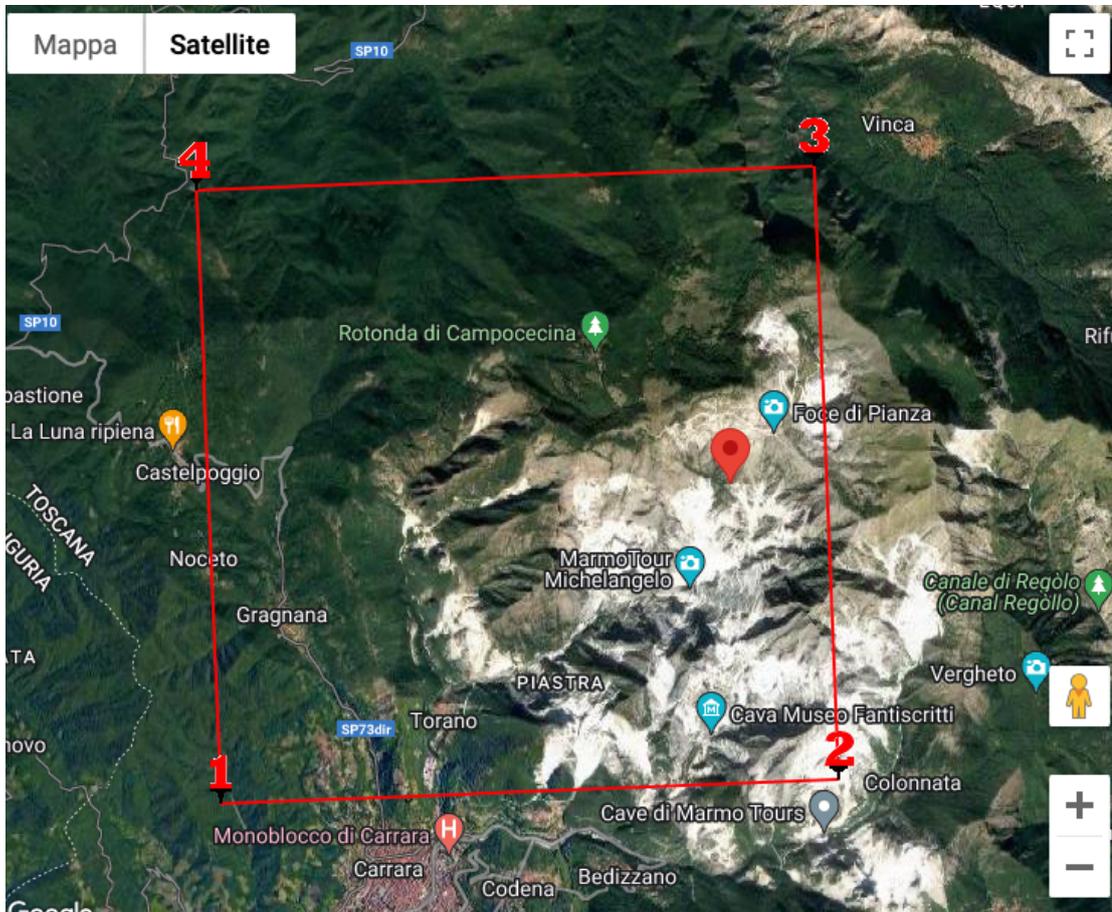
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_t
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Per quel che riguarda la legislazione italiana in merito la normativa "Ord. P.C.M. 20 marzo 2003, n. 3274" dispone la classificazione sismica del territorio nazionale e le normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Studio di Ingegneria Valentino Via Masa 8, Calcio (BG) P. IVA 10350130018 +39.348.90.47.032 valentino.daniele@gmail.com	 Object: Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo e analisi di stabilità dei fronti, presso la cava 37 – Fossa Grande.	37
---	--	----

Di seguito, si riportano i parametri caratteristici desunti dal sito GEOSTRU che si basa classificazione sismica del territorio nazionale, nello specifico sono state riportate le coordinate della cava Fossa Grande N°37 oggetto di studio.

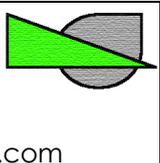


Di seguito il risultato della valutazione relativa al sito oggetto di studio:

Tabella 10: sintesi dei coefficienti sismici relativo al sito in oggetto.

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,000	1,000	1,000	0,010	0,005	0,505	0,200
SLD	1,000	1,000	1,000	0,013	0,005	0,639	0,200
SLV	1,000	1,000	1,000	0,048	0,024	1,607	0,290
SLC	1,000	1,000	1,000	0,065	0,033	2,061	0,310

In questa sede, per il sito in oggetto, si è considerato il coefficiente di accelerazione orizzontale a $C_h = 0,065$ [a_g/g] che è stato inserito nel modello di calcolo per la stabilità del muro a blocchi.

