

STUDIO DI GEOLOGIA

Dott. Brunello FORFORI

Via VII Luglio, 34

54033 - CARRARA (MS)

Tel./Fax 0585/53033

Email: studio.forfori@gmail.com

Pec: brunelloforfori@epap.sicurezzapostale.it

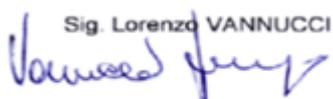
STUDIO GEOMECCANICO ED ANALISI DI STABILITA' DEI FRONTI E DELLE TECCHIE DELLA CAVA "BORELLE" UBICATA NEL BACINO DI M.TE PALLERINA IN LOCALITA' BANCAIO ALTO - COMUNE DI VAGLI SOTTO - PROVINCIA DI LUCCA

Relazione Tecnica di supporto al progetto di coltivazione

COMMITTENTE: FAETO ESCAVAZIONI S.r.l. – Via Fosse del Frigido, 9 – 54100 – MASSA (MS)

IL LEGALE RAPPRESENTANTE

Sig. Lorenzo VANNUCCI

Sig. Lorenzo VANNUCCI


Sig. Giorgio TURBA



IL GEOLOGO

Dott. Brunello FORFORI



Sommario

1.0 - PREMESSA	2
2.0 - METODOLOGIE DI INDAGINE	2
3.0 - LOCALIZZAZIONE E DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA	2
4.0 - RILEVO STRUTTURALE	3
5.0 - RICONOSCIMENTO DELLE DISCONTINUITA' ED ELABORAZIONE DEI DATI RACCOLTI	4
6.0 – CARATTERISTICHE DEI SISTEMI DI DISCONTINUITA' RICONOSCIUTI NELL'AREA DI INTERVENTO	4
7.0 - CARATTERI STRUTTURALI DI RILIEVO	6
8.0 – CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO NELL'AREA STUDIATA	7
9.0 - STIMA DEI PARAMETRI GEOMECCANICI DELL'AMMASSO ROCCIOSO IN ESAME – CRITERIO DI HOEK&BROWN	10
10.0 - STIMA DELL'ALTEZZA CRITICA DEL VERSANTE	11
11.0 - RESISTENZA AL TAGLIO DELLE DISCONTINUITA'	13
11.1 – Definizione dei parametri angolo di attrito istantaneo (picco) e coesione istantanea (picco) caratteristici	15
11.2 – Definizione dei parametri angolo di attrito residuo e coesione residua caratteristici	16
11.3 – Definizione dei parametri angolo di attrito residuo e coesione residua caratteristici del materiale di riempimento	16
12.0 - INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA	17
13.0 - ORIENTAZIONI DEI FRONTI DI LAVORO	17
14.0 - ANALISI DI STABILITA'	18
14.1 - Definizione dei parametri angolo di attrito e coesione di progetto relativi alle condizioni di picco e residue	20
15.0 – ANALISI DEI FRONTI DI LAVORO E/O RESIDUI	20
15.1 – Analisi dei fronti attuali e di progetto del cantiere cava Borelle alla luce delle verifiche e dei sopralluoghi effettuati	34
16.0 – CONCLUSIONI	38

1.0 - PREMESSA

Per incarico della Società FAETO ESCAVAZIONI S.r.l. con sede in Massa (LU) è stata redatta ai sensi dell'Art. 52 del D.Lgvo n°624/1996 la seguente relazione di analisi della stabilità dei fronti di scavo di supporto al progetto di coltivazione della cava "Borelle" sita nel bacino di M.te Pallerina - comune di Vagli Sotto.

Sebbene il progetto prenda in esame lo sviluppo della coltivazione con un cantiere a cielo aperto ed uno on sotterraneo, la presente analisi, per scelta della Società, si riferisce al solo sviluppo del primo, rimandando l'eventuale realizzazione della galleria prevista dal progetto ad una seconda fase, successiva comunque allo sviluppo dei piazzali esterni. Realizzati questi (passo obbligatorio per la fase successiva di sviluppo in sotterraneo) sarà più chiaro sia l'eventuale punto di attacco che lo sviluppo da dare alla galleria e soprattutto i rapporti geometrici tra fratturazione e fronti di scavo del sotterraneo.

La presente analisi prende quindi in esame lo stato attuale e lo sviluppo progettuale a cielo aperto con la realizzazione dei piazzali di q.ta 1181.0, 1175.0m e 1169.0m s.l.m..

La Tavola 1 – Carta della Fratturazione in scala 1:500 allegata è stata elaborata partendo da rilievo strumentale di dettaglio eseguito dal Geom. Luigi DELL'AMICO.

2.0 - METODOLOGIE DI INDAGINE

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

1. prima osservazione dei vecchi fronti residui dei cantieri per individuare eventuali strutture da analizzare e/o controllare;
2. rilievo strutturale, mediante l'esecuzione di stendimenti per la raccolta dei dati geomeccanici di base in corrispondenza dei fronti residui accessibili;
3. analisi della bibliografia esistente riferibile a precedenti studi effettuati da altri autori;
4. elaborazione statistica dei dati raccolti così da redigere le tabelle "Ranges dei sistemi di discontinuità" e le Tabelle "Parametri fisico-meccanici dei sistemi di discontinuità";
5. classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso (indice RMR di Bieniawski e G.S.I. di Hoek, Kaiser e Bawden);
6. determinazione dei parametri geomeccanici principali dell'ammasso;
7. definizione dei parametri geomeccanici di resistenza delle famiglie di discontinuità rilevate nella cava;
8. verifica grafica ed analitica mediante programmi di calcolo informatizzato delle potenziali combinazioni cinematiche derivanti dall'interazione fronti-sistemi di discontinuità per la ricerca di cunei e di prismi di parete;
9. 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;
10. riosservazione dei fronti presenti a seguito delle verifiche effettuate, così da individuare eventuali strutture da verificare;
11. verifica deterministica delle strutture emerse dall'analisi e descrizione di eventuali interventi di stabilizzazione o miglioramento se previsti o effettuati.

3.0 - LOCALIZZAZIONE E DESCRIZIONE GENERALE DELL'AREA

La cava Borelle è localizzata nel bacino di M. Pallerina in omonima località. La cava al momento presenta 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 che parte dal lato orientale dell'unità estrattiva Fossa dei Tomei a q.ta 1002m s.l.m. e si sviluppa per circa 3,5Km raggiungendo l'ingresso dell'unità estrattiva Borelle a q.ta 1185.0m s.l.m. circa. La strada è

ampia, 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 momento, visto che la cava sebbene autorizzata è rimasta inattiva per scelta aziendale, ha necessità di una manutenzione, finalizzata soprattutto alla regimazione delle acque.

L'area di cava è costituita da un deposito detritico all'arrivo della strada di accesso rappresentato da un piazzale di q.ta 1185.0m s.l.m.. Da questo punto si accede all'interno della cava costituita da un ampio piazzale coperto da detrito a q.ta 1186.5m s.l.m., che si raccorda con una bancata ad un piazzale di minori dimensioni localizzato sul lato orientale con q.ta 1193.7m s.l.m..

Il lato occidentale della cava è costituito da un locale alto morfologico integro sul lato settentrionale e orientale, mentre risulta interessato da tagli e interventi di escavazione sui lati occidentale e meridionale bancata di q.ta 1188.9m s.l.m. e da un modesto piazzale soprastante alla q.ta di 1200.1m s.l.m. che si raggiunge con una pista localizzata sempre sul lato occidentale che parte alla q.ta di 1191.3m s.l.m..

Il lato orientale è costituito da una serie di bancate a q.ta 1195.0 e 1198.0m s.l.m. circa, che si raggiungono tramite rampe interne localizzate sulla porzione settentrionale di questa parte di cava.

4.0 - RILEVO STRUTTURALE

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.

Il rilievo strutturale è stato realizzato 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 residui accessibili, 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 nel Maggio 2016. all'esecuzione di n°5 stendimenti strutturali in corrispondenza dei fronti residui e dei tagli morfologici ed all'esecuzione di misure puntuali all'interno dell'area coltivata.

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 (e non è lo scopo del presente lavoro), 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;
- analisi statistica e definizione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei sistemi rilevati al fine di caratterizzare l'ammasso roccioso;
- suddivisione dell'ammasso in zone a differente omogeneità strutturale.

5.0 - RICONOSCIMENTO DELLE DISCONTINUITA' ED ELABORAZIONE DEI DATI RACCOLTI

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 1), sono stati definiti i massimi di frequenza (Figura 2) ed i piani medi dei vari sistemi individuati (Figura 3); i dati dei range dei sistemi ed i relativi piani rappresentativi sono stati riassunti nella seguente Tabella 1.

Tabella 1

Sistema	K1	K2	K3	K4	K5
Ranges Immersione	013°-075°	118°-175°	269°-282°	283°-340°	189°-225°
Ranges Inclinazione	30°-66°	38°-75°	73°-87°	28°-65°	59°-77°
Piano Rappresentativo	041/48	150/56	275/82	310/46	210/67

Le proiezioni stereografiche, confermando le osservazioni dei rilievi geologico-strutturali di dettaglio, hanno evidenziato la presenza complessivamente di 5 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; sulla base delle intensità dei poli osservate nelle proiezioni stereografiche si è ritenuto opportuno non apportare ulteriori suddivisioni.

Il sistema K1 è sub parallelo al “verso di macchia”, che nel sito appare coincidere con il “verso meccanico” del materiale.

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.

6.0 – CARATTERISTICHE DEI SISTEMI DI DISCONTINUITA' RICONOSCIUTI NELL'AREA DI INTERVENTO

I dati raccolti sono stati elaborati al fine di redigere la Tabella 2 delle caratteristiche fisico-meccaniche dei sistemi delle discontinuità rilevate; di seguito si rimette una breve descrizione delle loro caratteristiche.

Per ciò che riguarda il parametro “spaziatura” questo è stato rilevato per il Dominio Strutturale 1 direttamente sui fronti accessibili in corrispondenza dei tagli a filo, quindi in prossimità dell'ammasso con caratteristiche migliori; mentre per il Dominio Strutturale 2 è stata rilevata dalle aree più alterate e ricche di discontinuità (finimenti e cappellaccio). 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). Nel caso tale rapporto ha fornito valori da un minimo di 73cm (stendimento S2) ad un massimo di 168cm (stendimento S5).

Il parametro "apertura" è risultato nell'analisi statistica avere valori relativamente bassi in entrambi i domini strutturali a seguito della condizione generale delle fratture indagate che presentano caratteristicamente la tendenza man mano che la frattura penetra nell'ammasso a ridursi sino ad evidenziare in molti casi un "immarmamento" completo della discontinuità. Ciò è più chiaramente visibile dai dati ricavati dal Dominio 1, già soggetto in passato a lavorazione e quindi privo di zone rocciose vergini, dove è più facile che fenomeni di tipo carsico e/o atmosferico favoriscano un aumento dell'apertura delle fratture nella loro parte più superficiale.

