

STUDIO DI GEOLOGIA

Dott. Zeno GIACOMELLI
Via del Fontana, 8
55012 – CAPANNORI (LU)
Cell. 328/7084028
Email: zenogiacomelli@alice.it
Pec: zenogiacomelli@pec.it

STUDIO DI GEOLOGIA

Dott. Brunello FORFORI
Via VII Luglio, 34
54033 - CARRARA (MS)
Cell. 393/9592397
Email: studio.forfori@gmail.com
Pec: brunelloforfori@epap.sicurezza postale.it

RELAZIONE GEOMECCANICA ED ANALISI DELLA STABILITA' PREVISIONALE DI SUPPORTO AL PROGETTO DI COLTIVAZIONE DELLA CAVA FOSSA DEI TOMEI SITA IN LOCALITA' ARNETOLA - BACINO ESTRATTIVO MONTE PALLERINA NEL COMUNE DI VAGLI SOTTO (LU) REDATTA AI SENSI DELL'ART. 52 D.Lgs.vo n°624/1996

Relazione Tecnica di supporto al Piano di Coltivazione

COMMITTENTE: ESCAVAZIONE FOSSA TOMEI s.r.l. – Vagli Sotto (LU)

IL LEGALE RAPPRESENTANTE
Sig. MICO ALVENTOSA ALEJANDRO



I PROFESSIONISTI
Geol. Zeno GIACOMELLI



Geol. Brunello FORFORI



- Febbraio 2021 -

1.0 - PREMESSA.....	4
2.0 - METODOLOGIE DI INDAGINE.....	4
3.0 – DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	5
3.1 – Stato attuale del sito (vedi tav.12 di progetto).....	5
3.2 – Descrizione del progetto e sequenza delle fasi (tav.14-15-16-17).....	5
4.0 - RILIEVO STRUTTURALE	7
4.1 - Riconoscimento delle discontinuita' - caratteri strutturali di rilievo - classificazione dell'ammasso roccioso.....	7
4.2 – Caratteristiche dei sistemi di discontinuita' riconosciuti nell'area di intervento	8
4.3 - Caratteri strutturali di rilievo.....	11
5.0 – CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO NELL'AREA STUDIATA	13
6.0 - STIMA DEI PARAMETRI GEOMECCANICI DELL'AMMASSO ROCCIOSO	16
6.1 - Criterio di HOEK&BROWN.....	16
6.2 - Resistenza al taglio delle discontinuita'	18
6.3 – Definizione dei parametri angolo di attrito istantaneo (picco) e coesione istantanea (picco) caratteristici	19
6.4 – Definizione dei parametri angolo di attrito residuo e coesione residua caratteristici	21
6.5 – Definizione dei parametri angolo di attrito residuo e coesione residua caratteristici del materiale di riempimento	22
6.6 - Definizione dei parametri angolo di attrito e coesione di progetto relativi alle condizioni di picco e residue	22
7.0 - ORIENTAZIONI DEI FRONTI DI LAVORO E DELLE TECCHIE.....	23
8.0 - ANALISI DEI CARICHI.....	27
8.1. Carichi permanenti - Ammasso roccioso.....	27
8.2. Carichi permanenti non strutturali.....	27
8.3. Carichi variabili.....	27
8.4 Azioni di calcolo.....	27
9.0 - INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA.....	30
10.0 - VERIFICHE DI STABILITÀ DEI FRONTI A CIELO APERTO.....	31

10.1. Fronti a cielo aperto.....	31
10.2. Scivolamento planare – Metodologia di verifica.....	32
10.3. Analisi dei risultati di calcolo.....	33
10.3.1 - Fronti principali nel cantiere inferiore Calacatta.....	34
10.3.2 - Fronti principali nel cantiere intermedio venato.....	39
10.3.3 - Fronti principali nel cantiere superiore venato SW.....	42
10.3.4 - Fronti principali nel cantiere superiore venato SE.....	42
10.4. Scivolamento tridimensionale - Metodologia di calcolo.....	45
10.5. Analisi dei risultati di calcolo.....	46
10.5.1 - Fronti principali nel cantiere Calacatta.....	47
10.5.2 - Fronti principali nel cantiere intermedio venato.....	54
10.5.3 - Fronti principali nel cantiere superiore venato SW.....	58
10.5.4 - Fronti principali nel cantiere superiore venato SE.....	58
10.6. - Instabilità per ribaltamento flessionale - Metodologia di calcolo.....	62
10.7. - Verifiche a ribaltamento flessionale.....	63
10.7.1 - Fronti principali nel cantiere Calacatta.....	63
10.7.2 - Fronti principali nel cantiere intermedio venato.....	65
10.7.3 – Fronti principali nel cantiere superiore venato SW.....	67
10.7.4 - Fronti principali nel cantiere superiore venato SE.....	67
10.8. - Stima dell'altezza critica dei fronti.....	68
11.0 – ANALISI DEL PROGETTO A CIELO APERTO ED INTERAZIONE CON ELEMENTI STRUTTURALI DI RILIEVO.....	69
11.1 – Cantiere Inferiore Calacatta.....	69
11.2 – Cantiere Venato intermedio.....	69
11.3 – Cantiere Venato superiore SW.....	70
11.4 – Cantiere Venato superiore SE.....	70
12.0 – DESCRIZIONE INTERVENTI EFFETTUATI NELLE AREE DI LAVORAZIONE	71
12.1 - Stato attuale dei fronti e descrizione interventi sul cantiere Superiore Venato.....	71
12.2 - Descrizione interventi di consolidamento effettuati sul cantiere inferiore calacatta.....	72

1.0 - PREMESSA

Per incarico della Società ESCAVAZIONE FOSSA TOMEI s.r.l. è stata redatta la presente relazione tecnica sulla stabilità previsionale degli interventi previsti nel progetto di coltivazione della cava Fossa dei Tomei bacino estrattivo di Monte Pallerina nel Comune di Vagli Sotto (LU). La presente costituisce anche aggiornamento ai sensi dell'Art. 52 del D.Lgvo n°624/1996.

Di supporto allo studio si allegano *Carta della Fratturazione e Sezioni Geostrutturali* in scala 1:500 (Tavola 9 e 9B allegata al progetto), aggiornamento della cartografia presentata nel 2019 e nel 2020.

La cava sta lavorando con autorizzazione estrattiva rilasciata con Determinazione Comunale n°99/2019 e PCA n°10/2019.

Si premette che la valutazione di stabilità relativamente alle problematiche del *Cantiere Sotterraneo* che verrà sviluppato nel settore SE del cantiere Venato Superiore è stata sviluppata in altra relazione tecnica che si allega e costituisce documento di completamento alla presente.

2.0 - METODOLOGIE DI INDAGINE

Lo studio è stato affrontato e sviluppato secondo le seguenti fasi:

- prima osservazione dei vecchi fronti residui dei cantieri per individuare eventuali strutture da analizzare e/o controllare;
- rilievo strutturale, mediante l'esecuzione di stendimenti per la raccolta dei dati geomeccanici di base in corrispondenza dei nuovi fronti di lavoro esposti (cantiere superiore, cantiere inferiore zona "calacatta" e strada di arroccamento);
- elaborazione statistica dei nuovi dati raccolti così da integrare le tabelle "Ranges dei sistemi di discontinuità" e le Tabelle "Parametri fisico-meccanici dei sistemi di discontinuità";
- verifica classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso (indice RMR di Bieniawski e G.S.I. di Hoek, Kaiser e Bawden);
- verifica dei parametri geomeccanici principali dell'ammasso;
- verifica dei parametri geomeccanici di resistenza delle famiglie di discontinuità rilevate nella cava;
- per i cantieri a cielo aperto verifica grafica ed analitica mediante programmi di calcolo informatizzato delle potenziali combinazioni cinematiche derivanti dall'interazione frontisistemi di discontinuità per la ricerca di cinematismi da scivolamento planare, ribaltamento e scivolamenti tridimensionali (cunei e di prismi di parete);
- per il cantiere in sotterraneo, dimensionamento preliminare degli elementi strutturali (pilastro e solette) e verifica previsionale dei cinematismi derivanti dalla combinazione tra sistemi di frattura e geometria dello scavo: l'analisi è stata redatta e riportata in un documento a se allegato e di compendio alla presente relazione generale;
- indicazione nei casi di $R_d/E_d < 1$ (resistenza geotecnica globale su valore azione di progetto) di ipotesi di intervento (abbattimento, stabilizzazione, etc.) previa analisi dei parametri geometrici e fisico-meccanici (tipo a g.s., persistenza, angolo tra direzione di scivolamento e fronte, peso statistico del sistema di discontinuità ecc..) al fine di valutare quanto concorrano alla stabilità dei fronti rocciosi;
- riosservazione dei fronti presenti a seguito delle verifiche effettuate, così da individuare eventuali strutture;
- verifica deterministica delle strutture emerse nella fase precedente e descrizione di eventuali interventi stabilizzazione o miglioramento se previsti o già effettuati.

3.0 – DESCRIZIONE DEL PROGETTO

3.1 – Stato attuale del sito (vedi tav.12 di progetto)

La cava Fossa dei Tomei è localizzata nel bacino di M. Pallerina in località Bancaio Alto.

Allo stato attuale presenta all'incirca la forma di un anfiteatro ad "L", con il lato lungo allineato NW-SE e quello corto circa W-E; l'apertura è verso settentrione.

La cava si raggiunge tramite viabilità sterrata la quale, partendo da quella asfaltata che termina all'ingresso della valle di Arnetola, prosegue verso l'unità estrattiva delle Borelle.

La strada è ampia e tale da consentire il transito dei mezzi d'opera e dei camion per il trasporto del materiale a valle; la pendenza è contenuta, con ampi tratti che si sviluppano in pari.

Al fine di una descrizione più comprensibile la cava può essere suddivisa in quattro cantieri principali: il Cantiere Inferiore Calacatta, il Cantiere Intermedio Venato, il Cantiere Superiore Venato SW ed il Cantiere Venato Superiore SE, oltre alle aree servizi-impianti che subiranno limitati spostamenti in funzione dello sviluppo del sito di cava.

- Il Cantiere Inferiore Calacatta è localizzato tra le quote 998/999 m s.l.m., quota del piazzale inferiore e area di accesso alla cava, e quota 1060/1050 m s.l.m., comprendendo i fronti residui posti ad Ovest del piazzale inferiore. Allo stato attuale nell'area non sono in corso lavori di estrazione dei marmi. Il cantiere è stato interessato dalla variante a volume zero, autorizzata nel 2019, con l'esecuzione di un unico avanzamento di 6 metri di altezza che ha portato ad un ampliamento verso Ovest del piazzale inferiore di quota 998/999 m s.l.m.; le lavorazioni previste sono attualmente terminate. Al momento nell'area le uniche lavorazioni condotte sono relative alla riquadratura dei blocchi.
- Il cantiere intermedio venato si sviluppa nella porzione centrale della cava ed interessa le aree comprese tra circa quota 1020 m s.l.m. e 1032 m s.l.m. L'area è attraversata dalla viabilità di accesso al cantiere superiore ed è caratterizzata da un piazzale inferiore posto a quote 1020-1021 m s.l.m. e da un piazzale superiore, più ampio del primo, posto a quota circa 1032 m s.l.m. che si sviluppa al di sotto dei fronti residui con altezza di 20/40 m, al di sopra dei quali si sviluppa il cantiere Superiore Venato. Allo stato attuale non sono in corso lavori di estrazione dei marmi in quanto è stata raggiunta la quota finale prevista dalla variante a volume zero che poneva il piazzale superiore a quota 1032 m s.l.m.
- Il cantiere superiore venato SW è caratterizzato da una escavazione ridotta con fronti residui di limitata altezza, mediamente di 6 metri, ed un sottostante piazzale di piccole dimensioni posto a quota di circa 1064 m s.l.m. Il piazzale di quota 1064 m s.l.m. è attraversato dalla strada di accesso alla parte superiore dei giacimenti. La strada al momento è in corso di completamento.
- Il cantiere superiore venato SE comprende la parte superiore del giacimento ed è l'unica area in cui al momento sono in corso lavori di estrazione dei marmi. L'area attualmente sta operando a cielo aperto con il metodo dei gradoni discendenti e sono in corso le operazioni per raggiungere le quote finali di progetto di 1060 e 1072 m s.l.m. Nel piazzale di lavorazione attuale posto tra le quote 1066 e 1072 m s.l.m. termina la viabilità di arroccamento.

3.2 – Descrizione del progetto e sequenza delle fasi (tav.14-15-16-17)

I cantieri attuali sono raggiungibili da una viabilità interna sviluppata, nella parte inferiore quasi completamente su detrito e che da q.ta 998.0m s.l.m. conduce fino a q.ta 1035.0m s.l.m e nella parte superiore su roccia, ossia la parte che da quota 1035 m s.l.m. Conduce a 1072 m s.l.m.

Il nuovo progetto prevede il completamento della suddetta viabilità che da quota 1072 m s.l.m. giunge a quota circa 1100 m s.l.m., permettendo il collegamento della stessa con la viabilità esistente che conduce alla Cava Museo, sviluppata per intero nei terreni in concessione; sono previsti inoltre alcuni tracciati brevi (collegamento cantiere occidentale calacatta e cantiere superiore sud-ovest venato) che saranno poi assorbiti dalle escavazione durante l'evoluzione del piano di coltivazione.

In dettaglio, in prima fase si prevede l'ampliamento e razionalizzazione degli spazi del cantiere calacatta inferiore; la realizzazione di un nuovo piazzale a q.ta 1026m s.l.m nel cantiere intermedio venato, e la relativa modifica della viabilità di collegamento al cantiere per permettere di accedervi più agevolmente, assieme ad un rimodellamento dei detriti presenti. Per quanto concerne il cantiere superiore venato Sud occidentale, si prevede di realizzare una breve rampa con tornante (partenza da q.ta 1064m s.l.m., arrivo a q.ta 1078m s.l.m.) per accedere al giacimento posto al di sopra della piccola cava presente in loco e realizzarvi tramite splateamenti successivi un primo piazzale di quota 1078 m s.l.m.. Infine anche il cantiere superiore venato SE sarà oggetto di ampliamenti, con la continuazione e l'ampliamento delle lavorazioni già autorizzate.

In seconda fase nel cantiere calacatta inferiore verrà realizzata una viabilità di arroccamento per raggiungere la porzione di giacimento posta al di sopra degli attuali fronti residui e per permettere la realizzazione di un nuovo piazzale di q.ta iniziale 1060m s.l.m. e q.ta finale 1048m s.l.m..

Per quanto concerne il cantiere intermedio venato questo subirà solo un abbassamento con la realizzazione di un nuovo sbasso che porterà il piazzale principale alla q.ta di 1020m s.l.m.. Il cantiere superiore venato Sud occidentale, verrà ampliato il piazzale di quota 1078 m s.l.m. e sarà effettuato anche il collegamento con la strada esistente che porta alla Cava Museo tramite un tratto di viabilità di arroccamento su roccia. Infine, nel cantiere superiore venato SE, si procederà con l'ampliamento del piazzale di q.ta 1060m s.l.m., con l'apertura del cantiere sotterraneo e il tracciamento delle prime gallerie.

Con la terza fase nel cantiere calacatta inferiore continueranno i lavori di escavazione sul piazzale di q.ta 1048 fino al raggiungimento di q.ta 1042m s.l.m., mentre il cantiere intermedio venato non subirà più variazioni a partire da questa fase. Per quanto riguarda il cantiere superiore venato Sud occidentale, questo verrà ampliato con l'escavazione di un ulteriore sbasso ed il raggiungimento di q.ta 1072m s.l.m.; il piazzale principale del cantiere superiore venato SE verrà abbassato da q.ta 1060m s.l.m. a 1054m s.l.m., e di conseguenza anche i pavimenti del sotterraneo.

In quarta fase nel cantiere calacatta inferiore si abbasserà ulteriormente il piazzale di q.ta 1042m s.l.m. fino a q.ta 1036m s.l.m., mentre il cantiere superiore venato Sud occidentale non subirà ulteriori variazioni. Il cantiere superiore venato vedrà il piazzale principale abbassarsi da q.ta 1054m s.l.m. a q.ta 1048m s.l.m., e anche i pavimenti del cantiere sotterraneo verranno abbassati di conseguenza. Il cantiere sotterraneo in questa fase subirà anche un ampliamento con il tracciamento di una nuova galleria in direzione circa NE.

Gli edifici adibiti alle funzioni di mensa, spogliatoio, officina, deposito materie prime ed oli, etc. saranno situati durante le varie fasi di lavorazione nel cantiere calacatta inferiore, sul piazzale di q.ta 1005.0m s.l.m.. I servizi sono già stati in parte collocati nell'area indicata e verranno dotati di un sottofondo in cemento, non subendo ulteriori spostamenti durante tutta l'evoluzione del progetto. Una seconda area servizi sarà realizzata a partire dalla seconda fase sul lato meridionale del piazzale del cantiere venato superiore Sud occidentale, alla q.ta di 1060m s.l.m..

Non sono previste aree servizi o strutture logistiche interne al futuro sotterraneo.

4.0 - RILIEVO STRUTTURALE

4.1 - Riconoscimento delle discontinuità' - caratteri strutturali di rilievo - classificazione dell'ammasso roccioso

La realizzazione del rilievo strutturale, permettendo il riconoscimento dei caratteri fisico-meccanici e geometrici delle singole discontinuità, ha come fine:

- ◆ l'individuazione dei sistemi di discontinuità principali presenti nel sito e le loro caratteristiche geometriche e fisico-meccaniche;
- ◆ la definizione dei parametri utili per la caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso.

I rilievi strutturali sono stati realizzati in accordo con il metodo normalizzato per la descrizione delle discontinuità elaborato dall'I.S.R.M. (*International Society of Rocks Mechanics*, 1978), ben applicabile alla realtà in esame caratterizzata da un limitato sviluppo della fratturazione. Gli stendimenti sono stati realizzati in corrispondenza dei fronti accessibili, anche se una certa difficoltà è stata incontrata a causa dei notevoli accumuli di detrito che sono stoccati in via temporanea alla base della maggior parte dei fronti.

Di ogni discontinuità individuata sono state rilevate le seguenti caratteristiche:

- Geometriche:
 - ◆ orientazione;
 - ◆ spaziatura;
 - ◆ persistenza;

- Fisiche:
 - ◆ scabrezza;
 - ◆ rugosità;
 - ◆ alterazione;
 - ◆ apertura;
 - ◆ riempimento;
 - ◆ presenza d'acqua.

A tal fine si è proceduto tra Giugno 2020 e Ottobre 2020 all'esecuzione di una serie di stendimenti strutturali in corrispondenza dei fronti residui e dei tagli morfologici presenti oltre all'esecuzione di misure puntuali nell'intorno dell'area che sarà oggetto di intervento.

I dati strutturali raccolti sono stati elaborati con le usuali tecniche statistiche al fine di determinare le caratteristiche generali delle varie famiglie di discontinuità presenti nel sito.

L'elaborazione è stata condotta nell'ipotesi generale che la distribuzione dei dati sia di tipo normale (curva gaussiana) con l'ausilio del programma DIPS della Rocscience (Toronto-Canada).

Tale indicazione anche se non può essere a priori determinata, rimandando ad un'analisi molto più dettagliata di una ingente mole di dati, trova supporto nelle indicazioni fornite dal Dr. Hoek che nelle sue pubblicazioni evidenzia come *“a meno di avere a disposizione ingenti moli di dati da cui ricavare una differente distribuzione, la distribuzione normale riesce bene ad approssimare la distribuzione statistica dei parametri geomeccanici”*.

In particolare lo studio, una volta eseguiti gli stendimenti e raccolti i dati in campagna, ha seguito i seguenti passi:

- proiezione generale di tutti i dati relativi all'orientazione delle discontinuità rilevate;
- ricostruzione delle principali sistemi di discontinuità;

- analisi statistica per la definizione delle caratteristiche geometriche e fisico-meccaniche dei sistemi rilevati al fine di ricavare i parametri per caratterizzare l'ammasso roccioso;
- caratterizzazione dell'ammasso roccioso e definizione dei parametri di resistenza dello stesso.

4.2 – Caratteristiche dei sistemi di discontinuità riconosciuti nell'area di intervento

I dati raccolti sono stati elaborati al fine di redigere la tabella A delle caratteristiche fisico-meccaniche dei sistemi delle discontinuità rilevate; di seguito si rimette una breve descrizione delle loro caratteristiche.

Le proiezioni stereografiche, confermando le osservazioni dei rilievi geologico-strutturali di dettaglio, hanno evidenziato la presenza complessivamente di 7 sistemi di discontinuità presenti nell'intera area di cava, anche se con frequenza diversa a seconda del Dominio Strutturale preso in esame. Essi sono stati indicati convenzionalmente con la lettera K seguita da un indice numerico; e da un'altra lettera in caso di ulteriore diversificazione sulla base delle intensità dei poli osservate nelle proiezioni stereografiche.

Si ricorda che l'importanza di un sistema di discontinuità per la caratterizzazione geomeccanica è funzione sia del parametro frequenza ma anche degli altri parametri geometrici caratteristici quali persistenza, spaziatura, etc.

I dati raccolti sono stati elaborati al fine di redigere la Tabella A delle caratteristiche fisico-meccaniche dei sistemi delle discontinuità rilevate; di seguito si rimette una breve descrizione delle loro caratteristiche.

I dati così ottenuti confermano quanto emerso dal precedente studio del 2018, con la sola variante della presenza di un nuovo sistema denominato K6; questo è stato oggetto di studio e verifiche al fine di integrare la presente relazione.

Il sistema K4 è sub parallelo al “verso di macchia”, che nel sito appare coincidere con il “verso meccanico” del materiale.

Per ciò che riguarda il parametro “spaziatura” questo è stato rilevato direttamente sui fronti accessibili in corrispondenza dei tagli a filo, quindi in prossimità dell'ammasso con caratteristiche migliori. Ricordiamo che la cava presenta in generale un basso grado di fratturazione, dimostrato anche dal valore dell'inverso della “*frequenza della fratturazione*”, ottenuto come rapporto tra la lunghezza dei singoli stendimenti (L) ed il numero di fratture genericamente incontrate sullo stendimento (n).

Il parametro “apertura” è risultato nell'analisi statistica avere valori relativamente alti a seguito della condizione generale delle fratture indagate che presentano caratteristicamente la parte superiore vicina alla superficie molte volte carsificata e quindi con valori di apertura da ampi a molto ampi. L'apertura come evidenziato dai tagli morfologici, tende man mano che la frattura penetra nell'ammasso a ridursi sino ad evidenziare in molti casi un “immarmamento” completo della discontinuità.

A favore della sicurezza, come meglio descriveremo in seguito, vi è la scabrezza a “grande scala” che caratteristicamente ricade per oltre il 40% dei casi all'interno della classe “V” (ondulata), con scarti anche di parecchi gradi dal generico piano di riferimento.

L'elaborazione dei dati raccolti è stata eseguita con l'ausilio di programma informatizzato DIPS della Rocscience, che ha permesso anche il trattamento statistico di parte dei dati, utile per la redazione delle tabelle sintetiche che raccolgono le caratteristiche fisico-meccaniche dei vari sistemi riconosciuti.

Allo scopo di evidenziare la giacitura preferenziale delle discontinuità rilevate nel sito sono stati proiettati su reticolo equiangolare di Wulff tutti i poli delle discontinuità rilevate nella cava (Figura 6), sono stati definiti i massimi di frequenza (Figura 7) ed i piani medi dei vari sistemi individuati (Figura 8); i dati dei range dei sistemi ed i relativi piani rappresentativi sono stati riassunti nella seguente Tabella 1.

Sistema	K1a	K1b	K2	K3	K4	K5	K6
Ranges Immersione	215 - 283	048 – 090	259 - 302	304 - 350	007 – 090	103 – 165	305 – 004
Ranges Inclinazione	68 - 89	80 – 89	33 - 62	60 - 85	18 – 75	37 – 66	20 – 55
Piano Rappresentativo	253 - 81	071 - 86	279 - 49	326 - 73	053 – 52	129 - 48	330 - 40

Tabella 1 – sistemi di fratturazione della Cava Fossa dei Tomei

Sistema K1a

Il sistema rappresenta l'11.3% dei dati esaminati, ed è caratterizzato da fratture orientate Ovest Sud-Ovest dotate di un'inclinazione media di circa 81°. Le discontinuità mostrano una lunghezza media di circa 7m, e risultano persistenti per il 58.6% dei casi, ricadendo per oltre il 60% classe 10-20 e con un picco secondario del 17.3% nella classe 1-3; la spaziatura media si attesta su circa 1.2m, con il 44.6% dei giunti ascrivibile alla classe 200-600 ed il 24.1% alla classe 6-20. Per quanto concerne la forma a grande scala i dati risultano quasi equamente distribuiti tra le tre categorie II, V e VIII; il valore medio di apertura è di circa 7.3mm, con circa il 76% dei dati ascrivibile alla classe 0-0.5 ed un 3.4% di fratture risultate esposte. Poco meno del 20% delle discontinuità risulta alterata, principalmente sotto forma di superfici carnificate (10.4%); i riempimenti sono assenti, mentre l'acqua è presente per il 3.5% come umidità e per circa il 7% come venute superficiali. Per quanto riguarda invece il JRC oltre il % dei dati ricade nella categoria 4-6, mentre il 31% è ascrivibile alla categoria 2-4.

Sistema K1b

Sistema opposto al precedente e che rappresenta il 6.6% delle misure esaminate, caratterizzato da fratture orientate Est Nord-Est e con inclinazione media di circa 86°. Si tratta di fratture principalmente persistenti (82.3%) e con lunghezza media di circa 9m; il 70% circa dei dati è ascrivibile alla classe 10-20, con un picco secondario del 17.6% ricadente invece nella classe 3-10. La spaziatura media si attesta sui circa 2.6m, con il 40% circa delle discontinuità ricadenti nella classe 200-600 ed un picco secondario del 30% nella classe precedente 60-200; per quanto riguarda la forma a grande scala il 58.8% circa dei giunti ascrivibile alla categoria "VIII" ed il 23.6% alla categoria "V". L'apertura media è di circa 1.6mm, con il 53% circa delle misure ricadenti nella classe 0-0.5 ed un 12% circa di fratture esposte; il 17.6% delle discontinuità presenta tracce di ossidazione ed il 6% circa di carnificazione, mentre il 30% circa dei casi mostra riempimenti formati da terra o da terra e sassi (rispettivamente il 17.6% e l'11.8%). L'acqua è presente solo nel 6% circa dei casi sotto forma di superfici umide; il JRC risulta per il 35.3% ascrivibile alla classe 6-8, mentre per il 58.8% risulta equamente suddiviso tra le classi 3-4 e 4-6.

Sistema K2

Sistema rappresentante il 10.6% dei dati, con piano rappresentativo orientato principalmente verso Ovest ed inclinazione media di circa 49°; si tratta di fratture persistenti nel 59.3% dei casi, con un valore medio di persistenza di circa 6.4m ed il 52% circa dei dati ricadenti nella classe 10-20. La spaziatura media è di circa 2.1m, con il 34.3% ed il 33.6% circa dei giunti ascrivibili rispettivamente alle classi 60-200 e 200-600; la forma a grande scala ricade per il 55.6% nella categoria "V", con un picco secondario del 29.6% nella categoria "VIII". L'apertura media si attesta sui 9mm, con il 55.6% circa delle discontinuità ricadenti nella classe 0-0.5 ed il 22.2% invece esposto; il 18.5% delle superfici esaminate mostra tracce di ossidazione, mentre il meno dell'8% risultano carsificate o miste. I riempimenti sono formati per l'11.1% da terra e per il 7.4% da sassi e terra; l'acqua invece è presente solo nel 3.7% dei casi sotto forma di superfici umide. Per quanto concerne il JRC il 40% dei dati ricade nella categoria 4-6, mentre sono ascrivibile alle categorie 2-4 e 6-8 rispettivamente il 29.6% ed il 18.6% dei giunti.

Sistema K3

Il sistema rappresenta circa il 7.8% dei dati raccolti, e comprende fratture con orientazione verso Nord Ovest dotate di inclinazione media di circa 73°. Si tratta di giunti per il 70% equamente suddivisibile nelle categorie persistenti e sub-persistenti, con un valore di lunghezza medio di circa 4.5m ed il 90% delle misure ricadenti in maniera eguale nelle classi 1-3, 3-10 e 10-20; la spaziatura media è di circa 1.6m, con il 40.1% dei giunti ascrivibili alla classe 6-20 ed i rimanenti ricadenti nelle classi 60-200 e 200-600, rispettivamente del 27.6% e del 32.3%. Per quanto riguarda la forma a grande scala il 60% dei dati circa è ascrivibile alla categoria "VIII" ed il rimanente 40% è equamente suddiviso nelle altre due categorie "V" e "II"; l'apertura media è di 3.6mm, con il 60% dei dati ricadenti in classe 0-0.5 ed un 30% circa invece esposti. Il 10% delle fratture risulta ossidato ed il 5% circa sia ossidato che carsificato, sono praticamente assenti invece i riempimenti (solo il 5%, composti da sassi); l'acqua è presente nel 10% delle fratture sotto forma di superfici umide e nel 5% come venute. Per quanto concerne il JRC circa il 50% dei giunti ricade nella categoria 2-4, con un picco secondario di circa il 35% ascrivibile invece alla categoria 4-6.

Sistema K4

Il sistema principale del sito, rappresentane il 36.7% delle misure raccolte ed analizzate, immergenti in direzione Nord Est e con inclinazione media di circa 52°. Si tratta di fratture a carattere persistente per circa il 57.4% dei casi, con un valore medio di circa 8.2m ed il 44.7% delle fratture ascrivibili alla classe 10-20, con un picco secondario del circa il 15% nella classe 3-10; la spaziatura media si attesta su valori di circa 1.6m, con oltre il 31.6% dei giunti ricadenti nella classe 60-200 ed un picco secondario appartenente alla classe 200-600 di circa il 26%. La forma a grande scala per il 75.5% è quasi equamente suddivisibile tra le categorie "V" e "VIII", l'apertura media si attesta sui circa 2mm, con circa il 56% delle discontinuità ascrivibili però alla classe 0-0.5 ed un 24.5% di fratture esposte. Limitata presenza di superfici ossidate, carnificate o una combinazione di entrambe le alterazioni (rispettivamente il 9.7%, il 4.2% e nuovamente il 4.2% dei dati esaminati). Il 13% circa dei giunti mostra riempimenti formati da terra e/o sassi, mentre l'acqua è stata rilevata sotto forma di patine umide nel 4.2% dei casi e come venute solo nell'1.1%; per quanto riguarda il JRC circa il 74.4% dei dati è equamente suddivisibile tra le categorie 2-4 e 4-6, con un picco secondario del 14.9% nella categoria 6-8.

Sistema K5

Sistema rappresentane il 10.6% dei dati raccolti, immergenti in direzione circa opposta a K3 (Sud Est) e con inclinazione media di circa 48°; sono fratture a carattere persistente nel 63% circa dei casi, con un valore di lunghezza medio di circa 8m ed il 55.6% delle misure esaminate ascrivibili alla classe 10-20, con un picco secondario del 33.3% nella classe 3-10. La spaziatura media è di circa 4.5m, valore più alto registrato nell'area d'indagine, con la maggior parte dei giunti ricadenti nelle classi 60-200, 200-600 e >600 (rispettivamente 39.8%, 29.2% e 27.5%); Per quanto riguarda la forma a grande scala oltre l'80% delle discontinuità è quasi equamente distribuito tra le categorie "V" e "VIII"; l'apertura media è di circa 0.1mm, quasi il 70% dei dati appartiene alla classe 0-0.5 ed il 25.9% risulta invece esposto. L'11% circa delle fratture presenta tracce di ossidazione, il 7.4% di carsismo e circa il 4% un unione delle due alterazioni; i riempimenti, così come l'acqua, risultano invece assenti. Il JRC è ascrivibile per il 55.6% alla classe 4-6, con un picco secondario del 25.9% nella classe 2-4.

Sistema K6

Sistema con orientazione simile a K3 (immergente verso Nord Ovest), ma dotato di inclinazione media minore (circa 40°) e rappresentativo del 16.4% delle misure raccolte ed analizzate. Le fratture mostrano carattere persistente nel 59.5% dei casi e sub-persistente per il 30.9%, con un valore di lunghezza medio di circa 6.6m ed un 50% dei dati ascrivibile alla classe 10-20; la spaziatura media è di circa 2.1m, con due picchi principali del 24.6% e del 21.8% ricadenti nelle classi 200-600 e 60-200. Quasi il 60% dei giunti presenta una forma a grande scala di tipo "V", mentre i rimanenti ricadono per il 28.6% nella tipologia "VIII" e per il restante 14.3% nella tipologia

“II”; l’apertura media è di circa 2.8mm, con il 64.3% delle discontinuità ascrivibili alla classe 0-0.5 ed il 21.4% risultato esposto. Il 15% circa delle superfici esaminate mostra segni di ossidazione e/o carsismo, mentre il 12% circa presenta riempimenti formati da terra o sassi. L’acqua è riscontrabile come patina umida nel 9.5% delle fratture; per quanto concerne il JRC il 57.1% dei dati appartiene alla categoria 2-4, con un picco secondario del 23.8% ascrivibile alla categoria 4-6.

Versi di Macchia

In corrispondenza degli stendimenti si sono effettuate delle misure del “verso di macchia” – S1; i range di variazione del sito di cava sono riportati nella tabella seguente:

Tabella 2

	RANGE IMMERSIONE	RANGE INCLINAZIONE
S1	45 - 90	40 - 65

4.3 - Caratteri strutturali di rilievo

Il rilievo geologico-strutturale ha evidenziato nell’area di intervento la presenza di alcuni settori con differenti caratteristiche geometriche; elemento dominante per la definizione delle “zone di omogeneità” sono stati i parametri “spaziatura” e “persistenza”.

