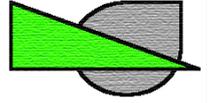


Cliente:  
Cave Carcaraia S.r.l.  
Via Martiri di Cefalonia ZI  
54100 Massa (MS)

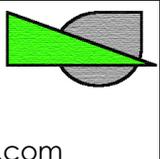
Studio di Ingegneria Valentino  
Via Masa 8, Calcio (BG)  
P. IVA 10350130018  
☎ +39.348.90.47.032  
@ valentino.daniele@gmail.com



Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al  
contorno dello scavo a progetto presso le cave  
Carcaraia B e Carcaraia Arabescato.  
Progetto preliminare di un sistema di monitoraggio  
geotecnico.

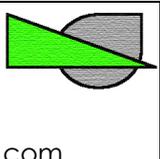
Date: 20/7/22  
Ref: CRC-2022-ST  
Release: Rel.01

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	2
---	--	--	---

## Sommario

1. PREMESSA .....	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
3. DESCRIZIONE DELL'ANALISI DELLO STATO TENSIONALE AL CONTORNO DELLO SCAVO .....	5
4. APPLICAZIONE DEL METODO AGLI ELEMENTI FINITI, DEFINIZIONE DEI PARAMETRI DI PROGETTO.....	7
5. SEZIONI RAPPRESENTATIVE DEL MODELLO FEM PER LE CAVE IN OGGETTO.....	9
6. ANALISI DELLE SOLLECITAZIONI AL CONTORNO DEGLI SCAVI LUNGO LE SEZIONI DEL MODELLO FEM. .	12
7. RISULTATI ANALISI FEM .....	21
8. ANALISI SUI CINEMATISMI GENERABILI LUNGO LA GALLERIA DI COLLEGAMENTO TRA LE DUE CAVE....	23
9. PROGETTO DI MONITORAGGIO GEOTECNICO IN SITU .....	30
10. CONCLUSIONI.....	32
11. ALLEGATO A .....	34
12. ALLEGATO B: SIMULAZIONI 3D BLOCCHI GENERATI IN CALOTTA. ....	44
13. ALLEGATO C: DATI SPERIMENTALI DESUNTI CON MARTELLO DI SMIDTH DURANTE SOPRALLUOGO .	58

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	3
---	--	--	---

## 1. Premessa

La relazione tecnica esamina le condizioni statiche al contorno dello scavo in sotterraneo a progetto presso la cava Carcaraia B e Carcaraia Arabescato, ubicate presso il Comune di Vagli di Sotto (LU) e coltivate dalla Società Cave Carcaria S.r.l., nel documento si esamina la situazione a progetto descritta nel dossier "Progetto di coltivazione delle cave Carcaria Arabescato e Carcaria B ai sensi della LR 35/15 e smi, richiesta di Autorizzazione all'esercizio dell'attività estrattiva, pronuncia di compatibilità ambientale, pronuncia di valutazione di incidenza, nulla osta" redatto dai Dott. Geol. E. Sirgiovanni e Dott. Geol. L. Vaselli. (settembre 2021).

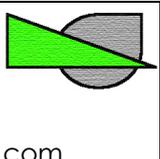
Le cave sfruttate dalla Società sopra citata si trovano nel Comune di Vagli di Sotto, raggiungibile mediante viabilità pubblica. La coltivazione attualmente si sviluppa a giorno e principalmente presso la cava Carcaraia Arabescato, un piccolo saggio esplorativo di coltivazione in sotterraneo è stato sviluppato a quota 1284,60 m slm partendo dal piazzale e accedendo per circa 20 m in sottotecchia.

Recentemente è stato redatto un piano pluriennale di coltivazione che prevede alcune integrazioni alla sequenza di coltivazione attuale, esso contempla lo sviluppo della coltivazione in sotterraneo presso le due cave in oggetto, secondo il metodo di coltivazione a camere e pilastri. Sono previste due zone distinte di produzione, rispettivamente nelle due relative cave, unite da un tunnel di collegamento, si rimanda al dossier menzionato sopra per i dettagli.

L'analisi statica e la valutazione tenso- deformativa al contorno degli scavi è stata effettuata mediante un modello numero agli elementi finiti (FEM), la preparazione di tale modello si è basata sulla cartografia tecnica regionale e dal rilievo topografico 3D fornito dai professionisti sopra citati, i quali hanno anche trasmesso la relazione di progetto e le informazioni sui rilievi geologici e geomeccanici dell'ammasso roccioso.

Le analisi realizzate con il modello numerico hanno riguardato in particolar modo l'andamento delle sollecitazioni, soprattutto dello stato tensionale indotto a seguito degli scavi a progetto, ovvero si è voluto stimare quale fosse l'impatto delle coltivazioni previste a progetto sull'assetto strutturale della cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato.

Inoltre, lungo il tunnel che andrà a collegare le due zone di produzione è stata effettuata un'analisi, al momento statistica, in merito alla formazione di cinematismi potenzialmente rimuovibili dalla loro sede e le eventuali misure di rinforzo, ovviamente si potrà effettuare una eventuale ottimizzazione degli interventi in funzione dell'affinamento e caratterizzazione dell'ammasso roccioso.

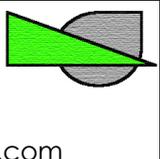
Studio di Ingegneria Valentino Via Masa 8, Calcio (BG) P. IVA 10350130018 ☎ +39.348.90.47.032 @ valentino.daniele@gmail.com		Object: Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	4
---	--	--	---

## 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, e DM 17/01/18, 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:

- 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".

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	5
---	--	--	---

### 3. Descrizione dell'analisi dello stato tensionale al contorno dello scavo

L'analisi descritta di seguito si pone come obiettivo quello di valutare l'andamento dello stato tensionale al contorno dello scavo nella configurazione attuale e in quella a progetto, quest'ultima è costituita da tre fasi successive al fine di simulare la sequenza di scavo prevista. Si precisa che nel modello numerico sono state realizzate le fasi in funzione del possibile impatto sull'assetto tensionale della zona al contorno dello scavo, mentre nel progetto menzionato in precedenza sono state indicate le sequenze di scavo con finalità più amministrative, in questa sede viene privilegiata il primo approccio in quanto direttamente collegata allo scopo della valutazione in oggetto.

Il progetto dello scavo in sotterraneo è piuttosto esteso ma regolare, a tale scopo quindi si è optato per individuare N°3 sezioni caratteristiche e su queste fare le valutazioni. Le sezioni individuate si chiamano Sezione A, Sezione B e Sezione C, rispettivamente nella zona di pertinenza della Cava Carcaraia Arabescato, le prime due, e la terza in cava Carcaraia B.

Le prime due sono sezioni verticali lungo allineamento Est- Ovest mentre la terza su un allineamento NW- SE. La figura 1 mostra una topografia aggiornata dell'area con la sovrapposizione dello scavo in sotterraneo a progetto (situazione finale) con la traccia delle tre (3) sezioni considerate dallo scrivente le più rappresentative da un punto di vista statico al fine di realizzare un modello numerico FEM.

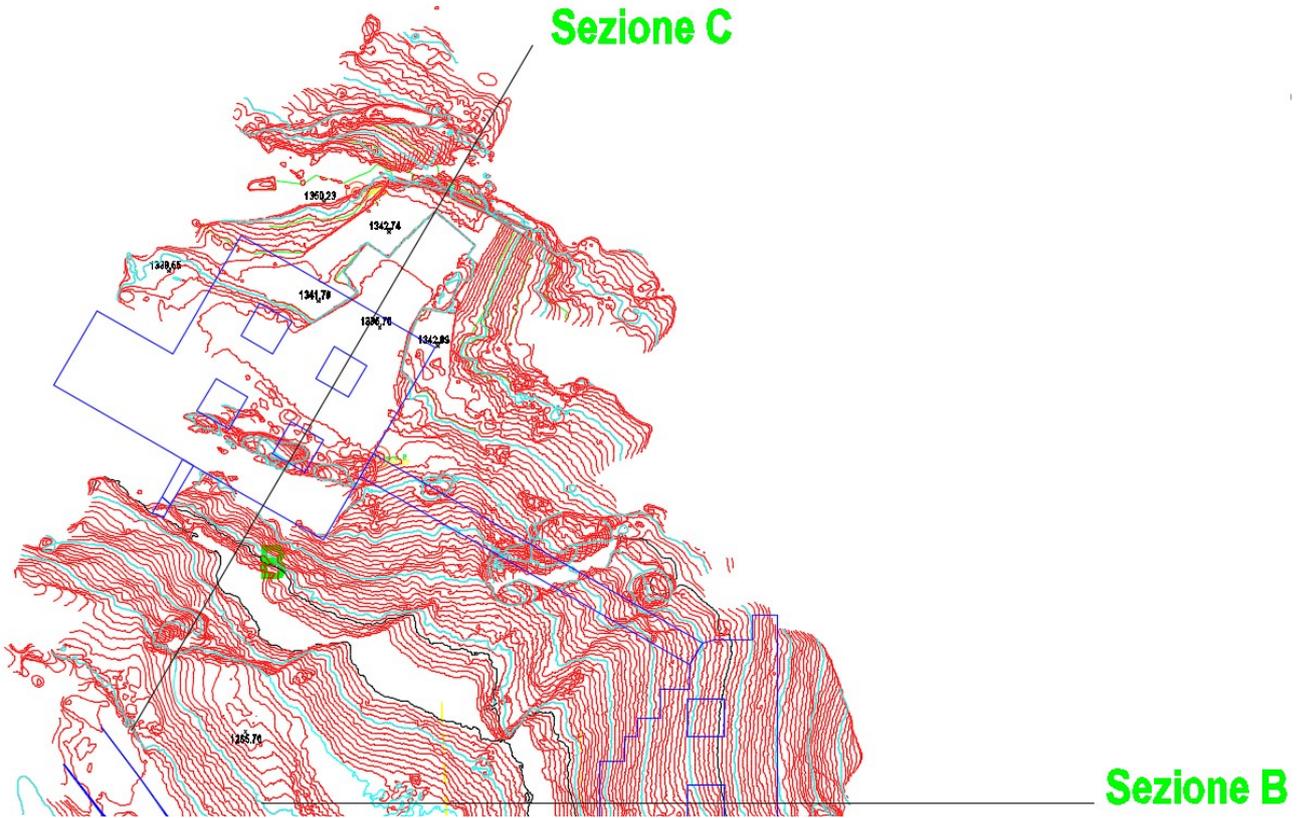
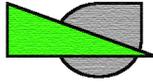


Figura 1A: dettaglio della topografia della cava Carcaraia B con evidenza dello scavo in sotterraneo a progetto e della sezione C utilizzata nel modello FEM. È evidenza anche la galleria di collegamento con l'altra cava.

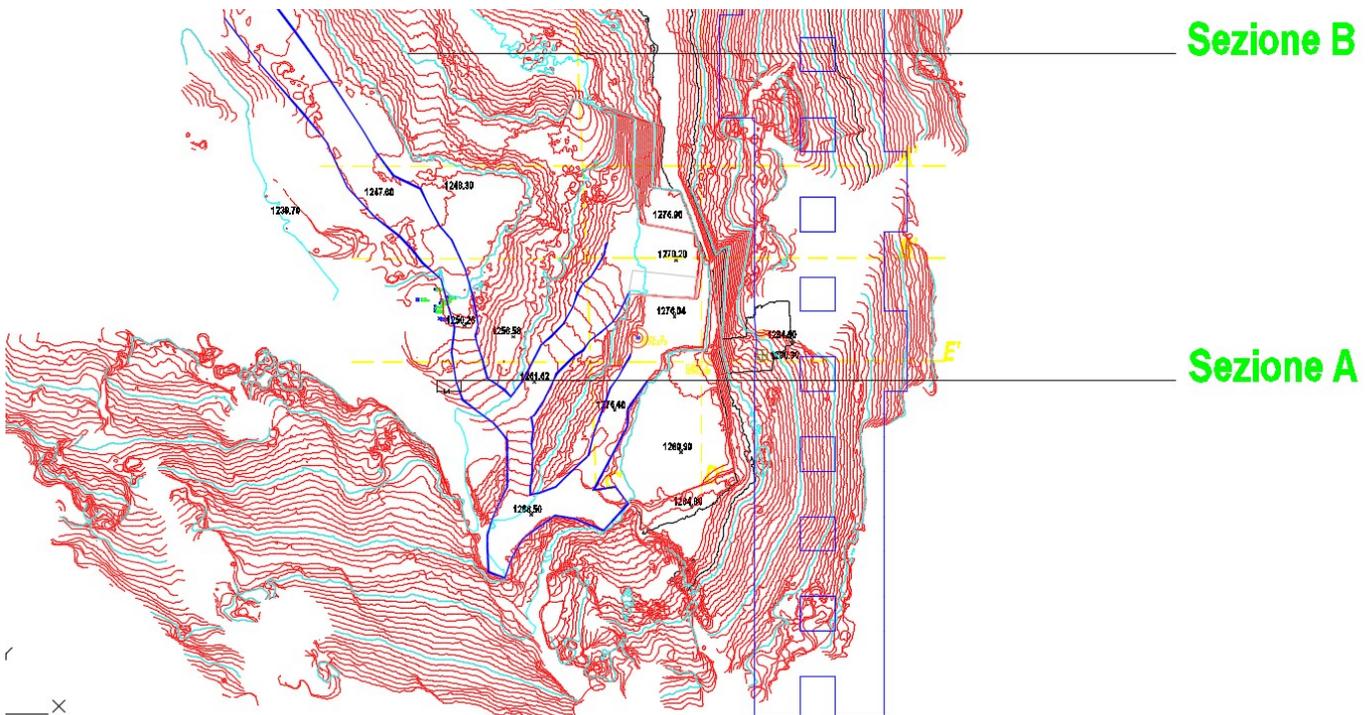
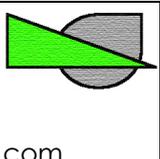


figura 1B: dettaglio della topografia della cava Carcaraia Arabescato con evidenza dello scavo in sotterraneo a progetto (e l'avvio dello scavo sottotecchia esistente) e le due sezioni (A, B) utilizzate per il modello FEM.

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	7
---	--	--	---

#### 4. Applicazione del metodo agli elementi finiti, definizione dei parametri di progetto.

La geometria delle due cave in esame si presenta articolata e complessa. L'ammasso roccioso è piuttosto compatto e in buone condizioni geomeccaniche, la fratturazione non è intensa anche se, nel complesso, si presentano alcune discontinuità persistenti e che interessano l'ammasso roccioso a grande scala.

Secondo lo scrivente l'ammasso roccioso in esame, pur non essendo stato caratterizzato nel dettaglio, può essere ricondotto a valori di resistenza meccanica desunti su materiali simili e paragonabili in tessitura e formazione. La tabella seguente riporta i parametri cautelativi di resistenza dell'ammasso roccioso e delle principali discontinuità riscontrate alla scala del sito.

Tabella 1: parametri di resistenza caratteristica dell'ammasso roccioso e utilizzati per la modellazione FEM.

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

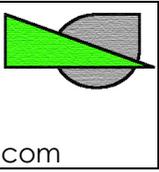
Come anticipato e per la quasi totalità dei problemi di ingegneria delle rocce, quando è necessario stimare il regime tenso-deformativo, non sono disponibili soluzioni analitiche delle equazioni che regolano i modelli comportamentali dell'ammasso roccioso.

Questo può accadere sia per le condizioni al contorno del modello sia per il comportamento stesso dell'ammasso roccioso. In queste situazioni il ricorso a tecniche numeriche per la soluzione delle equazioni differenziali risulta d'obbligo, da qui la necessità di ricorrere a codici di calcolo.

I metodi di calcolo numerici impiegati nell'ambito della meccanica delle rocce presentano la caratteristica che ogni equazione differenziale che governa il problema in esame è descritta da espressioni algebriche in termini di variabili di campo in punti discreti dello spazio. Ciascun elemento di calcolo in cui è suddiviso l'ammasso roccioso in studio riproduce, in modo approssimato, il comportamento fisico e meccanico della corrispondente regione nella struttura, ricucendosi e semplificandosi nei nodi dell'elemento 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

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	8
---	--	--	---

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:

$$\boldsymbol{\sigma} = \mathbf{D}\boldsymbol{\varepsilon} \quad (\text{eq 1})$$

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

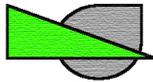
$$\mathbf{D} = \frac{E(1 - \nu)}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{1 - \nu} & 0 \\ \frac{\nu}{1 - \nu} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1 - 2\nu}{2(1 - \nu)} \end{bmatrix} \quad (\text{eq 2})$$

con  $E$ ,  $\nu$  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 importante vista la presenza e persistenza di alcuni giunti che interessano l'ammasso roccioso delle cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato.

Si precisa che, in fase di calcolo, la persistenza dei giunti rilevati in galleria è stata considerata artificialmente più estesa di quanto rinvenibile in realtà. Anche se questo approccio è cautelativo poiché tende ad accentuare l'incidenza dei giunti sull'assetto tenso-deformativo dell'ammasso è preferibile in questa fase adottarlo e successivamente, qualora sopraggiungessero altre informazioni sperimentali, ottimizzare lo studio e il modello geomeccanico.

Nelle pagine seguenti si riportano le sezioni dei modelli FEM utilizzati per l'analisi tenso-deformativa della sezione rappresentativa delle cave Carcaraia, con evidenza delle meshes, delle condizioni al contorno e dei giunti inseriti per simulare al meglio il comportamento dell'ammasso roccioso e la risposta allo scavo in progetto.



## 5. Sezioni rappresentative del modello FEM per le cave in oggetto

Le figure riportate nelle pagine seguenti mostrano il modello FEM sul quale sono state condotte le analisi.

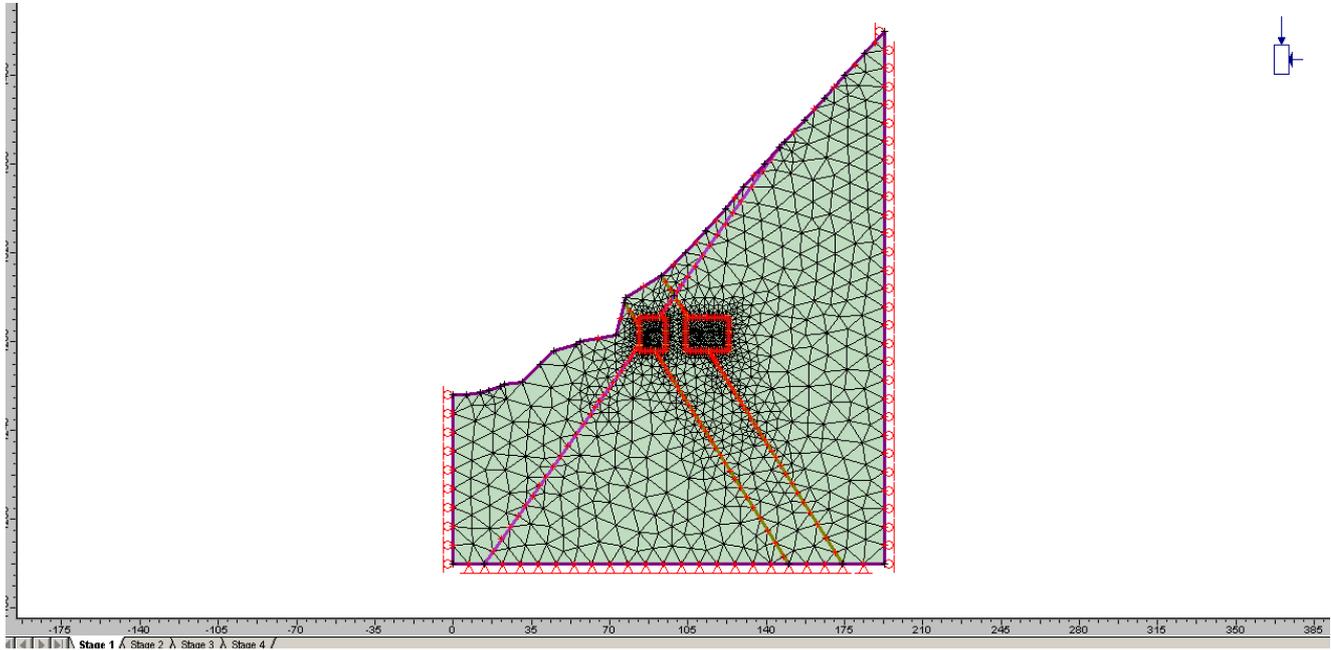


fig.2: mesh del modello FEM realizzato in corrispondenza della sezione A, con evidenza delle camere in sotterraneo e delle discontinuità, corrispondenti alla situazione attuale.

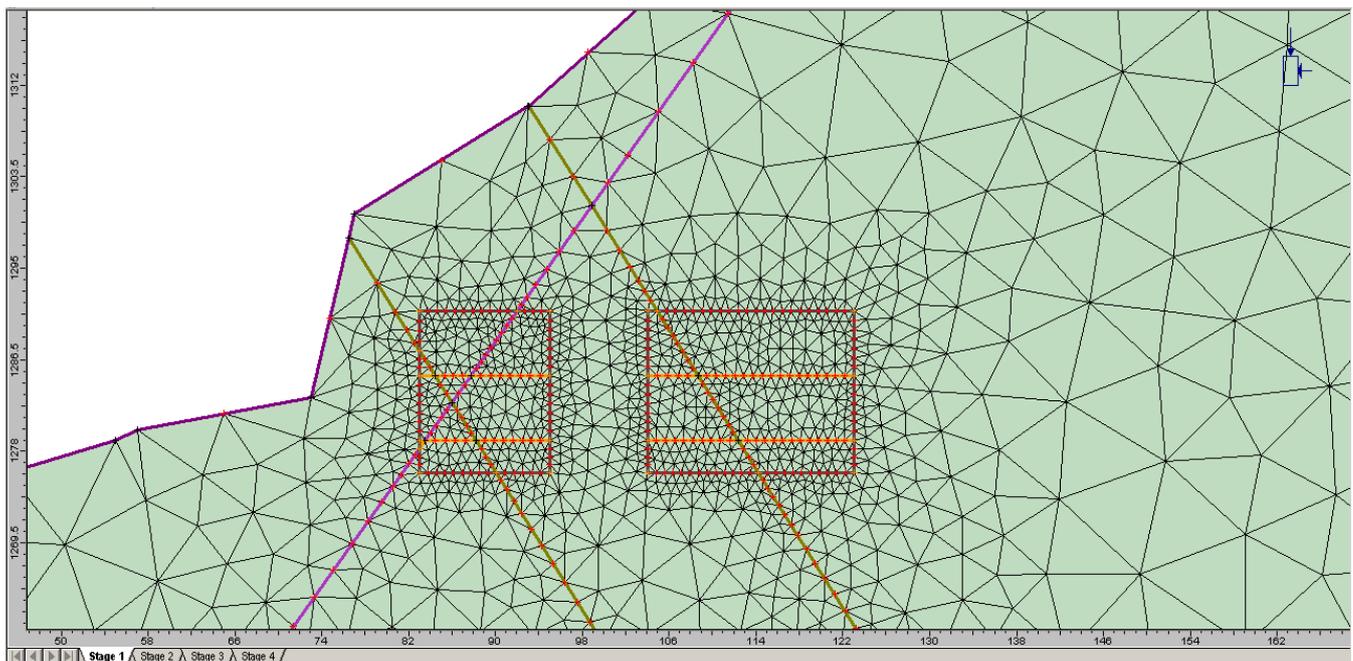


fig.3: dettaglio della mesh del modello FEM realizzato in corrispondenza della sezione A, con evidenza delle camere in sotterraneo, delle discontinuità e della sequenza di scavo (4 fasi)

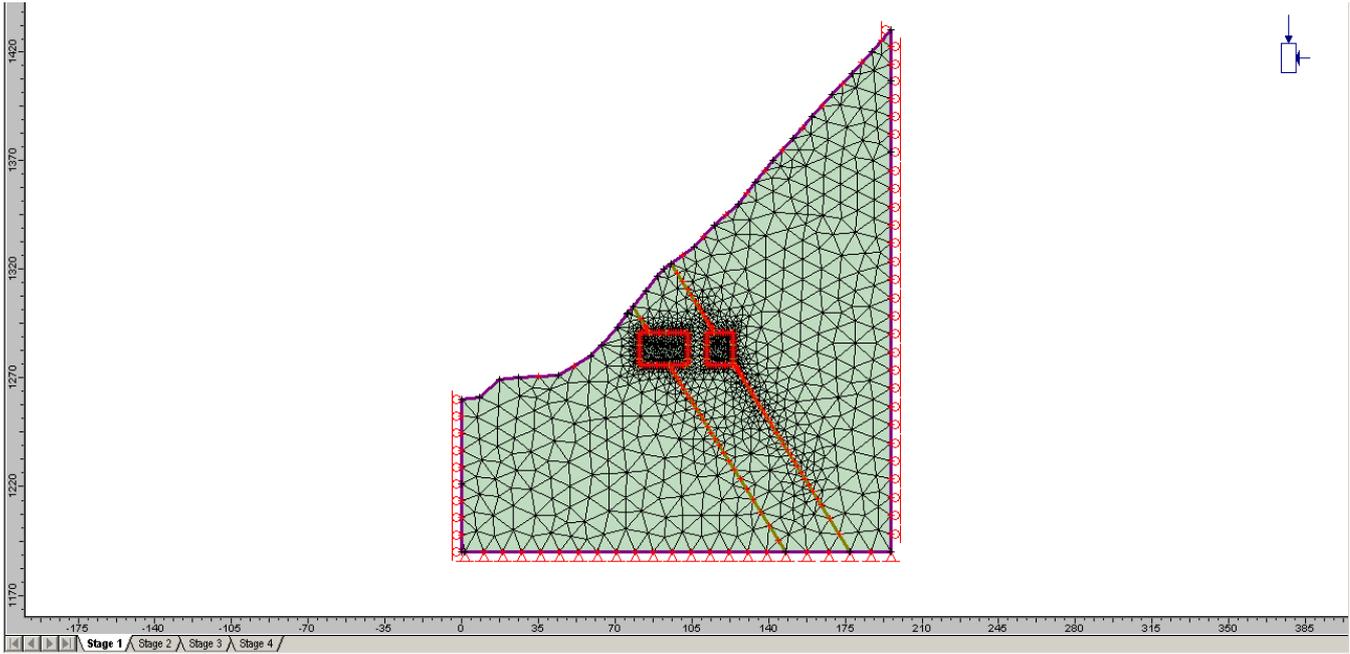
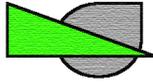


fig.4: mesh del modello FEM realizzato in corrispondenza della sezione B, con evidenza delle camere in sotterraneo e delle discontinuità, corrispondenti alla situazione attuale.

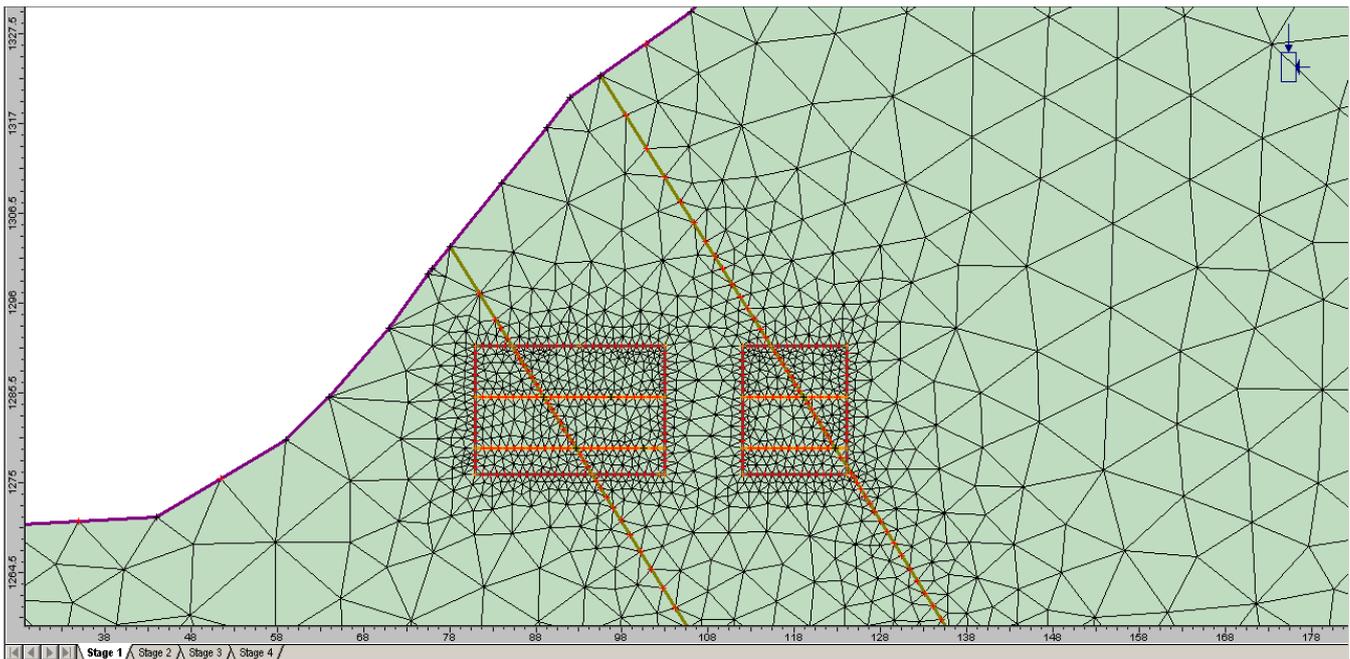


fig.5: dettaglio della mesh del modello FEM realizzato in corrispondenza della sezione B, con evidenza delle camere in sotterraneo, delle discontinuità e della sequenza di scavo (4 fasi)

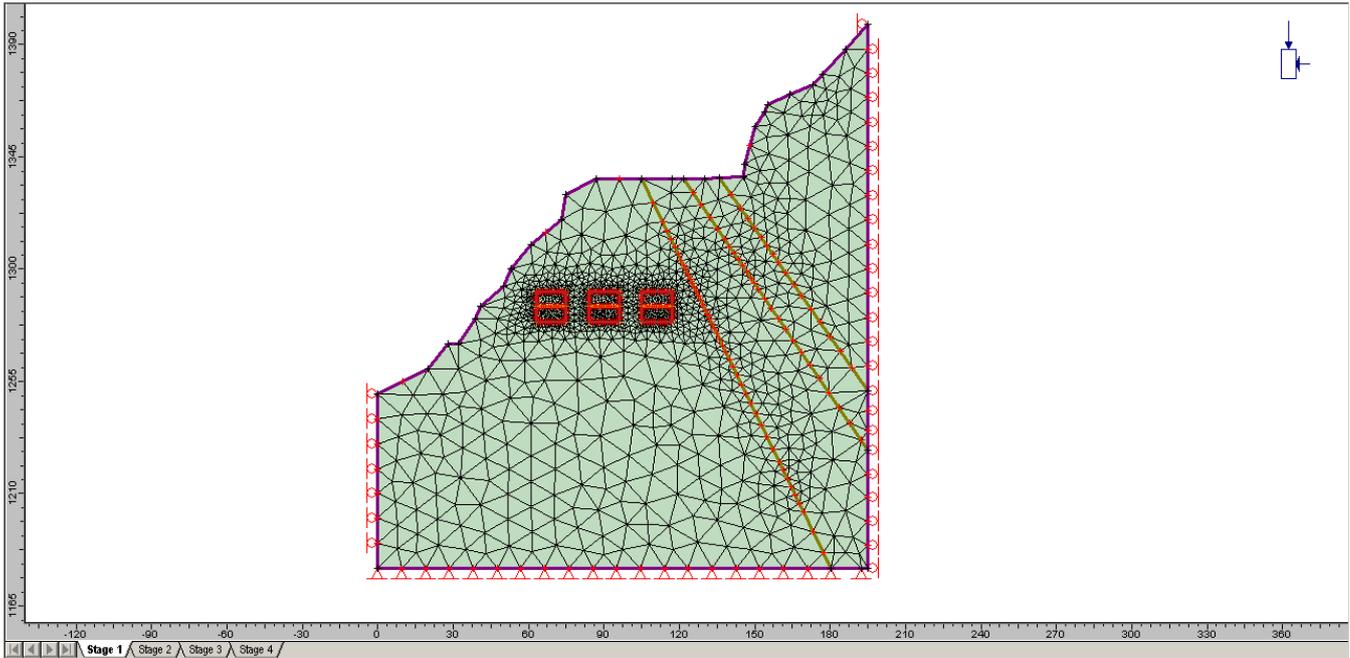
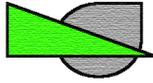


fig.6: mesh del modello FEM realizzato in corrispondenza della sezione C, con evidenza delle camere in sotterraneo e delle discontinuità, corrispondenti alla situazione attuale.