A favore della sicurezza, come meglio descriveremo in seguito, vi è la scabrezza a "grande scala" che caratteristicamente ricade nella maggior parte dei casi all'interno della classe "II" (scalettata), con la presenza però di scarti anche di parecchi gradi dal generico piano di riferimento.

Sistema K1

Il sistema è formato da fratture con immersione verso NE ed inclinazione media di circa 48°; rappresenta circa il 19,4% dei dati totali elaborati. La quasi totalità delle discontinuità ricadenti in questo sistema risultano persistenti, con un valore medio di quasi 10m (la più alta rilevata nel sito in esame) e l'85% dei dati ascrivibili alla classe 10-20; la spaziatura risulta generalmente elevata, con un valore medio di 195cm circa ed i dati distribuiti per circa il 50% all'interno della classe 60-200, i restanti 17% e 34% circa sono attribuibili invece rispettivamente alle classi 20-60 e 200-600. La forma a grande scala ricade per circa il 65% nella categoria V, con il restante 35% ascrivibile nella categoria II; l'apertura media si attesta sui 4mm circa, con oltre il 50% circa dei dati ascrivibili alla classe 0-0.5 ed un 20% circa di fratture risultate esposte. Solo il 20% dei dati mostra un riempimento formato da terra e sassi, mentre circa il 40% presenta evidenze di alterazioni quasi equamente distribuite tra ossidazioni, carsificazioni e la loro combinazione; il 10% dei giunti presenta venute di acqua. I valori di JRC risultano abbastanza diversificati, con il 45% dei dati appartenenti alla classe principale 2-4 ed un 15% ricadente nella classe più alta 10-12.

Sistema K2

Sistema caratterizzato da discontinuità con immersione verso SE ed inclinazione media di circa 56°; comprende il 44,7% dei giunti analizzati, con oltre il 70% circa di fratture persistenti, un valore medio di circa 8m ed il 65% circa dei dati ricade nella classe 10-20. La spaziatura media è di circa 182cm e presenta il valore massimo più alto del sito in esame (circa 10.3m), il 47.5% circa dei dati è ascrivibile alla classe 60-200, con i restanti dati distribuiti in quasi tutte le restanti classi; oltre il 70% circa delle fratture presenta una forma a grande scala di tipo II. I giunti mostrano un'apertura media di circa 0,08mm, con più del 90% circa dei dati che ricade all'interno della categoria 0-0.5; non vi sono tracce di venute d'acqua e di riempimenti e solo il 10% circa delle fratture mostra segni di ossidazione superficiale. La quasi totalità dei giunti ricade nella classe 2-4 del JRC.

Sistema K3

Caratterizzato da discontinuità con immersione verso W-SW, inclinazione media di circa 82° e rappresenta circa il 7.8% dei dati processati. Oltre l'85% delle fratture rilevate risulta sub-persistente, con un valore medio di circa 2,1m (valore minimo riscontrato nell'area in esame); il sistema presenta una spaziatura media di circa 260cm, con i giunti equamente distribuiti tra le classi 60-200 e 200-600. La forma a grande scala ricade per il 75% nel tipo II, mentre il restante 25% è ascrivibile al tipo V; le fratture risultano chiuse senza tracce di riempimento o di venute d'acqua, con solo il 12% circa che presenta lievi processi di carsificazione. Il JRC è ascrivibile per il 75% alla classe 2-4, con i restanti valori equamente divisi tra le classi 4-6 e 6-8.

Sistema K4

Il sistema, caratterizzato da fratture con immersione verso NW ed inclinazione media di circa 46°, rappresenta circa il 14.5% dei dati processati. Il 60% delle discontinuità risulta persistente, con un valore medio di circa 7,7m; la spaziatura presenta il valore medio più elevato nell'area in esame, raggiungendo i circa 470cm e con oltre il 40% dei dati ricadenti nella classe 200-600. La quasi totalità dei giunti presenta una forma alla grande scala di tipo II, con pochissimi dati ascrivibili al tipo V; l'apertura media è di circa 7,5mm, con il 60% delle fratture ricadenti nella classe 0-0.5 e le restanti equamente distribuite tra le classi 2.5-10 e 10-100. Circa il 40% dei giunti presenta tracce di riempimento formato da sassi o terra con sassi, mentre solo il 13% circa mostra blande tracce di carsificazione. Meno del 7% presenta venute d'acqua, mentre il JRC ricade per quasi il 70% nella categoria 2-4.

Sistema K5

Il sistema rappresenta circa il 13.6% dei dati processati ed è caratterizzato da discontinuità con immersione verso SW ed inclinazione media di circa 67°. Il 57% ed il 28% circa delle fratture presentano rispettivamente carattere persistente e sub-persistente; il valore medio si attesta sui 7m circa, con i dati ricadenti per circa il 43% nella classe 1-3 e per circa il 36% nella classe 10-20. La spaziatura media è di circa 207cm, con il 50% dei dati ascrivibile alla classe 60-200 ed i restanti 16.7% e 33% ricadenti rispettivamente nelle classi 20-60 e 200-600; la forma a grande scala appare distribuita tra le tre categorie, con un picco del 50% sul tipo VIII. L'apertura media è di circa 4,7mm, con il 50% dei dati ascrivibili alla classe 0-0.5 ed un 36% circa di fratture esposte; il 14% circa presenta riempimenti formati da sassi e terra e circa il 43% mostra segni lievi di carsificazione e/o ossidazione. Sul 14% circa dei giunti sono state riscontrate venute d'acqua; il JRC ricade per oltre il 60% nella categoria 2-4, con i restanti dati divisi nelle categorie 4-6 e 10-12.

Versi di Macchia

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

	RANGE IMMERSIONE	RANGE INCLINAZIONE
S1	25 - 60	30 - 55

7.0 - CARATTERI STRUTTURALI DI RILIEVO

Il rilievo geologico-strutturale ha evidenziato, come già precedentemente indicato, la presenza nell'area di intervento 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, definiti “Dominio Strutturale 1: area produttiva o semiproduttiva dell'ammasso” e “Dominio Strutturale 2: cappellaccio-finimento”:

- "DOMINIO STRUTTURALE 1 - AREA PRODUTTIVA DELL'AMMASSO": esso comprende le aree del giacimento oggetto delle precedenti lavorazioni, con sviluppo prevalente all'interno delle zone ad oggi individuate dal piazzale di q.ta 1186.4m s.l.m. e che rappresentano la porzione interna dell'anfiteatro. Anche il piano di q.ta 1193.7m s.l.m. rappresenta un'area di sicura produttività. In particolare queste due aree evidenziano la presenza di un materiale le cui caratteristiche geostrutturali in termini di spaziatura ed apertura risultano idonee per l'escavazione di blocchi, con una produttività immediata.
- "DOMINIO STRUTTURALE 2 - CAPPELLACCIO-FINIMENTO": la parte corticale (cappellaccio) caratterizza l'area esterna all'attuale limite di cava, anche se dai sopralluoghi si può osservare

che il giacimento, una volta rimosso lo strato più superficiale (2 max 3m) risulta subito produttivo, condizione ben visibile sia sul lato occidentale che meridionale del cantiere. Le fasce cataclastiche, di limitata importanza nel sito, sono associate alla fratturazione principale orientata secondo il sistema del “verso di macchia”.

L’andamento e lo spessore del cappellaccio e dei finimenti è ben osservabile lungo i fronti di cava residui, specie sul lato NE.

Ci sono altri caratteri strutturali che è importante richiamare anche per una successiva analisi dell’ammasso e dei potenziali cinematismi.

Il più evidente è rappresentato dalle fratture al “verso di macchia” con immersione a NE, che caratterizzano i fronti esposti a N-NW del sito di cava; alcune di queste (vedi carta della fratturazione) mostrano una persistenza elevata attraversando l’intero cantiere. Sono solitamente associate a aree carsificate e limitatamente cataclastiche; inoltre il materiale presenta “*macchie lente*” associate a questo sistema di frattura.

Il giacimento nel suo complesso è caratterizzato da un basso grado di fratturazione, inoltre l’osservazione sui fronti che collegano più bancate permette di evidenziare che man mano che la discontinuità penetra nell’ammasso tende a chiudersi e a limitare il suo grado di alterazione.

La porzione SW del locale alto morfologico presente a NE rispetto al piazzale principale della cava risulta in aggetto al contatto tra la varietà merceologica della “breccia rossa” ed il materiale calcatoide/arabescato che caratterizza la maggior parte del giacimento.

In ultimo appare evidente l’immersione verso E-NE del materiale merceologicamente più pregiato del sito.

8.0 – 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):

DOMINIO STRUTTURALE 1:

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).

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

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

con

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \dots + \frac{1}{S_n} = 2.1$$

dove $S_1 \dots S_n$ spazature dei vari sistemi di discontinuità del sito; da cui $RQD=0$ per $J_v > 44$ e 100% per $J_v < 2.5$. Questa formula ha fornito nel caso del Dominio Strutturale 1 un valore prossimo al 100%; in misura cautelativa è stato utilizzato, anche a favore di sicurezza, un valore di 90% di recupero.

	PARAMETRO	Valori riscontrati	INDICE RMR	Note
1	RESISTENZA ROCCIA	80÷100 MPa	9	Valore medio relativo ad una resistenza monoassiale di 90MPa
2	RQD	100%	18	Valore cautelativo pari a 80% sebbene la stima con J_v fornisca un valore superiore
3	SPAZIATURE GIUNTI	Valore mediato	Vedi Tab. 5	Il range è riferito ai valori di spaziatura dei sistemi persistenti
4	CONDIZIONE DEI GIUNTI	Lunghezza, Apertura, Rugosità, Riempimento, Alterazione	Vedi Tab. 5	Il range è riferito ai valori dei sistemi persistenti
5	CONDIZIONI IDRAULICHE		Vedi Tab. 5	
		Totale somma voci 3-4-5	48.6	Risultato elaborazione Tab.5
	BRMR	Totale	75.6	
	Corr. Orient. Giunti		-6.6	Risultato elaborazione Tab.8
	RMR	Totale	69	

Tabella 4: Dominio 1, valore di BMR: assegnazione dei parametri di Beniaowski, 1989.

DOMINIO STRUTTURALE 2:

Sulla base dei valori rilevati ed ottenuti per il Dominio Strutturale 1 si sono ricavati quelli per il Dominio Strutturale 2, considerando un valore di J_v di 8.4 (quadruplicato) che ha fornito un valore di RQD del 85% circa.