Sulla base di questo sono state distinte 2 classi principali di omogeneità:

❖ **AREA NON PRODUTTIVA:** vi sono state ascritte le fasce cataclastiche, “finimenti”, e che interessano il giacimento; queste sono caratterizzate da un volume roccioso unitario decimetrico o di poco superiore, comunque non commerciabile.

❖ **AREA PRODUTTIVA:** rappresenta la maggior parte dell’area indagata. Essa è caratterizzata dalla presenza di un numero limitato di discontinuità con spaziatura media ampiamente superiore al metro, condizione tale da permettere di coltivare il sito per produzione di blocchi di materiale lapideo ornamentale.

Saranno evidenziati i caratteri strutturali di rilievo relativamente alle aree di maggiore interesse localizzate nell’area nordoccidentale (Area Calacatta) e nella porzione meridionale del sito (Area Venato).

Area Calacatta

Rappresenta la zona nordoccidentale del sito, in corrispondenza di un sottotecchia formatosi per lavorazioni effettuate diversi decenni fa.

Il carattere di maggior rilievo dal punto di vista strutturale è rappresentato dalla presenza di un tratto aggettante derivato dalla scopertura di una serie di fratture ad alta persistenza (>50m) orientate circa NNE-SSW con immersione ad W. Le inclinazioni medie risultano intorno ai 70°-80°, il sistema di riferimento è il K3. La disposizione di queste discontinuità, tutte sub-parallele tra loro, ricorda quella di *un mazzo di carte* inclinato di circa 70° con immersione a W, ed in cui ogni elemento risulta autoportante ed incastrato all’interno dell’ammasso.

In particolare, come mostrato dalla foto sottostante, sono individuate tre discontinuità principali che caratterizzano questa porzione e che attraversano l’area, individuate con la stessa notazione usata per la Carta della Fratturazione per un confronto.

Nel rilievo in parete sono state verificate le discontinuità che con immersione a N-NW tagliavano le strutture principali sopra descritte. Tali discontinuità presentavano immersione in direzione N-NW, risultando scrivibili al sistema K3, definendo comunque volumetrie “incastrate” all’interno dell’ammasso in direzione NW e continue in direzione N-S. Le strutture maggiori sono state oggetto di verifica visiva e non hanno indicato al momento segni di movimento. Volumetrie definite dai sistemi K2 (fratture A-B-C e similari) e K3, in parte isolate da vecchi tagli di coltivazione sono state oggetto di disaggio meccanico (martinetto e cuscini idraulici) nell’ottobre 2018.

Successivamente, il fronte, a seguito dell'approvazione della variante a volume zero, nel periodo luglio-agosto 2019, è stato interessato da un intervento di pulizia e disgaggio a cui sono seguiti interventi di consolidamento e messa in sicurezza da parte della ditta Vertical Services.

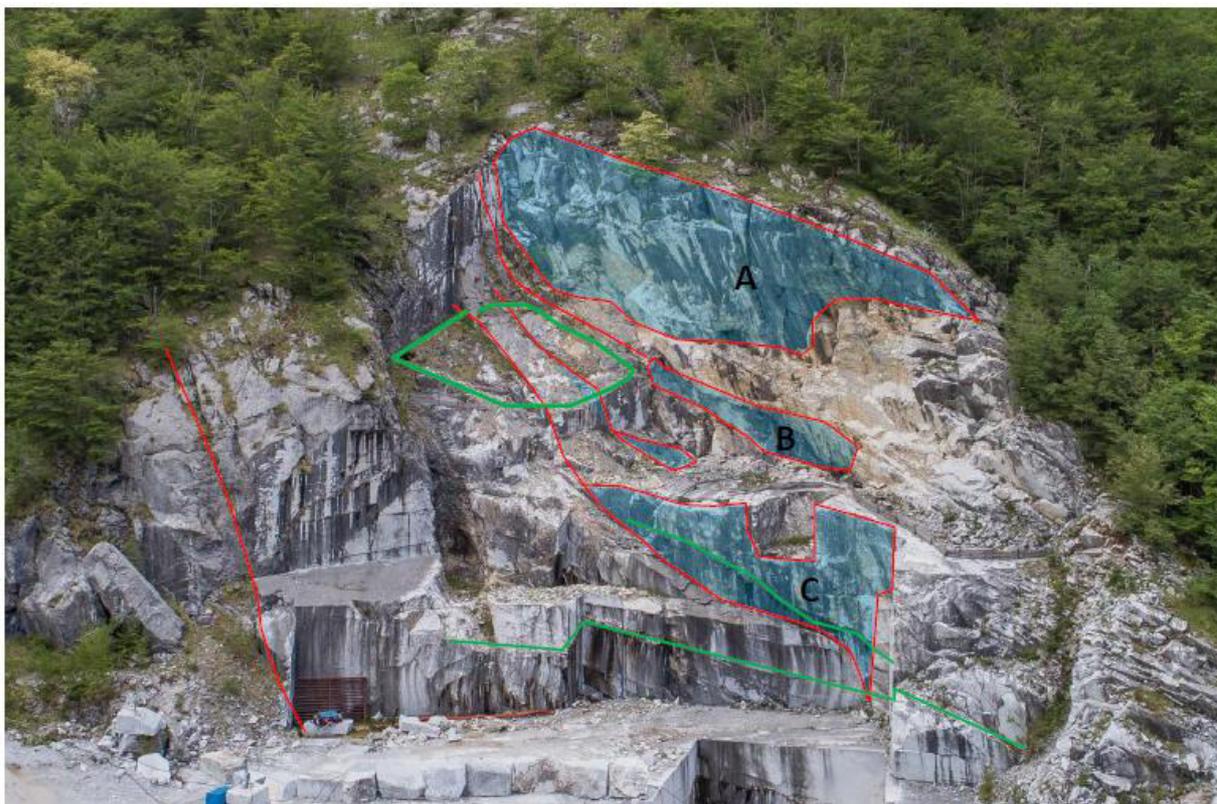


Foto 1: discontinuità principali sistema K2 presenti nell'area NW costituenti la struttura di questa porzione di ammasso roccioso. In verde le tracce del sistema K3

Area Venato

L'area Venato può al momento essere distinta in due sottozone: quella più orientale è costituita da una tecchia con dislivello di circa 50m, che termina in corrispondenza di un modesto anfiteatro aperto verso N; l'occidentale è rappresentata dalle bancate attualmente poste tra le q.te di 1032 e 1060/1072 m s.l.m.. Le bancate poste a quote superiori sono quelle al momento oggetto di lavorazione.

Ancora più ad ovest delle aree di lavorazione, inoltre, è stata realizzata una nuova viabilità di arroccamento per raggiungere i giacimenti posti al di sopra dell'attuale cantiere.

Gli elementi strutturali di rilievo di quest'area sono rappresentati da una serie di fratture ad elevata persistenza (>50m) che immergono verso E-NE con inclinazione da 50° a 60°, ben visibili sull'intera tecchia e sulle prosecuzioni all'interno dell'ammasso, ascrivibili ai sistemi K1b e K4.

Una serie di fratture ascrivibili a questi sistemi sono presenti inoltre nella porzione superiore della tecchia, ma con persistenza più limitata.

Le lavorazioni condotte in passato, e che hanno determinato la tecchia esistente, hanno di fatto caratterizzato tutto il lato orientale dell'anfiteatro presente, in cui oltre ad una serie di discontinuità sono visibili aree caratterizzate da botte da mina, usate per la realizzazione dei canali atti al passaggio dei montanti per il filo elicoidale.

I canali inoltre sono stati realizzati sia in corrispondenza di fratture ad elevata persistenza che in corrispondenza di aree di finimento (tracce tratteggiate verdi).

Nella *tecchia* ed anche sui fronti di lavoro si rinvencono segni di "botte da mina" conseguenti al metodo di escavazione che veniva condotto in passato. In particolare la freccia è in corrispondenza di una serie di forzature conseguenti a questa metodologia estrattiva.

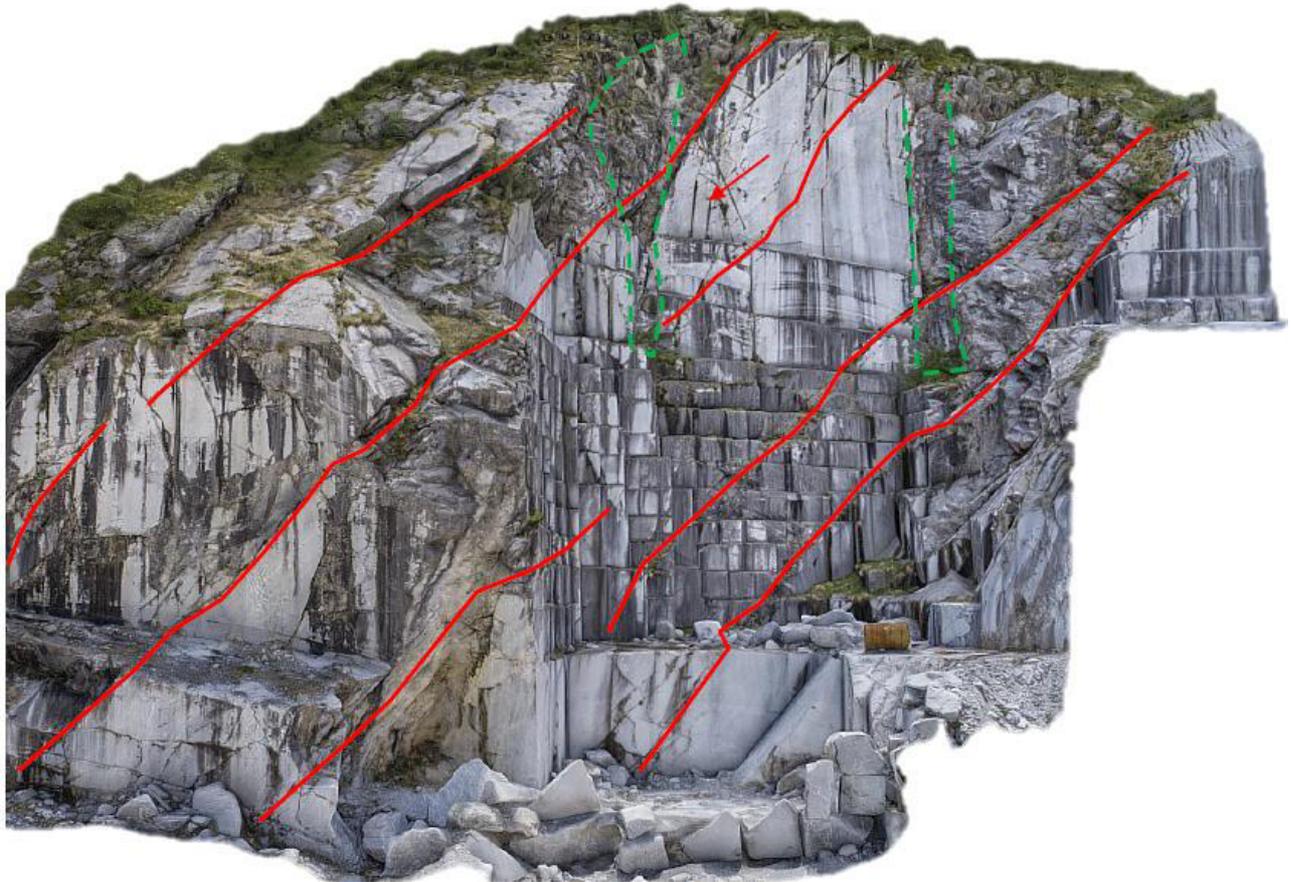


Foto 2: discontinuità principali presenti nell'area meridionale in corrispondenza dell'area orientale del cantiere Superiore (Venato) che proseguono fino al cantiere Intermedio. La variante prevede la riattivazione della porzione superiore del giacimento previa realizzazione di una viabilità di accesso che è in corso di realizzazione.

5.0 – CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO NELL'AREA STUDIATA

In questo paragrafo si procede alla caratterizzazione dell'ammasso secondo il metodo di Bieniawski (1989) ed il GSI (Geological strength - Index-Hoek&Brown, 2002), sulla base dei dati geostrutturali e delle osservazioni condotte durante la campagna d'indagine nell'area di interesse ed in un interno significativo.

Poiché nel Dominio 1 è stato possibile procedere ad un rilevamento di dettaglio dei dati strutturali, vista la migliore accessibilità e la presenza di fronti aperti, si procederà a determinare le classi di appartenenza di questo per poi declassare il Dominio 2 in funzione delle osservazioni e dei dati generali rilevati durante la campagna di indagine.

CLASSIFICAZIONE DI BIENIAWSKI (Indice RMR, 1989):

Il metodo consiste nell'assegnare un valore (indice RMR) risultante dalla sommatoria di cinque indici stimati in relazione alle caratteristiche dell'ammasso roccioso e delle discontinuità che lo caratterizzano e riferite al peso statistico di ogni sistema. Il valore di base detto anche BRMR (basic RMR) viene poi corretto in funzione dell'orientazione esistente tra fronti principali e sistemi di discontinuità. La sommatoria del BRMR con questo indice finale fornisce l'RMR (Rock Mass Rating) che viene raffrontato a cinque classi di qualità dell'ammasso (Tabella 3 e 4).

Per la determinazione di RQD in mancanza di dati sperimentali relativi a carotaggi si è utilizzata la correlazione che fa uso del numero di giunti a mc, Jv, con l'espressione modificata da Palmström (1995):

$$RQD\% = 110 - 2.5J_v$$

con

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \dots + \frac{1}{S_n} = 3.5$$

dove S1...Sn spaziature dei vari sistemi di discontinuità del sito; da cui RQD=0 per Jv >44 e 100% per Jv <2.5. Questa formula ha fornito:

- nel caso del Dominio Strutturale 1 un valore prossimo al 100%, in considerazione di un Jv stimato in 3,5;
- nel caso del Dominio Strutturale 2 ha fornito un valore di RQD pari al 40%, in considerazione di un Jv stimato in 14.

FOSSA DEI TOMEI - DOMINIO 1 (MARMO)

	PARAMETRO	Valori riscontrati	INDICE RMR	Note
1	Resistenza roccia	80-100MPa	9	Valore medio relativo ad una resistenza monoassiale di 90MPa
2	RQD	100%	18	Valore cautelativo pari a 90% sebbene la stima con Jv fornisca un valore superiore
3	Spaziature giunti	Valore mediato	Vedi Tab. B	Il range è riferito ai valori di spaziatura dei sistemi persistenti
4	Condizione dei giunti	Lunghezza, Apertura, Rugosità, Riempimento, Alterazione	Vedi Tab. B	Il range è riferito ai valori dei sistemi persistenti
5	Condizioni idrauliche		Vedi Tab. B	
		Totale somma voci 3-4-5	48	Risultato elaborazione Tab.B
	BRMR	Valore stimato	75	
	Corr. Orient. Giunti		-8	Risultato elaborazione Tab.D
	RMR	Valore stimato	67	

Tabella 3: valore di BMR DOMINIO 1: assegnazione dei parametri di Bieniawski, 1989.

Dalla tabella 3 si evince che l'area è ascrivibile alla classe "buona" di Bieniawski (1989).

FOSSA DEI TOMEI - DOMINIO 2 (FINIMENTO-CAPPELLACCIO)

	PARAMETRO	Valori riscontrati	INDICE RMR	Note
1	Resistenza roccia	80-100MPa	9	Valore medio relativo ad una resistenza monoassiale di 90MPa
2	RQD	40%	6	Valore cautelativo pari a 25% sebbene la stima con Jv fornisca un valore superiore
3	Spaziature giunti	Valore mediato	Vedi Tab. C	Il range è riferito ai valori di spaziatura dei sistemi persistenti
4	Condizione dei giunti	Lunghezza, Apertura, Rugosità, Riempimento, Alterazione	Vedi Tab. C	Il range è riferito ai valori dei sistemi persistenti
5	Condizioni idrauliche		Vedi Tab. C	
		Totale somma voci 3-4-5	33	Risultato elaborazione Tab.C
	BRMR	Valore stimato	48	
	Corr. Orient. Giunti		-8	Risultato elaborazione Tab.D
	RMR	Valore stimato	40	

Tabella 4: valore di BMR DOMINIO 2: assegnazione dei parametri di Bieniawski, 1989.

Dalla tabella 4 si evince che l'area è ascrivibile alla classe "discreta" di Bieniawski (1989), al limite con la classe "scadente".

CLASSIFICAZIONE DI HOEK-KAISER-BAWDEN (Indice GSI, 1995-2002):

Questa classificazione fornisce un sistema per valutare la riduzione della resistenza dell'ammasso in funzione delle differenti condizioni geologiche in cui si trova lo stesso.

Delle versioni elaborate è stata usata l'ultima, che utilizza la tabella modificata da Sonmez-Ulusay (1999), Tabella G, che permette di dare un valore numerico ai parametri "condizione strutturale" (SR) e "condizione delle discontinuità" (SCR), in maniera meno soggettiva rispetto alla semplice descrizione basata sulle precedenti tabelle. La stima del parametro SR è basata sul numero di discontinuità per mc di roccia (Jv), mentre l'indice SCR parte dalla stessa base relativa alla valutazione delle condizioni delle discontinuità per la stima dell'indice RMR di Bieniawski.

Per il DOMINIO 1 sono stati stimati dei valori di Jv (joints/mc) di 3.5 corrispondenti ad un SR = 72; con un valore di SCR pari a 12.4, Tabella E. Entrando con tali valori all'interno della tabella G sopra richiamata si è stimato un valore di GSI cautelativo uguale a 60.

Si ricorda inoltre che una stima del valore di GSI si può ottenere anche dal valore di BRMR, con la seguente espressione:

$$\mathbf{GSI = BRMR - 5 = 75 - 5 = 70}$$

che fornisce un valore di GSI = 70; in considerazione del valore stimato per via diretta con le tabelle degli autori e del valore ricavato dal BMR si ritiene che sia utilizzabile un valore cautelativo di **GSI=60**

Questo corrisponde ad un ammasso con struttura “fratturata- a blocchi” e con condizioni delle discontinuità “discrete”.

Per il DOMINIO 2 sono stati stimati dei valori di Jv (joints/mc) di 14 corrispondenti ad un SR = 40; con un valore di SCR pari a 8,7. Entrando con tali valori all'interno della tabella F sopra richiamata si è stimato un valore di GSI uguale a 35.

Si ricorda inoltre che una stima del valore di GSI si può ottenere anche dal valore di BRMR, con la seguente espressione:

$$\mathbf{GSI = BRMR - 5 = 48 - 5 = 43}$$

che fornisce un valore di GSI = 43. In considerazione del valore stimato per via diretta con le tabelle degli autori confrontato con il valore ricavato dal BMR e considerato quanto visibile in affioramento, si ritiene che sia più prudentiale un valore di **GSI=35**

Questo corrisponde ad un ammasso con struttura “ammasso disturbato tettonicamente” e con condizioni delle discontinuità “scadenti/discrete”.

6.0 - STIMA DEI PARAMETRI GEOMECCANICI DELL'AMMASSO ROCCIOSO

6.1 - Criterio di HOEK&BROWN

Per la definizione della legge di comportamento dell'ammasso roccioso si fa riferimento al criterio di rottura di HOEK-BROWN.

A partire dall'involuppo di resistenza curvilineo (piano σ - τ) è possibile definire, un angolo di attrito interno ed una coesione equivalenti, rappresentativi di un ipotetico involuppo di Mohr-Coulomb, ottenuto con una retta tangente all'involuppo curvilineo.

L'elaborazione dell'involuppo di Hoek e Brown e del relativo involuppo di Mohr-Coulomb per l'ammasso sono state effettuate utilizzando il programma di calcolo ROCKLAB 1.0 (versione 2002) della Rocscience Inc.(Toronto).-

L'elaborazione dei dati si differenzia da quella precedente (anno 1997) sostanzialmente per l'introduzione di un nuovo parametro, chiamato “fattore disturbo - D” che tiene conto delle caratteristiche di disturbo indotte dalle operazioni di scavo. In particolare il parametro D varia da un minimo di zero, caso di ammassi non disturbati o con disturbo minimo, ad un massimo di 1 (caso di massimo disturbo, per esempio uso massiccio di esplosivo). Per l'assegnazione del valore di tale parametro si deve inoltre considerare la finalità dell'opera a cui si sta lavorando: se per esempio si tratta di una galleria, o dello studio di stabilità di una parete rocciosa.

Premesso ciò, i parametri utili per la definizione delle caratteristiche di resistenza dell'ammasso necessari per poter operare con il criterio di Hoek&Brown sono rappresentati da:

- valore di σ_{ci} (sigci) resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta: 90 MPa;
- valore di **GSI** (Geological Strenght Index, prima definito);
- parametro adimensionale “**mi**” tabellato in funzione del tipo di roccia oggetto di indagine, per il marmo 9 ± 3 : valore adoperato 9;
- fattore disturbo “D”, posto uguale a 0.0 (scavo completamente meccanizzato).

Si riporta di seguito l'espressione matematica della legge di comportamento di Hoek&Brown, utilizzata dal programma RocLab per la valutazione dei parametri di resistenza:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} (m (\sigma_3/\sigma_{ci}) + s)^a \quad (1)$$

con:

- σ_1 tensione principale massima;
- σ_3 tensione principale minima;
- $m = m_i e^{(GSI - 100)/(28-14D)}$ ed m_i tabellato in funzione del tipo di roccia, nel caso del "marmo" si assumerà $m_i=9$;
- $s = e^{(GSI - 100)/(9-3D)}$
- $a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} (e^{(-GSI/15)} - e^{(-20/3)})$

mentre nella (1) σ_{ci} la resistenza a compressione semplice della matrice rocciosa, posta pari a 100MPa.

Sostituendo nelle espressioni sopra i valori di GSI si ottengono i valori per m e per s che sono utilizzati per derivare la **resistenza a compressione semplice dell'ammasso**; imponendo quindi $\sigma_3 = 0$ (confinamento nullo) l'espressione assume la forma:

$$\sigma_{cm} = \sigma_{ci}(s)^a = \sigma_{ci} \sqrt{s}$$

con il valore di a che può essere approssimato a 1/2.

Per la **resistenza a trazione** il criterio utilizza la seguente espressione:

$$\sigma_{tm} = (s \sigma_{ci}) / m$$

Per il **modulo di deformabilità** l'espressione usata dal programma è la seguente:

$$E \text{ (GPa)} = (1-D/2) 10^{((GSI-10)/40)} \text{ per } \sigma_{ci} \geq 100 \text{MPa}$$

Quindi imponendo nel programma citato (o semplicemente sostituendo nelle espressioni sopra) i valori stimati si possono ottenere al variare di questi in funzione dei differenti domini strutturali, i relativi parametri di resistenza richiesti.

Tabella 5 - Dominio 1 Marmo, GSI= 60

PARAMETRO AMMASSO	VALORE STIMATO
Resistenza a compressione σ_{cm}	9.631MPa
Resistenza globale	18.770MPa
Resistenza a trazione σ_{tm}	-0.490MPa
Modulo di deformazione E	16870.24MPa

Tabella 6 - Dominio 2, GSI= 35

PARAMETRO AMMASSO	VALORE STIMATO
Resistenza a compressione σ_{cm}	2.167MPa
Resistenza globale	10.607MPa
Resistenza a trazione σ_{tm}	-0.074MPa
Modulo di deformazione E	4000.56MPa

Nelle figure 9-10 sono riportati gli involuipi delle curve di resistenza e delle rette tangenti ottenute come involuppo alle curve di Hoek&Brown utilizzando il criterio di rottura di Mohr-Coulomb; l'andamento della retta determina angolo di attrito e coesione secondo la legge di comportamento di Mohr-Coulomb in termini di angolo di attrito e coesione caratteristici dell'ammasso.

6.2 - Resistenza al taglio delle discontinuità'

Anche in questo caso non si registrano variazioni nei valori immessi e nei risultati ottenuti rispetto a quanto già presentato con la precedente relazione di stabilità del Settembre 2018, pertanto si ripropone la medesima analisi con i relativi risultati.

Attraverso l'espressione di Barton-Bandis $\tau = \sigma_n \tan \phi_p$, si è calcolata la resistenza della discontinuità alla rottura (τ) per ogni famiglia presente nei vari cantieri di lavoro in cui è stato suddiviso il sito valutando il ϕ_p (angolo di picco alla rottura) con la seguente espressione:

$$\phi_p = \phi_b + (\text{JRC Log JCS}/\sigma_n) + i_o$$

dove:

- ϕ_b = angolo di base del materiale marmo;
- JRC (Joint Roughness Coefficient) è il valore di rugosità a piccola scala della discontinuità;
- JCS (Joint Wall Compressive Strength) è il valore di resistenza alla compressione delle pareti del giunto;
- i_o rappresenta l'angolo di ondulazione a grande scala della discontinuità (parametro "scabrezza" – forma, vedi tabelle caratteristiche fisico-meccaniche);
- σ_n carico agente normalmente alla parete del giunto.

Angolo di attrito di base del materiale - ϕ_b ed angolo residuo - ϕ_r

Il valore dell'angolo di attrito di base varia da materiale a materiale; in particolare per il marmo si può assumere come indicativo il valore di 30°-32°. Questi valori sono stati ricavati da prove effettuate su marmi del carrarese in siti differenti (vedi documento "Analisi di Metodologie di Calcolo e Sperimentali applicabili nelle valutazioni statiche in coltivazione di pietra ornamentale" – Centro Studi per la Fisica delle Rocce – Torino) o riportati su testi specifici con valori variabili da 35°-45° per il marmo (*Geoingegneria*, Gonzales de Vallejo, 2005).

In verità l'espressione di Barton - Bandis elaborata nel 1977 relativa al valore di ϕ_p vuole al posto del valore di ϕ_b il valore ϕ_r (angolo di attrito residuo), definito secondo la relazione di Barton-Choubey dalla seguente espressione:

$$\phi_r = (\phi_b - 20^\circ) + 20^\circ (r/R)$$

dove r/R sono rispettivamente la misura dei rimbalzi del martello di Schmidt sulla parete del giunto bagnata e su quella asciutta. In effetti le prove sclerometriche sono state condotte su di un numero limitato di fratture esposte appartenenti alle famiglie rilevate, e non è stato possibile definire univocamente due serie differenti di rimbalzi nelle condizioni richieste. D'altro canto l'inserimento al posto dei valori di r/R di quelli ricavati come media dei valori sclerometrici delle resistenze delle pareti dei giunti in rapporto alla matrice completamente sana (roccia intatta) appare troppo penalizzante. Pertanto nell'espressione sopra, in mancanza di dati di dettaglio, il valore di ϕ_p verrà stimato considerando come ϕ_r il valore di attrito di base del materiale. Tale assunzione trova parziale giustificazione anche nella scelta successiva di considerare il valore di i_o nullo (ulteriore riduzione all'angolo di picco), mentre l'osservazione delle tabelle delle caratteristiche fisico meccaniche dei sistemi di discontinuità giustificano valori sicuramente diversi da zero per questo parametro (si veda la tipologia di forma a grande scala).

JRC – Scabrezza delle superfici dei giunti

Questo parametro è stato valutato utilizzando il pettine di Barton su superfici esposte indicative delle varie famiglie individuate (vedi sotto alcuni profili rilevati in cava).

L'analisi condotta ha mostrato che oltre la metà delle superfici indagate presenta un profilo ricadente all'interno della classe 2-4 (talvolta dubbio con 4-6), mentre in alcuni casi si sono osservate fratture avere valori di JRC variabili fino alla classe 10-12.

Nella tabella A relativa alla definizione dei parametri fisico meccanici dei sistemi di discontinuità rilevati sono state distinte in forma percentuale le differenze nelle varie classi di Barton per le famiglie indagate. Nelle valutazioni che seguiranno sarà assunto per questo parametro il valore minimo della famiglia (classe 2-4 valore 2) e massimo (classe 10-12 valore 12), che saranno poi combinati con le altre grandezze che definiscono la resistenza del giunto.

JCS – Resistenza delle pareti dei giunti

Come per il parametro precedente anche per questo è stata condotta una campagna di rilevamento sulle fratture esposte delle famiglie indagate con sclerometro da roccia GEOHAMMER marca *Eurosit*.

La campagna è stata condotta con l'uso di una dima a più fori fornita dalla ditta produttrice dello sclerometro. Seguendo le indicazioni del manuale della società produttrice, è consigliato di rilevare almeno nove misure condotte in corrispondenza della faccia della discontinuità in esame.

In molti casi i test hanno fornito risultati con valori sovrapponibili e talvolta anche superiori a quelli della matrice sana. Si è pertanto deciso di stimare i valori di JCS da utilizzare nelle verifiche seguenti attraverso quelli minimi rilevati per le varie famiglie.

Il valore mediato è stato poi inserito nelle curve di regressione fornite dalla ditta costruttrice da cui si sono ricavati i valori di resistenza in MPa dei giunti esaminati.

Di seguito si rimette uno specchietto indicativo dei risultati ottenuti per le varie famiglie riportando il valore medio rilevato:

Famiglia	JCS medio MPa
K1a	45
K1b	45
K2	45
K3	45
K4	45
K5	45
K6	45

Angolo di ondulazione a grande scala delle discontinuità – i_0

Le superfici di discontinuità (fratture, piani di stratificazione, etc.) presentano sovente oltre a rugosità alla piccola scala, ondulazioni alla grande scala. Queste si sono cercate di descrivere in forma qualitativa nella tabella A allegata sulle caratteristiche fisico-meccaniche (forma a g.s.), ma la loro descrizione in forma quantitativa risulta di evidente difficoltà. Pertanto, essendo di fatto questo un parametro che tende ad accrescere il valore di angolo di picco nella formulazione sopra riportata, si è deciso di porlo cautelativamente pari a zero nella parametrizzazione che seguirà.

6.3 – Definizione dei parametri angolo di attrito istantaneo (picco) e coesione istantanea (picco) caratteristici

Per la definizione dei parametri da utilizzare nelle verifiche, si ricorda che l'involuppo di resistenza, costruito al variare della tensione normale agente sul piano di discontinuità (legge di

Barton-Bandis), è di tipo curvilineo (criterio di rottura di Barton-Choubey), con curvatura che tende all'infinito per valori elevati della tensione normale σ_n .

Tuttavia le analisi all'equilibrio limite sono effettuate in termini di coesione (c) e angolo di attrito (ϕ) (legge lineare di Mohr-Coulomb), i cui valori possono essere ricavati dall'involuppo di Barton, tramite semplici calcoli matematici. Derivando, rispetto alla tensione è infatti possibile ottenere una retta tangente alla curva involuppo, la cui pendenza fornisce il valore dell'angolo di attrito e la cui intercetta con l'asse delle τ fornisce il valore della coesione in considerazione del punto considerato (valore definito di tensione normale), da questi parametri istantanei. Questa operazione può essere effettuata per diversi valori della tensione normale, in modo da ottenere una serie di coppie di valori di coesione e angolo di attrito in funzione della tensione normale media, agente alle diverse profondità a cui sono riferiti i calcoli di stabilità.

Sono quindi stati derivati, partendo dall'espressione di Barton-Bandis, i valori dei parametri geotecnici utilizzati per le successive valutazioni.

In particolare in foglio di calcolo utilizzato per velocizzare il calcolo permette di stimare il valore massimo e minimo dei parametri geotecnici istantanei di picco, visto che sono riferiti al valore di ϕ_p .

Tale valore è funzione della variabilità di alcuni parametri tipici della discontinuità (ϕ_b , JRC, JCS, i_o) e dello stato tensionale (supposto unicamente litostatico e quindi variabile con la profondità di indagine o altezza dei fronti) in cui si sta operando.

Al variare dei parametri caratteristici delle discontinuità sopra richiamati, a parità di stato tensionale scelto, si ottengono una serie di valori che possono famiglia per famiglia essere utilizzati per ricavare i parametri caratteristici di resistenza al taglio.

Per la definizione dei parametri caratteristici da utilizzare nelle verifiche che seguiranno, gli approcci possibili sono molteplici. A parere dello scrivente l'utilizzo di quanto riportato nell'Eurocodice 7 per ricavare i valori caratteristici di ϕ' e c' e cioè il valore soglia al di sotto del quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie (illimitata) di prove risulta nel caso in oggetto eccessivamente penalizzante.

D'altro canto le istruzioni alle NTC del CSLP suggeriscono che il *“valore caratteristico è basato sul giudizio del geotecnico, così come quello operativo e di progetto”*.

In particolare nelle valutazioni che il geotecnico deve operare per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato, secondo il CSLP, il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, o il riferimento a valori prossimi a quelli minimi nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, indicando nel primo caso i pendii (coltre di frane) ed i fronti di scavo (rif. Prof. Aiello E. – Teoria ed Applicazione nella Progettazione geologica e geotecnica, Seminario Ordine dei Geologi della Basilicata, 26/03/2010).

Ora in considerazione del volume di terreno a cui si fa riferimento per individuare i seguenti parametri caratteristici, può apparire una scelta giustificata ricorrere a valori caratteristici prossimi a quelli medi, in quanto i parametri geotecnici caratteristici sono riferiti ai due cantieri: cielo superiore e quello inferiore.

Si è però ritenuto a fini cautelativi di utilizzare i valori minimi, ottenuti come combinazione tra i valori minimi dei vari parametri caratterizzanti le discontinuità (JRC, JCS, ϕ_b).

