

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 1 di 53 Note:

REGIONE TOSCANA

COMUNE DI CARRARA (MS)

CAVA DI MARMO "PESCINA A" N°13
 Bacino marmifero di Pescina Boccanaglia

VALUTAZIONE PREVISIONALE DELLA STABILITA'
 (ZONA OGGETTO DI VARIANTE AL PIANO DI COLTIVAZIONE)

ANNO 2020

RELAZIONE TECNICA

Ai sensi dei: D.M. 11/3/1988 - DM 17/01/2018

Escavazione La Gioia S.R.L.
 Via Carriona 388, Carrara (MS)

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 2 di 53 Note:

Sommarrio

1.	Premessa.....	3
2.	Introduzione	4
3.	Inquadramento morfologico e geologico-strutturale del sito estrattivo	6
4.	Analisi di stabilità	7
5.	Analisi tensionale e deformativa della porzione in sottterraneo	12
5.1	Modellazione numerica agli elementi finiti FEM.....	13
5.2	Parametri geomeccanici di progetto	15
5.3	Sezione strutturale analizzata.....	17
5.4	Risultati della modellazione numerica.....	19
5.5	Interventi di consolidamento preventivo e monitoraggio	28
6.	Conclusioni	29
Allegato A – Risultati dell'analisi cinematica		30
Allegato B – Caratteristiche tecniche elementi di rinforzo per il consolidamento		51

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 3 di 53 Note:

1. Premessa

Il presente documento descrive la relazione di stabilità dei fronti inerente la variante al piano di coltivazione redatta dal Dott. Geol. A. Cattani, della cava N° 13 “Pescina A” esercitata dalla Società Escavazione La Gioia S.R.L. con sede in Via Carriona 388, Carrara (MS). La cava è ubicata nel bacino di Pescina Boccanaglia di Carrara (MS).

Come anticipato questo documento è rivolto alla valutazione statica che la variante potrebbe implicare, rispetto alla situazione esaminata nell’ultima analisi di stabilità del 2018 a firma dell’Ing. M. Gardenato, redatta a corredo della domanda di variante al piano di coltivazione. Da questi documenti si è attinto per confrontare i dati geostrutturali e geometrici del sito in esame. In particolare, si analizzerà la situazione geometrica durante la fase prevista dal progetto di variante al fine di valutare quali possano essere i potenziali impatti a livello statico sulla stabilità dei fronti.

I risultati e i commenti tecnici si riferiscono alla situazione topografica a progetto e riguardano esclusivamente la zona in esame. L’incarico è stato svolto in conformità alle vigenti normative tecniche, in particolare al D.Lgs 624/96, e inoltre in ottemperanza a:

- 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. 17 gennaio 2018, norme tecniche sulle costruzioni.

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 4 di 53 Note:

2. Introduzione

Di seguito si descrive in modo sintetico il progetto di variante citata in precedenza. Per una descrizione esaustiva si rimanda al documento redatto dal Dott. Geol. A. Cattani.

La sequenza di immagini vuole mettere in evidenza le zone interessate dalle future lavorazioni e sulla quale si effettueranno le valutazioni statiche.

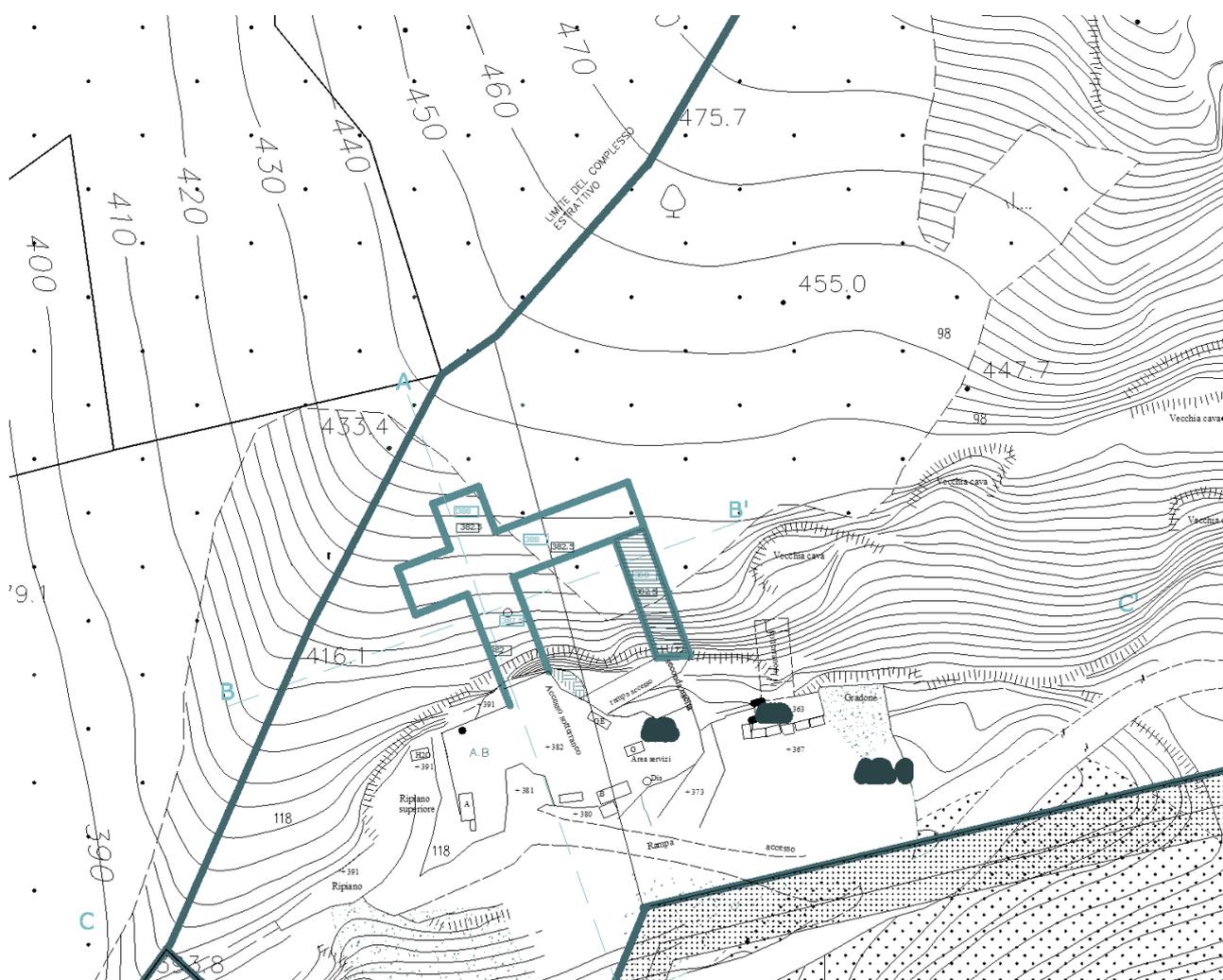


Figura 1 – planimetria dello stato attuale della cava n°13 "Pescina A"

PANDOLFI

Studio di ingegneria
54033 Carrara (Italia)
P.zza del Duomo, 11
Tel. 0585.779513
P.I. 00568690457

Incarico:
D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15
e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18

Committente:
Escavazione La Gioia S.R.L.

Documento:
Relazione Tecnica: Valutazione
previsionale della stabilità (zona
oggetto di variante al piano di
coltivazione)

Prot.: 1120/B1/2020
Data: novembre 2020

Redattore:
Ing. Marco Berlinghieri

Foglio: 5 di 53
Note:

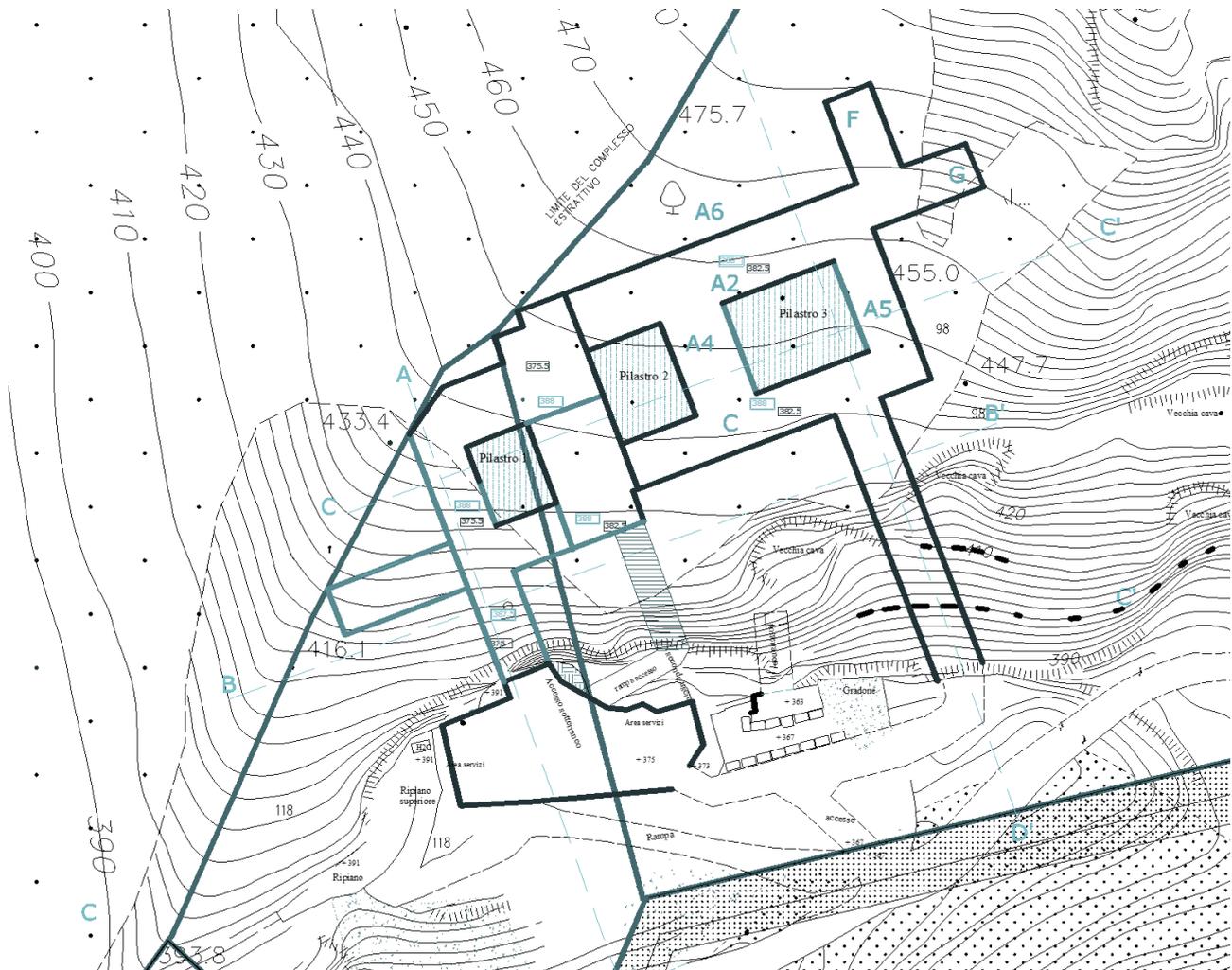


Figura 2 – planimetria al termine della variante al piano di coltivazione della cava n°13 “Pescina A”

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 6 di 53 Note:

3. Inquadramento morfologico e geologico-strutturale del sito estrattivo

Si rimanda alla relazione geologica a firma del Dott. Geol. A. Cattani per una descrizione dell'inquadramento geo-morfologico e geologico generale, il quale si è occupato anche dell'aggiornamento della carta delle fratture, a corredo del progetto di variante al piano di coltivazione. Nella seguente tabella sono riassunte le caratteristiche geometriche delle famiglie di discontinuità desunte dalle campagne dei rilievi geostrutturali.

Tabella 1 - giacitura delle famiglie caratteristiche individuate

Sets	Dip	Dip Direction
K₁	35	230
K₁₋₂	60	240
K₂	85	340
K₂₋₂	85	160
K₃	80	060
K₃₋₂	85	240

Nella figura seguente si riportano gli stereogrammi di Schmidt relativi alle discontinuità rilevate (aggiornamento novembre 2020).

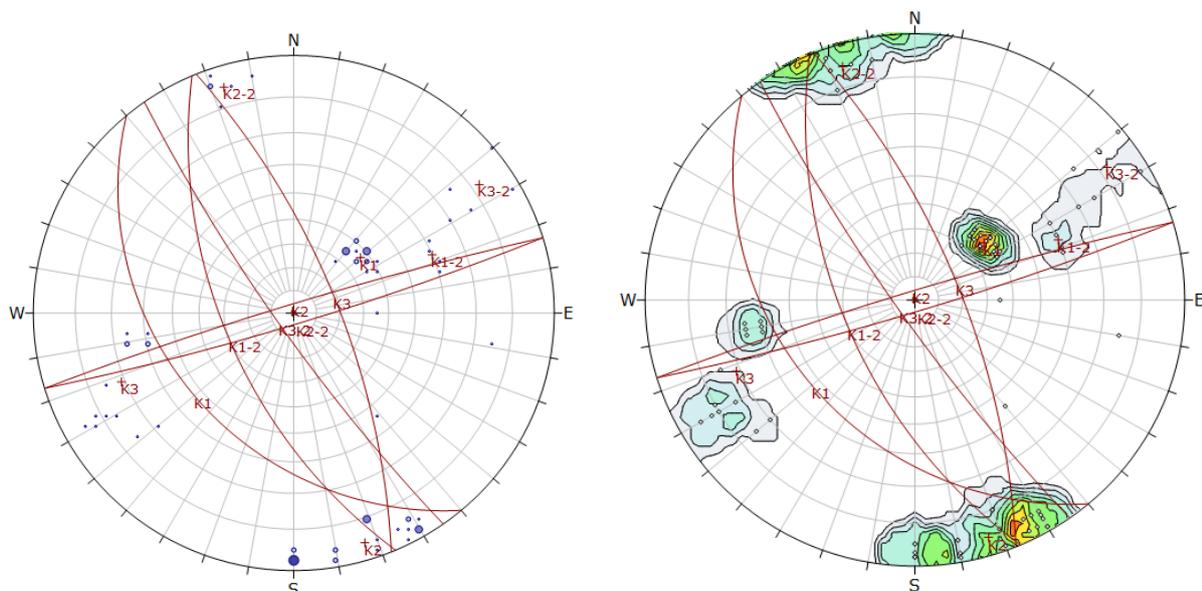


Figura 3 - stereogrammi di Schmidt relativi al rilievo alla cava N° 13 "Pescina A"

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 7 di 53 Note:

4. Analisi di stabilità

Di seguito si è valutata la possibilità di formazione di blocchi nelle due direzioni di avanzamento D1 e D2 previste per la coltivazione sotterranea, riportata nella figura successiva. Per ogni cinematismo ipotizzato è riportato il fattore di sicurezza associato, ottenuto scalando la dimensione dei blocchi, ipotizzando una spaziatura delle discontinuità di 10m.

È stato utilizzato per questa analisi uno specifico software di analisi tridimensionale di cinematismi, basato sull'equilibrio limite ma in grado di considerare le azioni di un sisma e la componente coesiva sulle discontinuità generanti un blocco.

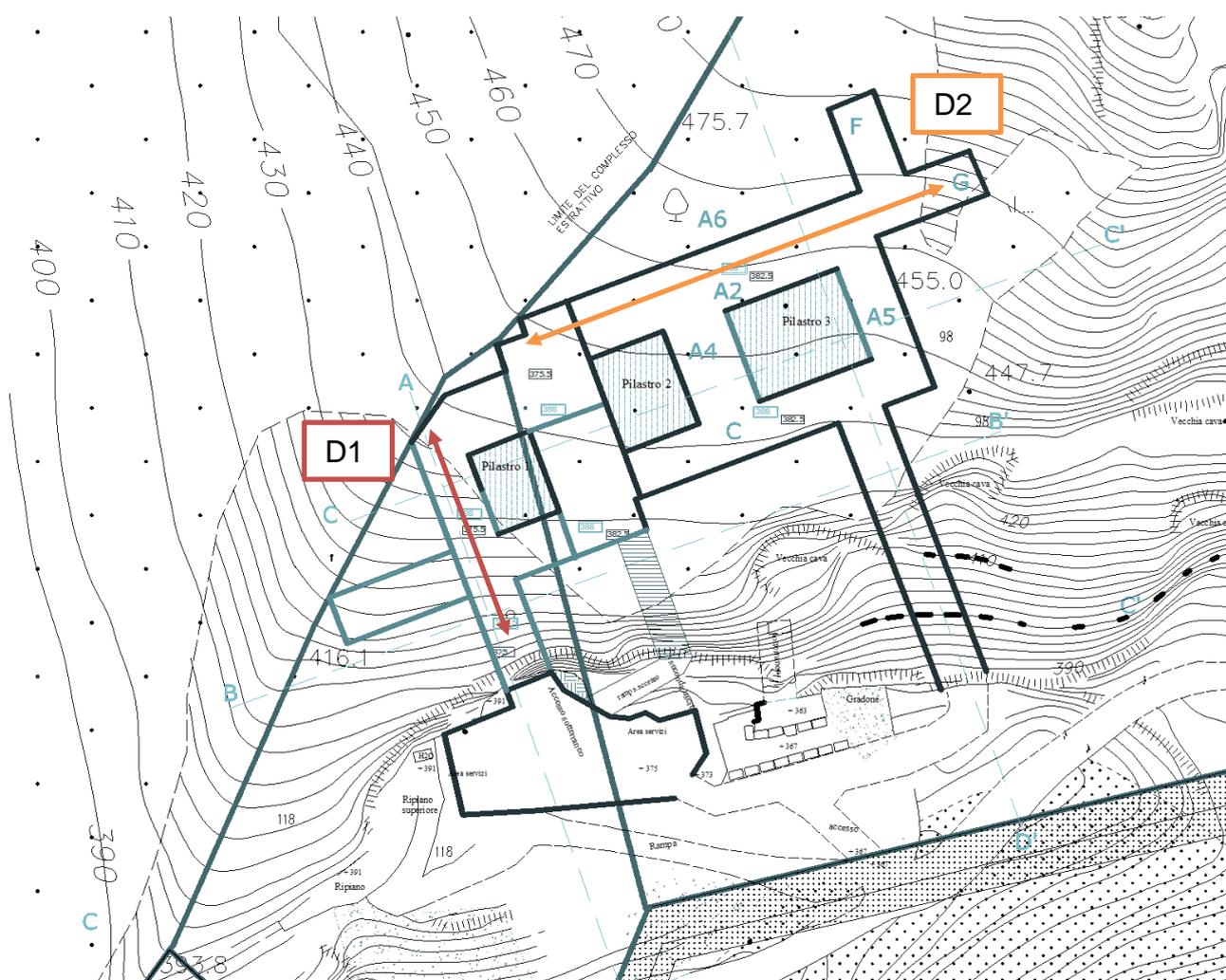


Figura 4 – stralcio della planimetria in progetto della cava n°13, in evidenza le direzioni di avanzamento previste per la coltivazione sotterranea

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 8 di 53 Note:

Le direzioni di avanzamento nella coltivazione sotterranea D1 e D2, hanno la seguente orientazione:

Tabella 2 - orientazione fronti di avanzamento principali

	Trend [°]	Plunge [°]
Direzione D1	340	00
Direzione D1	070	00

Nella tabella 3 si riportano i parametri geometrici e geomeccanici oltre che le azioni sismiche tenute in considerazione per le analisi mediante il software appena menzionato. Mentre nella tabella 4 si indica per ciascun cinematismo individuato i rispettivi fattori di sicurezza calcolati mediante la modellazione 3D dei cunei, tenendo in conto della azione sismica che agisce sugli stessi.

Tabella 3 - riepilogo dei geomeccanici individuati in corrispondenza delle direzioni D1 e D2.

Resistenza alla trazione σ_t [MPa]	Coesione c [MPa]	Angolo di attrito φ [°]
0.0	0.1	35.0

L'azione sismica è stata simulata mediante l'utilizzo di metodi pseudo-statici, i quali consentono di ricondurre l'azione sismica, che è un'azione dinamica variabile nel tempo e nello spazio, ad un insieme di forze statiche equivalenti, orizzontali e verticali, mediante l'utilizzo di coefficienti sismici, che dipendono dalla zona sismica, dalle condizioni locali e dall'entità degli spostamenti ammessi per l'opera considerata.

Come specificato al § 7.11.6.2.1 (NTC '18), in assenza di studi specifici, i coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v , devono essere calcolati come:

$$k_h = \beta_m \cdot a_{max} / g \quad (1)$$

$$k_v = \pm 0,5 k_h \quad (2)$$

dove:

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

β_m = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 9 di 53 Note:

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima è valutata con la relazione:

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g \quad (3)$$

dove:

- S_S = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica;
- S_T = coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione topografica;
- a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

Per quel che riguarda la applicazione dei carichi dinamici si è fatto riferimento alla condizione di Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) reperendo i parametri caratteristici, definiti sul territorio nazionale e classificati a seconda della località in esame, dalla specifica normativa.

Tabella 4 - parametri sismici per il sito in esame, periodo di riferimento per l'azione sismica 50 anni

Stato Limite	Tr [anni]	ag [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0,051	2,454	0,237
Danno (SLD)	50	0,064	2,468	0,254
Salvaguardia della vita (SLV)	475	0,159	2,394	0,289
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,204	2,383	0,295

L'accelerazione orizzontale massima al sito è così ottenuta:

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1,0 \cdot 1,4 \cdot 0,159 = 2,189 \text{ m/s}^2$$

Definiti i parametri caratteristici della zona di progetto, si è potuto definire il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa del sito (Tabella 7.11.I NTC'08).

Si riportano di seguito le coordinate geografiche del sito:

Latitudine: 44.102483° Longitudine: 10.105434°

I coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v risultano quindi:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max} / g = 0,060 \text{ m/s}^2$$

$$k_v = \pm 0,5 k_h = \pm 0,030 \text{ m/s}^2$$

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 10 di 53 Note:

Tabella 5 - risultato dell'analisi cinematica mediante la teoria del "blocco chiave"

Direzione	N°	Tipo di cuneo	Combinazione	Massa	Rinforzo*	Fattore di sicurezza (F.S.)
Direzione 1 (340°/00°)	1	Cuneo a tetto	K ₁ K ₂ K ₃	7.7 t	#2 x 26.5mm x 4.5m	13.6*
	2	Cuneo a tetto	K ₁ K ₂₋₂ K ₃	7.8 t	-	1.3
	3	Cuneo a tetto	K ₁ K ₁₋₂ K ₂₋₂	6.2 t	-	3.3
	4	Cuneo laterale	K ₁₋₂ K ₂₋₂ K ₃	44.7 t	-	4.9
	5	Cuneo laterale	K ₁₋₂ K ₂ K ₃	30.0 t	-	5.4
	6	Cuneo a tetto	K ₁ K ₂ K ₃₋₂	9.1 t	-	6.5
	7	Cuneo laterale	K ₂ K ₃ K ₃₋₂	10.2 t	-	7.3
	8	Cuneo laterale	K ₂ K ₂₋₂ K ₃	10.7 t	-	7.3
	9	Cuneo a tetto	K ₁ K ₂₋₂ K ₃₋₂	9.2 t	-	7.8
	10	Cuneo a tetto	K ₁ K ₁₋₂ K ₂	13.8 t	-	8.9
	11	Cuneo laterale	K ₂₋₂ K ₃ K ₃₋₂	7.2 t	-	10.1
	12	Cuneo laterale	K ₁₋₂ K ₂ K ₂₋₂	42.2 t	-	>10
	13	Cuneo laterale	K ₂ K ₂₋₂ K ₃₋₂	4.0 t	-	>10
	14	Cuneo laterale	K ₁ K ₂ K ₂₋₂	111.1 t	-	>10
	15	Cuneo laterale	K ₁₋₂ K ₂ K ₃₋₂	16.3 t	-	>10
	16	Cuneo al fronte	K ₁₋₂ K ₂₋₂ K ₃₋₂	12.6 t	-	>10
	17	Cuneo al fronte	K ₁ K ₁₋₂ K ₃	604.5 t	-	>10
	18	Cuneo al fronte	K ₁ K ₁₋₂ K ₃₋₂	466.4 t	-	>10
	19	Cuneo al fronte	K ₁ K ₃ K ₃₋₂	765.3 t	-	>10
	20	Non si forma	K ₁₋₂ K ₃ K ₃₋₂	-	-	-
Direzione 2 (070°/00°)	21	Cuneo a tetto	K ₁ K ₂ K ₃	7.7 t	#2 x 26.5mm x 4.5m	13.8*
	22	Cuneo a tetto	K ₁ K ₂ K ₃₋₂	9.1 t	-	6.5
	23	Cuneo al fronte	K ₁₋₂ K ₂₋₂ K ₃	8.9 t	-	8.1
	24	Cuneo al fronte	K ₁₋₂ K ₂ K ₃	7.0 t	-	8.4
	25	Cuneo a tetto	K ₁ K ₁₋₂ K ₂₋₂	14.3t	-	8.9
	26	Cuneo a tetto	K ₁ K ₁₋₂ K ₂	13.8 t	-	8.9
	27	Cuneo al fronte	K ₁ K ₂₋₂ K ₃	11.2 t	-	9.9
	28	Cuneo al fronte	K ₂ K ₂₋₂ K ₃	1.8 t	-	>10

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 11 di 53 Note:

29	Cuneo al fronte	$K_2 K_3 K_{3-2}$	1.7 t	-	>10
30	Cuneo al fronte	$K_{2-2} K_3 K_{3-2}$	1.2 t	-	>10
31	Cuneo al fronte	$K_{1-2} K_2 K_{2-2}$	7.1 t	-	>10
32	Cuneo laterale	$K_1 K_{2-2} K_{3-2}$	9.5 t	-	>10
33	Cuneo laterale	$K_1 K_2 K_{2-2}$	18.7 t	-	>10
34	Cuneo laterale	$K_{1-2} K_{2-2} K_{3-2}$	3.3 t		>10
35	Cuneo laterale	$K_{1-2} K_2 K_{3-2}$	3.3 t	-	>10
36	Cuneo al fronte	$K_2 K_{2-2} K_{3-2}$	0.7 t	-	>10
37	Cuneo laterale	$K_1 K_{1-2} K_3$	156.7 t	-	>10
38	Cuneo laterale	$K_1 K_{1-2} K_{3-2}$	120.9 t	-	>10
39	Cuneo laterale	$K_1 K_3 K_{3-2}$	128.8 t	-	>>10
40	Non si forma	$K_{1-2} K_3 K_{3-2}$	-	-	-

*La nomenclatura #2 x 26.5mm x 4.5m *significa n° 2 rinforzi $\Phi = 26.5$ mm lunghezza 4.5 m (e così via)*

La tabella precedente riporta l'elenco dei blocchi generabili variando la possibile configurazione delle terne di famiglie di discontinuità principali. Dove si sono riscontrate condizioni di instabilità, sono stati calcolati i rinforzi necessari al fine di definire una condizione accettabile di stabilità (F.S.> 1,3).

I rinforzi previsti come detto sono di tipo passivo e commercialmente noti come barre Dywidag ad alta resistenza, con diametro $\Phi = 26,5$ mm. La posizione dei rinforzi, negli elaborati grafici è puramente indicativa, e andrà stabilita al momento dell'installazione in funzione della configurazione reale. I rinforzi sono stati dimensionati in funzione delle caratteristiche geometriche derivanti dalle ipotesi di progetto (scalando la dimensione dei blocchi). Nel caso il Direttore Responsabile, durante le operazioni di valutazione deterministica del cinematiso, riscontrasse che il cuneo di roccia presenta peso e dimensione differente da quelle proposti, l'intervento ipotizzato dovrà essere verificato ed eventualmente adattato.

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 12 di 53 Note:

5. Analisi tensionale e deformativa della porzione in sotterraneo

La presente variante al piano di coltivazione, prevede l'ampliamento dell'attuale galleria di tracciamento nella porzione NE della concessione, un abbassamento del piano dell'attuale piazzale di cava e parte della galleria esistente, e la realizzazione di una nuova uscita del sotterraneo. Come visibile dalle tavole di progetto allegate, le modifiche progettuali comporteranno la realizzazione tre pilastri,

Per valutare la stabilità degli elementi di sostegno è stata condotta un'analisi tenso-deformativa al contorno dello scavo, mediante i metodi numerici, applicando un codice di calcolo basato sugli elementi finiti (F.E.M.) in grado di simulare, con un elevato grado di precisione, sia la morfologia del versante sia la geometria del vuoto sotterraneo.

L'analisi condotta è stata di tipo bidimensionale, la figura seguente, mostra una planimetria della cava con la posizione della sezione analizzata.