	PARAMETRO	Valori riscontrati	INDICE RMR	Note
1	RESISTENZA ROCCIA	80÷100 MPa	9	Valore medio relativo ad una resistenza monoassiale di 90MPa
2	RQD	85%	13	Valore cautelativo pari a 50% sebbene la stima con J_v fornisca un valore superiore
3	SPAZIATURE GIUNTI	Valore mediato	Vedi Tab. 7	Il range è riferito ai valori di spaziatura dei sistemi persistenti
4	CONDIZIONE DEI GIUNTI	Lunghezza, Apertura, Rugosità, Riempimento, Alterazione	Vedi Tab. 7	Il range è riferito ai valori dei sistemi persistenti
5	CONDIZIONI IDRAULICHE		Vedi Tab. 7	
		Totale somma voci 3-4-5	38.1	Risultato elaborazione Tab.7
	BRMR	Totale	60.1	
	Corr. Orient. Giunti		-6.6	Risultato elaborazione Tab.8
	RMR	Totale	53.5	

Tabella 6: Dominio 2, valore di BMR: assegnazione dei parametri di Beniaowski, 1989.

L'elaborazione dei dati raccolti ha fornito quindi la seguente classificazione finale dell'ammasso:

CAVA BORELLE	BRMR	RMR
Dominio Strutturale 1	76	69
Dominio Strutturale 2	60	53

da cui si evince che l'area del Dominio Strutturale 1 è ascrivibile alla classe "buona", mentre il Dominio Strutturale 2 ricade all'interno della classe "discreta" di Bieniawski (1989), confermando le osservazioni di campagna.

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 9, 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 (J_v), mentre l'indice SCR parte dalla stessa base relativa alla valutazione delle condizioni delle discontinuità per la stima dell'indice RMR di Bieniawski.

Come per la situazione precedentemente descritta anche in questo caso si sono realizzate le tabelle per entrambi i cantieri in esame.

Dominio Strutturale 1

Per il caso in oggetto sono stati stimati dei valori di J_v (joints/mc) di 2.1 corrispondenti ad un SR = 68; con un valore di SCR pari a 12.6, Tabella 10. Entrando con tali valori all'interno della tabella 9 sopra richiamata si è stimato un valore di GSI compreso tra 55-65.

La scelta di un range al posto di un valore univoco è consigliata dagli stessi autori; si ricorda inoltre che una stima del valore di GSI si può ottenere anche dal valore di BRMR, con la seguente espressione:

$$\mathbf{GSI = BMR_{89} - 5 = 76 - 5 = 71}$$

che fornisce un valore di GSI = 75; in considerazione del valore stimato per via diretta con le tabelle degli autori e del valore ricavato dal BMR si ritiene che sia utilizzabile per il Dominio Strutturale 1 dell'ammasso in studio un valore cautelativo di **GSI=60**.

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

Dominio Strutturale 2

Per il caso in oggetto sono stati stimati dei valori di J_v (joints/mc) di 16 corrispondenti ad un SR = 35; con un valore di SCR pari a 11.3, Tabella 11. Entrando con tali valori all'interno della tabella 9 sopra richiamata si è stimato un valore di GSI di 50-40.

La scelta di un range al posto di un valore univoco è consigliata dagli stessi autori; si ricorda inoltre che una stima del valore di GSI si può ottenere anche dal valore di BRMR, con la seguente espressione:

$$\mathbf{GSI = BMR_{89} - 5 = 60 - 5 = 55}$$

che fornisce un valore di GSI = 55; in considerazione del valore stimato per via diretta con le tabelle degli autori e del valore ricavato dal BMR si ritiene che sia utilizzabile per il Dominio Strutturale 2 dell'ammasso in studio un valore di **GSI=40**.

Questo corrisponde ad un ammasso con struttura "fratturata" e con condizioni delle discontinuità "scadenti/discrete".

Di seguito si richiama in sintesi la stima effettuata ed i valori utilizzati:

CANTIERI CAVA BORELLE	GSI AMMASSO
Dominio Strutturale 1	60
Dominio Strutturale 2	40

9.0 - STIMA DEI PARAMETRI GEOMECCANICI DELL'AMMASSO ROCCIOSO IN ESAME – 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: 100 MPa;
- valore di **GSI** (Geological Strenght Index, prima definito);
- parametro adimensionale "**m**," 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 $m_i = 9$;
- $s = e^{(GSI - 100)/(9 - 3D)}$
- $a = 1/2 + 1/6 (e^{(-GSI/15)} - e^{(-20/3)})$

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; in particolare questi saranno presentati dominio per dominio e poi sintetizzati in una tabella finale.

Dominio Strutturale 1, GSI= 60, Tabella 12

PARAMETRO AMMASSO	VALORE STIMATO
Resistenza a compressione σ_{cm}	10.701MPa
Resistenza globale	20.856MPa
Resistenza a trazione σ_{tm}	-0.544MPa
Modulo di deformazione E	17782.79MPa

Dominio strutturale 2, GSI= 40, Tabella 13

PARAMETRO AMMASSO	VALORE STIMATO
Resistenza a compressione σ_{cm}	3.307MPa
Resistenza globale	13.258MPa
Resistenza a trazione σ_{tm}	-0.121MPa
Modulo di deformazione E	5623.41MPa

Nelle figure 4 e 5 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.

Criterio di Mohr-Coulomb - angolo di attrito e coesione dell'ammasso

Il criterio di rottura di Mohr-Coulomb può essere espresso come:

$$\tau = \sigma_n \cdot \tan(\phi) + c$$

Per derivare valori di angolo di attrito e di coesione per l'ammasso, bisogna considerare lo stato tensionale a cui questo è soggetto; sono state effettuate una serie di valutazioni con il programma *RocLab* per valori crescenti dell'altezza dell'ammasso e quindi del valore tensionale, incrociandoli con le caratteristiche dei Domini nell'area :

Altezza	DOMINI	Angolo Attrito Ammasso M/C - ϕ°	Coesione MPa
3m	1	61	1.39
3m	2	63	0.37
9m	1	58	1.07
9m	2	60	1.41

Nel caso di valutazioni particolari con differenti stati tensionali, questi verranno valutati caso per caso.

10.0 - STIMA DELL'ALTEZZA CRITICA DEL VERSANTE

Al fine di effettuare una stima di massima della stabilità in grande del versante si è valutata l'altezza critica dello stesso, cioè si è stimata la massima altezza per un fronte verticale con le caratteristiche geomeccaniche possedute dall'ammasso.

Sulla base dello studio effettuato ai paragrafi precedenti, attraverso il programma Roc-Lab, imponendo i valori caratteristici dell'ammasso relativi ai Domini 1 e 2 quali GSI, resistenza a compressione semplice, indice m_i e fattore di disturbo D, si sono ottenuti i valori di *angolo di attrito* e *coesione* per i due differenti domini dell'ammasso in studio. Questi valori sono riportati anche all'interno delle figure 4 e 5 allegate alla presente relazione.

La stessa valutazione è stata effettuata ricavando i valori di *angolo di attrito* e *coesione* a partire dai valori di BRMR con le espressioni note in letteratura:

$$- \phi = \text{BRMR} \times 0.5 + 5^\circ$$

$$- c = 5 \times \text{BRMR} \text{ (kPa)}$$

Nello schema seguente sono stati riportati i valori di angolo di attrito e coesione per l'ammasso ricavati con i due metodi:

Dominio 1

Parametro / Autore	BIENIAWSKI	MOHR-COULOMB/GSI
Angolo attrito ammasso (°)	43°	60°
Coesione ammasso – Mpa*	0,38	1,41

Dominio 2

Parametro / Autore	BIENIAWSKI	MOHR-COULOMB/GSI
Angolo attrito ammasso (°)	35°	59,8°
Coesione ammasso – Mpa*	0,30	0,411

* Vari autori indicano che i valori di coesione derivati dalle espressioni che impiegano il BRMR di Bieniawski sono sottostimati; nel caso si ritiene che comunque ciò agisca a favore di sicurezza.

Considerando quanto riportato nelle NTC 2008 D.M. 14/01/2008 paragrafo 6.8 "Fronti di scavo", secondo "Approccio 1 - combinazione 2" espressa nella seguente combinazione di coefficienti A2+M2+R2 (A2 = 1.0; M2 = 1.25; R2 = 1.1), si è proceduto a definire i parametri di resistenza da applicare nella formula essendo gli altri coefficienti da applicare a *peso di volume* e carichi pari a 1:

Dominio 1 - (il primo valore si riferisce alla stima con il GSI ed il secondo con Bieniawski)

- $tg(\phi_d) = \frac{tg(\phi_K)}{\gamma_{\phi M(2)}} = 54.2^\circ - 36.5^\circ$.. Angolo di attrito caratteristico (efficace) di calcolo
- $c_d = \frac{c_p}{\gamma_{c,M(2)}} = 112,5 \text{Ton/m}^2 - 30,2 \text{Ton/m}^2$ Coesione caratteristica (efficace) di calcolo

Dominio 2 - (il primo valore si riferisce alla stima con il GSI ed il secondo con Bieniawski)

- $tg(\phi_d) = \frac{tg(\phi_K)}{\gamma_{\phi M(2)}} = 54^\circ - 29.3^\circ$ Angolo di attrito caratteristico (efficace) di calcolo
- $c_d = \frac{c_p}{\gamma_{c,M(2)}} = 32.9 \text{Ton/m}^2 - 24 \text{Ton/m}^2$ Coesione caratteristica (efficace) di calcolo

Questi sono stati inseriti nella seguente formula che permette di stimare l'altezza critica di un fronte roccioso verticale:

$$H_c = (2c/\gamma) \text{tg}(45+\phi/2)$$

dove si ha:

- Hc = altezza critica;
- γ = peso di volume del materiale roccia;
- c = coesione dell'ammasso;
- ϕ = angolo di attrito dell'ammasso

Sostituendo tali valori ed applicando la riduzione finale R2 alla stima effettuata ($H_c = H_c'/R_2$), si ottengono i seguenti valori di riferimento:

Tabella altezze critiche

Hc – altezza critica	BIENIAWSKI	MOHR-COULOMB/GSI
Dominio 1	45m	235m
Dominio 2	28m	68m

Considerando la differenza dei valori stimati, si ritiene di considerare quale riferimento per la progettazione e lo sviluppo dei cantieri futuri i valori stimati impiegando i parametri geotecnici ricavati con le espressioni del BRMR di Bieniawski.

11.0 - RESISTENZA AL TAGLIO DELLE DISCONTINUITA'

Attraverso l'espressione di Barton-Bandis $\tau = \sigma_n \text{tg}\phi_p$, 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 (*Geotecnica*, 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).

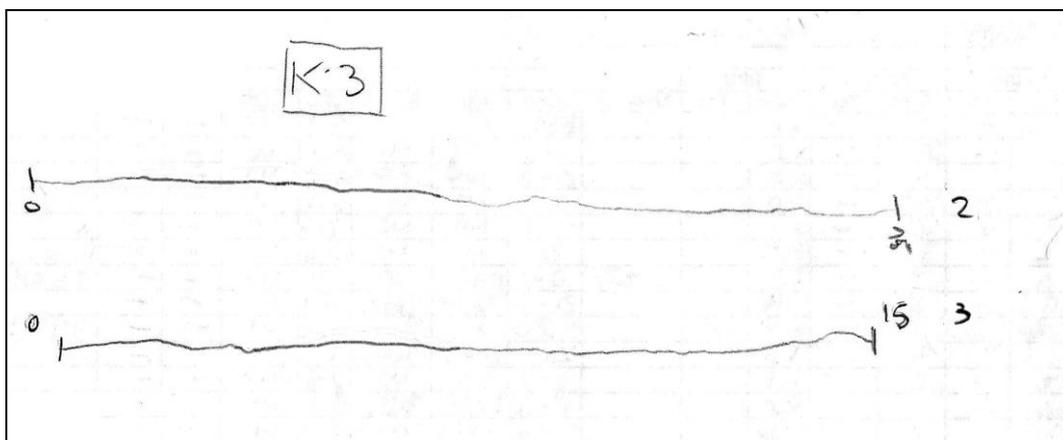
JRC – Scabrezza delle superfici dei giunti

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 buona parte delle superfici indagate appartenenti all'area in esame presenta un profilo ricadente esclusivamente all'interno delle classi 2-4.