Nello specchio che segue sono indicati i valori minimi e massimi ottenuti nell'elaborazione dei dati delle tabelle ed i valori caratteristici che saranno impiegati.

Si precisa che i valori di progetto (f_d) di c' e di ϕ' da adottare nei calcoli si ottengono applicando ai valori assunti come caratteristici un coefficiente riduttivo parziale che varia a seconda dell'approccio prescelto.

Tabella 7

SISTEMA	JRC min- max	JCS (MPa) min- max	ϕ_b min- max	ϕ_P			C_P kPa		$\phi_{K,P}$	$C_{K,P}$ kPa
				<i>Hm</i>	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>min</i>	<i>max</i>		
K1a	2-6	40-50	30-32	6	36.2	51.1	0.3	1.5	36.2	0.3
				20	35.2	48.0	0.9	4.3	35.2	0.9
K1b	2-12	40-50	30-32	6	36.8	69.4	0.1	15.1	36.8	0.1
				20	35.8	65.7	0.4	20.2	35.8	0.4
K2	2-10	40-50	30-32	6	34.9	56.9	1.2	17.4	34.9	1.2
				20	33.9	51.8	3.8	42.7	33.9	3.8
K3	2-6	40-50	30-32	6	35.7	49.5	0.5	2.5	35.7	0.5
				20	34.6	46.4	1.6	7.4	34.6	1.6
K4	2-8	40-50	30-32	6	34.9	52.4	1.1	9.7	34.9	1.1
				20	33.9	48.1	3.7	26.4	33.9	3.7
K5	2-6	40-50	30-32	6	34.9	47.1	1.2	5.8	34.9	1.2
				20	33.8	44.0	4.0	17.1	33.8	4.0
K6	2-10	40-50	30-32	6	34.6	55.6	1.6	21.8	34.6	1.6
				20	33.6	50.5	5.2	54.3	33.6	5.2

Le tabelle mostrano come a parità di stato tensionale previsto per le successive analisi, i parametri caratteristici di picco tra famiglia e famiglia, in considerazione della scelta fatta, praticamente variano in maniera esigua; pertanto in sede di definizione di parametri di progetto, saranno accorpate le famiglie e considerato come variazione unicamente lo stato tensionale di riferimento.

6.4 – Definizione dei parametri angolo di attrito residuo e coesione residua caratteristici

Il valore di angolo residuo delle discontinuità è stata già affrontata nei paragrafi precedenti; come angolo residuo caratteristico sarà utilizzato il minimo dei valori di attrito di base rappresentato da 30°:

- $\varphi_{K,r} = 30^\circ$.

Nelle verifiche in condizioni residue, considerando che in tali situazioni si sia già assistito ad un movimento tra i lembi della frattura e pertanto al totale o parziale troncamento delle asperità che definiscono la potenziale coesione, si assumerà come caratteristica una coesione pari a zero.

Tale scelta, sicuramente discutibile, rimane però completamente a favore di sicurezza:

- $c_{K,r} = 0.0$ kPa.

6.5 – Definizione dei parametri angolo di attrito residuo e coesione residua caratteristici del materiale di riempimento

Prima della definizione di valori caratteristici da assegnare al materiale di riempimento è doverosa una premessa.

In pratica questa è volta ad illustrare la situazione che si è osservata in campagna a carico delle fratture caratterizzate da riempimento. Queste infatti presentano alterazione, maggior apertura e riempimento in terra e sassi generalmente nella parte più superficiale, mentre si è osservato che man mano che la frattura tende a procedere all'interno dell'ammasso in genere questa si chiude completamente ed in molti casi tende ad immarmarsi completamente.

Solitamente poi gli stendimenti e le registrazioni delle caratteristiche fisiche e geometriche delle discontinuità avvengono in corrispondenza di fronti di scavo aperti anche da parecchio tempo e quindi in condizioni di parziale detensionamento delle fratture dovuto alla rimozione di parte dell'ammasso per l'escavazione (sia carico litostatico che confinamento latero-frontale).

Infatti l'analisi condotta in ammassi simili con metodologie geofisiche o con carotaggi mostra che, escludendo situazioni di fratture fortemente carsificate ed in genere caratterizzate da notevole persistenza, il confinamento laterale presente all'interno dell'ammasso determina un accostamento progressivo dei lembi delle fratture determinandone di fatto un miglioramento della resistenza al taglio e limitando in una certa misura anche il passaggio di fluidi.

Volendo fornire un valore caratteristico al materiale di riempimento in situazioni in cui lo spessore del riempimento stesso supera il livello medio di ondulazione a piccola e grande scala della discontinuità (esempio superfici di forma planare aperte da 10mm a oltre e continue) che in caso contrario governerebbe la legge di resistenza della discontinuità stessa, si possono utilizzare i valori ricavati con indagini effettuate dallo scrivente con l'utilizzo di scissometri e penetrometri tascabili in realtà simili del comprensorio apuano. I riempimenti sono costituiti da materiale tipicamente argilloso-limoso, con piccoli ciottoli a spigoli vivi per i quali si possono assumere i seguenti valori caratteristici cautelativi:

- $\varphi_{riemp} = 28^\circ$;
- $C_{riemp} = 0.01\text{Kg/cmq}$.

Questi valori saranno di fatto utilizzati solo in sede di verifica specifica di particolari situazioni caratterizzate da fratture con caratteristiche di planarità, apertura e riempimento continuo quali quelli discussi nel paragrafo in premessa.

6.6 - Definizione dei parametri angolo di attrito e coesione di progetto relativi alle condizioni di picco e residue

Partendo dalle tabelle sopra riportate relative alle famiglie (K1, K2, etc.) ed ai differenti stati tensionali si è ricostruita la seguente tabella dei valori di progetto da utilizzare per le verifiche di stabilità dell'ammasso. Questi sono stati ricavati con l'uso delle seguenti espressioni, richiamate dalle indicazioni delle NTC, e riportati nelle ultime due colonne:

Tabella 8

SISTEMA	STATO TENSIONALE	$\phi_{K,P}$	M2	TAN $\phi_{K,P}$	ϕ'_d	$C_{K,P}$ kPa	M2	C'_d kPa
K1a	6m	36.2	1,25	0,585	30,3	0,3	1,25	0,24
	20m	35.2	1,25	0,564	29,4	0,9	1,25	0,72
K1b	6m	36.8	1,25	0,598	30,9	0,1	1,25	0,08
	20m	35.8	1,25	0,577	30,0	0,4	1,25	0,32
K2	6m	34.9	1,25	0,558	29,2	1,2	1,25	0,96
	20m	33.9	1,25	0,537	28,3	3,8	1,25	3,04
K3	6m	35.7	1,25	0,575	29,9	0,5	1,25	0,40
	20m	34.6	1,25	0,552	28,9	1,6	1,25	1,28
K4	6m	34.9	1,25	0,558	29,2	1,1	1,25	0,88
	20m	33.9	1,25	0,537	28,3	3,7	1,25	2,96
K5	6m	34.9	1,25	0,558	29,2	1,2	1,25	0,96
	20m	33.8	1,25	0,535	28,2	4,0	1,25	3,20
K6	6m	34.6	1,25	0,552	28,9	1,6	1,25	1,28
	20m	33.6	1,25	0,531	28,0	5,2	1,25	4,2

Nota: il coefficiente γ_{M2} nel caso dell'angolo di attrito è stato applicato alla tangente.

Nel caso di condizioni residue si è ipotizzato nullo il valore della coesione mentre il valore dell'angolo di attrito $\phi_{K,r} = 32^\circ$ è stato ridotto applicando il coefficiente γ_{M2} (1.25) al valore della tangente; il valore di progetto da usare nelle valutazioni in condizioni residue sarà pari a :

$$- \phi'_{d,r} = 27^\circ$$

7.0 - ORIENTAZIONI DEI FRONTI DI LAVORO E DELLE TECCHIE

Verranno di seguito indicati i fronti oggetto di analisi del presente progetto allo stato di massimo ampliamento del sito estrattivo e soggetto ad autorizzazione, ossia allo stato finale della fase II (primi 5 anni di lavorazione).

L'area per una più semplice trattazione è stata suddivisa in 4 cantieri, oltre al cantiere in sotterraneo che sarà sviluppato solo nella fase II del progetto e che è stato studiato in apposita relazione di compendio al presente studio generale.

Nell'ambito del "range" dei $\pm 10^\circ$ i principali fronti di escavazione in cava avranno la seguente orientazione generale:

Fronti principali nel cantiere Calacatta

- Fr1: Fronte orientato N 13° verticale esposto a SE (103° - 89°);

- Fr2: Fronte orientato N 103° verticale esposto a NE (13°/89°);
- Fr3: Fronte orientato N 160° verticale esposto a NE (70°/89°);
- Fr4: Fronte orientato N 67° verticale esposto a SE (157°/89°);
- Fr5: Fronte orientato N 121° verticale esposto a NE (31°/89°);

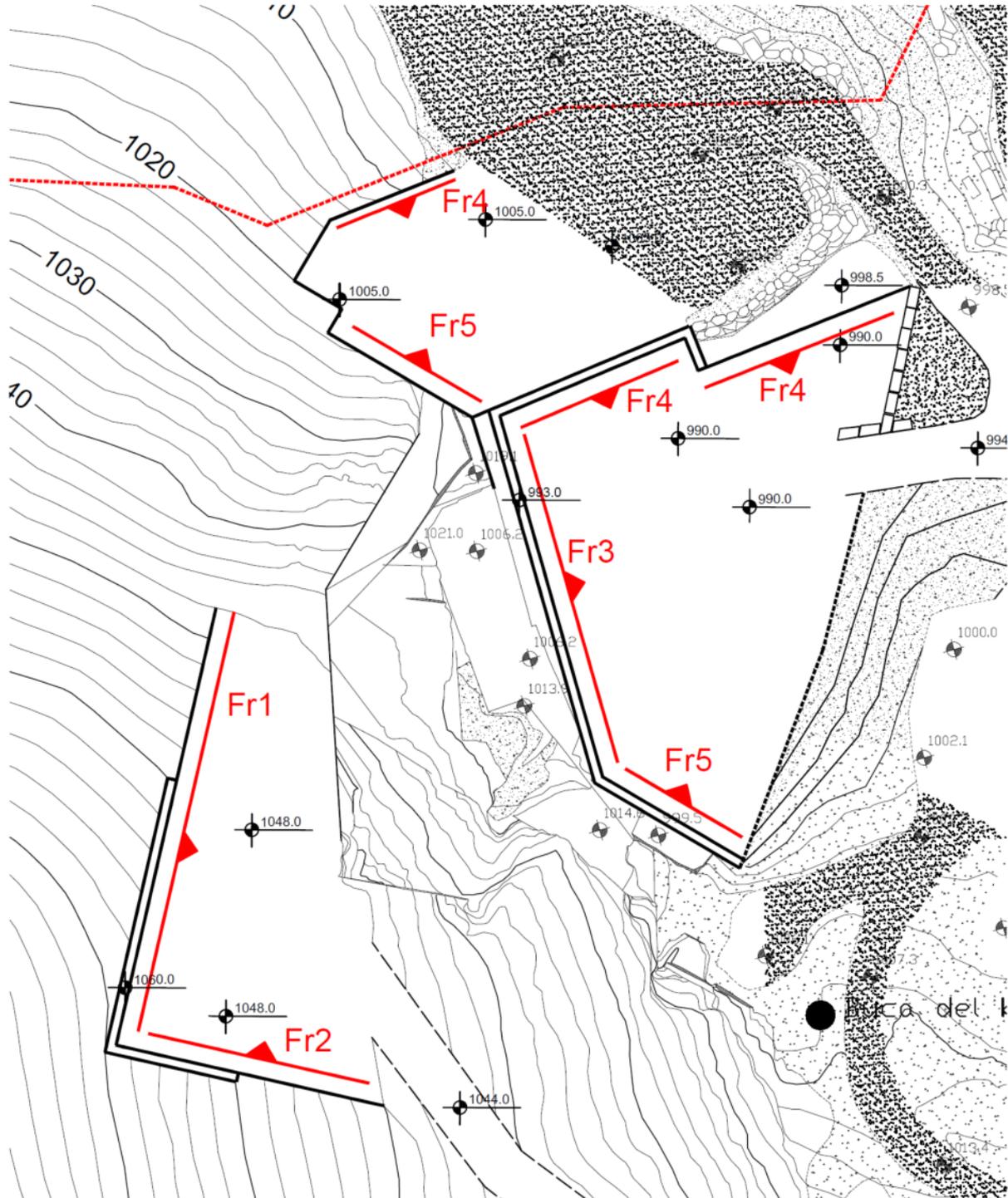


Fig. 1 - planimetria non in scala con orientazione dei fronti di lavoro a cielo aperto del cantiere calacatta nella fase 1 e 2 (primi 5 anni)

Fronti principali nel cantiere intermedio venato

- Fr3: Fronte orientato N 160° verticale esposto a NE (70°/89°);
- Fr6: Fronte orientato N 160° verticale esposto a SW (250°/89°);
- Fr7: Fronte orientato N 73° verticale esposto a NW (343°/89°);
- Fr8: Fronte orientato N 50° verticale esposto a NW (320°/89°);

Fronti principali nel cantiere superiore venato SW

- Fr3: Fronte orientato N 160° verticale esposto a NE (70°/89°);
- Fr7: Fronte orientato N 73° verticale esposto a NW (343°/89°);

Fronti principali nel cantiere superiore venato SE

- Fr8: Fronte orientato N 50° verticale esposto a NW (320°/89°);
- Fr9: Fronte orientato N 88° verticale esposto a NW (358°/89°);
- Fr10: Fronte orientato N 8° verticale esposto a NW (278°/89°);

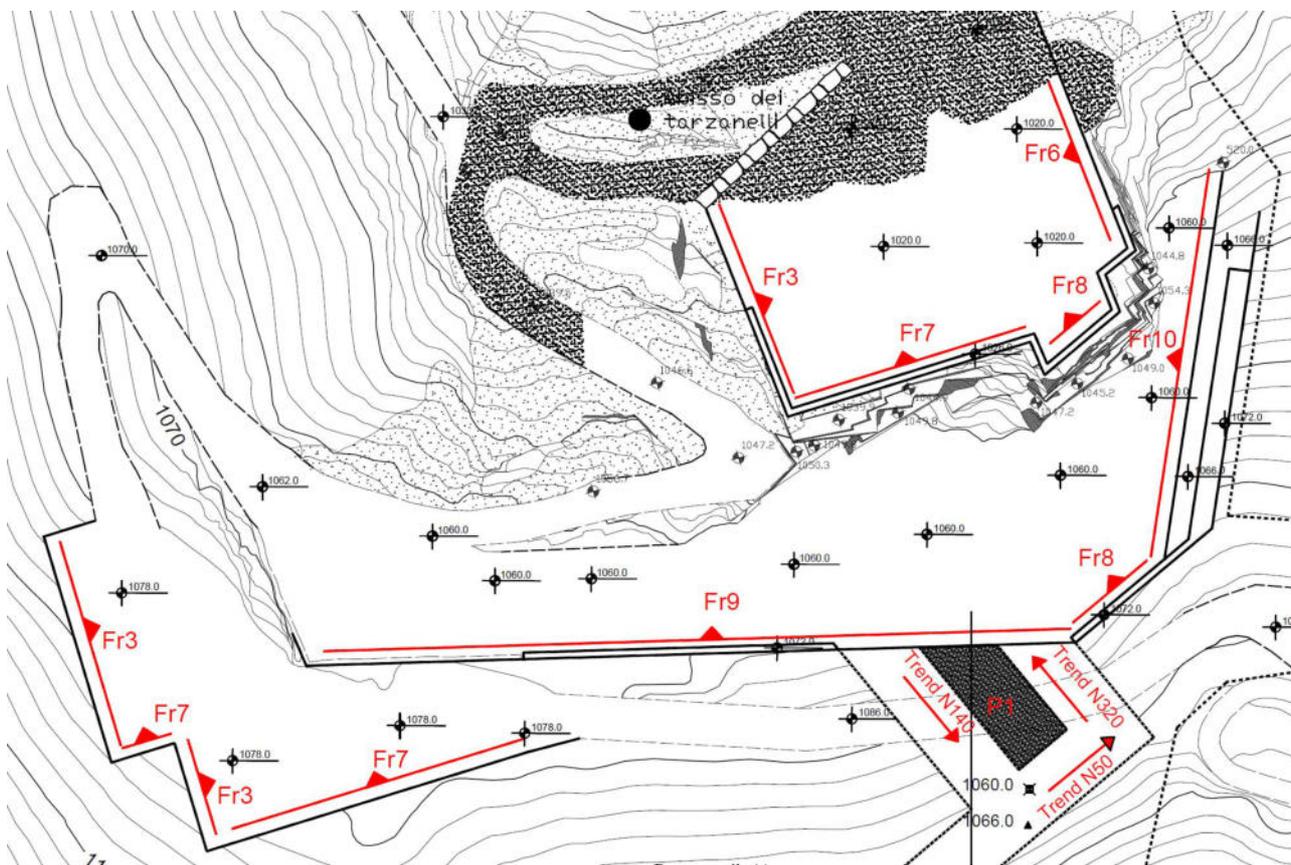


Fig. 2 - planimetria non in scala con orientazione dei fronti di lavoro a cielo aperto dei cantieri intermedio venato, superiore venato SE e superiore venato SW nella fase 1 e 2 (primi 5 anni)

Cantiere Sotterraneo (q.ta pavimento 1060m s.l.m. – quota cielo 1066m s.l.m. circa)

- TREND N320: Fronte orientato N 140° circa verticale esposto ad SE (140°/89°);
- TREND N140: Fronte orientato N 140° circa verticale esposto ad NW (320°/89°);
- TREND N050: Fronte orientato N 50° circa verticale esposto a SW (230°/89°);
- TREND N230: Fronte orientato N 50° circa verticale esposto a NE (50°/89°).

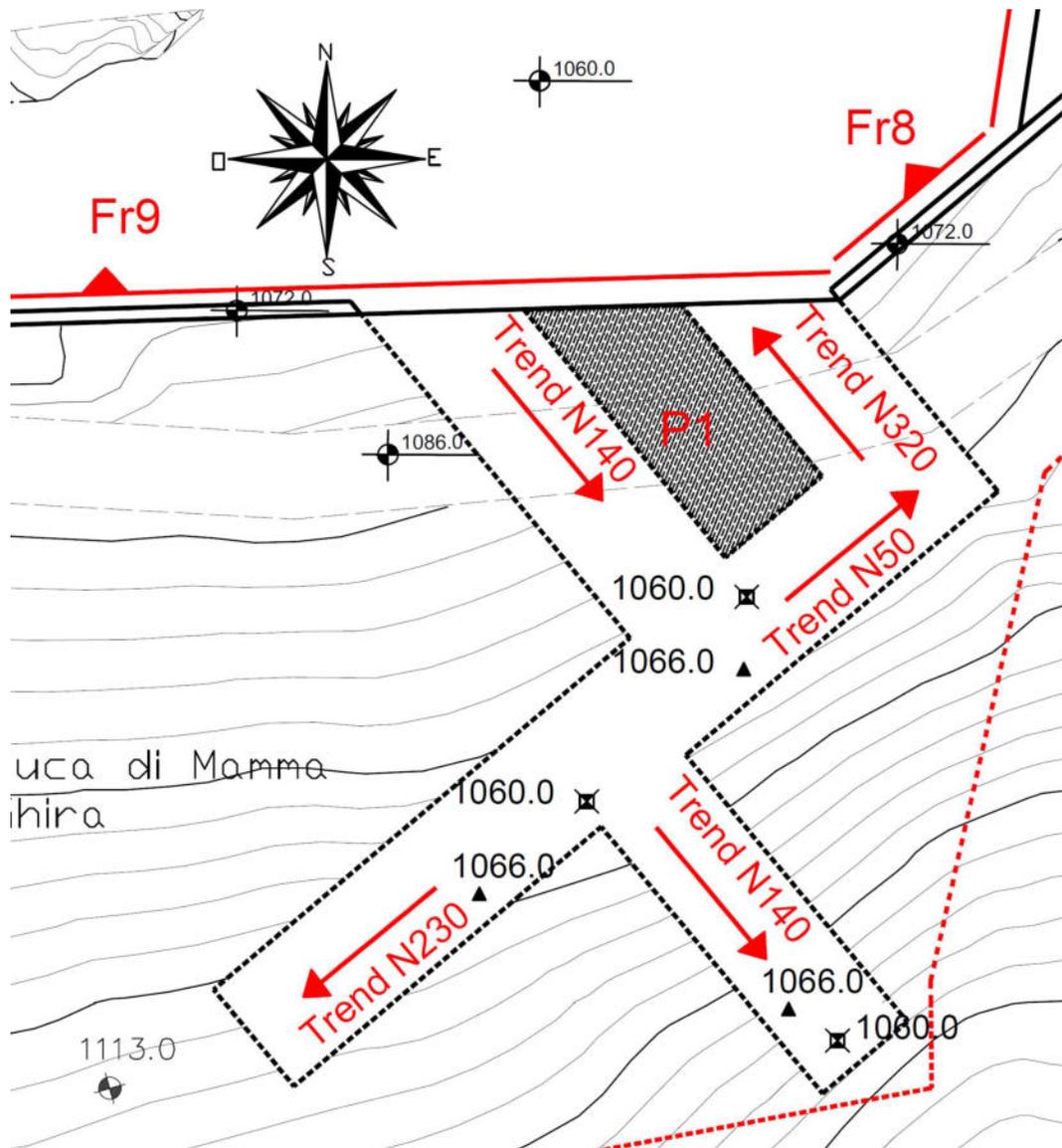


Fig. 3 - planimetria non in scala con trend di lavoro del cantiere sotterraneo nella fase 2 (primi 5 anni)

L'altezza nelle verifiche sarà posta pari a quella massima di progetto e variabile per i fronti attivi da un minimo di 6m ad un massimo di 20.0m, relativamente ai fronti residui.

8.0 - ANALISI DEI CARICHI

8.1. Carichi permanenti - Ammasso roccioso

Ammasso roccioso $g_{k1A} = 27,0 \text{ kN/m}^3$

8.2. Carichi permanenti non strutturali

Data la configurazione del sito e la tipologia di opera in esame non sono previsti carichi permanenti di natura non strutturale di intensità rilevante ai fini del calcolo

8.3. Carichi variabili

- Sovraccarico accidentale in copertura - Sovraccarico $q_{k1} = 15,0 \text{ kN/m}^2$
- Neve (su superficie orizzontale) $q_{k1} = 3,92 \text{ kN/m}^2$
- Vento superfici verticali sopravento ($h \leq 4 \text{ m}$ dal suolo) $q_{k21} = +1,30 \text{ kN/m}^2$
- superfici verticali sottovento ($h \leq 4 \text{ m}$ dal suolo) $q_{k22} = -0,65 \text{ kN/m}^2$

8.4 Azioni di calcolo

Stato Limite Ultimo

Il progetto e la verifica delle strutture sono effettuate in condizioni di Stato Limite di resistenza della struttura (SLU – STR), con la seguente combinazione di carico:

Combinazione fondamentale

$$F_d = \gamma_{G1}G_1 + \gamma_{G2}G_2 + \gamma_P P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \sum_{i=2}^{i=n} (\psi_{0i} Q_{ki})$$

dove: G_1 = valore caratteristico delle azioni permanenti strutturali;
 G_2 = valore caratteristico delle azioni permanenti non strutturali
 P = valore caratteristico della forza di precompressione;
 Q_{k1} = valore caratteristico dell'azione variabile di base;
 Q_{ki} = valori caratteristici delle azioni variabili tra loro indipendenti;
 γ_{G1} = coefficiente parziale dei carichi permanenti;
 γ_{G2} = coefficiente parziale dei carichi permanenti non strutturali;
 γ_P = coefficiente parziale della precompressione (1,0);
 γ_{Qi} = coefficiente parziale delle azioni variabili;
 ψ_{0i} = coefficiente di combinazione delle azioni variabili.

Tabella 1. Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente	EQU	A1	A2
		γ_F			
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali $G_2^{(1)}$	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

Stati Limite di Esercizio

Combinazione Caratteristica (rara)	$F_d = G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \sum_{j=2}^{j=n} (\psi_{0j} Q_{kj})$
Combinazione Frequente	$F_d = G_1 + G_2 + P + \psi_{11} Q_{k1} + \sum_{j=2}^{j=n} (\psi_{2j} Q_{kj})$
Combinazione Quasi Permanente	$F_d = G_1 + G_2 + P + \sum_{j=1}^{j=n} (\psi_{2j} Q_{kj})$

Combinazione sismica/eccezionale

Combinazione Sismica	$F_d = E + G_1 + G_2 + P + \sum_{j=1}^{j=n} (\psi_{2j} Q_{kj})$
Combinazione Eccezionale	$F_d = G_1 + G_2 + P + A_d + \sum_{i=1}^{j=n} (\psi_{2j} Q_{kj})$

dove: E = azione sismica;

Ad = azione eccezionale di progetto;

ψ_{0j} = coefficiente atto a definire i valori rari (di breve durata) ma ancora significativi nei riguardi della possibile concomitanza con altre azioni variabili;

ψ_{1j} = coefficiente atto a definire i valori delle azioni assimilabili ai frattili di ordine 0,95 delle distribuzioni dei valori istantanei;

ψ_{2j} = coefficiente atto a definire i valori quasi permanenti delle azioni variabili assimilabili ai valori medi delle distribuzioni dei valori istantanei.

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_{j=1}^{j=n} (\psi_{2j} Q_{kj})$$

Nelle combinazioni si intende che vengano omissi i carichi Q_{kj} che danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche e, se del caso, i carichi G_2 .

Altre combinazioni sono da considerare in funzione di specifici aspetti (p. es. fatica, ecc.). I valori dei coefficienti di combinazione (ψ_{ij}) sono riportati nella seguente Tabella 2.

Tabella 2. Valori dei coefficienti di combinazione dei carichi variabili

Categoria / Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	Da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

9.0 - INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA

In considerazione degli effetti del sisma sui potenziali cinematici, si è provveduto a valutare secondo quanto richiesto dalla nuova normativa (NTC – D.M. 14/01/2018) la sismicità dell'area di intervento.

Ricordiamo che rispetto alla vecchia normativa si è passati da un concetto di “zona dipendente” ad uno di “sito dipendente” al fine di considerare gli effetti locali dell'azione sismica.

A tal proposito si è utilizzato il programma GEOSTRU – PARAMETRI SISMICI presente gratuitamente nel web al sito [www. Geostru.com](http://www.Geostru.com).

Le valutazioni che seguiranno di verifica saranno condotte in termini SLU, stato limite ultimo, SLV (Stato Limite Salvaguardia della Vita), applicando i relativi coefficienti.

Nel programma sono stati inseriti i seguenti parametri di partenza relativi alla localizzazione ed alla tipologia del sito in esame:

- Coordinate del sito in esame ED50: 44.097,10.251; WGS84 44.096,10.250;
- Classe d'uso: I, presenza occasionale di persone;
- Vita nominale: 50 anni;

Stato Limite	Tr [anni]	ag [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.056	2.439	0.241
Danno (SLD)	35	0.061	2.439	0.245
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.162	2.404	0.278
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.210	2.420	0.284
Periodo di riferimento per	35			

Tabella 9: parametri sismici di ingresso

In automatico il programma ricerca i siti di riferimento da cui ricavare il valore di accelerazione al bedrock, valore di base che sarà poi modificato in funzione delle caratteristiche stratigrafiche e topografiche locali.

A questo punto vengono richiesti i parametri sismici del sito in esame e cioè:

- Categoria di sottosuolo: A (ammassi rocciosi);
- Categoria Topografica: T2;

Il programma citato in applicazione alle espressioni riportate nel testo della normativa procede ad eseguire i calcoli fornendo i valori finali di accelerazione massima attesa (A_{max}), il coefficiente β e quindi i valori dei coefficienti orizzontale (K_h) e verticale (K_v) da inserire nei calcoli; di seguito si rimette lo specchio finale, Tabella 10, di output del programma:

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,00	1,00	1,00	1,00
CC Coeff. funz categoria	1,00	1,00	1,00	1,00
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20
<input type="checkbox"/> Acc.ne massima attesa al sito [m/s ²]				0.6
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.013	0.015	0.053	0.075
kv	0.007	0.007	0.026	0.038
Amax [m/s ²]	0.661	0.714	1.909	2.466
Beta	0.200	0.200	0.270	0.300

Tabella 10: coefficienti sismici derivati da categoria di sottosuolo A e categoria topografica T2

10.0 - VERIFICHE DI STABILITÀ DEI FRONTI A CIELO APERTO

Le analisi riportate nei seguenti paragrafi sono volte alla ricerca dei potenziali meccanismi di instabilità per effetto della fratturazione dell'ammasso roccioso sui fronti di coltivazione in progetto.

Le verifiche saranno effettuate sulla configurazione di cava prospettata al termine della fase 2, fase massima di sviluppo dei lavori e soggetta ad autorizzazione.

I fronti analizzati sono quelli riportati nel capitolo 8 e sono stati suddivisi per una più semplice trattazione in 4 cantieri.

Per le analisi saranno considerati fronti con altezze variabili da 6m (altezza convenzionale delle bancate di coltivazione) a 40m (altezza massima dei fronti residui).

10.1. Fronti a cielo aperto

Con riferimento alle indicazioni fornite dalle NTC 2018 per i fronti di scavo (§ 6.8.6 – D.M. 17/01/2018) le verifiche agli SLU saranno eseguite con la "Combinazione 2 dell'Approccio 1", considerando quindi la seguente combinazione di coefficienti:

Combinazione 2: (A2+M2+R2)

con i valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II del suddetto D.M. e con il coefficiente di resistenza globale (γ_{R2}) pari 1,1 (§ 6.8.2 D.M. 17/01/2018).

Tabella 7. Coefficienti parziali per le azioni o per gli effetti delle azioni (tab. 6.2.I D.M. 17/01/2018)

Tabella 7. Coefficienti parziali per le azioni o per gli effetti delle azioni (tab. 6.2.I D.M. 17/01/2018)

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

Tabella 11. Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno (tab. 6.2.II D.M. 17/01/2018)

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_V	γ_V	1,0	1,0

Per ogni stato limite deve essere soddisfatta la relazione: " $Ed \leq Rd$ " dove Ed è il valore di progetto dell'azione e Rd il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

10.2. Scivolamento planare – Metodologia di verifica

L'analisi parte da una verifica grafica attraverso il Test di Markland, sviluppato con l'ausilio del programma MECROCCE della Prograngeo di Brescia.

La verifica grafica permette di individuare sulla base del piano medio dei singoli sistemi di discontinuità, quei piani potenzialmente instabili in riferimento al fronte in analisi.

In particolare, il programma proietta su reticolo equiangolare di Wulff le tracce ciclografiche dei piani rappresentativi dei sistemi riconosciuti nel sito, il fronte di scavo ed il cono di attrito, nel caso si è scelto il valore base di 30°.

I cinematismi attivabili secondo il programma risultano quelli che hanno una immersione concorde con quella del fronte, con una inclinazione minore del fronte e con una inclinazione superiore a quella dell'angolo di attrito di base.

Nella discussione iniziale per via grafica, si escludono inoltre quei piani la cui immersione differisce per $\pm 20^\circ$ dall'immersione del fronte di scavo.

Per i piani che soddisfano le condizioni sopra, è proposta una prima valutazione di tipo numerico, secondo lo schema che segue.

Le analisi numeriche sono state effettuate con l'ausilio del programma di calcolo ROC-PLANE della Rocscience Inc. di Toronto, che consente di individuare tutti i blocchi che possono formarsi per effetto dell'intersezione di un singolo piano di fratturazione con il fronte in esame.

Le ipotesi alla base del calcolo sono:

- piani di discontinuità con persistenza illimitata o almeno tale da attraversare completamente i blocchi senza interruzioni di continuità;
- superficie planare delle discontinuità;
- estensione delle fratture all'intero fronte (se non nei casi specificamente motivati) o comunque con valori massimi pari all'effettiva persistenza rilevata in sito.

Il programma considera l'ammasso roccioso come un mezzo integro, attraversato da piani di discontinuità variamente orientati (in base ai dati di giacitura inseriti dall'utente). La stabilità dei singoli volumi rocciosi isolati dall'intersezione dei piani di fratturazione è governata da:

- orientazione del piano di fratturazione rispetto al fronte di scavo, in funzione della quale potrebbero originarsi a volumi cinematicamente rimuovibili o meno;
- azioni sollecitanti e resistenti che si sviluppano all'interfaccia tra il blocco e l'ammasso, in funzione dell'inclinazione del piano di scivolamento e dalle caratteristiche di resistenza dei giunti, espresse in termini di coesione e angolo di attrito (avendo adottato un criterio resistente alla Mor- Coulomb).

Per la tipologia di verifica scelta (individuazione dei potenziali cinematismi) sarà preso in conto il solo angolo di attrito residuo pari a 30° , trascurando l'eventuale contributo della coesione apparente.

Per ognuno dei blocchi individuati, il programma fornisce il volume e il peso unitario del blocco e il fattore di sicurezza nei confronti della potenziale instabilità individuata ($R_d/E_d = \text{capacità resistente}/\text{azione sollecitante}$).

Come premesso nell'introduzione saranno analizzati tutti i fronti di scavo in progetto al termine della fase 2, con altezze variabili da 6 a 40m.

Le analisi di stabilità saranno effettuate in condizioni di Stato Limite Ultimo in presenza di sisma, con l'approccio 1 - combinazione 2. L'azione del sisma sarà implementata come una forza statica equivalente, data dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici orizzontale e verticale, definiti al precedente cap. 9. In aggiunta sarà considerata una sovrappressione interna dovuta alla presenza di acqua all'interno delle fratture (saturazione 10%).