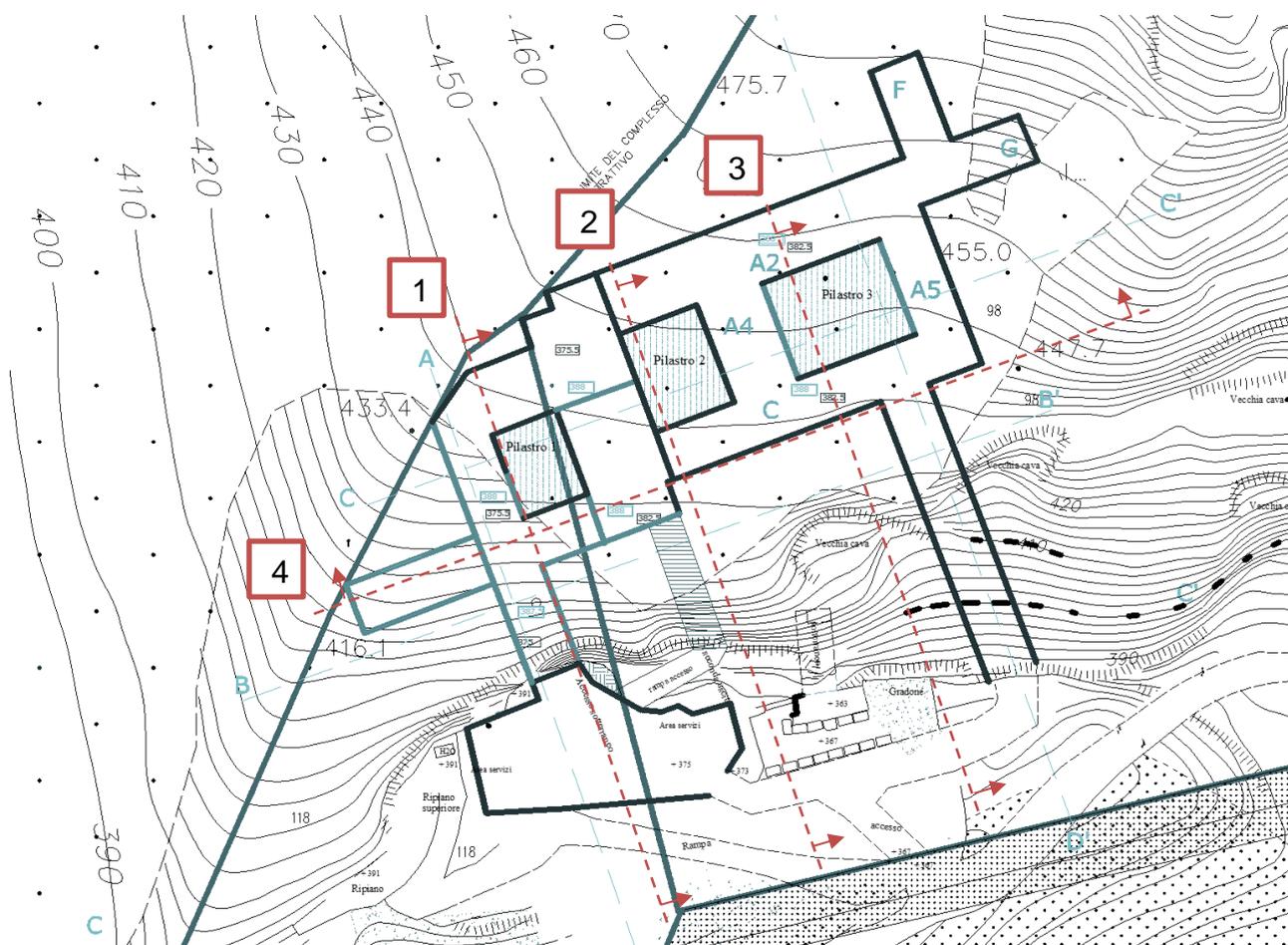


Figura 5 – planimetria della cava “Pescina A”, con evidenziata la sezione adoperata per l’analisi numerica FEM

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 13 di 53 Note:

5.1 Modellazione numerica agli elementi finiti FEM

I metodi di calcolo numerico, impiegati nell'analisi di stabilità in materiali rocciosi, descrivono il problema in esame attraverso espressioni algebriche in termini di variabili di campo in punti discreti dello spazio.

Ciascun elemento di calcolo, in cui è preventivamente suddivisa la porzione di ammasso roccioso da studiare, riproduce in modo approssimato il comportamento fisico e meccanico della corrispondente regione nella struttura e si riducono ai nodi di ogni singolo 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.

Tra i metodi differenziali più diffusi troviamo il metodo agli elementi finiti FEM (Finite Element Method). Secondo questo metodo, il dominio del problema è suddiviso convenientemente in elementi discreti che forniscono una forma approssimata della continuità dello stato tensionale e deformativo dell'ammasso roccioso. Le equazioni in forma algebrica sono scritte relativamente ai nodi della discretizzazione.

Tali equazioni mettono in relazione gli spostamenti nodali alle forze attraverso una matrice, detta di rigidità.

Il metodo FEM è particolarmente efficiente nella simulazione di scavi e/o costruzioni, e si può prevedere anche l'inserimento di elementi di sostegno e di rinforzo.

La principale criticità del metodo - come degli altri metodi differenziali - sta nella definizione arbitraria dei contorni esterni del problema. I contorni fittizi dovrebbero essere collocati a distanza convenientemente elevata, ma ciò non garantisce che le condizioni richieste siano soddisfatte. Pertanto, sono indispensabili in questi casi studi di sensitività della soluzione al tipo di condizioni imposte sul contorno, mediante per esempio l'ausilio di misure sperimentali di stato di sforzo.

Nella formulazione riportata di seguito, si farà riferimento ad un materiale generico, senza operare distinzione tra tensioni efficaci e tensioni totali. Alla base del metodo FEM sussiste una equazione di minimizzazione dell'energia potenziale π di un sistema continuo di volume V e che può esprimersi nella forma:

$$\pi = \frac{1}{2} \int_V \sigma^T \varepsilon dV - \int_V \delta^T p dV - \int_V \delta^T q dS \quad (4)$$

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 14 di 53 Note:

dove p sono le forze di massa per unità di volume, q le forze di superficie, δ è il vettore colonna degli spostamenti globali, σ la matrice delle tensioni e ε il vettore delle deformazioni. In particolare, risulta $\sigma^T = \{\sigma_{11}, \sigma_{22}, \sigma_{12}\}$ e $\varepsilon^T = \{\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, \varepsilon_{12}\}$.

Con riferimento ad un problema bidimensionale, discretizzando il dominio in elementi finiti, per il generico elemento sussiste la seguente relazione tra lo spostamento δ in un punto interno all'elemento e gli spostamenti δ e dei nodi:

$$\delta = N\delta^e = \sum_{i=1}^n N_i \delta_i \quad (5)$$

dove n è il numero di nodi dell'elemento e N_i le cosiddette funzioni di forma. Le deformazioni all'interno di ciascun elemento si ottengono per derivazione degli spostamenti nodali:

$$\varepsilon = B\delta^e = \sum_{i=1}^n B_i \delta_i \quad (6)$$

dove B è la matrice delle deformazioni:

$$B = \begin{bmatrix} \frac{\partial N}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial N}{\partial y} \\ \frac{\partial N}{\partial y} & \frac{\partial N}{\partial x} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Lo stato tensionale si ricava tramite la relazione tensioni-deformazioni:

$$\sigma = D\varepsilon \quad (8)$$

dove D è la matrice di rigidità che, per il caso di deformazione piana per un mezzo isotropo lineare elastico (ILE), è pari a:

$$D = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\nu}{(1-\nu)} & 0 \\ \frac{\nu}{(1-\nu)} & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-2\nu}{2(1-\nu)} \end{bmatrix} \quad (9)$$

con E , ν le costanti elastiche del materiale.

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 15 di 53 Note:

5.2 Parametri geomeccanici di progetto

Per l'ammasso roccioso in esame, caratterizzato da limitate pressioni di confinamento, verrà adoperato il criterio di rottura di Hoek Brown, definito da:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c \left(m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s \right)^a \quad (10)$$

dove σ_1 e σ_3 sono rispettivamente la tensione principale massima e minima a rottura, m_b , s e a sono parametri determinate in funzione alle caratteristiche dell'ammasso roccioso (per GSI maggiore di 25), sono date da:

$$m_b = m_i \exp \left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D} \right) \quad (11)$$

$$s = \exp \left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D} \right) \quad (12)$$

$$a = 0,5 \quad (13)$$

Ipotizzando un comportamento fragile per il materiale in questione, cautelativamente si considera esclusivamente il contributo coesivo ($s = 0.04$), trascurando il contributo attritivo ($m_b = 0$).

Si riportano di seguito le caratteristiche meccaniche attribuite alla roccia intatta.

Tabella 6. Valori utilizzati per l'ammasso roccioso

Modulo Elastico E [GPa]	Coefficiente di Poisson ν [-]	Coefficiente di spinta K [-]	Resistenza a compressione uniaassiale σ_c [MPa]	Parametro m_b [-]	Parametro s [-]
55.0	0.25	0.33	100	0	0.04

Per le discontinuità in esame, verrà adoperato il criterio di rottura di Barton-Bandis, definito da:

$$\tau = \sigma \tan \left[JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma} \right) + \varphi_b \right] \quad (14)$$

dove τ è la resistenza di taglio (valore di picco), σ lo sforzo normale, JRC il coefficiente di scabrezza, JCS la resistenza a compressione sulla parete del giunto e φ_b l'angolo di attrito di base. Per discontinuità naturali con superfici alterate si sostituisce φ_b con φ_r .

I parametri del piano di scivolamento utilizzati per la modellazione numerica sono i seguenti:

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 16 di 53 Note:

Tabella 7. Valori utilizzati per le discontinuità

Rigidezza normale <i>kn [MPa/m]</i>	Rigidezza tangenziale <i>Kt [MPa/m]</i>	Resistenza a compressione sulla parete del giunto <i>JCS [MPa]</i>	Coefficiente di scabrezza <i>JRC [-]</i>	Angolo di attrito residuo <i>φ_r[°]</i>
40000	16000	75	3	20

Per quel che riguarda le condizioni al contorno sono state utilizzate dimensioni del modello piuttosto notevoli 70m lateralmente rispetto i vuoti e al di sotto del piano di cava, così da poter assumere, con una certa confidenza, trascurabili eventuali effetti e distorsioni dovuti alla vicinanza tra scavo e bordo del modello.

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 17 di 53 Note:

5.3 Sezione strutturale analizzata

Le sezioni strutturali analizzate sono state quattro, sulla quale si sono riportate le strutture li maggior rilevanza, rilevate in cava. Nelle immagini seguenti vengono riportate, discretizzate e con applicati i vincoli laterali, utilizzati per l'analisi numerica. I vincoli laterali del modello son stati schematizzati mediante l'utilizzo di "carrelli", per impedire gli spostamenti orizzontali sull'asse Y e concedere gli abbassamenti, mentre alla base il modello è stato vincolato mediante "cerniere", per impedire gli spostamenti orizzontali sull'asse X e Y.

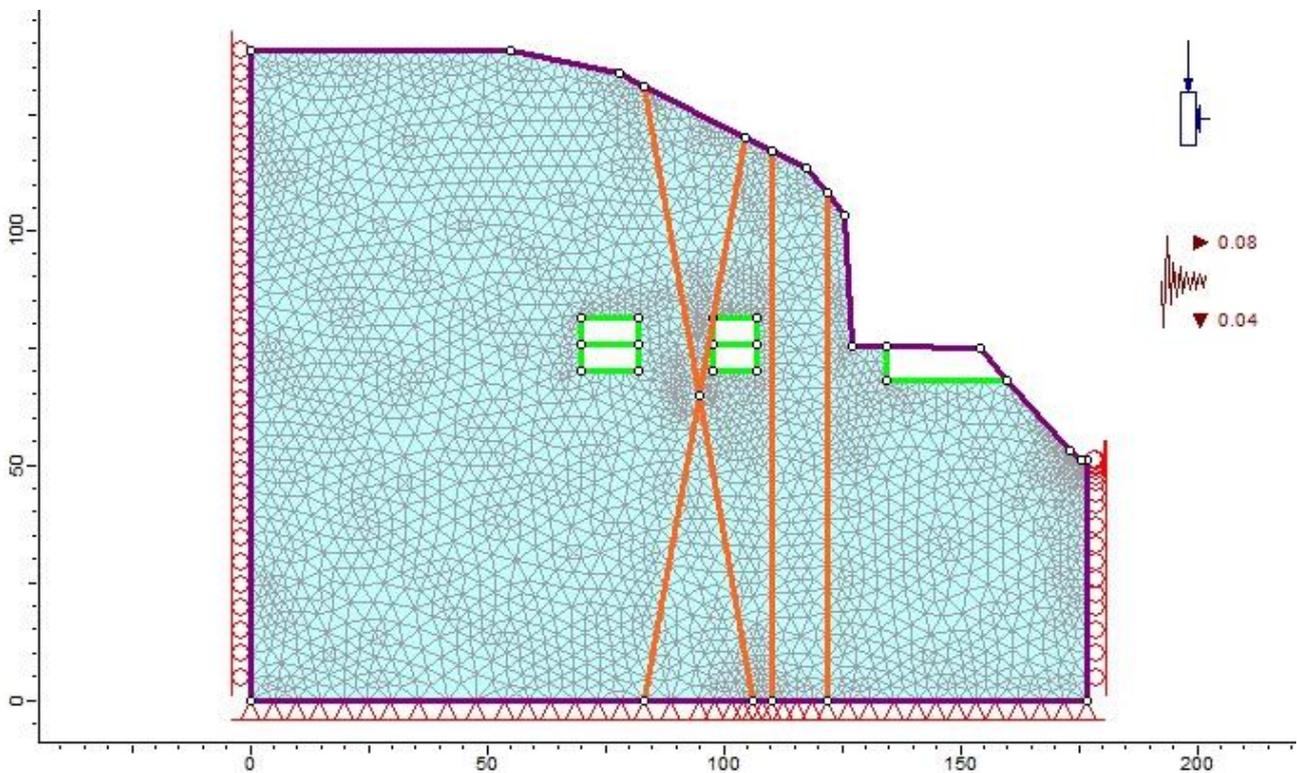


Figura 6 – sezione strutturale trasversale della coltivazione sotterranea S1

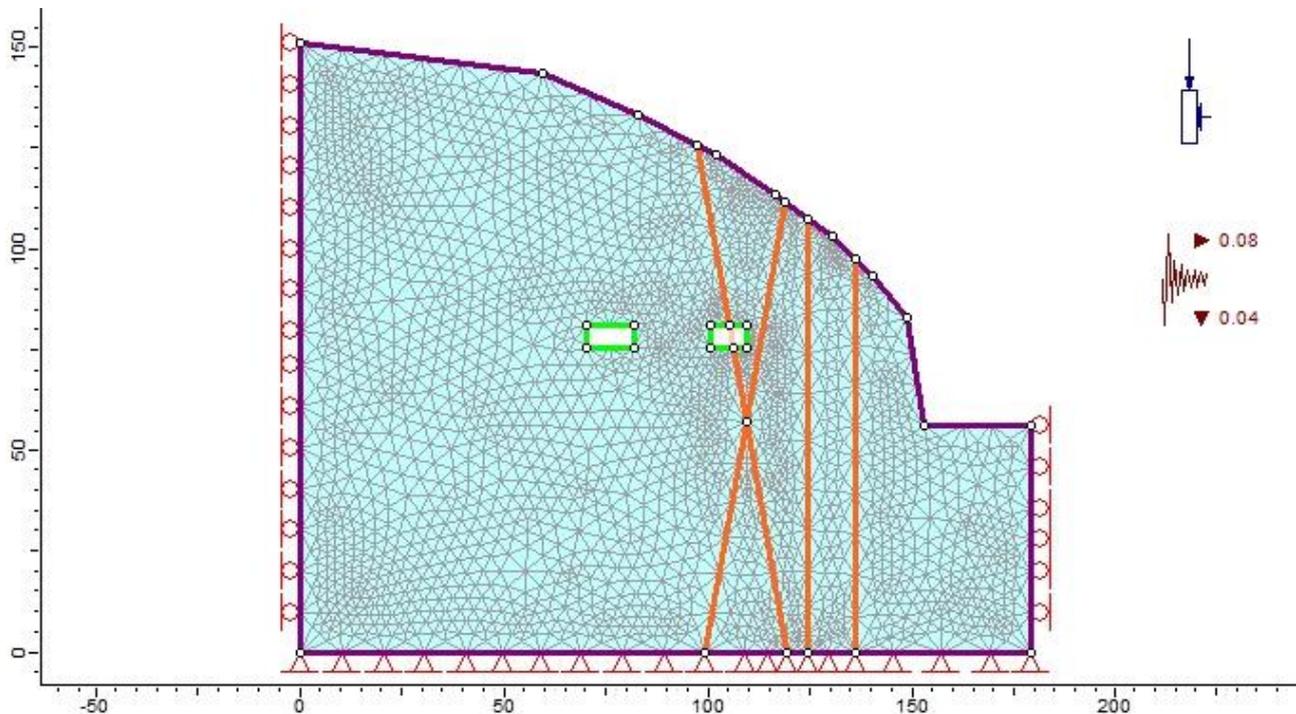


Figura 7 – sezione strutturale trasversale della coltivazione sotterranea S2

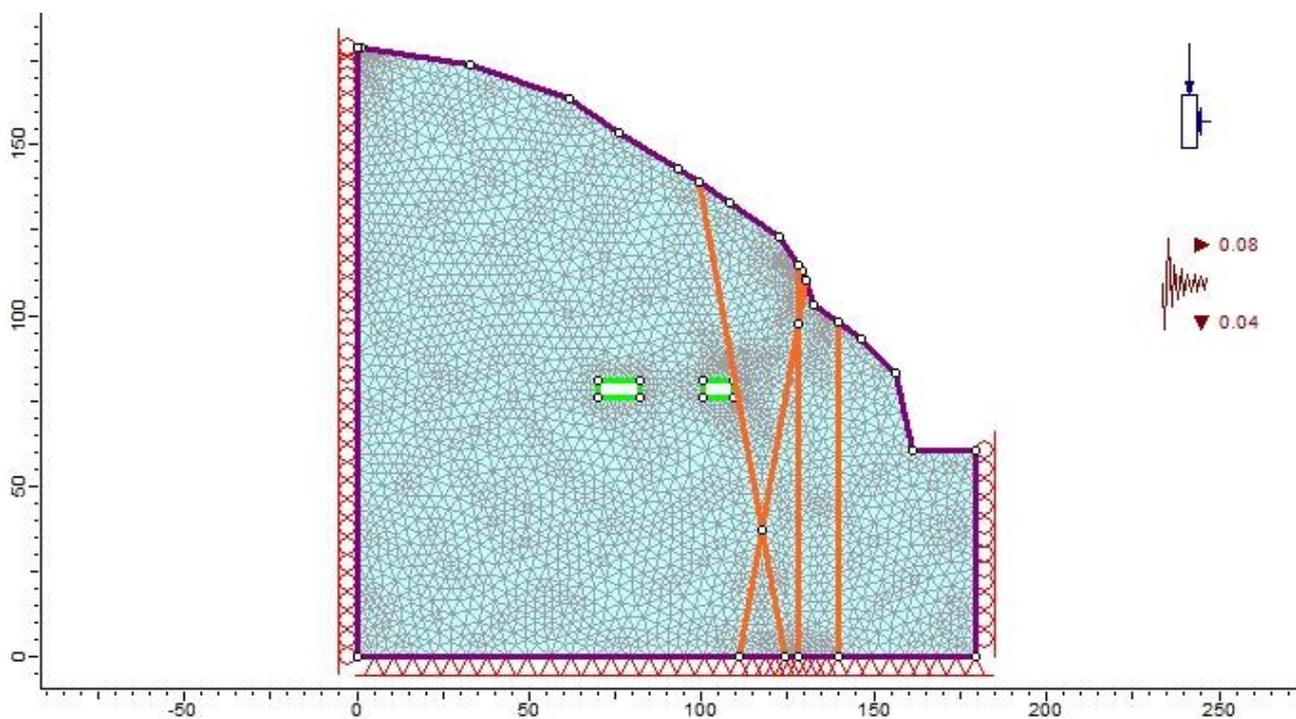


Figura 8 – sezione strutturale trasversale della coltivazione sotterranea S3

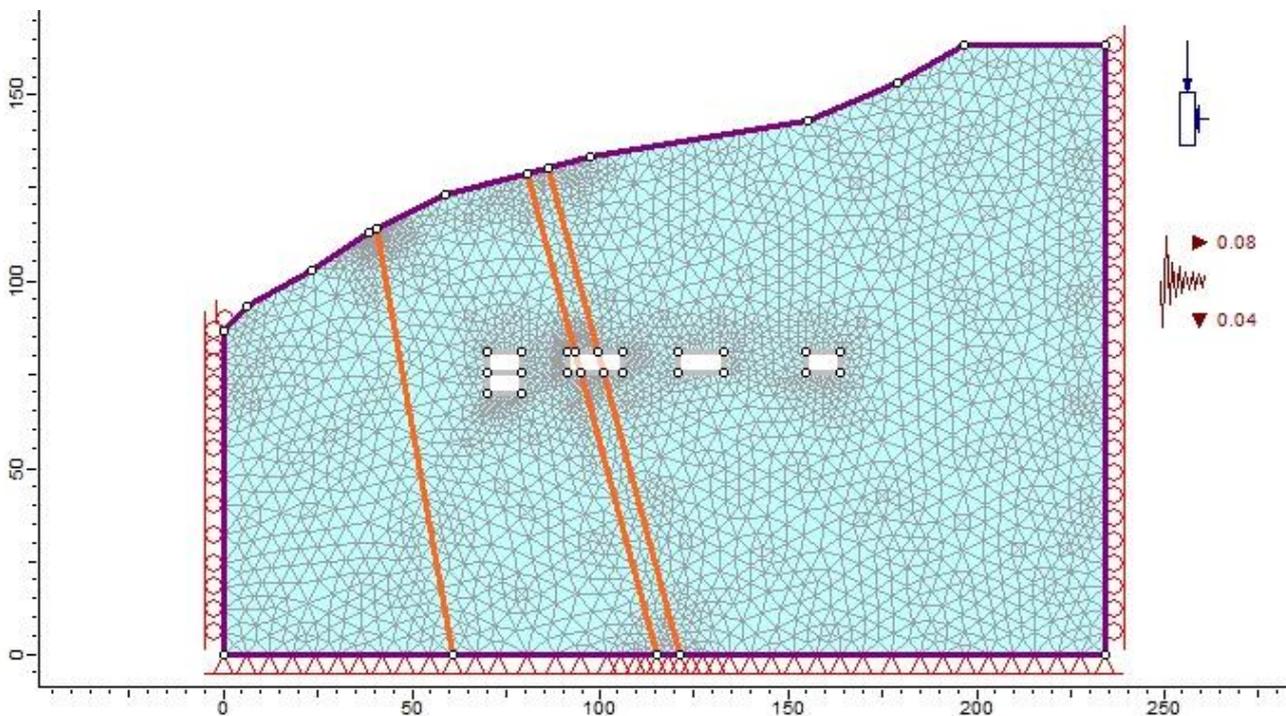


Figura 9 – sezione strutturale trasversale della coltivazione sotterranea S4

5.4 Risultati della modellazione numerica

In questo paragrafo si riportano immagini relative ai risultati dell'elaborazione tramite modello 2D del sotterraneo oggetto di variante. Si illustra l'andamento del campo di sforzi al contorno dello scavo, al termine della variante in progetto. In particolare sono rappresentate la componente principale massima e minima (rispettivamente σ_1 e σ_3) del tensore degli sforzi, la componente deviatorica (particolarmente significativa ai fini della valutazione statica) ed infine le direzioni del tensore di sforzo sul piano, in questo modo si può fornire un'indicazione dell'andamento medio delle sollecitazioni al contorno dello scavo.

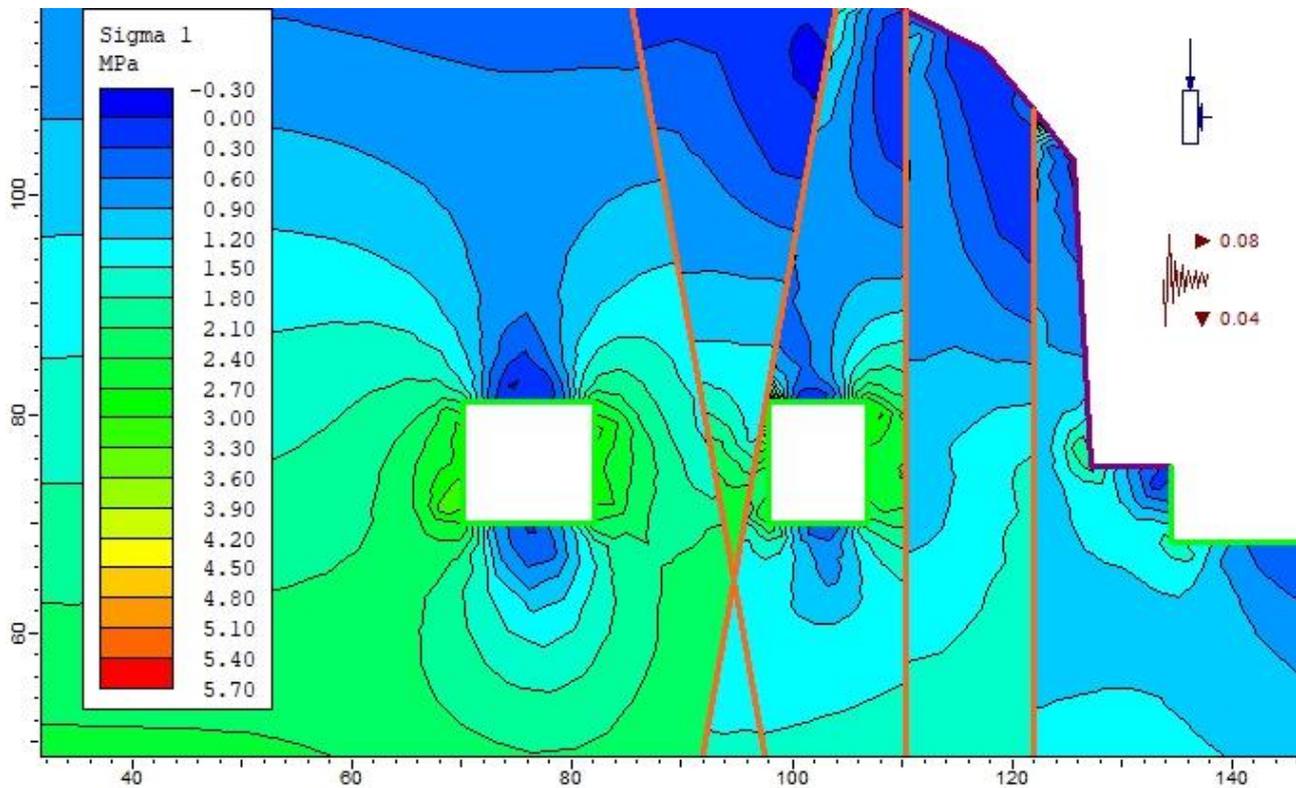


Figura 10 – componente principale massima del tensore degli sforzi, fase finale – S1

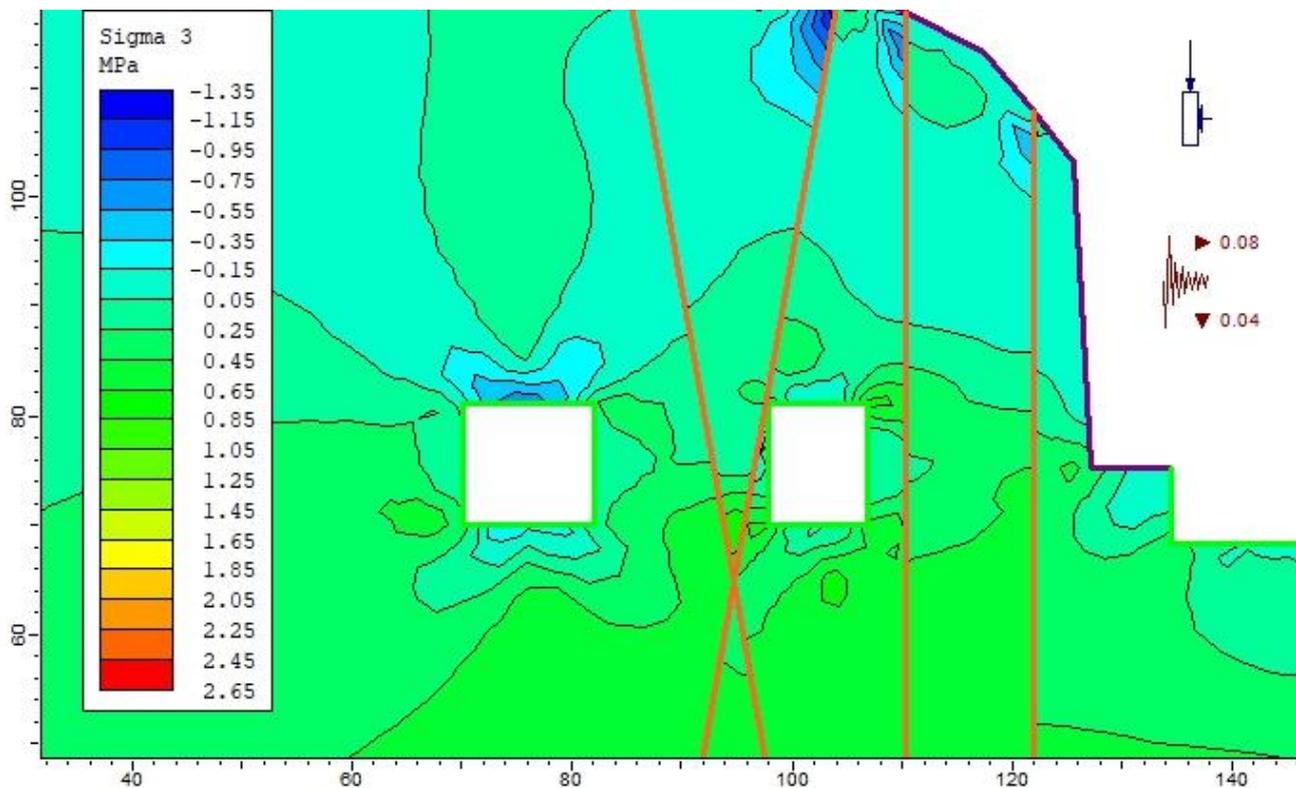


Figura 11 – componente principale minima del tensore degli sforzi, fase finale – S1