Nella tabella 2 relativa alla definizione dei parametri fisico meccanici dei sistemi di discontinuità rilevati nei due Cantieri 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 a seconda del Cantiere considerato il valore minimo della famiglia (rappresentato dalla 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.

La figura sotto tratta dal taccuino di campagna indica alcuni dei profili di rugosità rilevati nell'area in studio su fratture esposte.



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 minimo e massimo rilevato, riportato anche in Tabella 2:

Famiglia	JCS Min. MPa	JCS Max MPa
K1	45	55
K2	45	55
K3	45	55
K4	45	55
K5*	45	55

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 2 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.

11.1 – 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.

Per entrambi i Cantieri in esame sono stati derivati partendo dall'espressione di Barton-Bandis i valori dei parametri geotecnici utilizzati per le successive valutazioni, differenziando le situazioni anche in conseguenza dei differenti domini strutturali.

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_0) 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 la 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 Domini 1 e 2.

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 14

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>		
K1	2 - 12	45-55	30 - 32	<i>3m</i>	34.7	59.9	1.7	41.9	35	1.7
				<i>9m</i>	32.6	48.0	17.7	213.7	33	17.7
K2	2 - 6	45-55	30 - 32	<i>3m</i>	35.1	47.7	1.1	5.1	35	1.1
				<i>9m</i>	33.0	41.5	11.2	45.1	33	11.2
K3	2 - 8	45-55	30 - 32	<i>3m</i>	37.7	62.9	0.1	0.9	38	0.1
				<i>9m</i>	35.6	54.7	0.6	5.9	36	0.6
K4	2 - 12	45-55	30 - 32	<i>3m</i>	34.6	59.4	1.9	44.6	35	1.9
				<i>9m</i>	32.5	47.5	19.7	231.7	32	19.7
K5	2 - 12	45-55	30 - 32	<i>3m</i>	35.8	65.8	0.5	22.0	36	0.5
				<i>9m</i>	33.7	54.5	5.0	85.0	34	5.0

11.2 – 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°:

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

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.

11.3 – 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 similari 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:

- $\phi_{riemp} = 28^\circ$;
- $C_{riemp} = 0.05\text{Kg/cmq}$.

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.

12.0 - INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA

In considerazione degli effetti del sisma sui potenziali cinematismi, si è provveduto a valutare secondo quanto richiesto dalla nuova normativa (NTC – D.M. 14/01/2008) 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: $44^\circ.092872\text{lat N}$; $10^\circ.25784520\text{long.E}$;
- Classe d'uso: I, presenza occasionale di persone;
- Vita nominale: 50 anni;

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: T4;

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 15, di output del programma:

TABELLA 15 - Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,000	1,000	1,400	0,016	0,008	0,773	0,200
SLD	1,000	1,000	1,400	0,017	0,009	0,834	0,200
SLV	1,000	1,000	1,400	0,061	0,031	2,233	0,270
SLC	1,000	1,000	1,400	0,088	0,044	2,885	0,300

13.0 - ORIENTAZIONI DEI FRONTI DI LAVORO

Nell'ambito del “range” dei $\pm 10^\circ$ i principali fronti di escavazione attuali e di progetto della cava Borelle presenteranno la seguente orientazione generale:

- ◆ Fr1: Fronte orientato N 145° verticale esposto a NE;
- ◆ Fr2: Fronte orientato N 55° verticale esposto a SE;
- ◆ Fr3: Fronte orientato N 135° verticale esposto a SW;
- ◆ Fr4: Fronte orientato N 170° verticale esposto a W-SW;
- ◆ Fr5: Fronte orientato N 45° verticale esposto a NW
- ◆ Fr6: Fronte orientato N 80° verticale esposto a N-NW.

L'altezza nelle verifiche sarà posta pari a quella massima di progetto e variabile per i fronti che saranno attivati da un minimo di 3m (singola bancata in escavazione) ad un massimo di 9m.

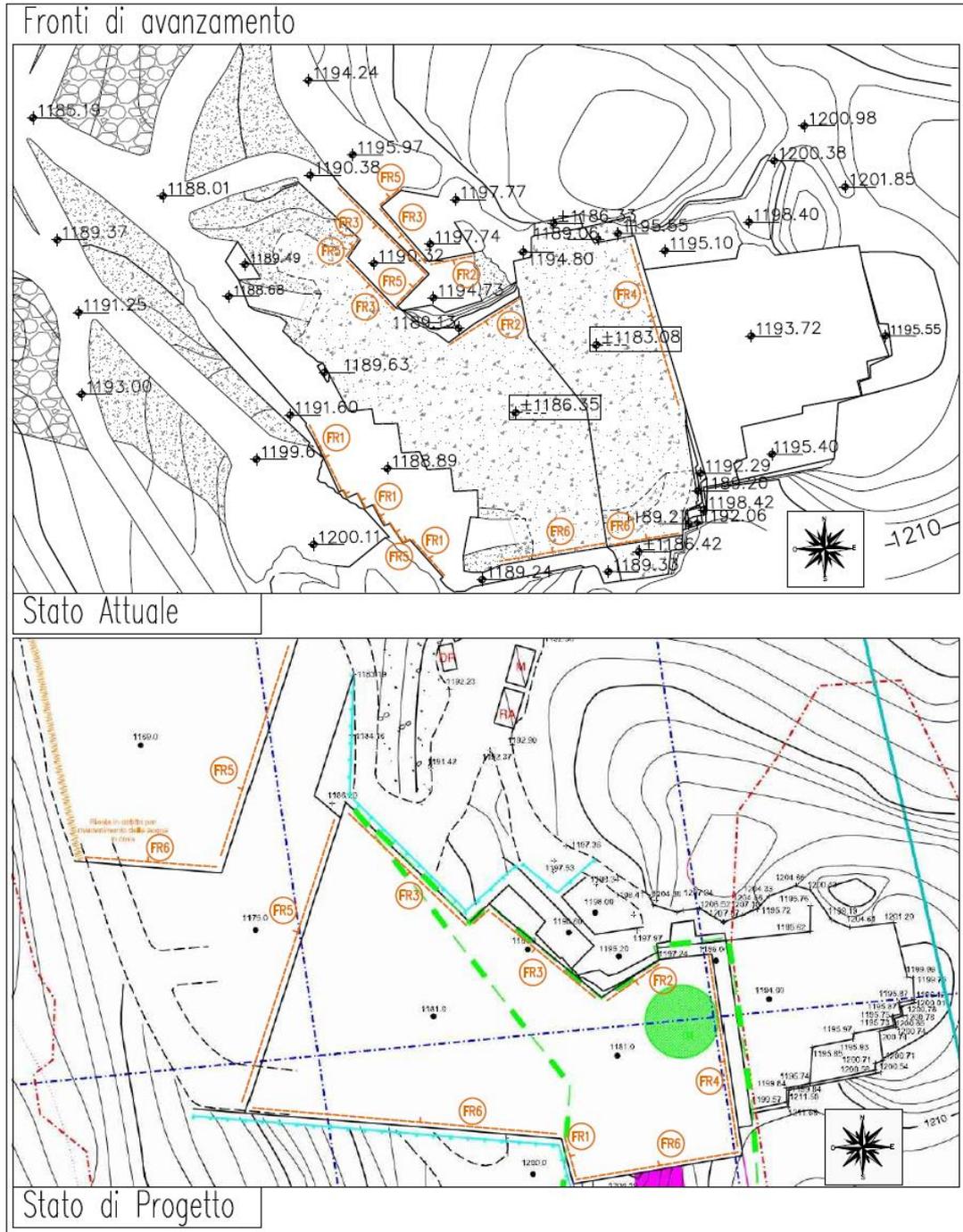


Figura A

14.0 - ANALISI DI STABILITA'

Di seguito saranno effettuate le analisi di stabilità dei fronti della parte di cava che entrerà in attività; visto il grado di fratturazione generale si ritiene più corretto considerare il comportamento

dell'ammasso globalmente con un approccio "discontinuo" il cui comportamento viene governato principalmente dalle singole discontinuità e dalle loro caratteristiche fisico-meccaniche.

Il primo approccio è stato quello di un'analisi di tipo grafico al fine di evidenziare la tipologia dei potenziali cinematismi e tra questi quelli che potevano essere esclusi per condizioni geometriche dalla successiva analisi numerica. Test grafici sono stati condotti con il programma MecRocce della ProgramGeo di Brescia e con il programma Dips per evidenziare la possibilità di ribaltamenti.

Per la fase di analisi numerica si è utilizzato l'approccio proposto dalle NTC D.M. 14/01/2008 relativo al paragrafo 6.8 "Opere di materiali sciolti e Fronti di scavo", effettuando le verifiche secondo quanto previsto al successivo paragrafo 6.8.2, cioè "Approccio 1 – Combinazione 2" espressa dalla seguente combinazione di coefficienti: A2+M2+R2.

Le spiegazioni dei singoli coefficienti ed i loro valori sono riportate nelle seguenti tabelle richiamate dalle NTC:

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

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

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

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	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	γ_r	1,0	1,0

Tabella 6.8.I – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

In maniera molto schematica, secondo quanto riportato nelle NTC, deve essere per ogni stato limite considerato verificata la condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'azione e R_d il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico.

Le verifiche numeriche sono state condotte sia con l'ausilio di programmi informatizzati come B-ROCK 2.0 della Program Geo di Brescia sia facendo uso dei programmi RocPlane, S-Wedge e UnWedge della Rocscience di Toronto-Canada.

alzata che pedata dei fronti in coltivazione, e che il valore dell'inclinazione di tali discontinuità sia superiore all'angolo di attrito residuo della discontinuità stessa.

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

- mancanza di continuità laterale della massa rocciosa;
- i piani che isolano la massa siano continui su tutta la superficie, senza presenza di ponti di roccia (in gergo "salti");
- le dimensioni del volume potenzialmente instabile devono essere compatibili con le dimensioni delle bancate, dei piazzali e della stessa cava.

Si ricorda che una costante osservazione da parte del personale dei fronti prima dell'esecuzione di tagli al monte o alle bancate, fa sì che vengano messi in luce potenziali situazioni a rischio, così da intervenire disgiungendo o nel caso di fronti residui finali stabilizzando l'eventuale massa rocciosa.