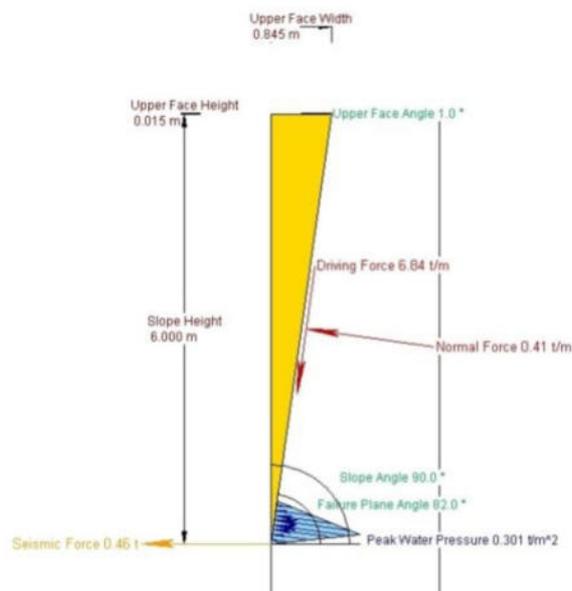


Figura 4. Modello di calcolo bidimensionale

In questa fase previsionale di progetto, non saranno presi in conto eventuali carichi variabili, trattandosi di verifiche di stabilità di blocchi presenti sulle pareti di scavo. Si precisa, infine, che tutti i carichi derivanti dal peso proprio dell'ammasso saranno considerati come carichi permanenti strutturali ($\gamma_{G1} = 1,00$).

I sistemi di discontinuità rilevati in sito e utilizzati nelle analisi sono quelli già illustrati nella precedente tabella 1 al cap. 5.2.

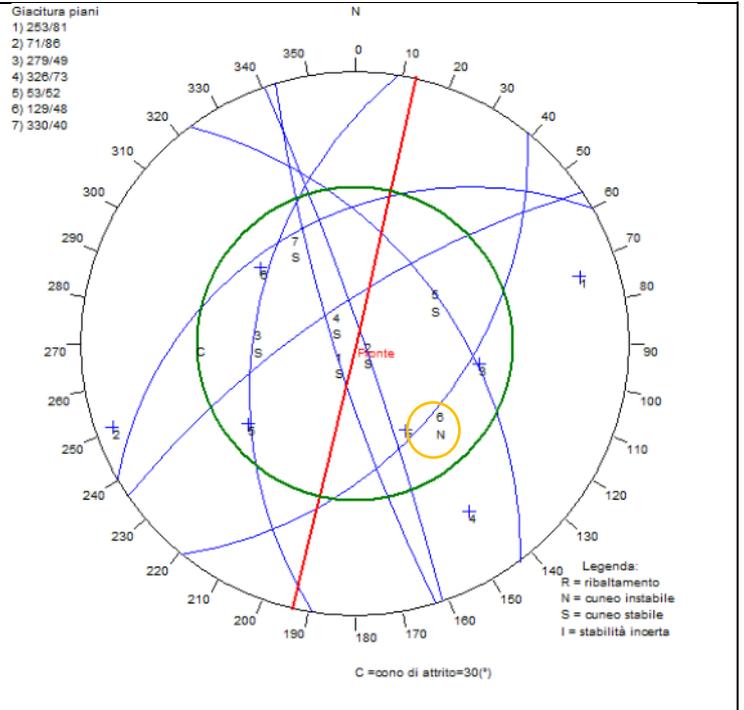
10.3. Analisi dei risultati di calcolo

Nel presente paragrafo sono sintetizzati i risultati delle analisi svolte sui diversi fronti a cielo aperto, nella configurazione geometrica al termine della seconda fase di coltivazione (a 5 anni).

10.3.1 - Fronti principali nel cantiere inferiore Calacatta

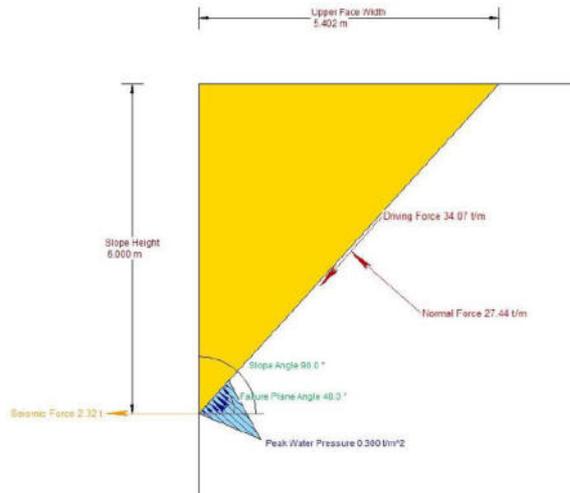
- Fr1: Fronte orientato N 13° verticale esposto a SE (103°-89°);

Dalla verifica, potenziale cinematismo planare ascrivibile al sistema K5; considerando la differenza tra le immersioni del fronte con il piano di frattura superiore a 20°, l'attivabilità del cinematismo rimane limitata



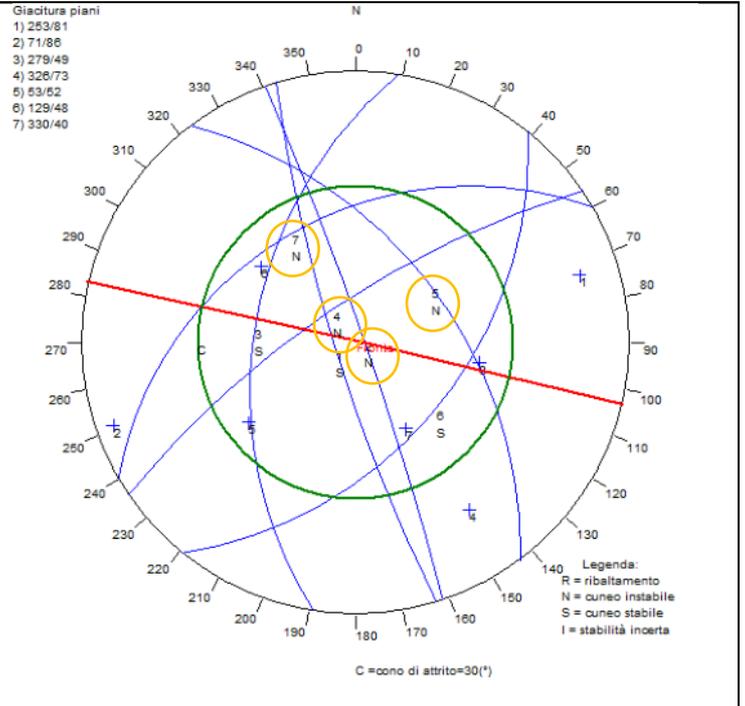
Sistema di fratturazione	Giacitura Dip Dir. / Dip - (°)	Peso del Blocco		R _d /E _d	NOTE Ipotesi Intervento
		H=6m (Ton/m)	H=40m (Ton/m)		
(-)				(-)	
K5	129 - 48	43,7	1.944,9	0,465	In caso di fronti da 6m disaggio con lo sviluppo della coltivazione. Per altezze diverse necessaria valutazione su casistica reale.

Schema sistema K5 – Fronte 6m



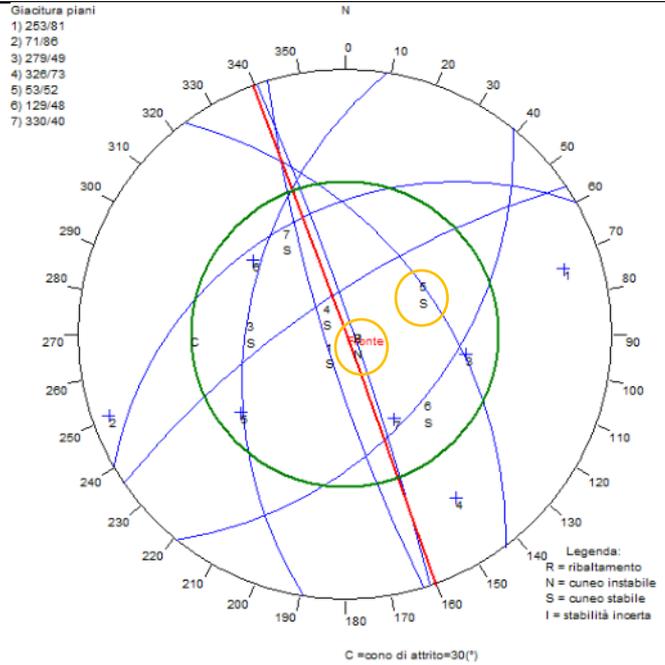
- Fr2: Fronte orientato N 103° verticale esposto a NE (13°/89°);

Dalla verifica con il programma MECROCCE della ProgramGeo di Brescia, test di Marland, emergerebbero potenziali cinematismi planari a carico dei sistemi K1b, K3, K5 e K6. Di fatto dalla verifica tra la differenza delle immersioni fronte/piano di frattura, emerge che questa è sempre all'interno del range $\pm 20^\circ$, condizione che esclude l'attivabilità potenziale del cinematismo. In considerazione del range di immersione dei singoli sistemi, la verifica è comunque demandata al caso reale.



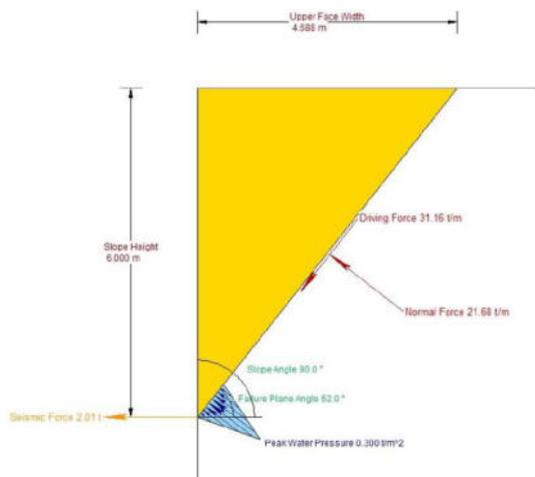
- Fr3: Fronte orientato N 160° verticale esposto a NE (70°/89°);

Dalla verifica, potenziali cinematismi planari ascrivibili ai sistemi K1b e K4, sebbene l'analisi grafica automatica (test di Markland) ha escluso il cinematismo correlato al sistema K4. Tale sistema è stato ritenuto potenzialmente attivabile in considerazione della differenza tra le immersioni fronte-discontinuità, che rimane inferiore al limite dei $\pm 20^\circ$, e soprattutto per la sua dispersione.

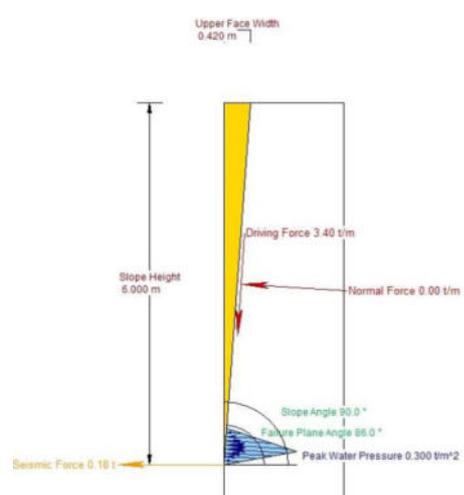


Sistema di fratturazione	Giacitura Dip Dir. / Dip - (°)	Peso del Blocco		R _d /E _d (-)	NOTE Ipotesi Intervento
		H=6m (Ton/m)	H=40m (Ton/m)		
(-)					
K1b	071 - 86	3,4	151	0,0	In caso di fronti da 6m disaggio (scaglia) – per altezze diverse necessaria valutazione su casistica reale. Viste direzione ed inclinazione media, fronte impiegabile come superficie di scavo con eliminazione di potenziali instabilità
K4	053 - 52	38	1.686,7	0,402	In caso di fronti da 6m disaggio con la coltivazione – per altezze diverse necessaria valutazione su casistica reale, viste le dimensioni delle masse al crescere dell'altezza. In caso di fronti con inclinazione media superiore a 65°-70°, possibile impiego come superficie di scavo finale.

Schema sistema K1b – Fronte 6m

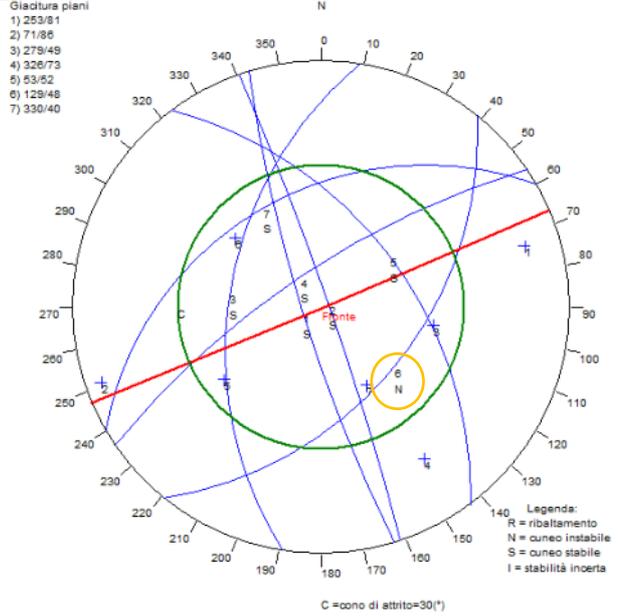


Schema sistema K4 – Fronte 6m



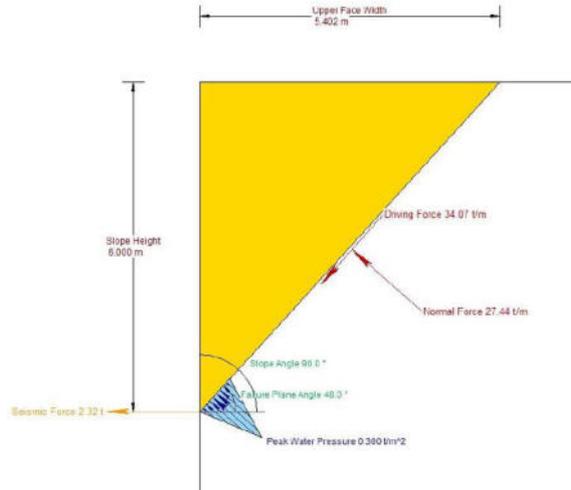
- Fr4: Fronte orientato N 67° verticale esposto a SE (157°/89°);

Dalla verifica, potenziali cinematismi planari ascrivibili al sistema K5 che comunque rimane difficilmente attivabile, almeno come piano medio, visto il valore della differenza tra immersione del fronte e del piano di frattura (circa 28°). Da valutare, vista la dispersione del sistema, caso per caso sui fronti di coltivazione



Sistema di fratturazione	Giacitura	Peso del Blocco		R _d /E _d	NOTE
		H=6m	H=40m		
(-)	Dip Dir. / Dip - (°)	(Ton/m)	(Ton/m)	(-)	Ipotesi Intervento
K5	129 - 48	43,7	1.944,9	0,465	In caso di fronti da 6m disaggio con lo sviluppo della coltivazione. Per altezze diverse necessaria valutazione su casistica reale.

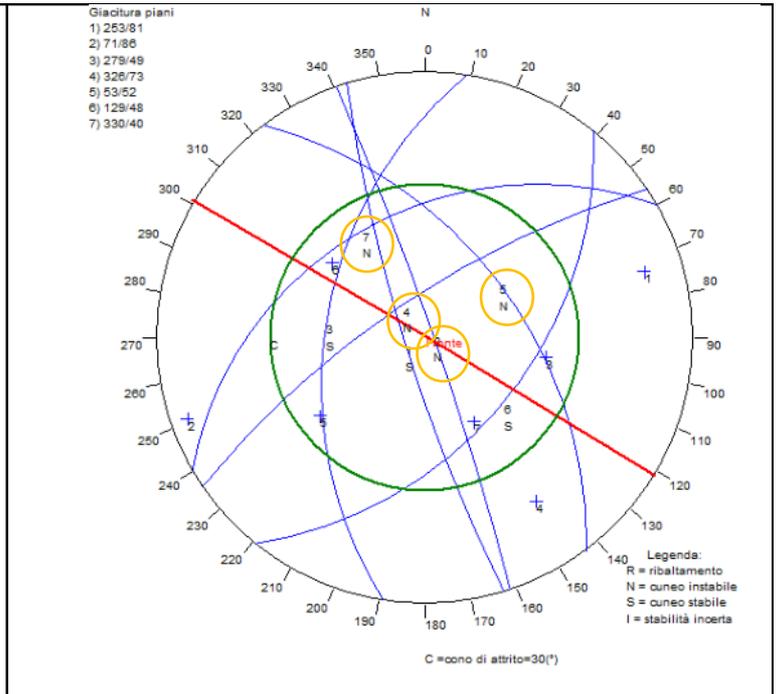
Schema sistema K5 – Fronte 6m



- Fr5: Fronte orientato N 121° verticale esposto a NE (31°/89°);

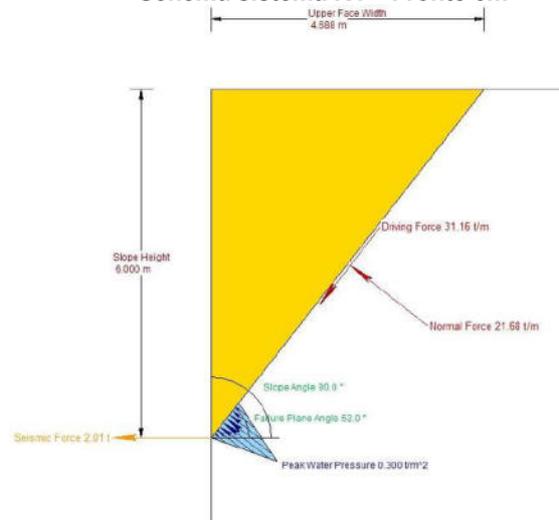
Dalla verifica grafica con il programma automatico MECROCCE (Test di Markland), potenziali cinematismi planari ascrivibili ai sistemi K1b, K3, K4 e K6. Ulteriore verifica sulla differenza tra le immersioni del piano medio dei sistemi con l'immersione del fronte di scavo, permette di escludere l'attivabilità dei cinematismi (riferiti al piano medio) riferibili ai sistemi K1b, K3 e K6.

Per il sistema K4 visto il valore vicino al limite dei 20° (calcolati 22°) si è proceduto comunque all'analisi numerica.



Sistema di fratturazione	Giacitura Dip Dir. / Dip - (°)	Peso del Blocco		R _d /E _d (-)	NOTE Ipotesi Intervento
		H=6m (Ton/m)	H=40m (Ton/m)		
K4	053 - 52	38	1.686,7	0,402	In caso di fronti da 6m disaggio con la coltivazione – per altezze diverse necessaria valutazione su casistica reale, viste le dimensioni delle masse al crescere dell'altezza. In caso di fronti con inclinazione media superiore a 65°-70°, possibile impiego come superficie di scavo finale.

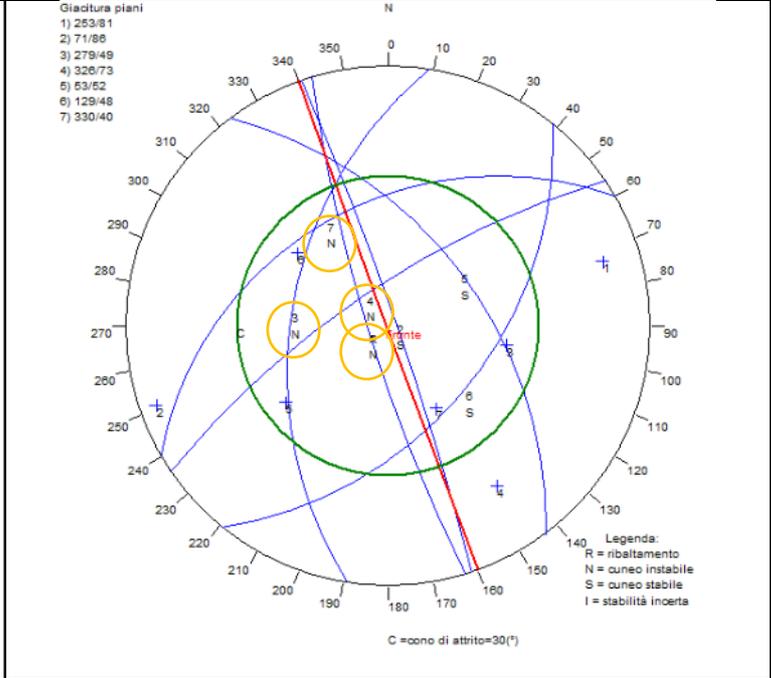
Schema sistema K4 – Fronte 6m



10.3.2 - Fronti principali nel cantiere intermedio venato

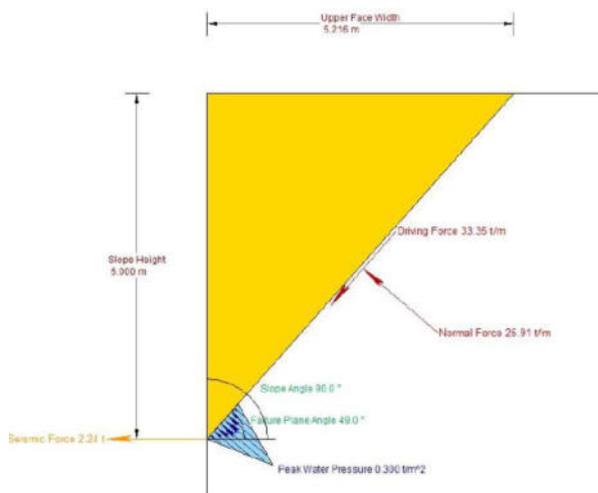
- Fr3: Fronte orientato N 70° verticale esposto a NE (70°/89°); *fronte già analizzato – vedi risultati;*
- Fr6: Fronte orientato N 160° verticale esposto a SW (250°/89°);

Dalla verifica grafica con il programma automatico MECROCCE (Test di Markland), potenziali cinematismi planari ascrivibili ai sistemi K1a, K2, K3 e K6. Ulteriore verifica sulla differenza tra le immersioni del piano medio dei sistemi di discontinuità con l'immersione del fronte di scavo, permette di escludere l'attivabilità dei cinematismi per i sistemi di K3 e K6 che hanno differenze oltre i 70°, molto superiori a 20° limite per attivabilità del cinematismo.

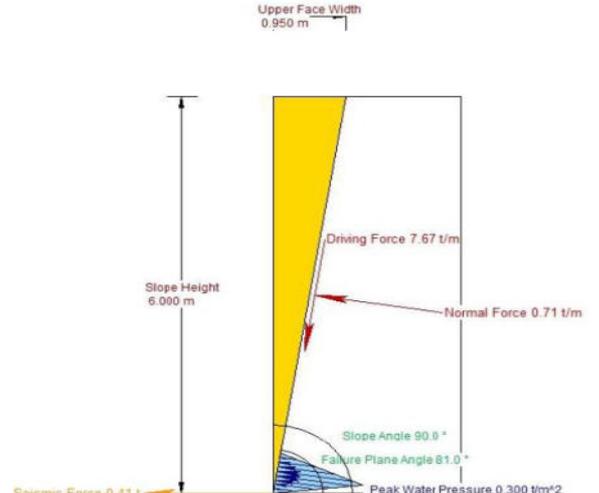


Sistema di fratturazione	Giacitura	Peso del Blocco		NOTE Ipotesi Intervento
		H=6m	H=40m	
(-)	Dip Dir. / Dip - (°)	(Ton/m)	(Ton/m)	
K1a	253 - 81	7,7	342,1	In caso di fronti da 6m disaggancio (scaglia) – per altezze diverse necessaria valutazione su casistica reale. Viste direzione ed inclinazione media, fronte impiegabile come superficie di scavo con eliminazione di potenziali instabilità che lo coinvolgono
K2	053 - 52	42,2	1.877,7	In caso di fronti da 6m disaggancio con la coltivazione – per altezze diverse necessaria valutazione su casistica reale, viste le dimensioni delle masse al crescere dell'altezza.

Schema sistema K1a – Fronte 6m

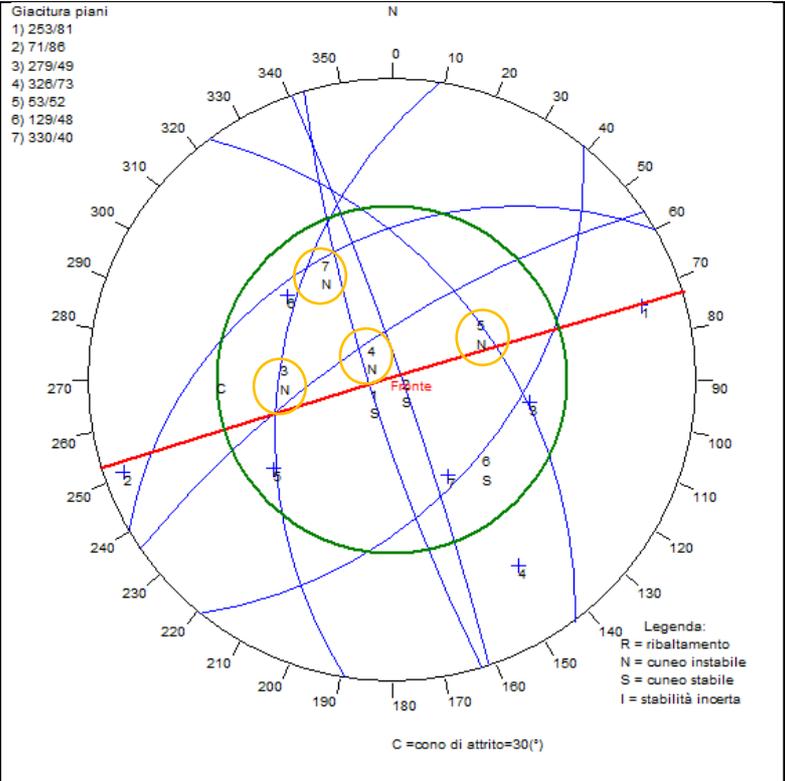


Schema sistema K2 – Fronte 6m



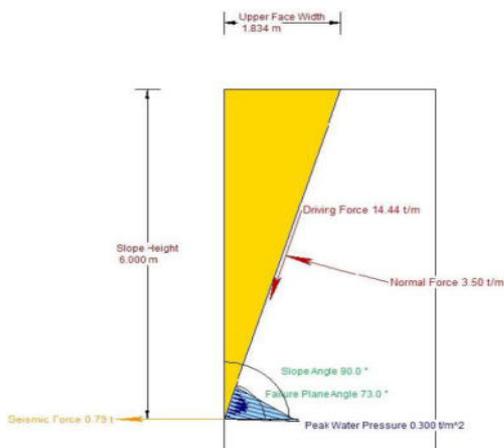
Fr7: Fronte orientato N 73° verticale esposto a NW (343°/89°);

Dalla verifica grafica con il programma automatico MECROCCE (Test di Markland), potenziali cinematismi planari ascrivibili ai sistemi K2, K3, K4 e K6. Ulteriore verifica sulla differenza tra le immersioni del piano medio dei sistemi di discontinuità con l'immersione del fronte di scavo, permette di escludere l'attivabilità dei cinematismi per i sistemi di K2 e K4 che hanno differenze oltre i 60°, molto superiori a 20° limite per attivabilità del cinematismo.

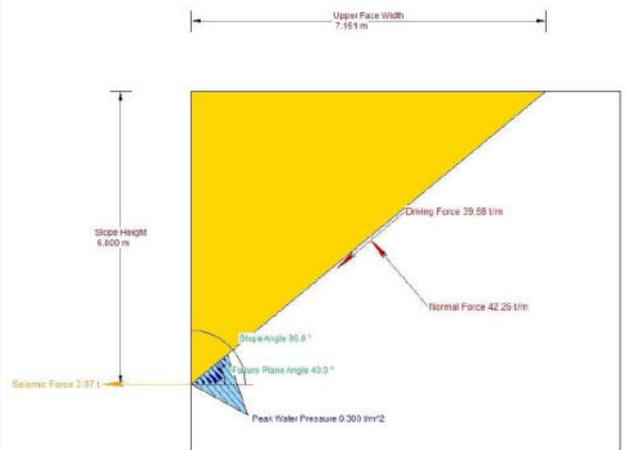


Sistema di fratturazione	Giacitura Dip Dir. / Dip - (°)	Peso del Blocco		R _d /E _d	NOTE Ipotesi intervento
		H=6m (Ton/m)	H=40m (Ton/m)		
(-)				(-)	
K3	326 - 73	14,8	660,4	0,140	In caso di fronti da 6m disaggancio – per altezze diverse necessaria valutazione su casistica reale. Viste direzione ed inclinazione media, fronte impiegabile come superficie di scavo con eliminazione di potenziali instabilità che lo coinvolgono
K6	330 - 40	57,9	2.574,3	0,616	In caso di fronti da 6m disaggancio con la coltivazione – per altezze diverse necessaria valutazione su casistica reale, viste le dimensioni delle masse al crescere dell'altezza.

Schema sistema K3 – Fronte 6m

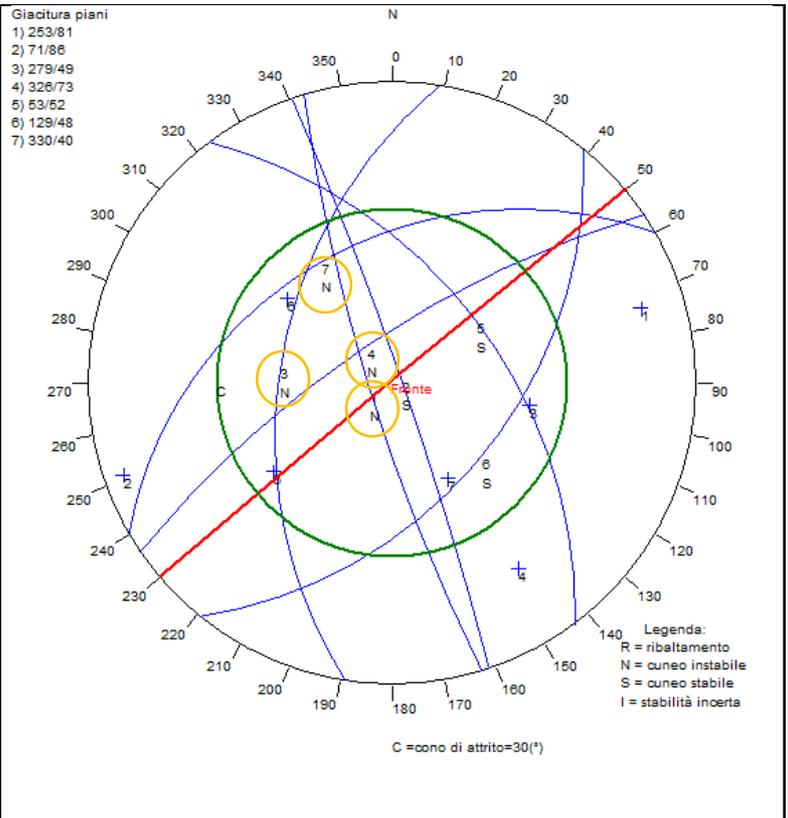


Schema sistema K6 – Fronte 6m



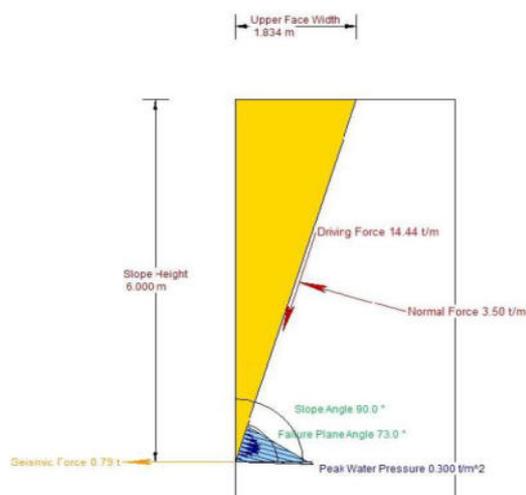
Fr8: Fronte orientato N 50° verticale esposto a NW (320°/89°);

Dalla verifica grafica con il programma automatico MECROCCE (Test di Markland), potenziali cinematismi planari ascrivibili ai sistemi K1, K2, K3 e K6. Ulteriore verifica sulla differenza tra le immersioni del piano medio dei sistemi di discontinuità con l'immersione del fronte di scavo, permette di escludere l'attivabilità del sistema K1 e K2 (piano medio) che presentano una differenza di oltre 40°, superiore al limite dei 20° richiesta per attivabilità del cinematismo.