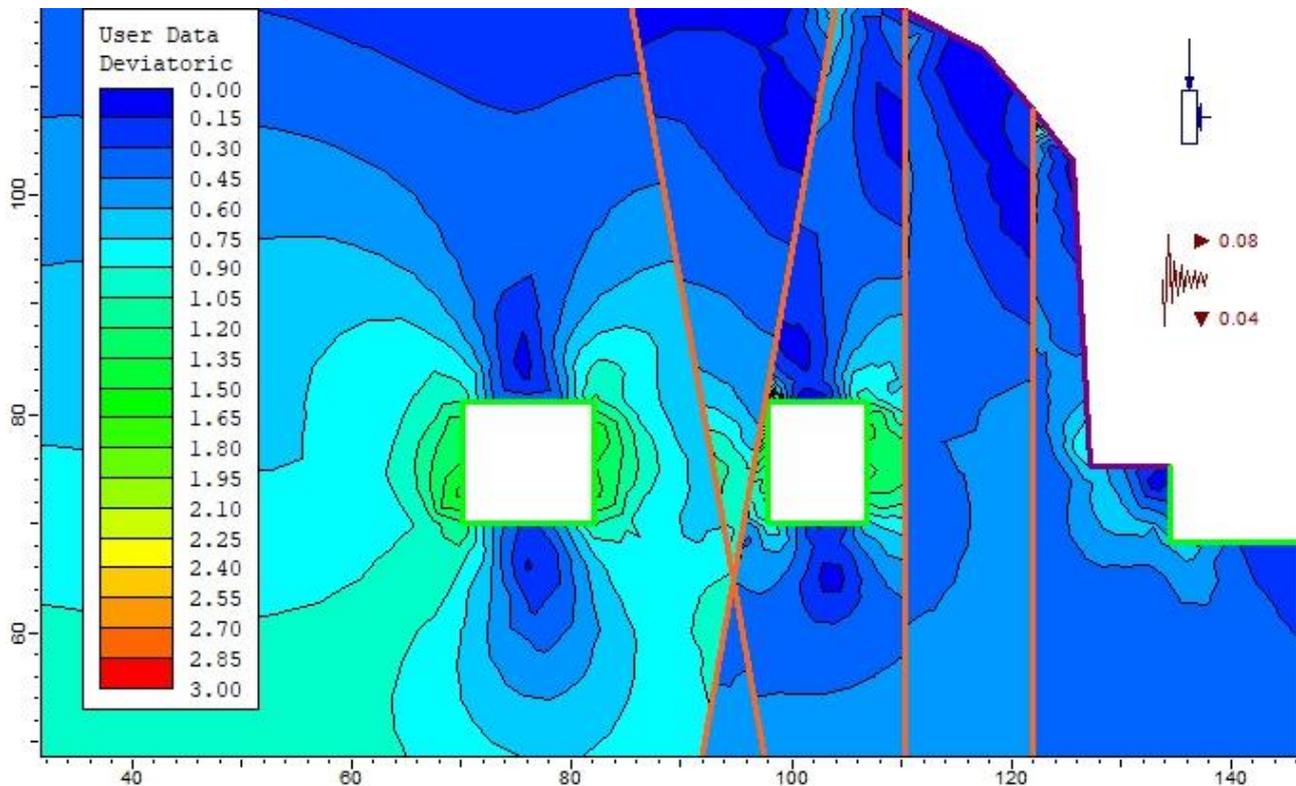


Figura 12 – componente deviatorica del tensore degli sforzi, fase finale – S1

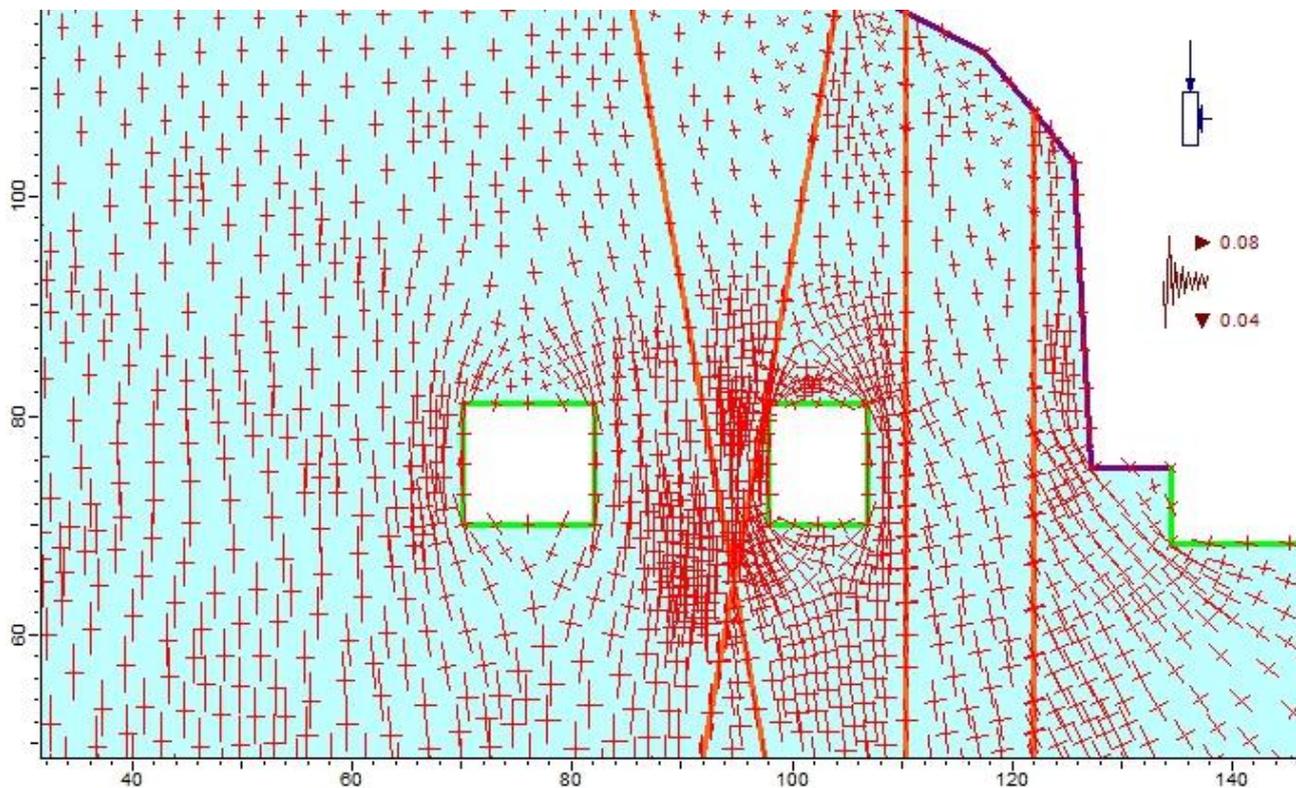


Figura 13 – direzioni del tensore di sforzo sul piano, fase finale – S1

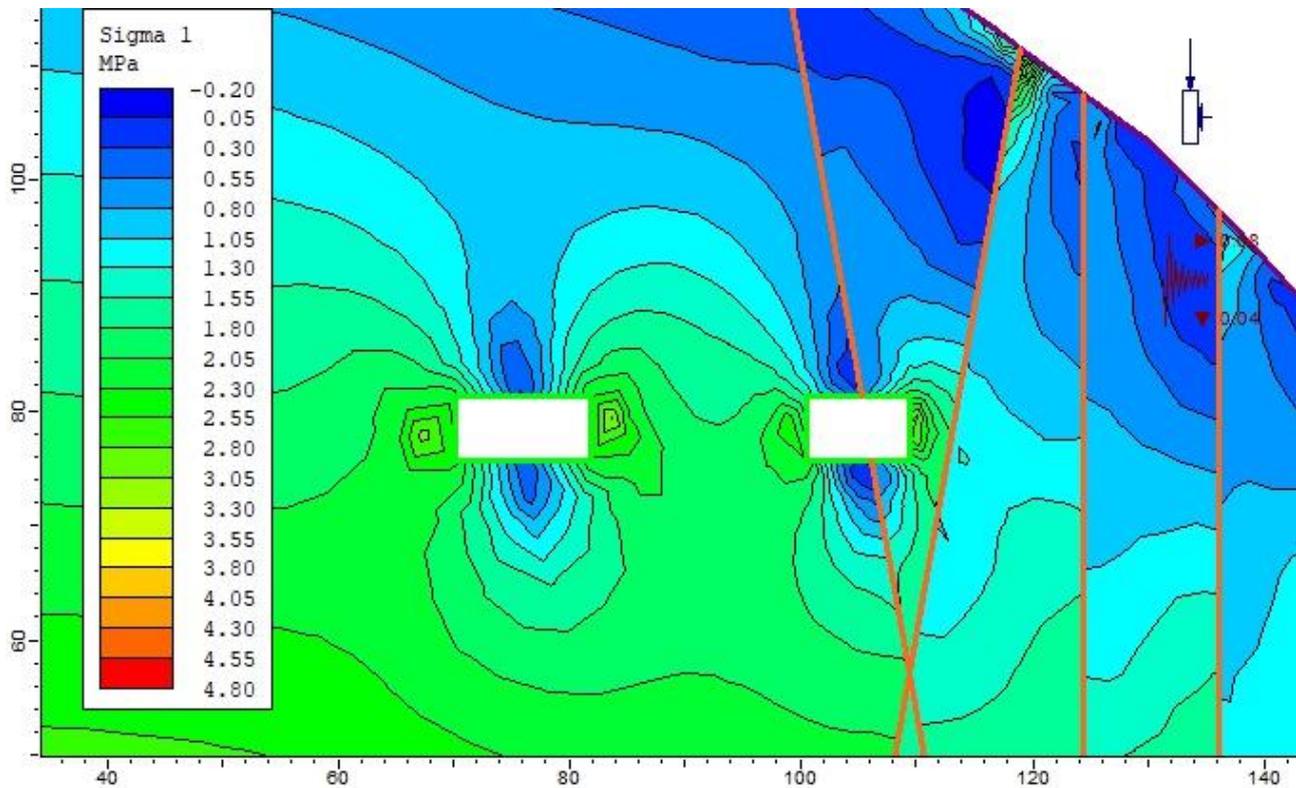


Figura 14 – componente principale massima del tensore degli sforzi, fase finale – S2

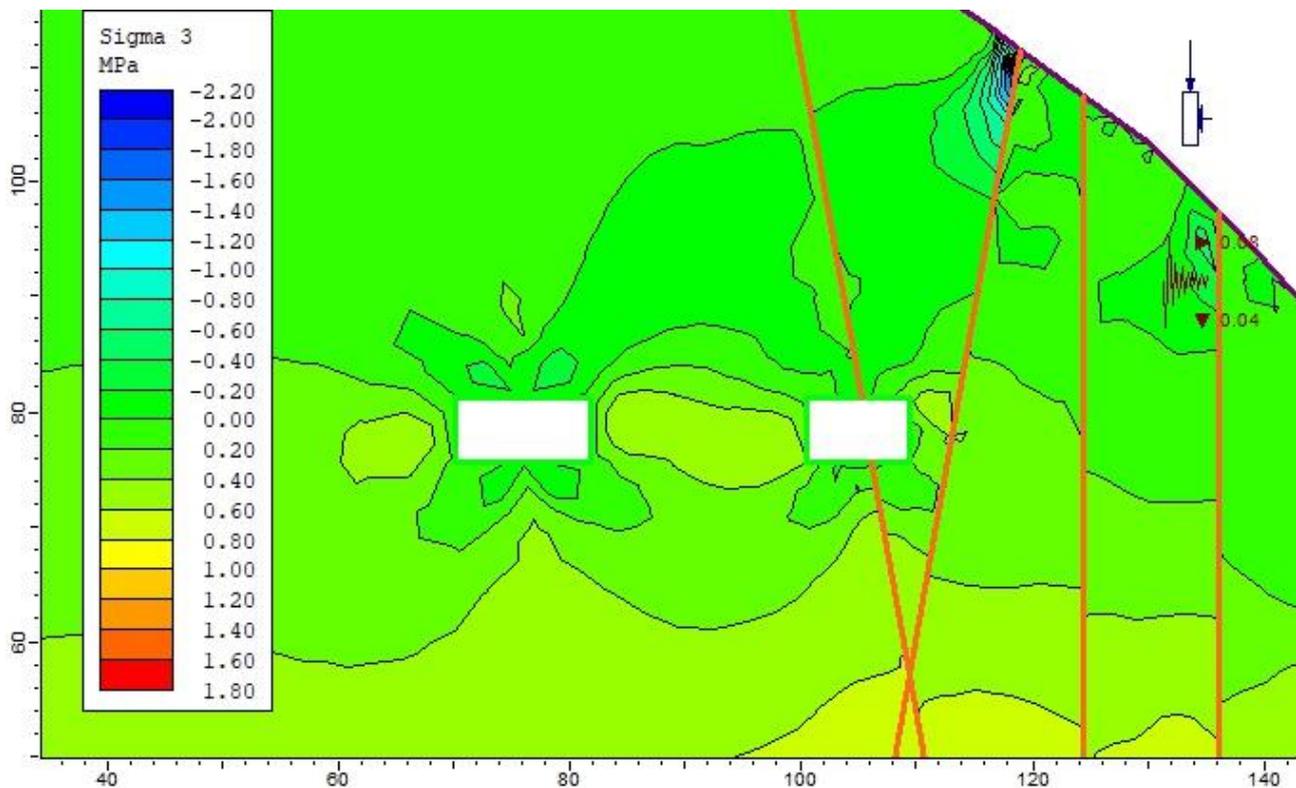


Figura 15 – componente principale minima del tensore degli sforzi, fase finale – S2

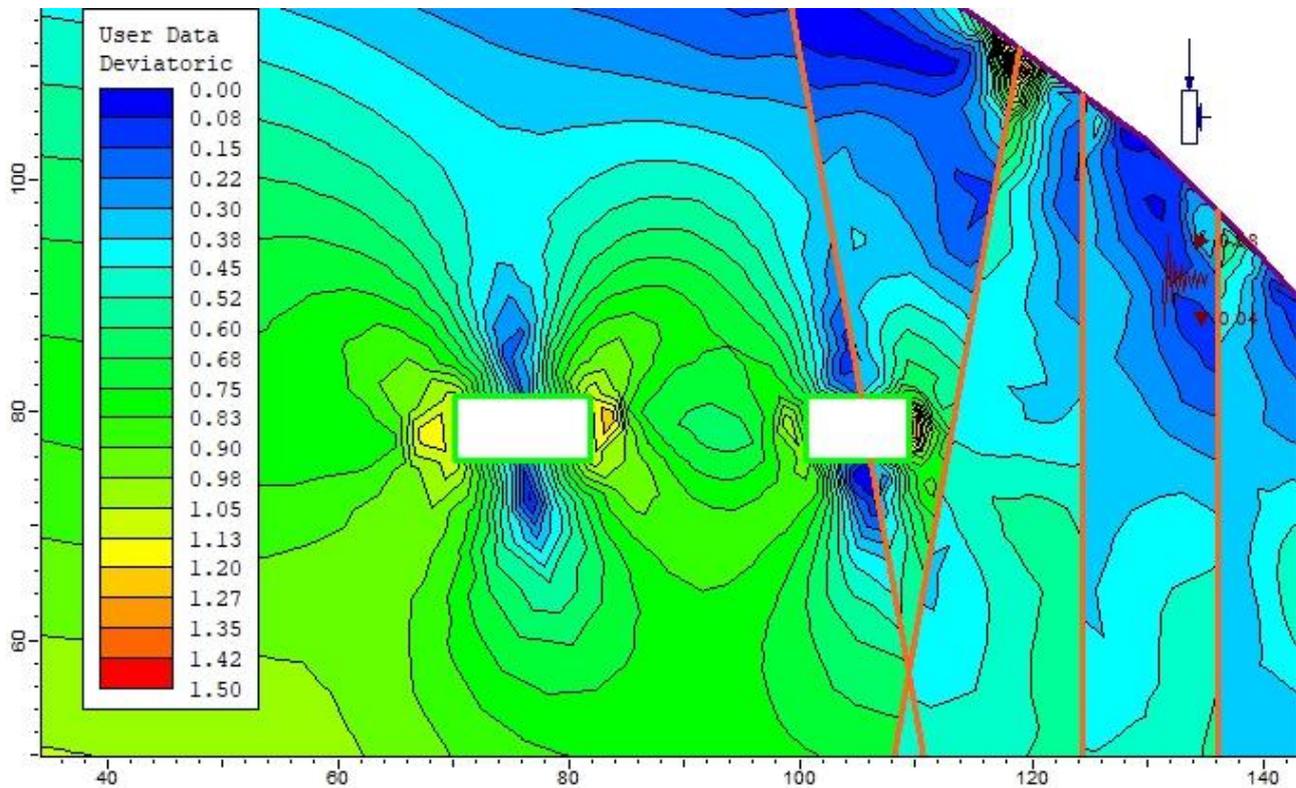


Figura 16 – componente deviatorica del tensore degli sforzi, fase finale – S2

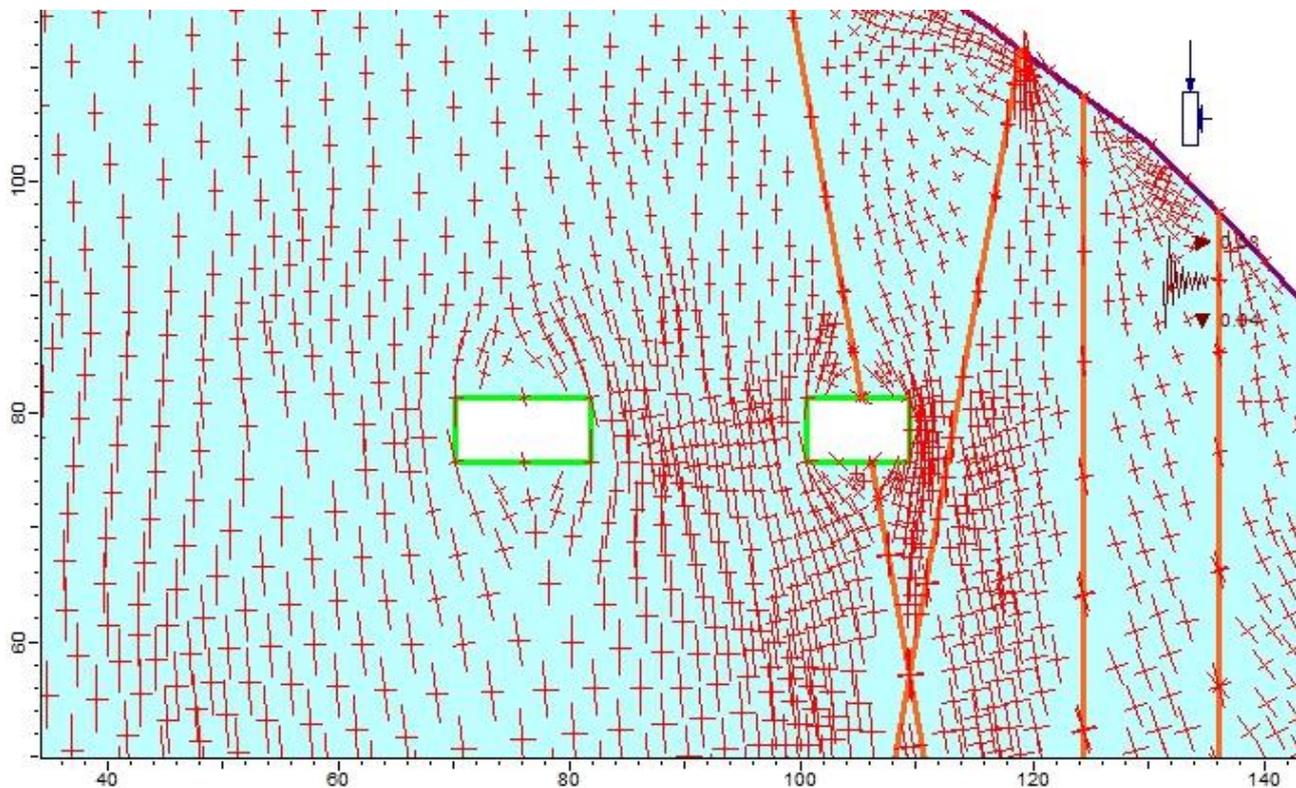


Figura 17 – direzioni del tensore di sforzo sul piano, fase finale – S2

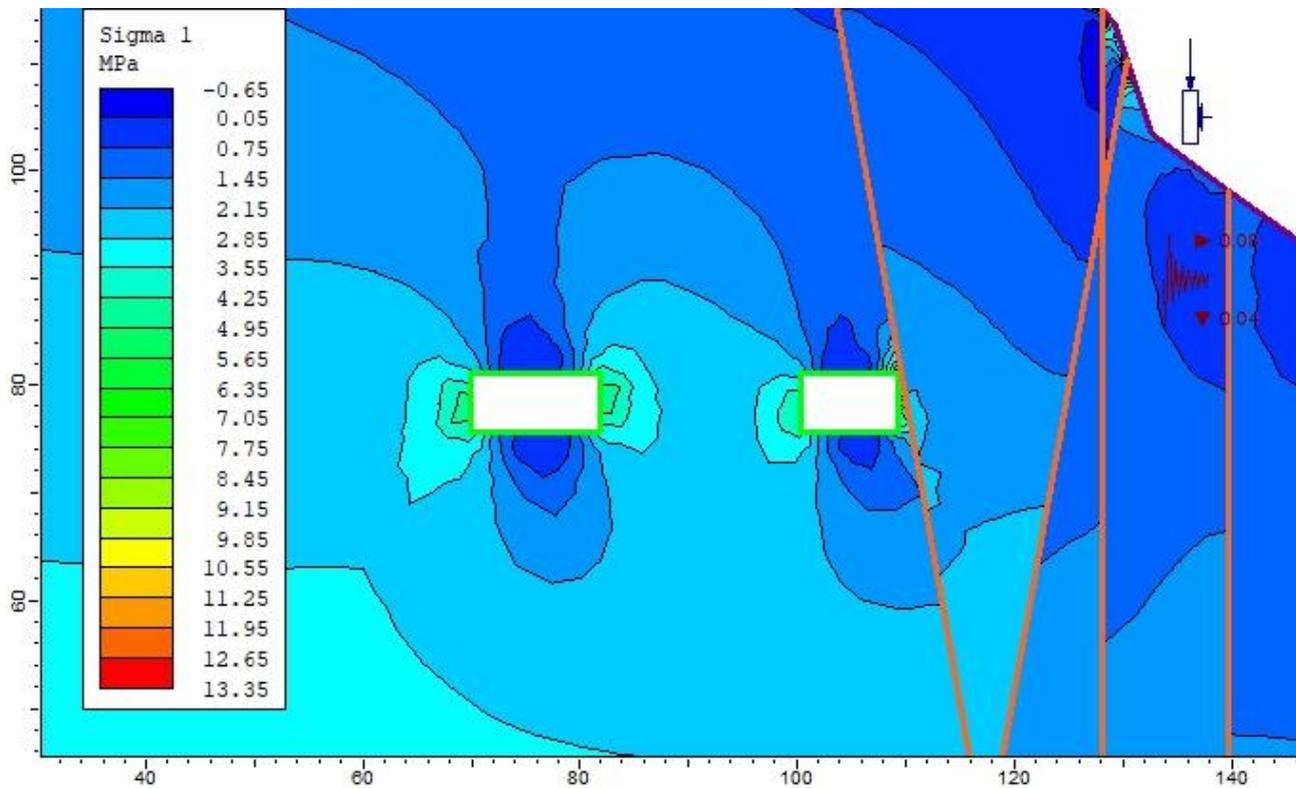


Figura 18 – componente principale massima del tensore degli sforzi, fase finale – S3

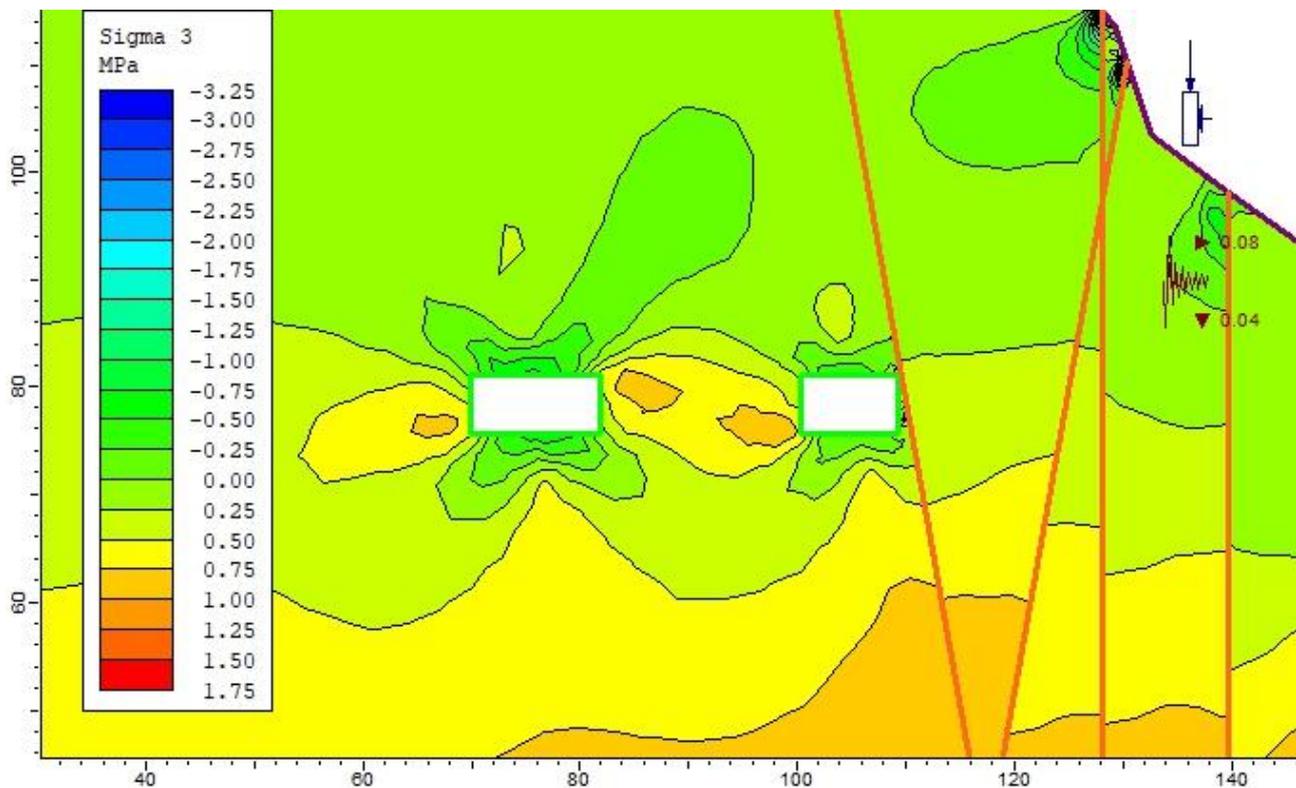


Figura 19 – componente principale minima del tensore degli sforzi, fase finale – S3