Il presente approccio di analisi ha carattere previsionale-probabilistico, in quanto serve come primo indicatore delle possibili situazioni da tenere sotto controllo per i fronti di coltivazione e per quelli che saranno abbandonati (residui). L'unica differenza risiede nel fatto che i fronti in coltivazione vengono progressivamente "disgiunti" durante i lavori, mentre quelli finali in caso di volumetrie potenzialmente instabili possono alternativamente anche essere consolidati. **A questo scopo nelle verifiche sono state effettuate delle ipotesi di intervento (consolidamento o disgiungimento), nel caso il rapporto Rd/Ed risultasse inferiore all'unità, che hanno il solo scopo di illustrare quali metodologie è possibile applicare per sanare un'eventuale situazione.** Allorché si rinvergono situazioni reali, è necessario operare un apposito calcolo, valutando la metodologia di intervento di volta in volta più opportuna.

Si rammenti comunque che poiché le cave costituiscono dei fronti di lavoro in continua evoluzione questo permette di intervenire celermente quando si presenti una situazione di potenziale instabilità e che il disgiungimento diventa così un'operazione connessa direttamente all'avanzamento del fronte (coltivazione).

Sulla base dei dati raccolti e successivamente elaborati, sono stati costruiti i diagrammi tipo Markland, Figure 6, 7, 8, 9, 10 e 11. A tal fine sono stati proiettati i cerchi massimi rappresentativi dei vari sistemi di discontinuità (piano rappresentativo), ed il fronte di scavo così da individuare graficamente i potenziali cinematismi.

L'osservazione dei diagrammi e semplici considerazioni di carattere geometrico (rif. "Analisi di metodologie di calcolo e sperimentazioni applicabili nelle valutazioni statiche in coltivazione di pietra ornamentale" – Centro Studi per la Fisica delle Rocce e le Geotecnologie – Pol. Di Torino) hanno permesso di fatto di escludere a questo stadio alcuni cinematismi e quindi non effettuare per essi le verifiche analitiche; ad esempio è esclusa la possibilità di cinematismo planare per i vari fronti di quei piani di discontinuità che non differissero per $\pm 20^\circ$ dalla direzione di immersione del fronte stesso.

La prima parte di analisi numerica è stata condotta attraverso il programma di calcolo B-ROCK 2.0 della società ProgramGeo di Brescia (BS): questo parte dall'analisi del "blocco chiave" (teoria di Goodman&Shi – Priest&Hudson per blocchi tetraedrici) andando a definire quei blocchi che possono scivolare. Per quelli che risultano cinematicamente mobili il programma provvede ad una stima del rapporto Rd/Ed (secondo la normativa D.M. 14/01/2008), utilizzando i caratteri delle discontinuità stimati ai paragrafi precedenti, applicando la riduzione ai valori di angolo di attrito e coesione (coefficiente M2) e riducendone il valore finale di output secondo il fattore R2 (1.1). In questo primo screening il programma non applica la legge di resistenza al taglio di Mohr-Coulomb bensì quella non lineare di Barton, andando di volta in volta a definire il solo valore di angolo di picco agente sulle superfici di scivolamento secondo l'espressione riportata all'inizio del paragrafo 4.0, che viene poi ridotto dal coefficiente M2 per ottenere il valore di progetto.

Quei casi che hanno fornito al primo screening valori inferiori all'unità, sono stati riverificati con il programma S-Wedge, cunei tridimensionali, o RocPlane, cinematismi planari, della Rocscience. Le nuove verifiche sono state condotte utilizzando i valori di angolo di attrito e coesione stimati e riportati nella tabella 14, legge di resistenza di Mohr-Coulomb, ed in funzione

delle persistenze reali delle tracce delle discontinuità. Anche in questa situazione si è proceduto ad elaborare ipotesi di intervento nel caso di $Rd/Ed < 1$ come disaggio e consolidamenti.

Altra verifica tridimensionale è stata condotta con il programma UnWedge per la ricerca di prismi di parete, derivanti cioè dalla combinazione di più sistemi di frattura con la superficie del fronte. Si segnala che il limite del programma è quello di combinare al massimo tre sistemi per volta, oltre alla superficie del fronte. Risulta comunque un ottimo strumento per evidenziare quali famiglie risultino maggiormente problematiche.

La base teorica delle formule utilizzate dai programmi di calcolo sopra citati è relativa alle espressioni ricavate da HOEK & BRAY (1981) sia per cinematismi di origine planare (caso bidimensionale) sia per quelli tridimensionali (cunei rocciosi – prismi di parete), che per i ribaltamenti.

Nel caso di cinematismo planare il programma, a favore della sicurezza, ipotizza sempre che direzione di scivolamento e direzione della discontinuità siano perfettamente perpendicolari, non tenendo conto del contributo dovuto alla differenza tra le due, che nel caso risulti superiore a 20° esclude l'attivarsi del cinematismo stesso.

In merito ai ribaltamenti, ricordiamo che affinché si abbia potenziale instabilità per ribaltamento su di un fronte devono essere presenti le seguenti condizioni, codificate da Goodman&Bray (1976):

- a) Direzione del fronte e direzione degli strati non devono differire per più di 30° (cono di confidenza totale pari a 60°);
- b) La direzione di immersione degli strati deve essere opposta a quella del fronte in oggetto;
- c) Lateralmente il fronte deve essere isolato (assenza di continuità laterale del blocco) da altre fratture, dal vuoto o nel caso di fronti di scavo da tagli;
- d) 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 (assunto pari all'angolo di attrito residuo del materiale 28°).

Tradotta in formula, quest'ultima condizione impone che:

$$(90 - \Phi_p) \leq (\Phi_f - \varphi_p)$$

dove:

- Φ_p = inclinazione media rappresentativa del sistema o del piano in esame;
- Φ_f = inclinazione del fronte in esame;
- φ_p = angolo di attrito tra i piani.

In particolare queste condizioni, di tipo puramente geometrico, permettono di effettuare un test grafico, tipo Markland, andando a definire in un'area all'interno dello stereogramma i poli di quei piani che potenzialmente potrebbero essere in grado di innescare il fenomeno.

Ulteriore condizione necessaria è la presenza di un sistema di frattura o un taglio che a basso angolo isola la base del blocco stesso, permettendogli di ruotare.

I cinematismi potenzialmente instabili individuati per via grafica ed analitica sono stati poi riosservati in loco onde verificarne l'effettiva esistenza, e nel caso, verificati, consolidati o disgiunti.

Le verifiche sono state condotte in condizioni di SLU-SLV con sisma e sovrappressione di acqua pari al 10% (anche se dal rilievo non è emersa presenza nelle discontinuità si considera un 10% per introdurre un possibile fenomeno di locale filtrazione visibile su alcuni fronti), nelle condizioni di picco e residue e per altezze pari a quella massima dei fronti di scavo (10m e 20m).

La presente analisi si riferisce ai fronti principali indagati che sono oggetto di coltivazione, ma che si possono applicare anche ai vecchi fronti residui (vedi quelli che costituiscono le tecchie) al fine di avere una valutazione iniziale delle potenziali combinazioni.

Per schematizzare i risultati, sono state redatte per ogni fronte analizzato, delle tabelle riassuntive in cui sono riportati:

- l'altezza della bancata;
- i sistemi coinvolti;
- il peso o volume della massa in gioco;
- il valore del rapporto Rd/Ed (vecchio coefficiente di sicurezza);
- l'eventuale ipotesi di intervento.

Nell'analisi sono stati considerati tutti i piani emersi dallo studio strutturale, indifferentemente dal loro peso statistico, andando a verificare tutte le possibili configurazioni.

Richiamando lo specchietto relativo all'orientazione dei fronti di scavo si sono definiti una serie di "fronti tipo" (da Fr1 a Fr6) divisi in base all'orientazione ed indicati nella Carta della Fratturazione allegata al progetto (Tavola 1).

Prima di procedere è doveroso chiarire che il programma di verifica B-Rock2.0 prende in numero progressivo i piani rappresentativi delle varie famiglie; pertanto al fine di rendere maggiormente comprensiva la trattazione si riportano i seguenti schemi di correlazione:

Cava Borelle <i>Sistema indicato dallo scrivente</i>	<i>Giacitura</i>	<i>Notazione programma B-Rock 2.0</i>	
K1	041 - 48	famiglia:	1
K2	150 - 56		2
K3	275 - 82		3
K4	310 - 46		4
K5	210 - 67		5

La discussione verrà affrontata fronte per fronte distinguendo le varie tipologie di cinematismo possibili con indicazione dell'eventuale intervento.

Poiché le verifiche numeriche dei cinematismi planari sono state condotte nella condizione geometrica più svantaggiosa possibile (condizione di parallelismo tra le due direzioni fronte-piano di discontinuità), si riporta di seguito uno specchietto riassuntivo dell'elaborazione fatta (valida per tutti i fronti ove compaia un potenziale scivolamento planare):

➤ *Cinematismi planari:*

condizione essenziale al verificarsi del cinematismo non è solo che alzata e pedata siano intercettate dalla discontinuità ma anche che lateralmente la frattura venga isolata da altre fratture o da tagli di coltivazione. L'ipotesi di seguito illustrata pone la situazione in maniera tale che la frattura sia completamente isolata e perfettamente parallela alla direzione del fronte (in caso di differenza pari a $\pm 20^\circ$ il cinematismo non si attiva). Il calcolo è stato condotto in condizioni sismiche e con sovrappressione di acqua (10%); i parametri di resistenza sono quelli relativi ad una tensione massima pari a 3m o 9m che caratterizza i futuri fronti di coltivazione. Inoltre nell'analisi è stato inserito anche il valore dell'FS iniziale così come output del programma, mentre lo stesso viene ridotto di un coefficiente $R2=1.1$ come previsto dall'approccio scelto. Nella figura di seguito relativa al sistema K2 si riporta lo schema di verifica (bidimensionale) valido anche per gli altri sistemi (programma Rocplane - Rocscience).