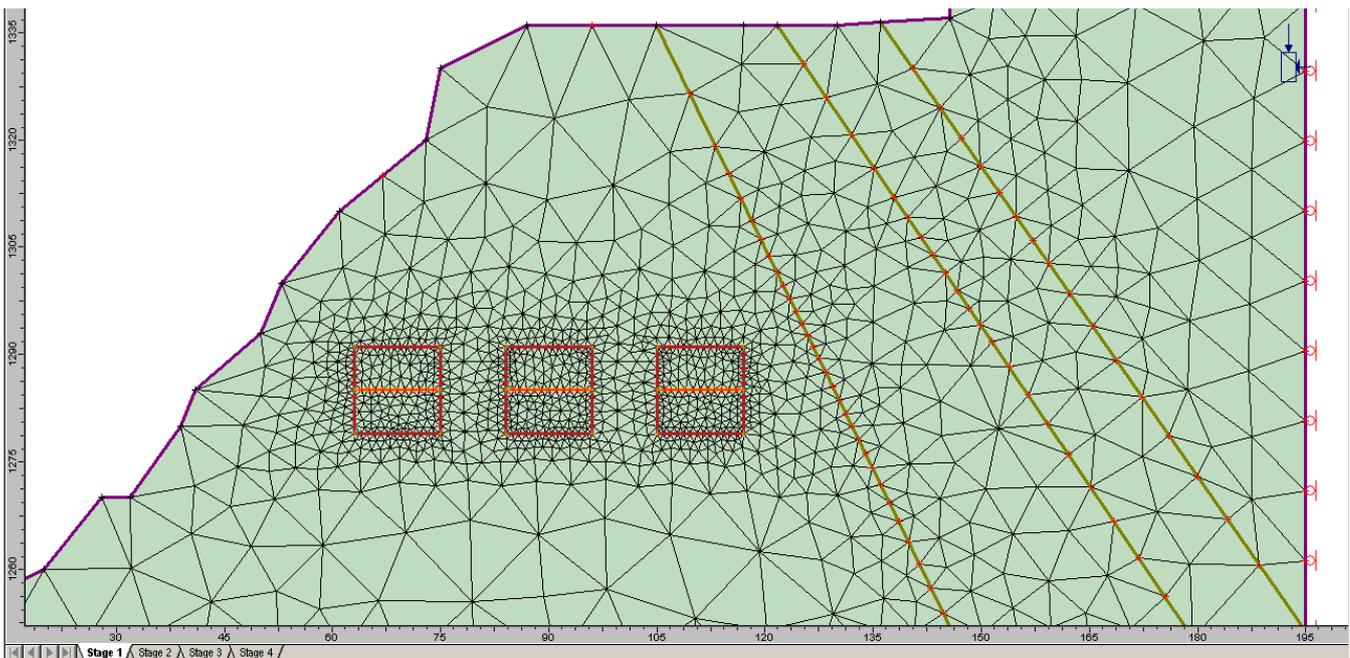
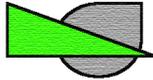


fig.7: dettaglio della mesh del modello FEM realizzato in corrispondenza della sezione C, con evidenza delle camere in sotterraneo, delle discontinuità e della sequenza di scavo (4 fasi)



## 6. Analisi delle sollecitazioni al contorno degli scavi lungo le sezioni del modello FEM.

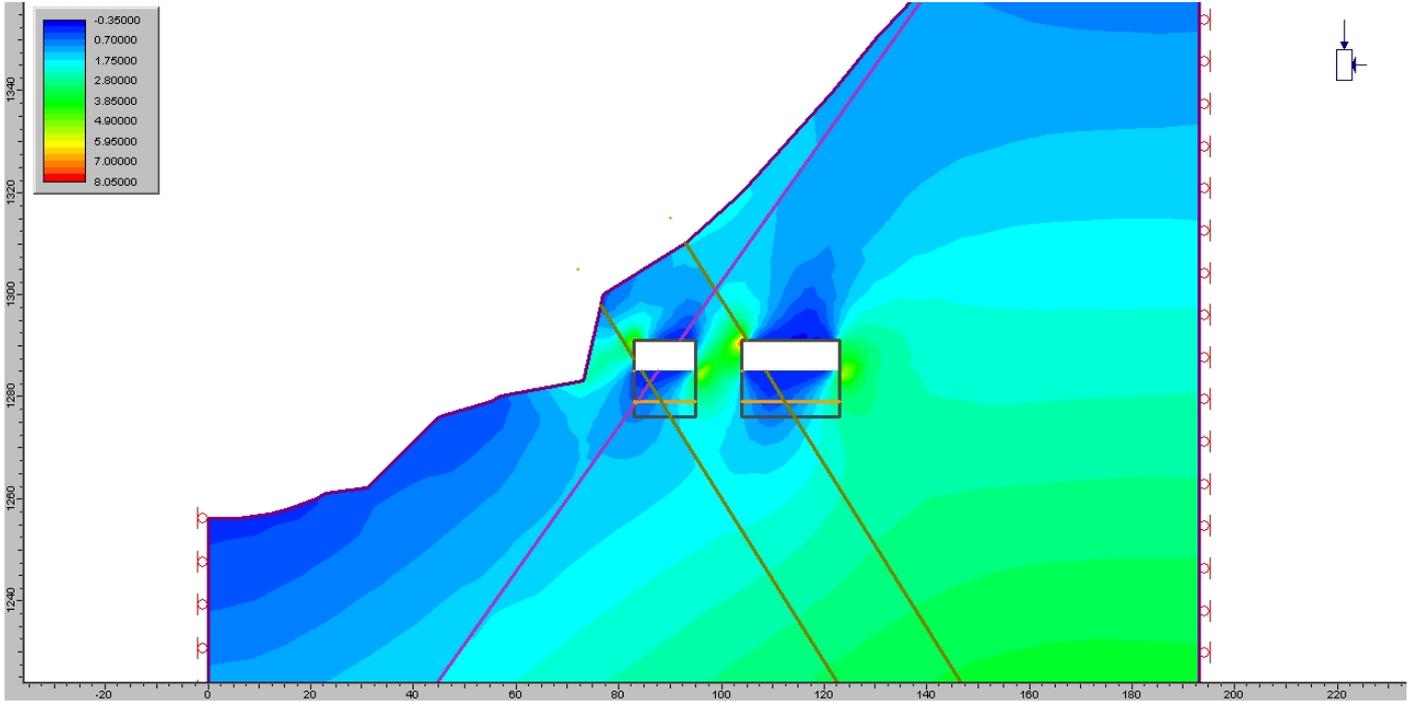


fig. 8: Sezione A, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) all'interno del modello fine fase 1.

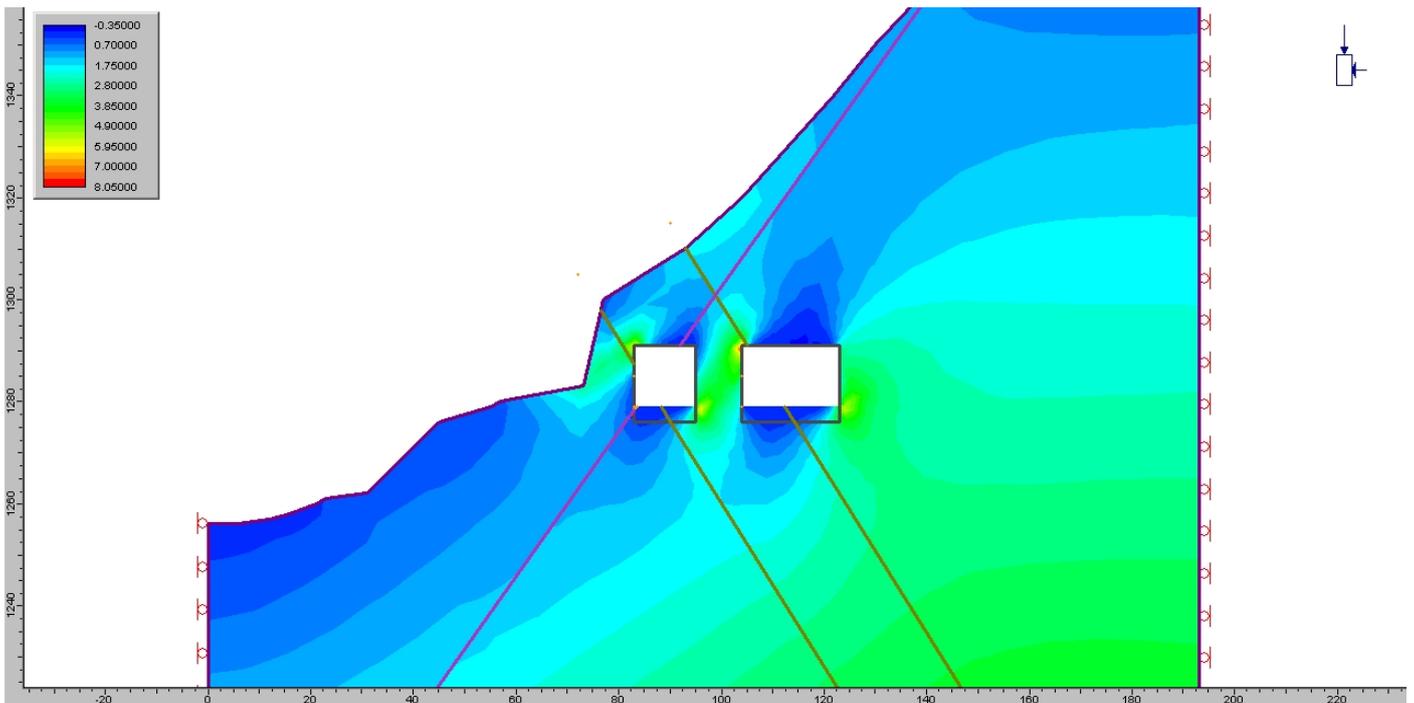


fig. 9: Sezione A, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) all'interno del modello fine fase 2.

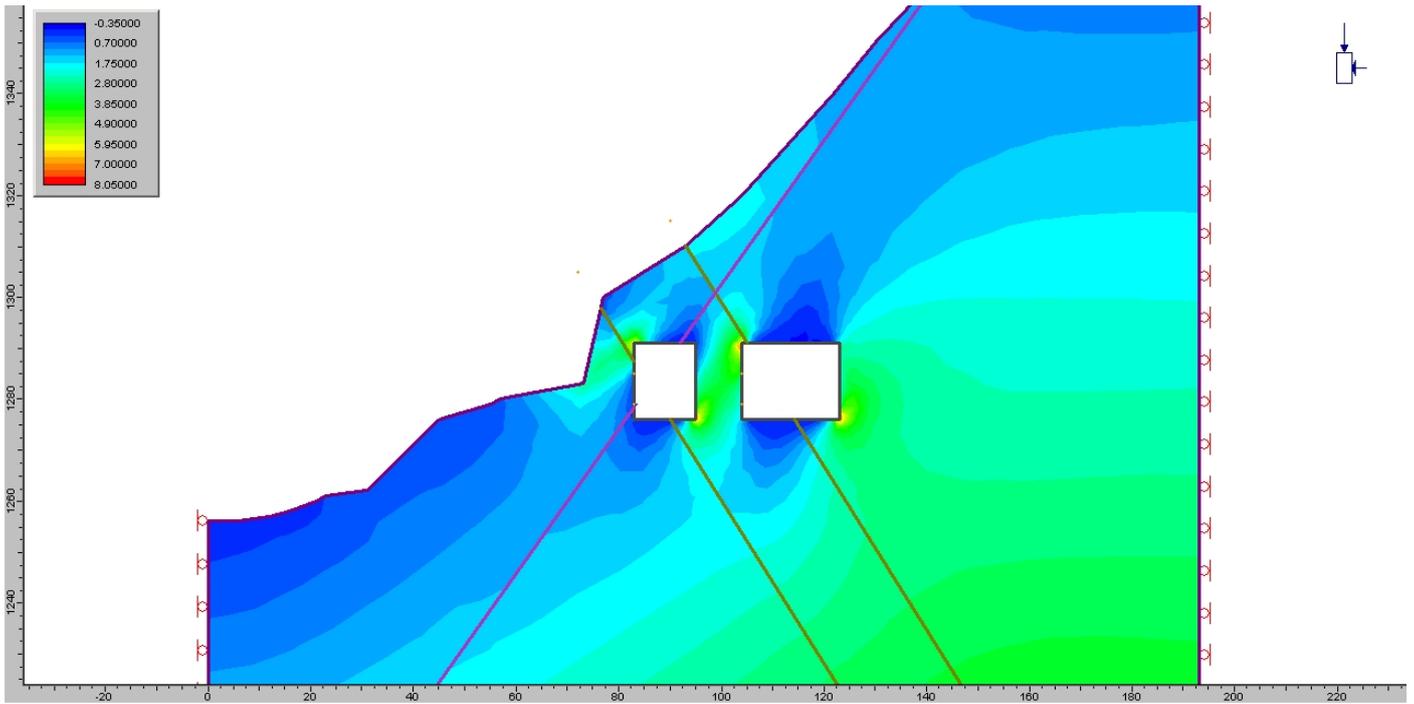
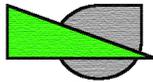


fig. 10: Sezione A, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) all'interno del modello fine fase 3.

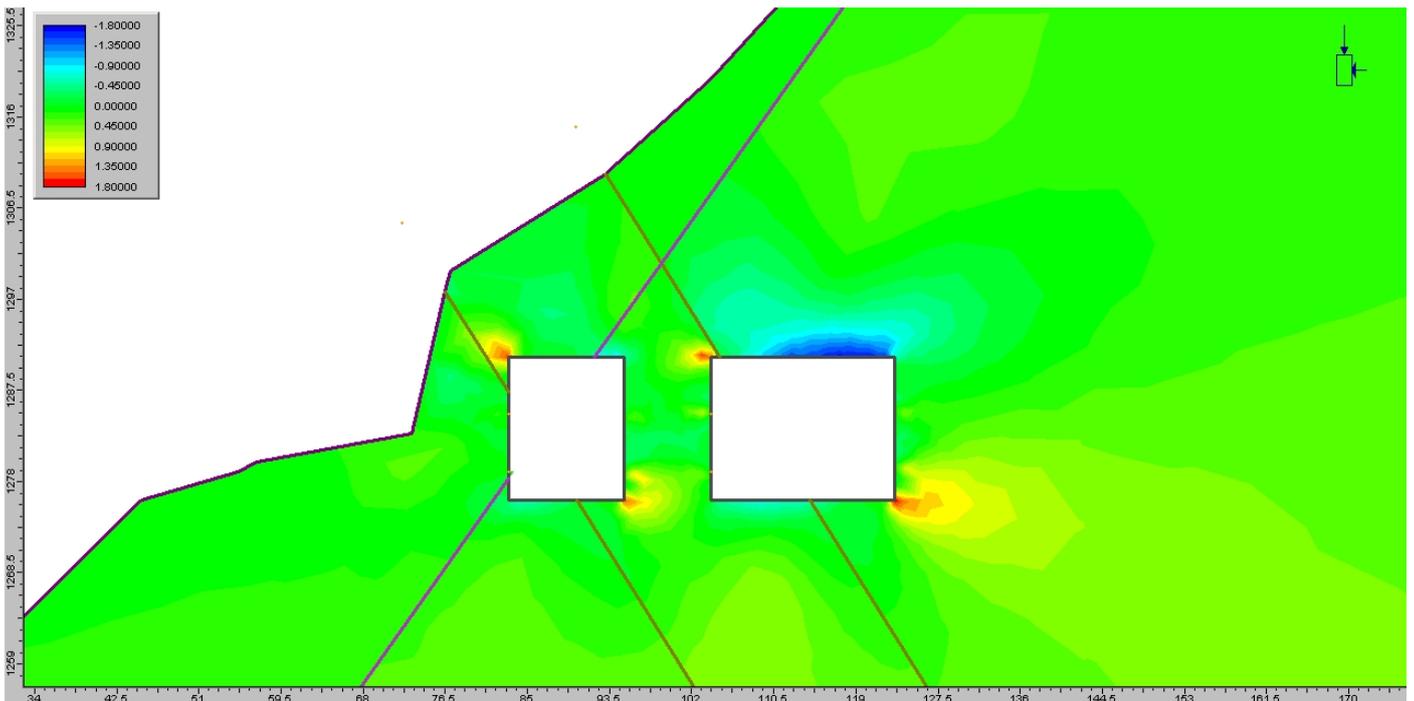


fig. 11: Sezione A, andamento della sollecitazione principale minima ( $\sigma_3$ ) all'interno del modello fine fase 3.

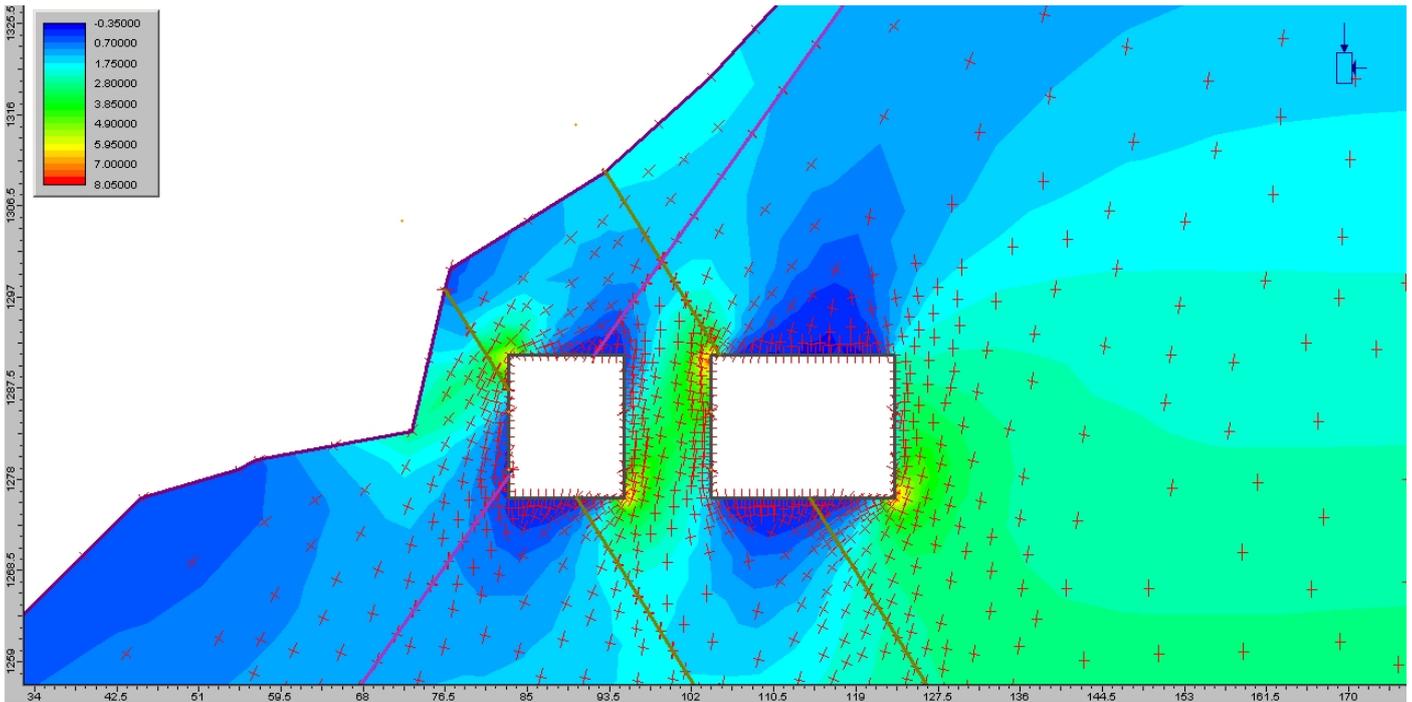
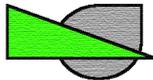


fig. 11: Sezione A, sovrapposizione dell'andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ), nella fase 3, con le direzioni delle sollecitazioni principali.

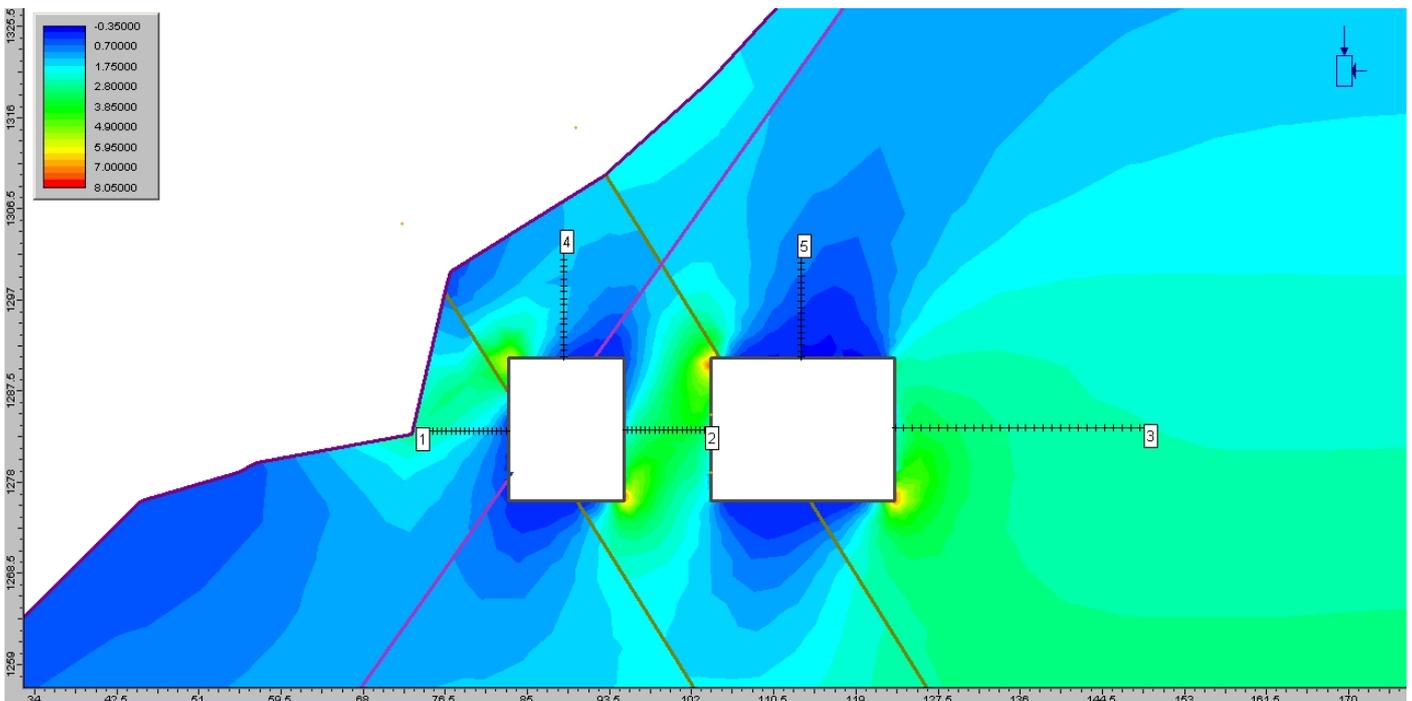


fig. 12: Sezione A, sovrapposizione dell'andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ), nella fase 3, con indicazione delle query lungo le quali sono state analizzate le sollecitazioni indotte dallo scavo (All 1)

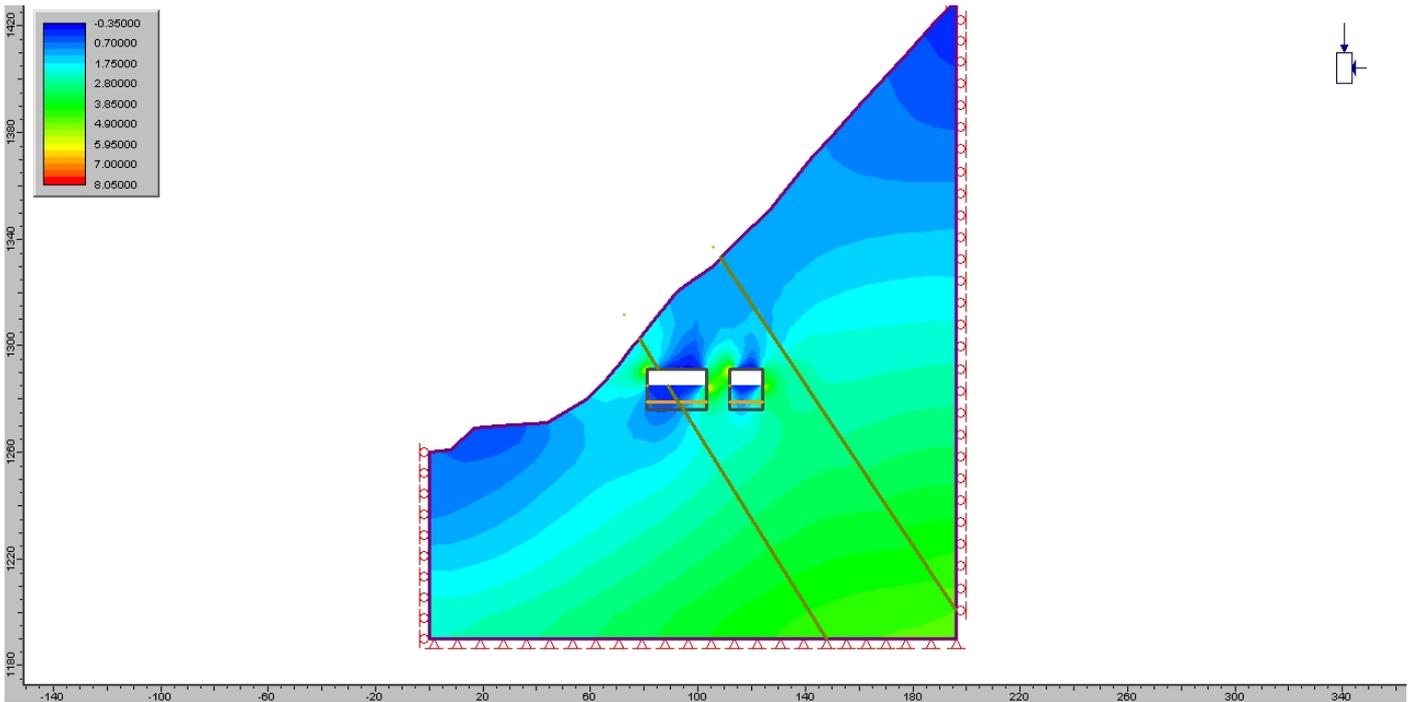
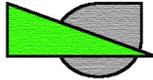


fig. 13: Sezione B, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) all'interno del modello fine fase 1.

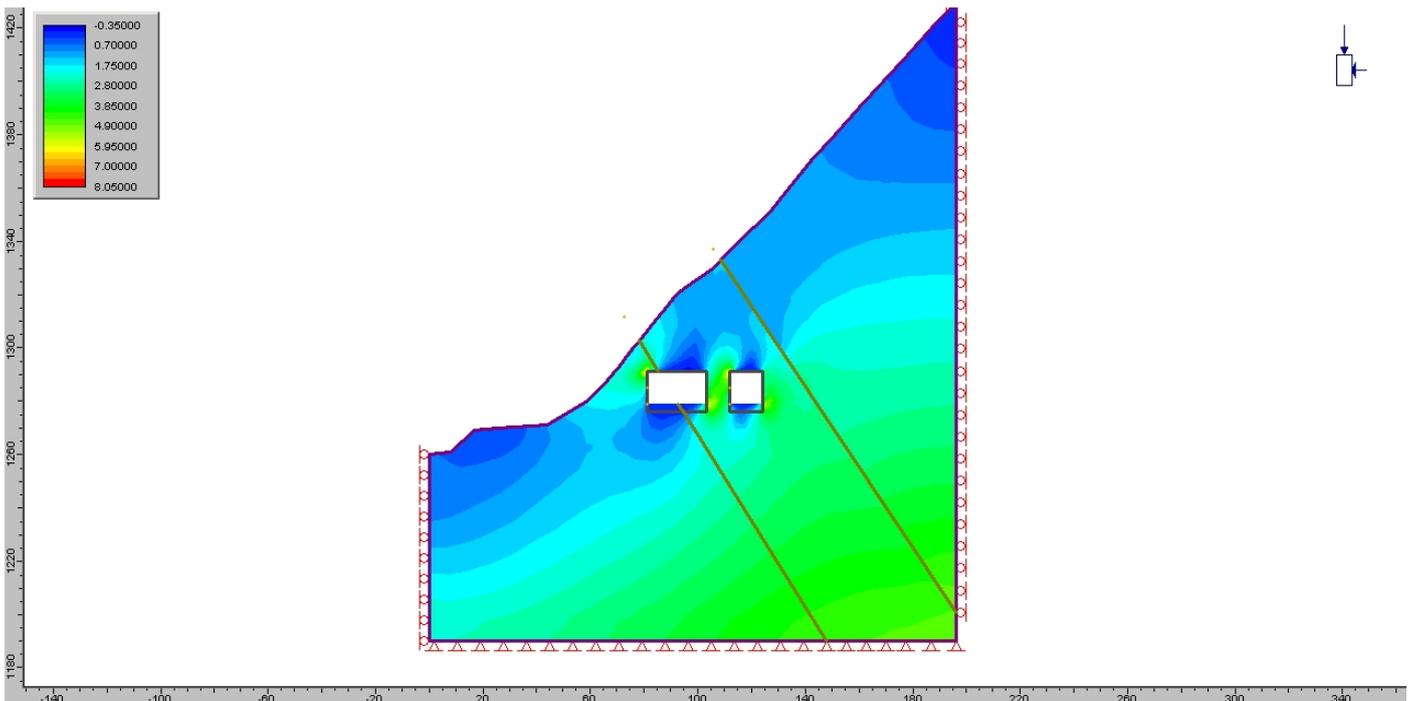


fig. 14: Sezione B, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) all'interno del modello fine fase 2.

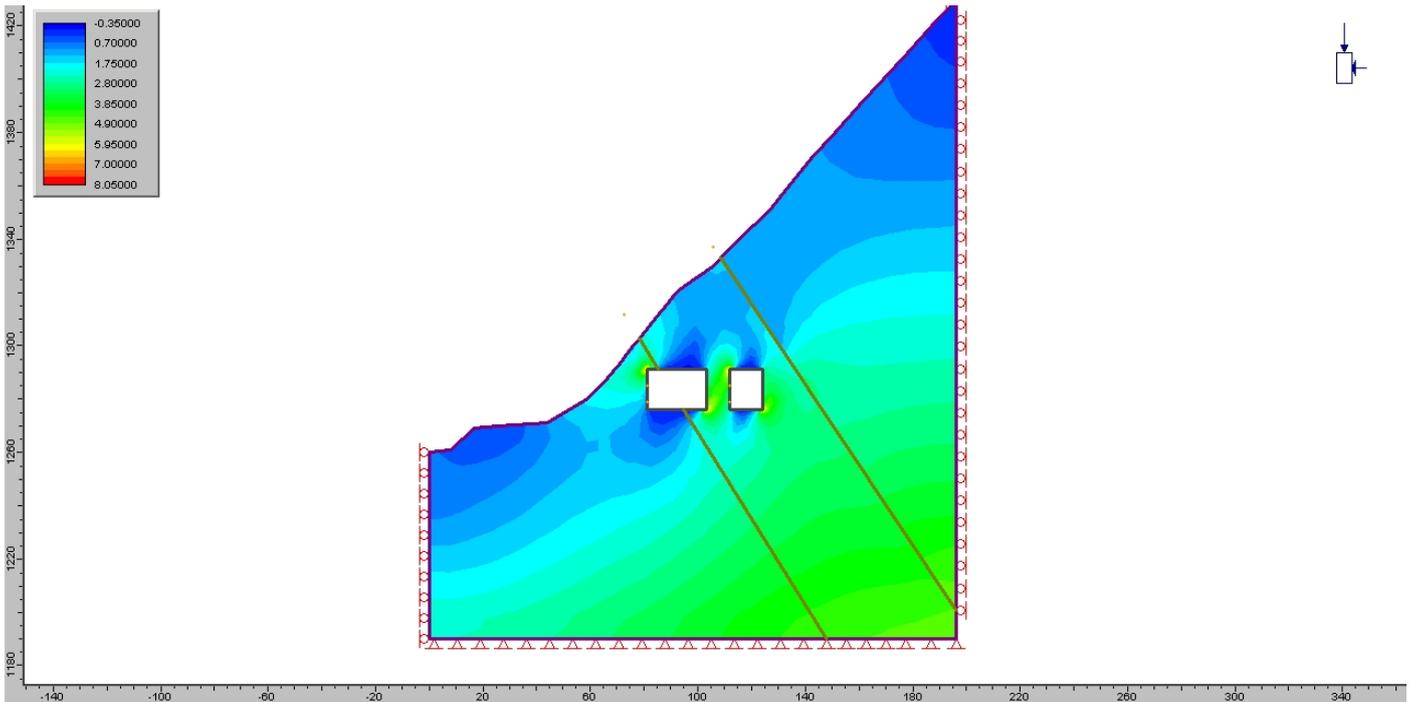
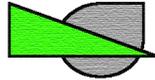


fig. 15: Sezione B, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) all'interno del modello fine fase 3.