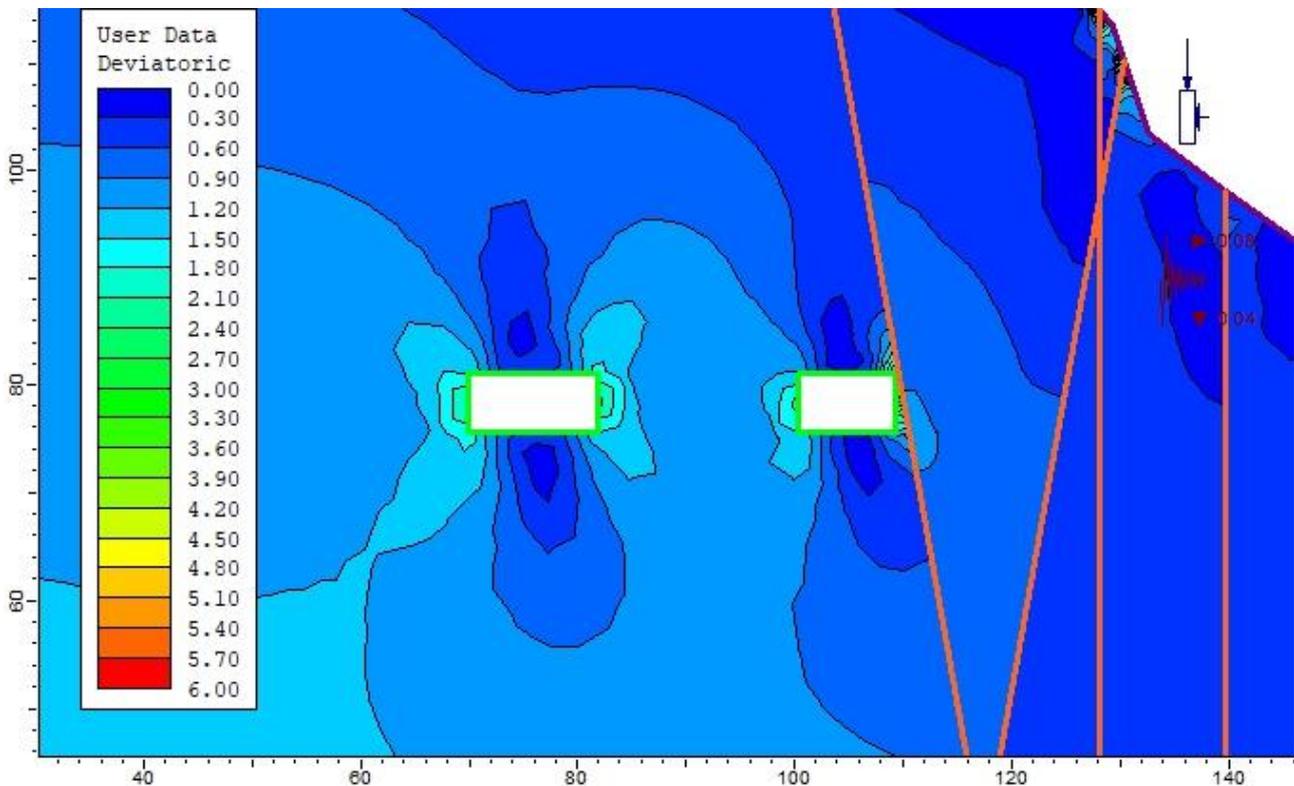


Figura 20 – componente deviatorica del tensore degli sforzi, fase finale – S3

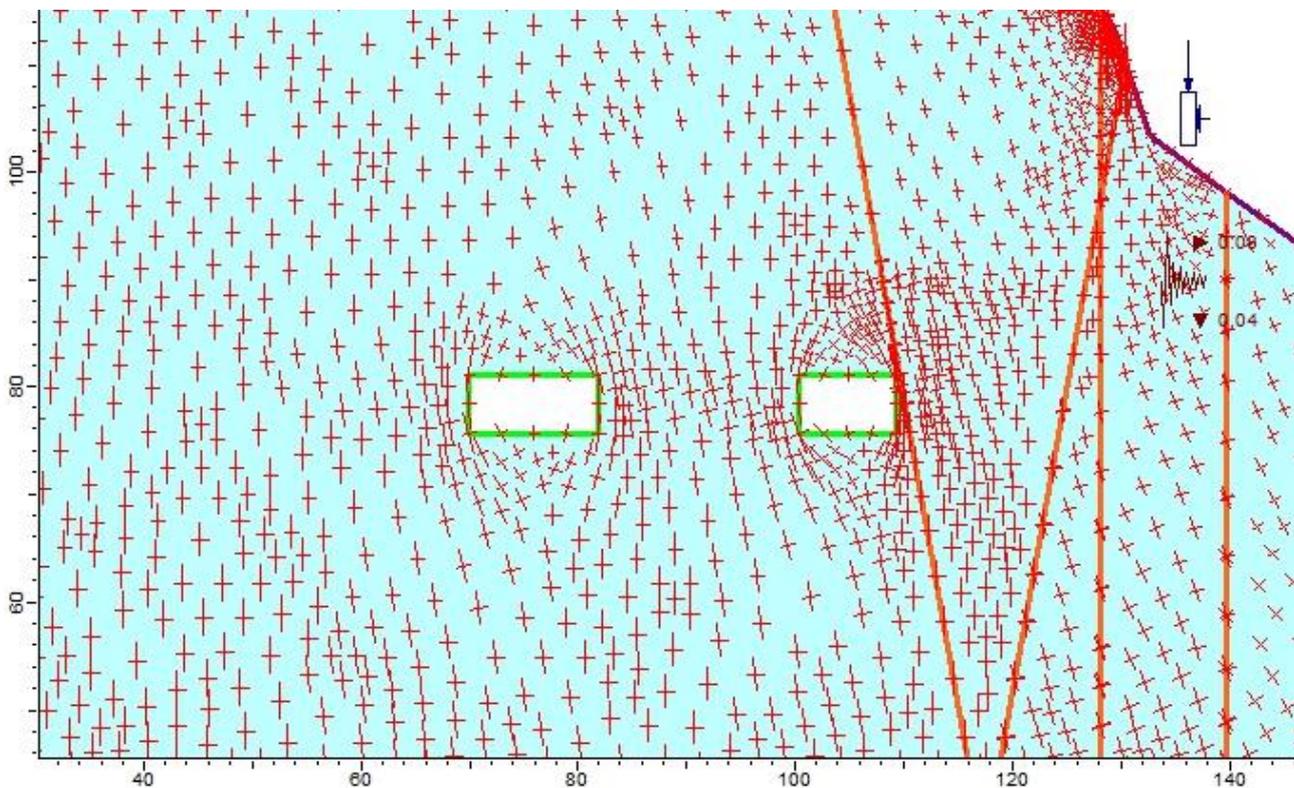


Figura 21 – direzioni del tensore di sforzo sul piano, fase finale – S3

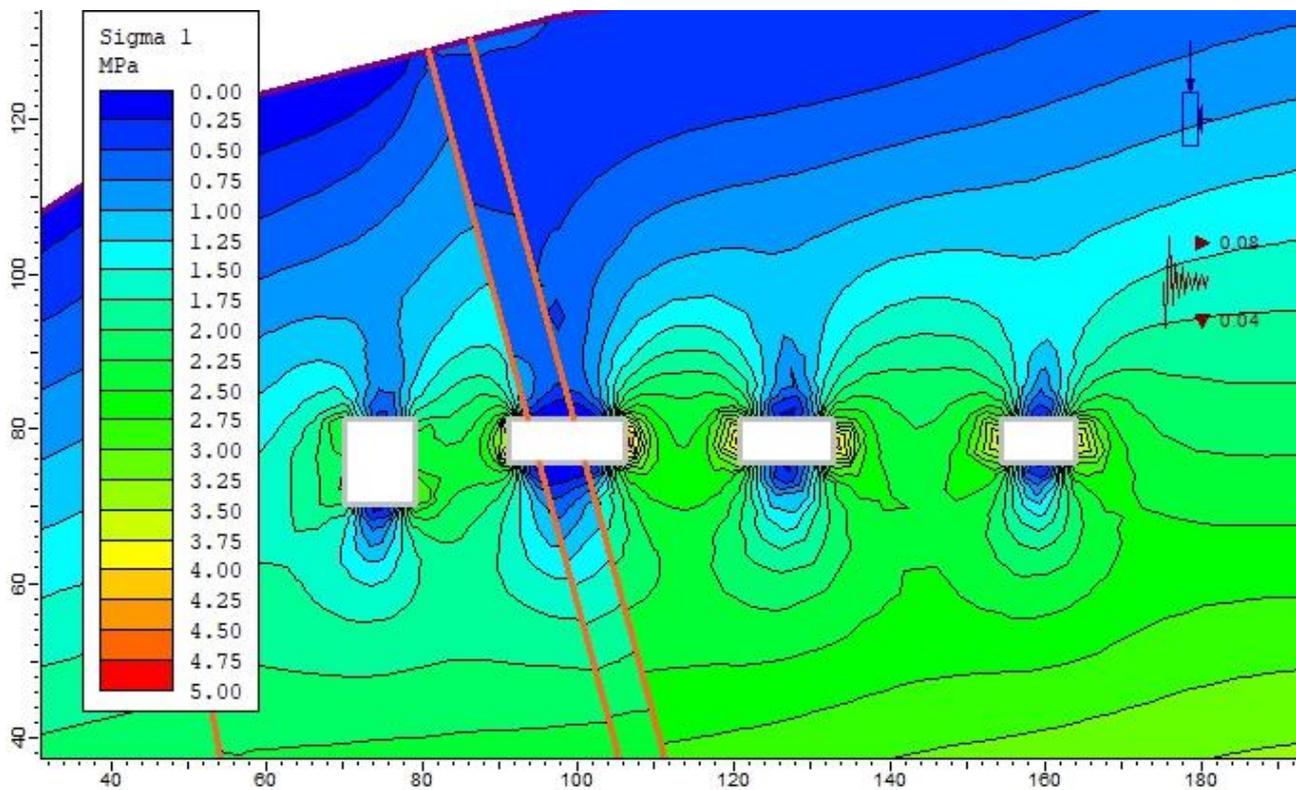


Figura 22 – componente principale massima del tensore degli sforzi, fase finale – S4

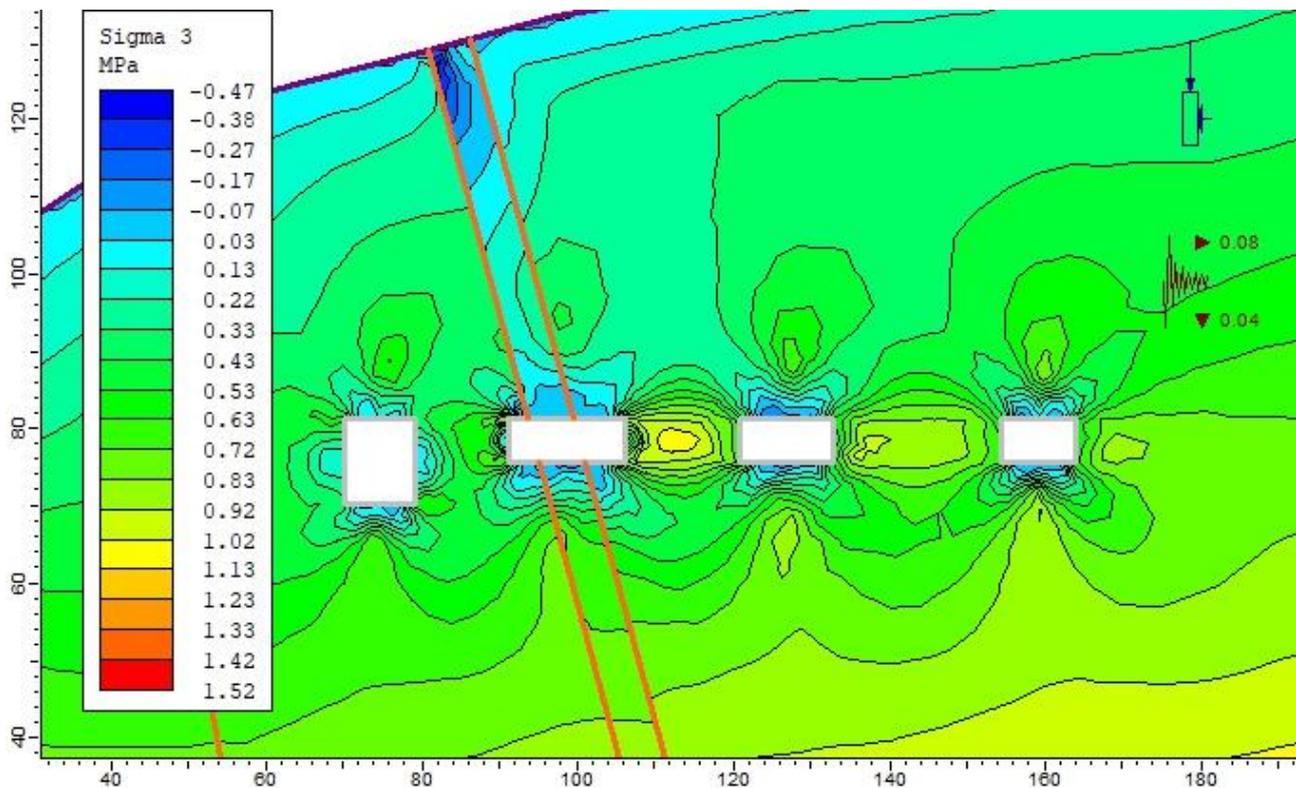


Figura 23 – componente principale minima del tensore degli sforzi, fase finale – S4

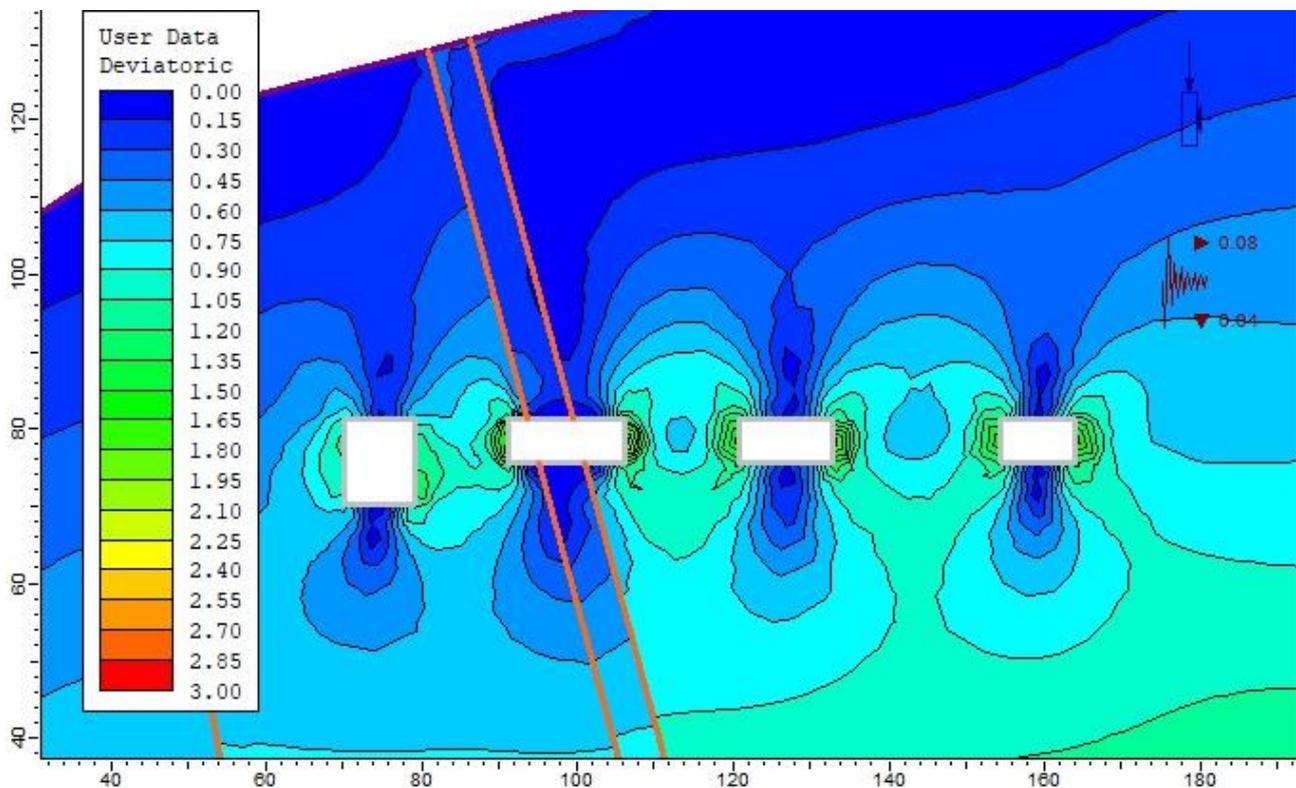


Figura 24 – componente deviatorica del tensore degli sforzi, fase finale – S4

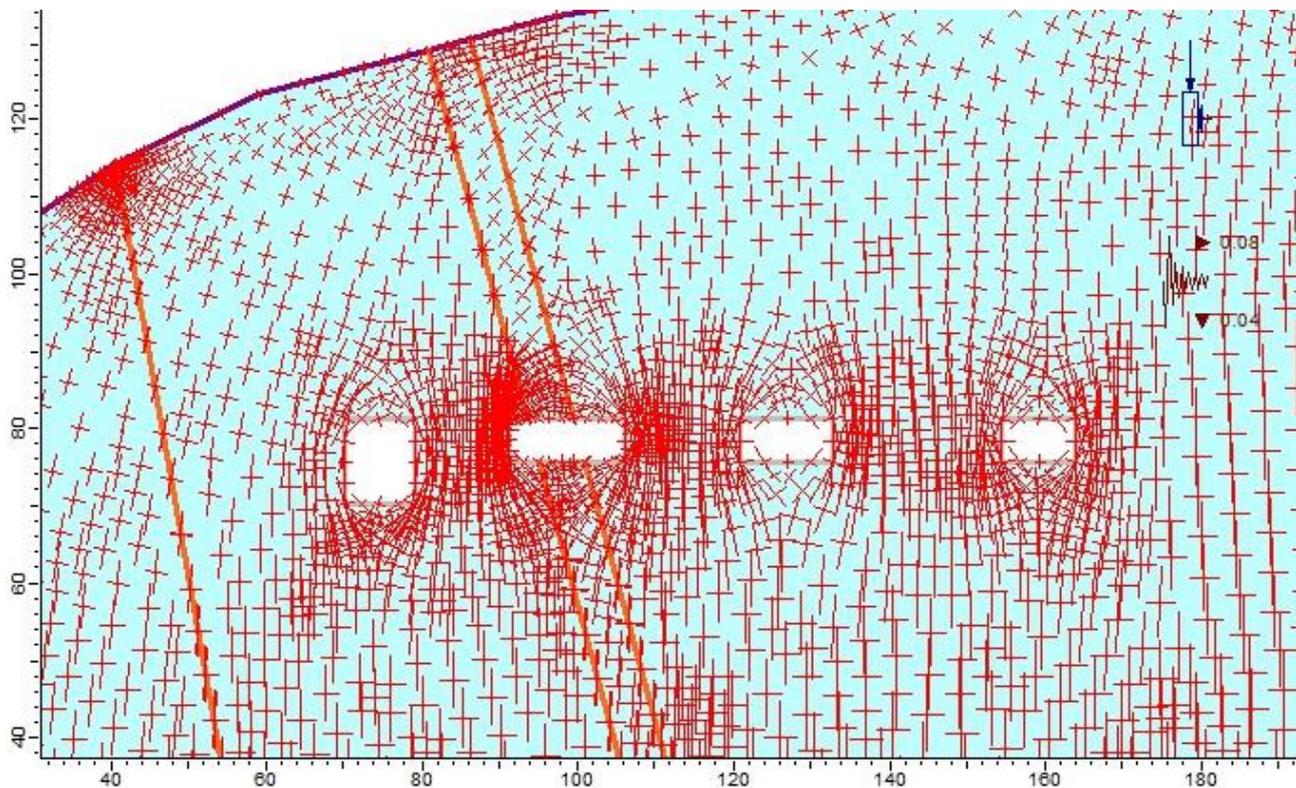


Figura 25 – direzioni del tensore di sforzo sul piano, fase finale – S4

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 28 di 53 Note:

Le tensioni principali σ_1 , a seguito agli scavi in progetto, assumono nell'immediato intorno del sotterraneo che valori massimi prossimi a 4-5 MPa, le tensioni principali σ_3 valori di compressione massimi prossimi a 1-2 MPa, e valori di trazione prossimi a 0-0.5 MPa. Lo sforzo deviatorico σ_d assume valori massimi prossimi a 2-3 MPa, ampiamente al di sotto della soglia limite $0.2\sigma_c$ (Pierotti, Lo Presti, Gullì, Pellegrini – 2014).

5.5 Interventi di consolidamento preventivo e monitoraggio

In accordo con il Direttore Responsabile si valuteranno, successivamente gli avanzamenti che andranno liberare posteriormente il pilastro centrale P1, eventuali interventi di consolidamento preventivo, come tiranti passanti, con lo scopo di fornire un confinamento laterale alle strutture che immergono a subverticalmente con direzione Ovest-Est, e che attraversano il pilastro.

Inoltre, verrà sviluppato un idoneo sistema di monitoraggio in grado di valutare l'evoluzione nel tempo degli stati tensionali e deformativi all'interno della galleria.

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 29 di 53 Note:

6. Conclusioni

Nel rapporto si descrive l'analisi di stabilità della porzione di cava oggetto della variante al piano di coltivazione redatta dal Dott. Geol. A. Cattani, della cava N° 13 "Pescina A" esercitata dalla Società Escavazione La Gioia S.R.L. con sede in Via Carriona 388, Carrara (MS).

Per eseguire la valutazione tecnica sono stati condotti sopralluoghi congiunti tra il Direttore Responsabile e il personale sorvegliante, ed eseguiti dei rilievi geostrukturali volti alla determinazione delle caratteristiche principali dell'ammasso roccioso.

I dati utilizzati per le valutazioni analitiche sono stati trattati secondo la vigente Normativa tecnica, contenuta del D.M. 17/01/2018, che impone l'uso del metodo semi-probabilistico denominato "dei coefficienti parziali" che prevede l'uso del criterio di verifica agli stati limite. I valori sperimentali così ottenuti sono stati confrontati, con quelli riportati in letteratura e nelle precedenti analisi di stabilità, in modo da rafforzare e rendere consistente e affidabile la base dei dati sperimentali.

Per quanto riguarda la valutazione delle eventuali criticità in termini di cinematismi rimuovibili dalla loro sede, è stata sviluppata un'analisi all'equilibrio limite, in grado di contemplare nel modo più ampio possibile le possibili intersezioni, geometricamente ammissibili, tra la fratturazione naturale dell'ammasso roccioso e le superfici libere generate dallo scavo.

Dove i cinematismi analizzati hanno mostrato un fattore di sicurezza insufficiente è stato proposto l'intervento necessario per ristabilire adeguate condizioni di sicurezza, si rimanda comunque al Direttore Responsabile la valutazione finale sui cinematismi esaminati e alle conseguenti valutazioni deterministiche degli interventi di sostegno definitivo.

Lo stato tensio-deformativo al contorno dello scavo non sembra manifestare, o potenzialmente indurre, criticità statiche al contorno dello stesso. Pertanto, da un punto di vista tenso-deformativo della galleria in progetto, oggetto di variante, risulta essere a grande scala stabile.

Si raccomanda di segnalare qualsiasi anomalia legata a fenomeni di forzatura o "scoppiatura", che potrebbero essere sintomatiche di un eccessivo campo di sforzo.

Ing. Marco Berlinghieri

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 30 di 53 Note:

REGIONE TOSCANA

COMUNE DI CARRARA (MS)

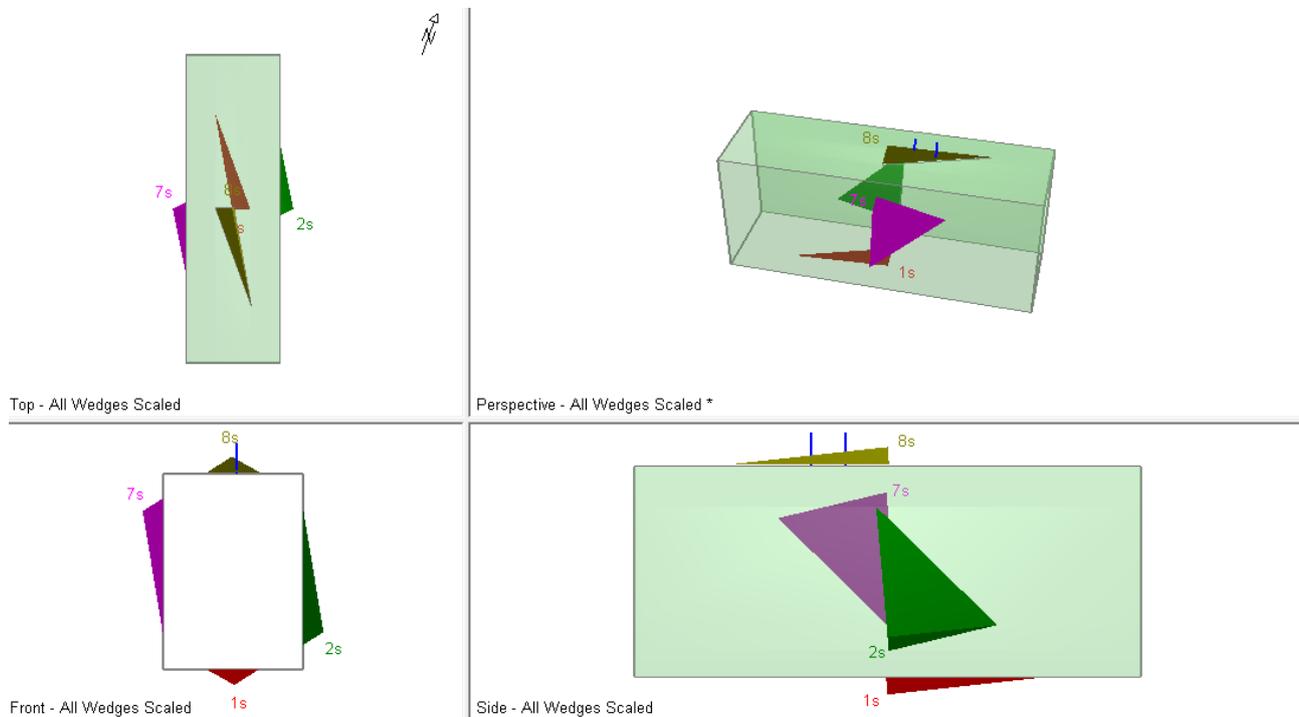
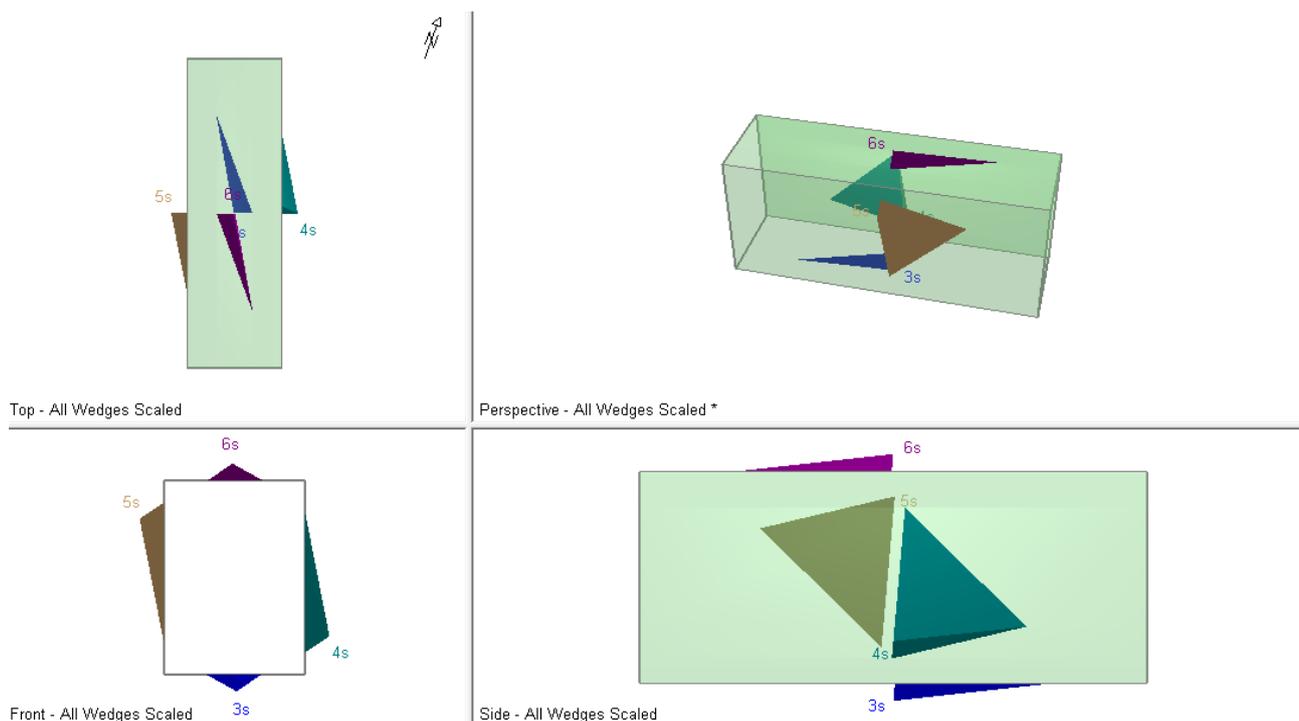
CAVA DI MARMO "PESCINA A" N°13
 Bacino marmifero di Pescina Boccanaglia

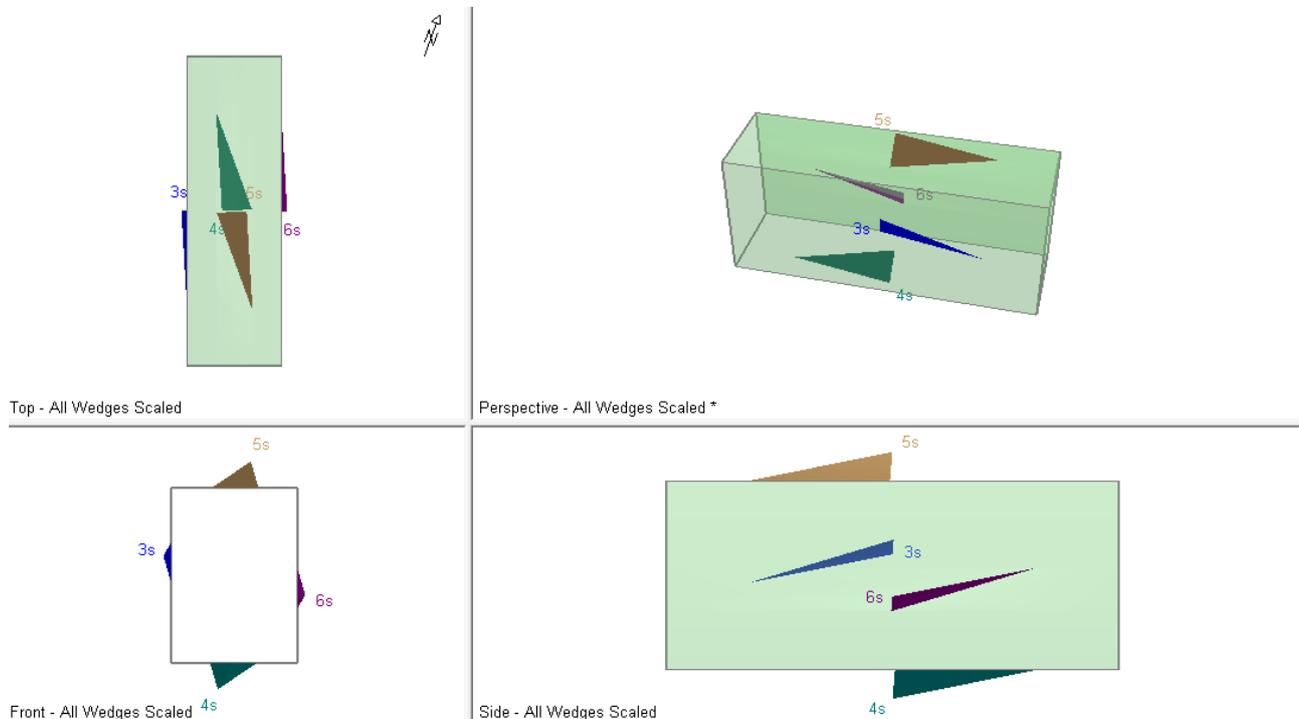
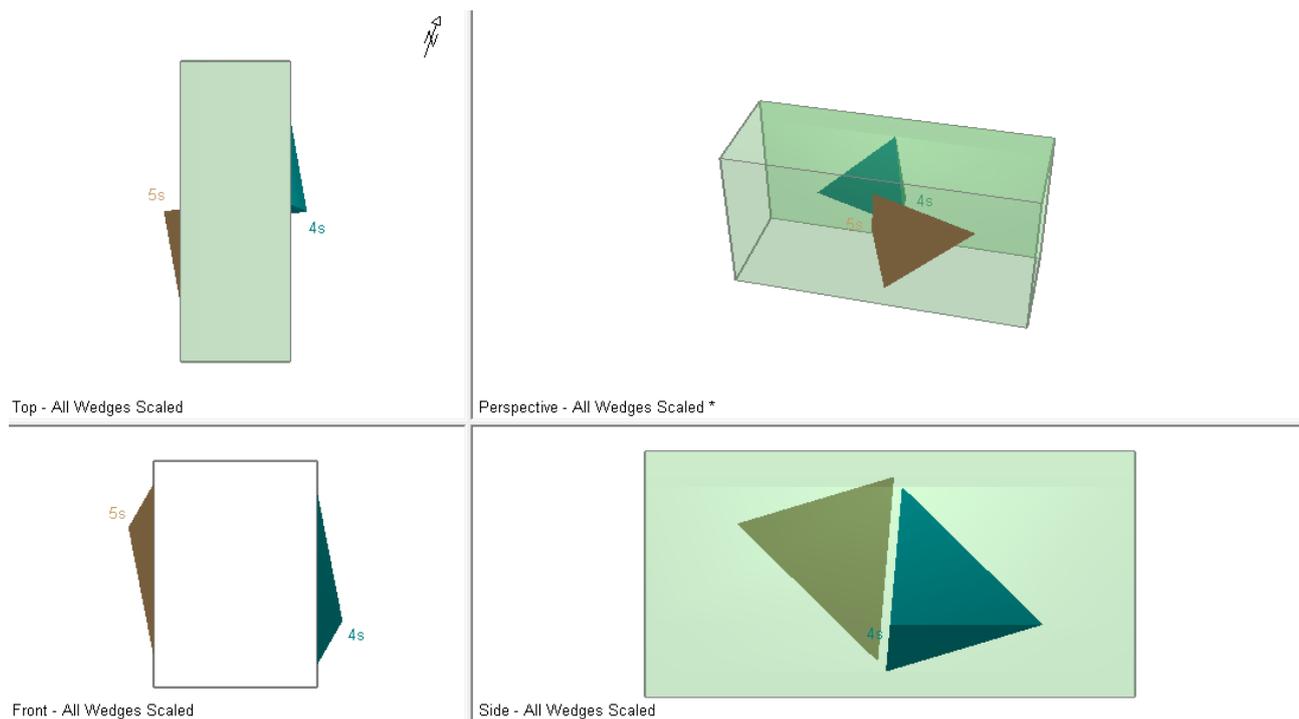
VALUTAZIONE PREVISIONALE DELLA STABILITA'
 (ZONA OGGETTO DI VARIANTE AL PIANO DI COLTIVAZIONE)