Studio di Ingegneria Valentino Via Masa 8, Calcio (BG) P. IVA 10350130018 +39.348.90.47.032 valentino.daniele@gmail.com		Object: Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo e analisi di stabilità dei fronti, presso la cava 37 – Fossa Grande.	38
---	--	--	----

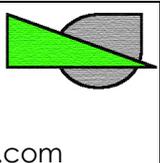
5.2 Risultati delle analisi

Si riporta di seguito l'elenco dei cinematismi individuati nella fase di analisi utilizzando la metodologia del blocco chiave (Goodman & Shi, 1985) con il relativo calcolo del fattore di sicurezza.

Si precisa che il calcolo della condizione statica del cinematismo è stato effettuato utilizzando un software basato sul metodo dell'equilibrio limite, in grado di simulare l'effetto della coesione sulle discontinuità.

Tabella 11: riepilogo dei cinematismi individuati e i relativi fattori di sicurezza calcolati

Riepilogo analisi cinematica secondo teoria dei blocchi di Goodman & Shi, 1985				
Fronte in esame	N° progressivo cinematismo	Tipo di scivolamento	Piano/linea di scivolamento	Fattore di sicurezza (F.S.)
Fronte #1 (130°/88°)	01	Scivolamento planare	K_4	4,6
	02	Lungo linea di intersezione	K_{3-1}/K_4	8,8
	03	Lungo linea di intersezione	K_{3-2}/K_4	>10
Fronte #2 (218°/88°)	04	Lungo linea di intersezione	K_2/K_4	9,3
	05	Lungo linea di intersezione	K_{3-2}	>10
	06	Scivolamento planare	K_4	4,6
Fronte #3 (022°/88°)	07	Lungo linea di intersezione	K_{3-1}/K_{3-2}	>10
	08	Scivolamento planare	K_1	>10
	09	Lungo linea di intersezione	K_2/K_{3-2}	>10
	10	Lungo linea di intersezione	K_1/K_{3-1}	>10
Fronte #4 (284°/88°)	11	Lungo linea di intersezione	K_{3-1}/K_{3-2}	>10
	12	Lungo linea di intersezione	K_1/K_{3-2}	7,5
	13	Scivolamento planare	K_2	>10
	14	Lungo linea di intersezione	K_1/K_2	>10
	15	Lungo linea di intersezione	K_2/K_{3-2}	>10
	16	Lungo linea di intersezione	K_1/K_{3-1}	4,6

Studio di Ingegneria Valentino Via Masa 8, Calcio (BG) P. IVA 10350130018 +39.348.90.47.032 valentino.daniele@gmail.com		Object: Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo e analisi di stabilità dei fronti, presso la cava 37 – Fossa Grande.	39
---	--	--	----

6. Conclusioni

Sulla base delle informazioni geometriche e geomeccaniche attualmente disponibili si è realizzato un modello agli elementi finiti (FEM) con il quale è stato possibile condurre un'analisi delle tensioni e delle deformazioni dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo della cava Fossa Grande.

L'analisi ha riguardato la situazione attuale e quella relativa al nuovo progetto presentato dalla ditta esercente ed elaborato dallo Studio Sirgiovanni di Massa.

Nel complesso l'andamento dello stato di sollecitazione al contorno dello scavo non mostra criticità evidenti, i valori calcolati sono inferiori ai limiti di resistenza stimati per il materiale roccioso nella cava Fossa Grande. La situazione a progetto è stata esaminata in termini di tensioni principali e sforzo deviatorico lungo allineamenti considerati potenzialmente critici da un punto di vista statico. Tali osservazioni sono state condotte nelle diverse fasi, ovvero a partire dalla situazione attuale fino quella a progetto. Le sollecitazioni stimate con il modello numerico sono coerenti con la teoria dell'elasticità (a conferma della bontà del modello numerico realizzato) e sono accettabili se paragonate con i limiti di resistenza dell'ammasso roccioso in esame.

È stata inoltre effettuata un'analisi di stabilità previsionale sui blocchi cinematicamente ammissibili che si potrebbero creare con la realizzazione delle lavorazioni a progetto. Si precisa che queste lavorazioni proseguiranno secondo l'abituale geometria attualmente in uso e che, a cadenza annuale, viene esaminata verificata mediante l'analisi di stabilità deterministica sui fronti di scavo.

In questa sede, pertanto, si è preso spunto dai documenti suddetti e si sono aggiornati allo stato della geometria a progetto.

Nell'ambito delle due analisi svolte e allo stato delle conoscenze attuali, ovvero la prima a grande scala mediante modellazione numerica, e una di tipo previsionale sulla possibilità di generazione di blocchi sulle superfici in lavorazione, non sono state evidenziate criticità ma il progetto di coltivazione presentato per la cava N°37 Fossa Grande risulta essere fattibile da un punto di vista geomeccanico.

Ovviamente si raccomanda di procedere con gli abituali controlli e ispezioni a cadenza regolare, da parte di tecnici specializzati e all'aggiornamento e stesura di periodici analisi di stabilità deterministica.

Carrara, 23 maggio 2025

Daniele Valentino
 Ordine Ing. Torino 8329W