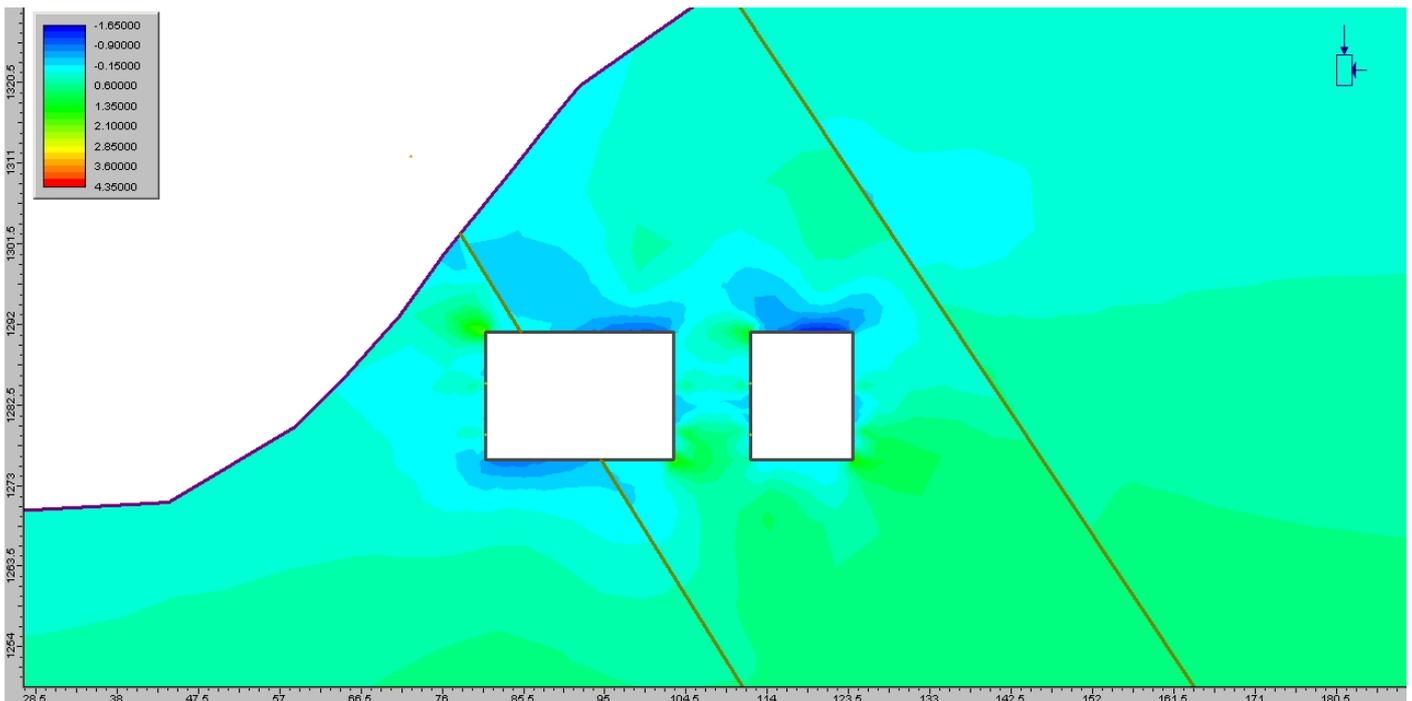


fig. 16: Sezione B, andamento della sollecitazione principale minima ( $\sigma_3$ ) all'interno del modello fine fase 3.

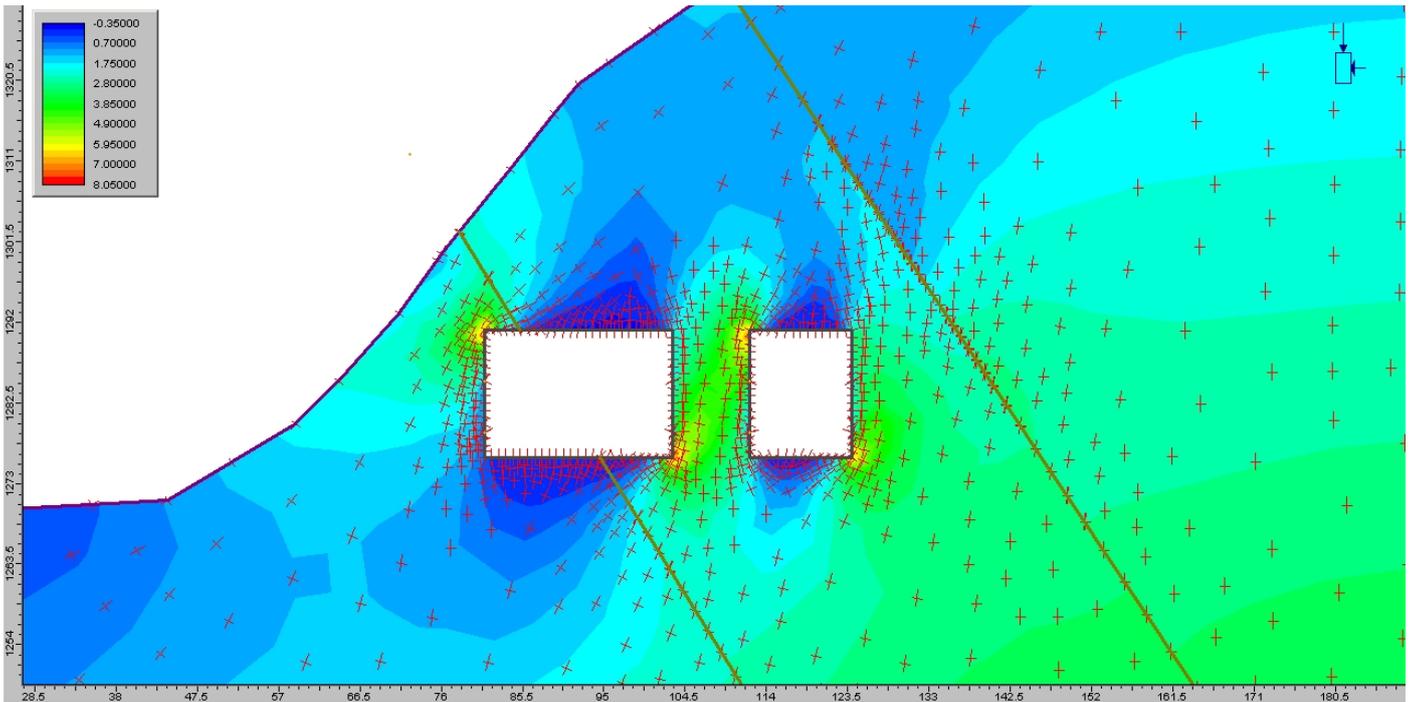
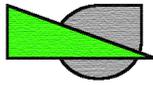


fig. 17: Sezione B, sovrapposizione dell'andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ), nella fase 3, con le direzioni delle sollecitazioni principali.

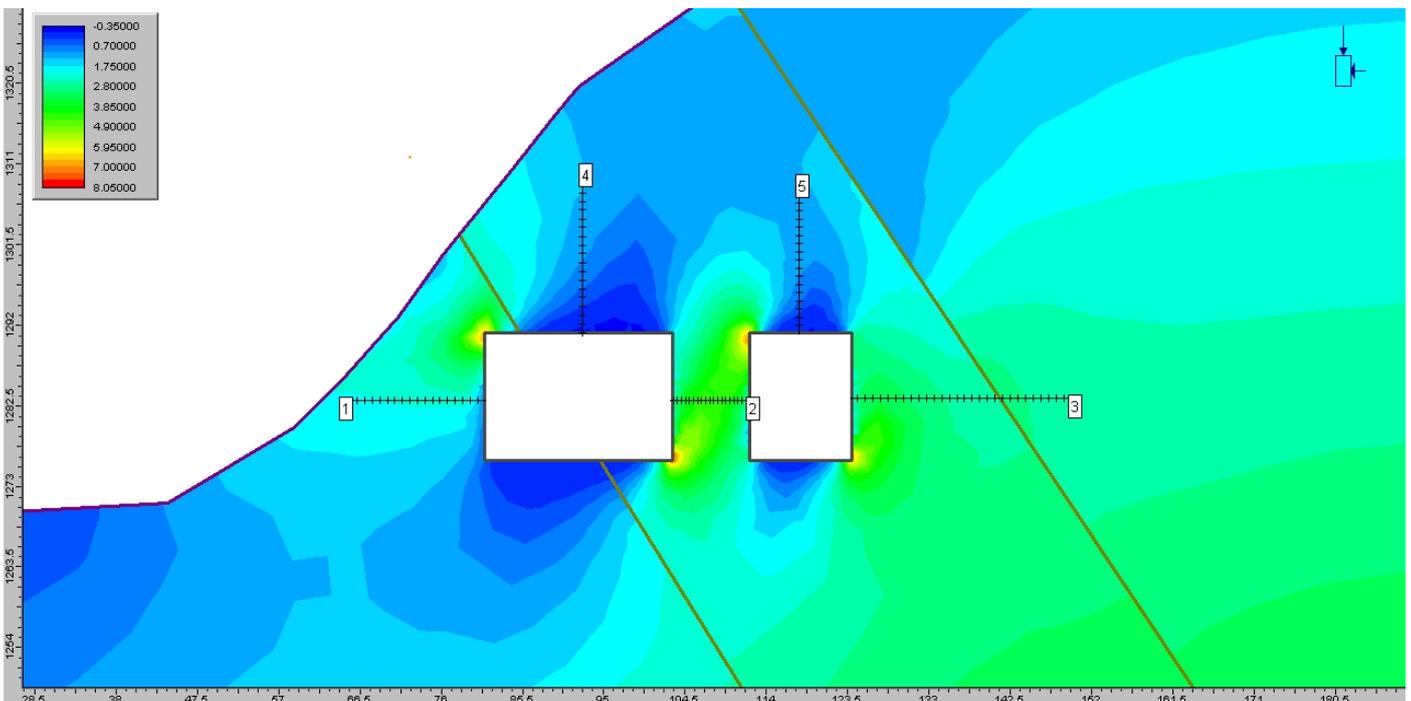


fig. 18: Sezione B, sovrapposizione dell'andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ), nella fase 3, con indicazione delle query lungo le quali sono state analizzate le sollecitazioni indotte dallo scavo (All.to 1)

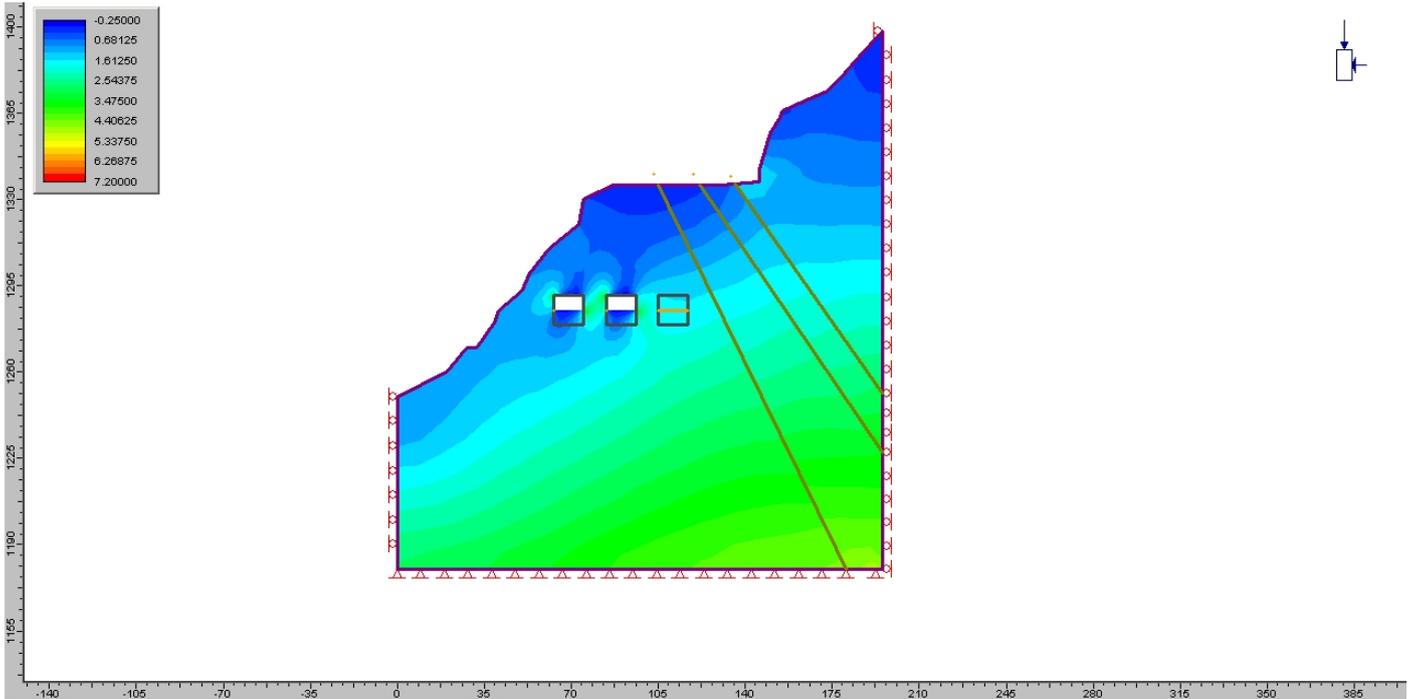
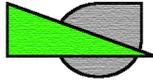


fig. 19: Sezione C, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) all'interno del modello fine fase 1.

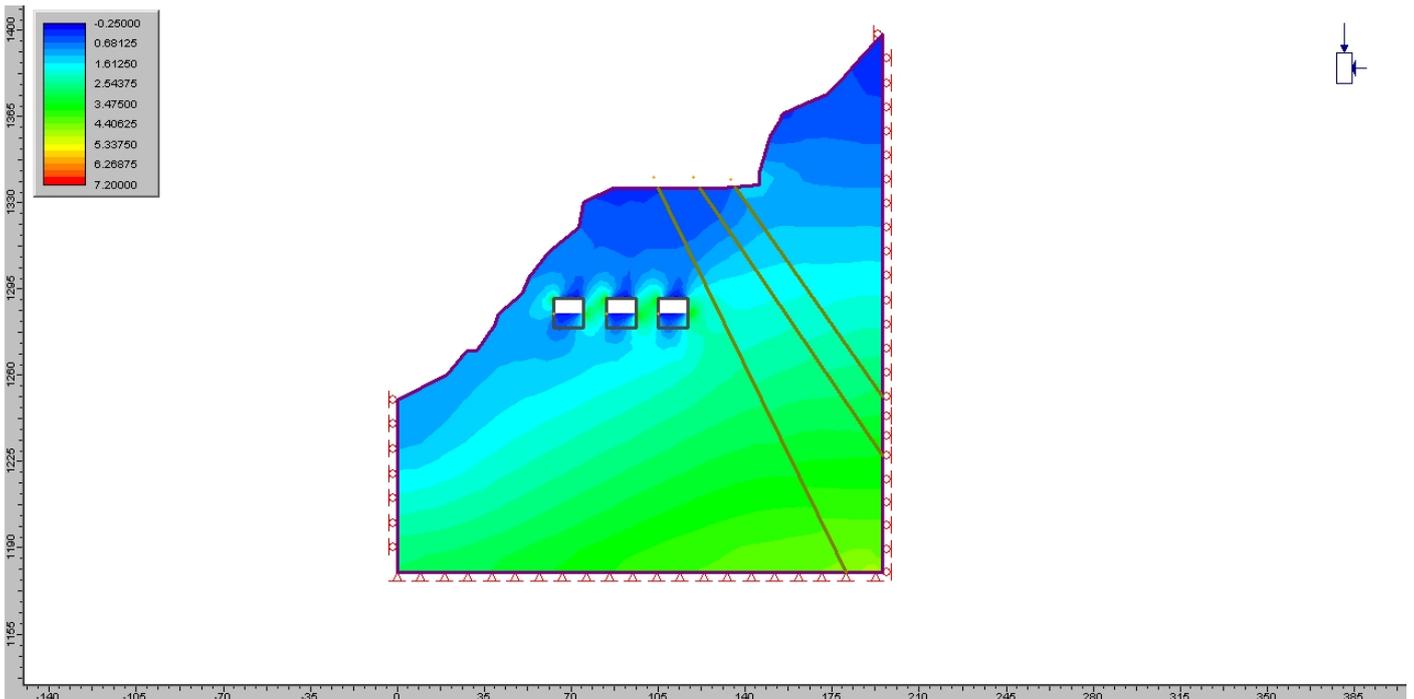


fig. 20: Sezione C, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) all'interno del modello fine fase 2.

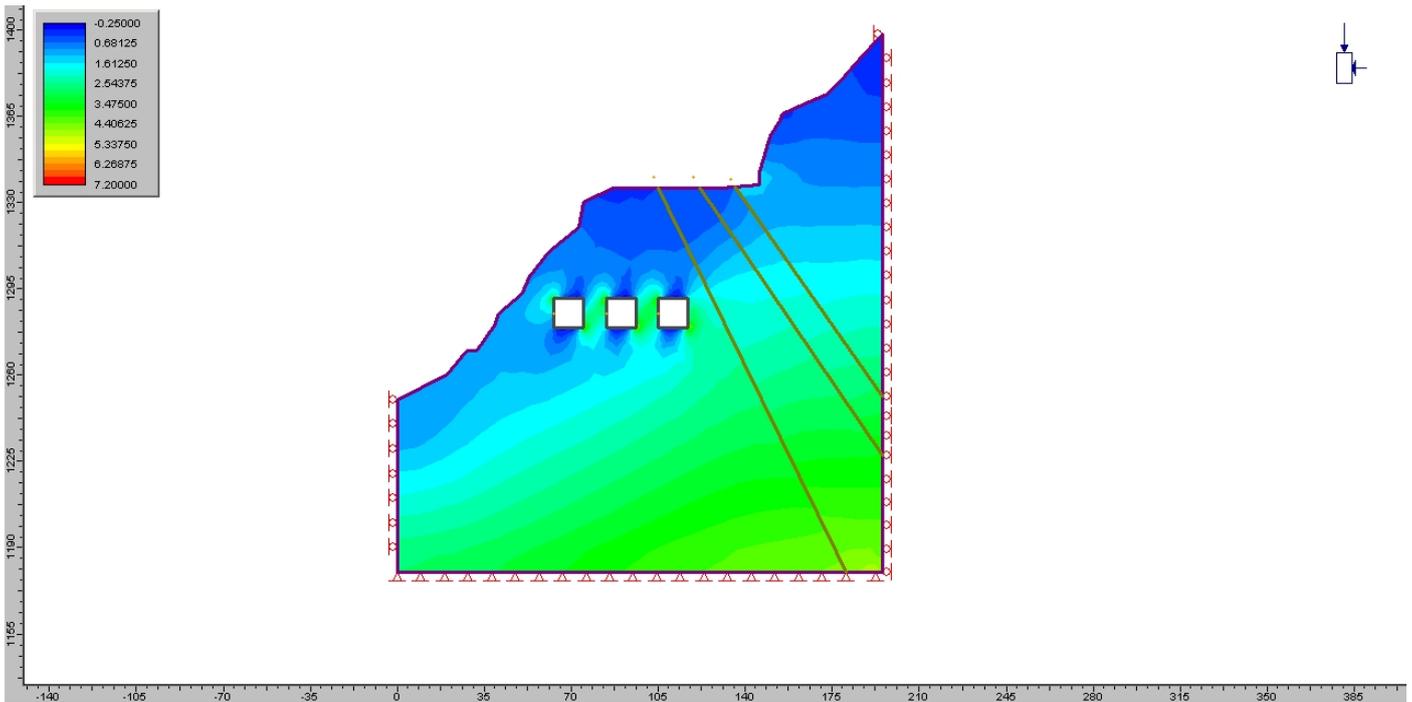
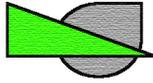


fig. 21: Sezione C, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) all'interno del modello fine fase 3.

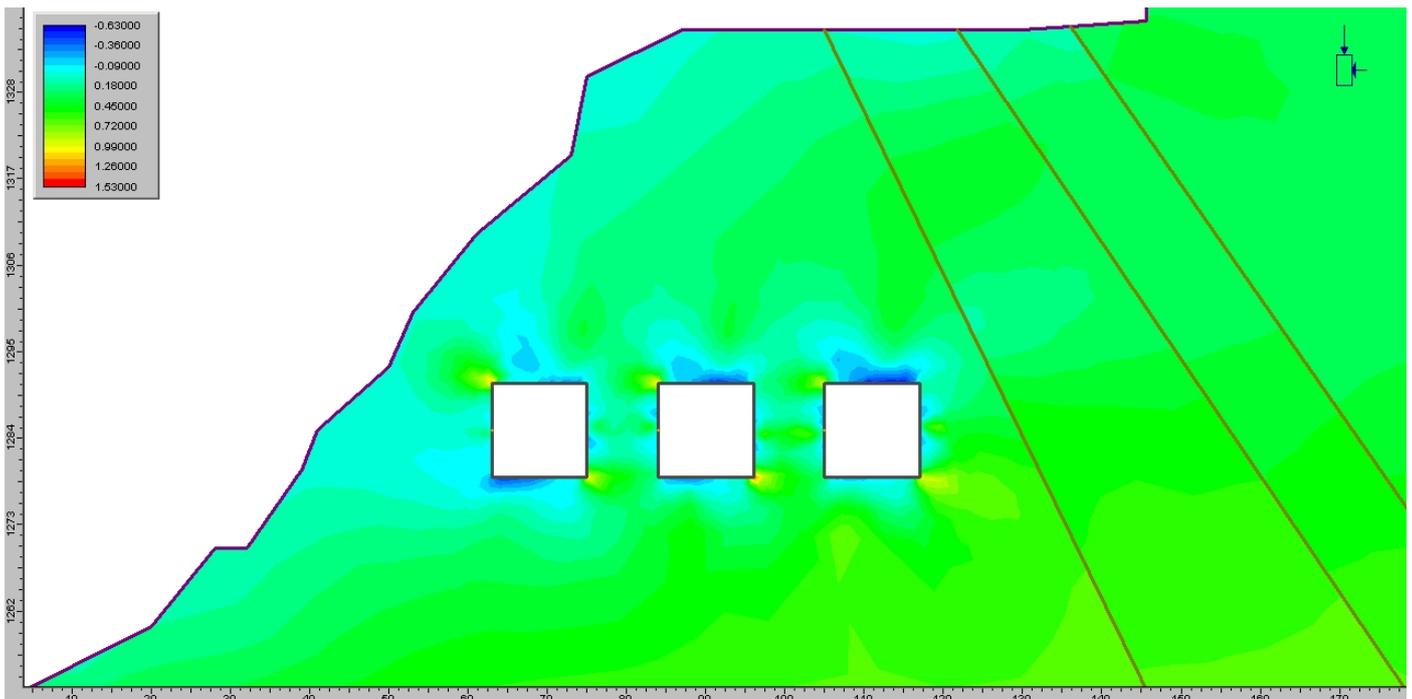


fig. 22: Sezione C, andamento della sollecitazione principale minima ( $\sigma_3$ ) all'interno del modello fine fase 3.

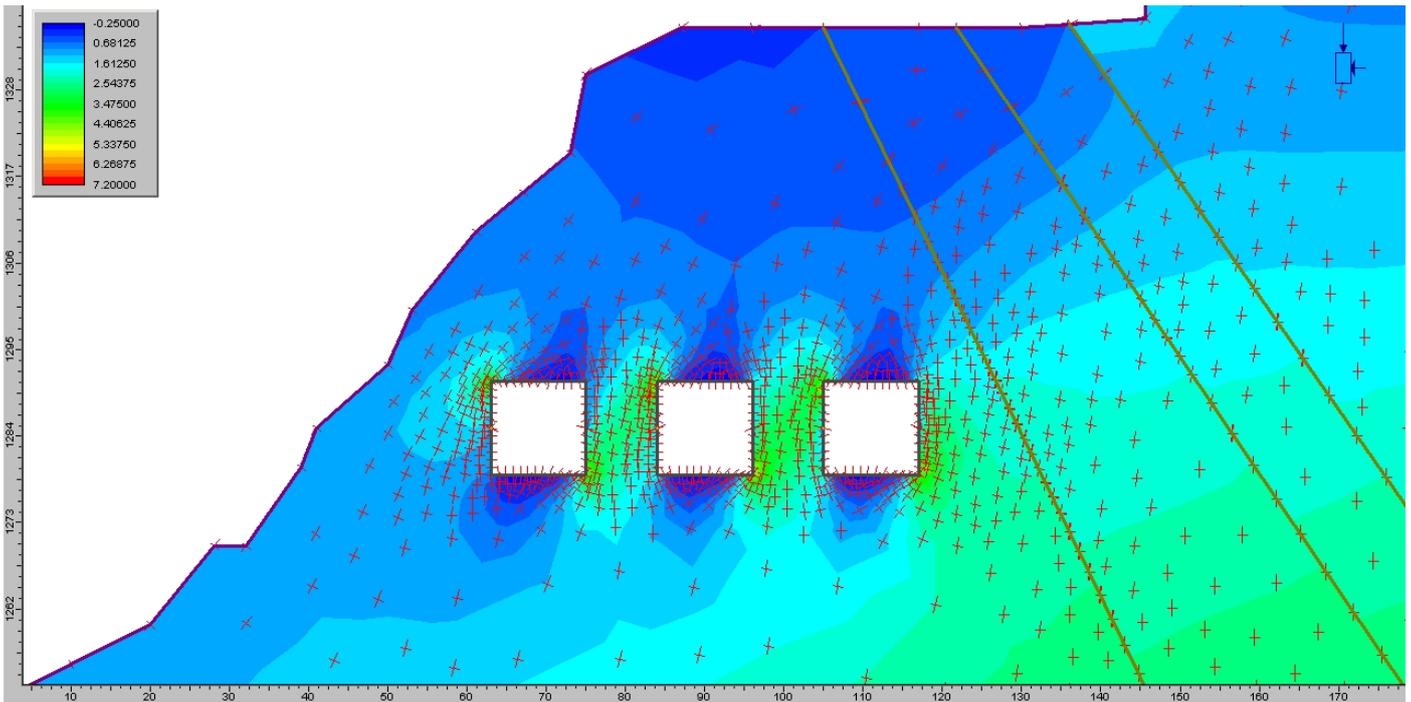
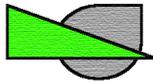


fig. 23: Sezione C, sovrapposizione dell'andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ), nella fase 3, con le direzioni delle sollecitazioni principali.

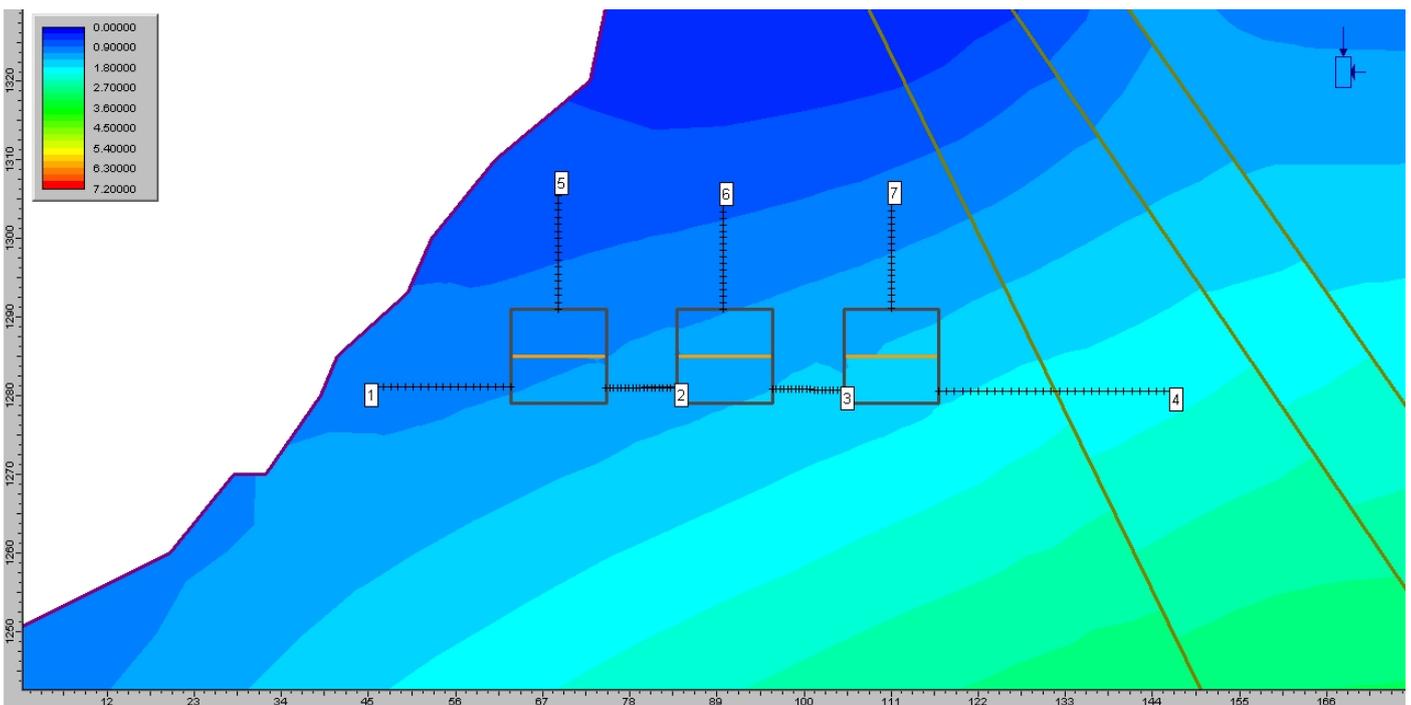
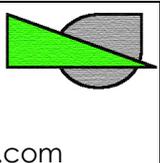


fig. 24: Sezione C, sovrapposizione dell'andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ), nella fase 3, con indicazione delle query lungo le quali sono state analizzate le sollecitazioni indotte dallo scavo (All. 1)

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	21
---	--	--	----

## 7. Risultati analisi FEM

Prendendo in esame l'andamento delle sollecitazioni calcolate nel modello numerico descritto sopra, con particolare attenzione alle sollecitazioni principali e agli sforzi deviatorici, nelle tre sezioni prese in esame si riscontra una distribuzione e andamento coerente con la geometria della zona e l'effetto indotto dagli scavi a progetto.

La ridistribuzione dei carichi è coerente con le leggi di deformazione descritte dalla teoria del mezzo elastico, non si individuano dei punti critici in termini di valore massimo assoluto, anche in corrispondenza dei giunti o di spigoli dovuti alla geometria dello scavo realizzato e i valori sono coerenti con la resistenza dell'ammasso roccioso. Di seguito si riporta i commenti con il dettaglio per ciascuna sezione.

### Sezione A

L'andamento delle sollecitazioni è coerente con la geometria del versante e a quella dello scavo a progetto. I valori di sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) non raggiungono valori eccessivi o potenzialmente superiori alle resistenze caratteristiche del materiale.

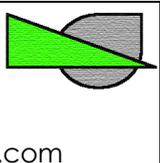
Il pilastro che si verrà a creare tra le due camere è sottoposto ad un carico pseudo-verticale intorno a 5 MPa, in corrispondenza della calotta delle due camere sotterranee si avranno delle zone sottoposte a trazione ma con valori del tutto accettabili (calcolati  $< 0,5$  MPa).

La direzione delle sollecitazioni mette in evidenza la sovrapposizione dello stress naturale e quello indotto dallo scavo, particolarmente evidente nel pilastro, la valutazione effettuata non mette in evidenza criticità ma sarà importante verificare regolarmente le condizioni rinvenute durante l'avanzamento degli scavi ed eventualmente ottimizzare il modello numerico.

### Sezione B

Anche in questo caso l'andamento della sollecitazione principale massima risulta essere coerente con la geometria del modello. L'avanzamento dello scavo genererà un pilastro, tra le camere, e un diaframma una camera e il versante naturale, in entrambe le situazioni le sollecitazioni sia in termini di carico che di orientazione sono coerenti con l'atteso e non sembrano essere in grado di generare criticità statiche.