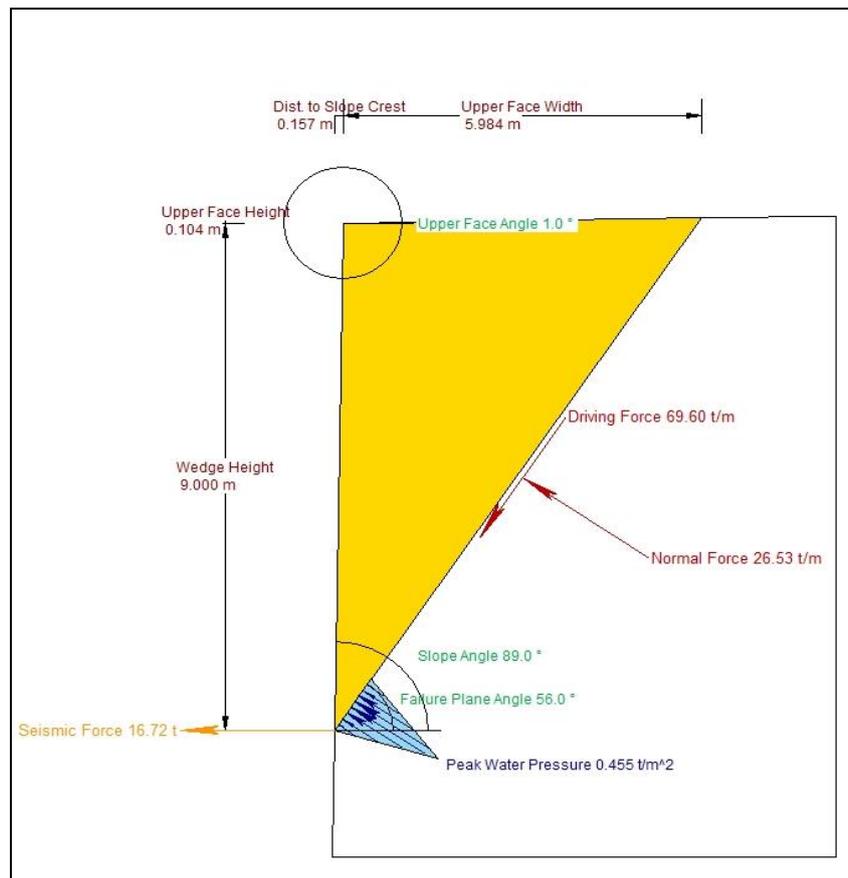


Figura 12: Schema di calcolo scivolamento planare.-

Nelle note è stato inserito il valore di intercetta sulla pedata superiore nel caso di fronte di 3 e 9m come indicazione al progettista ed ai sorveglianti di cava/DL per dimensionare in maniera orientativa le riseghe durante i ribassi (n.b. il valore *reale* deve comunque essere stimato caso per caso in funzione dell'inclinazione locale del sistema).

Tabella 17 - Cava Borelle

FAMIGLIA	IMM./ INCL.	PICCO sisma+H2O			PICCO sisma+H2O			COND. RESIDUE		NOTE (L3/L9 distanza fronte/emersione su pedata per H=3-9m) Ipotesi Intervento
		H=3m			H=9m			H=3-9m sisma/H2O		
		Volume	FS	Rd/Ed	Volume	FS	Rd/Ed	FS	Rd/Ed	
		mc/m			mc/m					
K1	041°/48°	4.03	0.31	0.28	36.32	0.30	0.27	0.28	0.25	Fronte 3m disagggio , fronte 9m in avanzamento disagggio con mezzi meccanici; fronte residuo consolidamento con n°3 barre da 32mm L=3-6m tipo dywidagg
K2	150°/56°	2.99	0.21	0.19	26.92	0.21	0.19	0.20	0.18	Fronte 3m disagggio , fronte 9m in avanzamento disagggio con mezzi meccanici; fronte residuo consolidamento con n°3 barre da 32mm L=3-6m tipo dywidagg
K3	275°/82°	0.55	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	0.00	0.00	Disagggio immediato al riconoscimento della struttura con mezzi meccanici
K4	310°/46°	4.34	0.34	0.31	39.05	0.31	0.28	0.29	0.26	Fronte 3m disagggio , fronte 9m in avanzamento disagggio con mezzi meccanici; fronte residuo consolidamento con n°4 barre da 32mm L=3-6m tipo dywidagg
K5	210°/67°	1.84	0.10	0.09	16.60	0.10	0.09	0.09	0.08	Fronte 3m disagggio , fronte 9m in avanzamento disagggio con

								Con fronte da 3m disaggio; con fronte da 9m verificare la persistenza delle fratture, suddividere la volumetria nel caso di formazione del volume per una bonifica con mezzi meccanici (tagli ed escavatore)
	19	1/4+5	5.82	0.43	150.05	0.62	0.43	

Prismi di parete ($H_{Fronte} = 9m$), Tabella 19:

Combinazione	V_{blocco}	Cinematismo	Rd/Ed	Note
[FR1 -55/90]	[m^3]	[-]	($F_s/R2$)	
K1/K2/K3	29.75 m^3	Scivola su K1	0.507	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 0.35 m^3 e Rd/Ed=0.53, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disaggio
K1/K2/K4	24.75 m^3	Scivola su K1	0.516	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 14.00 m^3 e Rd/Ed=0.52, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione di fronte con H=9m consolidare con 2 barre da 35Tons cad. L=6-9m
K1/K2/K5	5.16 m^3	Scivolamento int. su K1 e K2	0.955	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 1.25 m^3 e Rd/Ed=0.97, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disaggio
K1/K3/K4	189.50 m^3	Scivolamento int. su K1 e K3	1.055	Stabile
K1/K3/K5	26.14 m^3	Scivola su K1	0.507	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 0.31 m^3 e Rd/Ed=0.53, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disaggio
K1/K4/K5	12.85 m^3	Scivola su K1	0.518	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 11.19 m^3 e Rd/Ed=0.52, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione di fronte con H=9m consolidare con 1 barra da 35Tons L=6-9m
K2/K3/K4	19.42 m^3	Scivolamento int. su K3 e K4	1.632	Stabile
K2/K3/K5	6.00 m^3	STABILE		
K2/K4/K5	5.48 m^3	STABILE		
K3/K4/K5	14.81 m^3	Scivolamento int. su K3 e K4	1.629	Stabile

FR2 - Fronti N 55 SE, altezza 3 - 9m, Tabella 20

FRONTE	CUNEO/	COMB.	PICCO sisma+H2O		PICCO sisma+H2O		COND. RESIDUE	NOTE
FR2		PIANI	H=3m		H=9m		H=3-9m sisma/H2O	
esterno			Volume	Rd/Ed	Volume	Rd/Ed	Rd/Ed	
	1	1/2	28.89	0.99	779.96	0.93	0.75	Con fronte da 3m disaggio; con fronte da 9m verificare la persistenza delle fratture, suddividere la volumetria nel caso di formazione del volume per una bonifica con mezzi meccanici (tagli ed escavatore)

	4	1/5	40.22	6.22	1085.85	5.81	4.24	STABILE
	5	2/3	19.77	0.40	533.74	0.39	0.31	Con fronte da 3m disaggio; con fronte da 9m verificare la persistenza delle fratture, suddividere la volumetria nel caso di formazione del volume per una bonifica con mezzi meccanici (tagli ed escavatore)
	6	2/4	4.16	0.40	112.29	0.38	0.31	Con fronte da 3m disaggio; con fronte da 9m verificare la persistenza delle fratture, suddividere la volumetria nel caso di formazione del volume per una bonifica con mezzi meccanici (tagli ed escavatore)
	7	2/5	20.57	0.39	555.40	0.38	0.31	Con fronte da 3m disaggio; con fronte da 9m verificare la persistenza delle fratture, suddividere la volumetria nel caso di formazione del volume per una bonifica con mezzi meccanici (tagli ed escavatore)
	9	3/5	0.24	0.00	6.39	0.00	0.00	Disaggio immediato con mezzi meccanici
	21	1/5+3	11.93	5.70	314.03	5.31	3.97	STABILE
	622	1/5+4	8.54	5.64	221.72	5.26	3.87	STABILE

Prismi di parete ($H_{Fronte} = 9m$), Tabella 21:

Combinazione	V_{blocco}	Cinematismo	Rd/Ed	Note
[FR2 -145/90]	[m ³]	[-]	(F _s /R2)	
K1/K2/K3	45.22m ³	Scivola su K2	0.393	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 0.55m ³ e Rd/Ed=0.41, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disaggio
K1/K2/K4	0.78m ³	Scivola su K2	0.419	Se riscontrato durante le operazioni di lavorazione di fronte con H=9m procedere a disaggio meccanico
K1/K2/K5	54.29m ³	Scivola su K2	0.396	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 16.97m ³ e Rd/Ed=0.40, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione di fronte con H=9m consolidare con 2 barre da 35Tons cad. L=6-9m
K1/K3/K4	627.55m ³	STABILE		
K1/K3/K5	4.95m ³	Scivolamento int. su K3 e K5	0.304	Se riscontrato durante le operazioni di lavorazione di fronte con H=9m procedere a disaggio meccanico
K1/K4/K5	58.92m ³	Scivolamento int. su K1 e K5	3.497	Stabile
K2/K3/K4	0.922m ³	Scivolamento int. su K2 e K3	0.922	Se riscontrato durante le operazioni di lavorazione di fronte con H=9m procedere a disaggio meccanico
K2/K3/K5	10.83m ³	Scivolamento int. su K3 e K5	0.304	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 0.03m ³ e Rd/Ed=0.32, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disaggio
K2/K4/K5	0.83m ³	Scivolamento int. su K2 e K5	0.445	Se riscontrato durante le operazioni di lavorazione di fronte con H=9m procedere a disaggio meccanico
K3/K4/K5	5.42m ³	Scivolamento int. su K3 e K5	0.304	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 0.08m ³ e Rd/Ed=0.32, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disaggio

FR3 - Fronti N 135 SW, altezza 3 - 9m, Tabella 22

FRONTE	CUNEO/	COMB.	PICCO sisma+H2O		PICCO sisma+H2O		COND. RESIDUE	NOTE
			H=3m		H=9m			
FR3		PIANI					H=3-9m sisma/H2O	
esterno			Volume	Rd/Ed	Volume	Rd/Ed	Rd/Ed	
	5	2/3	3.02	0.86	81.63	0.83	0.66	Con fronte da 3m disaggio; con fronte da 9m in caso di fronte in avanzamento bonifica/disaggio con mezzi meccanici. In caso di fronte residuo ipotesi di consolidamento con n°7 barre da 32mm tipo dywidagg da 6m
	6	2/4	34.95	3.28	943.63	3.16	2.73	STABILE
	7	2/5	1.01	0.00	27.24	0.00	0.00	Con fronte da 3m disaggio; con fronte da 9m in caso di fronte in avanzamento bonifica/disaggio con mezzi meccanici. In caso di fronte residuo ipotesi di consolidamento con n°2 barre da 32mm tipo dywidagg da 3 o 6m
	9	3/5	2.99	0.00	80.82	0.00	0.00	Con fronte da 3m disaggio; con fronte da 9m in caso di fronte in avanzamento bonifica/disaggio con mezzi meccanici. In caso di fronte residuo ipotesi di consolidamento con n°7 barre da 32mm tipo dywidagg da 3 o 6m
	10	4/5	7.62	0.78	205.67	0.75	0.60	Con fronte da 3m disaggio; con fronte da 9m in caso di fronte in avanzamento bonifica/disaggio con mezzi meccanici suddividendo il volume
	26	2/4+1	7.40	2.97	189.15	2.86	2.47	STABILE

Prismi di parete ($H_{Fronte} = 9m$), Tabella 23:

Combinazione	V_{blocco}	Cinematismo	Rd/Ed	Note
[FR3 -225/90]	[m ³]	[-]	(F _s /R2)	
K1/K2/K3	40.97m ³	Scivolamento int. su K2 e K3	0.883	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 0.49m ³ e Rd/Ed=0.93, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disaggio
K1/K2/K4	31.65m ³	Scivolamento int. su K2 e K4	2.563	Stabile
K1/K2/K5	6.30m ³	Scivola su K5	0.266	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 2.18m ³ e Rd/Ed=0.27, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disaggio
K1/K3/K4	360.03m ³	STABILE		
K1/K3/K5	12.38m ³	Scivola su K5	0.261	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 0.63m ³ e Rd/Ed=0.27, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disaggio
K1/K4/K5	7.85m ³	Scivolamento int. su K4 e K5	0.790	Se riscontrato durante le operazioni di lavorazione di fronte con H=9m consolidare con 1 barra da 35Tons L=6-9m
K2/K3/K4	22.83m ³	Scivolamento int. su K2 e K3	0.891	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 0.28m ³ e Rd/Ed=0.93, se

				riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disgaggio
K2/K3/K5	22.84m ³	Scivolamento int. su K3 e K5	0.303	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 0.20m ³ e Rd/Ed=0.32, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disgaggio
K2/K4/K5	18.33m ³	Scivola su K5	0.263	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 5.53m ³ e Rd/Ed=0.27, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disgaggio
K3/K4/K5	19.27m ³	Scivola su K5	0.257	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 0.23m ³ e Rd/Ed=0.27, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disgaggio

FR4 - Fronti N 170 W-SW, altezza 3 - 9m, Tabella 24

FRONTE	CUNEO/	COMB.	PICCO sisma+H2O		PICCO sisma+H2O		COND. RESIDUE	NOTE
			H=3m		H=9m			
FR4		PIANI	Volume	Rd/Ed	Volume	Rd/Ed	H=3-9m sisma/H2O	
esterno							Rd/Ed	
	5	2/3	1.93	0.84	52.12	0.81	0.64	Con fronte da 3m disgaggio; con fronte da 9m in caso di fronte in avanzamento bonifica/disgaggio con mezzi meccanici. In caso di fronte residuo ipotesi di consolidamento con n°4 barre da 32mm tipo dywidagg da 3 o 6m
	6	2/4	36.76	3.28	992.54	3.16	2.73	STABILE
	9	3/5	1.02	0.00	27.51	0.00	0.00	Con fronte da 3m disgaggio; con fronte da 9m in caso di fronte in avanzamento bonifica/disgaggio con mezzi meccanici. In caso di fronte residuo ipotesi di consolidamento con n°2 barre da 32mm tipo dywidagg da 3 o 6m
	10	4/5	8.55	0.79	230.79	0.76	0.60	Con fronte da 3m disgaggio; con fronte da 9m in caso di fronte in avanzamento bonifica/disgaggio con mezzi meccanici suddividendo il volume
	26	2/4+1	16.06	3.14	424.78	3.03	2.63	STABILE
	28	2/4+5	12.15	2.96	317.55	2.84	2.52	STABILE
	39	4/5+2	7.76	0.81	208.30	0.77	0.62	Con fronte da 3m disgaggio; con fronte da 9m in caso di fronte in avanzamento bonifica/disgaggio con mezzi meccanici suddividendo il volume
	40	4/5+3	4.55	0.73	117.33	0.69	0.56	Con fronte da 3m disgaggio; con fronte da 9m in caso di fronte in avanzamento bonifica/disgaggio con mezzi meccanici suddividendo il volume

Prismi di parete ($H_{Fronte} = 9m$), Tabella 25:

Combinazione	V_{blocco}	Cinematismo	Rd/Ed	Note
[FR4 -260/90]	[m ³]	[-]	(F _s /R2)	

K1/K2/K3	7.66m ³	Scivolamento int. su K2 e K3	0.894	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 0.07m ³ e Rd/Ed=0.94, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disaggio
K1/K2/K4	0.67m ³	Scivolamento int. su K2 e K4	2.769	Stabile
K1/K2/K5	2.57m ³	STABILE		
K1/K3/K4	1.02m ³	STABILE		
K1/K3/K5	6.11m ³	Scivola su K5	0.253	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 0.05m ³ e Rd/Ed=0.27, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disaggio
K1/K4/K5	0.64m ³	Scivolamento int. su K4 e K5	0.820	Se riscontrato durante le operazioni di lavorazione di fronte con H=9m procedere a disaggio meccanico
K2/K3/K4	8.29m ³	Scivolamento int. su K2 e K3	0.895	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 0.07m ³ e Rd/Ed=0.94, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disaggio
K2/K3/K5	1.50m ³	Scivolamento int. su K3 e K5	0.270	Se riscontrato durante le operazioni di lavorazione di fronte con H=9m procedere a disaggio meccanico
K2/K4/K5	2.20m ³	Scivolamento int. su K4 e K5	0.790	Se riscontrato durante le operazioni di lavorazione di fronte con H=9m procedere a disaggio meccanico
K3/K4/K5	6.43m ³	Scivola su K5	0.253	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 0.05m ³ e Rd/Ed=0.27, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disaggio

FR5 - Fronti N 45 NW, altezza 3 - 9m, Tabella 26

FRONTE	CUNEO/ FR4	COMB. PIANI	PICCO sisma+H2O H=3m		PICCO sisma+H2O H=9m		COND. RESIDUE H=3-9m sisma/H2O Rd/Ed	NOTE
			Volume	Rd/Ed	Volume	Rd/Ed		
esterno								
	2	1/3	4.31	1.19	116.36	1.12	0.81	Con fronte da 3m disaggio; con fronte da 9m in caso di fronte in avanzamento bonifica/disaggio con mezzi meccanici suddividendo il volume
	3	1/4	54.32	0.85	1466.59	0.81	0.67	Con fronte da 3m disaggio; con fronte da 9m non compatibile con le dimensione del sito di cava
	6	2/4	20.00	0.00	540.04	0.00	0.00	Con fronte da 3m disaggio; con fronte da 9m in caso di fronte in avanzamento bonifica/disaggio con mezzi meccanici suddividendo il volume. Situazione in cui è necessario intervenire non appena riscontrata
	8	3/4	50.16	1.64	1354.28	1.59	1.33	STABILE
	10	4/5	41.90	0.55	1131.27	0.53	0.46	Con fronte da 3m disaggio; con fronte da 9m non compatibile con le dimensione del sito di cava
	17	1/4+2	48.82	0.85	1306.47	0.81	0.68	Con fronte da 3m disaggio; con fronte da 9m non compatibile con le dimensione del sito di cava

	19	1/4+5	55.17	0.88	1489.23	0.84	0.70	Con fronte da 3m disaggio; con fronte da 9m non compatibile con le dimensioni del sito di cava
	27	2/4+3	15.21	0.56	406.41	0.54	0.46	Con fronte da 3m disaggio; con fronte da 9m in caso di fronte in avanzamento bonifica/disaggio con mezzi meccanici suddividendo il volume
	33	3/4+2	40.27	1.62	1075.00	1.57	1.33	STABILE
	34	3/4+5	45.81	1.60	1231.05	1.54	1.32	STABILE

Prismi di parete ($H_{Fronte} = 9m$), Tabella 27:

Combinazione	V_{blocco}	Cinematismo	Rd/Ed	Note
[FR5 -315/90]	[m ³]	[-]	(F _s /R2)	
K1/K2/K3	29.08m ³	Scivolamento int. su K1 e K3	1.043	Stabile
K1/K2/K4	3.12m ³	Scivolamento int. su K2 e K4	0.562	Se riscontrato durante le operazioni di lavorazione di fronte con H=9m procedere a disaggio meccanico
K1/K2/K5	69.38m ³	STABILE		
K1/K3/K4	606.74m ³	Scivolamento int. su K1 e K3	1.041	Stabile
K1/K3/K5	2.90m ³	Scivolamento int. su K1 e K3	1.060	Stabile
K1/K4/K5	60.76m ³	Scivola su K4	0.541	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 27.10m ³ e Rd/Ed=0.55, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione di fronte con H=9m consolidare con 3 barre da 35Tons cad. L=6-9m
K2/K3/K4	3.32m ³	Scivolamento int. su K2 e K3	0.558	Se riscontrato durante le operazioni di lavorazione di fronte con H=9m procedere a disaggio meccanico
K2/K3/K5	4.86m ³	STABILE		
K2/K4/K5	3.50m ³	Scivolamento int. su K4 e K5	0.802	Se riscontrato durante le operazioni di lavorazione di fronte con H=9m procedere a disaggio meccanico
K3/K4/K5	3.41m ³	Scivola su K4	0.538	Se riscontrato durante le operazioni di lavorazione di fronte con H=9m procedere a disaggio meccanico

FR6 - Fronti N 80 N-NW, altezza 3 - 9m, Tabella 28

FRONTE	CUNEO/	COMB.	PICCO sisma+H2O		PICCO sisma+H2O		COND. RESIDUE	NOTE
			H=3m		H=9m			
FR4		PIANI	Volume	Rd/Ed	Volume	Rd/Ed	H=3-9m sisma/H2O	
esterno							Rd/Ed	
	2	1/3	6.90	1.20	186.24	1.13	0.82	Verificare se già presenti movimenti (condizione residua) nel caso con fronte da 3m disaggio; con fronte da 9m in caso di fronte in avanzamento bonifica/disaggio con mezzi meccanici suddividendo il volume
	3	1/4	15.50	0.89	418.61	0.84	0.67	Con fronte da 3m disaggio; con fronte da 9m in caso di fronte in avanzamento bonifica/disaggio con mezzi meccanici suddividendo il volume
	8	3/4	8.76	1.66	236.41	1.60	1.32	STABILE
	10	4/5	1.21	0.55	32.65	0.54	0.45	Con fronte da 3m disaggio; con fronte da 9m in caso di fronte in avanzamento bonifica/disaggio con mezzi meccanici se

								fronte residuo n°3 barre tipo dywidagg da 32mm lunghezza da 3m
16	1/3+5	6.64	1.23	178.85	1.16	0.85		Verificare se già presenti movimenti (condizione residua) nel caso con fronte da 3m disgaggio; con fronte da 9m in caso di fronte in avanzamento bonifica/disgaggio con mezzi meccanici suddividendo il volume
19	1/4+5	15.26	0.92	411.30	0.87	0.70		Con fronte da 3m disgaggio; con fronte da 9m in caso di fronte in avanzamento bonifica/disgaggio con mezzi meccanici suddividendo il volume
34	3/4+5	4.80	1.58	124.55	1.52	1.27		STABILE

Prismi di parete ($H_{Fronte} = 9m$), Tabella 29:

Combinazione	V_{blocco}	Cinematismo	Rd/Ed	Note
[FR6 – 350/90]	[m ³]	[-]	($F_s/R2$)	
K1/K2/K3	6.54m ³	Scivolamento int. su K1 e K3	1.062	Stabile
K1/K2/K4	4.29m ³	Scivolamento int. su K1 e K4	0.850	Se riscontrato durante le operazioni di lavorazione di fronte con H=9m procedere a disgaggio meccanico
K1/K2/K5	17.51m ³	STABILE		
K1/K3/K4	555.02m ³	Scivolamento int. su K1 e K3	1.042	Stabile
K1/K3/K5	33.07m ³	Scivolamento int. su K1 e K3	1.049	Stabile
K1/K4/K5	21.32m ³	Scivola su K4	0.547	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 4.56m ³ e Rd/Ed=0.56, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disgaggio
K2/K3/K4	54.26m ³	Scivolamento int. su K3 e K4	1.607	Stabile
K2/K3/K5	30.24m ³	STABILE		
K2/K4/K5	12.14m ³	Scivola su K4	0.549	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 4.39m ³ e Rd/Ed=0.55, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disgaggio
K3/K4/K5	6.85m ³	Scivola su K4	0.547	Introducendo persistenza media dei sistemi coinvolti scende a 0.35m ³ e Rd/Ed=0.56, se riscontrato durante le operazioni di lavorazione procedere ad eventuale disgaggio

➤ **Ribaltamenti:**

L'analisi della potenzialità al ribaltamento dei sistemi di discontinuità con i vari fronti in oggetto è stata condotta per via grafica con il programma MecRocce analizzando fronte per fronte.