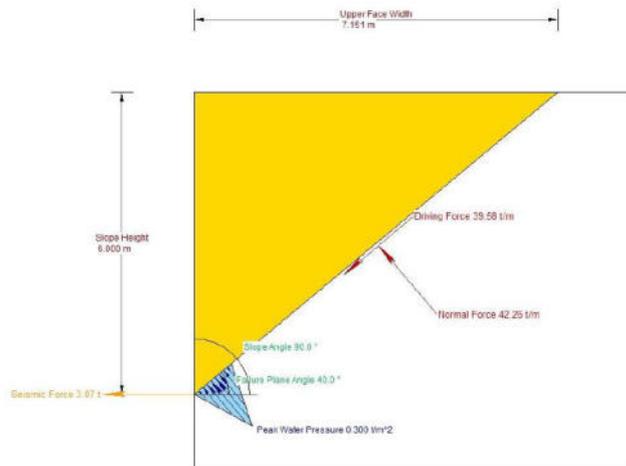


Sistema di fratturazione	Giacitura Dip Dir. / Dip - (°)	Peso del Blocco		R _d /E _d	NOTE Ipotesi Intervento
		H=6m (Ton/m)	H=40m (Ton/m)		
(-)				(-)	
K3	326 - 73	14,8	660,4	0,140	In caso di fronti da 6m disaggio – per altezze diverse necessaria valutazione su casistica reale. Viste direzione ed inclinazione media, fronte impiegabile come superficie di scavo con eliminazione di potenziali instabilità che lo coinvolgono
K6	330 - 40	57,9	2.574,3	0,616	In caso di fronti da 6m disaggio con la coltivazione – per altezze diverse necessaria valutazione su casistica reale, viste le dimensioni delle masse al crescere dell'altezza.

Schema sistema K3 – Fronte 6m



Schema sistema K6 – Fronte 6m



10.3.3 - Fronti principali nel cantiere superiore venato SW

- Fr3: Fronte orientato N 160° verticale esposto a NE (70°/89°);

fronte già analizzato – vedi risultati;

- Fr7: Fronte orientato N 73° verticale esposto a NW (343°/89°);

fronte già analizzato – vedi risultati;

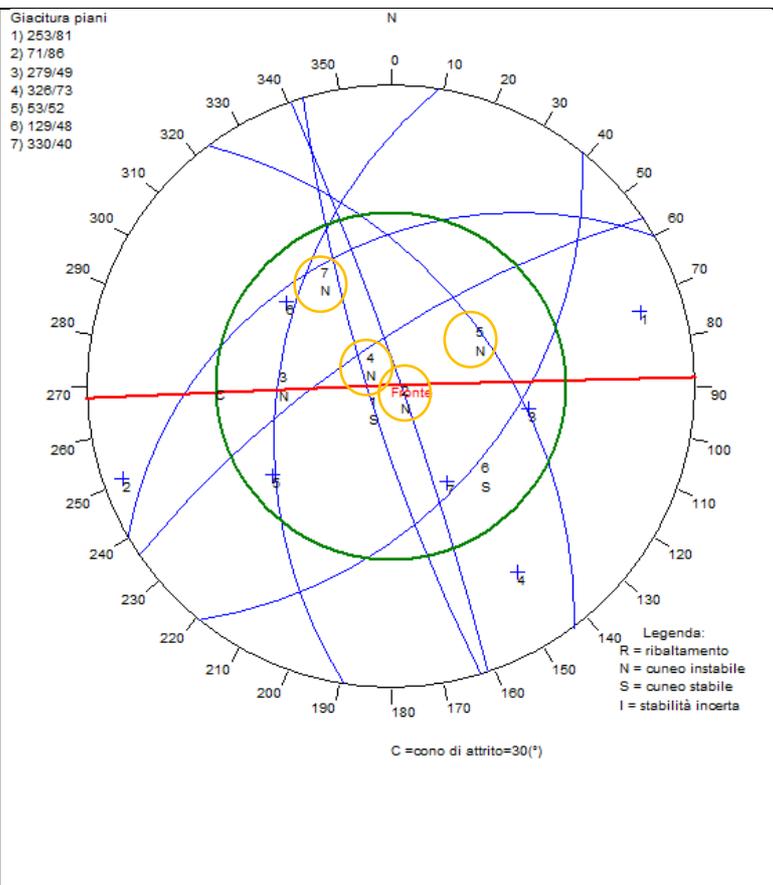
10.3.4 - Fronti principali nel cantiere superiore venato SE

- Fr8: Fronte orientato N 40° verticale esposto a NW (320°/89°);

fronte già analizzato – vedi risultati;

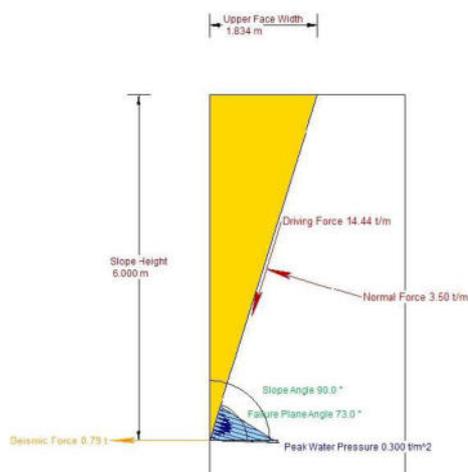
- Fr9: Fronte orientato N 88° verticale esposto a NW (358°/89°);

Dalla verifica grafica con il programma automatico MECROCCE (Test di Markland), potenziali cinematismi planari ascrivibili ai sistemi K2, K3, K4 e K6. Ulteriore verifica sulla differenza tra le immersioni del piano medio dei sistemi di discontinuità con l'immersione del fronte di scavo, permette di escludere l'attivabilità dei sistemi K2 e K4 (piano medio) che presentano una differenza superiore al limite dei 20° richiesta per attivabilità del cinematismo (valori superiori a 50°). Anche i sistemi K3 e K6 (riferimento al piano medio) presentano una differenza superiore al limite dei 20°, ma in considerazione dello scarto da tale limite (rispettivamente 32° e 28°) si è comunque proceduto ad effettuare una verifica numerica riferita al piano medio. Localmente si consiglia, ai fini della sicurezza, di porre in coincidenza i piani pervasivi e subverticali del sistema K6, condizione che esclude l'attivabilità del sistema o di combinazioni che lo coinvolgono.

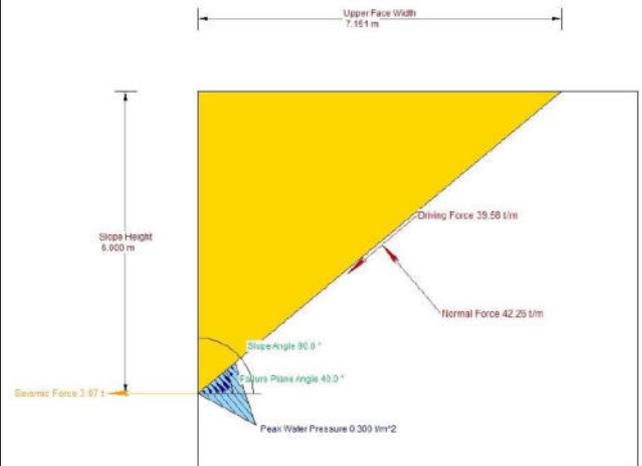


Sistema di fratturazione	Giacitura Dip Dir. / Dip - (°)	Peso del Blocco		R _d /E _d (-)	NOTE Ipotesi Intervento
		H=6m (Ton/m)	H=40m (Ton/m)		
K3	326 - 73	14,8	660,4	0,140	In caso di fronti da 6m disaggio – per altezze diverse necessaria valutazione su casistica reale. Viste direzione ed inclinazione media, fronte impiegabile come superficie di scavo con eliminazione di potenziali instabilità che lo coinvolgono
K6	330 - 40	57,9	2.574,3	0,616	In caso di fronti da 6m disaggio con la coltivazione – per altezze diverse necessaria valutazione su casistica reale, viste le dimensioni delle masse al crescere dell'altezza.

Schema sistema K3 – Fronte 6m



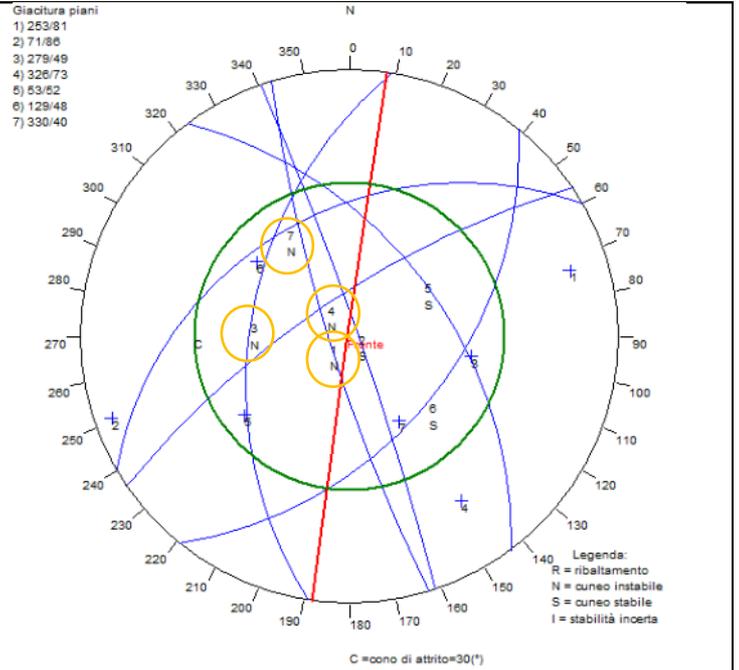
Schema sistema K6 – Fronte 6m



- Fr10: Fronte orientato N 008° verticale esposto a NW (278°/89°);

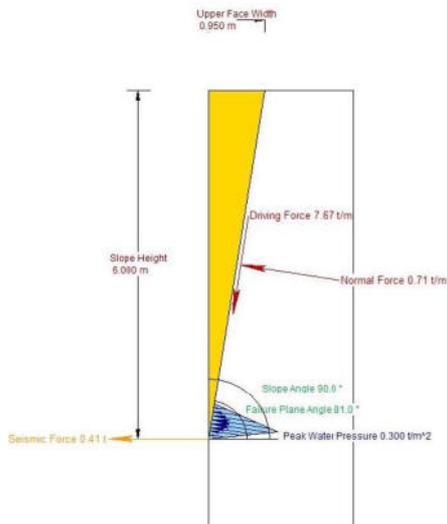
Dalla verifica grafica con il programma automatico MECROCCE (Test di Markland), potenziali cinatismi planari ascrivibili ai sistemi K1a, K2, K3 e K6. Ulteriore verifica sulla differenza tra le immersioni del piano medio dei sistemi di discontinuità con l'immersione del fronte di scavo, permette di escludere l'attivabilità dei cinatismi per i sistemi di K3 e K6 che hanno differenze rispettivamente di 48° e 52°, superiori ai 20° limite per attivabilità del cinatismo.

Nello sviluppo della coltivazione si consiglia, almeno nelle fasi di coltivazione, progressivamente di orientare i fronti di scavo secondo i piani del sistema K1a che presentano inclinazioni prossime alla verticale, escludendo così i cinatismi che li coinvolgono e permettendo di avere fronti naturali puliti.

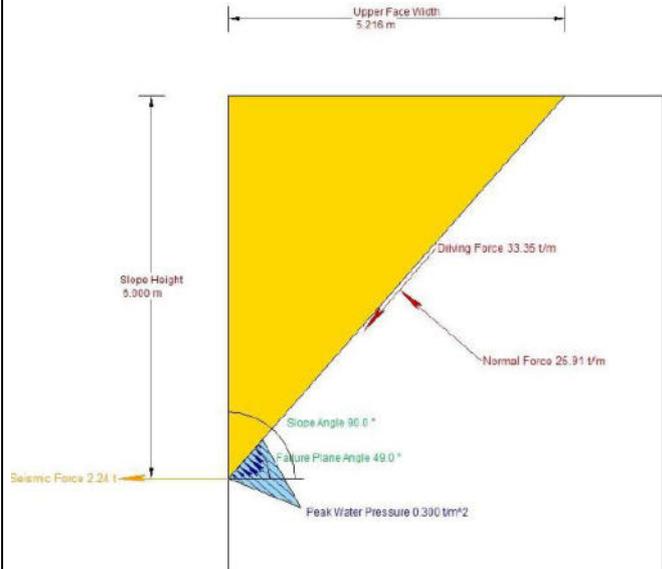


Sistema di fratturazione	Giacitura Dip Dir. / Dip - (°)	Peso del Blocco		R _d /E _d (-)	NOTE Ipotesi Intervento
		H=6m (Ton/m)	H=40m (Ton/m)		
K1a	253 - 81	7,7	342,1	0,053	In caso di fronti da 6m disaggio (scaglia) – per altezze diverse necessaria valutazione su casistica reale. Viste direzione ed inclinazione media, fronte impiegabile come superficie di scavo con eliminazione di potenziali instabilità che lo coinvolgono
K2	053 - 52	42,2	1.877,7	0,045	In caso di fronti da 6m disaggio con la coltivazione – per altezze diverse necessaria valutazione su casistica reale, viste le dimensioni delle masse al crescere dell'altezza.

Schema sistema K1a – Fronte 6m



Schema sistema K2 – Fronte 6m



10.4. Scivolamento tridimensionale - Metodologia di calcolo

L'analisi dei potenziali cinematismi "tridimensionali" è mirata alla ricerca dei potenziali meccanismi di instabilità legati alla formazione di blocchi e/o volumi di roccia isolati dal resto dell'ammasso per effetto dell'intersezione di più piani di fratturazione.

In questa prima fase preliminare, le analisi sono state effettuate con l'ausilio del programma di calcolo BROCK 2.0 della ProgramGeo di Brescia, che consente di individuare tutti i blocchi che possono formarsi per effetto dell'intersezione di due piani di fratturazione con il fronte in esame, secondo i principi della teoria dei blocchi (Goodman & Shi).

In funzione della giacitura dei piani di fratturazione il programma consente di individuare i blocchi cinematicamente rimuovibili dal fronte e il relativo rapporto tra la capacità resistente e le azioni sollecitanti (Rd/Ed). Sui singoli blocchi rimovibili è possibile introdurre un terzo piano di fratturazione, per la rappresentazione di eventuali fratture di trazione che potrebbero formarsi nella parte posteriore del volume identificato, favorendone lo scivolamento.

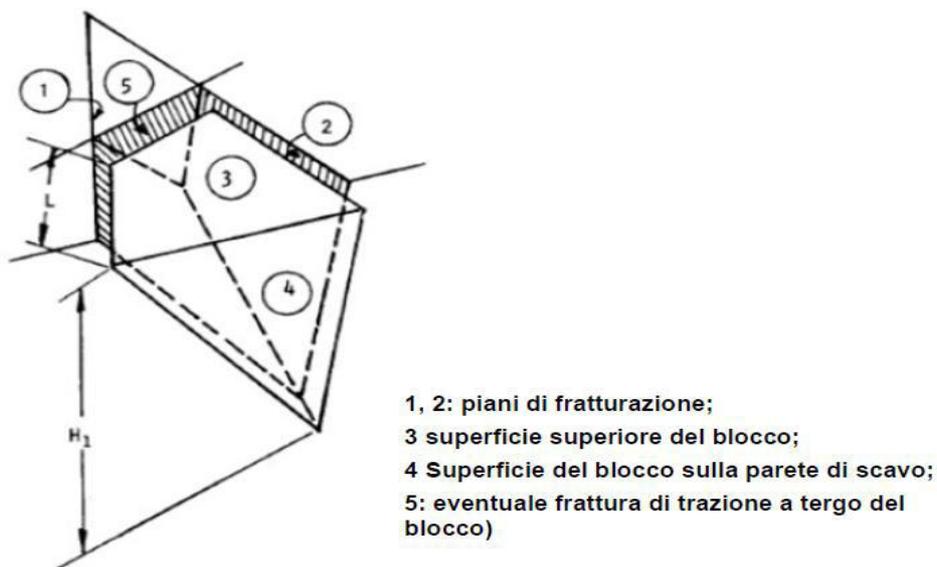


Figura 5. Schematizzazione di un blocco cinematicamente rimovibile

Per il calcolo della capacità resistente, il programma sfrutta il criterio di Barton-Bandis, che consente di determinare la resistenza a taglio su superfici rugose sottoposte sotto l'azione di tensioni normali di modesta entità, secondo quanto già illustrato al precedente cap. 7.2, a cui si rimanda per ulteriori dettagli.

$$\tau = \sigma_n \cdot \tan \left(\phi_b + JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right) \quad \text{Criterio di resistenza di Barton- Bandis}$$

Trattandosi di analisi previsionali preliminari, per il calcolo della stabilità si farà riferimento al solo angolo di attrito residuo, assunto pari a 30°, trascurando l'incremento di resistenza dovuto alla rugosità delle discontinuità (JCS=0).

Le ipotesi alla base del calcolo sono:

- piani di discontinuità con persistenza illimitata o almeno tale da attraversare completamente i blocchi senza interruzioni di continuità;
- superficie planare delle discontinuità;
- estensione delle fratture all'intero fronte (se non nei casi specificamente motivati) o comunque con valori massimi pari all'effettiva persistenza rilevata in sito.

Il programma considera l'ammasso roccioso come un mezzo integro, attraversato da piani di discontinuità variamente orientati (in base ai dati di giacitura inseriti dall'utente). La stabilità dei singoli volumi rocciosi isolati dall'intersezione dei piani di fratturazione è governata da:

- orientazione dei piani di fratturazione rispetto al fronte di scavo, in funzione della quale potrebbero originarsi a volumi cinematicamente rimuovibili o meno;
- azioni sollecitanti e resistenti che si sviluppano all'interfaccia tra il blocco e l'ammasso, in funzione dell'inclinazione dei piani di scivolamento e dalle caratteristiche di resistenza dei giunti;

Per ognuno dei blocchi individuati, il programma fornisce i seguenti risultati di calcolo

- Volume e peso unitario del blocco;
- fattore di sicurezza nei confronti della potenziale instabilità individuata.

Come premesso nell'introduzione del capitolo saranno analizzati tutti i fronti di scavo in progetto al termine della fase 2, con altezze variabili da 6 a 40m (valore limite).

Le analisi di stabilità saranno effettuate in condizioni di Stato Limite Ultimo in presenza di sisma, con l'approccio 1 - combinazione 2. L'azione del sisma sarà implementata come una forza statica equivalente, data dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici orizzontale e verticale, definiti al precedente cap. 9.0. In aggiunta sarà considerata una sovrappressione interna dovuta all'eventuale presenza di acqua all'interno delle fratture (saturazione 10%, benché in fase di indagine in sito non sia stata rilevata acqua all'interno delle fratture).

In questa fase previsionale di progetto, non saranno presi in conto eventuali carichi variabili, trattandosi di verifiche di stabilità di blocchi presenti sulle pareti di scavo. Si precisa, infine, che tutti i carichi derivanti dal peso proprio dell'ammasso saranno considerati come carichi permanenti strutturali ($\gamma G1 = 1,00$).

I sistemi di discontinuità rilevati in sito e utilizzati nelle analisi sono quelli già illustrati nella precedente Tabella 1 al cap. 5.2.

10.5. Analisi dei risultati di calcolo

Nei paragrafi a seguire sono riportati risultati del calcolo, riassunti in forma tabellare con i seguenti dati:

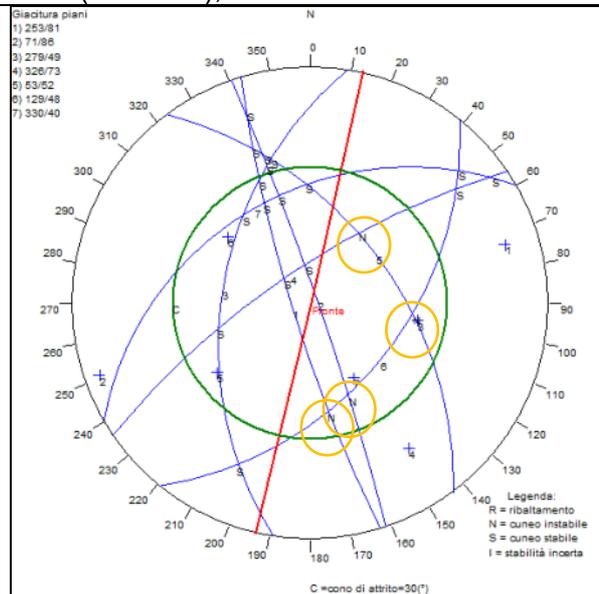
- il numero del cuneo tridimensionale di dimensioni massime calcolato dal programma;
- i sistemi di fratturazione coinvolti;
- il volume del blocco;
- il valore del rapporto tra la capacità resistente e le azioni sollecitanti (Rd/Ed);
- le eventuali ipotesi preliminari di intervento.

10.5.1 - Fronti principali nel cantiere Calacatta

- Fr1: Fronte orientato N 13° verticale esposto a SE (103°-89°);

Dalla verifica grafica con il programma automatico MECROCCE (Test di Markland), potenziali cinematismi tridimensionali ascrivibili all'intersezione tra i sistemi K1a e K5, K1b e K5, K3 e K4, K4 e K5.

Nello sviluppo della coltivazione si consiglia, almeno nelle fasi di coltivazione, progressivamente di orientare, dove possibile, i fronti di scavo secondo i piani dei sistemi K1a e K1b, i quali presentano inclinazioni prossime alla verticale, escludendo così in prima analisi i cinematismi che li coinvolgono.

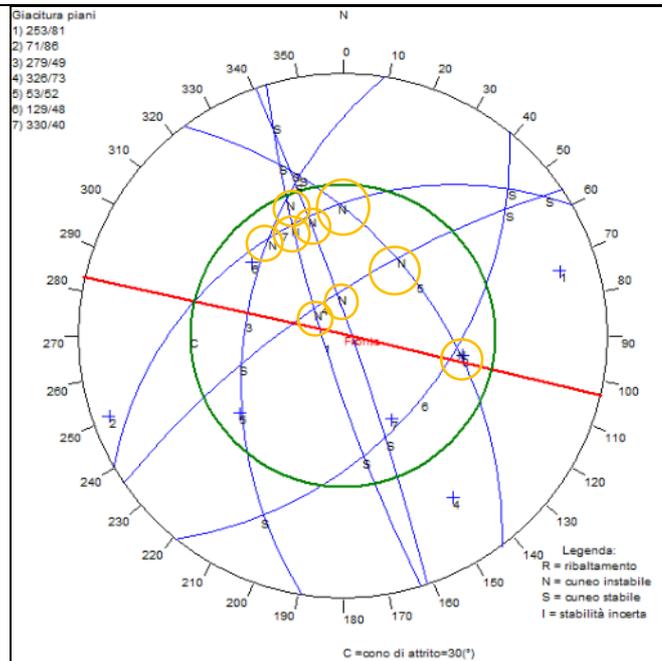


FRONTE	CUNEO	COMB PIANI	RESIDUO sisma+H2O			NOTE
			H=6m Volume (mc)	H=40m Volume (mc)	H=6-40m Rd/Ed	
FR1	5	K1a/K5	26,6	7.876,2	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	10	K1b/K5	44,4	13.159,4	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	16	K3/K4	5,4	1.616,7	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	17	K3/K5	227,40	67.365,7	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	18	K3/K6	357,7	105.980,9	0,06	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	19	K4/K5	113,9	33.746,0	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	21	K5/K6	432,4	128.107,9	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	67	K1b/K5+K1 a	44,7	13.249,0	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	68	K1b/K5+K2	39,5	11.725,8	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	102	K3/K5+K1a	79,0	22.830,5	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	103	K3/K5+K1b	72,2	20.859,9	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	104	K3/K5+K2	134,5	39.636,4	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	106	K3/K5+K6	228,1	67.562,2	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	112	K4/K5+K1a	104,5	30.872,2	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
113	K4/K5+K1b	104,5	30.854,0	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.	
114	K4/K5+K2	87,6	26.096,3	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.	

- Fr2: Fronte orientato N 103° verticale esposto a NE (13°/89°);

Dalla verifica grafica con il programma automatico MECROCCE (Test di Markland), potenziali cinematismi tridimensionali ascrivibili all'intersezione tra i sistemi K1a e K2, K1a e K3, K1a e K6, K1b e K3, K1b e K6, K2 e K6, K3 e K4, K4 e K5, K5 e K6.

Alcuni dei cinematismi indicati, sempre con riferimento ad una combinazione dei piani medi, risultano in prima analisi cinematicamente non rimovibili in quanto la eventuale retta di intersezione forma angoli superiori a 20° con la direzione di immersione del fronte di scavo.



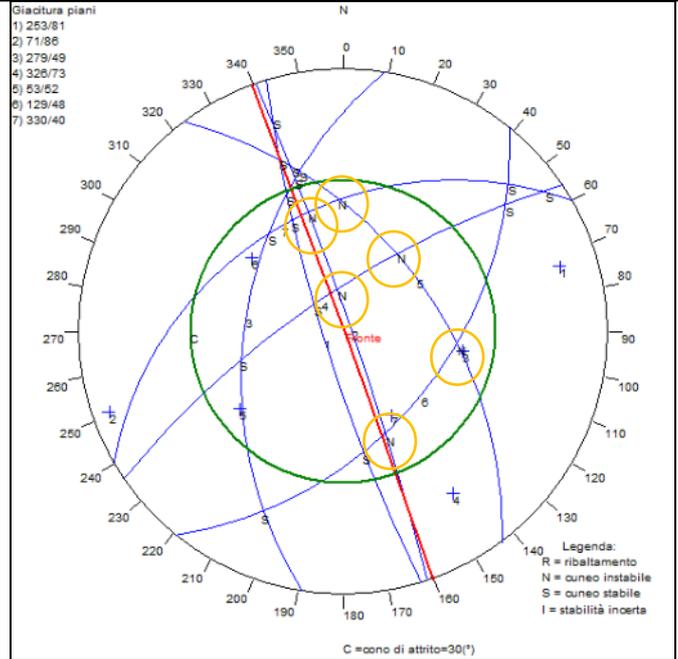
FRONTE	CUNEO	COMB PIANI	RESIDUO sisma+H2O			NOTE
			H=6m Volume (mc)	H=40m Volume (mc)	H=6-40m Rd/Ed	
FR2	1	K1a/K1b	53,0	15.705,6	0,12	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	2	K1a/K2	32,8	9.710,7	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	3	K1a/K3	1,1	308,0	0,00	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	4	K1a/K4	112,8	33.428,8	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	6	K1a/K6	51,5	15.249,9	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	7	K1b/K2	57,8	17.135,2	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	8	K1b/K3	5,2	1.534,3	0,02	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	9	K1b/K4	80,1	23.734,6	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	11	K1b/K6	68,7	20.368,7	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	13	K2/K4	137,1	40.635,6	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	15	K2/K6	23,1	6.843,7	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	16	K3/K4	43,2	12.797,1	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	17	K3/K5	161,4	47.817,6	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.

18	K3/K6	453,3	134.300,0	0,06	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
19	K4/K5	0,7	215,9	0,04	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
20	K4/K6	135,9	40.262,6	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
21	K5/K6	462,0	136.878,9	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
25	K1a/K1b+K5	24,1	7.183,4	0,09	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
40	K1a/K4+K5	66,7	19.516,8	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
52	K1b/K2+K1a	57,6	17.054,4	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
62	K1b/K4+K1a	80,0	23.696,2	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
65	K1b/K4+K5	44,0	12.837,6	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
72	K1b/K6+K1a	69,7	20.637,1	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
84	K2/K4+K3	88,2	25.788,0	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
85	K2/K4+K5	123,5	36.477,8	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
99	K3/K4+K2	29,6	8.811,7	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
100	K3/K4+K6	40,7	12.022,1	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
109	K3/K6+K2	76,9	22.407,1	0,04	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
122	K5/K6+K1a	228,9	67.214,3	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
123	K5/K6+K1b	212,5	62.310,9	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
124	K5/K6+K2	342,3	101.709,0	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.

- Fr3: Fronte orientato N 160° verticale esposto a NE (70°/89°);

Dalla verifica grafica con il programma automatico MECROCCE (Test di Markland), potenziali cinematismi tridimensionali ascrivibili all'intersezione tra i sistemi K1b e K3, K1b e K5, K1b e K6, K3 e K4, K4 e K6

Nello sviluppo della coltivazione si consiglia, almeno nelle fasi di coltivazione, progressivamente di orientare i fronti di scavo secondo le superfici più inclinate e persistenti del sistema K1b, il quale presenta inclinazioni prossime alla verticale, escludendo così i cinematismi che lo coinvolgono e permettendo di avere fronti naturali puliti.



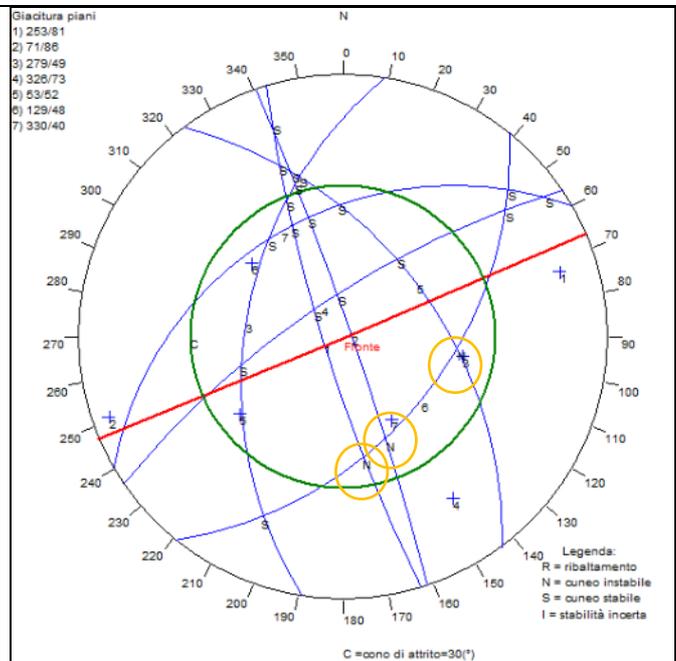
FRONTE	CUNEO	COMB	RESIDUO sisma+H2O			NOTE
			PIANI	H=6m	H=40m	
FR3			Volume (mc)	Volume (mc)	Rd/Ed	
	1	K1a/K1b	38,2	11.313,8	0,16	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	7	K1b/K2	15,1	4.487,1	0,07	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	8	K1b/K3	7,0	2.068,8	0,00	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	9	K1b/K4	18,8	5.566,7	0,00	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	10	K1b/K5	2,4	727,8	0,00	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	11	K1b/K6	11,2	3.325,8	0,00	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	13	K2/K4	4,4	1.313,8	0,00	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	16	K3/K4	53,9	15.969,6	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	17	K3/K5	189,2	56.073,1	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	18	K3/K6	393,9	116.722,6	0,06	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	19	K4/K5	124,2	36.806,3	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	20	K4/K6	20,5	6.081,5	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.

21	K5/K6	430,5	127.557,0	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
24	K1a/K1b+K4	26,7	7.854,9	0,13	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
106	K3/K5+K6	192,1	56.886,7	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
107	K3/K6+K1a	8,2	2.032,5	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
109	K3/K6+K2	94,5	27.953,9	0,04	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
122	K5/K6+K1a	31,0	8.369,7	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
124	K5/K6+K2	215,4	63.351,0	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.

- Fr4: Fronte orientato N 67° verticale esposto a SE (157°/89°);

Dalla verifica grafica con il programma automatico MECROCCE (Test di Markland), potenziali cinematismi tridimensionali ascrivibili all'intersezione tra i sistemi K1a e K5, K1b e K5, K4 e K5.

Nello sviluppo dei lavori si consiglia, almeno nelle fasi di coltivazione, progressivamente di orientare i fronti di scavo, dove possibile, secondo i piani subverticali del sistema K3. Inoltre è importante riconoscere il sistema K5 che a seguito della sua orientazione è il sistema che genera tutti i potenziali cinematismi tridimensionali. Sul fronte in oggetto è caratterizzato da una traccia che diagonalmente attraversa il fronte da alto dx verso basso sx



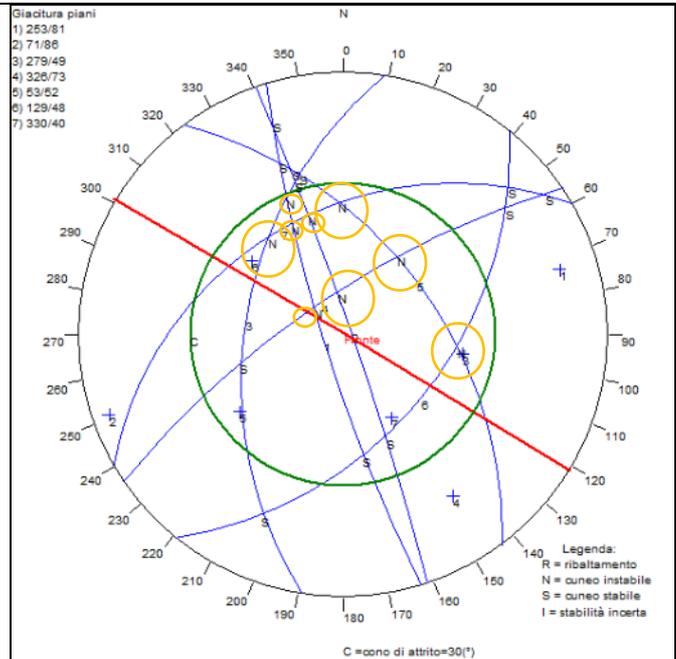
FRONTE	CUNEO	COMB PIANI	RESIDUO sisma+H2O			NOTE
			H=6m Volume (mc)	H=40m Volume (mc)	H=6-40m Rd/Ed	
FR4	5	K1a/K5	84,9	25.151,4	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	10	K1b/K5	65,6	19.430,7	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	14	K2/K5	244,6	72.470,5	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	19	K4/K5	19,5	5.792,7	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	43	K1a/K5+K2	71,2	20.929,6	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	45	K1a/K5+K4	82,1	24.275,6	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	67	K1b/K5+K1a	66,5	19.711,5	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.

68	K1b/K5+K2	57,2	17.008,4	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
70	K1b/K5+K4	63,6	18.806,9	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
90	K2/K5+K4	196,5	57.957,1	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.