Anche in questo caso, in corrispondenza delle calotte, si genereranno delle zone con sollecitazione positiva ma di intensità tale da non generare criticità, sarà necessario osservare l'avanzamento dello scavo per valutare l'interferenza di questo campo di sforzi con la presenza di locali e poco persistenti discontinuità ma in grado di generare blocchi cinematicamente ammissibili.

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	22
---	--	--	----

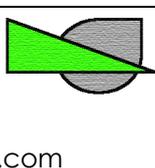
## Sezione C

Come per le altre sezioni anche in questo caso l'andamento delle sollecitazioni al contorno dello scavo è coerente con la geometria del versante e la variazione di carico indotta dallo scavo.

Il carico generato dallo scavo si ripartisce in maniera uniforme sui pilastri generati dallo stesso, sia in termini di sollecitazioni che di orientazione.

La soletta che si crea tra la volta dello scavo a progetto e il piazzale della Cava Carcaraia B è in grado di assorbire la variazione di carico dello scavo senza generare delle zone con elevate sollecitazioni in termini assoluti.

Lungo le Query verticali in corrispondenza delle 3 calotte delle camere è stato esaminato l'andamento della sollecitazione principale minima e per una fascia molto superficiale si trovano delle zone a trazione ma di intensità bassa ( $< 1\text{MPa}$ ) che vengono presto convertite in compressione man mano che si procede verso l'alto. Come detto non sono state riscontrate interferenze in termini di distribuzione dei carichi con il piazzale soprastante grazie allo spessore dell'ammasso che in quel punto è di circa 44 m

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	23
---	--	--	----

## 8. Analisi sui cinematismi generabili lungo la galleria di collegamento tra le due cave

Come opera di collegamento tra le due cave è prevista la realizzazione di una galleria, lunghezza circa 90 m e sezione 6 x 6 m. Il contesto geostrutturale in cui sarà realizzata la galleria, per la maggior parte del suo sviluppo, è riconducibile a quello della cava Carcaraia Arabescato, si precisa però che nella parte finale sarà ovviamente un contesto differente, in quanto zona di transizione tra i due domini.

Si riporta di seguito una valutazione statistica dei possibili cinematismi generabili dall'intersezione tra le famiglie di discontinuità presenti nell'ammasso e le superfici libere generate dallo scavo della galleria stessa.

In particolare si vuole valutare quali possano essere i più opportuni sistemi di rinforzo nei confronti dei cinematismi individuati in sede di analisi, sapendo che al momento si tratta di un'analisi statistica che verrà affinata e che potrà evolvere in un'analisi deterministica man mano che si procederà nell'avanzamento dello scavo.

Per questo motivo sono state prese dallo scrivente le opportune precauzioni, valutazioni cautelative sui parametri geometrici e geomeccanici dell'ammasso, per giungere alla definizione delle più probabili condizioni di esercizio della galleria.

La figura 25 riporta uno stralcio della topografia e la traccia della galleria di collegamento sopra citata.

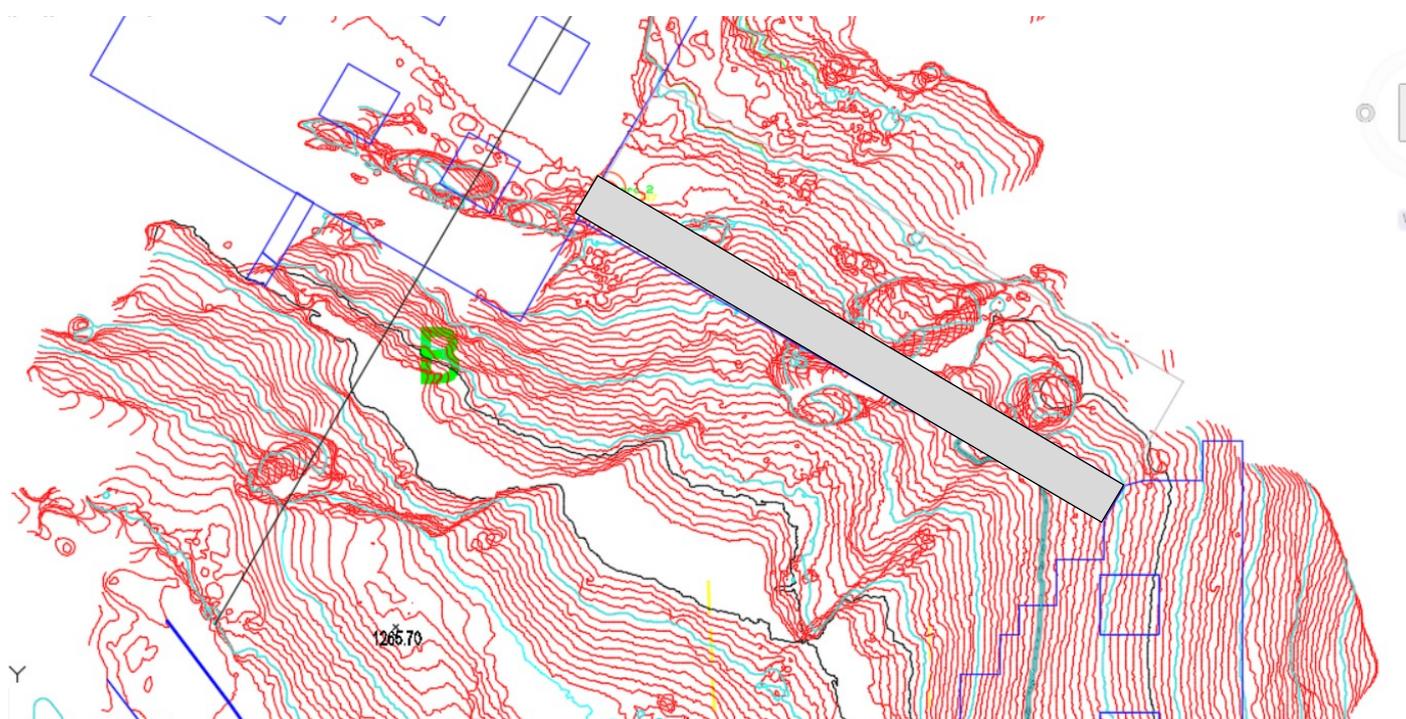


Fig. 25: tracciato della galleria di collegamento tra le due cave. (trend 300° plunge 0°)

La figura seguente riporta il numero e orientazione delle famiglie di discontinuità individuate durante i rilievi geologici e geostrutturali eseguiti dal Dott. Geol. E. Sirgiovanni e Dott. Geol. L. Vaselli.

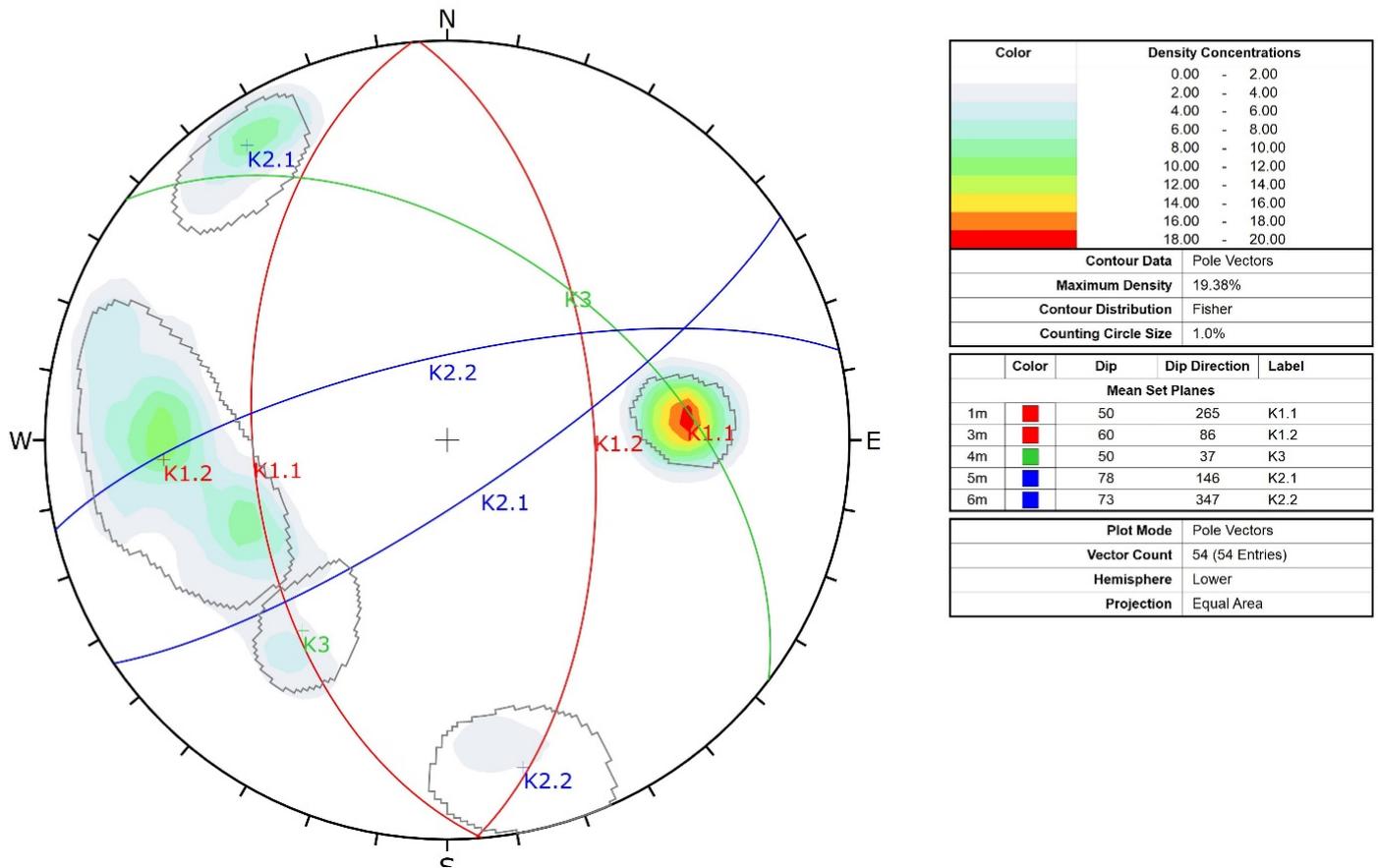
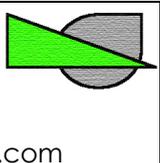


Fig. 26: rappresentazione su stereogramma delle discontinuità rilevate nel dominio geostrutturale della cava Carcaraia Arabescato.

Tabella 2: giacitura delle famiglie caratteristiche individuate

	K1.1	K1.2	K3	K2.1	K2.2
DIP DIR [°]	265°	086°	037°	146°	347°
DIP [°]	50°	60°	50°	78°	73°

I parametri geomeccanici utilizzati per la valutazione sopra citata sono stati desunti da rilievi speditivi in sito (si veda allegato C) e parametri ottenuti da prove di laboratorio su materiali simili. In particolare, adottato come criterio di resistenza quello espresso da Mohr- Coulomb, si può assumere che i due parametri caratteristici sui giunti siano  $C = 0,1 \text{ MPa}$  e  $\Phi = 31^\circ$ , come detto questa coppia di parametri è sensibilmente

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	25
---	--	--	----

cautelativa proprio a causa di alcune incertezze dovute alla difficoltà tecnica, ad oggi, di raggiungere la zona dell'ammasso roccioso in cui si svilupperà la galleria di collegamento.

Si precisa inoltre che l'analisi è stata effettuata in condizioni dinamiche seguendo la normativa NTC imposta 18 secondo il DM 17/1/18 seguendo l'approccio del "sito dipendente".

Per la valutazione dei cinematismi generabili dall'intersezione tra le superfici libere generate dallo scavo e le famiglie di discontinuità presenti nell'ammasso roccioso è stato utilizzato un metodo di calcolo basato sull'equilibrio limite (LEM), che si basa sulla teoria di Goodman & Shi (1985).

Questa 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. L'abbinamento con un metodo di calcolo LEM consente di applicare sui giunti i parametri di resistenza caratteristici e l'azione dinamica dovuta all'eventuale azione di un sisma.

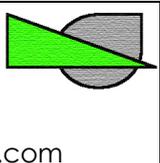
Il metodo di calcolo LEM consente però di considerare contemporaneamente soltanto 3 famiglie di discontinuità, è necessario quindi generare delle combinazioni con le 5 famiglie e individuare quelle potenzialmente più critiche, ovviamente in funzione della sezione media e direzione della galleria.

Allo stesso tempo è possibile intervenire anche sulla persistenza e spaziatura caratteristica delle famiglie di discontinuità in quanto la geometria dei blocchi in funzione della sezione di scavo gioca un ruolo molto importante nella valutazione in oggetto.

La tabella seguente descrive le opzioni prese in esame nell'analisi in oggetto in termini di spaziatura, persistenza e relativa probabilità.

Tabella 3: opzioni geometriche esaminate nell'analisi (dimensione della galleria a progetto 6m X 6m)

	Minima	Media	Massima
Lunghezza media delle discontinuità [m]	1,5-2	3,8-5	5-6
Persistenza media delle discontinuità [m]	2	4,9-5	>6
Probabilità di accadimento	Media	Poco probabile	Molto poco probabile

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	26
---	--	--	----

Alla luce di quanto appena descritto è necessario impostare la geometria del problema sulla base della quale il software svolge le analisi cercando l'involuppo più realistico possibile, in termini dimensionali, con i possibili cinematismi e ne calcola il relativo fattore di sicurezza, più una serie di altri parametri caratteristici.

Nel caso specifico sono state prese in esame solo le condizioni più sfavorevoli, **ovvero con fattore di sicurezza  $\leq 1$** . Le altre combinazioni al momento non rientrano nell'analisi in quanto intrinsecamente stabili, se nell'evoluzione del presente studio si individueranno nuovi dati sperimentali sulla reale condizione geostrutturale dell'ammasso l'analisi verrà ottimizzata.

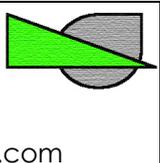
La tabella seguente riassume le possibili combinazioni nelle quali almeno un (1) blocco in condizioni di possibile instabilità è stato individuato.

Tabella 4: combinazioni di discontinuità con cinematismi ammissibili e potenzialmente instabili.

	K1.1	K1.2	K3	K2.1	K2.2
C1 [1,2,3]	265°	086°	037°	146°	347°
C2 [1,2,5]	50°	60°	50°	78°	73°
C3 [1,3,4]	265°	086°	037°	146°	347°
C4 [1,4,5]	50°	60°	50°	78°	73°

Dopo aver individuato le combinazioni geometriche delle discontinuità e delle principali caratteristiche quali la persistenza e lunghezza delle tracce, contestualizzate allo scavo in oggetto, si è proceduto alla valutazione per il singolo blocco delle sue dimensioni geometriche, e della relativa massa, al fine di definire i possibili interventi di rinforzo necessari. Si precisa che in questa sede sono stati contemplati i classici bulloni di tipo passivo ad ancoraggio puntuale, particolarmente adatti per l'avanzamento di scavi minerari nelle condizioni in oggetto. Nel caso specifico sono stati contemplati i bulloni DIWIT  $\Phi = 15$  mm che, sulla base delle informazioni desumibili dalla scheda tecnica del fornitore, consentono di generare una forza di trazione pari a 15,7 t per ogni bullone. Nulla osta all'utilizzo di diametri maggiori ma si raccomanda di utilizzare lo stesso numero di bulloni indicati nella tabella seguente, con il conseguente risultato che si avranno FS più elevati.

Nella tabella 5 si riporta la sintesi dell'analisi condotta con l'indicazione del volume del blocco generabile nelle condizioni prese in esame nello studio e le relative azioni di mitigazione del rischio, ovvero disgiungimento del materiale lapideo quando possibile oppure rinforzo mediante bulloni passivi del tipo riportato sopra. Si precisa che tutti i blocchi individuati in questa sede sono stati localizzati in calotta, si riporta di seguito un'immagine

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	27
---	--	--	----

con la ricostruzione del blocco e la relativa tipologia di intervento possibile, oltre alla valutazione del fattore di sicurezza post-intervento.

Tabella 5: riepilogo dei blocchi e del relativo peso espresso in tonnellate

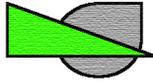
	Minima	Media	Massima
C1 [1,2,3]	0	0	0
C2 [1,2,5]	0	0	0
C3 [1,3,4]	0,95 t	14,9 t	46,8 t
C4 [1,4,5]	0,46 t	7,2 t	17 t

Di seguito il riepilogo degli interventi di messa in sicurezza previsti per le quattro combinazioni di cinematismi che hanno generato blocchi potenzialmente rimuovibili dalla loro sede e i relativi interventi di mettere in servizio per mantenere le adeguate condizioni di sicurezza in fase di avanzamento dello scavo.

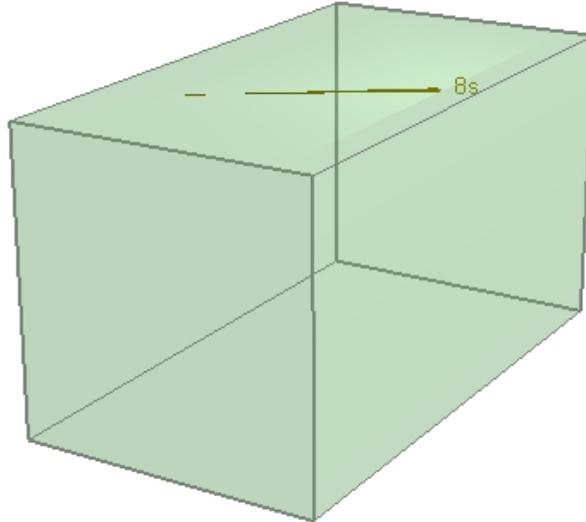
Tabella 6: riepilogo degli interventi di rinforzo attuabili.

	Descrizione dell'intervento di rinforzo	F.S. post intervento
	Disgaggio preventivo con barra d'acciaio	-
	N°1 bullone DIWIT $\Phi = 15$ mm L = 3 m	> 10
	N°1 bullone DIWIT $\Phi = 15$ mm L = 3 m	2
	N°2 bulloni DIWIT $\Phi = 15$ mm L = 3 m	1,9 - 2,1
	N°4 bulloni DIWIT $\Phi = 15$ mm L = 6 m	1,3

Si riporta di seguito a titolo di esempio la ricostruzione dei blocchi delle 4 combinazioni (C1-C4) nella configurazione geometrica media, per una maggior comprensione degli interventi di consolidamento previsti. Si rimanda all'allegato B per la serie completa di immagini.



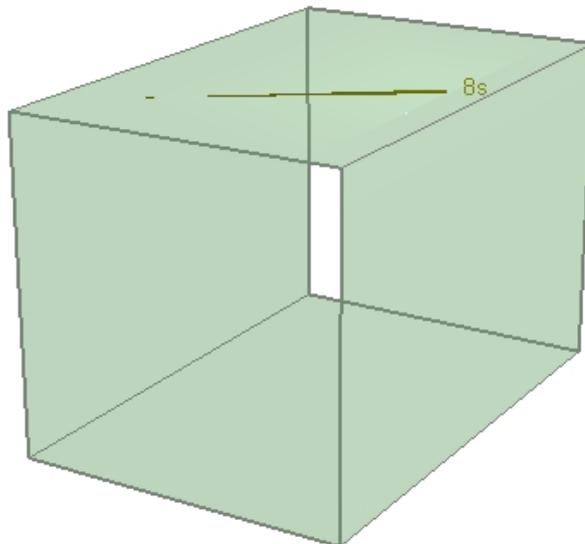
Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000



Weight: 0.012 tonnes

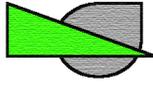
Fig. 27: Combinazione C1, situazione geometrica Media, blocco in calotta con  $F_s < 0$ . La dimensione del blocco comporta il disgiungimento durante le operazioni di avanzamento e si ritiene la soluzione preferibile.

Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000

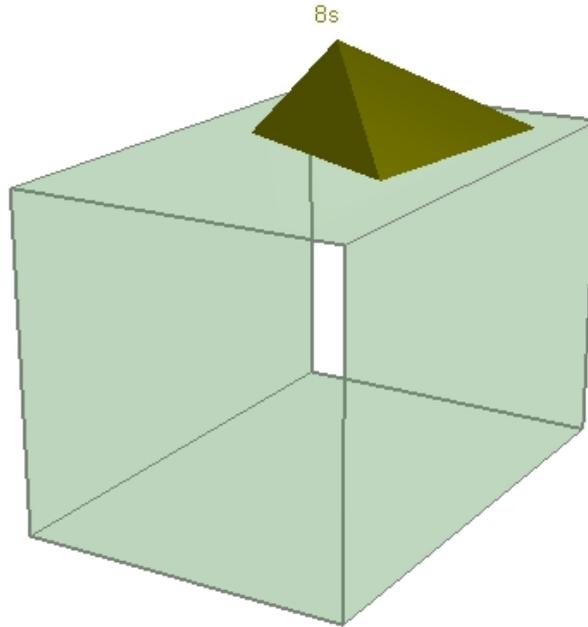


Weight: 0.012 tonnes

Fig. 28: Combinazione C2, situazione geometrica Media, blocco in calotta con  $F_s < 0$ . La dimensione del blocco comporta il disgiungimento durante le operazioni di avanzamento e si ritiene la soluzione preferibile.



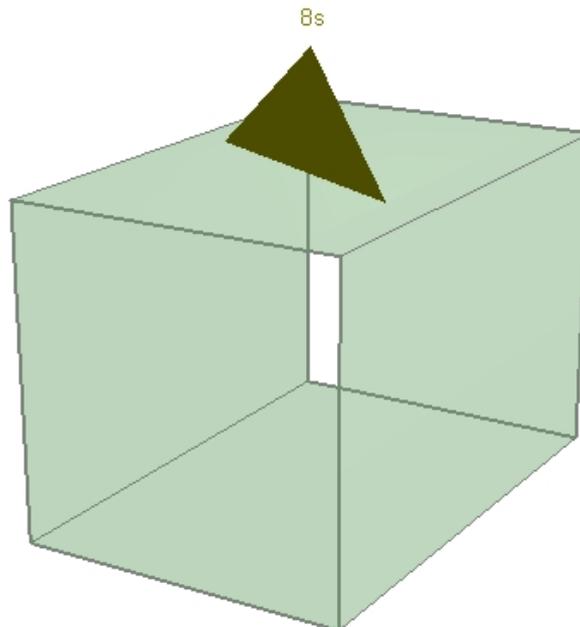
Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000



Weight: 14.913 tonnes

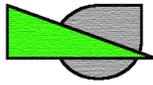
Fig. 29: Combinazione C3, situazione geometrica Media, blocco in calotta con  $F_s < 0$ . In questo caso si ritiene necessario un intervento mediante bulloni passivi per stabilizzare il blocco (si veda tabella 6).

Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000



Weight: 7.167 tonnes

Fig. 30: Combinazione C4, situazione geometrica Media, blocco in calotta con  $F_s < 0$ . In questo caso si ritiene necessario un intervento mediante bulloni passivi per stabilizzare il blocco (si veda tabella 6).



## 9. Progetto di monitoraggio geotecnico in situ

Di seguito si descrive il progetto di massima di un monitoraggio geotecnico da installare presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato.

Si precisa che il sistema prevede differenti fasi di installazione in quanto interessa delle zone dell'ammasso roccioso non tutte disponibili al momento.

Le linee principali sulle quali si vuole procedere alla definizione del sistema di monitoraggio sono le seguenti:

- A) monitoraggio e controllo delle principali discontinuità visibili anche a grande scala sul versante roccioso (si utilizzeranno bulloni multibase)
- B) verifica e controllo su alcune discontinuità rinvenute in sotterraneo e idealmente correlabili con le misure di spostamento ottenute con gli strumenti di cui al punto A.
- C) installazione di clinometri biassiali da parete
- D) misure di stato di sforzo relative con l'installazione di stress meter da foro in corrispondenza delle zone che diventeranno i pilastri dello scavo in sotterraneo o comunque zone di supporto.

Si riporta di seguito uno schema del monitoraggio previsto sulle tre sezioni A, B e C.

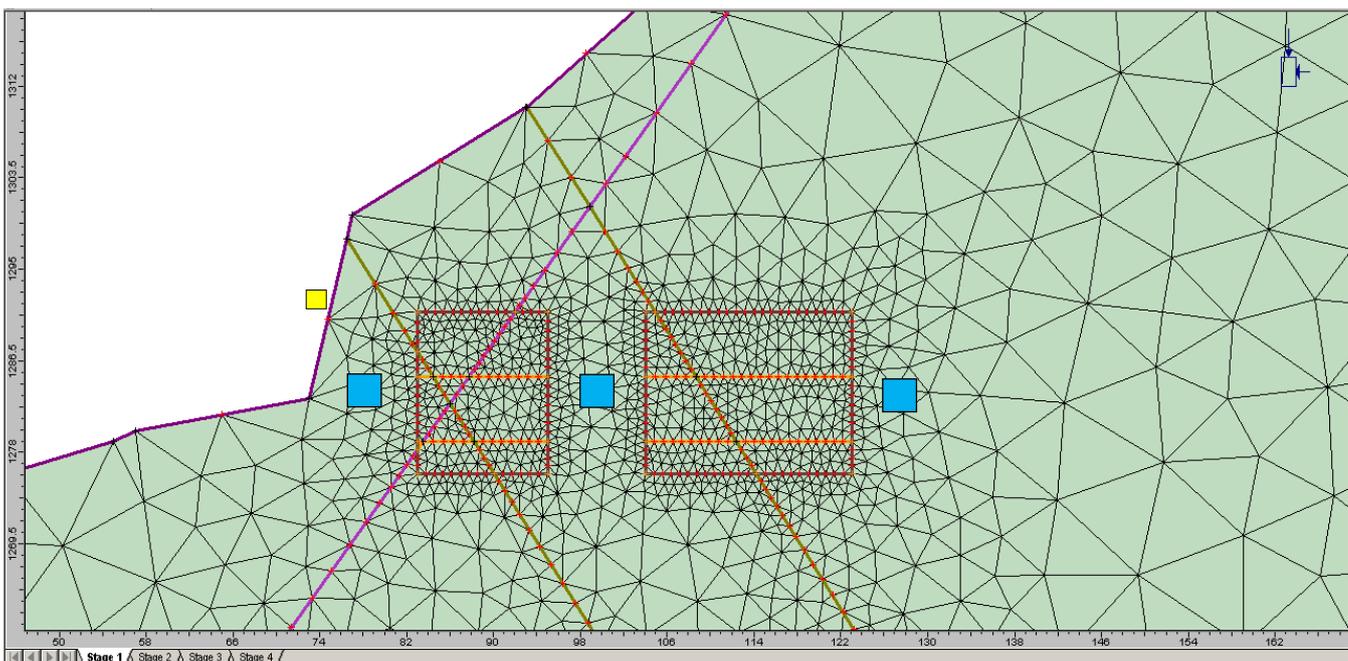


Fig. 31: sezione A. Si riportano la posizione e le zone di installazione del clinometro (giallo) e degli stress meter (in blu).

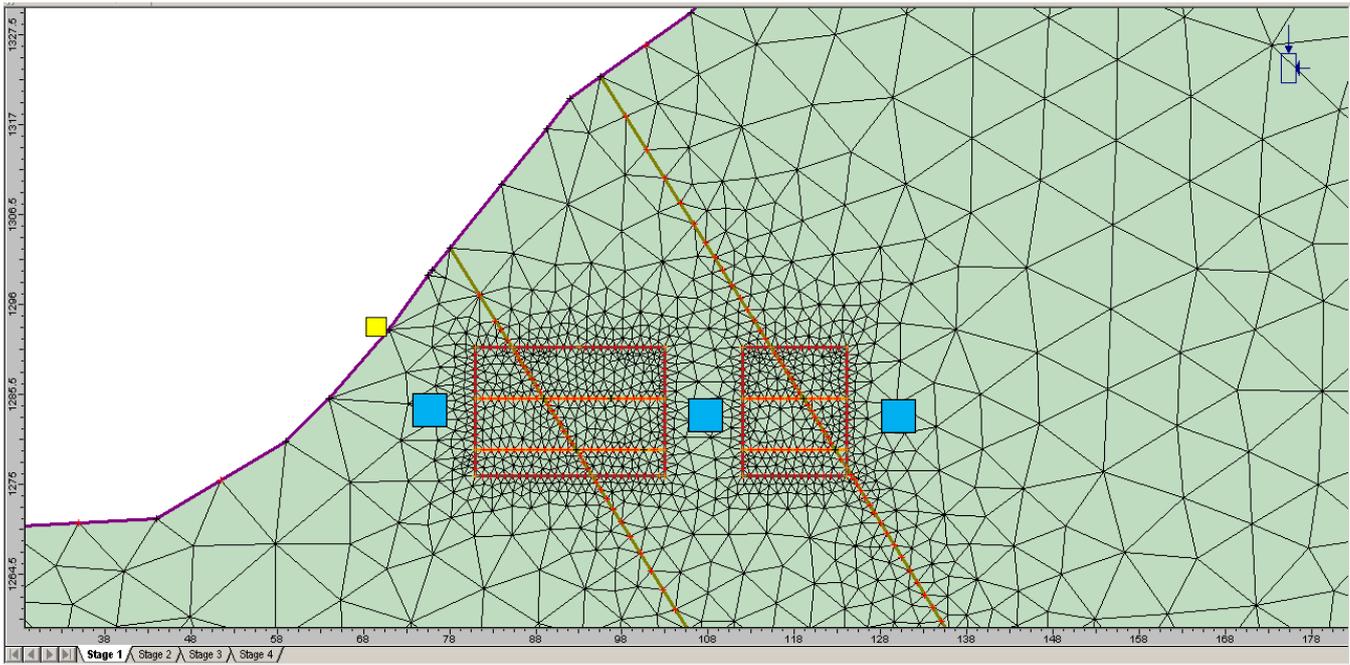
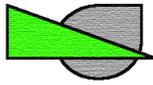


Fig. 32: sezione B. Si riportano la posizione e le zone di installazione del clinometro (giallo) e degli stress meter (in blu).

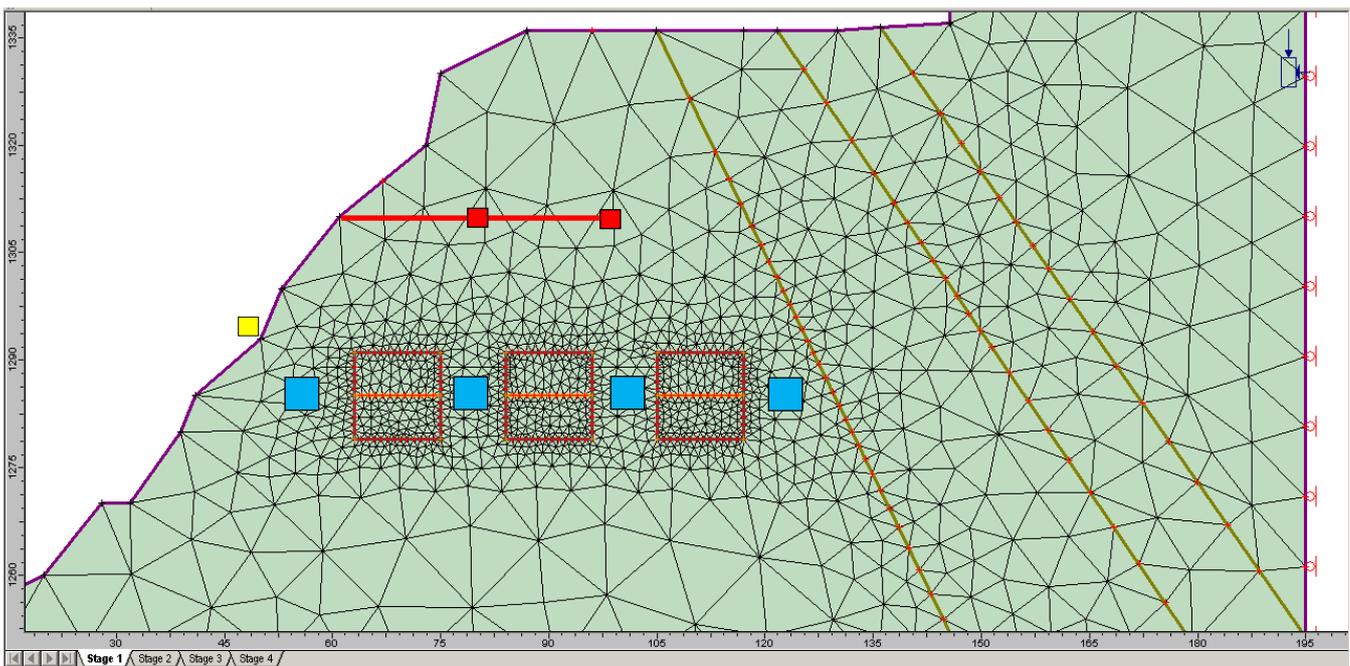
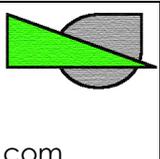


Fig. 33: sezione C. La posizione dell'estensometro da foro multibase (N°2 lunghezza circa 25-30 m). Si riportano la posizione e le zone di installazione del clinometro (giallo) e degli stress meter (in blu).