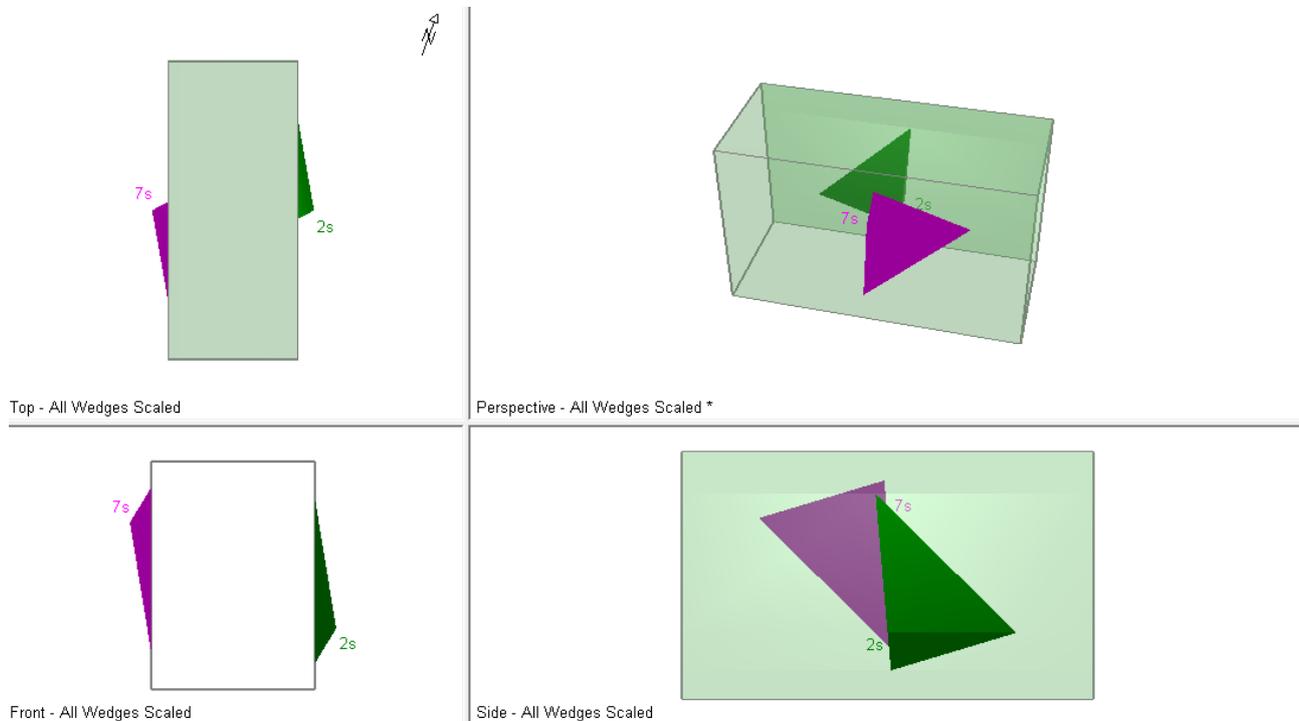
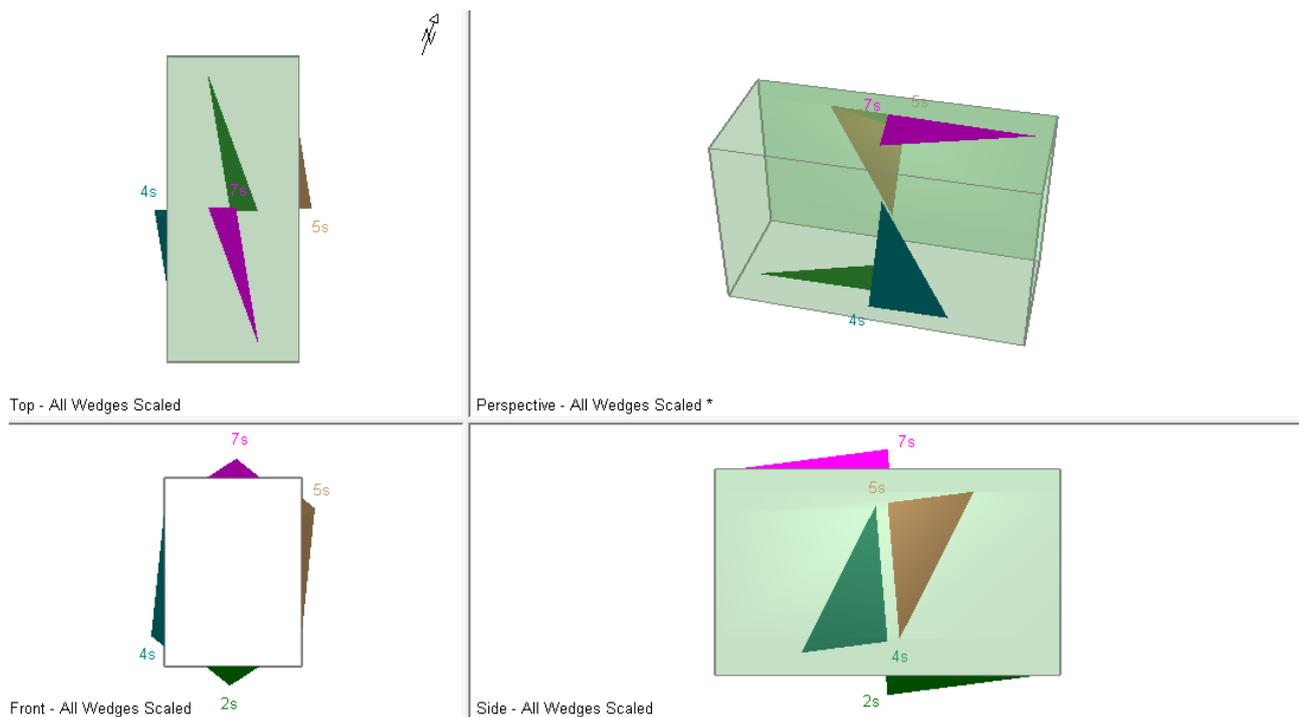
ANNO 2020

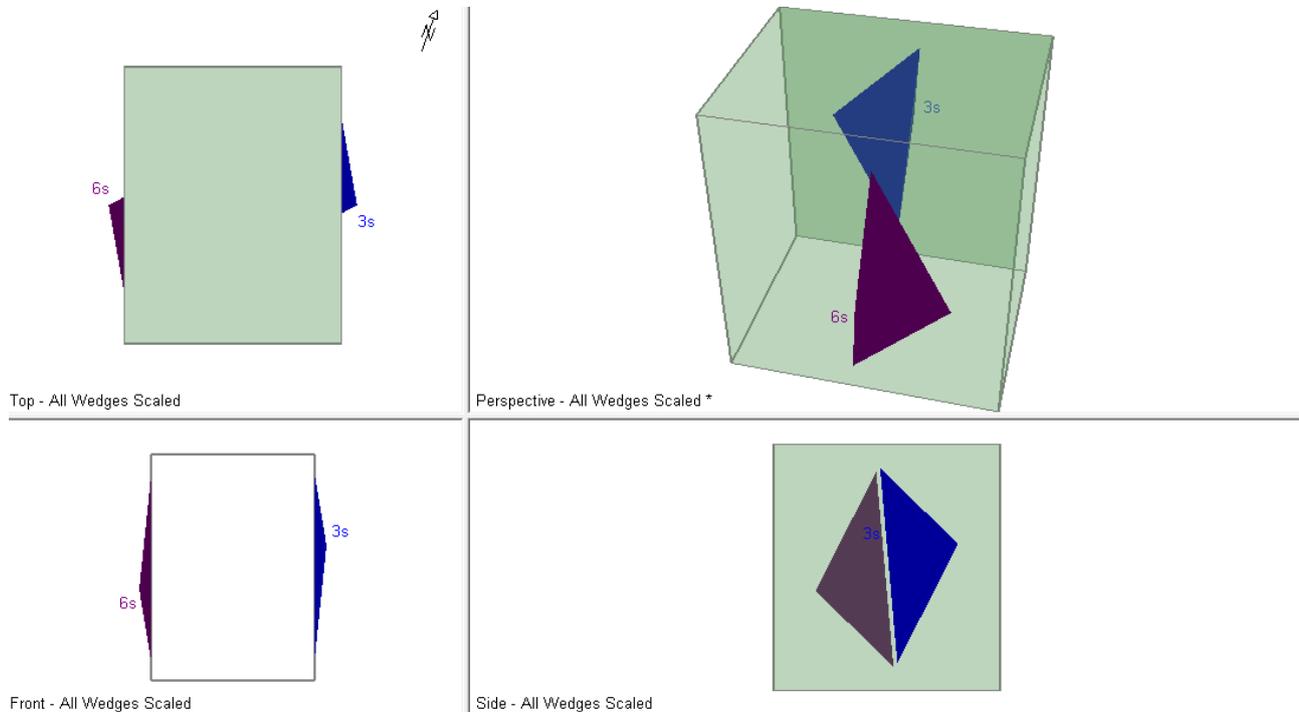
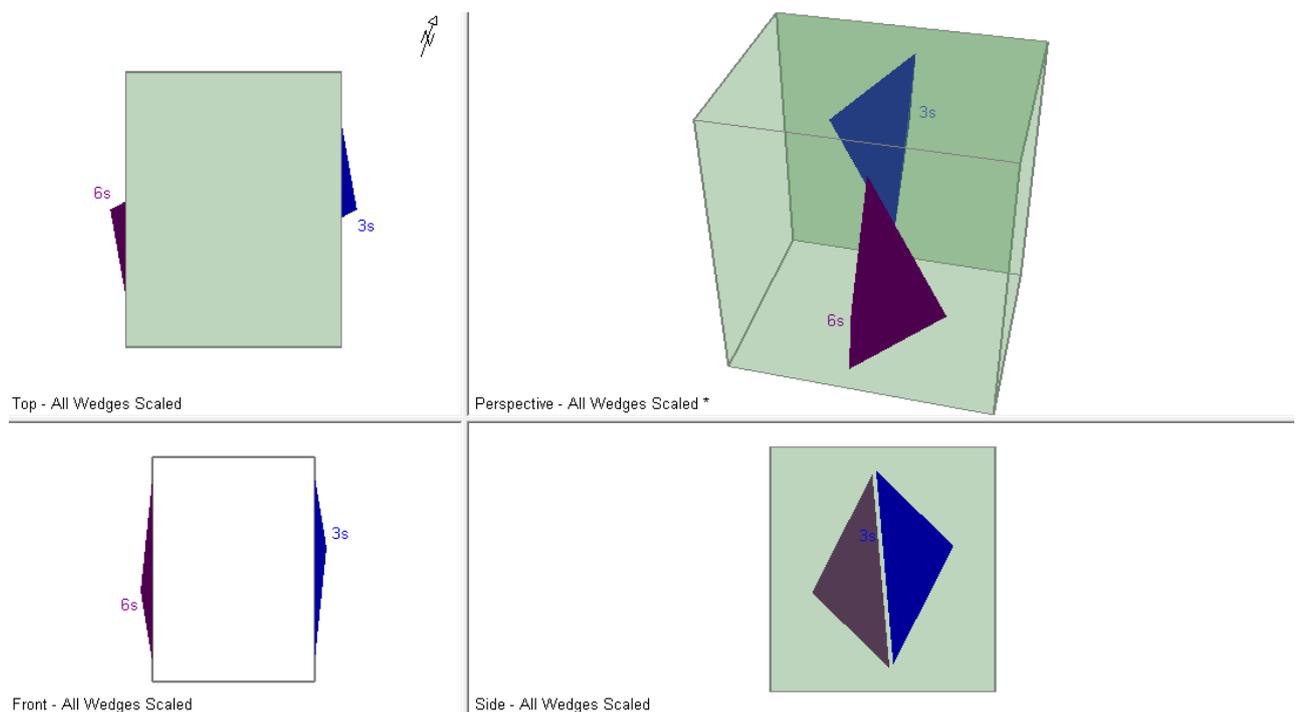
Allegato A – Risultati dell'analisi cinematica

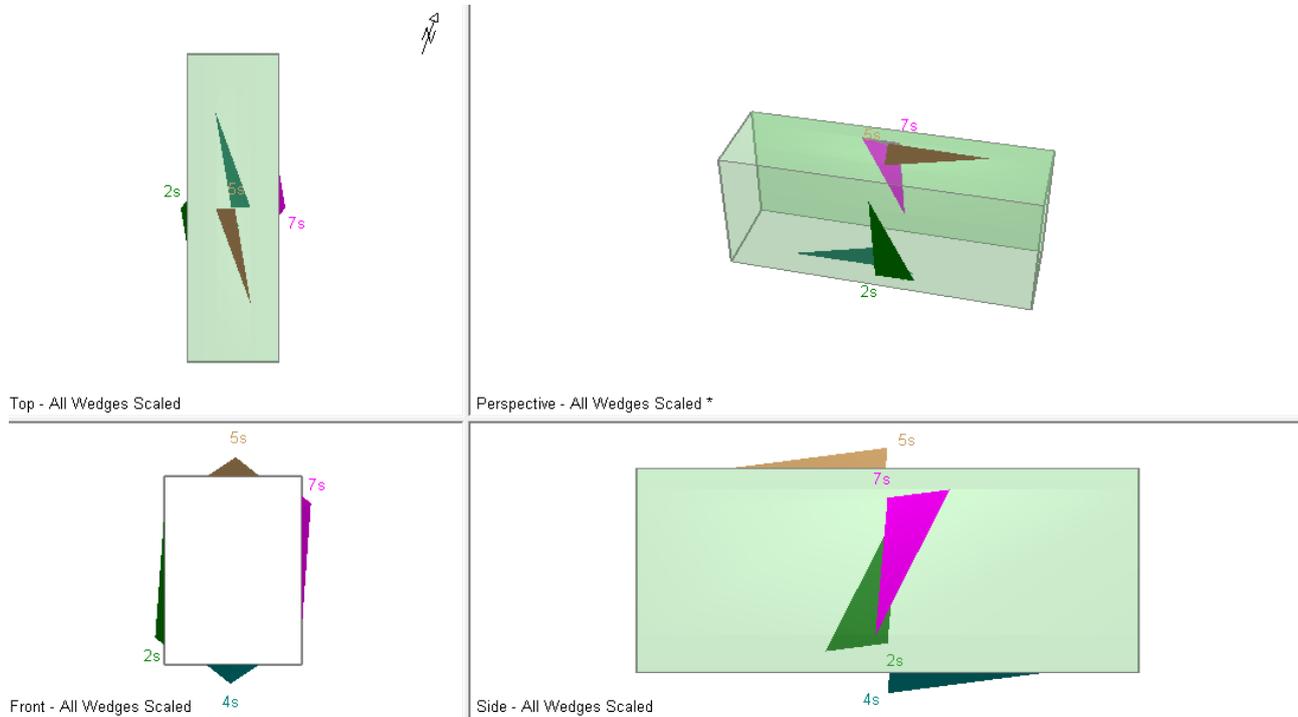
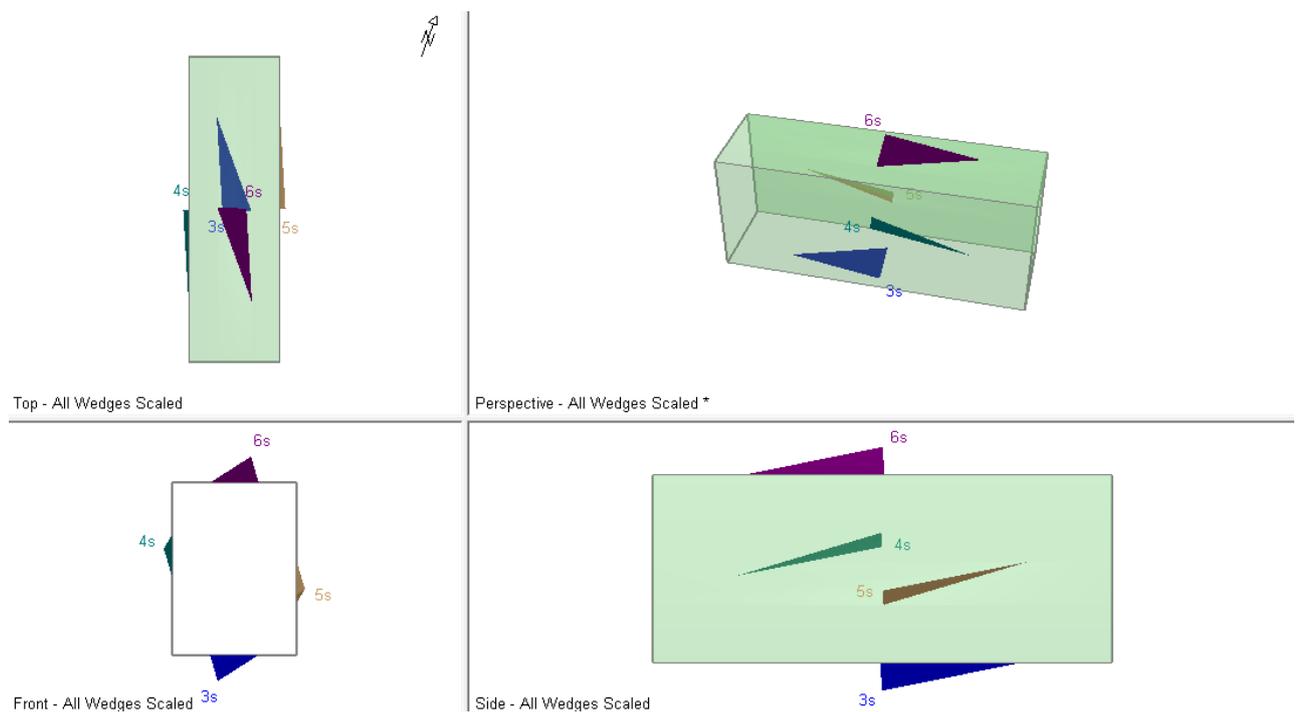
Escavazione La Gioia S.R.L.
 Via Carriona 388, Carrara (MS)

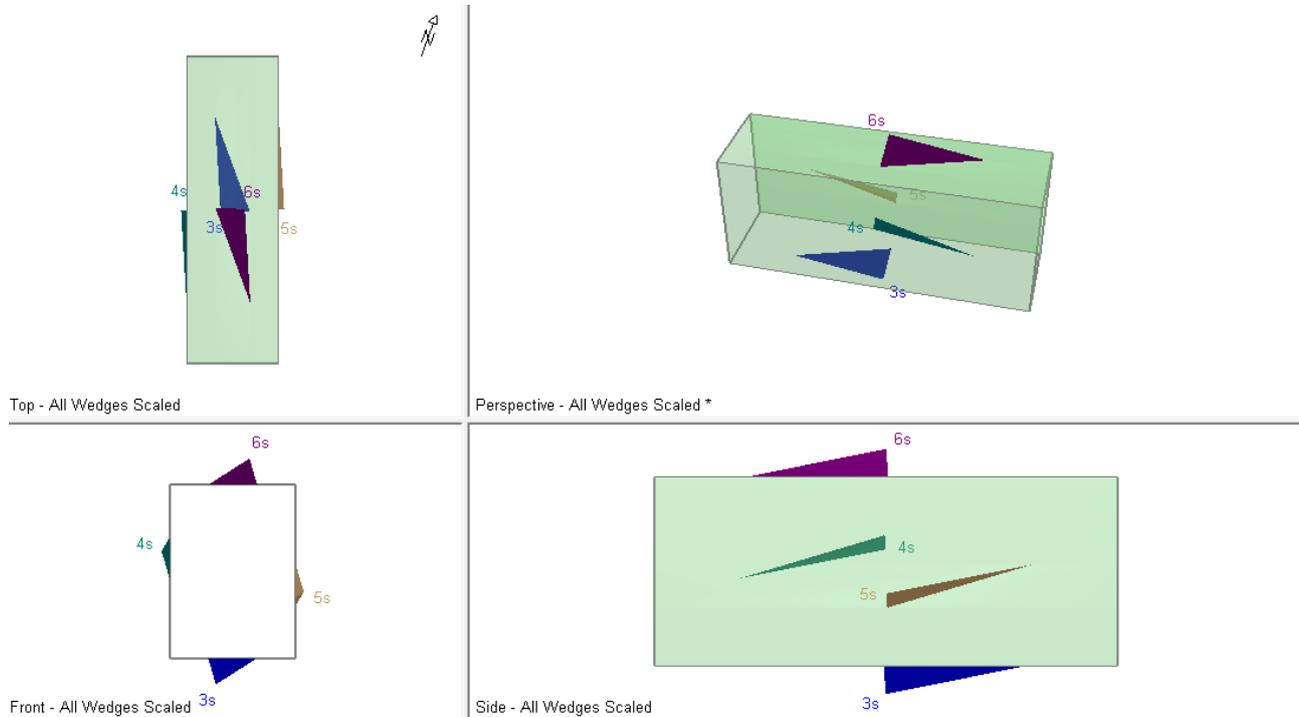
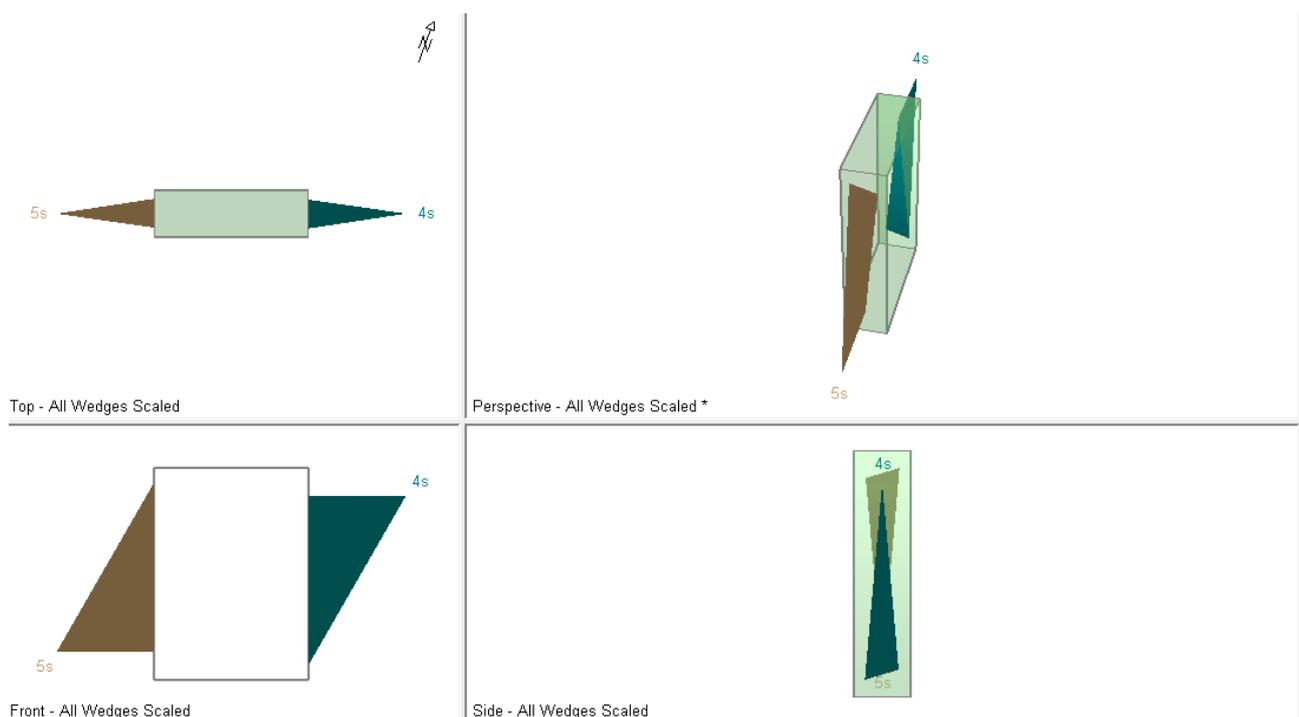
**Allegato A-01: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_1 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_1 K_2 K_3$** **Allegato A-02: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_1 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_1 K_{2-2} K_3$** 

**Allegato A-03: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_1 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_1 K_{1-2} K_{2-2}$** **Allegato A-04: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_1 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_{1-2} K_{2-2} K_3$** 

**Allegato A-05: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_1 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_{1-2} K_2 K_3$** **Allegato A-06: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_1 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_1 K_2 K_{3-2}$** 

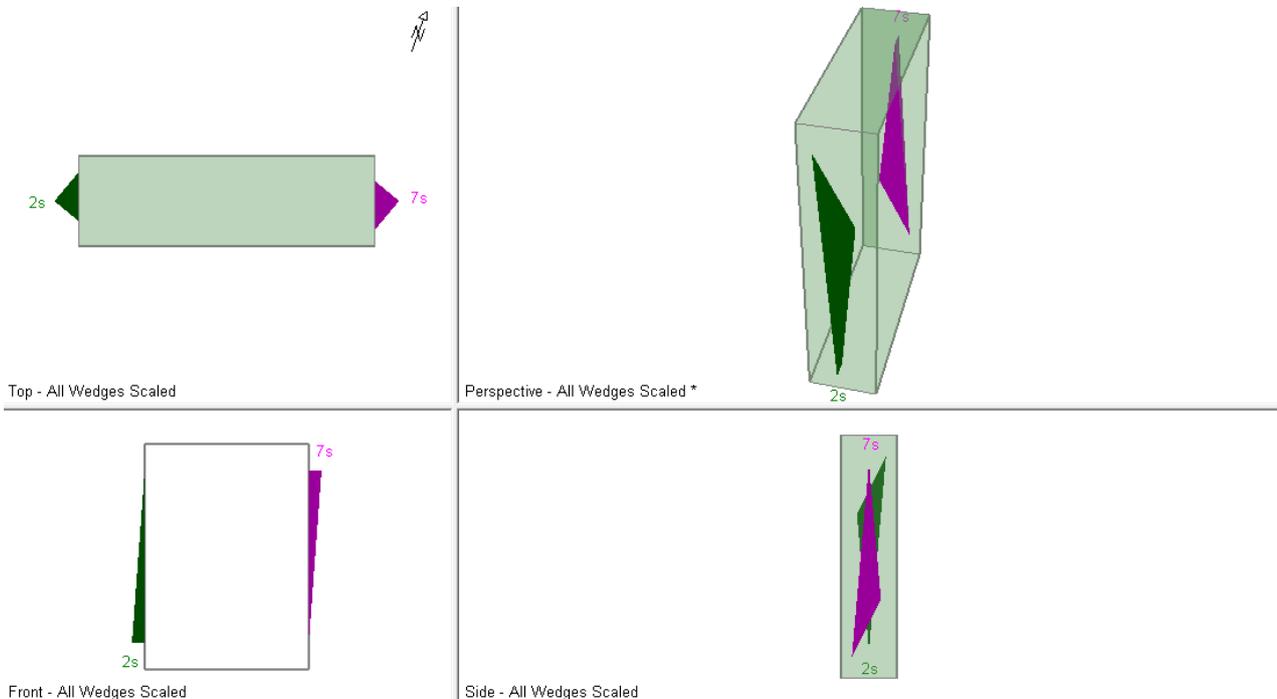
**Allegato A-07: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_1 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_2 K_3 K_{3-2}$** **Allegato A-08: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_1 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_2 K_{2-3} K_3$** 