- Fr5: Fronte orientato N 121° verticale esposto a NE (31°/89°);

Dalla verifica grafica con il programma automatico MECROCCE (Test di Markland), potenziali cinematismi tridimensionali ascrivibili all'intersezione tra i sistemi K1a e K2, K1a e K3, K1a e K6, K1b e K3, K1b e K6, K2 e K6, K4 e K3, K4 e K5, K4 e K6.

Nello sviluppo della coltivazione si consiglia, almeno dove possibile, progressivamente di orientare i fronti di scavo secondo i piani dei sistema K1b, i quali presentano inclinazioni prossime alla verticale, escludendo così i cinematismi che li coinvolgono. Anche i piani subverticali di K1a possono essere impiegati come potenziali fronti di scavo e come per K1b escludere potenziali cinematismi che li coinvolgono. Gli altri cinematismi sono riferibili alle combinazioni con il sistema K4: il sistema in esame presenta una traccia sul fronte che lo taglia diagonalmente da sx (alto) verso dx (basso), indicazione utile al suo riconoscimento sui fronti con questa orientazione.



FRONTE	CUNEO	COMB PIANI	RESIDUO sisma+H2O			NOTE
			H=6m Volume (mc)	H=40m Volume (mc)	H=6-40m Rd/Ed	
FR5	1	K1a/K1b	52,5	15.562,8	0,12	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	2	K1a/K2	24,1	7.156,4	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	3	K1a/K3	0,1	36,1	0,00	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	4	K1a/K4	139,4	41.300,3	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	6	K1a/K6	26,0	7.707,5	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	7	K1b/K2	48,7	14.438,1	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	8	K1b/K3	3,8	1.119,6	0,02	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	9	K1b/K4	107,1	31.748,9	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	11	K1b/K6	42,8	12.683,5	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.

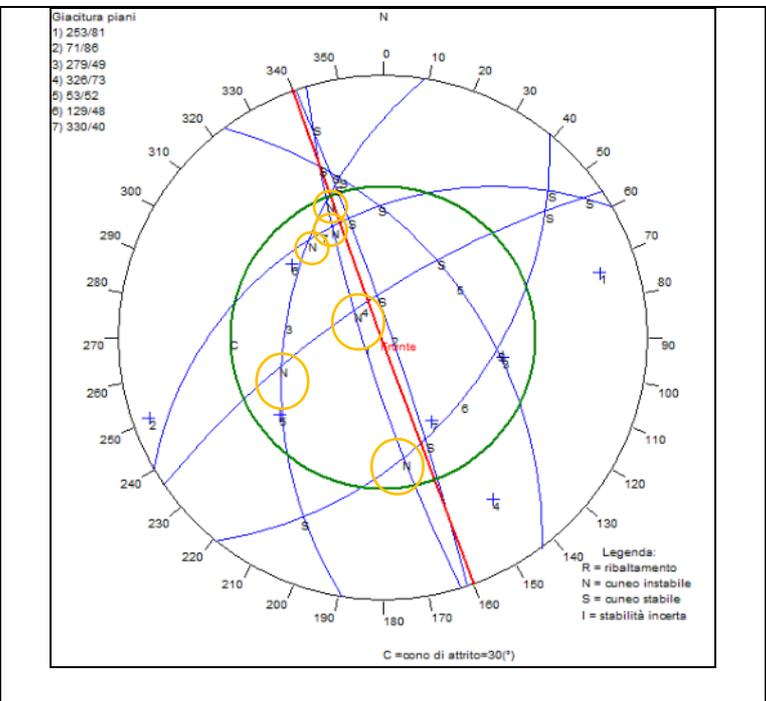
13	K2/K4	155,1	45.952,9	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
15	K2/K6	6,3	1.855,6	0,00	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
16	K3/K4	68,8	20.396,8	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
17	K3/K5	170,2	50.419,4	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
18	K3/K6	428,7	127.029,5	0,06	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
19	K4/K5	17,6	5.213,8	0,01	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
20	K4/K6	137,0	40.591,7	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
21	K5/K6	446,2	132.210,2	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
25	K1a/K1b+K5	24,1	7.142,5	0,09	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
40	K1a/K4+K5	98,5	28.960,7	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
52	K1b/K2+K1a	47,7	14.116,4	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
62	K1b/K4+K1a	106,9	31.658,9	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
65	K1b/K4+K5	69,9	20.498,1	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
72	K1b/K6+K1a	43,0	12.738,2	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
84	K2/K4+K3	127,3	37.456,2	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
85	K2/K4+K5	148,3	43.854,8	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
109	K3/K6+K2	63,9	18.560,2	0,04	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
113	K4/K5+K1b	15,8	4.283,9	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
122	K5/K6+K1a	165,1	48.241,2	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
123	K5/K6+K1b	145,6	42.416,3	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
124	K5/K6+K2	299,6	88.359,4	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.

10.5.2 - Fronti principali nel cantiere intermedio venato

- Fr3: Fronte orientato N 160° verticale esposto a NE (70°/89°); VEDI RISULTATI CANTIERE CALACATTA
- Fr6: Fronte orientato N 160° verticale esposto a SW (250°/89°);

Dalla verifica grafica con il programma automatico MECROCCE (Test di Markland), potenziali cinematismi tridimensionali ascrivibili all'intersezione tra i sistemi K1a e K2, K1a e K3, K1a e K5, K1a e K6, K2 e K3, K2 e K6.

Nello sviluppo dei lavori, si consiglia, almeno nelle fasi di coltivazione, progressivamente di orientare i fronti di scavo secondo i piani più persistenti ed inclinati del sistema K1a, escludendo così i cinematismi che lo coinvolgono e permettendo di avere fronti naturali puliti. In alternativa, visti i valori di inclinazione del sistema K1b prossimi alla verticale, anche i piani più persistenti di questo sistema potranno essere impiegati quali fronti di scavo escludendo i cinematismi che lo coinvolgono.

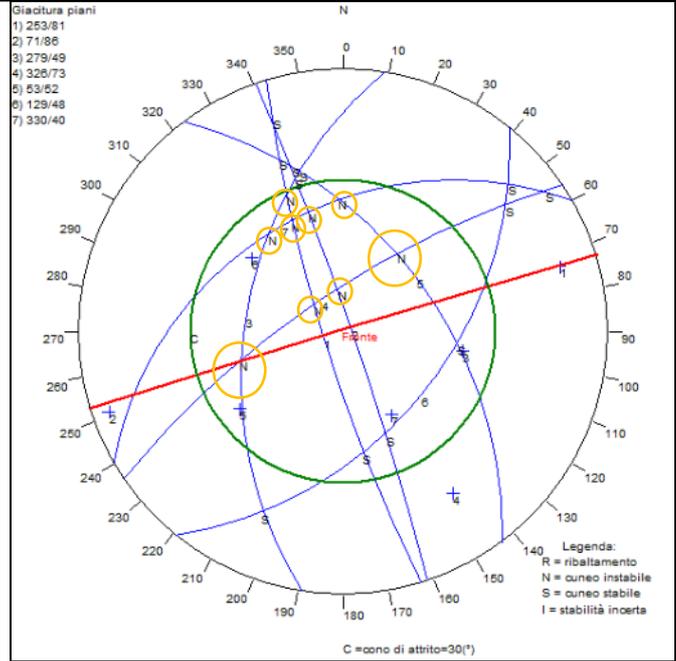


FRONTE	CUNEO	COMB PIANI	RESIDUO sisma+H2O			NOTE
			H=6m Volume (mc)	H=40m Volume (mc)	H=6-40m Rd/Ed	
FR6	2	K1a/K2	1,8	535,9	0,00	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	3	K1a/K3	10,8	3.215,2	0,00	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	5	K1a/K5	27,4	8.134,8	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	6	K1a/K6	4,2	1.246,2	0,00	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	12	K2/K3	48,7	14.441,2	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	14	K2/K5	238,4	70.625,2	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	15	K2/K6	6,8	2.014,9	0,02	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	42	K1a/K5+K1b	18,3	5.390,8	0,02	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	78	K2/K3+K1b	10,0	2.882,4	0,01	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
88	K2/K5+K1b	18,9	5.020,5	0,01	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.	

- Fr7: Fronte orientato N 73° verticale esposto a NW (343°/89°);

Dalla verifica grafica con il programma automatico MECROCCE (Test di Markland), potenziali cinematismi tridimensionali ascrivibili all'intersezione tra i sistemi K1a e K2, K1a e K3, K1a e K6, K1b e K3, K1b e K6, K2 e K3, K2 e K6, K4 e K3, K4 e K6.

Nello sviluppo dei lavori, almeno nelle fasi di coltivazione, progressivamente di orientare i fronti di scavo secondo i piani più pervasivi e con inclinazione prossima alla verticale del sistema K3, escludendo così i cinematismi che coinvolgono il sistema così da avere fronti naturali puliti.



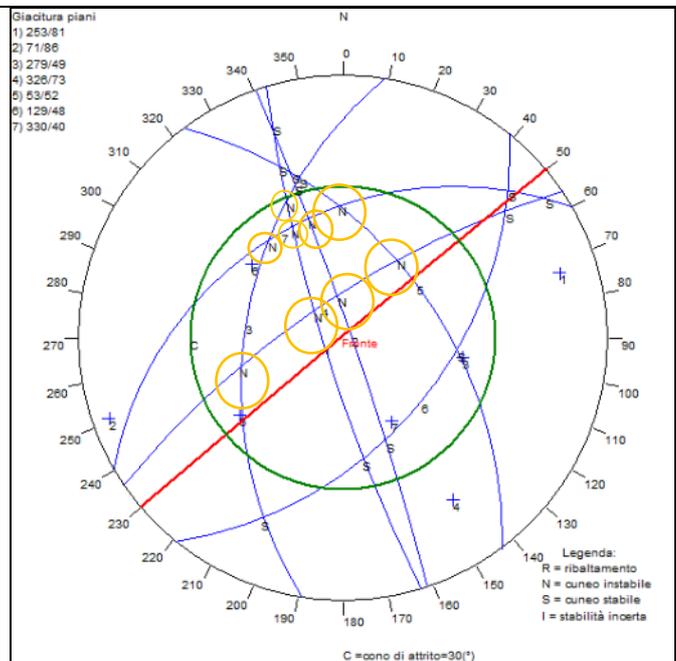
FRONTE	CUNEO	COMB PIANI	RESIDUO sisma+H2O			NOTE
			H=6m Volume (mc)	H=40m Volume (mc)	H=6-40m Rd/Ed	
FR7	1	K1a/K1b	53,5	15.843,1	0,12	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	2	K1a/K2	47,3	14.006,3	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	3	K1a/K3	7,6	2.247,7	0,00	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	4	K1a/K4	95,7	28.344,9	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	6	K1a/K6	213,1	63.147,1	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	7	K1b/K2	72,8	21.568,3	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	8	K1b/K3	12,2	3.611,5	0,01	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	9	K1b/K4	62,5	18.513,2	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	11	K1b/K6	230,9	68.403,4	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	12	K2/K3	0,1	3,4	0,00	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	13	K2/K4	134,5	39.847,3	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	15	K2/K6	170,2	50.445,4	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	16	K3/K4	32,6	9.653,0	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.

17	K3/K5	138,7	41.090,1	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
18	K3/K6	608,4	180.257,5	0,05	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
20	K4/K6	280,4	83.075,9	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
21	K5/K6	594,4	176.108,9	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
25	K1a/K1b+K5	24,3	7.204,3	0,09	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
40	K1a/K4+K5	55,9	16.617,0	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
51	K1a/K6+K5	184,3	54.724,6	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
65	K1b/K4+K5	37,2	10.979,4	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
76	K1b/K6+K5	194,6	57.960,4	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
84	K2/K4+K3	33,5	9.360,1	0,03	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
85	K2/K4+K5	104,0	30.627,5	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
96	K2/K6+K5	166,3	49.305,9	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
100	K3/K4+K5	24,5	7.289,5	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
121	K4/K6+K5	194,4	57.605,2	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
123	K5/K6+K1b	462,4	136.572,2	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
126	K5/K6+K4	408,4	120.430,3	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.

- Fr8: Fronte orientato N 50° verticale esposto a NW (320°/89°);

Dalla verifica grafica con il programma automatico MECROCCE (Test di Markland), potenziali cinematismi tridimensionali ascrivibili all'intersezione tra i sistemi K1a e K2, K1a e K3, K1a e K6, K1b e K3, K1b e K6, K2 e K3, K2 e K6, K4 e K3, K4 e K6.

Nello sviluppo dei lavori, almeno nelle fasi di coltivazione, si consiglia progressivamente di orientare i fronti di scavo secondo i piani più pervasivi e con inclinazione prossima alla verticale del sistema K3, escludendo così i cinematismi che coinvolgono il sistema così da avere fronti naturali puliti.



FRONTE	CUNEO	COMB	RESIDUO sisma+H2O			NOTE
			PIANI	H=6m	H=40m	
FR8			Volume (mc)	Volume (mc)	Rd/Ed	
	1	K1a/K1b	53,7	15.927,9	0,12	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	2	K1a/K2	64,5	19.106,4	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	3	K1a/K3	30,9	9.172,3	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	4	K1a/K4	86,9	25.760,6	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	6	K1a/K6	283,5	84.004,8	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	7	K1b/K2	90,3	26.753,2	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	8	K1b/K3	26,1	7.723,7	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	9	K1b/K4	53,5	15.844,1	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	11	K1b/K6	265,5	78.663,7	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	12	K2/K3	55,7	16.516,8	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	13	K2/K4	143,0	42.363,2	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	15	K2/K6	343,6	101.806,6	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	16	K3/K4	14,7	4.351,3	0,01	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	20	K4/K6	225,0	66.660,2	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	21	K5/K6	12,7	3.770,7	0,00	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	25	K1a/K1b+K5	24,0	7.123,4	0,09	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	27	K1a/K2+K1b	65,3	19.346,1	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	37	K1a/K4+K1b	84,4	24.978,1	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	40	K1a/K4+K5	52,7	15.625,3	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	47	K1a/K6+K1b	289,1	85.662,0	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	50	K1a/K6+K4	284,5	84.261,0	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	51	K1a/K6+K5	263,6	78.105,3	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	65	K1b/K4+K5	33,8	10.073,0	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	76	K1b/K6+K5	246,0	72.937,8	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	85	K2/K4+K5	91,7	27.141,1	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	96	K2/K6+K5	297,4	88.200,6	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	121	K4/K6+K5	204,1	60.652,0	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.

10.5.3 - Fronti principali nel cantiere superiore venato SW

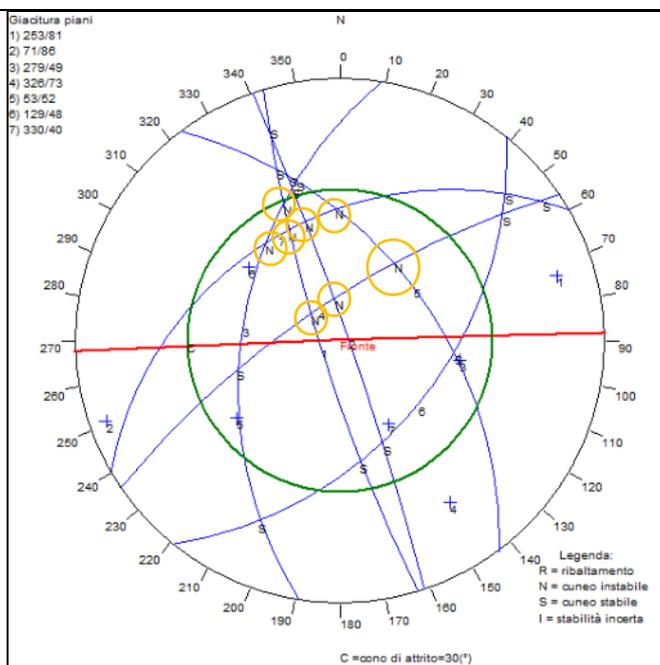
- Fr3: Fronte orientato N 160° verticale esposto a NE (70°/89°); VEDI RISULTATI CANTIERE CALACATTA
- Fr7: Fronte orientato N 73° verticale esposto a NW (343°/89°); VEDI RISULTATI CANTIERE INTERMEDIO VENATO

10.5.4 - Fronti principali nel cantiere superiore venato SE

- Fr8: Fronte orientato N 50° verticale esposto a NW (320°/89°); VEDI RISULTATI CANTIERE INTERMEDIO VENATO
- Fr9: Fronte orientato N 88° verticale esposto a NW (358°/89°);

Dalla verifica grafica con il programma automatico MECROCCE (Test di Markland), potenziali cinematismi tridimensionali ascrivibili all'intersezione tra i sistemi K1a e K2, K1a e K3, K1a e K6, K1b e K3, K1b e K6, K2 e K6, K4 e K3, K4 e K6.

I cinematismi coinvolgono prevalentemente i piani del sistema K3 e del K6 (7 combinazioni su 8). Nello sviluppo dei lavori, almeno nelle fasi di coltivazione, si consiglia progressivamente di orientare i fronti di scavo secondo i piani più pervasivi e con inclinazione prossima alla verticale del sistema K3, escludendo così i cinematismi che coinvolgono il sistema. Il sistema K6 presenta valori massimi di inclinazione di circa 55° che esclude un suo impiego come fronte di scavo. Al fine di un suo riconoscimento sul fronte in oggetto, la traccia del piano risulta inclinata alto dx a basso sx.



FRONTE	CUNEO	COMB PIANI	RESIDUO sisma+H2O			NOTE
			H=6m Volume (mc)	H=40m Volume (mc)	H=6-40m Rd/Ed	
FR9	1	K1a/K1b	53,3	15.728,3	0,12	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	2	K1a/K2	39,6	11.745,8	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	3	K1a/K3	2,8	826,0	0,00	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	4	K1a/K4	102,6	30.415,0	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	6	K1a/K6	91,5	27.113,4	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.

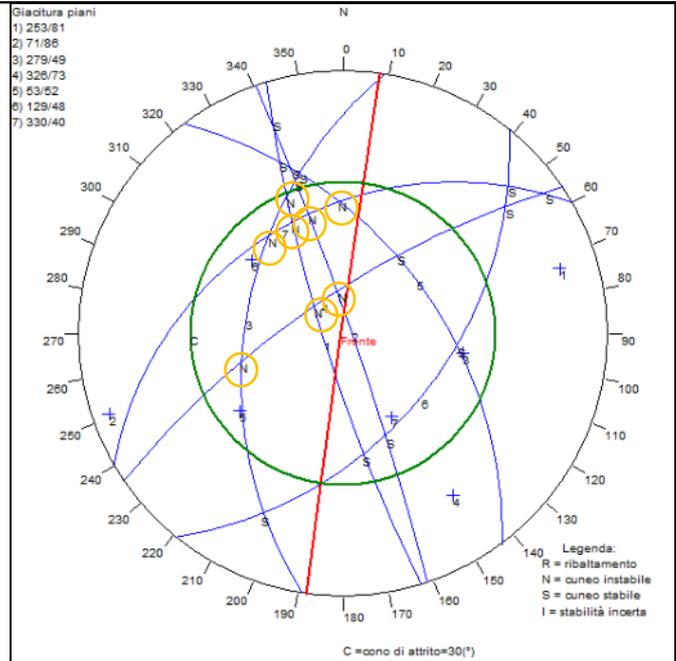
7	K1b/K2	64,9	19.247,0	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
8	K1b/K3	7,2	2.128,9	0,01	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggancio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
9	K1b/K4	69,7	20.644,2	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
11	K1b/K6	109,0	32.308,9	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
13	K2/K4	133,8	39.657,0	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
15	K2/K6	56,3	16.672,1	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
16	K3/K4	34,8	10.301,4	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
17	K3/K5	152,1	45.054,4	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
18	K3/K6	491,5	145.645,6	0,06	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
20	K4/K6	165,7	49.112,3	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
21	K5/K6	490,9	145.461,2	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
25	K1a/K1b+K5	24,2	7.206,5	0,09	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
40	K1a/K4+K5	59,1	17.556,7	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
52	K1b/K2+K1a	65,3	19.331,2	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
62	K1b/K4+K1a	69,6	20.623,1	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
65	K1b/K4+K5	39,7	11.650,3	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
72	K1b/K6+K1a	111,0	32.878,7	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
84	K2/K4+K3	63,1	18.240,7	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
85	K2/K4+K5	113,1	33.372,4	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
100	K3/K4+K5	29,8	8.790,3	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
122	K5/K6+K1a	304,7	89.763,3	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
123	K5/K6+K1b	291,4	85.769,3	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
126	K5/K6+K4	213,5	62.515,9	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.

- Fr10: Fronte orientato N08° verticale esposto a NW (278°/89°);

Dalla verifica grafica con il programma automatico MECROCCE (Test di Markland), potenziali cinematismi tridimensionali ascrivibili all'intersezione tra i sistemi K1a e K2, K1a e K3, K1a e K6, K1b e K3, K1b e K6, K2 e K3, K2 e K6, K4 e K6.

I cinematismi coinvolgono prevalentemente i piani del sistema K3 e del K6 (7 combinazioni su 8). Il sistema K3 presenta valori di inclinazione fino a 85°, condizione da poterlo impiegare, localmente, come potenziale fronte di scavo specie con i piani che presentano anche una direzione di immersione prossima ai 300°. Il sistema K6 presenta valori massimi di inclinazione di circa 55° che esclude un suo impiego come fronte di scavo. Al fine di un suo riconoscimento sul fronte in oggetto, la traccia del piano risulta inclinata alto dx a basso sx.

Localmente, con lo sviluppo dei lavori, si consiglia, almeno dove possibile di orientare i fronti di scavo secondo i piani più persistenti ed inclinati del sistema K1a, escludendo così i cinematismi che lo coinvolgono e permettendo di avere fronti naturali puliti. Questa scelta che ruota il fronte verso NW_SE, permetterà localmente anche di ridurre le combinazioni cinematicamente attivabili che coinvolgono il sistema K6.



FRONTE	CUNEO	COMB PIANI	RESIDUO sisma+H2O			NOTE
			H=6m Volume (mc)	H=40m Volume (mc)	H=6-40m Rd/Ed	
FR10	1	K1a/K1b	54,7	16.201,3	0,12	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	2	K1a/K2	1.463,0	433.483,4	0,00	Volumetrie non compatibili con il fronte in esame, eventuali interventi da valutare su caso reale.
	3	K1a/K3	6,3	1.882,3	0,01	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	4	K1a/K4	67,0	19.858,0	0,02	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	6	K1a/K6	41,5	12.290,1	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
	7	K1b/K2	1.436,3	425.563,2	0,00	Volumetrie non compatibili con il fronte in esame, eventuali interventi da valutare su caso reale.
	8	K1b/K3	0,5	160,2	0,00	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.

9	K1b/K4	32,6	9.668,1	0,03	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
11	K1b/K6	22,5	6.675,6	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
12	K2/K3	1.496,3	443.363,1	0,01	Volumetrie non compatibili con il fronte in esame
13	K2/K4	1.404,4	416.129,2	0,01	Volumetrie non compatibili con il fronte in esame
14	K2/K5	1.656,1	490.702,9	0,01	Volumetrie non compatibili con il fronte in esame
15	K2/K6	1.425,9	422.497,8	0,01	Volumetrie non compatibili con il fronte in esame
20	K4/K6	2,9	848,2	0,00	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
27	K1a/K2+K1b	1.483,4	439.536,6	0,01	Volumetrie non compatibili con il fronte in esame
30	K1a/K2+K5	1.461,0	432.857,3	0,01	Volumetrie non compatibili con il fronte in esame
37	K1a/K4+K1b	59,3	17.536,0	0,01	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
47	K1a/K6+K1b	41,6	12.342,2	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
50	K1a/K6+K4	29,1	8.558,9	0,00	In caso di rinvenimento possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.
55	K1b/K2+K5	1.438,3	426.093,8	0,01	Volumetrie non compatibili con il fronte in esame, eventuali interventi da valutare su caso reale.
75	K1b/K6+K4	16,5	4.870,6	0,01	In caso di rinvenimento su fronte di 6m disaggio meccanico, altrimenti possibile intervento con barre d'acciaio da dimensionare su caso reale.

10.6. - Instabilità per ribaltamento flessionale - Metodologia di calcolo

Le analisi per la ricerca di potenziali instabilità per ribaltamento sono effettuate mediante semplici verifiche sulle caratteristiche geometriche dei fronti di scavo e dei sistemi di fratturazione che li interessano.

Affinché si possa originare un meccanismo di instabilità di ribaltamento flessionale devono sussistere le seguenti condizioni (Goodman & Bray, 1976):

a) La direzione del fronte e la direzione degli strati o delle fratture non devono differire per più di 30° (cono di confidenza totale pari a 60°);

b) La direzione di immersione degli strati o delle fratture deve essere opposta a quella del fronte in oggetto;

c) Il fronte deve essere isolato lateralmente (assenza di continuità laterale del blocco) da altre fratture, da un vuoto o, nel caso di fronti di scavo, da tagli;

○ La normale al piano di ribaltamento deve avere un valore di inclinazione inferiore alla differenza tra l'inclinazione del fronte e l'angolo di attrito lungo i piani.

Tradotta in formula, quest'ultima condizione impone che: $(90 - \Phi_p) \leq (\Phi_f - \phi)$

dove: Φ_p = inclinazione media del sistema di fratturazione o della stratificazione;

Φ_f = inclinazione del fronte;

ϕ = angolo di attrito sul piano delle discontinuità o della stratificazione.

In aggiunta sarà effettuata anche un'analisi per la determinazione dell'altezza critica dei volumi rocciosi, riferita ai soli sistemi di discontinuità che presentano inclinazioni del piano medio prossima alla verticale. Per questa stima sarà utilizzata la formula di Timoshenko&Gere (1961) sotto riportata.

$$L = 0,868 \cdot \left[\frac{(E \cdot T^2)}{\gamma} \right]^{\frac{1}{3}}$$

dove:

L = altezza critica della struttura rocciosa in esame;

E = modulo elastico dell'ammasso roccioso (16870.24MPa);

T = spaziatura media delle discontinuità;

γ = peso di volume unitario dell'ammasso roccioso (2,7 t/mc);

Come premesso al paragrafo precedente le analisi si basano su criteri prettamente geometrici e sono volte alla sola individuazione delle eventuali situazioni critiche, ossia alla ricerca degli scenari che potrebbero dare luogo alla formazione di volumi isolati dal resto dell'ammasso e soggetti a potenziale instabilità per ribaltamento.

Come premesso nell'introduzione saranno analizzati tutti i fronti di scavo in progetto al termine della fase 2, con altezze variabili da 6 a 40m.

Le analisi di stabilità saranno effettuate con i parametri geotecnici (solo angolo di attrito) calcolati per la combinazione 2 dell'approccio 1 - combinazione 2.

I sistemi di discontinuità rilevati in sito e utilizzati nelle analisi sono quelli già illustrati nella precedente tabella 1 al cap. 5.2. Tutti i piani di fratturazione sono supposti indefinitamente estesi (continuità illimitata senza alcun "ponte di roccia").

10.7. - Verifiche a ribaltamento flessionale

10.7.1 - Fronti principali nel cantiere Calacatta

- **Fr1: Fronte orientato N 13° verticale esposto a SE (103°-89°);**

NOME		Immers. (°)	Inclinz. (°)
FRONTE	FR1	103	89

FAMIGLIA	immersione	inclinazione	diff.-imm	180°+/-30°	90-incl.	Incl.-Φ	Condizione Ribaltamento
	(°)	(°)	(°)		(°)		
K1a	253	81	150	SI	9	SI	SI**
K1b	71	86	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K2	279	49	176	SI	41	SI	SI*
K3	326	73	223	NO	17	SI	NO
K4	53	52	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K5	129	48	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K6	330	40	227	NO	50	SI	NO

Nota: si omette la verifica della condizione c) (cap. 11.5) assumendo a priori che non vi sia continuità laterale tra i volumi isolati dalle fratture e il resto dell'ammasso roccioso.

* ribaltamento solo in linea teorica per bassa inclinazione della famiglia

** ribaltamento poco probabile in quanto posto su condizione limite

Possibile formazione di volumi soggetti a ribaltamento flessionale in presenza dei sistemi di fratturazione K1a e K2.

- **Fr2: Fronte orientato N 103° verticale esposto a NE (13°/89°);**

NOME		Immers. (°)	Inclinz. (°)
FRONTE	FR2	13	89

FAMIGLIA	immersione	inclinazione	diff.-imm	180°+/-30°	90-incl.	Incl.-Φ	Condizione Ribaltamento
	(°)	(°)	(°)		(°)		
K1a	253	81	240	NO	9	SI	NO
K1b	71	86	58	NO	4	SI	NO
K2	279	49	266	NO	41	SI	NO
K3	326	73	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K4	53	52	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K5	129	48	116	NO	42	SI	NO
K6	330	40	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO

Nota: si omette la verifica della condizione c) (cap. 11.5) assumendo a priori che non vi sia continuità laterale tra i volumi isolati dalle fratture e il resto dell'ammasso roccioso.

* ribaltamento solo in linea teorica per bassa inclinazione della famiglia

Impossibilità di formazione di volumi soggetti a ribaltamento flessionale.

- **Fr3: Fronte orientato N 160° verticale esposto a NE (70°/89°);**

NOME		Immers. (°)	Inclinz. (°)
FRONTE	FR3	70	89

FAMIGLIA	immersione	inclinazione	diff.-imm	180°+/-30°	90-incl.	Incl.-Φ	Condizione Ribaltamento
	(°)	(°)	(°)		(°)		
K1a	253	81	183	SI	9	SI	SI
K1b	71	86	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K2	279	49	209	SI	41	SI	SI*
K3	326	73	256	NO	17	SI	NO
K4	53	52	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K5	129	48	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K6	330	40	260	NO	50	SI	NO

Nota: si omette la verifica della condizione c) (cap. 11.5) assumendo a priori che non vi sia continuità laterale tra i volumi isolati dalle fratture e il resto dell'ammasso roccioso.

* ribaltamento solo in linea teorica per bassa inclinazione della famiglia

Possibile formazione di volumi soggetti a ribaltamento flessionale in presenza dei sistemi di fratturazione K1a e K2.

- **Fr4: Fronte orientato N 67° verticale esposto a SE (157°/89°);**

NOME		Immers. (°)	Inclinz. (°)
FRONTE	FR4	157	89

FAMIGLIA	immersione	inclinazione	diff.-imm	180°+/-30°	90-incl.	Incl.-Φ	Condizione Ribaltamento
	(°)	(°)	(°)		(°)		
K1a	253	81	96	NO	9	SI	NO
K1b	71	86	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K2	279	49	122	NO	41	SI	NO
K3	326	73	169	SI	17	SI	SI
K4	53	52	104	NO	38	SI	NO
K5	129	48	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K6	330	40	173	SI	50	SI	SI*

Nota: si omette la verifica della condizione c) (cap. 11.5) assumendo a priori che non vi sia continuità laterale tra i volumi isolati dalle fratture e il resto dell'ammasso roccioso.

* ribaltamento solo in linea teorica per bassa inclinazione della famiglia

Possibile formazione di volumi soggetti a ribaltamento flessionale in presenza dei sistemi di fratturazione K3 e K6.

• **Fr5: Fronte orientato N 121° verticale esposto a NE (31°/89°);**

NOME		Immers. (°)	Inclinz. (°)
FRONTE	FR5	31	89

FAMIGLIA	immersione	inclinazione	diff.-imm	180°+/-30°	90-incl.	Incl.-Φ	Condizione Ribaltamento
	(°)	(°)	(°)		(°)		
K1a	253	81	222	NO	9	SI	NO
K1b	71	86	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K2	279	49	248	NO	41	SI	NO
K3	326	73	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K4	53	52	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K5	129	48	98	NO	42	SI	NO
K6	330	40	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO

Nota: si omette la verifica della condizione c) (cap. 11.5) assumendo a priori che non vi sia continuità laterale tra i volumi isolati dalle fratture e il resto dell'ammasso roccioso.

Impossibilità di formazione di volumi soggetti a ribaltamento flessionale.

10.7.2 - Fronti principali nel cantiere intermedio venato

- Fr3: Fronte orientato N 160° verticale esposto a NE (70°/89°); VEDI RISULTATI CANTIERE CALACATTA
- **Fr6: Fronte orientato N 160° verticale esposto a SW (250°/89°);**

NOME		Immers. (°)	Inclinz. (°)
FRONTE	FR6	250	89

FAMIGLIA	immersione	inclinazione	diff.-imm	180°+/-30°	90-incl.	Incl.-Φ	Condizione Ribaltamento
	(°)	(°)	(°)		(°)		
K1a	253	81	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K1b	71	86	179	SI	4	SI	SI
K2	279	49	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K3	326	73	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K4	53	52	197	SI	38	SI	SI*
K5	129	48	121	NO	42	SI	NO
K6	330	40	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO

Nota: si omette la verifica della condizione c) (cap. 11.5) assumendo a priori che non vi sia continuità laterale tra i volumi isolati dalle fratture e il resto dell'ammasso roccioso.

* ribaltamento solo in linea teorica per bassa inclinazione della famiglia

Possibile formazione di volumi soggetti a ribaltamento flessionale in presenza dei sistemi di fratturazione K1b e K4.

• **Fr7: Fronte orientato N 73° verticale esposto a NW (343°/89°);**

NOME		Immers. (°)	Inclinz. (°)
FRONTE	FR7	343	89

FAMIGLIA	immersione	inclinazione	diff.-imm	180°+/-30°	90-incl.	Incl.-Φ	Condizione Ribaltamento
	(°)	(°)	(°)		(°)		
K1a	253	81	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K1b	71	86	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K2	279	49	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K3	326	73	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K4	53	52	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K5	129	48	214	NO	42	SI	NO
K6	330	40	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO

Nota: si omette la verifica della condizione c) (cap. 11.5) assumendo a priori che non vi sia continuità laterale tra i volumi isolati dalle fratture e il resto dell'ammasso roccioso.