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	32
---	--	--	----

Pertanto, il progetto di monitoraggio descritto sopra è principalmente orientato alla misura degli spostamenti per poter valutare attentamente il comportamento delle famiglie di discontinuità a grande scala. Come tutti i sistemi sarà integrabile man mano che si procederà allo scavo al fine di seguire con attenzione eventuali segnali di criticità. Si prevede di installare gli strumenti prima della fase di scavo delle camere sotterranee al fine di seguire dal principio l'effetto indotto dallo stesso.

## 10. 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 Carcaraia B e Carcaraia Arabescato.

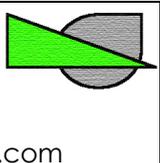
L'analisi ha riguardato la situazione attuale e quella a progetto, le caratteristiche geometriche del modello sono state desunte dal progetto presentato Dott. Geol. Sirgiovanni e Dott. Geol. Vaselli così come per le caratteristiche geomeccaniche e geologiche dell'ammasso roccioso.

Nel complesso l'andamento dello stato di sollecitazione al contorno dello scavo non mostra criticità evidenti, i valori calcolati sono coerenti con la teoria dell'elasticità e inferiori ai limiti di resistenza stimati per il materiale roccioso in esame. La situazione a progetto è stata esaminata in termini di tensioni principali lungo allineamenti considerati potenzialmente critici da un punto di vista statico. Tali osservazioni sono state condotte nelle diverse fasi, ovvero a partire dalla situazione pre-scavo fino quella a progetto.

Anche le zone interessate da campi di sforzo a trazione, in particolare le calotte delle camere a progetto, mostrano valori in linea con le caratteristiche meccaniche del mezzo in oggetto.

In merito alla valutazione sulle condizioni statiche relative alla galleria di collegamento tra le due cave si precisa che la modifica dell'assetto tensionale dell'ammasso interessato dallo scavo sia compatibile con le resistenze meccaniche dell'ammasso stesso.

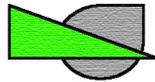
La presenza di famiglie di discontinuità interessanti il contorno della galleria genererà dei cinematismi potenzialmente rimuovibili dalla loro sede, e alcune di queste instabili. Nel paragrafo dedicato sono state esaminate le condizioni riscontrabili in sito e stimata la probabilità di accadimento. Si sottolinea che le condizioni esaminate possono essere trattate con l'applicazione delle tecniche di rinforzo tradizionali in ambito minerario ovvero con il disaggio preventivo e regolare oppure in casi specifici con l'applicazione di bulloni di acciaio ad ancoraggio puntuale. La tabella 6 riassume quanto appena descritto.

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	33
---	--	--	----

Infine, data la complessità geometrica delle cave in oggetto si prevede l'installazione di un sistema di monitoraggio degli spostamenti tipo quello descritto nel paragrafo 9 che si pone come obiettivo quello di approfondire la conoscenza del comportamento meccanico dell'ammasso roccioso non solo nei legami costitutivi del mezzo ed espressi con parametri geomeccanici ma anche in termini di comportamento delle discontinuità e l'impatto che queste potrebbero avere sull'assetto generale dell'ammasso e dello scavo a progetto. Pertanto si vogliono misurare gli eventuali spostamenti relativi e assoluti di alcune zone ritenute prioritarie sia nella fase pre-scavo che durante la sequenza di avanzamento della coltivazione in sotterraneo. Si precisa che saranno anche installati degli strumenti volti a stimare l'andamento delle sollecitazioni nell'ammasso roccioso all'avanzare della coltivazione.

Carrara, 22 agosto 2022

Daniele Valentino  
 Ordine Ing. Torino/8329W  

## 11. Allegato A

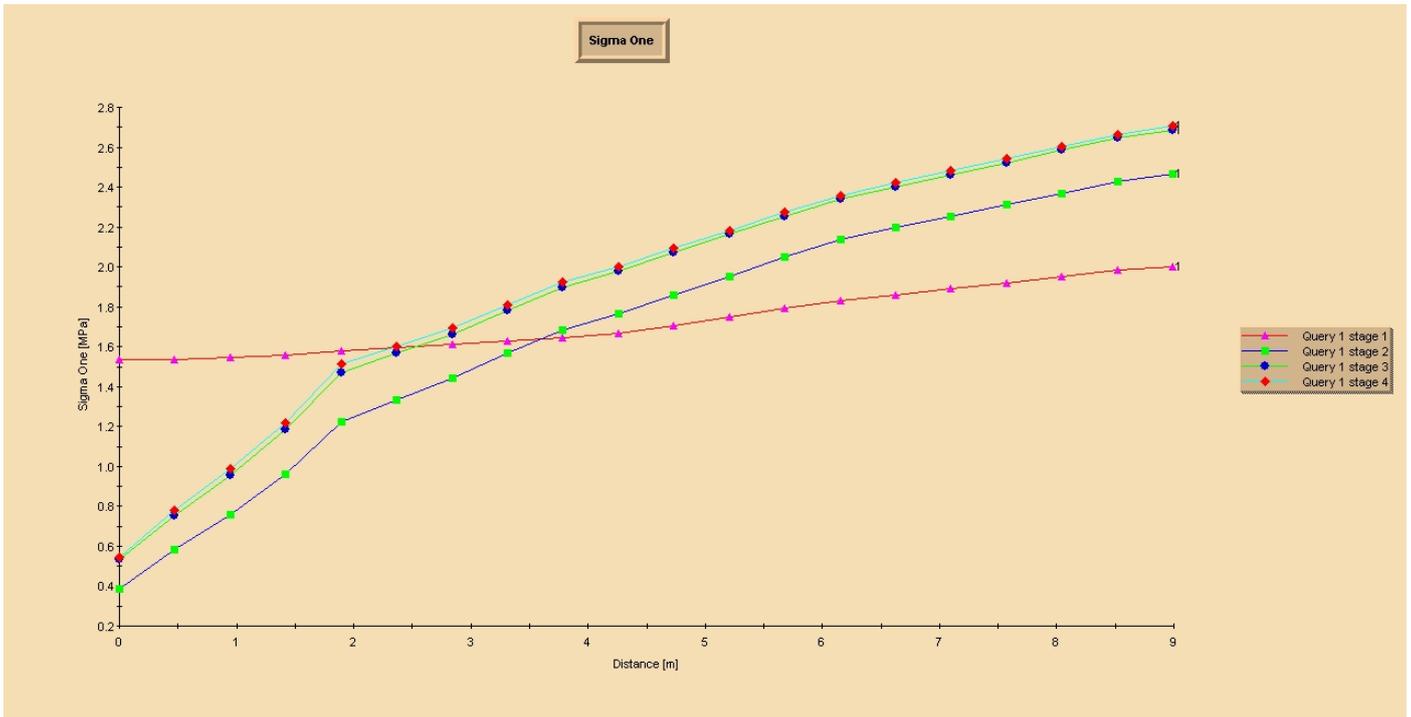


fig. A-1: Sezione A, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) lungo la query 1, sono sovrapposti i dati relativi alle 3 fasi del di scavo più quella di prescavo.

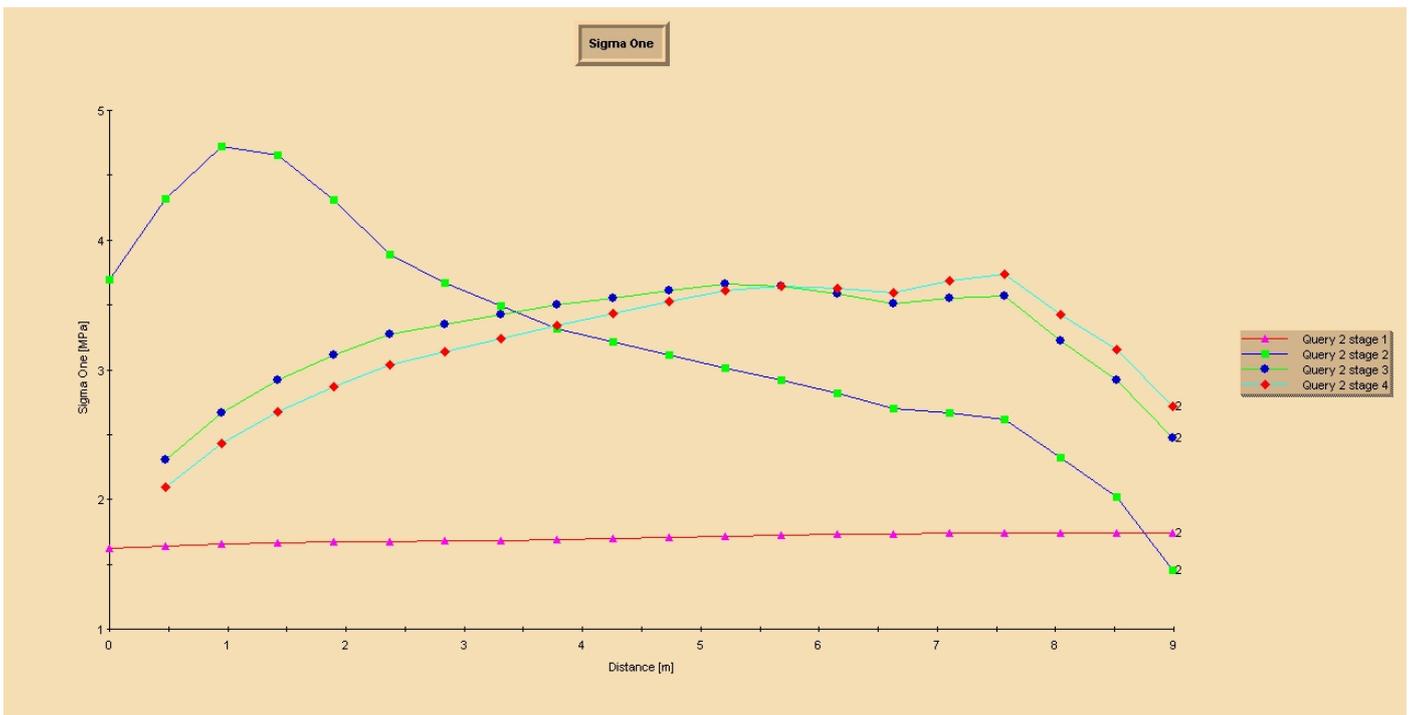


fig. A-2: Sezione A, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) lungo la query 2, sono sovrapposti i dati relativi alle 3 fasi del di scavo più quella di prescavo.

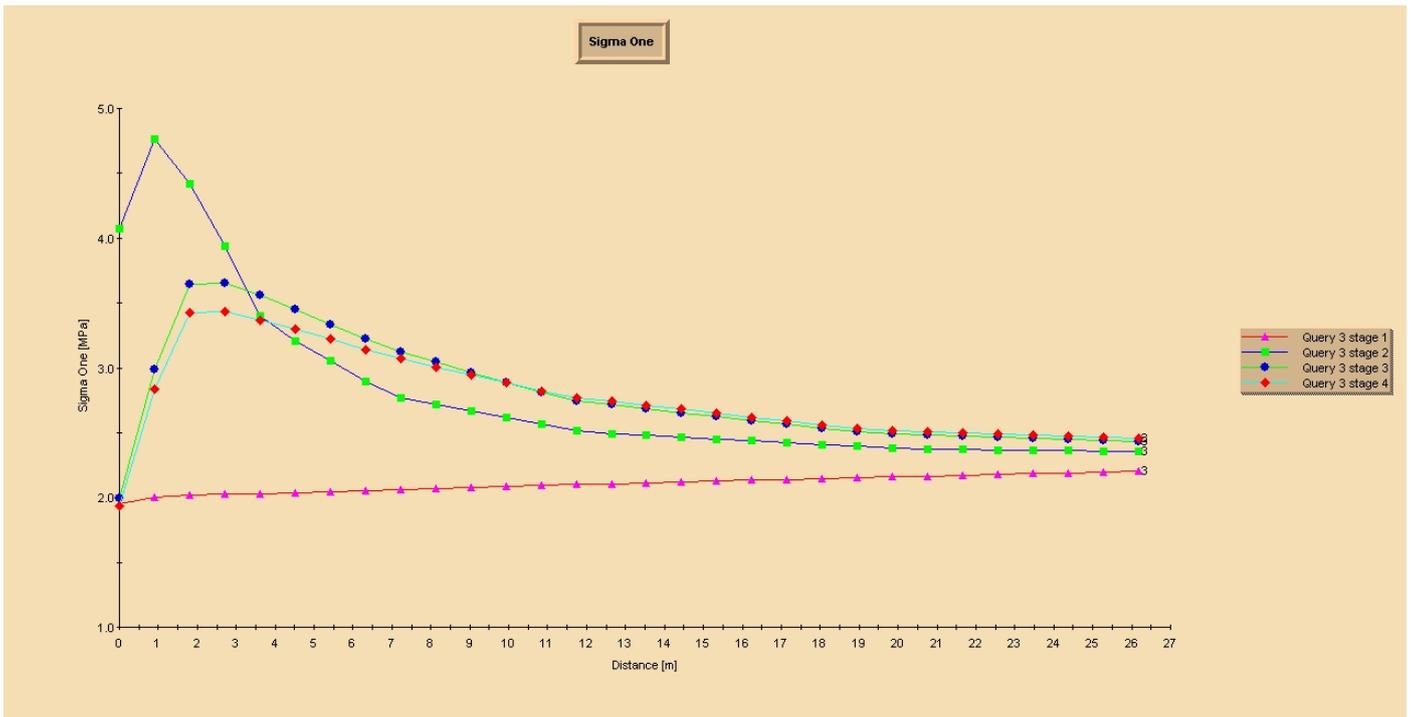
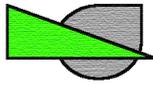


fig. A-3: Sezione A, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) lungo la query 3, sono sovrapposti i dati relativi alle 3 fasi del di scavo più quella di prescavo.

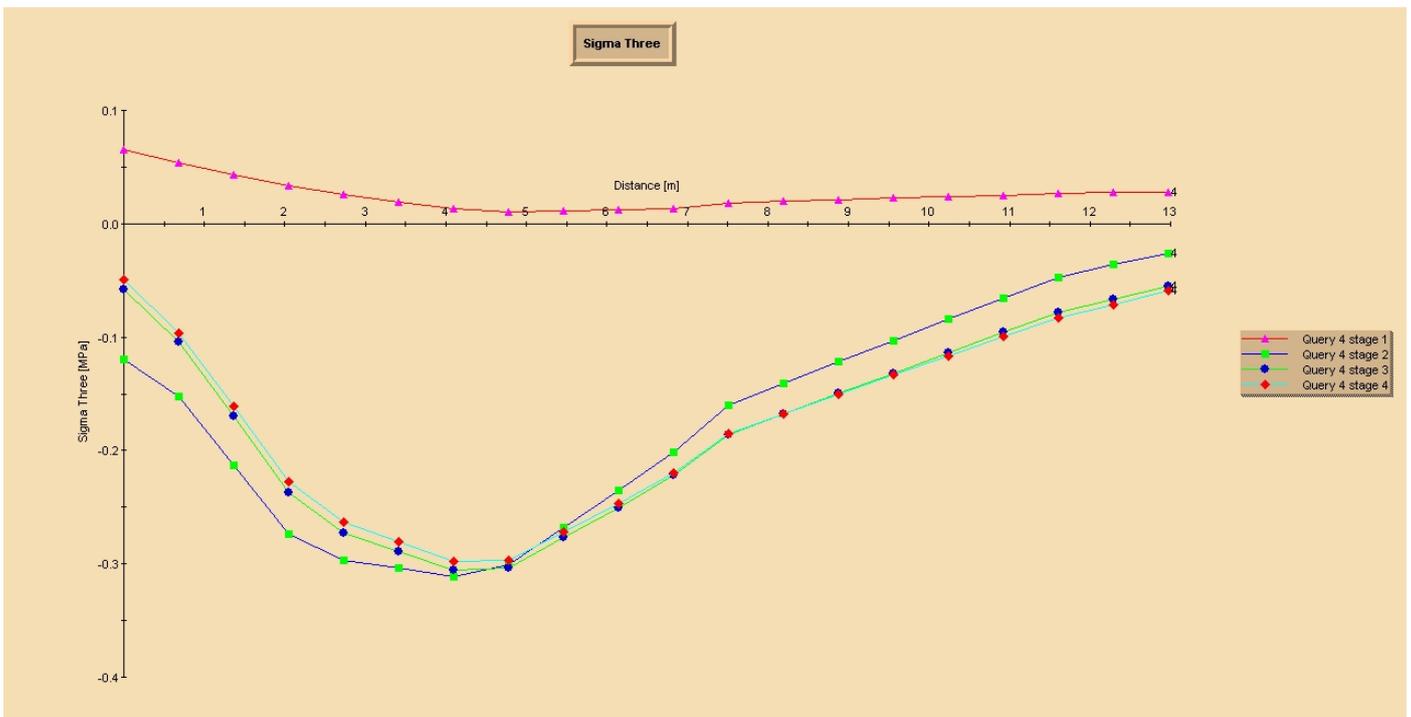


fig. A-4: Sezione A, andamento della sollecitazione principale minima ( $\sigma_3$ ) lungo la query 4, sono sovrapposti i dati relativi alle 3 fasi del di scavo più quella di prescavo.

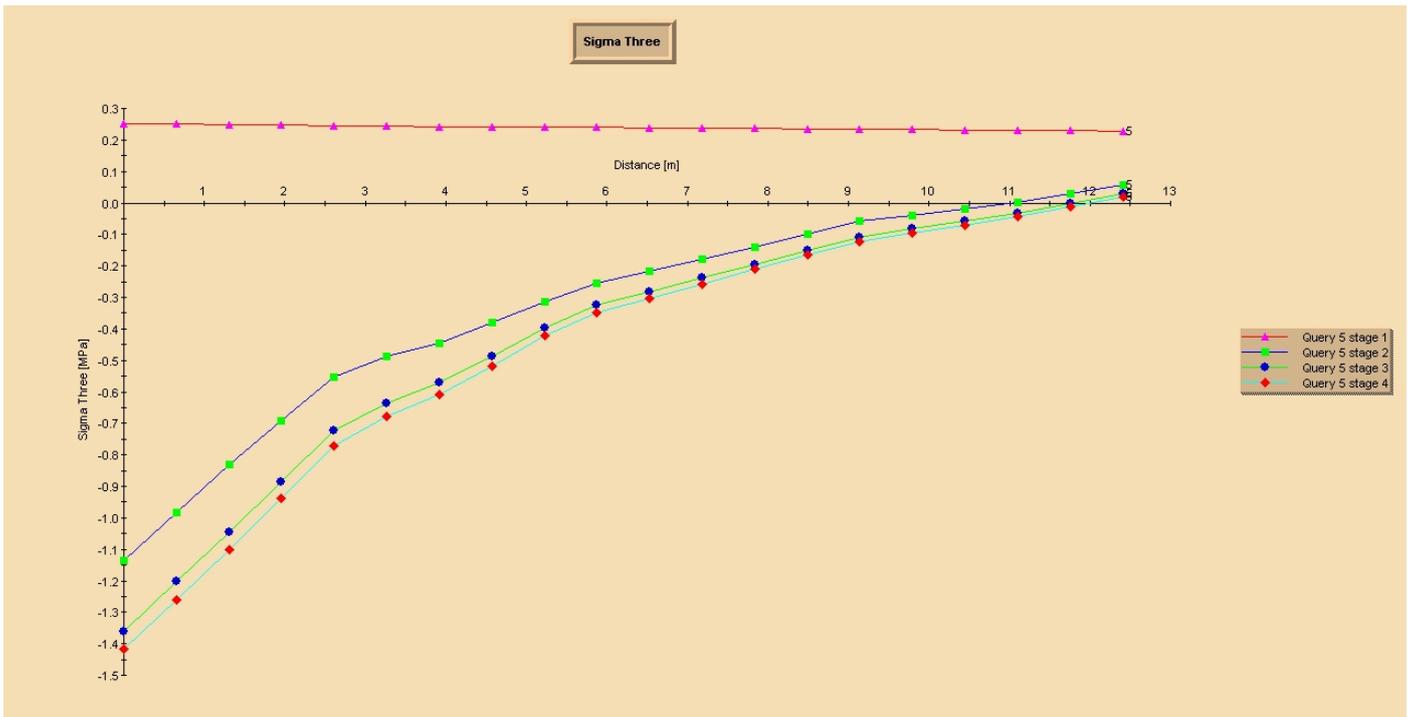
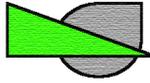


fig. A-5: Sezione A, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) lungo la query 5, sono sovrapposti i dati relativi alle 3 fasi del di scavo più quella di prescavo.

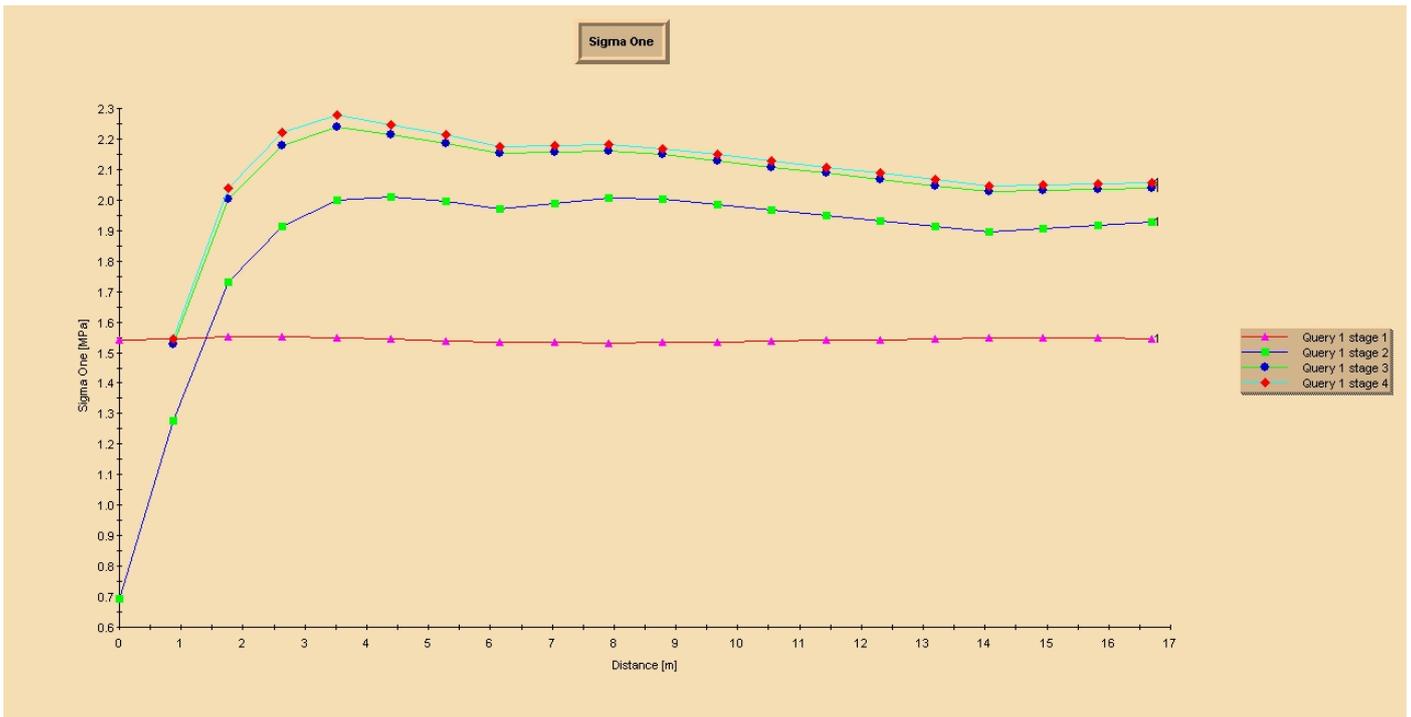
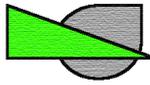


fig. A-6: Sezione B, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) lungo la query 1, sono sovrapposti i dati relativi alle 3 fasi del di scavo più quella di prescavo.

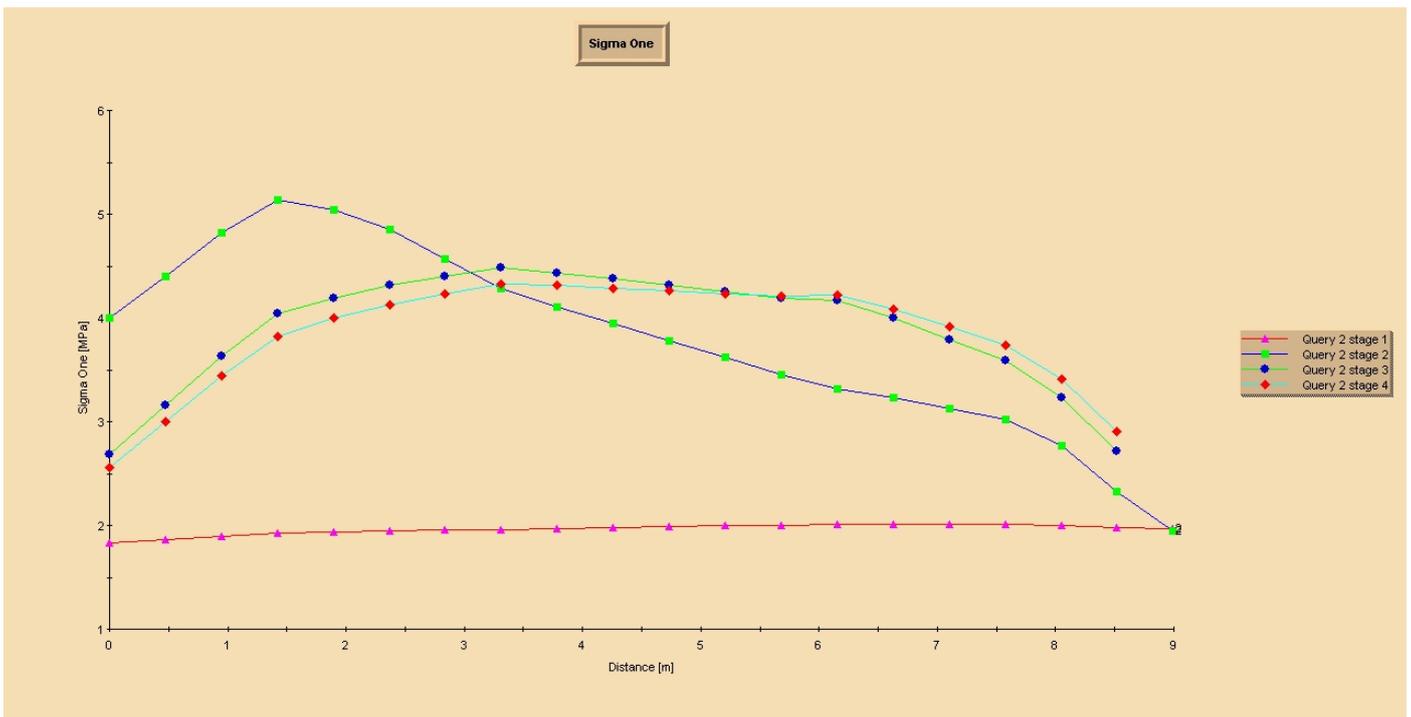


fig. A-7: Sezione B, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) lungo la query 2, sono sovrapposti i dati relativi alle 3 fasi del di scavo più quella di prescavo.

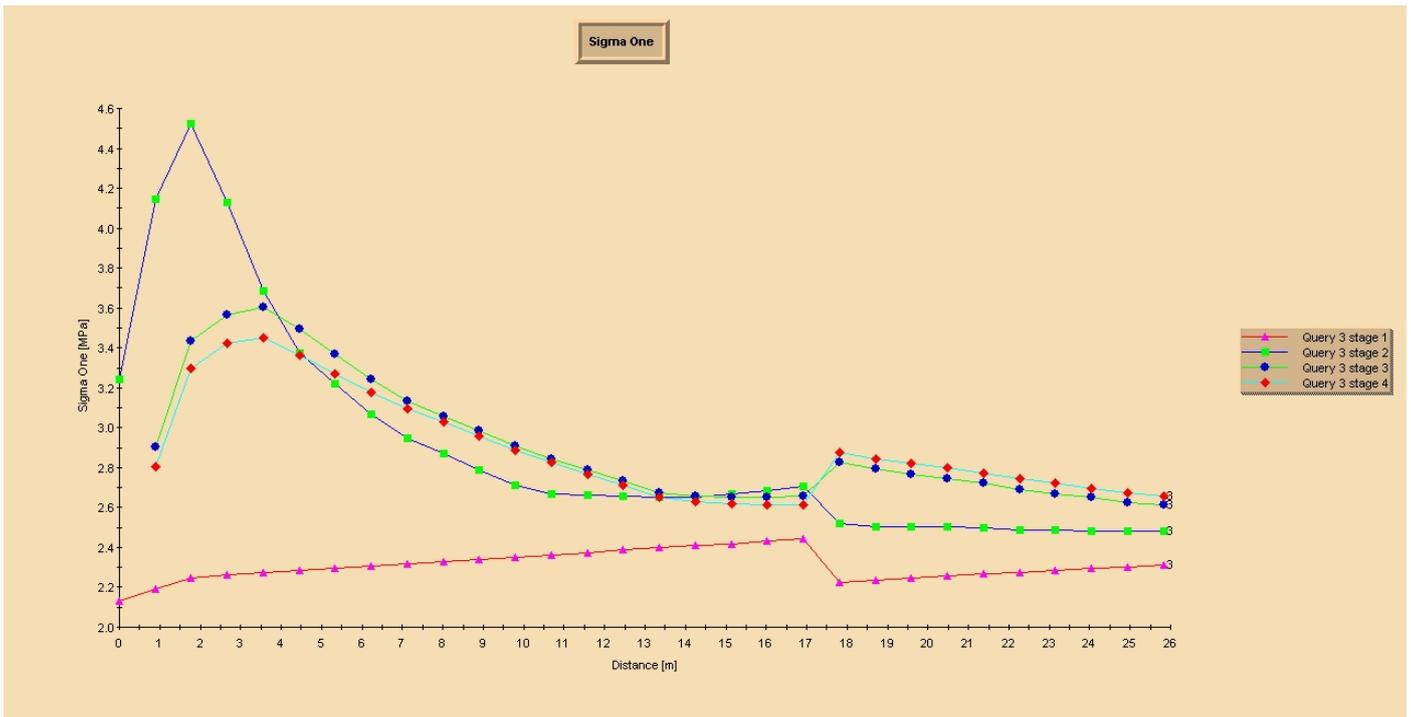
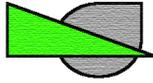


fig. A-8: Sezione B, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) lungo la query 3, sono sovrapposti i dati relativi alle 3 fasi del di scavo più quella di prescavo.