**Allegato A-09: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_1 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_1 K_{1-2} K_2$** **Allegato A-10: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_1 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_1 K_4 K_5$** 

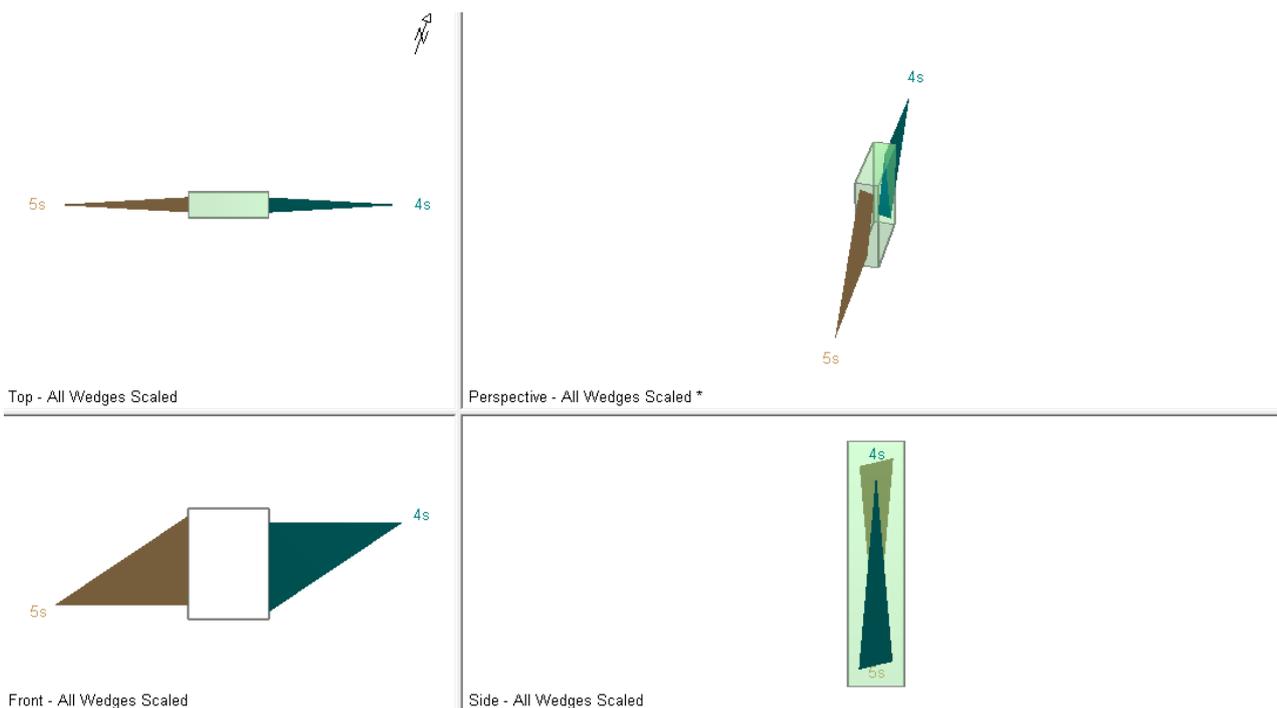
**Allegato A-11: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_1 alla coltivazione
sotterranea: combinazione K_{2-2} K_3 K_{3-2}** **Allegato A-12: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_1 alla coltivazione
sotterranea: combinazione K_{1-2} K_2 K_{2-2}** 

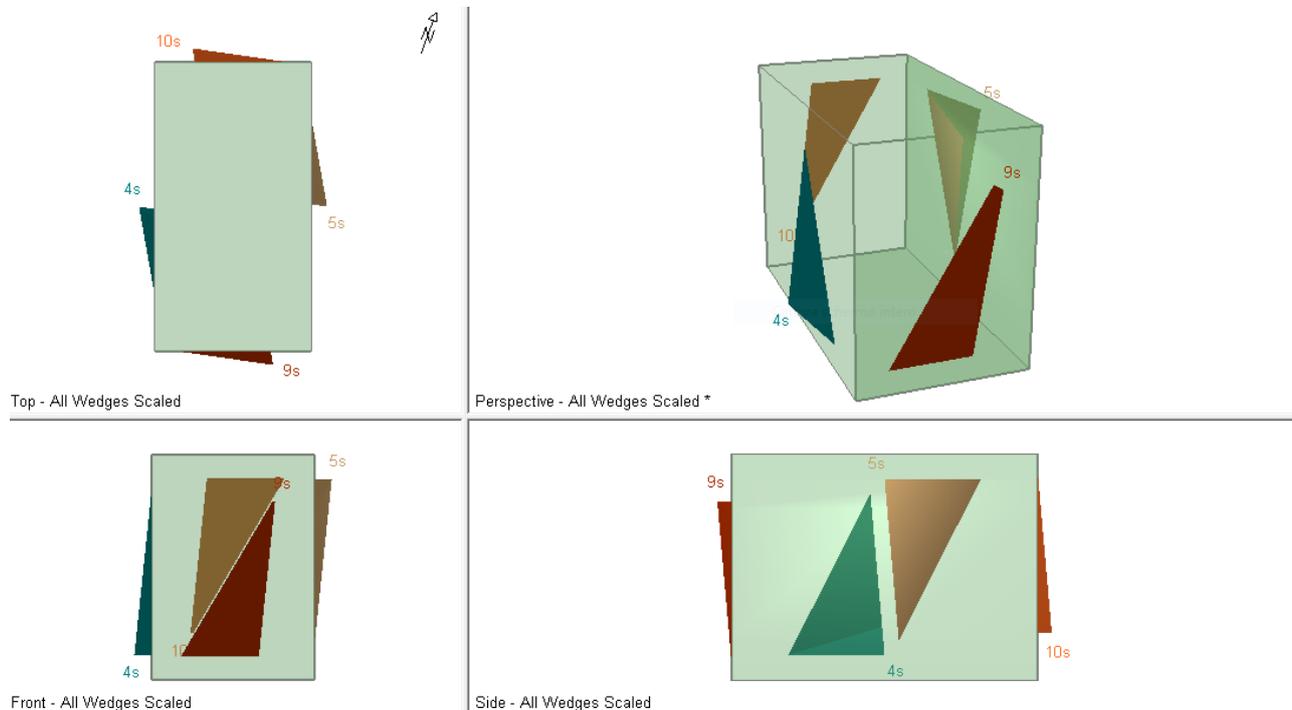
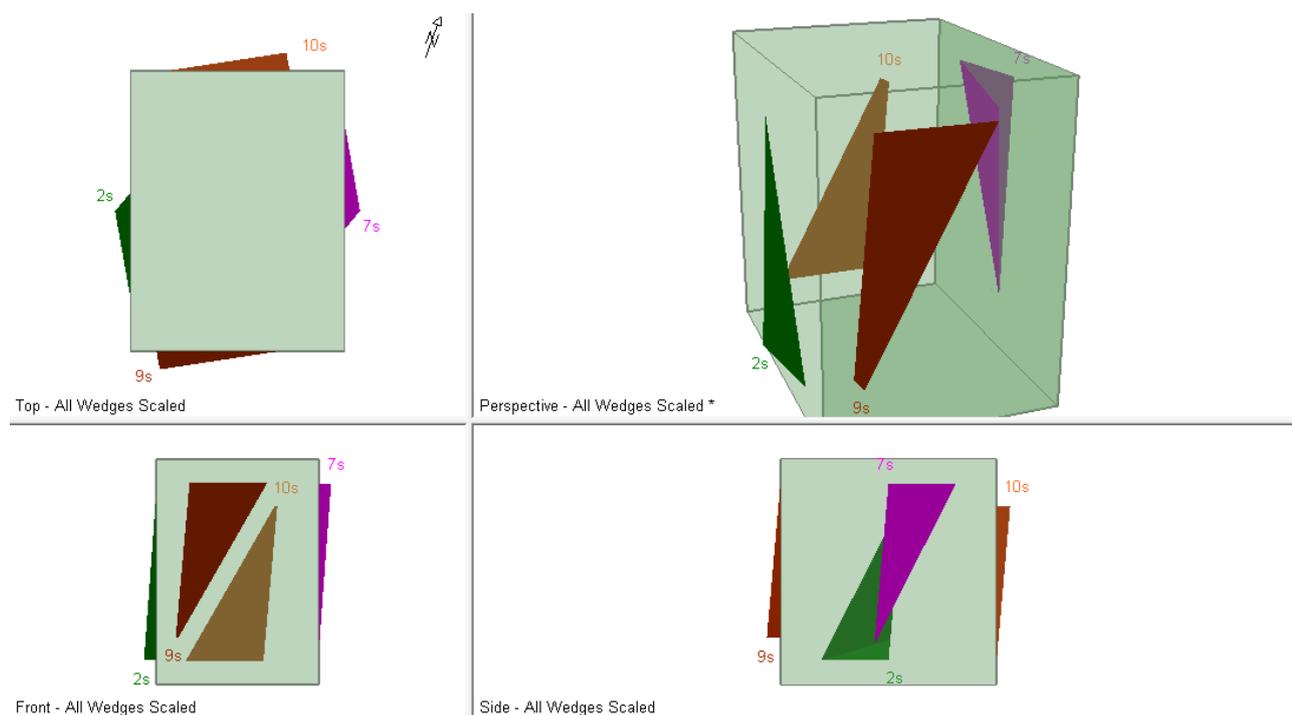
PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 37 di 53 Note:

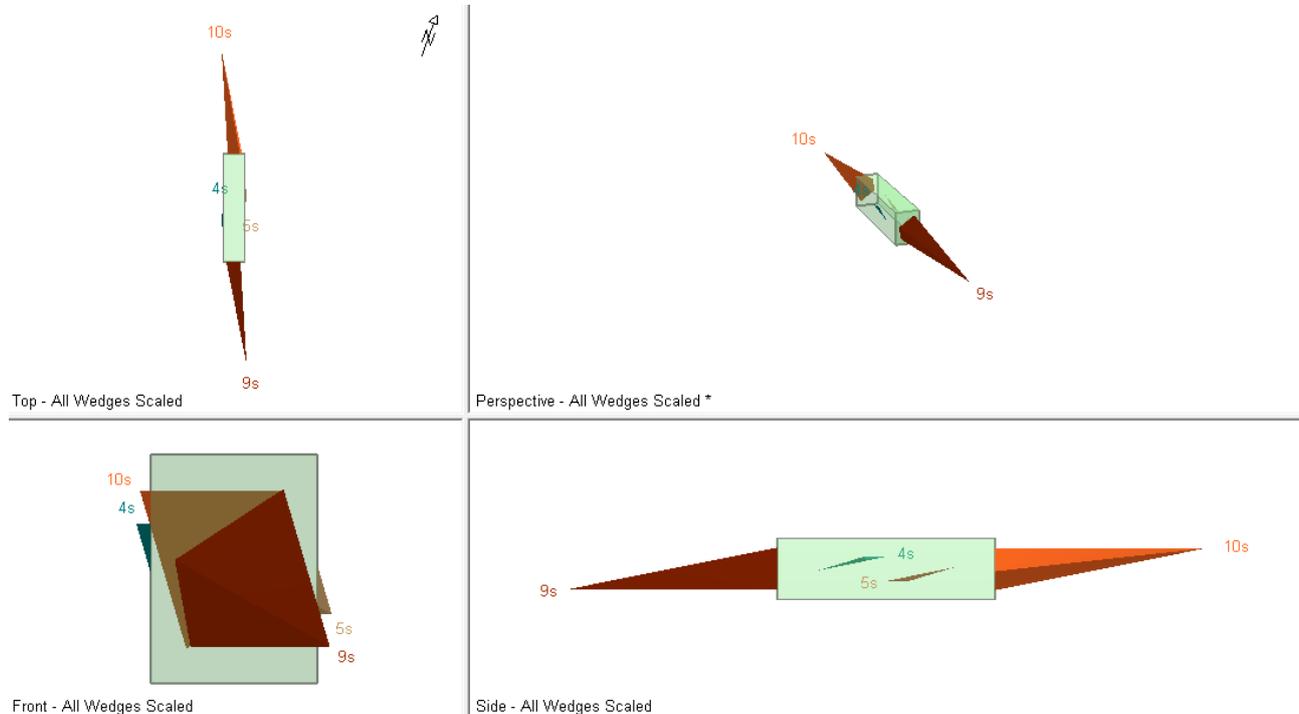
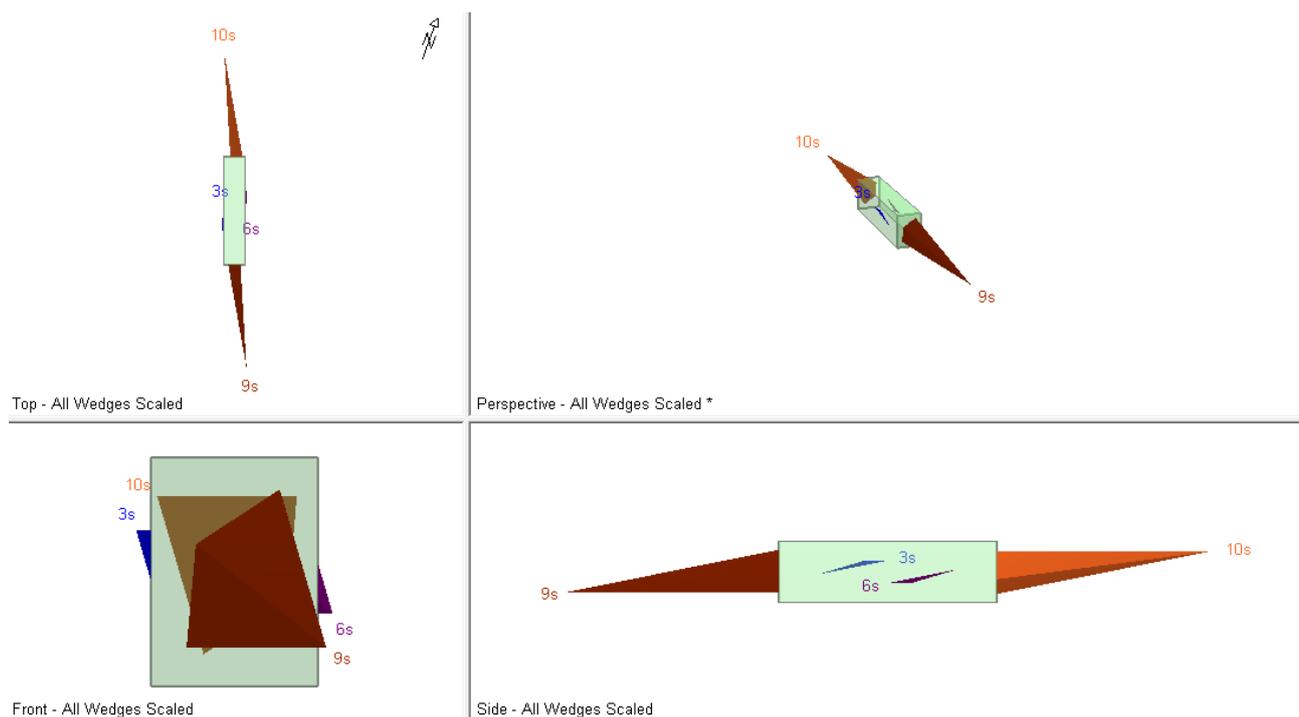
Allegato A-13: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D₁ alla coltivazione sotterranea: combinazione K₂ K₂₋₂ K₃₋₂

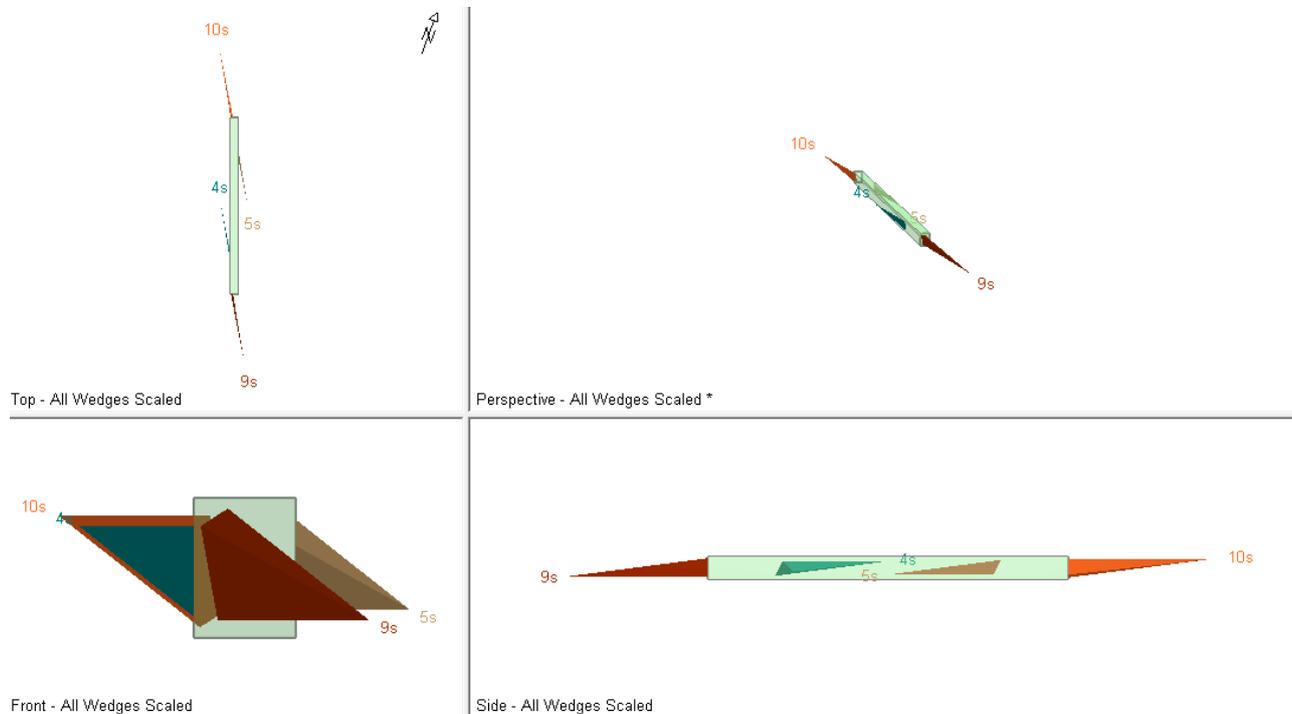
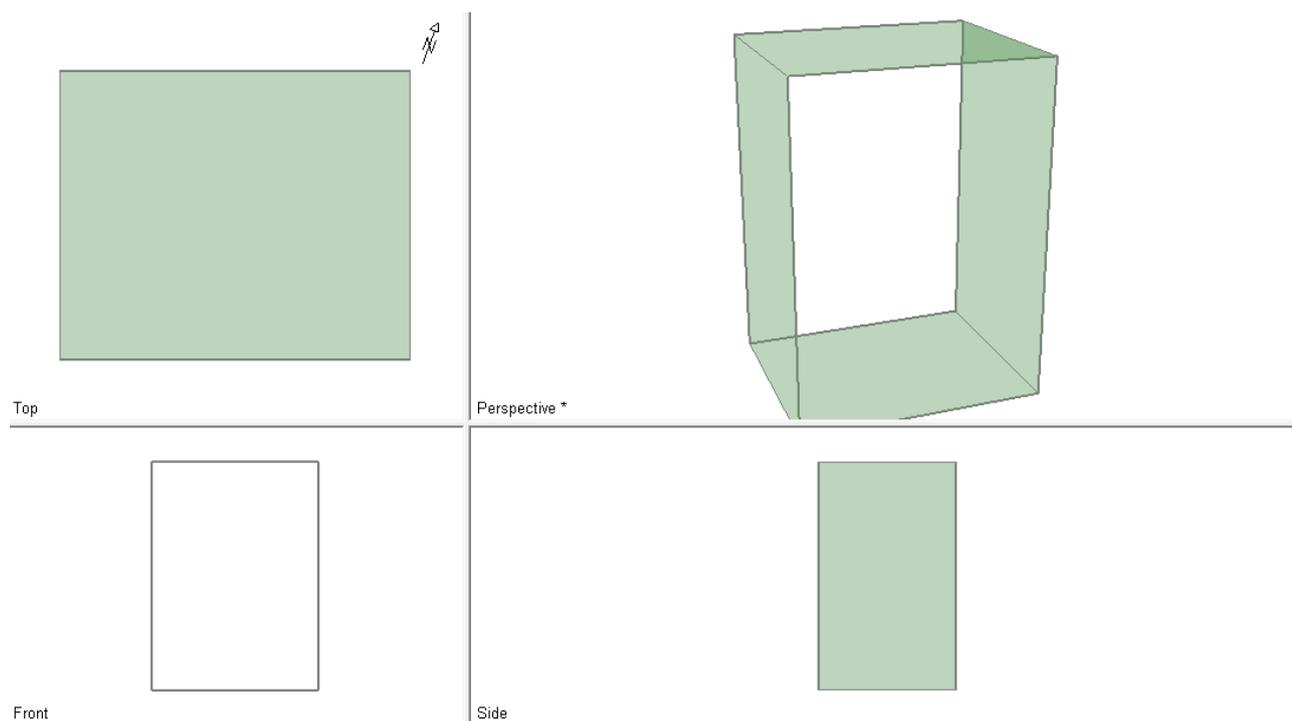


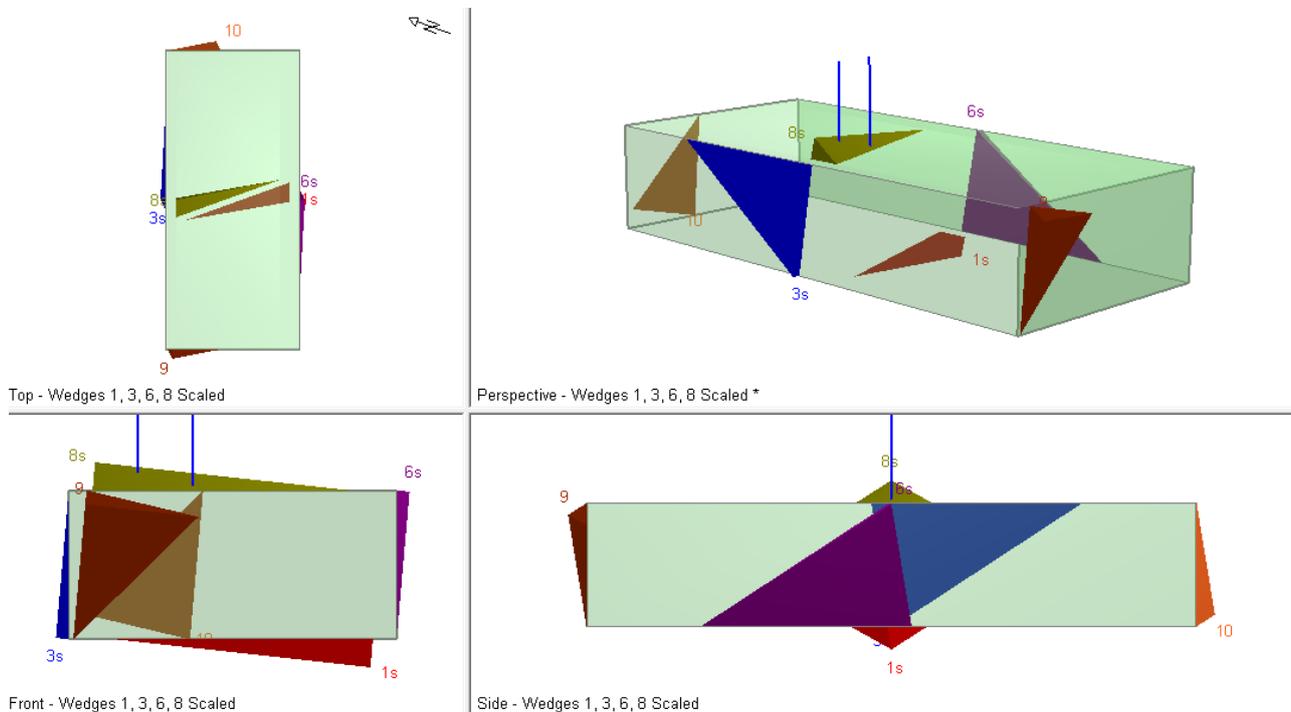
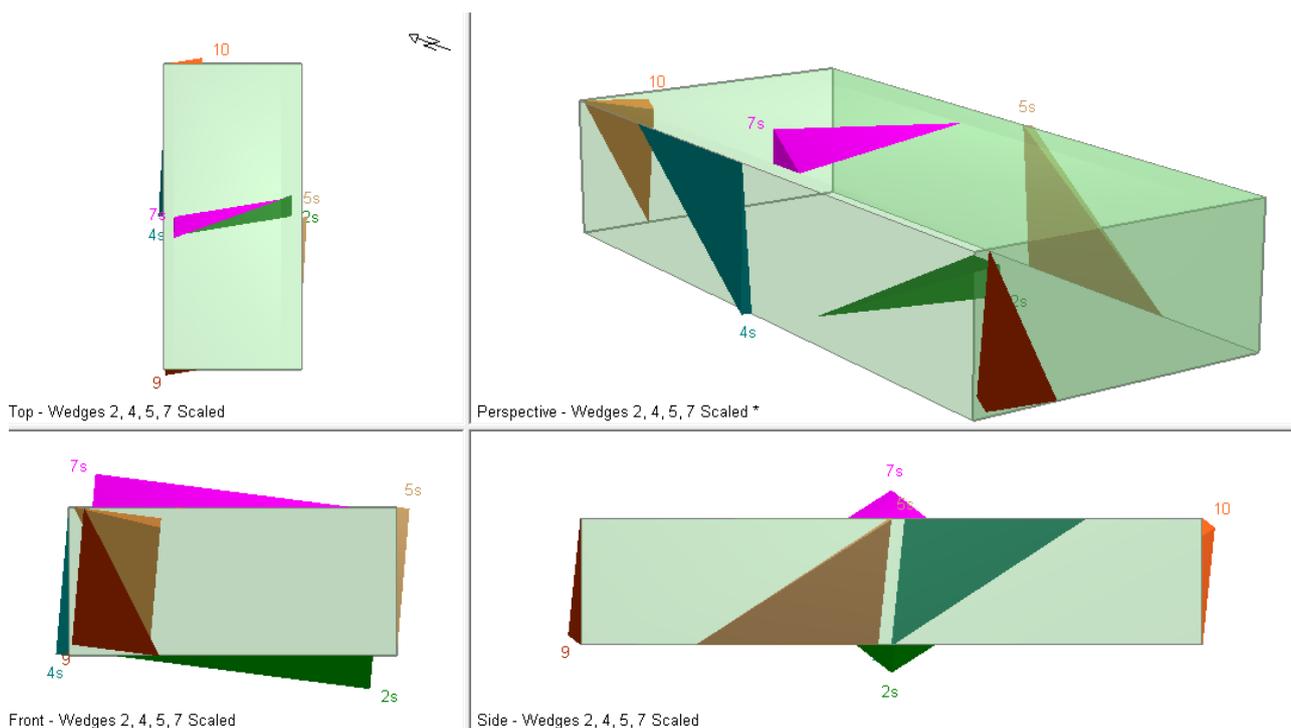
Allegato A-14: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D₁ alla coltivazione sotterranea: combinazione K₁ K₂ K₂₋₂