Impossibilità di formazione di volumi soggetti a ribaltamento flessionale.

• **Fr8: Fronte orientato N 50° verticale esposto a NW (320°/89°);**

NOME		Immers. (°)	Inclinz. (°)
FRONTE	FR8	320	89

FAMIGLIA	immersione	inclinazione	diff.-imm	180°+/-30°	90-incl.	Incl.-Φ	Condizione Ribaltamento
	(°)	(°)	(°)		(°)		
K1a	253	81	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K1b	71	86	249	NO	4	SI	NO
K2	279	49	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K3	326	73	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K4	53	52	267	NO	38	SI	NO
K5	129	48	191	SI	42	SI	SI*
K6	330	40	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO

Nota: si omette la verifica della condizione c) (cap. 11.5) assumendo a priori che non vi sia continuità laterale tra i volumi isolati dalle fratture e il resto dell'ammasso roccioso.

* ribaltamento solo in linea teorica per bassa inclinazione della famiglia

Possibile formazione di volumi soggetti a ribaltamento flessionale in presenza del sistema di fratturazione K5.

10.7.3 – Fronti principali nel cantiere superiore venato SW

- Fr3: Fronte orientato N 7160° verticale esposto a NE (70°/89°); VEDI RISULTATI CANTIERE CALACATTA
- Fr7: Fronte orientato N 73° verticale esposto a NW (343°/89°); VEDI RISULTATI CANTIERE INTERMEDIO VENATO

10.7.4 - Fronti principali nel cantiere superiore venato SE

- Fr8: Fronte orientato N 50° verticale esposto a NW (320°/89°); VEDI RISULTATI CANTIERE INTERMEDIO VENATO
- **Fr9: Fronte orientato N 88° verticale esposto a NW (358°/89°);**

NOME		Immers. (°)	Inclinz. (°)
FRONTE	FR9	358	89

FAMIGLIA	immersione	inclinazione	diff.-imm	180°+/-30°	90-incl.	Incl.-Φ	Condizione Ribaltamento
	(°)	(°)	(°)		(°)		
K1a	253	81	105	NO	9	SI	NO
K1b	71	86	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K2	279	49	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K3	326	73	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K4	53	52	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K5	129	48	229	NO	42	SI	NO
K6	330	40	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO

Nota: si omette la verifica della condizione c) (cap. 11.5) assumendo a priori che non vi sia continuità laterale tra i volumi isolati dalle fratture e il resto dell'ammasso roccioso.

Impossibilità di formazione di volumi soggetti a ribaltamento flessionale.

- **Fr10: Fronte orientato N 8° verticale esposto a NW (278°/89°);**

NOME		Immers. (°)	Inclinz. (°)
FRONTE	10	278	89

FAMIGLIA	immersione	inclinazione	diff.-imm	180°+/-30°	90-incl.	Incl.-Φ	Condizione Ribaltamento
	(°)	(°)	(°)		(°)		
K1a	253	81	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K1b	71	86	207	SI	4	SI	SI
K2	279	49	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K3	326	73	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO
K4	53	52	225	NO	38	SI	NO
K5	129	48	149	NO	42	SI	NO
K6	330	40	Ribaltamento escluso per condizione geometrica				NO

Nota: si omette la verifica della condizione c) (cap. 11.5) assumendo a priori che non vi sia continuità laterale tra i volumi isolati dalle fratture e il resto dell'ammasso roccioso.

Possibile formazione di volumi soggetti a ribaltamento flessionale in presenza del sistema di fratturazione K1b.

10.8. - Stima dell'altezza critica dei fronti

Nel presente paragrafo si riporta la stima dell'altezza critica dei volumi rocciosi isolati dalle fratture subverticali (Sistemi K1A, K1B, K3, K4, K5, K6), in accordo con la formulazione esposta al precedente capitolo:

$$L = 0,868 \cdot \left[\frac{(E \cdot T^2)}{\gamma} \right]^{\frac{1}{3}}$$

dove:

L = altezza critica della struttura rocciosa in esame in m;

E = modulo elastico dell'ammasso roccioso (16870.24MPa);

T = spaziatura media delle discontinuità in m;

γ = peso di volume unitario dell'ammasso roccioso (0,027MN/mc);

si ha:

- *Sistema K1A* - considerando una spaziatura media del sistema di 120 cm si ha una **L=83,4 m**
- *Sistema K1B* - considerando una spaziatura media del sistema di 260 cm si ha una **L=140,3 m**
- *Sistema K3* - considerando una spaziatura media del sistema di 164 cm si ha una **L=103,2 m**
- *Sistema K4* - considerando una spaziatura media del sistema di 158 cm si ha una **L=116,0 m**
- *Sistema K5* - considerando una spaziatura media del sistema di 452 cm si ha una **L=233,7 m**
- *Sistema K6* - considerando una spaziatura media del sistema di 213 cm si ha una **L=141,5 m**

A fronte delle stime sopra riportate si evince che l'altezza critica è compatibile con l'altezza massima dei fronti e delle tecchie della cava, per cui escludono potenziali ribaltamenti di blocchi isolati dal resto dell'ammasso da fratture sub verticali.

Si raccomanda comunque la continua osservazione dei fronti con l'avanzare degli scavi, al fine di rilevare eventuali situazioni di potenziale pericolo e verificarne la stabilità o la necessità di interventi di consolidamento.

Si raccomanda, inoltre, nel caso di rinvenimento di fratture subverticali particolarmente persistenti, di sfruttarle come piani naturali di taglio a tergo dei blocchi, così da asportare tutta la massa rocciosa in contatto con la superficie di frattura, evitando così di avere blocchi in condizioni di precaria stabilità o la necessità di realizzare chiodature di stabilizzazione.

In presenza di fratture sub verticali immergenti in direzione opposta al fronte di coltivazione, si raccomanda di procedere all'asportazione del materiale dall'alto verso il basso, evitando di "azzoppare" la struttura rimuovendo od effettuando tagli al piede di strutture "lastriformi".

11.0 – ANALISI DEL PROGETTO A CIELO APERTO ED INTERAZIONE CON ELEMENTI STRUTTURALI DI RILIEVO

Si ricorda che condizione necessaria affinché si producano potenziali cinematismi è che una o due discontinuità delimitanti la porzione rocciosa intersechino la superficie della tecchia e che il valore dell'inclinazione di tali discontinuità sia superiore alle resistenze attrittive e coesive delle discontinuità stesse.

Inoltre, affinché possa originarsi cinematismo, devono presentarsi le seguenti ulteriori condizioni:

- mancanza di continuità laterale della massa rocciosa;
- persistenza totale dei piani che isolano la massa, senza presenza di ponti di roccia;
- dimensioni della volumetria in studio compatibile con le dimensioni dei fronti, dei piazzali e della stessa cava.

Una costante osservazione delle bancate residue, da parte del personale, fa sì che vengano messi in luce potenziali situazioni di rischio, così da intervenire disgiungendo o stabilizzando l'eventuale massa rocciosa, con quest'ultimo intervento che generalmente è condotto in corrispondenza dei fronti residui

11.1 – Cantiere Inferiore Calacatta

Come detto nei precedenti capitoli, il carattere di maggior rilievo dal punto di vista strutturale è rappresentato dalla presenza di un tratto aggettante derivato dalla scoperta di una serie di fratture ad alta persistenza (>50m) orientate circa NNE-SSW con immersione ad W. Le inclinazioni medie risultano intorno ai 70°-80°, il sistema di riferimento è il K3. La disposizione di queste discontinuità, tutte sub-parallele tra loro, ricorda quella di *un mazzo di carte* inclinato di circa 70° con immersione a W, ed in cui ogni elemento risulta autoportante ed incastrato all'interno dell'ammasso.

In particolare, sono individuate tre discontinuità principali, denominate A, B e C nella Tav. 9 del progetto, che caratterizzano questa porzione e che attraversano l'area in esame.

Il progetto prevede la ripresa dall'alto dei fronti residui tramite la realizzazione di una rampa a sud dei fronti residui presenti e l'impostazione di un piazzale a quota 1048 m s.l.m.; questi interventi sono previsti in II fase.

Una volta impostato ed ampliato il piazzale di quota 1048 m s.l.m. verso Est, sarà possibile abbattere gli aggetti presenti sui fronti residui e delimitati a valle dalla frattura A. La coltivazione poi proseguirà a gradoni discendenti. La verticalizzazione della tecchia con rimozione delle parti in aggetto, permetterà di accedere anche alle parti più interne del cantiere Inferiore in sicurezza

E' previsto, inoltre uno sbasso totale di 9 metri (6 metri + 3 metri) anche nella porzione inferiore del cantiere, a q.ta 999.1m s.l.m.. Tale sbasso non interferisce con le strutture principali rilevate, verrà abbandonata una gradonatura man mano che si procederà con i lavori così come non vi sono interferenze di nota anche sull'ampliamento del piazzale di quota circa 1005 (attuale zona servizi del cantiere) che si spingerà in direzione SW e si attesterà oltre la fascia di finimento NW-SE visibile nella Carta della Fratturazione.

11.2 – Cantiere Venato intermedio

Su questo cantiere è previsto lo sbasso dell'attuale piazzale di quota 1032 m s.l.m. di 12 metri entro la II fase del progetto.

Gli elementi strutturali di rilievo di quest'area sono:

- Nella porzione meridionale, in corrispondenza della tecchia costituita da una serie di vecchi fronti di altezza variabile da 3 a 6m, una serie di fratture ad elevata persistenza (>50m) indicate con le lettere maiuscole da N a P che immergono verso E-NE con

inclinazione da 50° a 60°, ben visibili e sulle prosecuzioni all'interno dell'ammasso, ascrivibili ai sistemi K1b e K4;

- Il finimento denominato F4 presente sul naso roccioso ad E del piazzale di q.ta 1031.6m s.l.m. circa, interessato in parte dalla prosecuzione delle discontinuità visibili sulla tecchia meridionale.

In considerazione della giacitura dei sistemi principali visibili su questa porzione di giacimento, non si rinvengono potenziali cinematismi a grande scala. Preliminarmente alla ripresa delle attività in questo settore, in considerazione dell'attività di recente effettuata nella parte superiore del giacimento e delle condizioni meteo degli ultimi mesi, specie in corrispondenza delle aree del finimento F4 caratterizzate da attività pregressa con uso di esplosivo, si procederà ad una verifica in tecchia con utilizzo di personale specializzato al fine di effettuare il disaggio dell'area, individuare eventuali strutture da assoggettare a verifica ed ad eventuale intervento.

L'operatività di questo cantiere, per posizione morfologica, è correlata con quella del cantiere soprastante in via di apertura. L'attività di quest'ultimo procedendo come da progetto con uno sviluppo in direzione orientale, asporterà parte della fascia di finimento che "sale" dal limite occidentale del naso marmoreo eliminando parte delle problematiche con essa correlate al sottostante cantiere. Nelle fasi iniziali si prevede che si darà maggior forza al cantiere venato superiore rispetto all'inferiore anche per la condizione operativa di scoprire il giacimento ai fini produttivi, ciò come già detto porterà ad un miglioramento della condizione strutturale locale.

11.3 – Cantiere Venato superiore SW

In questo cantiere si prevede di realizzare una breve rampa con tornante (partenza da q.ta 1064m s.l.m., arrivo a q.ta 1078m s.l.m.) per accedere al giacimento posto al di sopra della piccola cava presente in loco e realizzarvi tramite splateamenti successivi un primo piazzale di quota 1078 m s.l.m., da questo piazzale partirà poi una viabilità di servizio che si collegherà alla viabilità esistente che conduce alla Cava Museo.

I lavori descritti comprendono le prime due fasi di lavoro (primi 5 anni), nei successivi anni in questo cantiere è previsto un ulteriore sbasso di 6 metri (piazzale di q.ta 1072 m s.l.m.) e il mantenimento della viabilità realizzata precedentemente.

In quest'area il sistema prevalente risulta il K6 e le due fratture principali sono la D e E (vedi Carta della Fratturazione - Tav.9 allegata al progetto) che si dispongono, sebbene non ad alto angolo a franapoggio.

Il sistema K6, in zona delimita la base del cappellaccio, ove presente.

Questo cantiere allo stato attuale è costituito da fronti residui di limitata altezza ed estensione (massimo 6-7 metri di altezza) e non si osservano strutture cinematicamente rimovibili. L'intervento previsto poi prevede la scopertura del giacimento e la rimozione della porzione di cappellaccio soprastante rimuovendo quindi il materiale più fratturato che potrebbe concorrere a locali problematiche di stabilità.

11.4 – Cantiere Venato superiore SE

Su questo cantiere è previsto di proseguire la coltivazione a cielo aperto mediante la tecnica dei gradoni discendenti con l'impostazione di un piazzale di quota 1060 m s.l.m. nei primi 5 anni di progetto, che sarà portato alla quota finale di 1048 m s.l.m. nei successivi 5.

Gli elementi strutturali di rilievo di quest'area sono rappresentati:

- sul settore Orientale dall'arrivo del finimento F4, con andamento circa NW-SE e che si prevede di attraversare con le lavorazioni. Per tener conto di questa struttura, il limite orientale delle lavorazioni è caratterizzato da una gradonatura con pedata più ampia che da altre parti del cantiere. L'ampiezza delle gradonature sarà comunque funzione della condizione strutturale locale del giacimento;

- nel settore Centrale, approssimativamente tra il limite di F4 e le discontinuità indicate come M ed L nella Carta delle Fratture, caratterizzato dall'arrivo delle fratture persistenti che attraversano lo specchio della tecchia meridionale, indicate come N, O e P ascrivibili al sistema K4, con inclinazioni da 50° a 60°. Queste ultime contengono una limitata fascia di finimento denominata F3, orientata circa NE-SW, che verrà rimossa, unitamente a gran parte delle altre strutture o loro combinazioni a livello di fronti di coltivazione, con lo sviluppo della coltivazione e realizzazione di un fronte continuo esposto a NE a q.ta 1060m s.l.m. In corrispondenza dei fronti finali, saranno valutate eventuali strutture da disgiungere o consolidare, al momento non valutabili.

Durante la coltivazione sarà da prestare attenzione ai sistemi K3 e K6 disposti a franapoggio; in generale il settore, oggetto di attuale intervento in quanto sede di lavorazione, appare comunque sano con limitata fratturazione.

12.0 – DESCRIZIONE INTERVENTI EFFETTUATI NELLE AREE DI LAVORAZIONE

12.1 - Stato attuale dei fronti e descrizione interventi sul cantiere Superiore Venato

Come da progetto, sul cantiere superiore della cava, è stata realizzata una nuova strada di arroccamento al fine di raggiungere la porzione di giacimento posta al di sopra del cantiere Venato Intermedio per la ripresa della cava dalla parte sommitale del giacimento.

Questa è stata oggetto di una specifica relazione tecnica descrittiva delle strutture emerse con lo sviluppo del tracciato e dei relativi interventi, trasmessa alla ASL Toscana Nord Ovest nell'ottobre 2020.

La realizzazione della strada parte da quota circa 1036m s.l.m. e termina a quota circa 1072 m s.l.m.; ad est della strada si sviluppano i fronti del cantiere superiore venato.

Su questi è ben visibile il sistema K1b che si dispone con la sua direzione circa ortogonalmente al fronte stesso (*traverpoggio*) e con inclinazione dei piani ad alto angolo (dai 50° agli 80°); localmente la condizione geometrica (giacitura) favorisce per questo sistema la stabilità naturale del fronte.

Gli altri sistemi maggiormente visibili, di cui si sono rilevate le tracce sui fronti in oggetto, sebbene con una frequenza minore rispetto al K1b, sono i sistemi K6, K4 e K2.

In particolare i sistemi K6 e K4 si segnalano per potenziali scivolamenti planari, vista la loro disposizione a *franapoggio* rispetto al fronte. Al fine di una potenziale attivabilità di questo tipo di cinematismo, le discontinuità dei sistemi di cui sopra dovranno risultare con persistenza tale da interessare sia il fronte che la pedata superiore, siano presenti fratture di trazione e siano "liberate" lateralmente a seguito di tagli o per locale presenza di altre discontinuità (es. K1b), sistema con cui potrebbero formare potenziali strutture.

Delle possibili combinazioni descritte, sul tratto di fronte in esame, sono state rilevate anche alcune strutture "lenticolari" ascrivibili alle combinazioni di cui sopra (scivolamento tridimensionale), la cui locale stabilità è garantita dalla forma del piano di scivolamento (ondulata) e dall'inclinazione dello stesso a basso angolo (massimo 20°).

I fronti al di sopra del primo tornante di quota 1048 m s.l.m e del cantiere intermedio venato (sopra attuale piazzale di quota circa 1032 m s.l.m.) non mostrano particolari criticità e sono già stati interessati da interventi di consolidamento preventivo nel 2017, con la riattivazione della cava. Sono visibili proprio sopra al tornante della nuova viabilità (q.ta 1048m s.l.m.) n°2 chiodature realizzate con barre in acciaio tipo dywidagg da 26.5mm e lunghezza pari a 3m su una struttura tabulare sub-orizzontale (foto 7), con piano di scivolamento riferibile al sistema K6 a basso angolo (circa 30°); altre chiodature sono presenti sul medesimo fronte e più ad Est, su strutture similari (foto 8). Queste chiodature sono state realizzate in conseguenza non tanto del valore dell'inclinazione del piano di scivolamento della struttura ma per impedire che l'azione del ghiaccio o dell'acqua possano man mano alterare lo stato di equilibrio locale.

12.2 - Descrizione interventi di consolidamento effettuati sul cantiere inferiore calacatta

Nella parte di cantiere inferiore, denominato *Cantiere calacatta*, nel periodo Luglio-Agosto 2019 sono stati effettuati una serie di interventi di consolidamento indicati dagli scriventi, eseguiti da parte della società Vertical Services srl, ditta incaricata dalla società Escavazione Fossa Tomei srl.

Gli interventi sono stati effettuati dopo un controllo generale della tecchia a seguito dell'approvazione della variante al progetto di coltivazione, in corrispondenza di quelle strutture parzialmente isolate dai principali sistemi di fratturazione e che sebbene non in condizione di instabilità, avrebbero potuto variare la loro condizione a seguito di scosse sismiche ed azione degli agenti atmosferici (gelo-disgelo, etc.).

Questi sono stati messi in opera al fine di poter completare il progetto secondo quanto autorizzato nel *Cantiere inferiore calacatta*.

A questa fase che è servita anche da ulteriore verifica e programmazione, sono seguiti una serie di interventi di consolidamento attivo/passivo su tutto il fronte e la corona della tecchia e la realizzazione di un monitoraggio con "vetrini" in modo che fosse immediatamente visibile dall'area servizi della cava.

Per una migliore descrizione degli interventi effettuati, il fronte può essere suddiviso in tre settori principali:

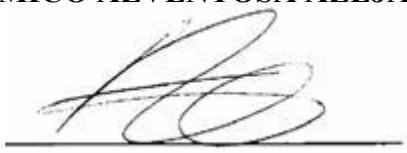
- sul *settore meridionale* (vedi foto 1-2) sono state realizzate 5 chiodature preventive di lunghezza 6m e diametro di 32mm con barre tipo Dywidag 950/1050 (caratteristiche acciaio) ed inghisaggio con resina Minova, oltre la messa in opera di una *rete alla francese* su una lieve incisione del versante. I chiodi sono stati messi per le masse isolate dal sistema K2 inclinato di circa 70° con immersione a W in previsione di un potenziale ribaltamento delle stesse. Il chiodo posto a quote superiori tiene una massa del volume di circa 2 mc, al di sotto sono presenti invece due chiodi per massa, con ciascuna massa del volume di circa 3-4 mc. Le masse ad oggi risultano stabili, in quanto i volumi, di forma circa tabulare, risultano incastrati all'interno dell'ammasso con la base. Peraltro l'azione continua nel tempo di gelo e disgelo o l'azione sismica potrebbe creare una superficie di taglio alla base degli stessi favorendo il cinematismo a ribaltamento della massa, motivo per cui si è intervenuti con un intervento di consolidamento preventivo;
- nel settore settentrionale sulla parte apicale della tecchia (vedi foto 3-4-5) in corrispondenza di due masse isolate dai sistemi K2 e K3 sono state realizzate n°3 chiodature, sempre da 6m con diametro di 32mm con barre tipo Dywidag 950/1050 (caratteristiche acciaio) ed inghisaggio con resina Minova, oltre che la messa in opera di una rete armata in corrispondenza del ciglio del versante. La rete del tipo a doppia torsione maglia da 2.7mm esagonale 8x10cm rinforzata con cavo da 12mm, è stata messa in opera al fine di consolidare la superficie di una porzione di versante caratterizzata da una maggiore fratturazione. Nel particolare le masse interessate dalla chiodatura presentano volumetrie di circa 2mc quella più settentrionale (consolidata con 1 barra) e di circa 3,5mc quella più meridionale (consolidata con n°2 barre); il consolidamento è pertanto sovradimensionato rispetto ai volumi coinvolti. Per quanto riguarda il cinematismo si evidenzia che il piano di potenziale scivolamento di queste masse risulta a "traverpoggio" con immersione in direzione N-NW è riferibile al sistema K2, ondulato, condizione questa a favore di sicurezza, ed inclinazione media di circa 35°;
- su un gradone (foto 6) esistente a quota circa 1019m s.l.m., è stata realizzata una rete verticale con funzione di barriera parasassi con sviluppo di circa 30ml utilizzando rete a doppia torsione altezza di 2 m, collegata a paletti in acciaio diametro 31mm infissi nell'ammasso per circa 0,5m e bloccati con resina. La rete è rinforzata con un corrente superiore, uno mediano ed uno inferiore in cavo di acciaio da 10mm bloccato agli estremi;
- sulla parte mediana della tecchia (foto 6), a monte della rete di cui sopra, è stata posta sotto monitoraggio una frattura del sistema K3, caratterizzata da una evidente ondulazione

e persistenza superiore a 20m (frattura B di Tav.9). Il monitoraggio è stato realizzato tramite la messa in opera di 3 "vetrini" di colore rosso vivo, che possono essere osservati direttamente dall'area servizi. E' compito dei sorveglianti verificare lo stato di questi all'inizio dei lavori, nella pausa mensa ed all'uscita serale, con prescrizione di contattare immediatamente il Direttore Resp. in caso di anomalie.

Si resta disponibili per eventuali chiarimenti e/o integrazioni alla presente.-

Carrara, 01.02.2021

IL LEGALE RAPPRESENTANTE
Sig. MICO ALVENTOSA ALEJANDRO



I PROFESSIONISTI
Geol. Zeno GIACOMELLI



Geol. Brunello FORFORI



Tabella A: Parametri fisico-meccanici dei sistemi di discontinuità rilevati per l'ammasso

SISTEMA		K1a	K1b	K2	K3	K4	K5	K6
PERSISTENZA	non pers	27.6%	11.8%	11.1%	30%	18.1%	3.7%	9.6%
	subpers.	13.8%	5.9%	29.6%	35%	24.5%	33.3%	30.9%
	pers.	58.6%	82.3%	59.3%	35%	57.4%	63%	59.5%
PERSISTENZA (m)	min.	0.2	1	0.3	0.5	0.1	0.3	0.7
	max.	10	20	10	10	20	20	10
	med..	6.9	9	6.4	4.48	8.22	7.9	6.59
CLASSI DI PERSISTENZA (m)	0-1	10.3%	5.9%	11.1%	10%	10.6%	3.7%	2.4%
	1-3	17.3	0%	22.3%	30%	17%	3.7%	16.7%
	3-10	10.3%	17.6%	14.8%	30%	14.9%	33.3%	30.9%
	10-20	62.1%	70.6%	51.8%	30%	44.7%	55.6%	50%
	20-50	0%	5.9%	0%	0%	12.8%	3.7%	0%
	>50	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
SPAZIATURA (cm)	min.	10	0	18	7	0	69	0
	max.	320	595	1210	415	863	1280	962
	med.	120	260	215	164	158	452	213
CLASSI DI SPAZIATURA (cm)	0-2	0%	10%	0%	0%	1.4%	0%	8.1%
	2-6	0%	0%	0%	0%	2.7%	0%	0%
	6-20	24.1%	10%	14.7%	40.1%	12.6%	0%	17.2%
	20-60	20.2%	0%	15.8%	0%	20.8%	3.5%	18.4%
	60-200	11.1%	30%	34.3%	27.6%	31.6%	39.8%	21.8%
	200-600	44.6%	40%	33.6%	32.3%	26.1%	29.2%	24.6%
	>600	0%	10%	1.6%	0%	4.8%	27.5%	9.9%
FORMA (scabrezza a g.s.)	II	34.5%	17.6%	14.8%	20%	24.5%	14.8%	14.3%
	V	31%	23.6%	55.6%	20%	38.3%	40.7%	57.1%
	VIII	34.5%	58.8%	29.6%	60%	37.2%	44.5%	28.6%
ALTERAZIONE	Assente	82.8%	76.5%	74.1%	85%	81.9%	77.8%	85.7%
	Ox/Spalm.	3.4%	17.6%	18.5%	0%	9.7%	11.1%	4.8%
	Carsif.	10.4%	5.9%	3.7%	10%	4.2%	7.4%	2.4%
	Concrez.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Ox/Carsif.	3.4%	0%	3.7%	5%	4.2%	3.7%	7.1%
APERTURA (mm)	min.	0	0	9	0	0	0	0
	max.	100	10	50	50	50	1	50
	med.	7.31	1.61	9.09	3.62	2.07	0.08	2.79
CLASSI DI APERTURA (mm)	0-0.5	75.9%	52.9%	55.6%	60%	56.4%	66.7%	64.3%
	0.5-2.5	10.4%	11.8%	3.7%	5%	9.6%	7.4%	2.4%
	2.5-10	0%	17.6%	0%	0%	2.1%	0%	4.8%
	10-100	10.3%	5.9%	18.5%	5%	7.4%	0%	7.1%
	>100	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	ESP.	3.4%	11.8%	22.2%	30%	24.5%	25.9%	21.4%
RIEMPIMENTO	Assente	100%	70.6%	81.5%	95%	87.2%	100%	88.1%
	Terra	0%	17.6%	11.1%	0%	4.2%	0%	7.1%
	Sassi	0%	0%	0%	5%	5.3%	0%	4.8%
	Concrezioni	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Sassi/Terra	0%	11.8%	7.4%	0%	3.3%	0%	0%
	Sas./Ter./Con.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
ACQUA	Assente	89.6%	94.1%	96.3%	85%	94.7%	100%	90.5%
	Umidità	3.5%	5.9%	3.7%	10%	4.2%	0%	9.5%
	Venute	6.9%	0%	0%	5%	1.1%	0%	0%
JCS (MPa)	Min.	---	---	---	---	---	---	---
	Max.	---	---	---	---	---	---	---
	Media	45	45	45	45	45	45	45
JRC (Joint Roughness Coefficient)	0 - 2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	2 - 4	31%	29.4%	29.6%	50%	37.2%	25.9%	57.1%
	4 - 6	62.1%	29.4%	40.7%	35%	37.2%	55.6%	23.8%
	6 - 8	6.9%	35.3%	18.6%	5%	14.9%	11.1%	14.3%
	8 - 10	0%	0%	11.1%	10%	4.2%	3.7%	2.4%
	10 - 12	0%	5.9%	0%	0%	6.5%	3.7%	2.4

Tab.B - VALUTAZIONE PARAMETRI DI BENIAWSKI PESATI					
CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'					
Cava Fossa dei Tomei – DOMINIO 1					
FAMIGLIA	PARAMETRI	DESCRIZIONE	VALORE	PESO SISTEMA	VALORE
	Persistenza	3-10m	2	0,113	0,23
	Apertura	>5mm	0	0,113	0,00
K1a	JRC	vedi Tab.	2	0,113	0,23
	Riempimento	vedi Tab.	6	0,113	0,68
	Alterazione	vedi Tab.	5	0,113	0,57
	H2O	vedi Tab.	13	0,113	1,47
	Spaziatura	1,2m	16	0,113	1,81
				Totale Pesato	5,0
	Persistenza	3-10m	2	0,066	0,13
	Apertura	1-5mm	1	0,066	0,07
K1b	JRC	vedi Tab.	3	0,066	0,20
	Riempimento	vedi Tab.	3	0,066	0,20
	Alterazione	vedi Tab.	3	0,066	0,20
	H2O	vedi Tab.	14	0,066	0,92
	Spaziatura	2,6m	20	0,066	1,32
				Totale Pesato	3,0
	Persistenza	3-10m	2	0,106	0,21
	Apertura	>5mm	0	0,106	0,00
K2	JRC	vedi Tab.	3	0,106	0,32
	Riempimento	vedi Tab.	4	0,106	0,42
	Alterazione	vedi Tab.	3	0,106	0,32
	H2O	vedi Tab.	15	0,106	1,59
	Spaziatura	2,1m	20	0,106	2,12
				Totale Pesato	5,0
	Persistenza	3-10m	2	0,078	0,16
	Apertura	1-5mm	1	0,078	0,08
K3	JRC	vedi Tab.	1	0,078	0,08
	Riempimento	vedi Tab.	5	0,078	0,39
	Alterazione	vedi Tab.	5	0,078	0,39
	H2O	vedi Tab.	13	0,078	1,01
	Spaziatura	1,6m	17	0,078	1,33
				Totale Pesato	3,4
	Persistenza	3-10m	2	0,367	0,73
	Apertura	1-5mm	1	0,367	0,37
K4	JRC	vedi Tab.	4	0,367	1,47
	Riempimento	vedi Tab.	4	0,367	1,47
	Alterazione	vedi Tab.	5	0,367	1,84
	H2O	vedi Tab.	14	0,367	5,14
	Spaziatura	1,6m	17	0,367	6,24
				Totale Pesato	17,2
	Persistenza	3-10m	2	0,106	0,21
	Apertura	<0.1mm	5	0,106	0,53
K5	JRC	vedi Tab.	5	0,106	0,53
	Riempimento	vedi Tab.	6	0,106	0,64
	Alterazione	vedi Tab.	3	0,106	0,32
	H2O	vedi Tab.	15	0,106	1,59
	Spaziatura	4,5m	20	0,106	2,12
				Totale Pesato	5,9
	Persistenza	3-10m	2	0,164	0,33
	Apertura	1-5mm	1	0,164	0,16
K6	JRC	vedi Tab.	4	0,164	0,66
	Riempimento	vedi Tab.	4	0,164	0,66
	Alterazione	vedi Tab.	5	0,164	0,82
	H2O	vedi Tab.	15	0,164	2,46
	Spaziatura	2,1m	20	0,164	3,28
				Totale Pesato	8,0
Rating Totale	le Pesato		47,6		

**Tab. C - VALUTAZIONE PARAMETRI DI BENIAWSKI PESATI
CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'
Cava Fossa dei Tomei – DOMINIO 2**

FAMIGLIA	PARAMETRI	DESCRIZIONE	VALORE	PESO SISTEMA	VALORE
	Persistenza	10-20m	1	0,113	0,11
	Apertura	>5mm	0	0,113	0,00
K1a	JRC	vedi Tab.	2	0,113	0,23
	Riempimento	vedi Tab.	4	0,113	0,45
	Alterazione	vedi Tab.	3	0,113	0,34
	H2O	vedi Tab.	9	0,113	1,02
	Spaziatura	1m	14	0,113	1,58
				Totale Pesato	3,7
	Persistenza	10-20m	1	0,066	0,07
	Apertura	1-5mm	1	0,066	0,07
K1b	JRC	vedi Tab.	3	0,066	0,20
	Riempimento	vedi Tab.	2	0,066	0,13
	Alterazione	vedi Tab.	1	0,066	0,07
	H2O	vedi Tab.	11	0,066	0,73
	Spaziatura	1,1m	14	0,066	0,92
				Totale Pesato	2,2
	Persistenza	10-20m	1	0,106	0,11
	Apertura	>5mm	0	0,106	0,00
K2	JRC	vedi Tab.	2	0,106	0,21
	Riempimento	vedi Tab.	3	0,106	0,32
	Alterazione	vedi Tab.	2	0,106	0,21
	H2O	vedi Tab.	12	0,106	1,27
	Spaziatura	1,4m	12	0,106	1,27
				Totale Pesato	3,4
	Persistenza	10-20m	1	0,078	0,08
	Apertura	1-5mm	1	0,078	0,08
K3	JRC	vedi Tab.	1	0,078	0,08
	Riempimento	vedi Tab.	4	0,078	0,31
	Alterazione	vedi Tab.	3	0,078	0,23
	H2O	vedi Tab.	10	0,078	0,78
	Spaziatura	1,3m	11	0,078	0,86
				Totale Pesato	2,4
	Persistenza	10-20m	1	0,367	0,37
	Apertura	>5mm	0	0,367	0,00
K4	JRC	vedi Tab.	3	0,367	1,10
	Riempimento	vedi Tab.	4	0,367	1,47
	Alterazione	vedi Tab.	2	0,367	0,73
	H2O	vedi Tab.	11	0,367	4,04
	Spaziatura	1,1m	10	0,367	3,67
				Totale Pesato	11,4
	Persistenza	10-20m	1	0,106	0,11
	Apertura	1-5mm	1	0,106	0,11
K5	JRC	vedi Tab.	4	0,106	0,42
	Riempimento	vedi Tab.	5	0,106	0,53
	Alterazione	vedi Tab.	2	0,106	0,21
	H2O	vedi Tab.	12	0,106	1,27
	Spaziatura	1,6m	15	0,106	1,59
				Totale Pesato	4,2
	Persistenza	10-20m	1	0,164	0,16
	Apertura	1-5mm	1	0,164	0,16
K6	JRC	vedi Tab.	2	0,164	0,33
	Riempimento	vedi Tab.	3	0,164	0,49
	Alterazione	vedi Tab.	4	0,164	0,66
	H2O	vedi Tab.	12	0,164	1,97
	Spaziatura	1,4m	12	0,164	1,97
				Totale Pesato	5,6
Rating Totale Pesato			32,9		