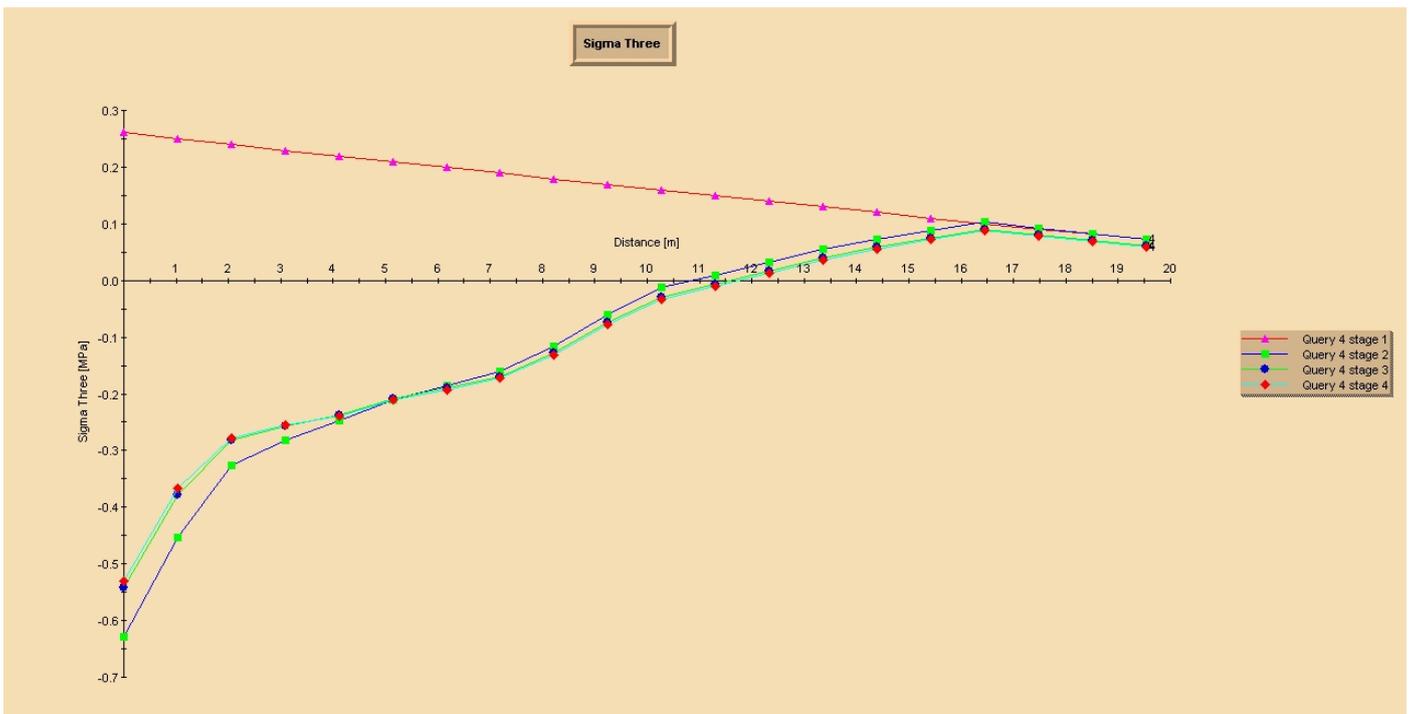


fig. A-9: Sezione B, andamento della sollecitazione principale minima ( $\sigma_3$ ) lungo la query 4, sono sovrapposti i dati relativi alle 3 fasi del di scavo più quella di prescavo.

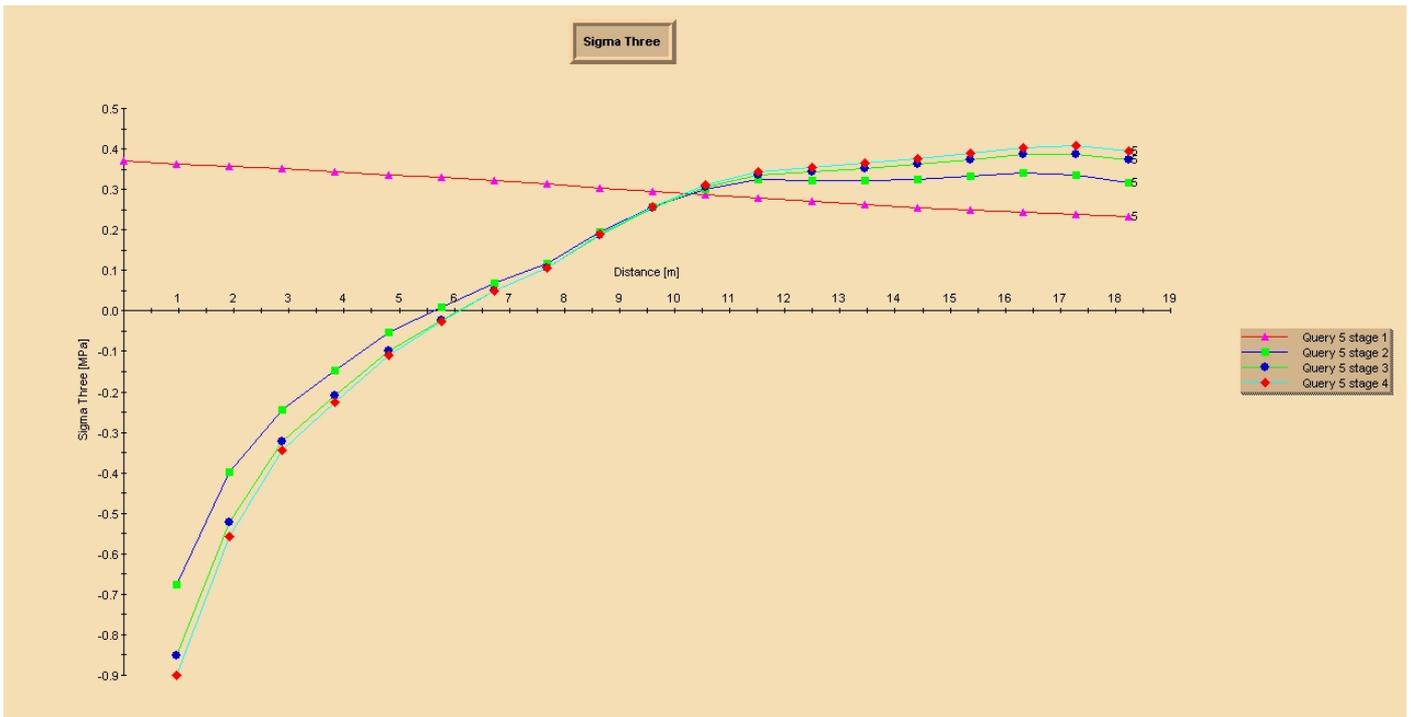
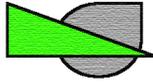


fig. A-10: Sezione B, andamento della sollecitazione principale minima ( $\sigma_3$ ) lungo la query 5, sono sovrapposti i dati relativi alle 3 fasi del di scavo più quella di prescavo.

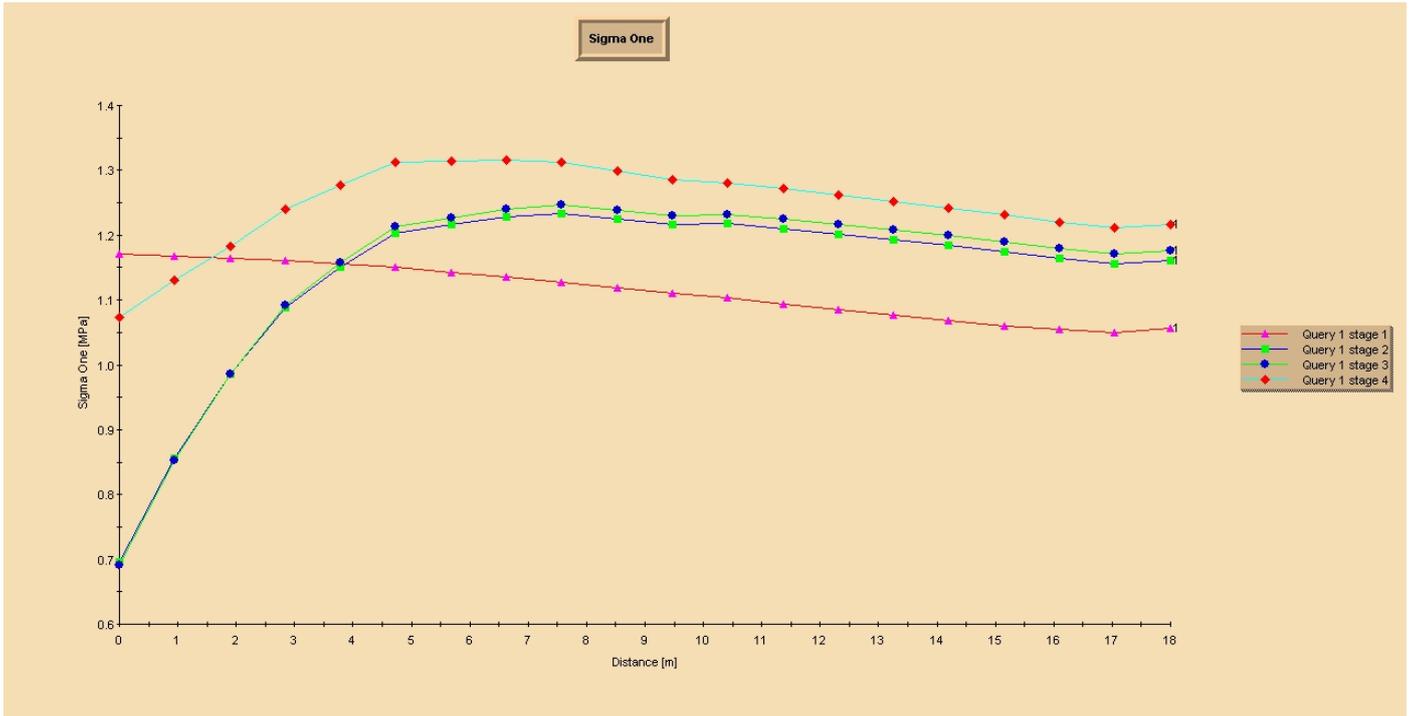
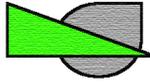


fig. A-11: Sezione C, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) lungo la query 1, sono sovrapposti i dati relativi alle 3 fasi del di scavo più quella di prescavo.

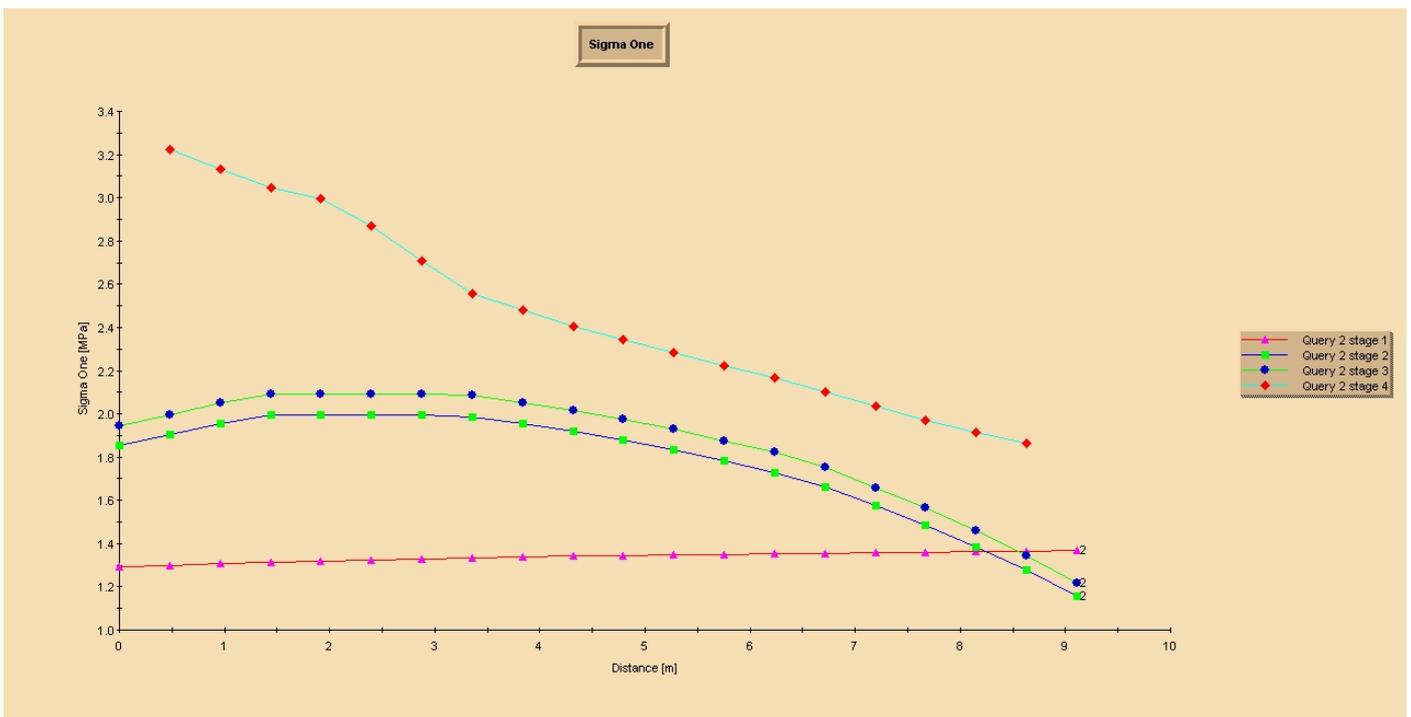


fig. A-12: Sezione C, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) lungo la query 2, sono sovrapposti i dati relativi alle 3 fasi del di scavo più quella di prescavo.

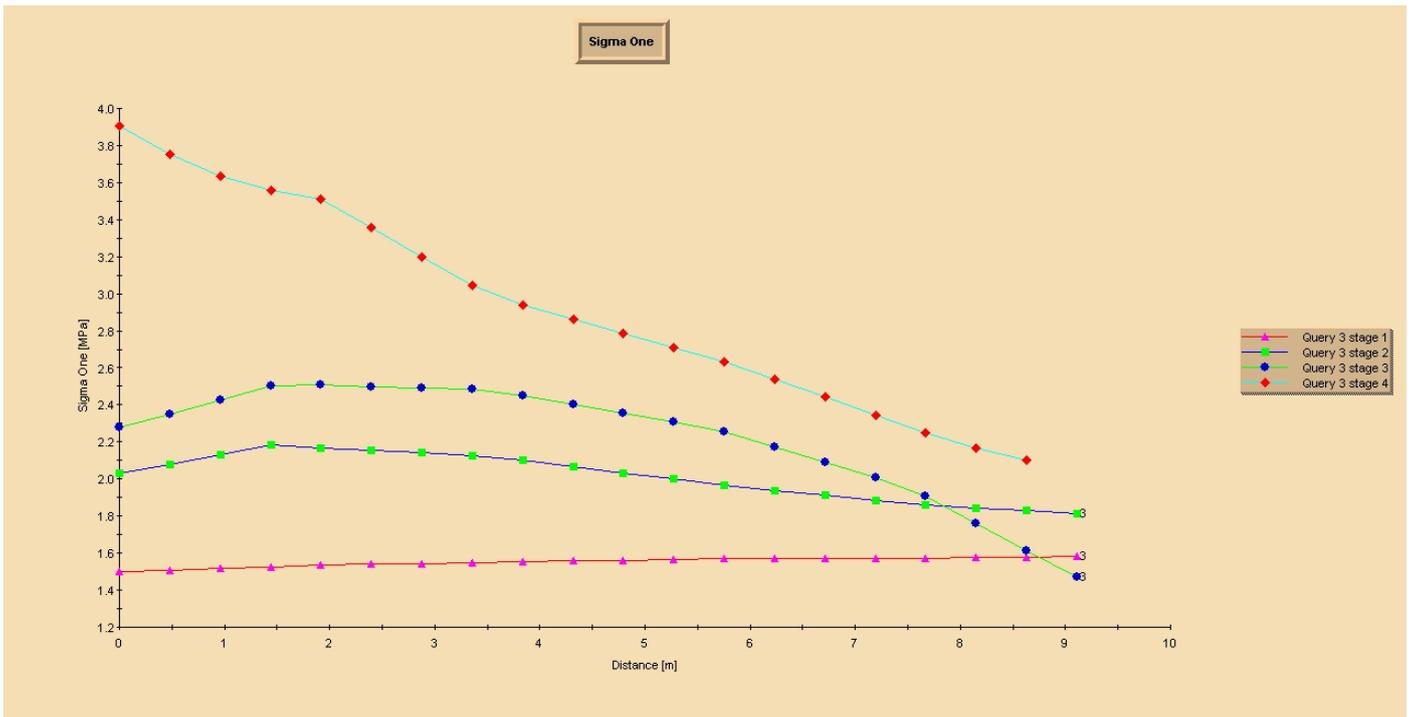
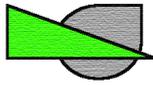


fig. A-13: Sezione C, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) lungo la query 3, sono sovrapposti i dati relativi alle 3 fasi del di scavo più quella di prescavo.

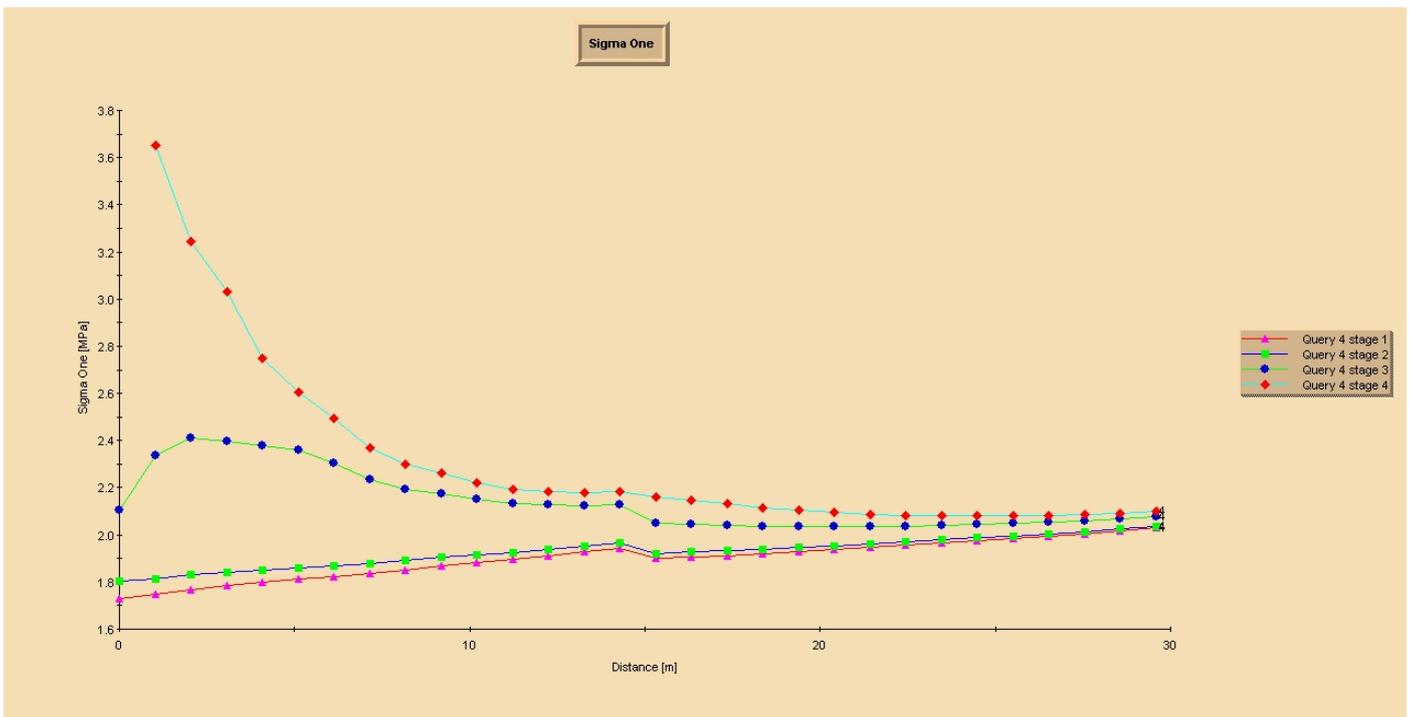


fig. A-14: Sezione C, andamento della sollecitazione principale massima ( $\sigma_1$ ) lungo la query 4, sono sovrapposti i dati relativi alle 3 fasi del di scavo più quella di prescavo.

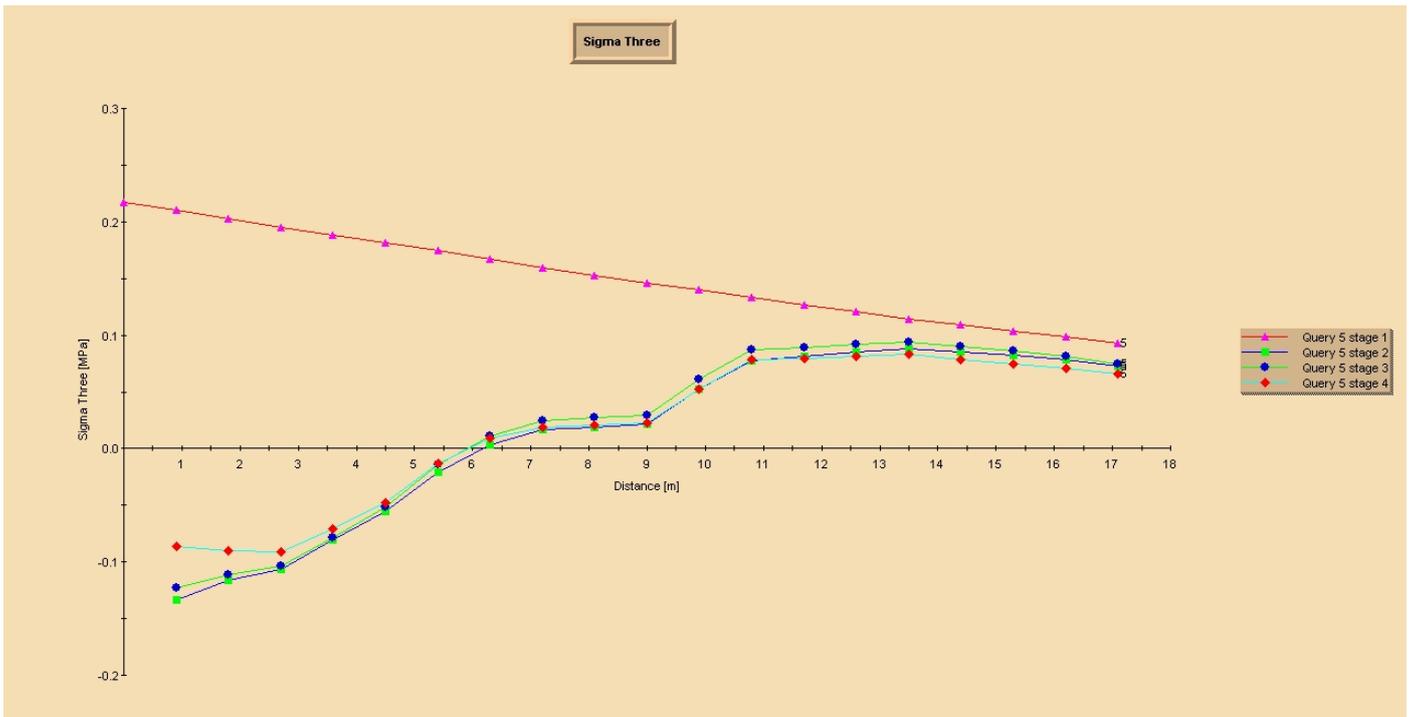
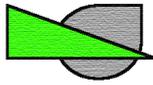


fig. A-15: Sezione C, andamento della sollecitazione principale minima ( $\sigma_3$ ) lungo la query 5, sono sovrapposti i dati relativi alle 3 fasi del di scavo più quella di prescavo.

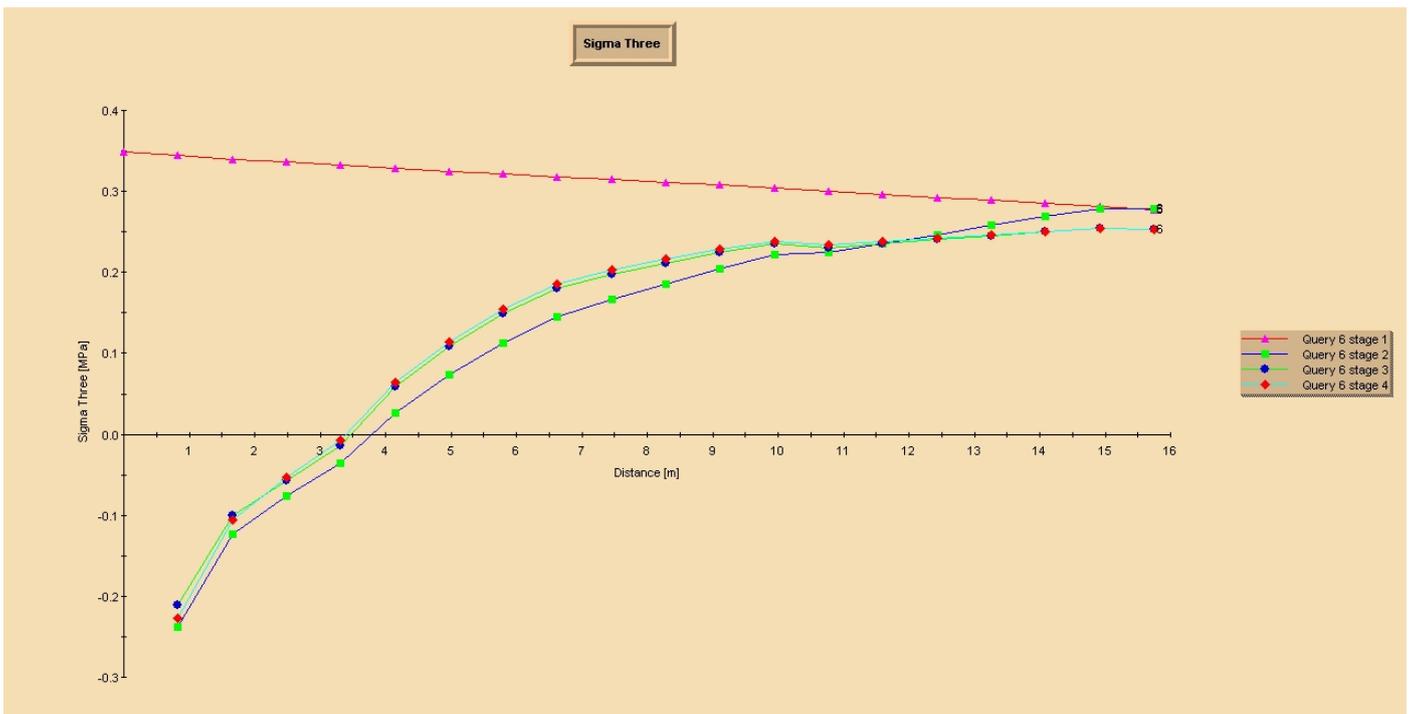


fig. A-16: Sezione C, andamento della sollecitazione principale minima ( $\sigma_3$ ) lungo la query 6, sono sovrapposti i dati relativi alle 3 fasi del di scavo più quella di prescavo.

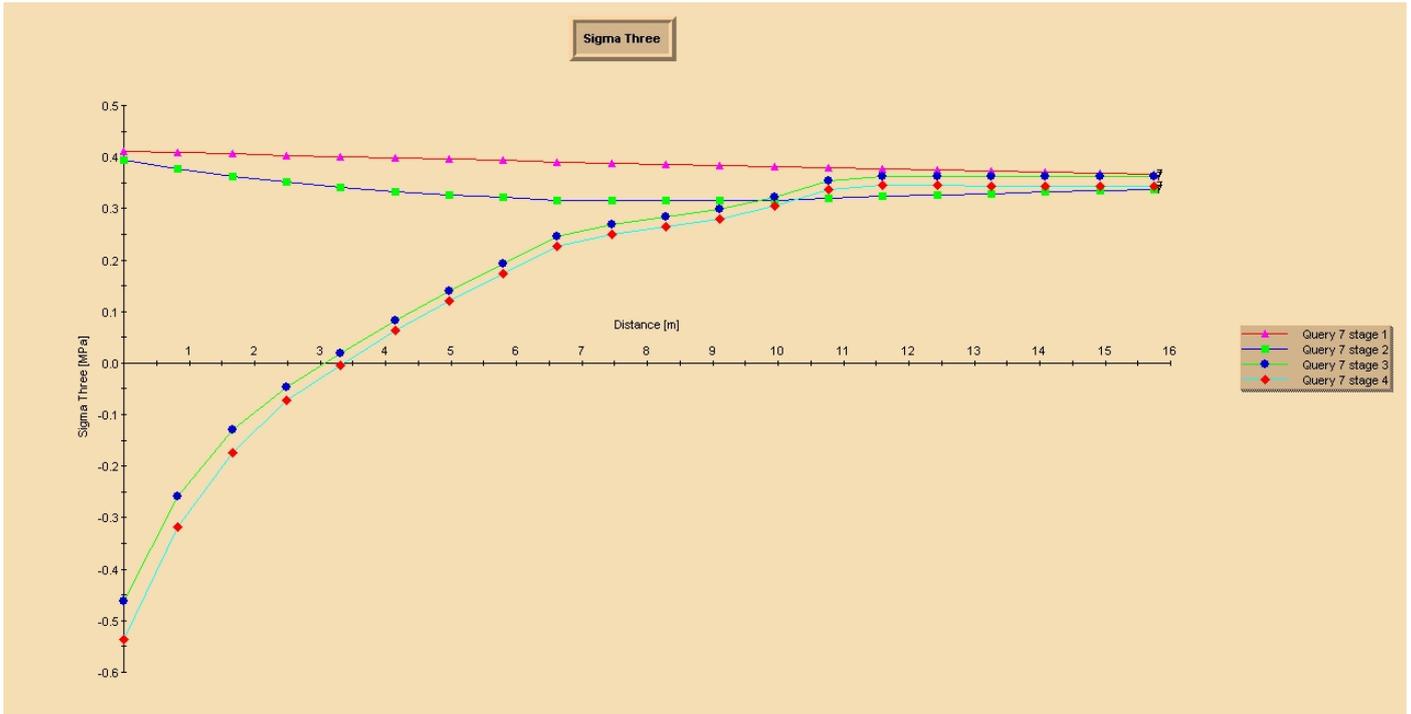
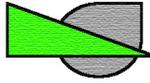
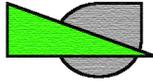


fig. A-7: Sezione C, andamento della sollecitazione principale minima ( $\sigma_3$ ) lungo la query 7, sono sovrapposti i dati relativi alle 3 fasi del di scavo più quella di prescavo.