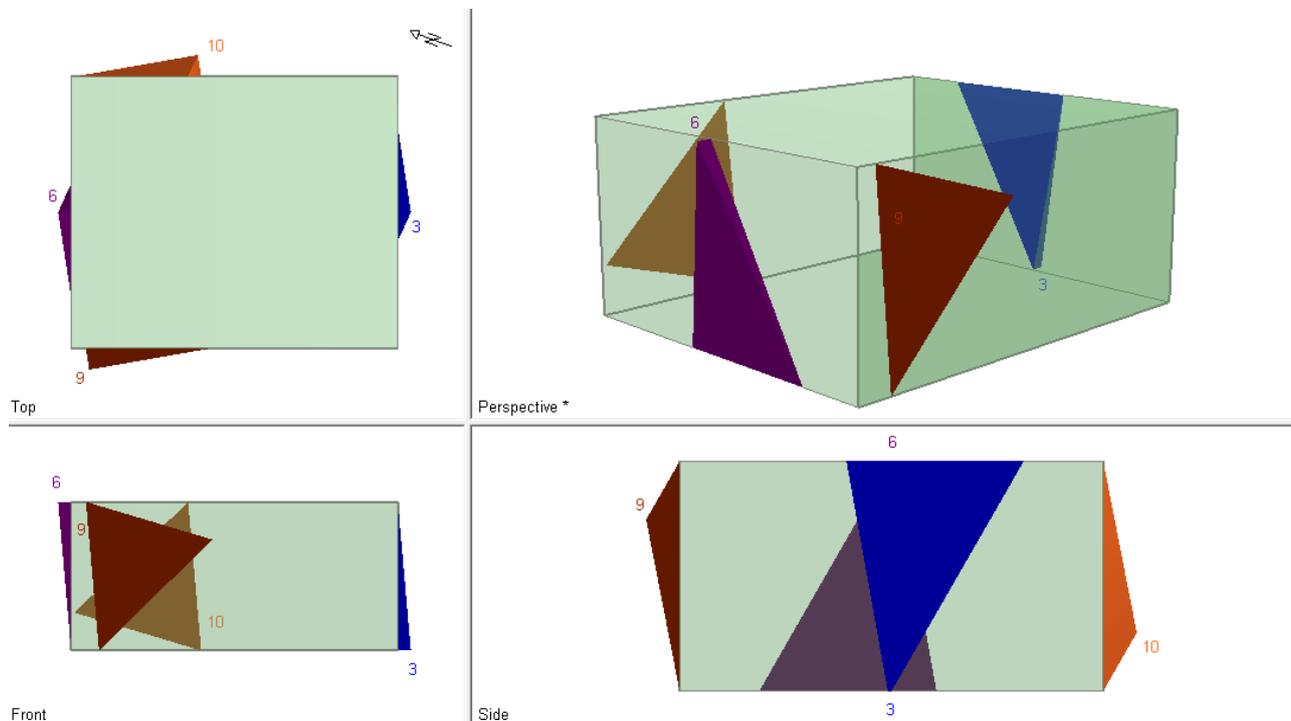
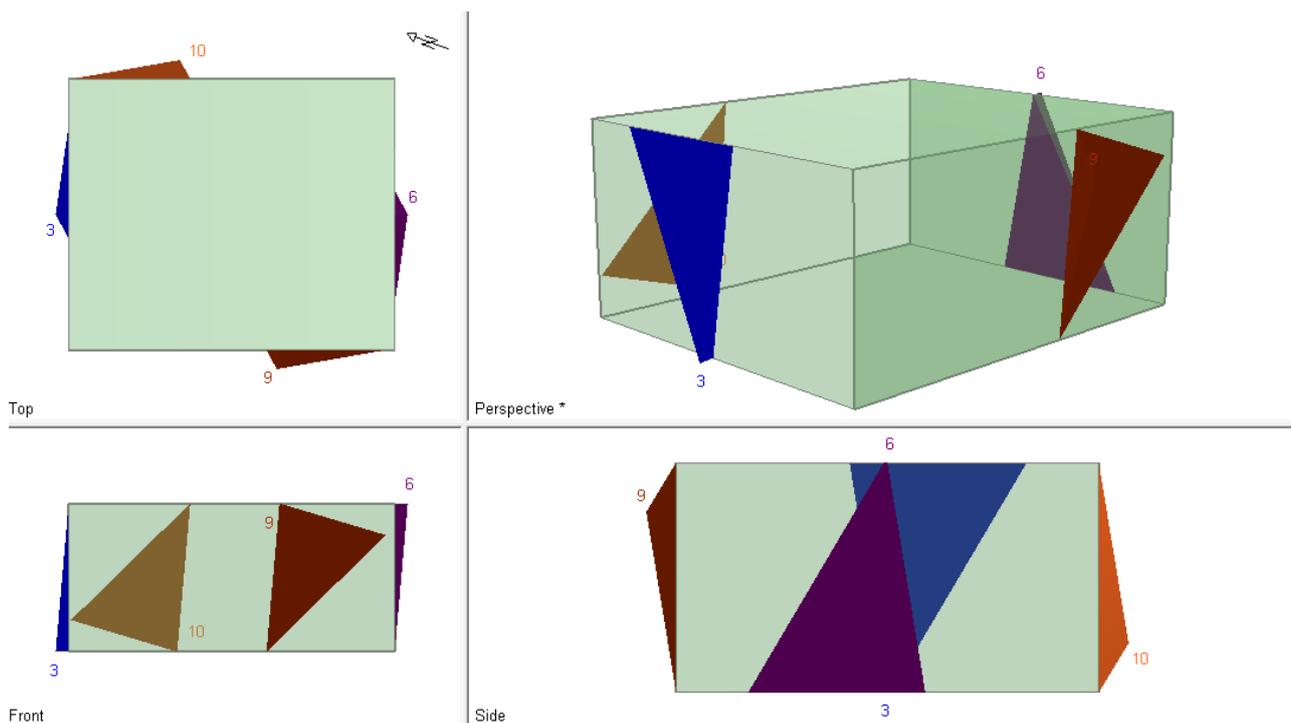


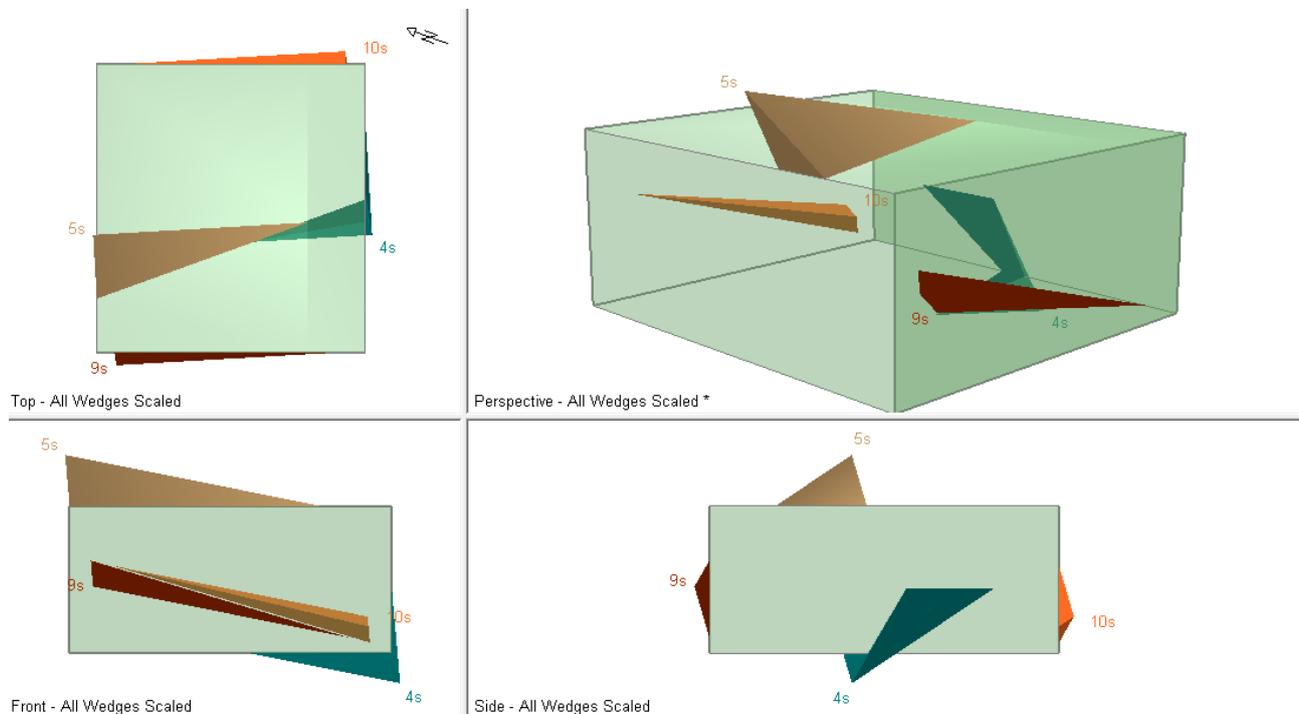
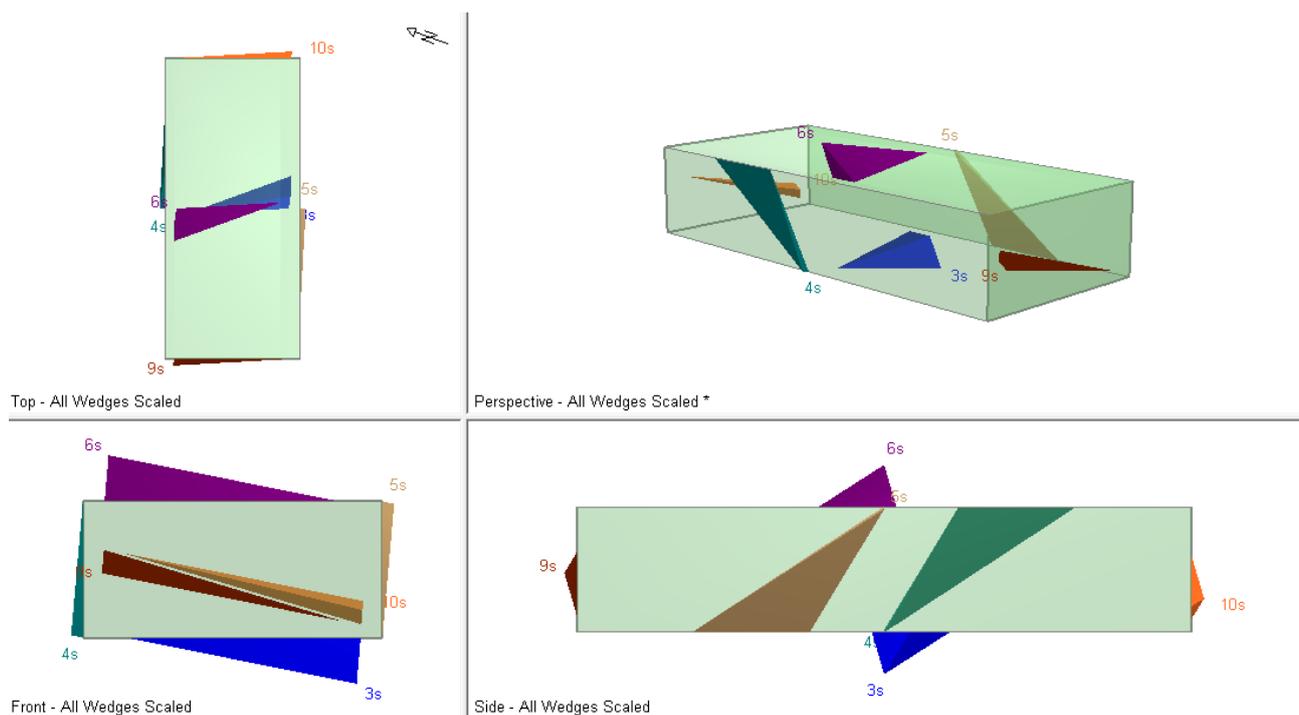
**Allegato A-15: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_1 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_{1-2} K_2 K_{3-2}$** **Allegato A-16: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_1 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_{1-2} K_{2-2} K_{3-2}$** 

**Allegato A-17: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_1 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_1 K_{1-2} K_3$** **Allegato A-18: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_1 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_1 K_{1-2} K_{3-2}$** 

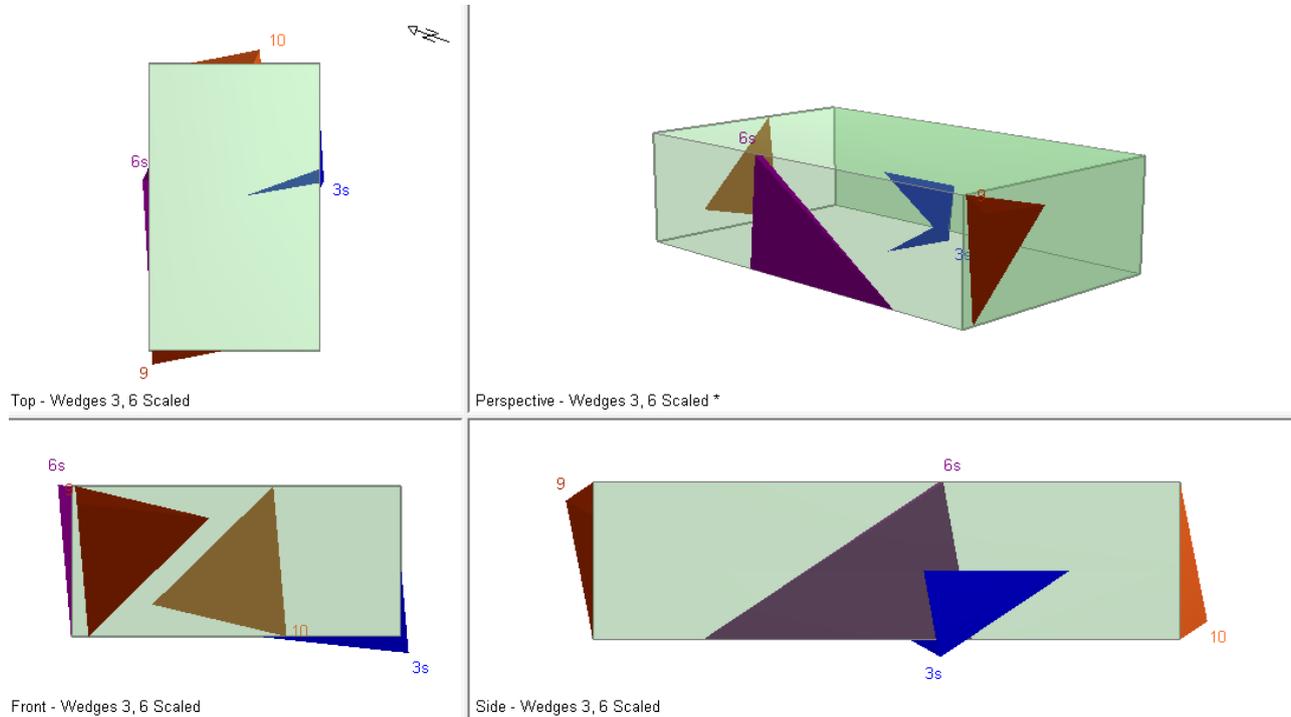
**Allegato A-19: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_1 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_1 K_3 K_{3-2}$** **Allegato A-20: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_1 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_{1-2} K_3 K_{3-2}$** 

**Allegato A-21: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_1 K_2 K_3$** **Allegato A-22: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_1 K_2 K_{3-2}$** 

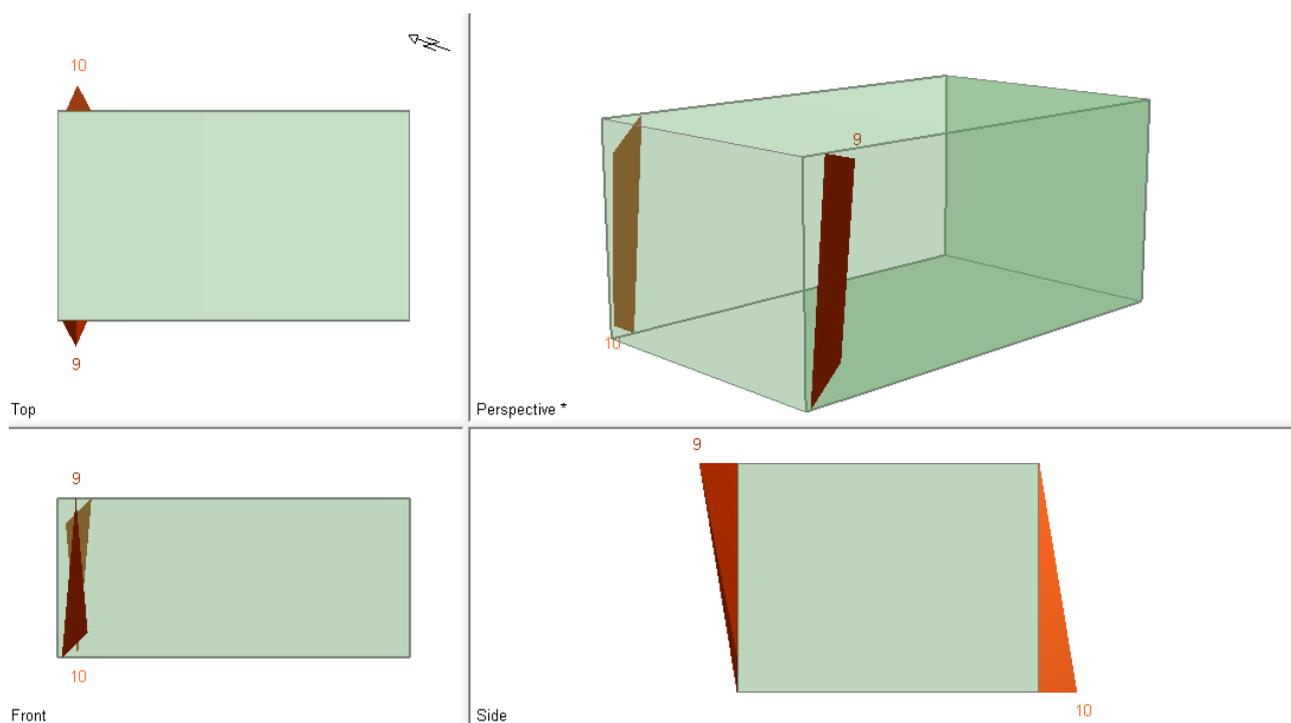
**Allegato A-23: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_{1-2} K_{2-2} K_3$** **Allegato A-24: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_{1-2} K_2 K_3$** 

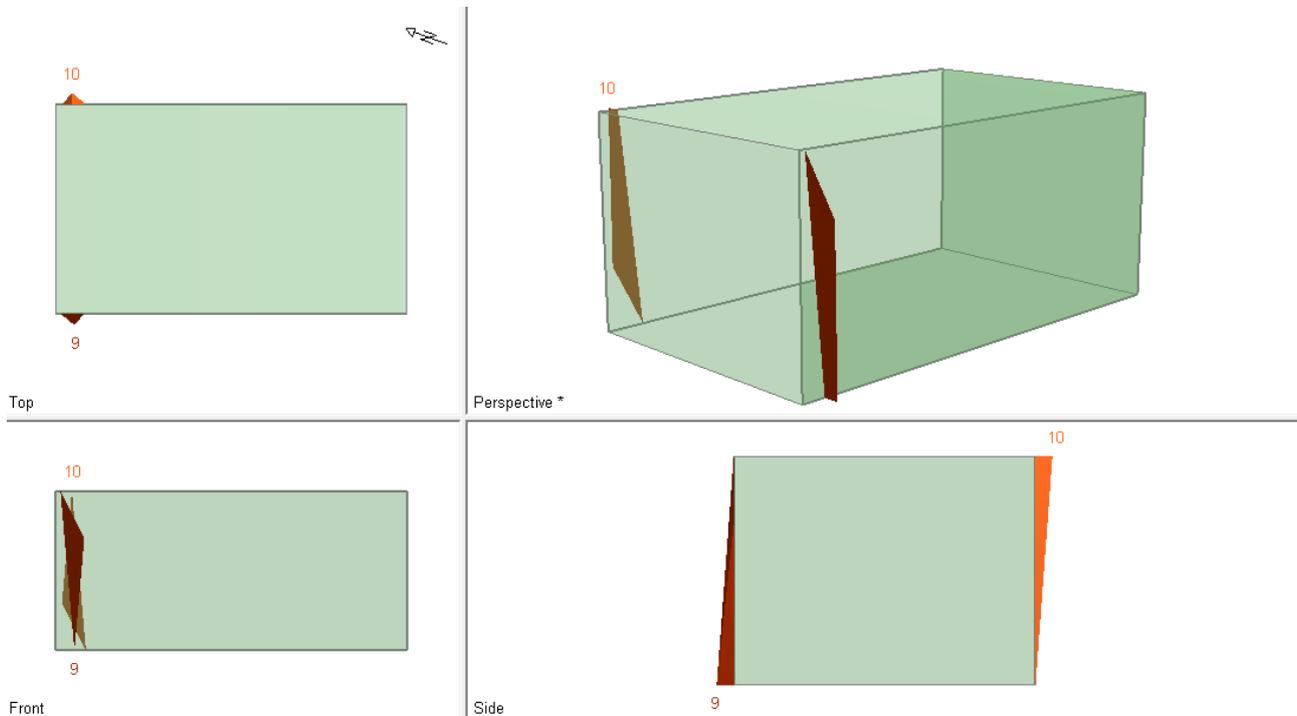
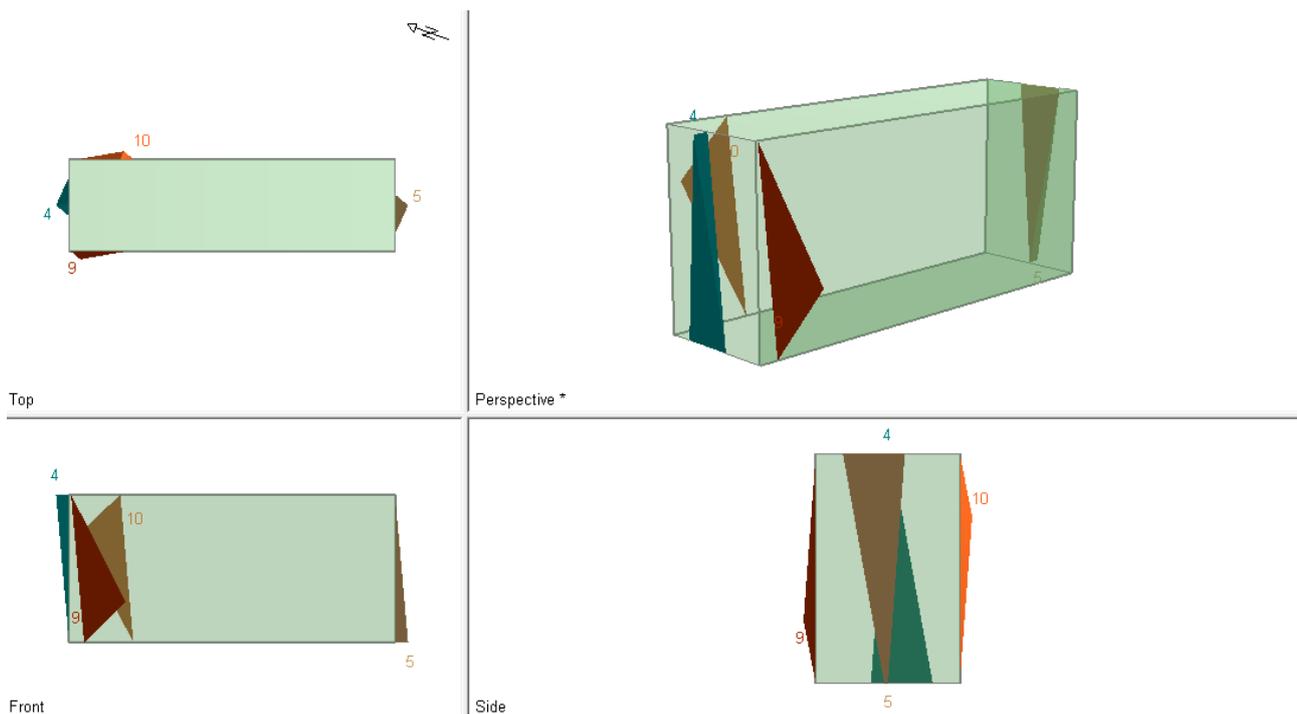
**Allegato A-25: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_1 K_{1-2} K_{2-2}$** **Allegato A-26: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_1 K_{1-2} K_2$** 

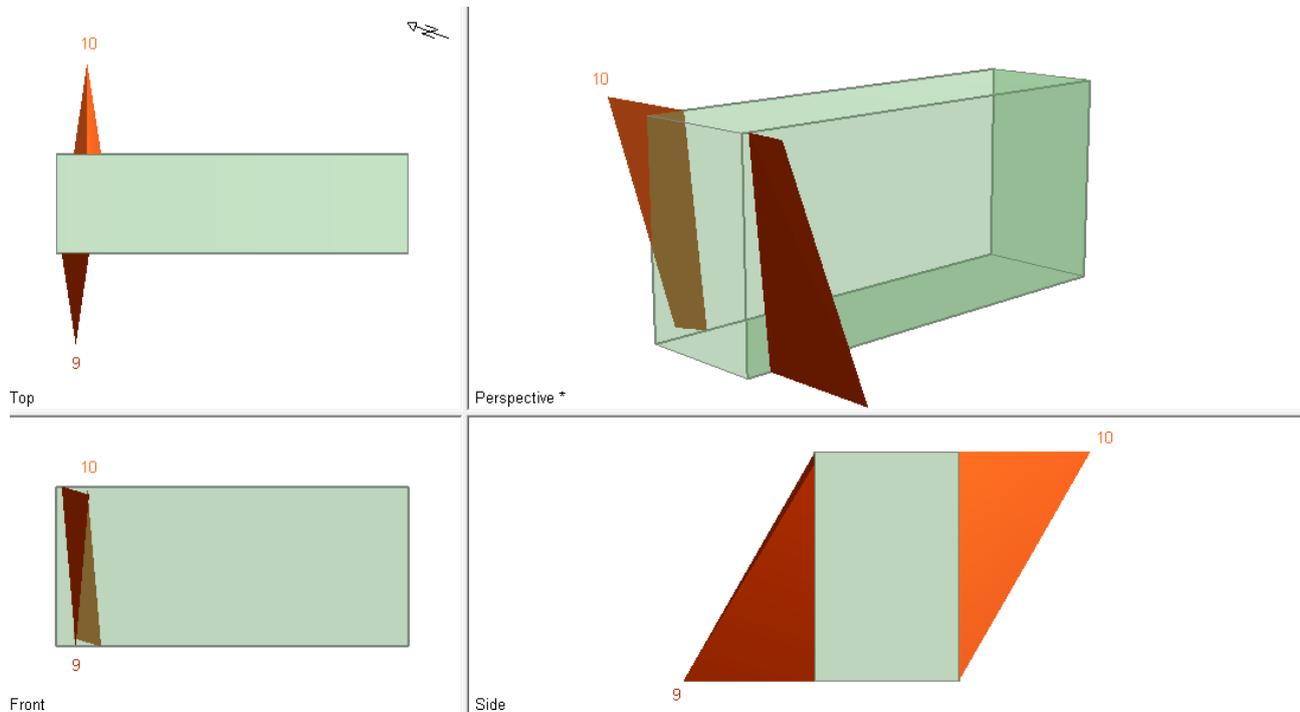
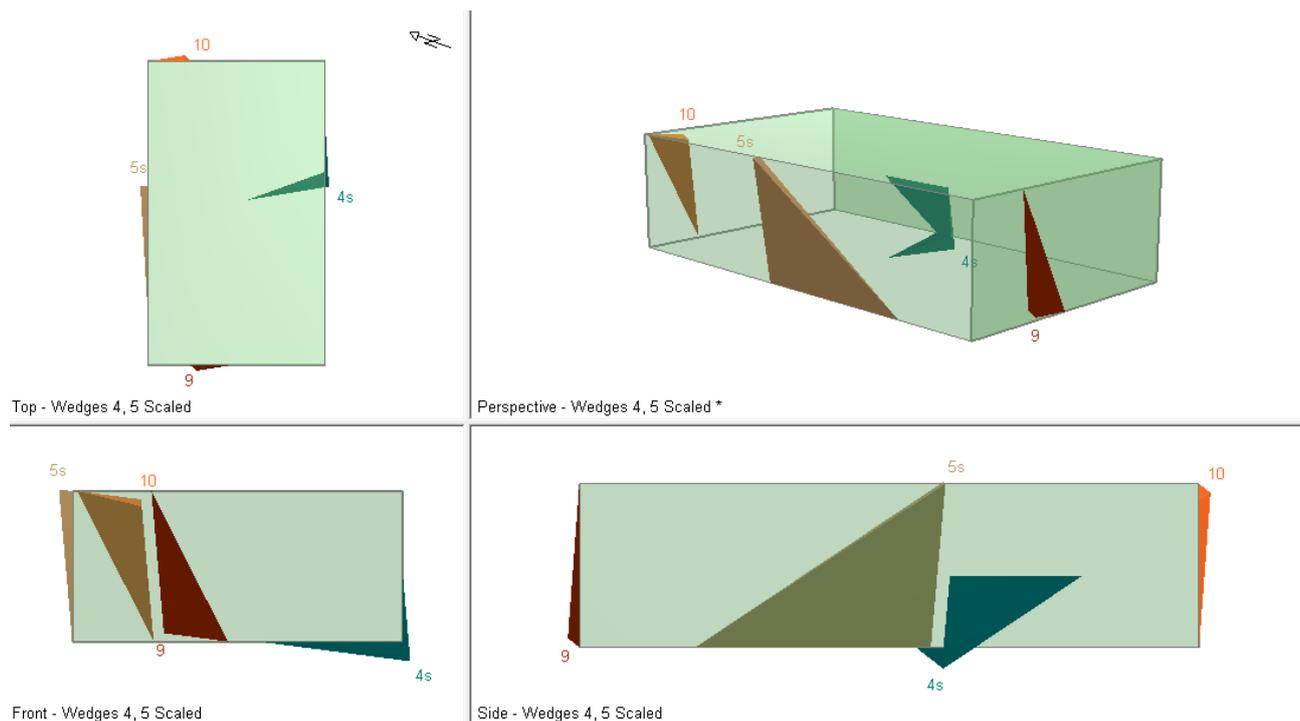
Allegato A-27: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione sotterranea: combinazione $K_1 K_{2-2} K_3$