CAVA FOSSA DEI TOMEI - Tabella D - Correzione orientazione fronti								
FAMIGLIA	PESO SIST.	FR1 N150 NE	FR2 N70SE	FR3 N75 NW	FR4 N160 SW	FR5 N25 NW	FR6 N113 NE	Fattore di Correzione
K1a	0,113	0	0	0	-50	0	0	-5,65
K1b	0,066	-50	0	0	0	0	0	-3,30
K2	0,106	0	0	0	-30	-50	0	-8,48
K3	0,078	0	0	-50	0	-5	0	-4,29
K4	0,367	-50	0	0	0	0	-10	-22,02
K5	0,106	-10	-10	0	0	0	0	-2,12
K6	0,164	0	0	-50	0	0	0	-8,20
Totale Mediato								-7,72

**Tab. E - PARAMETRO SCR - Surface Condition Rating
DOMINIO 1**

FAMIGLIA	PESO SIST.	Rr	Rw	Rf	Valore pesato
K1a	0,113	2	6	5	1,5
K1b	0,066	3	3	3	0,6
K2	0,106	3	4	3	1,1
K3	0,078	1	5	5	0,9
K4	0,367	4	4	5	4,8
K5	0,106	5	6	3	1,5
K6	0,164	4	4	5	2,1
TOTALE					12,4

**Tab. F - PARAMETRO SCR - Surface Condition Rating
DOMINIO 2**

FAMIGLIA	PESO SIST.	Rr	Rw	Rf	Valore pesato
K1a	0,113	2	4	3	1,0
K1b	0,066	3	2	1	0,4
K2	0,106	2	3	2	0,7
K3	0,078	1	4	3	0,6
K4	0,367	3	4	2	3,3
K5	0,106	4	5	2	1,2
K6	0,164	2	3	4	1,5
TOTALE					8,7

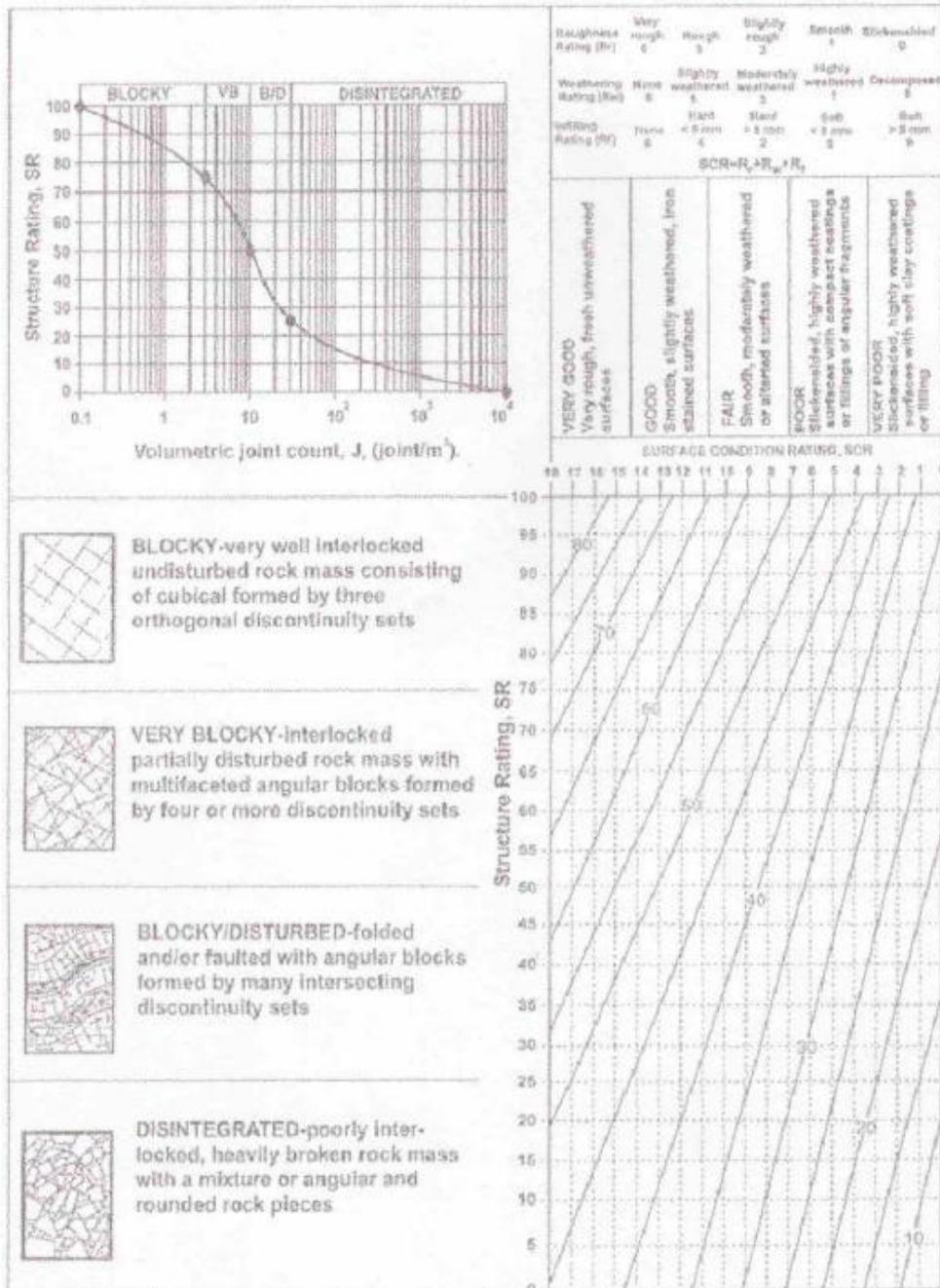


Tabella G: Diagrammi per la definizione del GSI – Somnez-Uluzay.-

<p>GEOLOGICAL STRENGTH INDEX per rocce fratturate (Hoek & Marinos, 2000)</p> <p>Dalla litologia, struttura e condizioni della superficie delle discontinuità stimare il valore medio di GSI. Non è necessaria una precisione estrema. Indicare un campo da 33 a 37 è più realistico che indicare GSI = 35. La determinazione di GSI non si applica nel caso di rotture controllate dalla giacitura dei piani, se questi presentano un orientamento sfavorevole rispetto al fronte di scavo. La resistenza al taglio di giunti soggetti ad alterazione o deterioramento dovuti alla modifica delle condizioni di umidità sarà ridotta se vi è presenza di acqua. Per giunti che si collocano nelle categorie scadenti o molto scadenti, in caso di condizioni bagnate, spostare il valore di GSI verso destra. Eventuali pressioni idrauliche devono essere considerate in termini di tensioni efficaci.</p>						
STRUTTURA		CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'				
		MOLTO BUONE giunti molto rugosi, non alterati	BUONE giunti rugosi, leggermente alterati, ossidati	MEDIOCR giunti lisci, superficie moderatamente alterata	SCADENTI giunti levigati, superfici alterate con riempimento compatto o frammenti angolari	MOLTO SCADENTI giunti levigati, superfici alterate con riempimento argilloso molle
	INTATTA o MASSIVA - roccia sana con poche discontinuità ad ampia spaziatura	90			N/A	N/A
	FRATTURATA - ammasso roccioso non disturbato, con tre sistemi di famiglie di giunto che isolano blocchi a forma prevalentemente cubica	80	70			
	MOLTO FRATTURATA - ammasso parzialmente disturbato con quattro o più famiglie di giunto a formare blocchi angolari a più facce		60	50		
	PIEGATA - ammasso disturbato tettonicamente, a pieghe, con diverse famiglie di giunti. Piani di stratificazione o di scistosità a grande persistenza			40	30	
	DISINTEGRATA - ammasso molto fratturato con debole interconnessione fra i blocchi, frammenti di roccia angolari e arrotondati				20	
	LAMINATA/FAGLIATA - ammasso non suddiviso in blocchi, piani di scistosità a fitta spaziatura, piani di taglio/faglie	N/A	N/A			10
		GRADO di INTERCONNESSIONE FRA I FRAMMENTI DI ROCCIA ↓				

Tabella H: stima visiva del GSI

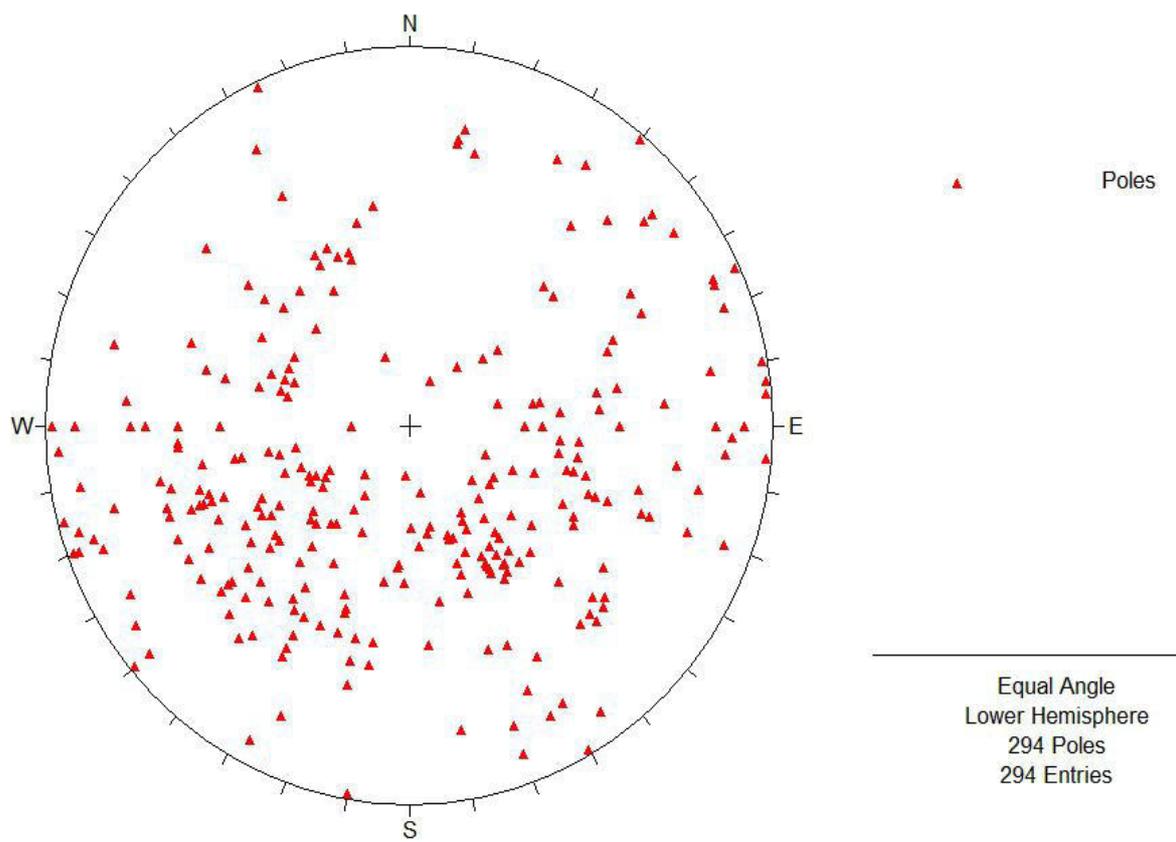


Figura 6: proiezione polare dei poli rilevati

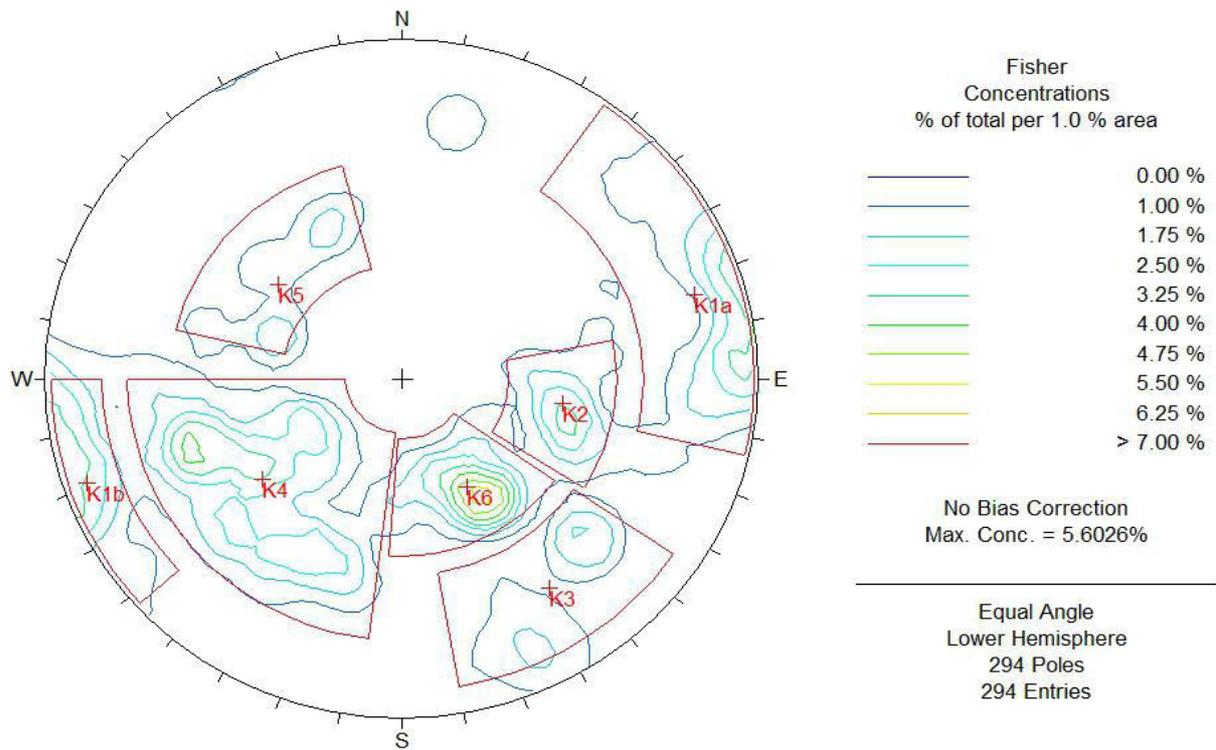


Figura 7: massimi di frequenza e principali sistemi rilevati

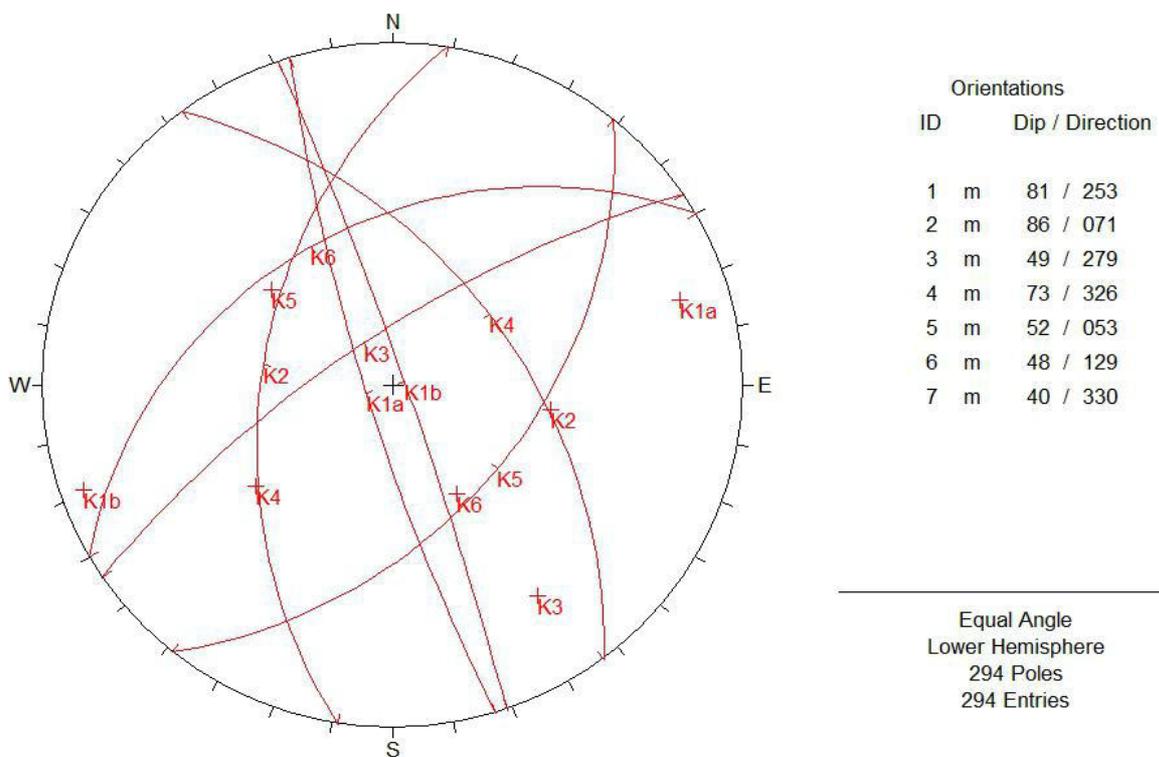


Figura 8 - piani rappresentativi dei sistemi individuati nel sito di Cava Fossa dei Tomei.-

Analysis of Rock Strength using RocLab

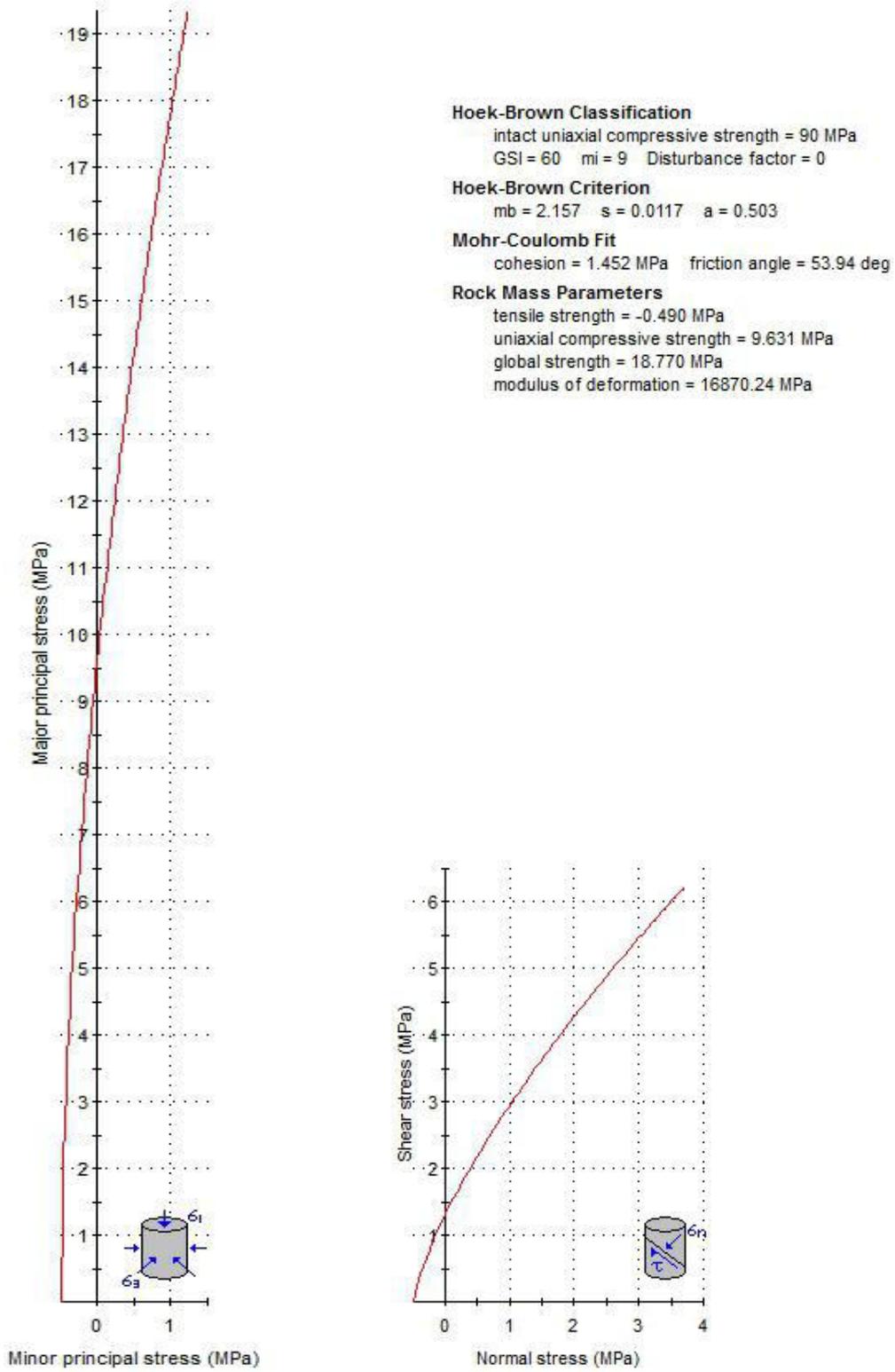
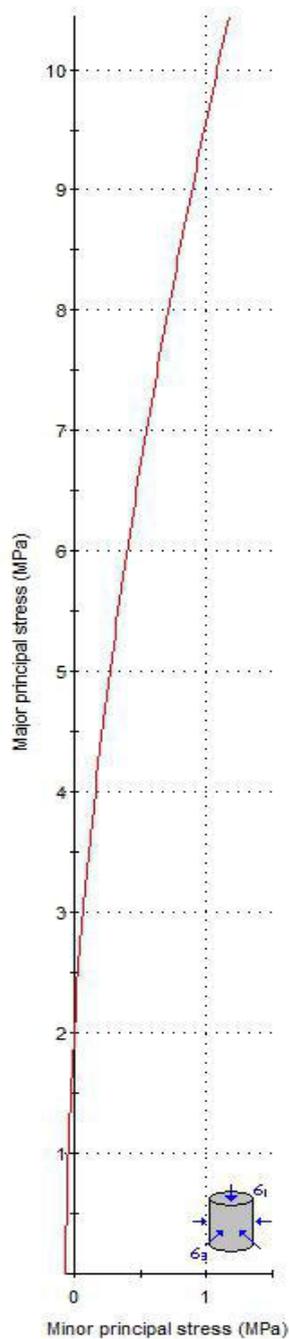


Figura 9: elaborazione Roclab - GSI 60 - MARMO



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 90 MPa
 GSI = 35 $m_i = 9$ Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

$m_b = 0.883$ $s = 0.0007$ $a = 0.516$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.528 MPa friction angle = 48.72 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.074 MPa
 uniaxial compressive strength = 2.167 MPa
 global strength = 10.607 MPa
 modulus of deformation = 4000.56 MPa

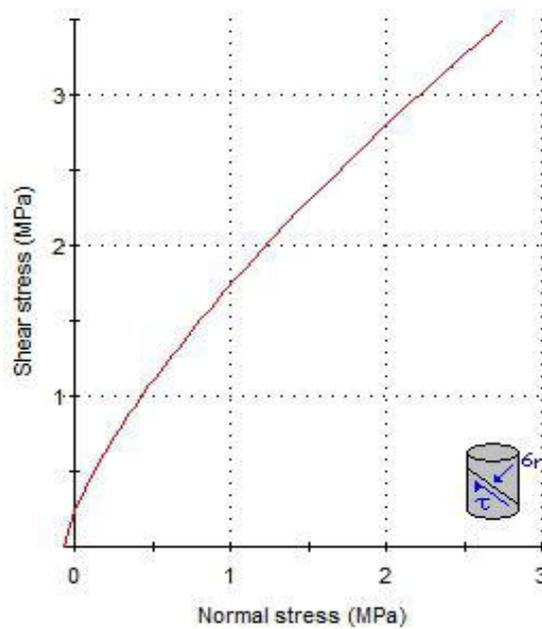


Figura 10: elaborazione Roclab - Dominio 2 - GSI 35 - FINIMENTO

**DOCUMENTAZIONE
FOTOGRAFICA
CAVA FOSSA DEI TOMEI**



FOTO 1: panoramica dei fronti del cantiere inferiore denominato calacatta, con ubicazione degli interventi di consolidamento effettuati, su tutto il fronte sono stati effettuati interventi di pulizia e disaggio



FOTO 2: porzione meridionale del cantiere calacatta; sono visibili sulla sinistra n°5 chiodi costituiti da barre di 32mm e lunghezza 6 m (cerchi in giallo) e centralmente la rete messa alla francese (tratteggiato giallo)

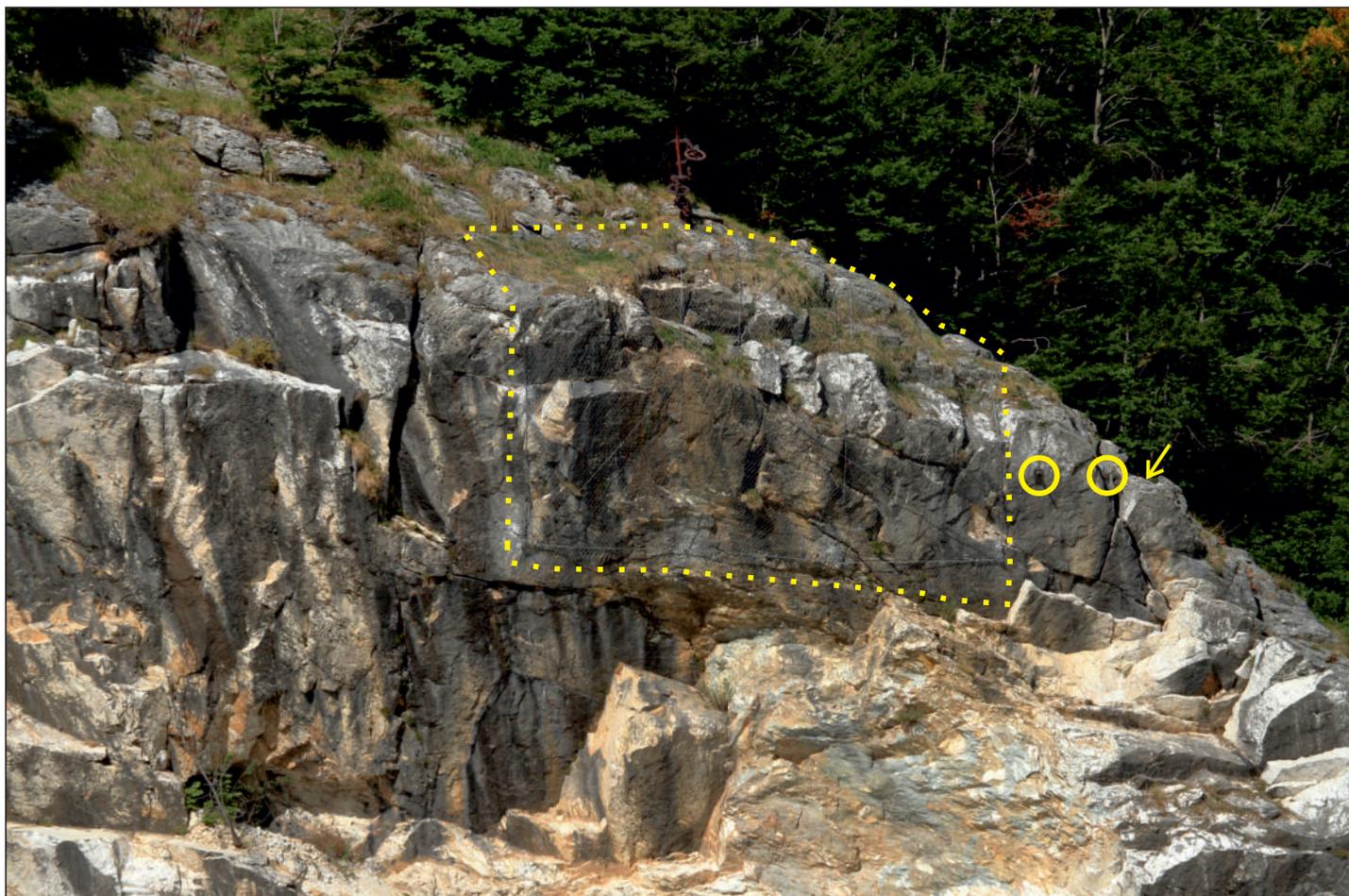


FOTO 3: vista della porzione settentrionale del cantiere calacatta; è visibile la rete armata (tratteggiato in giallo) e 3 chiodi costituiti da barre di 32 mm e lunghezza 6 m in giallo (cerchi e freccia)

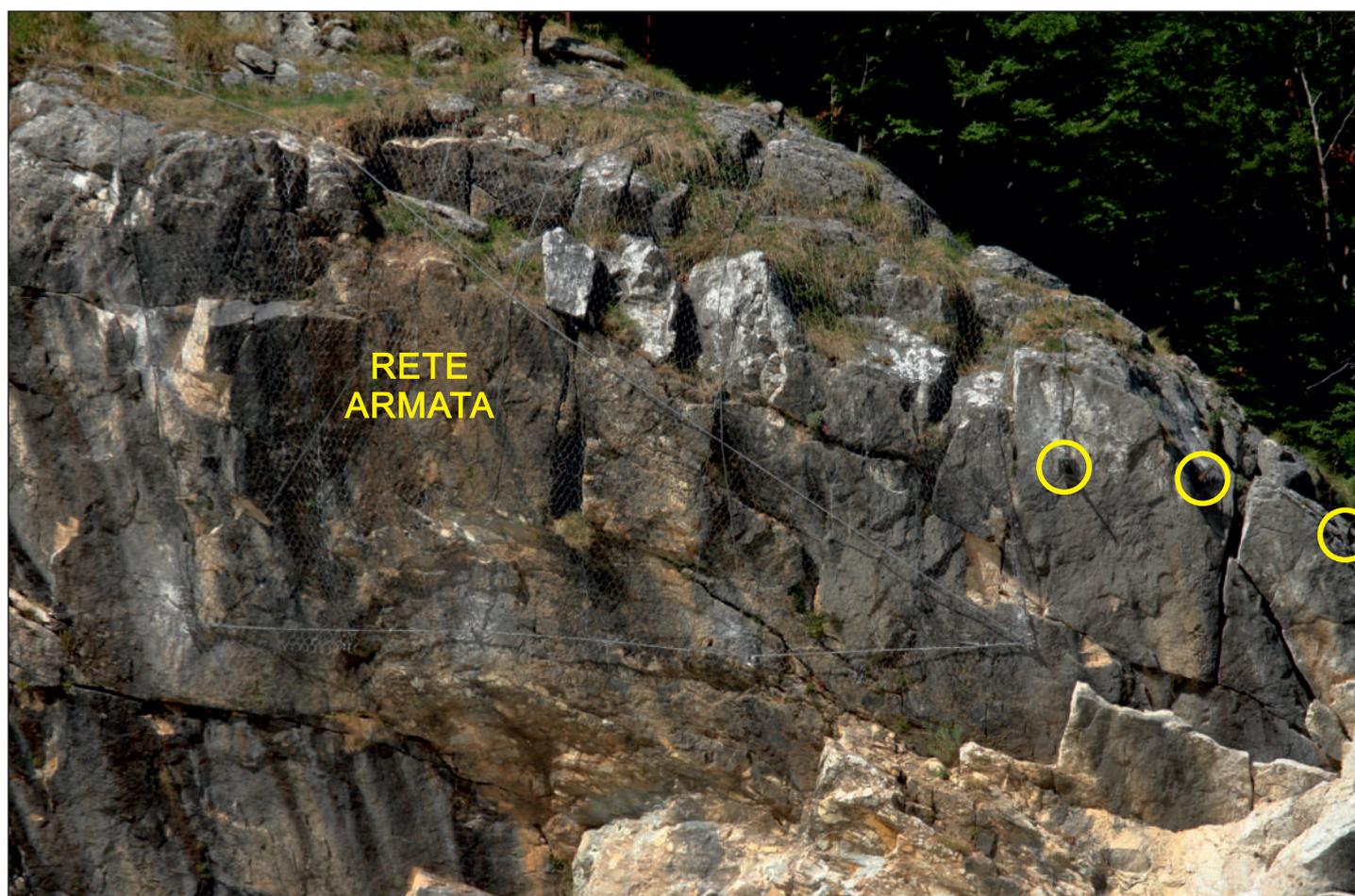


FOTO 4: dettaglio porzione settentrionale del cantiere calacatta con visibile la rete armata e due chiodi



FOTO 5: foto di dettaglio dei 3 chiodi sulla porzione settentrionale del fronte, cerchiati in giallo



FOTO 6: foto della parte mediana del fronte dove in primo piano, su un gradone, è visibile la rete verticale con altezza di 2 m e poco a monte la frattura monitorata con i vetri (tratteggiato in rosso)



FOTO 7: vista del fronte posto al di sopra del tornante a quota 1048 m s.l.m.; si notano due chiodi effettuati nel 2017 (in giallo); l'ammasso risulta sano e non si prevedono interventi di consolidamento ulteriori



FOTO 8: altre n°2 chiodature poste poco ad est della foto 7 sempre su struttura tabulare con potenziale piano di scivolamento sul sistema K3