## 12. Allegato B: simulazioni 3D blocchi generati in calotta.

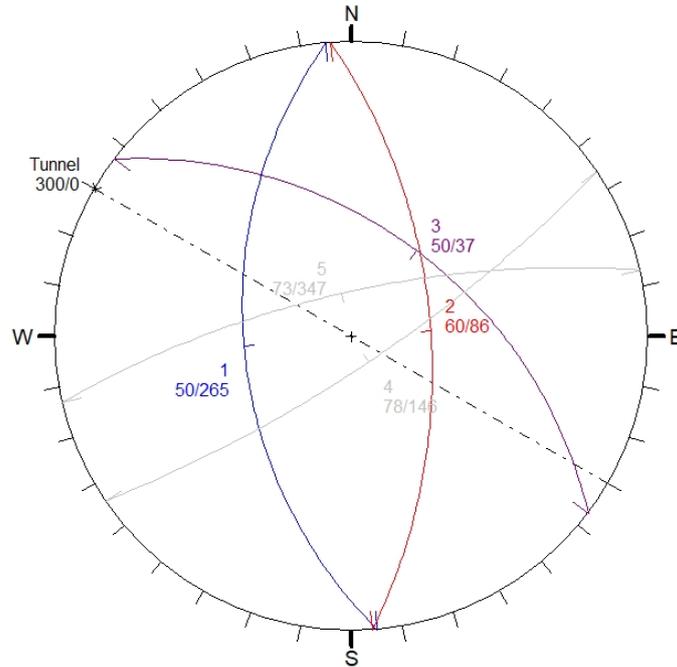


Fig. B1: distribuzione delle famiglie nel caso 1 (K1.1, K1.2, K3)

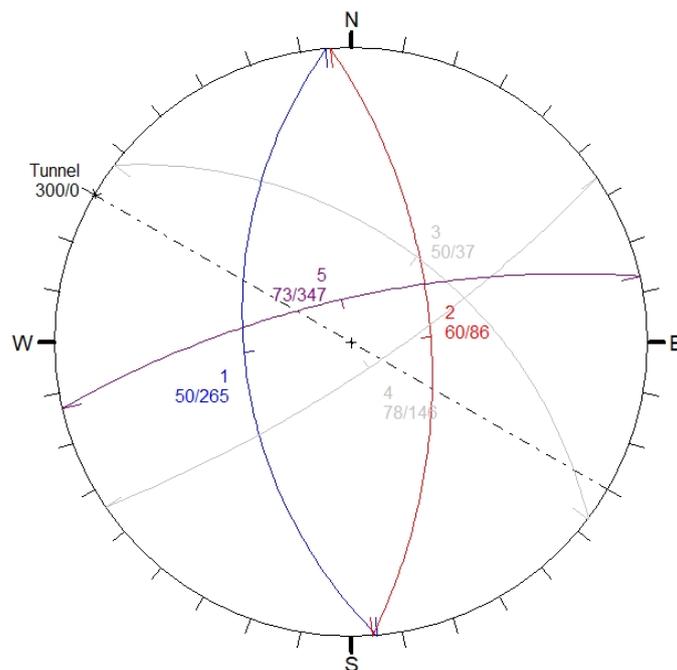


Fig. B2: distribuzione delle famiglie nel caso 2 (K1.1, K1.2, K2.2)

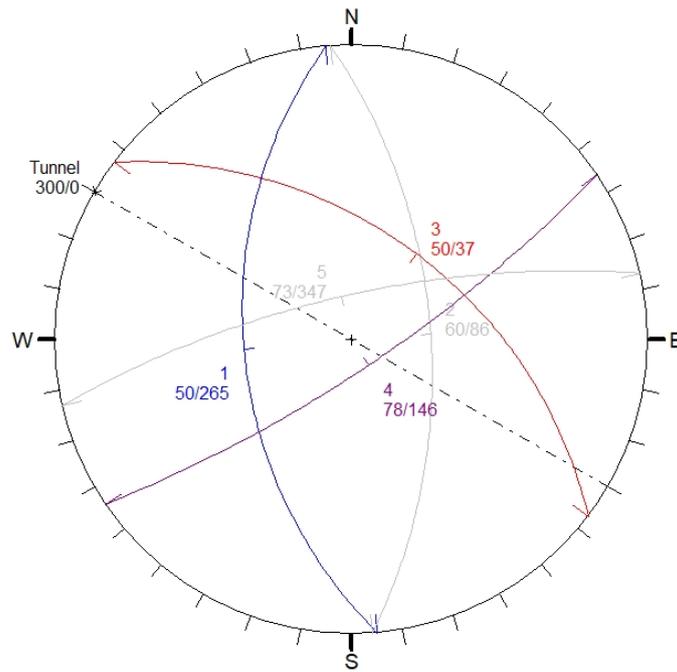
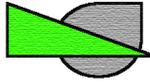


Fig. B3: distribuzione delle famiglie nel caso 3 (K1.1, K3, K2.1)

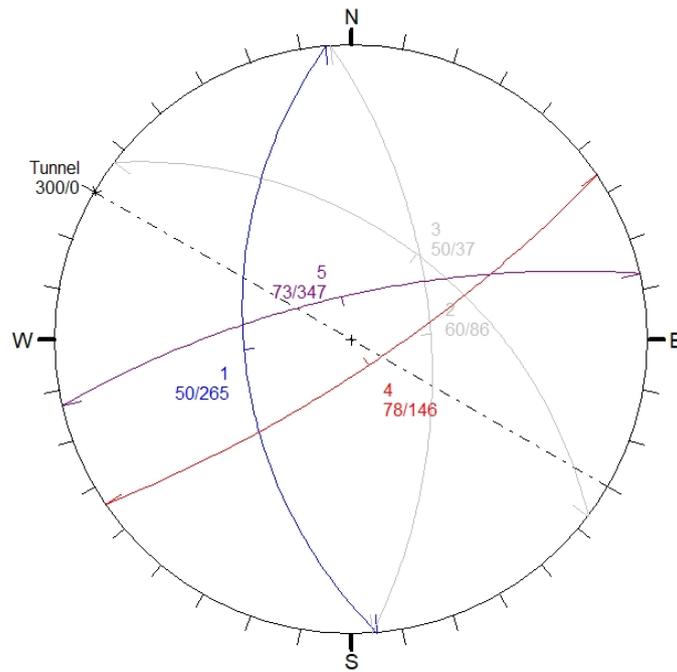
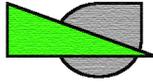
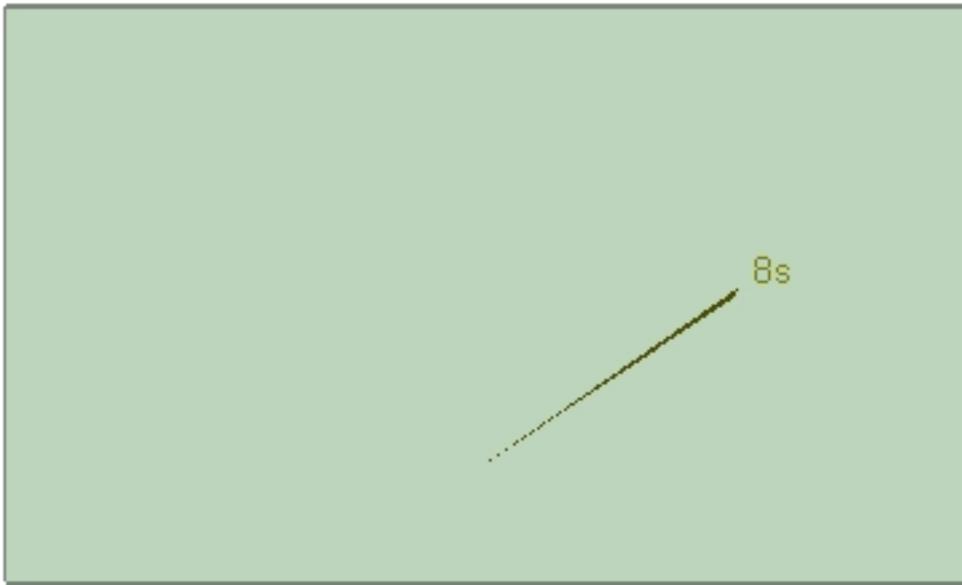


Fig. B4: distribuzione delle famiglie nel caso 4 (K1.1, K2.1, K2.2)

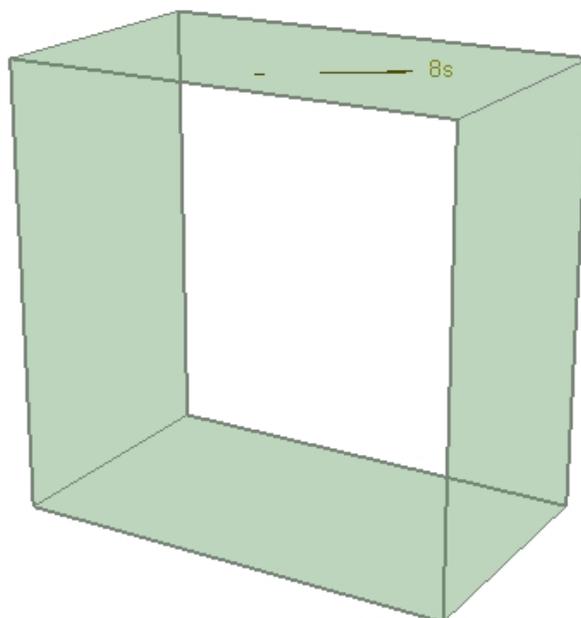


Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000



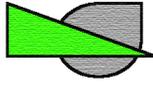
Weight: 0.001 tonnes

Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000

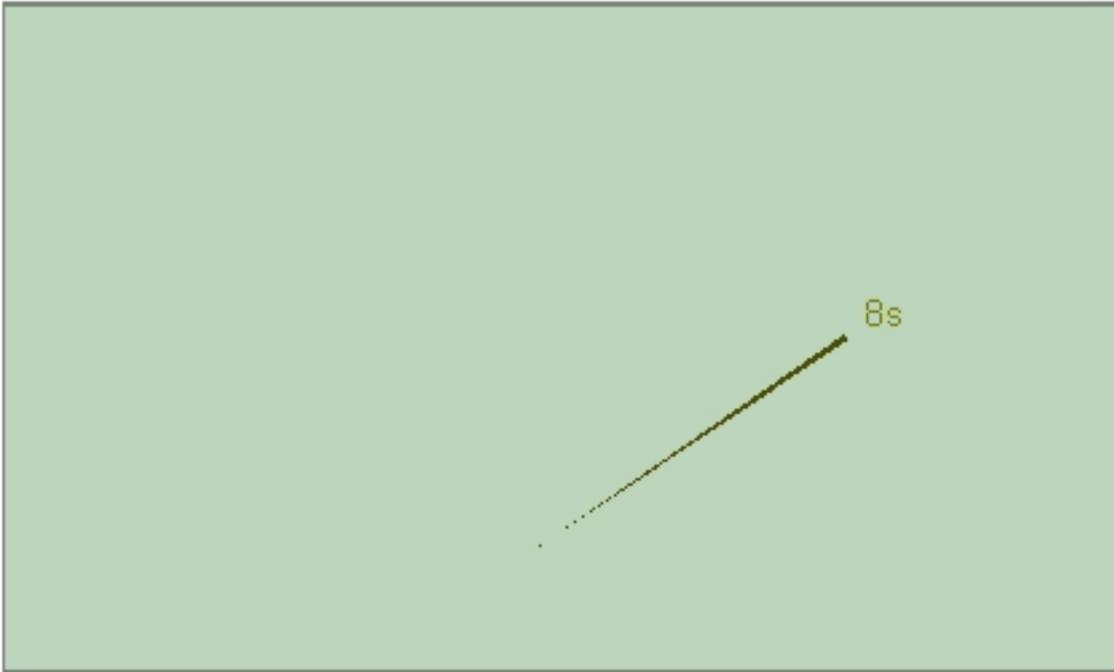


Weight: 0.001 tonnes

Fig. B5: modellazione del blocco generabile in calotta nel **CASO 1** con dimensioni **MINIME**

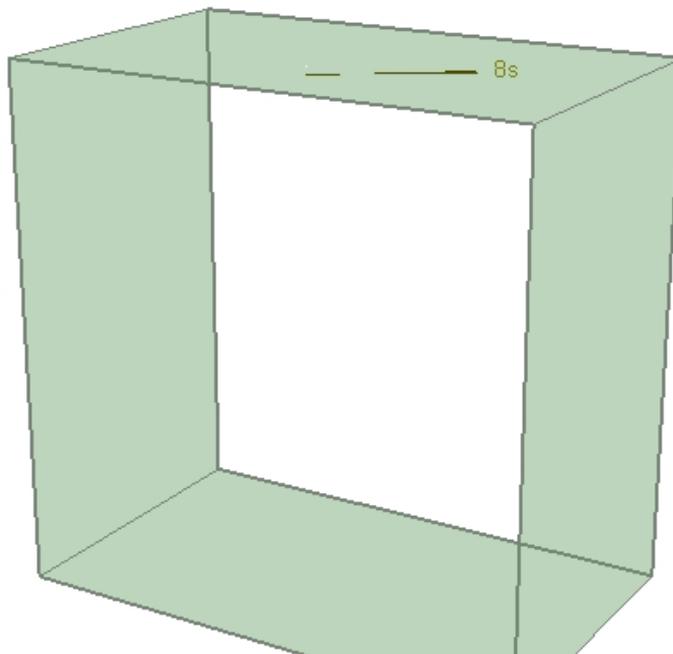


Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000



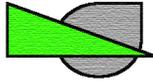
Weight: 0.001 tonnes

Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000

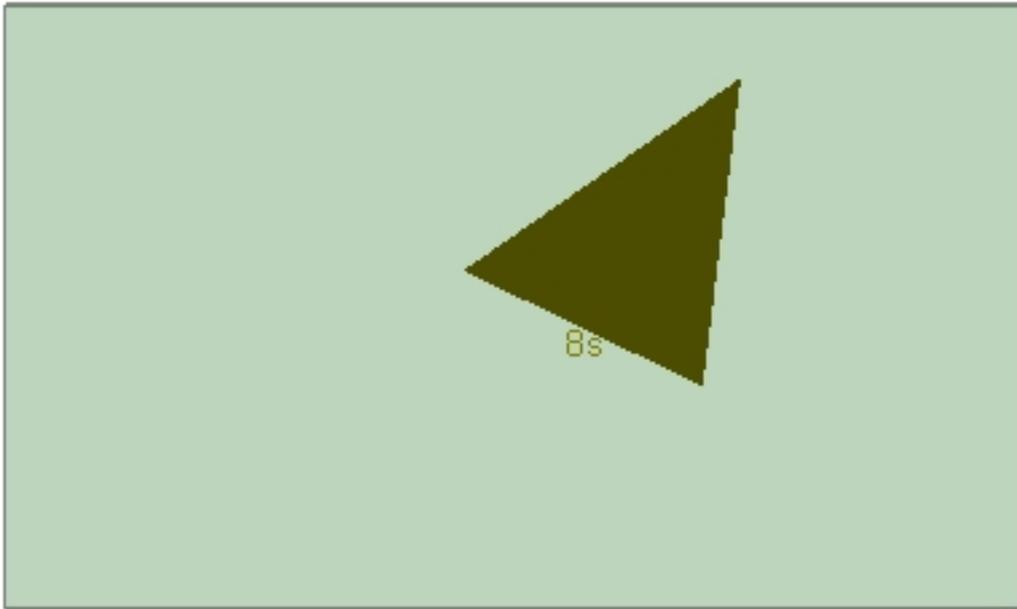


Weight: 0.001 tonnes

Fig. B6: modellazione del blocco generabile in calotta nel **CASO 2** con dimensioni **MINIME**

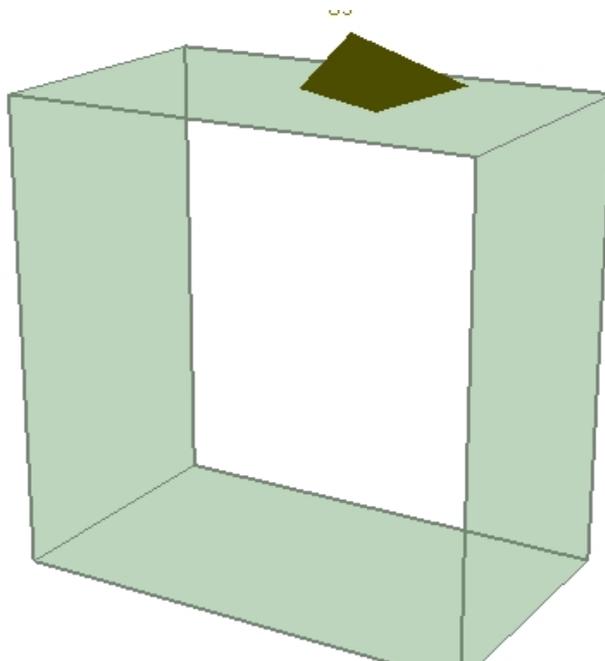


Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000



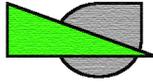
Weight: 0.954 tonnes

Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000

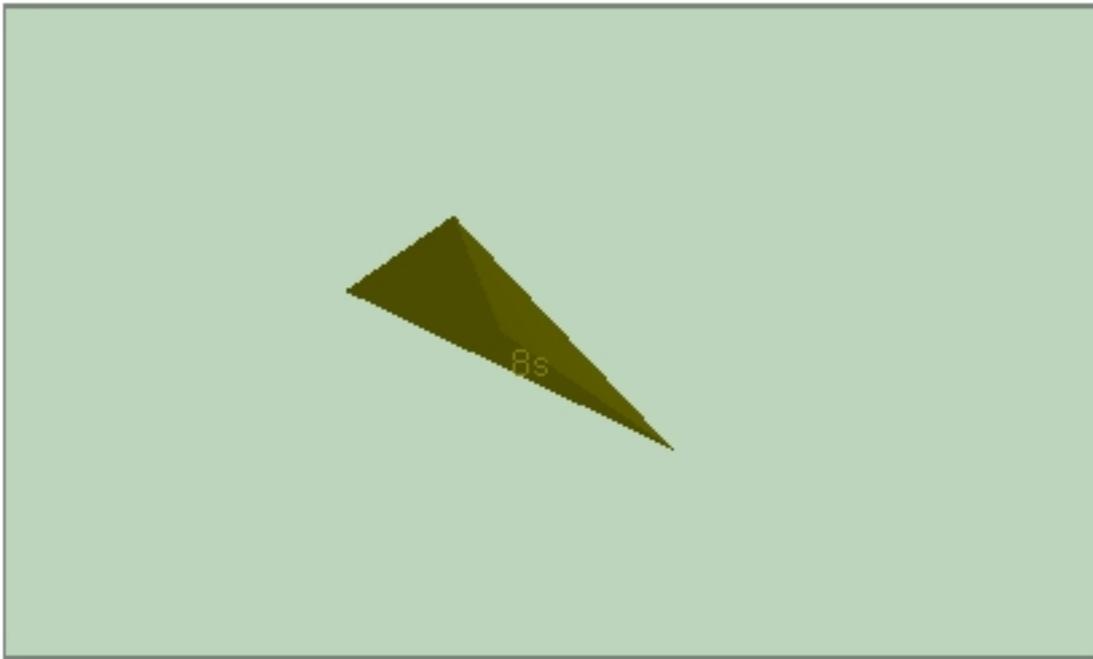


Weight: 0.954 tonnes

Fig. B7: modellazione del blocco generabile in calotta nel **CASO 3** con dimensioni **MINIME**

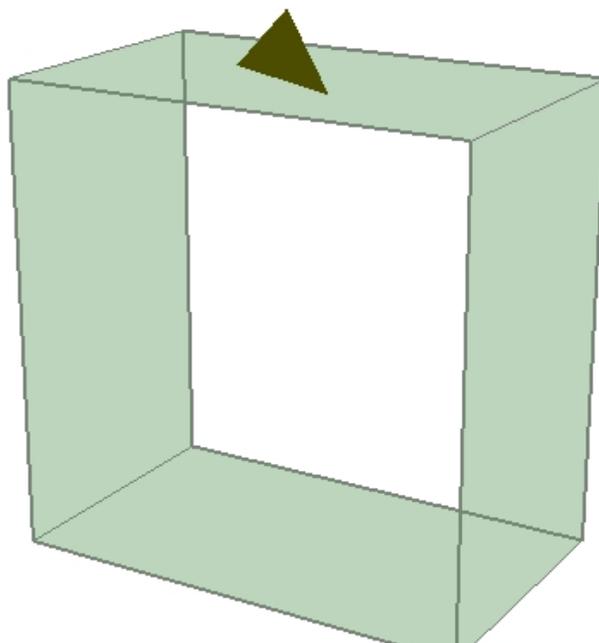


Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000



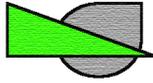
Weight: 0.459 tonnes

Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000

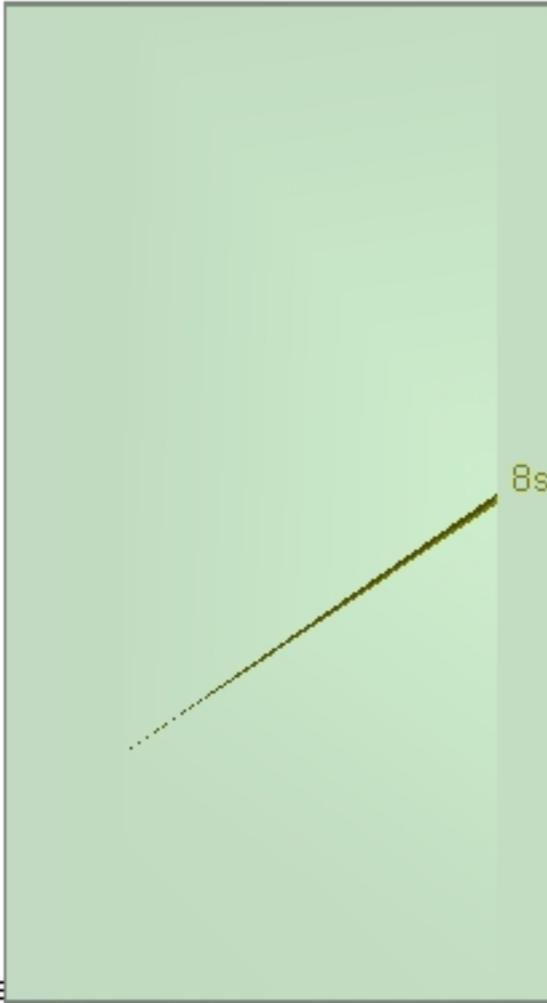


Weight: 0.459 tonnes

Fig. B8: modellazione del blocco generabile in calotta nel **CASO 4** con dimensioni **MINIME**

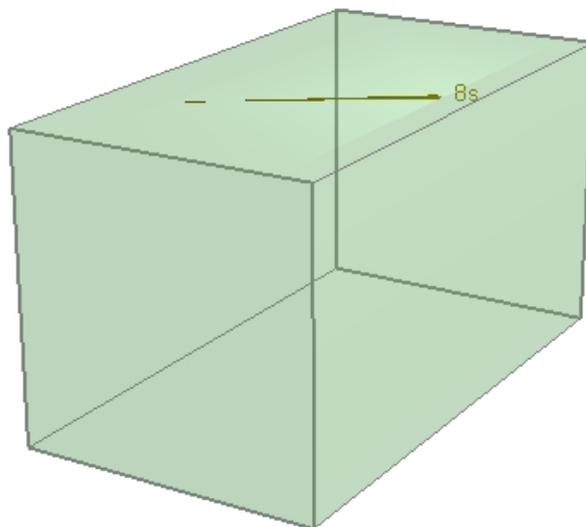


Roof wedge [8] Sca  
FS: 0.000



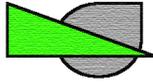
Weight: 0.012 tonne

Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000



Weight: 0.012 tonnes

Fig. B9: modellazione del blocco generabile in calotta nel **CASO 1** con dimensioni **MEDIE**

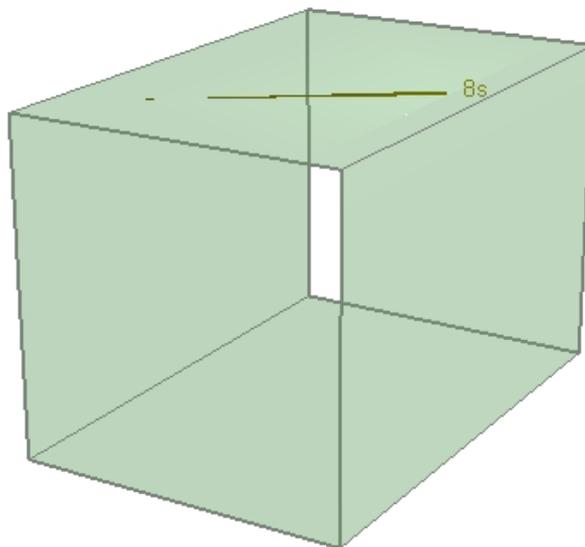


Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000



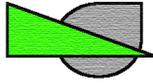
Weight: 0.012 tonnes

Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000

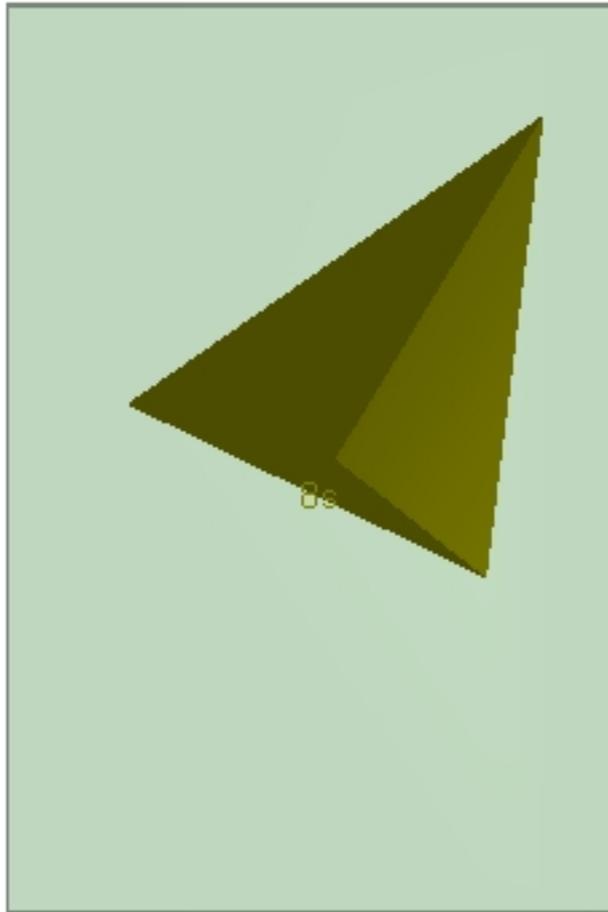


Weight: 0.012 tonnes

Fig. B10: modellazione del blocco generabile in calotta nel **CASO 2** con dimensioni **MEDIE**

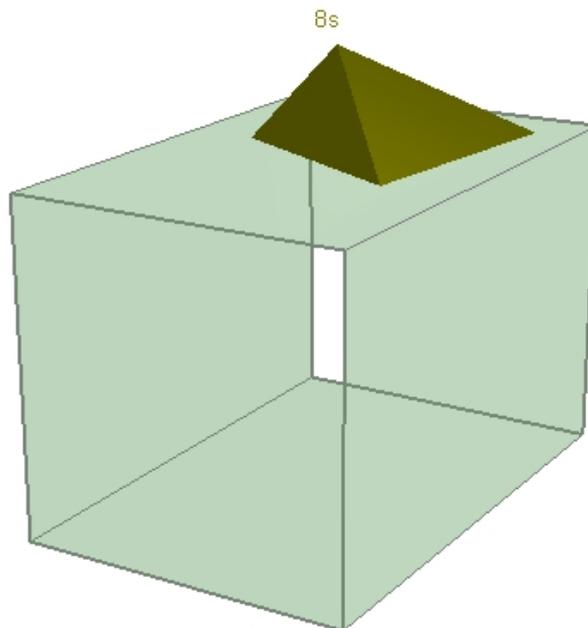


Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000



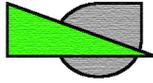
Weight: 14.913 tonnes

Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000

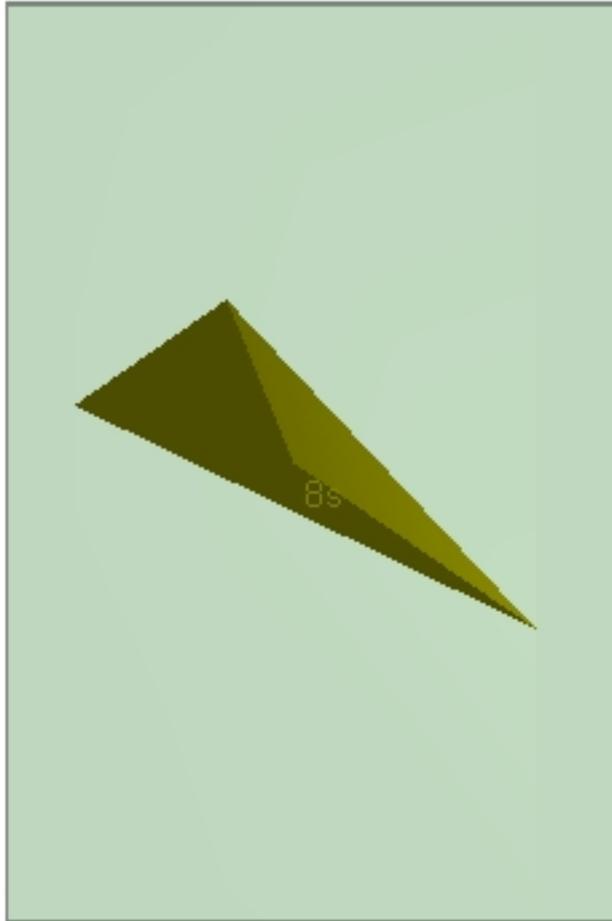


Weight: 14.913 tonnes

Fig. B11: modellazione del blocco generabile in calotta nel **CASO 3** con dimensioni **MEDIE**

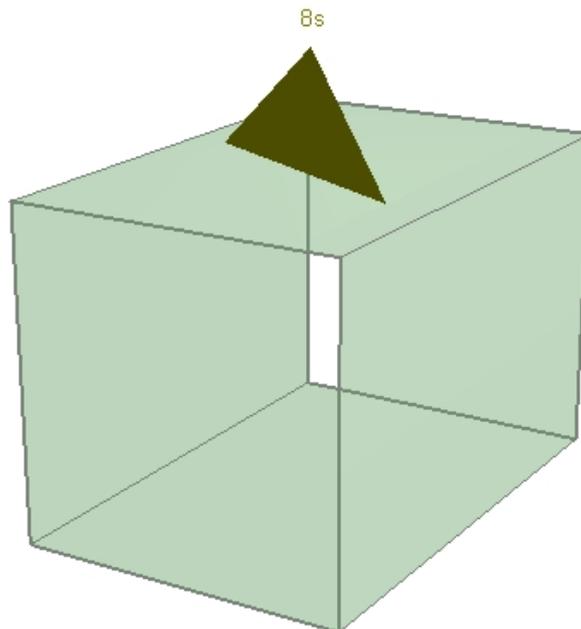


Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000



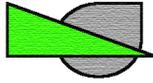
Weight: 7.167 tonnes

Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000

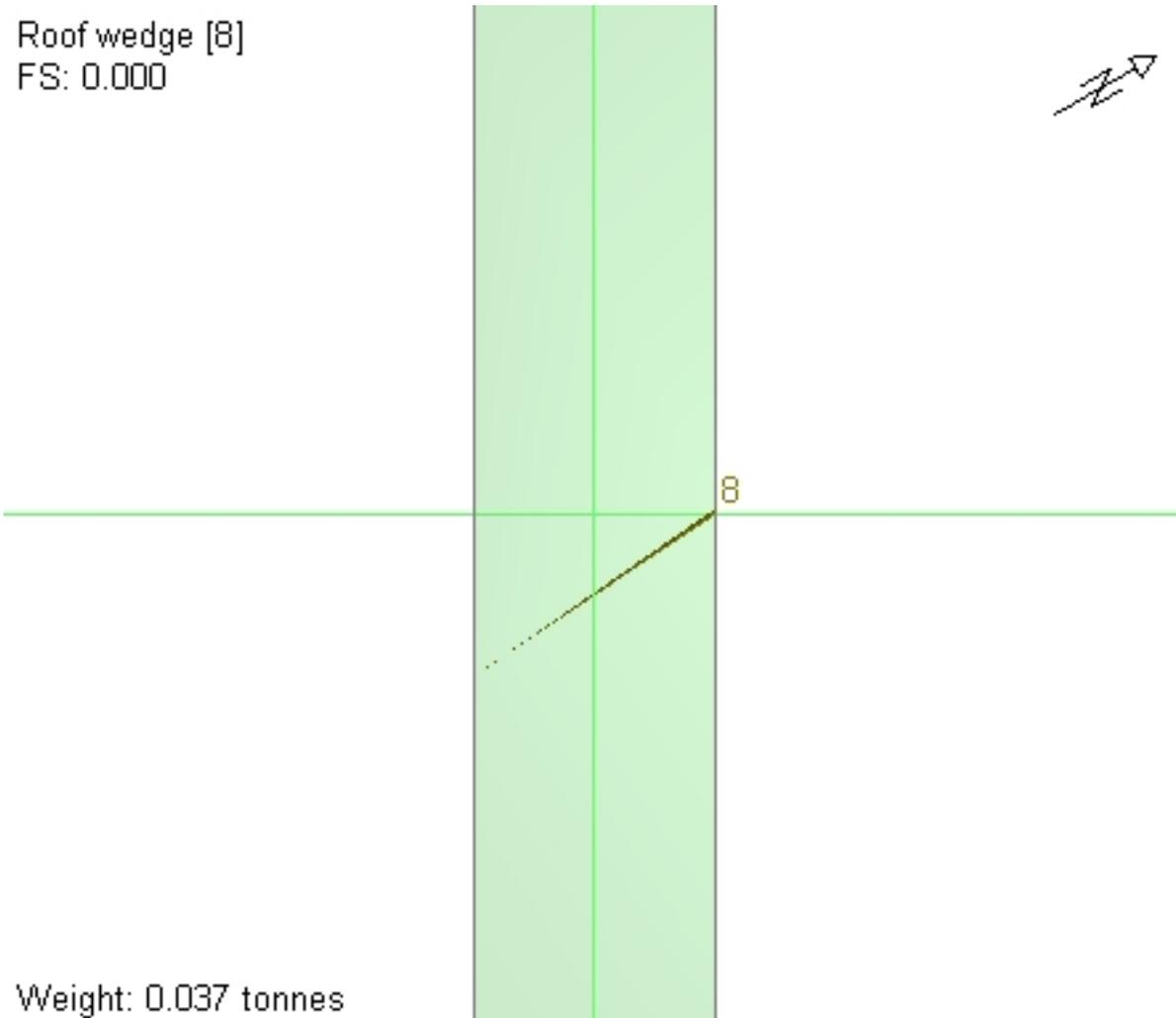


Weight: 7.167 tonnes

Fig. B12: modellazione del blocco generabile in calotta nel **CASO 4** con dimensioni **MEDIE**