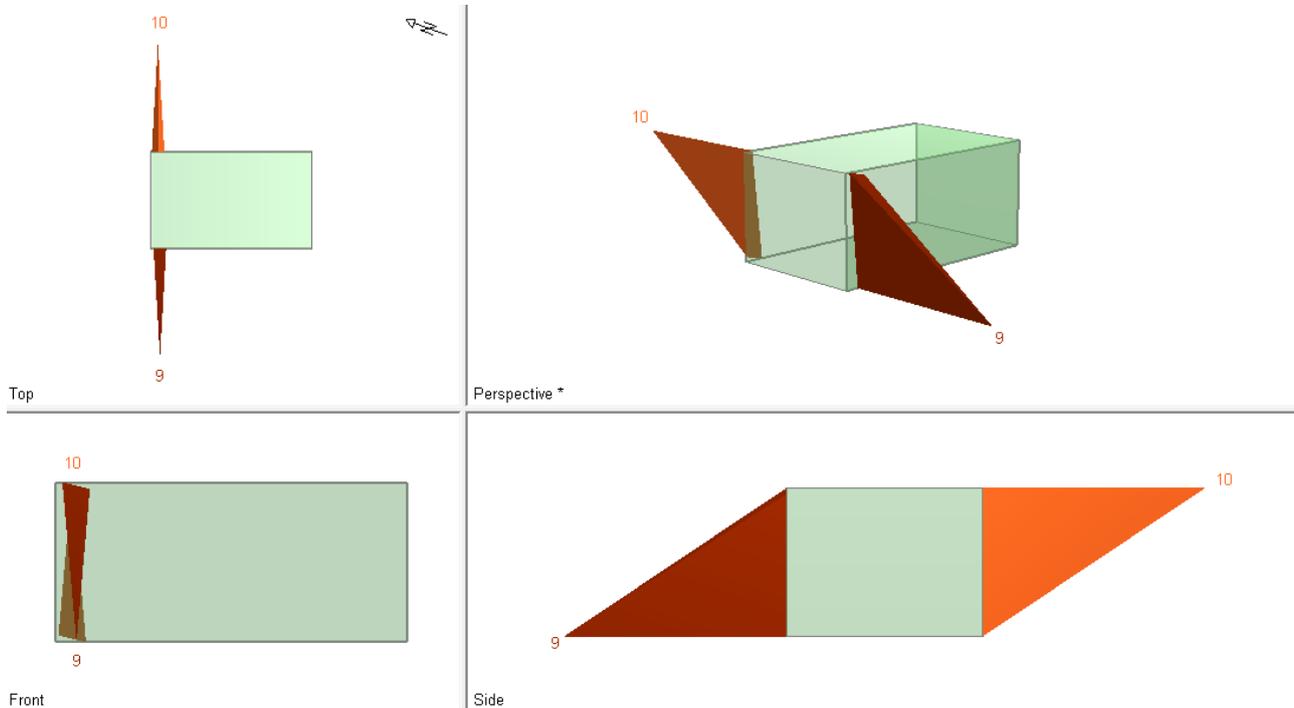
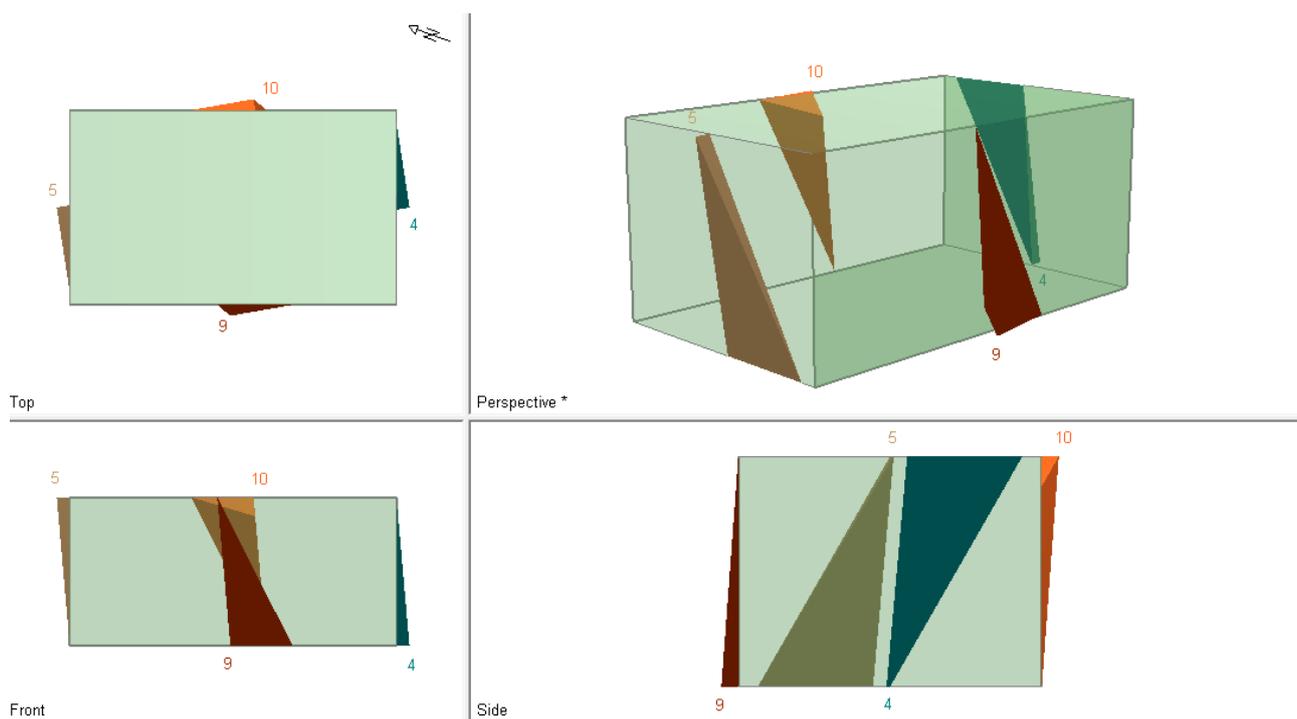


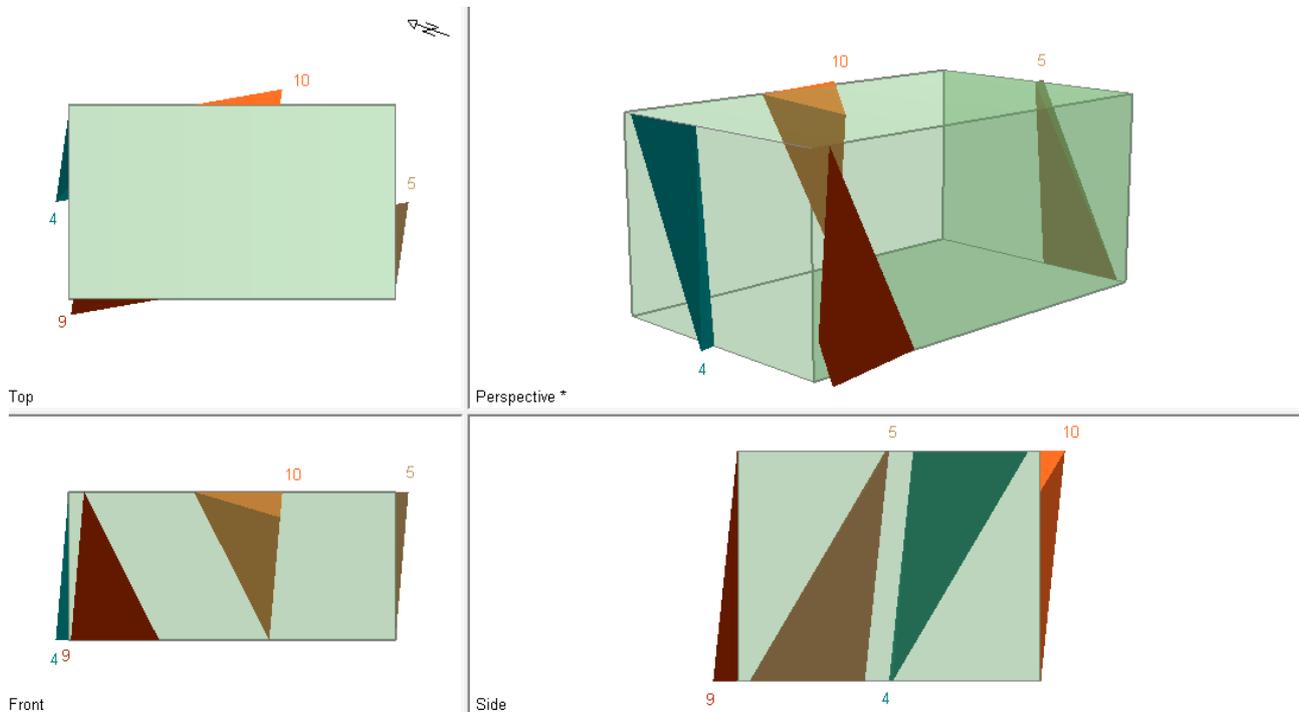
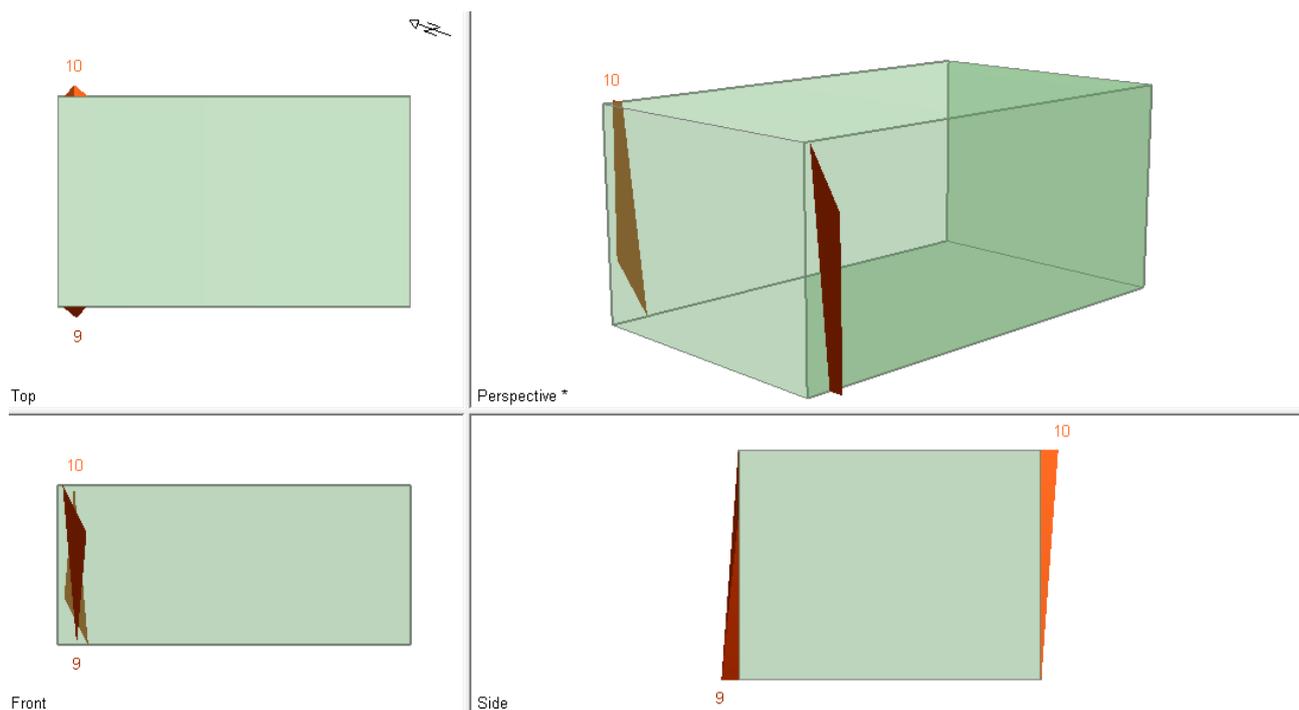
Allegato A-28: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione sotterranea: combinazione $K_2 K_{2-2} K_3$

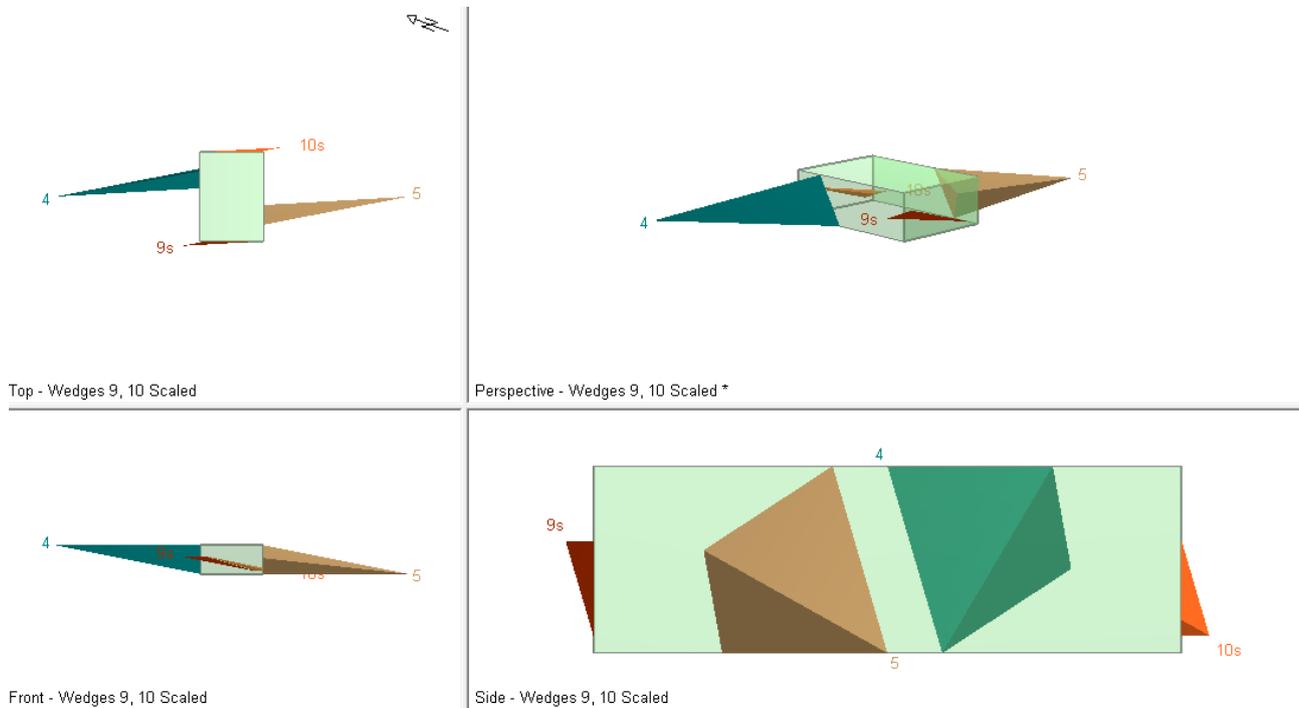
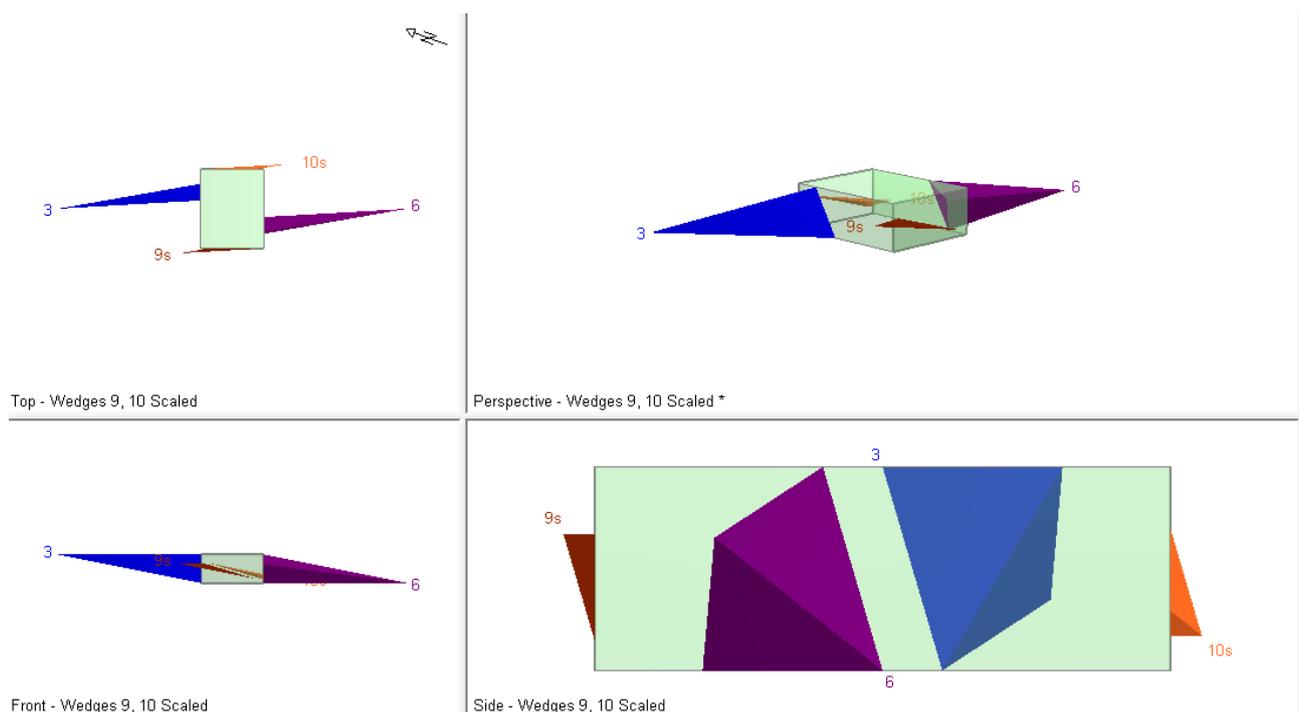


**Allegato A-29: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_2 K_3 K_{3-2}$** **Allegato A-30: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_{2-2} K_3 K_{3-2}$** 

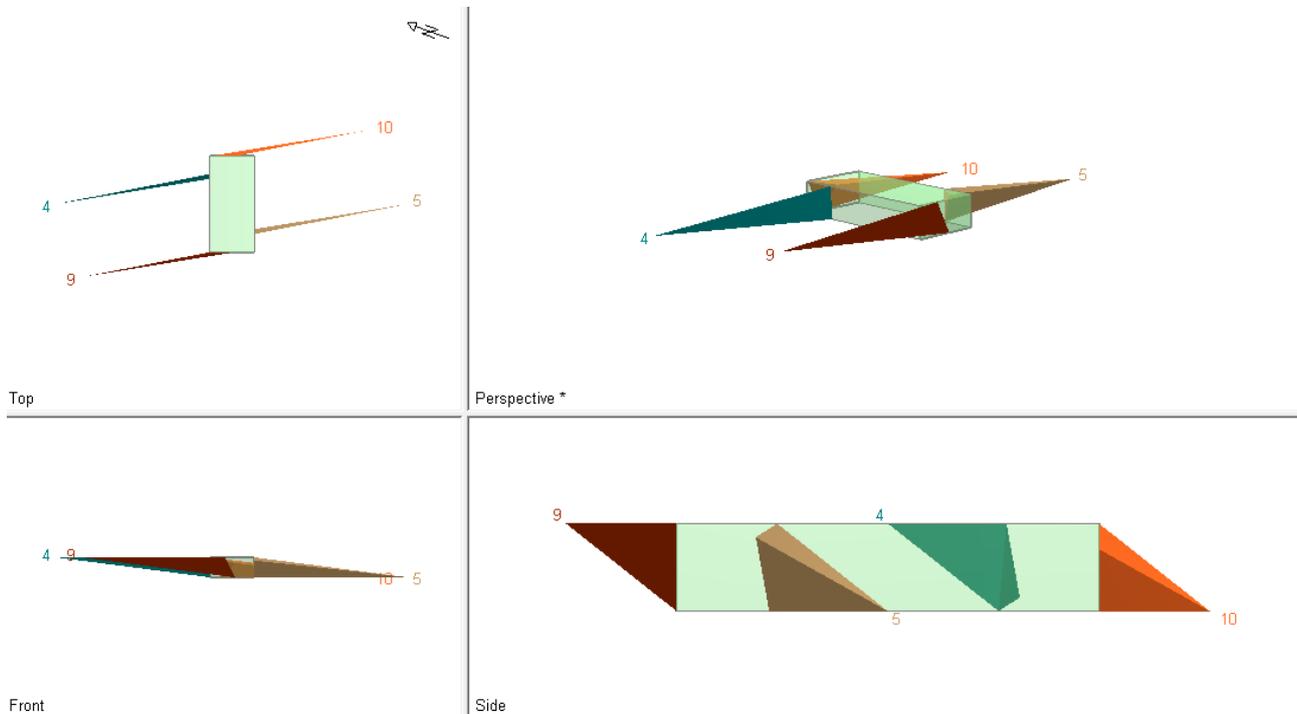
**Allegato A-31: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_{1-2} K_2 K_{2-2}$** **Allegato A-32: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_1 K_{2-2} K_{3-2}$** 

**Allegato A-33: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_1 K_2 K_{2-2}$** **Allegato A-34: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_{1-1} K_{2-2} K_{3-2}$** 

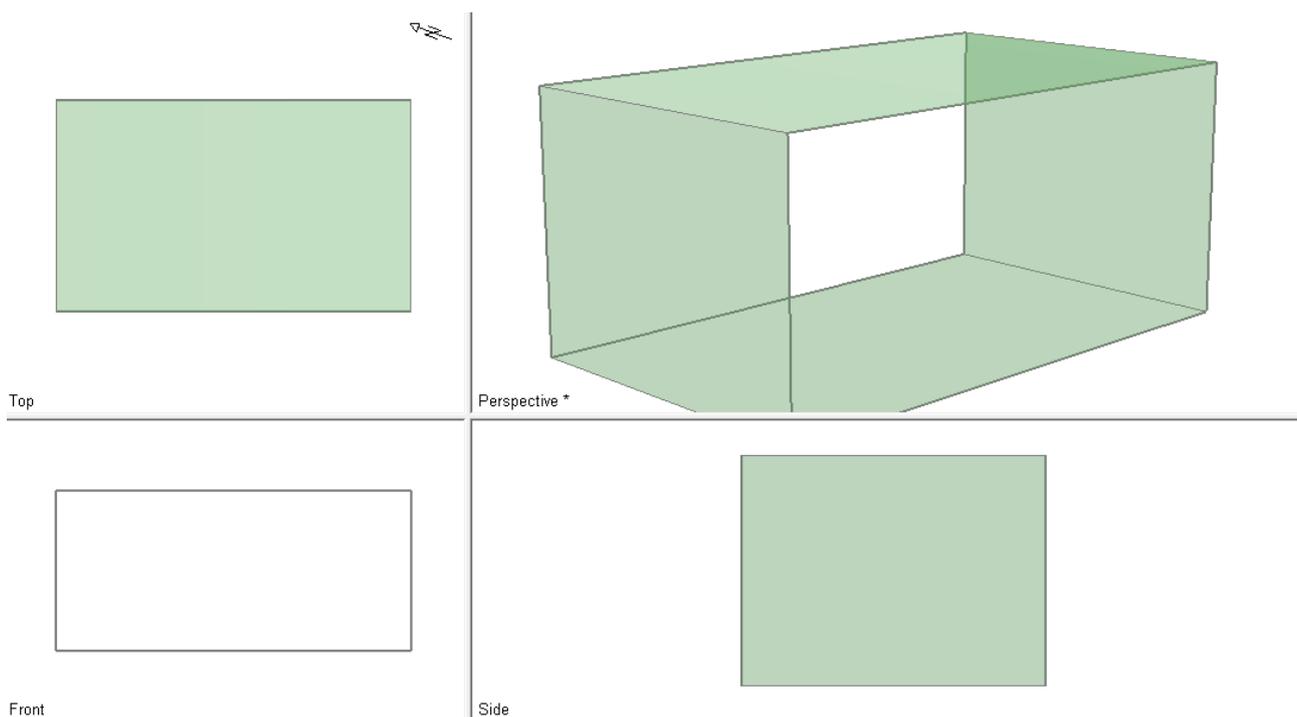
**Allegato A-35: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione
sotterranea: combinazione K_{1-2} K_2 K_{3-2}** **Allegato A-36: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione
sotterranea: combinazione K_2 K_{2-2} K_{3-2}** 

**Allegato A-37: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_1 K_{1-2} K_3$** **Allegato A-38: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_2 K_4 K_5$** 

Allegato A-39: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_1 K_3 K_{3-2}$



Allegato A-40: analisi risultati formazione di blocchi in direzione D_2 alla coltivazione
sotterranea: combinazione $K_{1-2} K_3 K_{3-2}$



PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 51 di 53 Note:

REGIONE TOSCANA

COMUNE DI CARRARA (MS)

CAVA DI MARMO "PESCINA A" N°13
 Bacino marmifero di Pescina Boccanaglia

VALUTAZIONE PREVISIONALE DELLA STABILITA'
 (ZONA OGGETTO DI VARIANTE AL PIANO DI COLTIVAZIONE)

ANNO 2020

Allegato B – Caratteristiche tecniche elementi di rinforzo per il consolidamento

Escavazione La Gioia S.R.L.
 Via Carriona 388, Carrara (MS)

Allegato B-01: caratteristiche tecniche elementi di rinforzo per il consolidamento

Tiranti a barre DYWIDAG a filettatura continua

Concetto Base

I tiranti in barre a filettatura continua DYWIDAG costituiscono un sistema attivo secondo le norme DIN 4125 e EN 1537. Il tensionamento attivo produce deformazioni anticipate del sistema, e deformazioni strutturali minime o nulle. Il sistema è applicabile sia per strutture provvisorie (ad es. stabilizzazioni provvisorie di scavi) che per usi definitivi quali i tiranti di banchina.

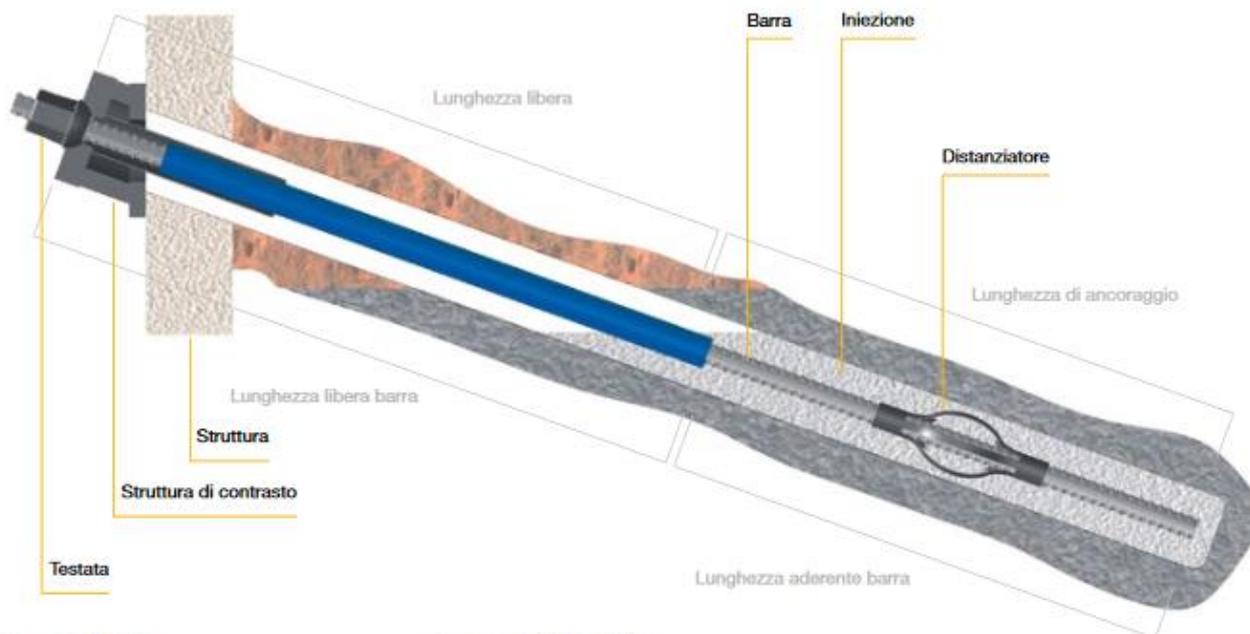
Per definizione un tirante si compone di tre parti principali:

- **Lunghezza di ancoraggio:** Il tirante è connesso nella perforazione con boiacca di cemento e può trasmettere la forza al terreno portante per aderenza e attrito.
- **Lunghezza libera:** La barra non è connessa alla perforazione essendo dotata di un tubo (guaina) liscio che permette il libero allungamento del tratto libero. In questo modo il sistema può essere messo in tensione.
- **Testata di ancoraggio:** La testata trasferisce la forza alla struttura di contrasto e quindi alla struttura da ancorare.

Una volta indurita la boiacca d'iniezione, la capacità portante di ogni tirante è provata mediante un test di collaudo.

Se richiesto i tiranti possono essere ritarabili o rilasciabili. Il controllo permanente delle forze può essere eseguito con celle di carico. In alternativa si può utilizzare il sistema DYNA Force® da posizionarsi oltre la testata o all'interno del foro. Il sistema è stato sviluppato in collaborazione con DSI.

Tirante a barre



Campi d'impiego

- Costruzioni urbane
- Scavi (deformazione controllata)
- Tiranti di banchina
- Stabilizzazione di pareti rocciose e pendii
- Controllo sottospinta
- Posizionamento stabile
- Costruzione dighe
- Tiranti verso l'alto

Caratteristiche chiave

- Barre a filettatura continua con filetto grossolano robusto lungo l'intera lunghezza; aggiustamento della lunghezza in cantiere possibile
- Varie qualità di acciaio
 - Barre di elevate qualità per un buon rapporto forza / perforazione
 - Robusta, saldabile Barra GEW®
 - Barre GEW® Plus per prestazioni più elevate
- Progetti variabili delle testate e delle compensazioni angolari
- Facilità di impiego: tesatura o rilascio con bloccaggio a vite
- Facile installazione a soffitto – ad esempio in caverna – con barre rigide

PANDOLFI Studio di ingegneria 54033 Carrara (Italia) P.zza del Duomo, 11 Tel. 0585.779513 P.I. 00568690457	Incarico: D. Lg.vo 624/96 L.R. 35/15 e D.M. 11/3/1988 D.M.17/1/18	Documento: Relazione Tecnica: Valutazione previsionale della stabilità (zona oggetto di variante al piano di coltivazione)	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
	Committente: Escavazione La Gioia S.R.L.	Prot.: 1120/B1/2020 Data: novembre 2020	Foglio: 53 di 53 Note:

Acciaio da precompressione DYWIDAG Y1050H

Diametro nominale \varnothing [mm]	Tensione snervamento/ tensione rottura $f_{p0.1k}/f_{pk}$ [N/mm ²]	Sezione trasversale A [mm ²]	Carico snervamento $F_{p0.1k}$ [kN]	Carico ultimo F_{pk} [kN]	Peso [kg/m]	Peso DCP [kg/m]	Omologazione
26.5	950/1,050	552	525	580	4.48	7.4	○ ×
32	950/1,050	804	760	845	6.53	9.8	○ ×
36	950/1,050	1,018	960	1,070	8.27	12.3	○ ×
40	950/1,050	1,257	1,190	1,320	10.21	14.0	○ ×
47	950/1,050	1,735	1,650	1,820	14.10	20.0	×