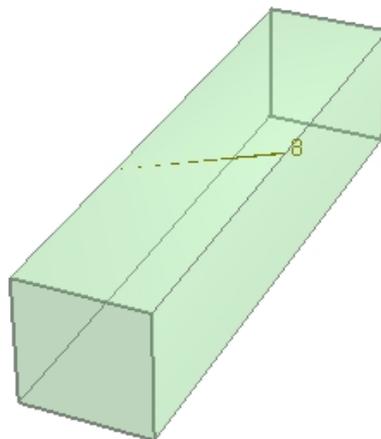


Roof wedge [8]  
FS: 0.000



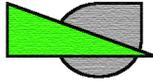
Weight: 0.037 tonnes

Roof wedge [8]  
FS: 0.000



Weight: 0.037 tonnes

Fig. B13: modellazione del blocco generabile in calotta nel **CASO 1** con dimensioni **MASSIME**

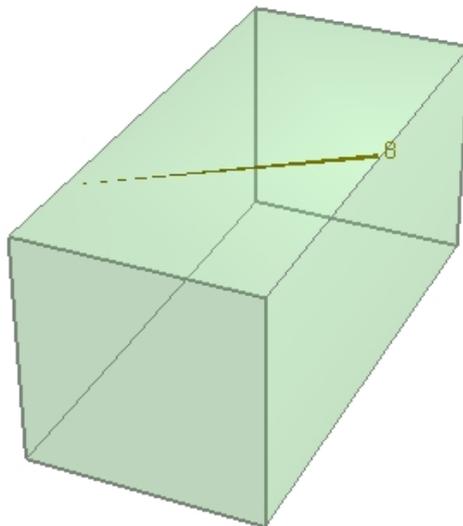


Roof wedge [8]  
FS: 0.000



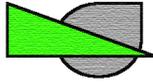
Weight: 0.036 tonnes

Roof wedge [8]  
FS: 0.000

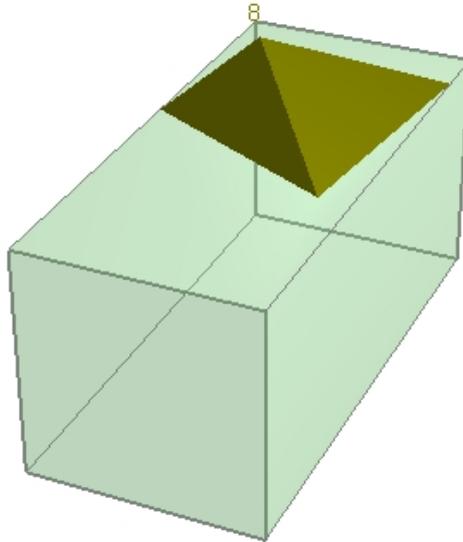


Weight: 0.036 tonnes

Fig. B14: modellazione del blocco generabile in calotta nel **CASO 2** con dimensioni **MASSIME**

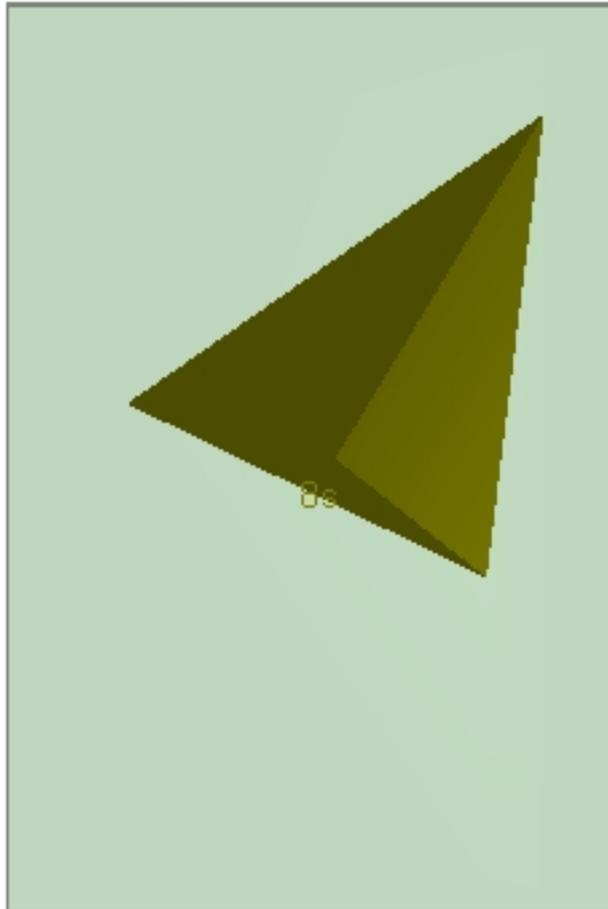


Roof wedge [8]  
FS: 0.000



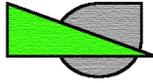
Weight: 46.884 tonnes

Roof wedge [8] Scaled  
FS: 0.000

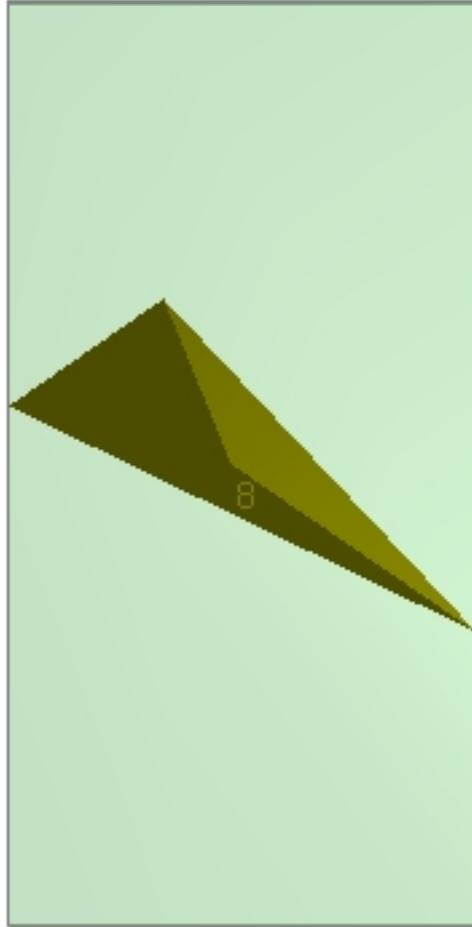


Weight: 14.913 tonnes

Fig. B15: modellazione del blocco generabile in calotta nel **CASO 3** con dimensioni **MASSIME**

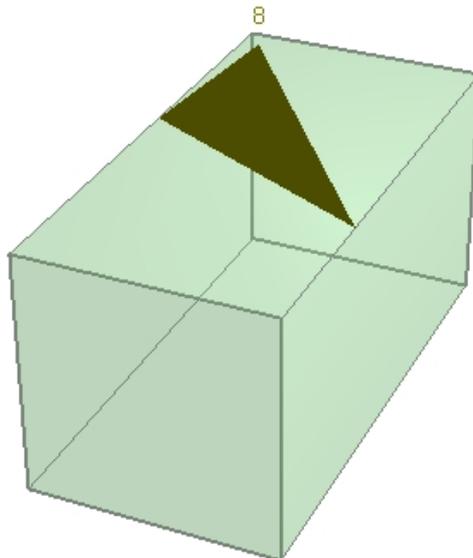


Roof wedge [8]  
FS: 0.000



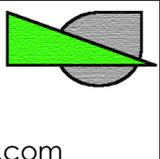
Weight: 17.058 tonnes

Roof wedge [8]  
FS: 0.000

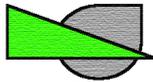


Weight: 17.058 tonnes

Fig. B16: modellazione del blocco generabile in calotta nel **CASO 4** con dimensioni **MASSIME**

<p>Studio di Ingegneria Valentino Via Masa 8, Calcio (BG) P. IVA 10350130018 ☎ +39.348.90.47.032 @ valentino.daniele@gmail.com</p>		<p>Object: Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato</p>	<p>58</p>
--	--	--	-----------

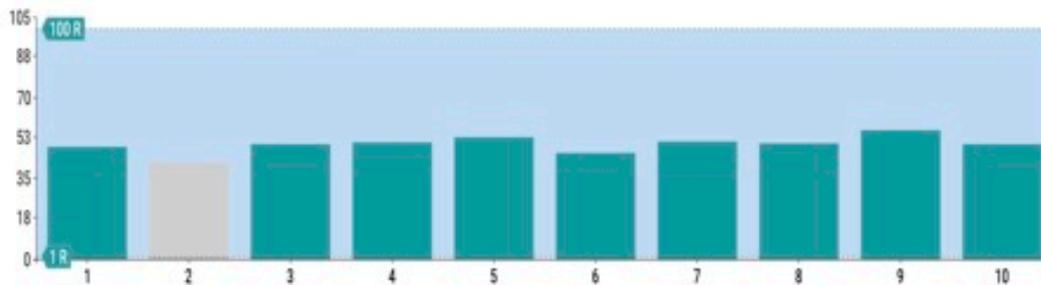
### 13. Allegato C: dati sperimentali desunti con martello di Smidth durante sopralluogo



## SchmidtMeasurement\_12

**Operatore** Daniele Valentino  
**Nome cartella** carcaraia  
**Data di creazione** 07/13/2022 12:10:07  
**Data ultima modifica** 07/13/2022 12:10:07  
**Misurazione resistenza media a compressione** 50.5 R

### Grafico a barre misurazioni



### Vista Tabella

#	Angolo (°)	R	R angle corrected
1	25	50	48.7
2*	5	42	41.7
3	4	50	49.8
4	7	51	50.6
5	3	53	52.9

#	Angolo (°)	R	R angle corrected
6	15	47	46.1
7	2	51	50.9
8	16	51	50.2
9	3	56	55.9
10	6	50	49.7

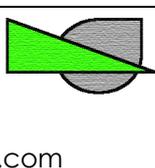
\* Outlier

### Statistiche

Lecture 9  
 Media 50.5 R  
 Deviazione standard 2.7 R  
 Minimo 46.1 R  
 Massimo 55.9 R  
 Range 9.7 R  
 Intervallo relativo 19.3%

### Impostazioni

Standard di conversione ASTM C805  
 Curva di conversione Proceq B (L)

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	60
---	--	--	----

Scala target	R angle corrected
Unità	R
Limiti	Sup.: 100 R , Inf.: 1 R
Correzione angolo	Auto

#### Info su sclerometro

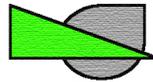
Ultima verifica Schmidt Live	09/24/2019
Numero di serie	SL02-001-0117
Revisione hardware	B0
Revisione firmware	2.0.9

#### Info su modulo bluetooth

Numero di serie	BT05-002-0441
Revisione hardware	C0
Revisione firmware	1.0.1

#### Info su applicazione

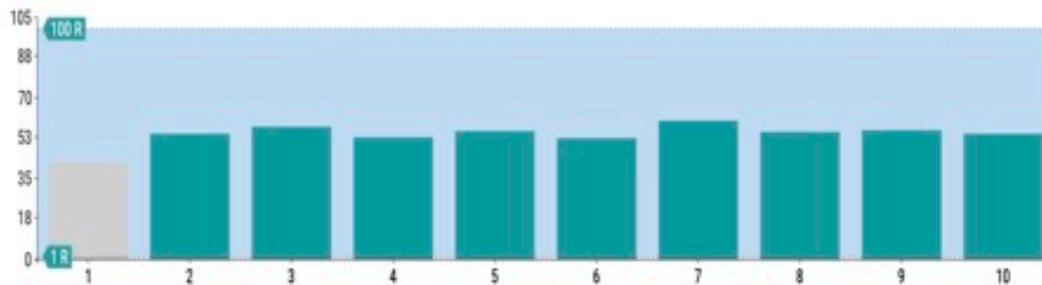
Piattaforma	iOS
Versione	4.0.1



## SchmidtMeasurement\_11

**Operatore** Daniele Valentino  
**Nome cartella** carcaraia  
**Data di creazione** 07/13/2022 12:08:22  
**Data ultima modifica** 07/13/2022 12:08:47  
**Misurazione resistenza media a compressione** 55.3 R

### Grafico a barre misurazioni



### Vista Tabella

#	Angolo (°)	R	R angle corrected
1*	33	44	42.1
2	42	56	54.2
3	46	59	57.3
4	47	55	53
5	40	57	55.4

#	Angolo (°)	R	R angle corrected
6	31	54	52.6
7	29	61	59.9
8	43	57	55.3
9	31	57	55.7
10	38	56	54.4

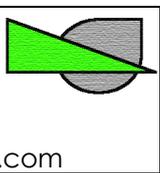
\* Outlier

### Statistiche

Lecture 9  
 Media 55.3 R  
 Deviazione standard 2.2 R  
 Minimo 52.6 R  
 Massimo 59.9 R  
 Range 7.4 R  
 Intervallo relativo 13.3%

### Impostazioni

Standard di conversione ASTM C805  
 Curva di conversione Proceq B (L)

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	62
---	--	--	----

Scala target	R angle corrected
Unità	R
Limiti	Sup.: 100 R , Inf.: 1 R
Correzione angolo	Auto

#### Info su sclerometro

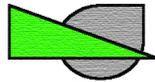
Ultima verifica Schmidt Live	09/24/2019
Numero di serie	SL02-001-0117
Revisione hardware	B0
Revisione firmware	2.0.9

#### Info su modulo bluetooth

Numero di serie	BT05-002-0441
Revisione hardware	C0
Revisione firmware	1.0.1

#### Info su applicazione

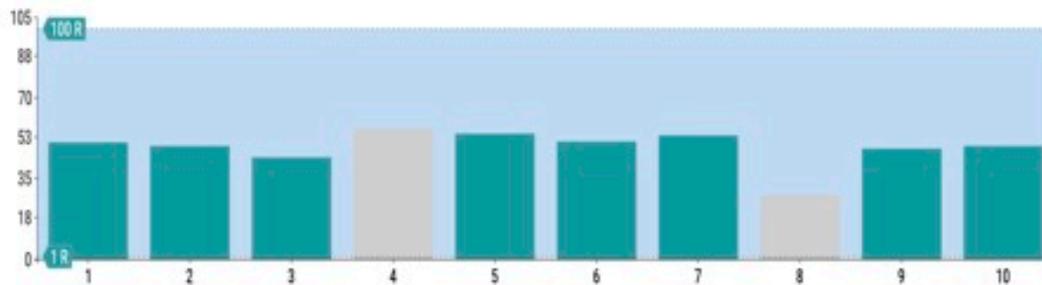
Piattaforma	iOS
Versione	4.0.1



## SchmidtMeasurement\_10

**Operatore** Daniele Valentino  
**Nome cartella** carcaraia  
**Data di creazione** 07/13/2022 12:07:44  
**Data ultima modifica** 07/13/2022 12:07:44  
**Misurazione resistenza media a compressione** 50 R

### Grafico a barre misurazioni



### Vista Tabella

#	Angolo (°)	R	R angle corrected
1	10	51	50.5
2	20	50	48.9
3	17	45	44
4*	11	57	56.5
5	11	55	54.5

#	Angolo (°)	R	R angle corrected
6	17	52	51.1
7	10	54	53.5
8*	27	30	27.9
9	19	49	48
10	19	50	49

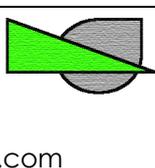
\* Outlier

### Statistiche

Lecture 8  
 Media 50 R  
 Deviazione standard 3.3 R  
 Minimo 44 R  
 Massimo 54.5 R  
 Range 10.5 R  
 Intervallo relativo 21%

### Impostazioni

Standard di conversione ASTM C805  
 Curva di conversione Proceq B (L)

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	64
---	--	--	----

Scala target	R angle corrected
Unità	R
Limiti	Sup.: 100 R , Inf.: 1 R
Correzione angolo	Auto

#### Info su sclerometro

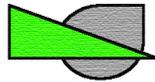
Ultima verifica Schmidt Live	09/24/2019
Numero di serie	SL02-001-0117
Revisione hardware	B0
Revisione firmware	2.0.9

#### Info su modulo bluetooth

Numero di serie	BT05-002-0441
Revisione hardware	C0
Revisione firmware	1.0.1

#### Info su applicazione

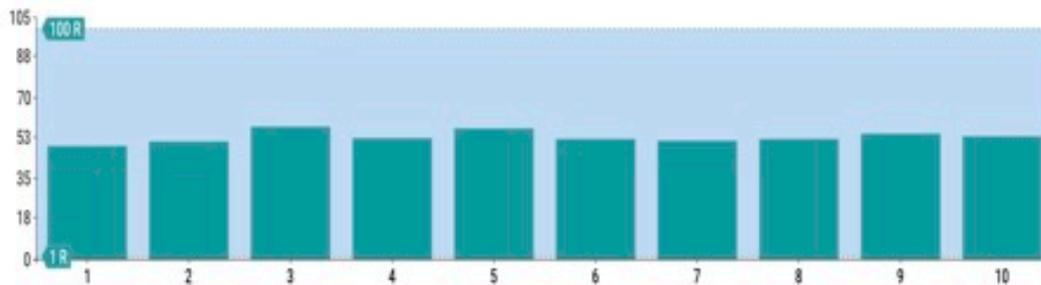
Piattaforma	iOS
Versione	4.0.1



## SchmidtMeasurement\_9

**Operatore** Daniele Valentino  
**Nome cartella** carcaraia  
**Data di creazione** 07/13/2022 12:06:50  
**Data ultima modifica** 07/13/2022 12:07:11  
**Misurazione resistenza media a compressione** 53 R

### Grafico a barre misurazioni



### Vista Tabella

#	Angolo (°)	R	R angle corrected
1	16	50	49.1
2	19	52	51
3	17	58	57.3
4	13	53	52.4
5	8	57	56.6

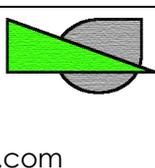
#	Angolo (°)	R	R angle corrected
6	17	53	52.2
7	13	52	51.3
8	21	53	52
9	13	55	54.4
10	16	54	53.2

### Statistiche

Lecture 10  
 Media 53 R  
 Deviazione standard 2.5 R  
 Minimo 49.1 R  
 Massimo 57.3 R  
 Range 8.1 R  
 Intervallo relativo 15.4%

### Impostazioni

Standard di conversione ASTM C805  
 Curva di conversione Proceq B (L)  
 Scala target R angle corrected

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	66
---	--	--	----

Unità	R
Limiti	Sup.: 100 R , Inf.: 1 R
Correzione angolo	Auto

**Info su sclerometro**

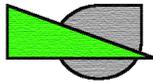
Ultima verifica Schmidt Live	09/24/2019
Numero di serie	SL02-001-0117
Revisione hardware	B0
Revisione firmware	2.0.9

**Info su modulo bluetooth**

Numero di serie	BT05-002-0441
Revisione hardware	C0
Revisione firmware	1.0.1

**Info su applicazione**

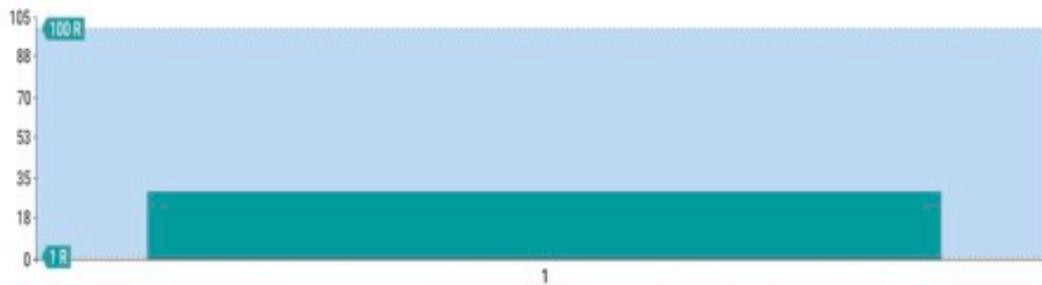
Piattaforma	iOS
Versione	4.0.1



## SchmidtMeasurement\_8

**Operatore** Daniele Valentino  
**Nome cartella** carcaraia  
**Data di creazione** 07/13/2022 11:34:50  
**Data ultima modifica** 07/13/2022 11:34:50  
**Misurazione resistenza media a compressione** 29.3 R

### Grafico a barre misurazioni



### Vista Tabella

#	Angolo (°)	R	R angle corrected
1	-5	29	29.3

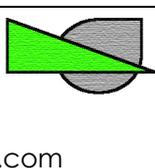
#	Angolo (°)	R	R angle corrected
1	-5	29	29.3

### Statistiche

**Lecture** 1  
**Media** 29.3 R  
**Deviazione standard** R  
**Minimo** 29.3 R  
**Massimo** 29.3 R  
**Range** 0 R  
**Intervallo relativo** 0%

### Impostazioni

**Standard di conversione** ASTM C805  
**Curva di conversione** Proceq B (L)  
**Scala target** R angle corrected  
**Unità** R  
**Limiti** Sup.: 100 R , Inf.: 1 R  
**Correzione angolo** Auto

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	68
---	--	--	----

#### Info su sclerometro

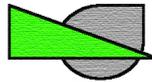
Ultima verifica Schmidt Live	09/24/2019
Numero di serie	SL02-001-0117
Revisione hardware	B0
Revisione firmware	2.0.9

#### Info su modulo bluetooth

Numero di serie	BT05-002-0441
Revisione hardware	C0
Revisione firmware	1.0.1

#### Info su applicazione

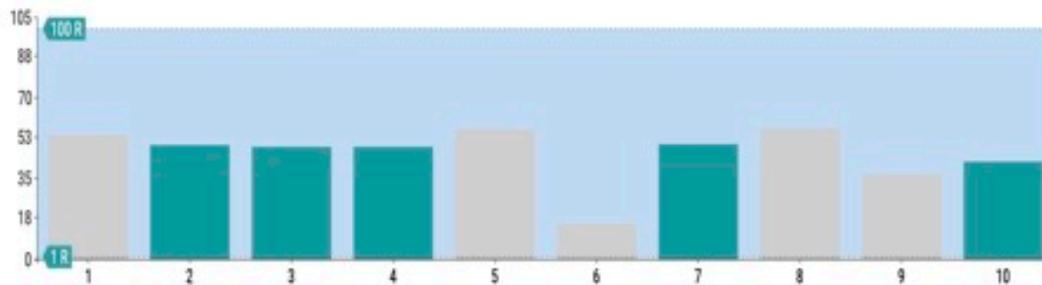
Piattaforma	iOS
Versione	4.0.1



## SchmidtMeasurement\_7

**Operatore** Daniele Valentino  
**Nome cartella** carcaraia  
**Data di creazione** 07/13/2022 11:24:41  
**Data ultima modifica** 07/13/2022 11:30:04  
**Misurazione resistenza media a compressione** 47.8 R

### Grafico a barre misurazioni



### Vista Tabella

#	Angolo (°)	R	R angle corrected
1*	23	55	53.9
2	33	51	49.4
3	22	50	48.8
4	27	50	48.6
5*	16	57	56.3

#	Angolo (°)	R	R angle corrected
6*	27	18	15.4
7	26	51	49.7
8*	29	58	56.8
9*	13	38	37.1
10	27	44	42.4

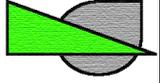
\* Outlier

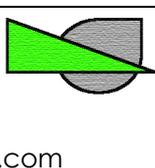
### Statistiche

Lecture 5  
 Media 47.8 R  
 Deviazione standard 3 R  
 Minimo 42.4 R  
 Massimo 49.7 R  
 Range 7.3 R  
 Intervallo relativo 15.3%

### Impostazioni

Standard di conversione ASTM C805  
 Curva di conversione Proceq B (L)

<p>Studio di Ingegneria Valentino Via Masa 8, Calcio (BG) P. IVA 10350130018 ☎ +39.348.90.47.032 @ valentino.daniele@gmail.com</p> 	<p>Object: Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato</p>	<p>70</p>
--	--	-----------

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	71
---	--	--	----

Scala target	R angle corrected
Unità	R
Limiti	Sup.: 100 R , Inf.: 1 R
Correzione angolo	Auto

#### Info su sclerometro

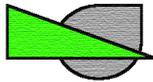
Ultima verifica Schmidt Live	09/24/2019
Numero di serie	SL02-001-0117
Revisione hardware	B0
Revisione firmware	2.0.9

#### Info su modulo bluetooth

Numero di serie	BT05-002-0441
Revisione hardware	C0
Revisione firmware	1.0.1

#### Info su applicazione

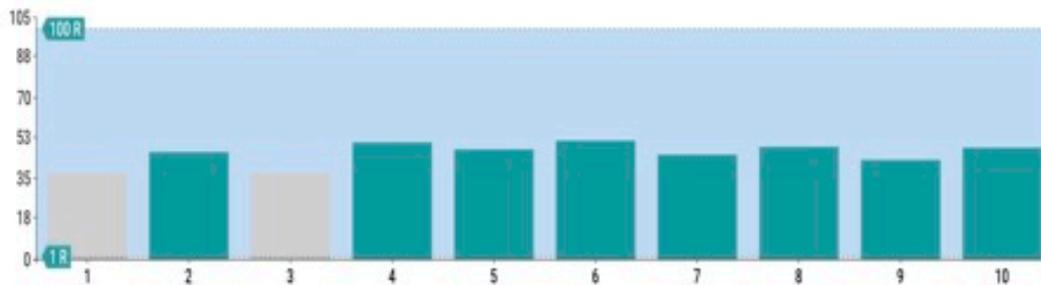
Piattaforma	iOS
Versione	4.0.1



## SchmidtMeasurement\_6

**Operatore** Daniele Valentino  
**Nome cartella** carcaraia  
**Data di creazione** 07/13/2022 11:17:47  
**Data ultima modifica** 07/13/2022 11:18:09  
**Misurazione resistenza media a compressione** 47.6 R

### Grafico a barre misurazioni



### Vista Tabella

#	Angolo (°)	R	R angle corrected
1*	40	40	37.5
2	31	48	46.3
3*	39	40	37.5
4	33	52	50.4
5	30	49	47.4

#	Angolo (°)	R	R angle corrected
6	39	53	51.2
7	33	47	45.2
8	29	50	48.5
9	35	45	43
10	32	50	48.4

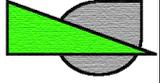
\* Outlier

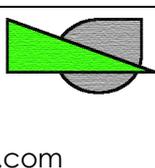
### Statistiche

Lecture 8  
 Media 47.6 R  
 Deviazione standard 2.7 R  
 Minimo 43 R  
 Massimo 51.2 R  
 Range 8.2 R  
 Intervallo relativo 17.3%

### Impostazioni

Standard di conversione ASTM C805  
 Curva di conversione Proceq B (L)

<p>Studio di Ingegneria Valentino Via Masa 8, Calcio (BG) P. IVA 10350130018 ☎ +39.348.90.47.032 @ valentino.daniele@gmail.com</p> 	<p>Object: Analisi dello stato tensionale dell'ammasso roccioso al contorno dello scavo a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato</p>	<p>73</p>
--	--	-----------

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	74
---	--	--	----

Scala target	R angle corrected
Unità	R
Limiti	Sup.: 100 R , Inf.: 1 R
Correzione angolo	Auto

#### Info su sclerometro

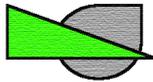
Ultima verifica Schmidt Live	09/24/2019
Numero di serie	SL02-001-0117
Revisione hardware	B0
Revisione firmware	2.0.9

#### Info su modulo bluetooth

Numero di serie	BT05-002-0441
Revisione hardware	C0
Revisione firmware	1.0.1

#### Info su applicazione

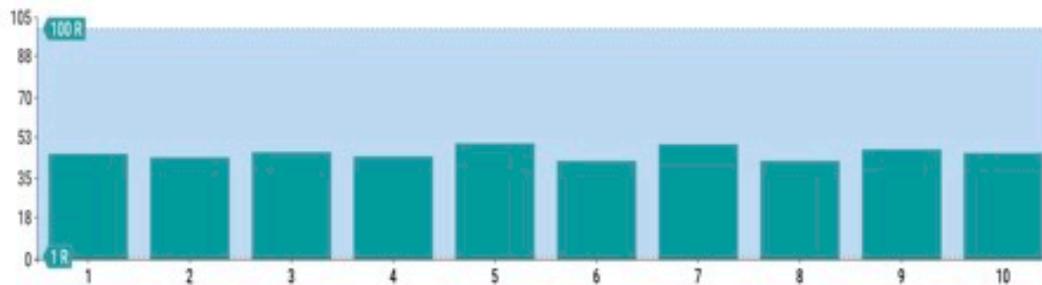
Piattaforma	iOS
Versione	4.0.1



## SchmidtMeasurement\_4

**Operatore** Daniele Valentino  
**Nome cartella** carcaraia  
**Data di creazione** 07/13/2022 11:14:10  
**Data ultima modifica** 07/13/2022 11:16:35  
**Misurazione resistenza media a compressione** 45.9 R

### Grafico a barre misurazioni



### Vista Tabella

#	Angolo (°)	R	R angle corrected
1	-18	45	45.7
2	-23	43	44
3	-8	46	46.3
4	-14	44	44.6
5	-2	50	50.1

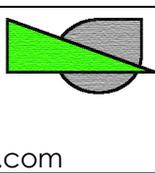
#	Angolo (°)	R	R angle corrected
6	-16	42	42.7
7	-19	49	49.7
8	-15	42	42.6
9	-19	47	47.7
10	-24	45	46

### Statistiche

Lecture 10  
 Media 45.9 R  
 Deviazione standard 2.6 R  
 Minimo 42.6 R  
 Massimo 50.1 R  
 Range 7.4 R  
 Intervallo relativo 16.2%

### Impostazioni

Standard di conversione ASTM C805  
 Curva di conversione Proceq B (L)  
 Scala target R angle corrected

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	76
---	--	--	----

Unità	R
Limiti	Sup.: 100 R , Inf.: 1 R
Correzione angolo	Auto

#### Info su sclerometro

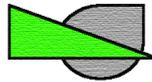
Ultima verifica Schmidt Live	09/24/2019
Numero di serie	SL02-001-0117
Revisione hardware	B0
Revisione firmware	2.0.9

#### Info su modulo bluetooth

Numero di serie	BT05-002-0441
Revisione hardware	C0
Revisione firmware	1.0.1

#### Info su applicazione

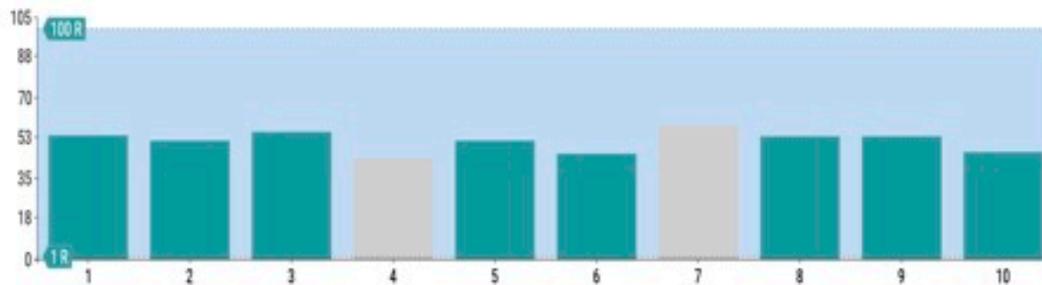
Piattaforma	iOS
Versione	4.0.1



## SchmidtMeasurement\_5

**Operatore** Daniele Valentino  
**Nome cartella** carcaraia  
**Data di creazione** 07/13/2022 11:15:27  
**Data ultima modifica** 07/13/2022 11:16:16  
**Misurazione resistenza media a compressione** 51.3 R

### Grafico a barre misurazioni



### Vista Tabella

#	Angolo (°)	R	R angle corrected
1	-45	52	53.5
2	-46	50	51.5
3	-41	54	55.3
4*	-42	42	43.7
5	-40	50	51.4

#	Angolo (°)	R	R angle corrected
6	-42	44	45.6
7*	-44	57	58.3
8	-41	52	53.4
9	-40	52	53.3
10	-40	45	46.5

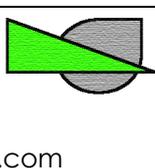
\* Outlier

### Statistiche

Lecture 8  
 Media 51.3 R  
 Deviazione standard 3.5 R  
 Minimo 45.6 R  
 Massimo 55.3 R  
 Range 9.7 R  
 Intervallo relativo 18.9%

### Impostazioni

Standard di conversione ASTM C805  
 Curva di conversione Proceq B (L)

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 a progetto presso le cave Carcaraia B e Carcaraia Arabescato	78
---	--	--	----

Scala target	R angle corrected
Unità	R
Limiti	Sup.: 100 R , Inf.: 1 R
Correzione angolo	Auto

#### Info su sclerometro

Ultima verifica Schmidt Live	09/24/2019
Numero di serie	SL02-001-0117
Revisione hardware	B0
Revisione firmware	2.0.9

#### Info su modulo bluetooth

Numero di serie	BT05-002-0441
Revisione hardware	C0
Revisione firmware	1.0.1

#### Info su applicazione

Piattaforma	iOS
Versione	4.0.1