L'analisi sfrutta la combinazione geometrica tra immersione-inclinazione del piano di frattura con quella del fronte in oggetto, secondo la teoria di Goodman&Bray (1985).

La condizione geometrica generale non è però sufficiente ad evidenziare e rendere attuabile il fenomeno soprattutto per la geometria dei fronti ed il sempre non perfetto parallelismo tra fronte di scavo e discontinuità che determina un piede resistente crescente all'interno dell'ammasso.

E' stata tentata anche un'analisi numerica utilizzando la teoria di Hoek&Bray con l'uso del programma B-Rock ma non ha dato esito di blocchi ribaltabili nelle condizioni di fronte analizzate (la presenza di un taglio sub verticale corrispondente al fronte di scavo determina una maggiore

propensione allo scivolamento rispetto al ribaltamento sul piano basale necessario al cinematismo).

- Fronte FR1 N 145 NE, figura 6

L'unico sistema che potrebbe portare al verificarsi dei fenomeni di ribaltamento è il K5, ma risulta comunque esterno al range di attivazione di circa 5°;

- Fronte FR2 N 55 NE, figura 7

l'analisi mostra potenziali fenomeni correlabili con il sistema K4;

- Fronte FR3 N 135 SW, figura 8

l'analisi mostra potenziali fenomeni correlabili con il sistema K1;

- Fronte FR4 N 170 W-SW, figura 9

l'analisi non mostra potenziali ribaltamenti correlabili ai sistemi in esame;

- Fronte FR5 N 45 NW, figura 10

l'analisi mostra potenziali fenomeni correlabili con il sistema K2;

- Fronte FR3 N 80 N-NW, figura 11

l'analisi mostra potenziali fenomeni correlabili con il sistema K2;

Al fine di non innescare neppure per via potenziale il fenomeno, si raccomanda comunque nelle situazioni in cui l'immersione della frattura è opposta al fronte di scavo di porre attenzione nell'evitare di "sfilare" il prisma basale, procedendo invece a smontare la bancata dalla parte superiore così da non innescare una situazione di potenziale instabilità "azzoppando" la bancata stessa.

E' stata effettuata anche un'analisi di tipo numerico per valutare l'altezza critica ai fini di potenziali fenomeni di ribaltamento in considerazione dei vari sistemi di frattura rilevati e della loro spaziatura.

Per questa stima è stata utilizzata la formula di Timoshenko&Gere (1961) riportata di seguito:

$$L = 0.868 [(E T^2) / \gamma]^{1/4}$$

dove:

- L = altezza critica della bancata in m per il sistema in analisi e per il valore di spaziatura scelto;
- E = modulo dell'ammasso roccioso stimato nell'analisi strutturale pari a 16.870,24MPa;
- T = spaziatura in m media (funzione del sistema);
- γ = peso di volume del materiale pari a 2.7Tons/mc.

Tabelle stima valori altezza bancata critica per fenomeni di ribaltamento:

FRONTE	SISTEMA	SPAZIATURA MEDIA (m)	E (Ton/m ²)	ALTEZZA BANCATA (m)	
FR1	N145 NE	K5	2.1	1778279	123.8
FR2	N55 SE	K4	4.7	1778279	211.9
FR3	N135 SW	K1	1.9	1778279	115.9
FR5	N45 NW	K2	1.8	1778279	111.7
FR6	N80 N-NW	K2	1.8	1778279	111.7

15.1 – Analisi dei fronti attuali e di progetto del cantiere cava Borelle alla luce delle verifiche e dei sopralluoghi effettuati

Per la redazione di questo paragrafo si vuole ancora richiamare l'importanza della condizione generale del giacimento, comunque caratterizzato da un numero limitato di sistemi di frattura, solitamente molto spaziosi. Questa condizione, unita ad una ragionata orientazione dei fronti di scavo, se possibile in coincidenza con le discontinuità pervasive dei sistemi principali, saranno più volte richiamate nell'analisi seguente in quanto risultano fondamentali per ridurre il numero reale di possibili combinazioni tra le varie famiglie.

Si procederà ad analizzare le problematiche emerse in sede di analisi e di verifica, fronte per fronte:

Fronti FR1 - tipo N145NE (figura 6), Foto 3

Corrispondono al fronte laterale destro all'ingresso in cava, con esposizione verso NE; costituito da due tagli a filo diamantato con altezza massima complessiva di circa 22m. Dall'osservazione in loco non sono emerse strutture di particolare rilievo che interessino il fronte per l'intero suo sviluppo verticale. Alla base di questo fronte, è presente una bancata a q.ta circa 1189.0m s.l.m. che si raccorda al piazzale in detrito di q.ta 1186.0m s.l.m. (principale della cava) con bancate di altezza circa 3m scalettate a forma di dente di sega orientate circa 350/89 e 080/89.

Procedendo con l'analisi delle verifiche effettuate si rileva dai test di Markland per il fronte in esame potenziale scivolamento planare delle discontinuità ascrivibili al sistema K1 (subparallelo al verso di *macchia*); i cinematismi sono attivabili in conseguenza di volumetrie che risultino persistenti da interessare la pedata superiore del fronte e sia "sganciati" lateralmente o per tagli o per altre discontinuità. L'inclinazione media del sistema non prevede il suo impiego come fronte di scavo (circa 48°), risulta quindi fondamentale la sua ricerca sui fronti in oggetto che si evidenzia con una traccia suborizzontale sul fronte stesso in modo da prevenire eventuali cinematismi a seguito della coltivazione che sui fronti in avanzamento dovrà prevedere la rimozione del volume. In caso di fronti residui, se non è possibile il contenimento all'interno della geometria di scavo, nell'eventualità in cui si manifesti la *traccia* senza altre evidenze, si consiglia un consolidamento preventivo con chiodatura in barre di acciaio tipo dywidagg da dimensionare sul caso reale.

Nell'analisi tridimensionale (*cunei e prismi di parete*) si evidenzia come le volumetrie con $Rd/Ed < 1$ come la maggior parte dei cinematismi, coinvolgono le fratture del sistema K1, risultando ancora una volta fondamentale la ricerca e individuazione delle tracce ascrivibili a questo sistema. I fronti a 3m risultano bene gestibili con mezzi meccanici (vedi dimensioni medie dei blocchi); i fronti a 9m indicano volumetrie che dovranno man mano essere riosservate sul caso reale in modo da verificare le volumetrie reali e valutare la necessità di procedere a suddividere i volumi nella fase di rimozione-bonifica. L'analisi sui prismi di parete effettuata con altezza del fronte di 9m e ridimensionamento delle volumetrie con tracce medie delle persistenze, indicano che le volumetrie risultano ridimensionate applicando le persistenze medie dei sistemi di discontinuità con volumetrie finali gestibili con interventi con mezzi meccanici.

L'analisi di potenziali ribaltamenti indica il sistema K5, opposto al K1, nella coltivazione tale sistema si presenta con tracce simili al K1 sui fronti ma con immersione opposta.

L'osservazione del fronte attuale non evidenzia strutture di particolare rilievo che necessitino di studi di maggior dettaglio o analisi deterministiche; si consiglia all'inizio degli interventi la pulizia del ciglio.

Inoltre il presente fronte, seguendo il progetto approvato, sarà man mano asportato ed arretrato in direzione W, con una orientazione prossima al fronte FR6 di successiva analisi.

Complessivamente il progetto prevede un fronte verticale con altezza massima del taglio verticale previsto da queste lavorazioni di circa 30m, compatibile, visto le caratteristiche geomeccaniche dell'area (ascrivibili al Dominio 1), con le valutazioni fatte in precedenza.

Fronti FR2 - tipo N55SE (figura 7), Foto 4

Allo stato attuale corrispondono i fronti che si originano a seguito dello sviluppo del fronte principale, sul lato settentrionale del piazzale di lavoro, in corrispondenza dell'alto morfologico

ubicato a NNE del sito di cava. In corrispondenza dell'ingresso in cava, all'apertura del piazzale principale, è presente un residuo di bancata caratterizzato da fratture dei sistemi K1, K3 e K5 che sarebbe consigliabile abbattere regolarizzando l'attuale fronte di scavo, vista la presenza anche di un taglio nella parte basale dello stesso realizzato da precedenti gestioni; in alternativa è da prevedere la messa in opera di consolidamenti con reti fascianti e funi metalliche per consentire il futuro abbassamento morfologico del piazzale sottostante come previsto dal progetto. Nel limite NE è visibile un residuo di lavorazione rappresentato da una porzione di bancata "sospesa" che si consiglia di eliminare (meglio) o di stabilizzare con massi e detrito con funzione di calzatura.

Procedendo con l'analisi delle verifiche effettuate si rileva dai test di Markland per il fronte in esame potenziale scivolamento planare delle discontinuità ascrivibili al sistema K2; i cinematismi sono attivabili in conseguenza di volumetrie che risultino persistenti da interessare la pedata superiore del fronte e "sganciati" lateralmente o per tagli o per altre discontinuità. L'inclinazione media del sistema non prevede il suo impiego come fronte di scavo (circa 56°), risulta quindi fondamentale la sua ricerca sui fronti in oggetto che si evidenzia con una traccia suborizzontale sul fronte stesso in modo da prevenire eventuali cinematismi a seguito della coltivazione che sui fronti in avanzamento dovrà prevedere la rimozione del volume. In caso di fronti residui, se non è possibile il contenimento all'interno della geometria di scavo, nell'eventualità in cui si manifesti la *traccia* senza altre evidenze, si consiglia un consolidamento preventivo con chiodatura in barre di acciaio tipo dywidagg da dimensionare sul caso reale.

Nell'analisi tridimensionale (*cunei e prismi di parete*) si evidenzia come le volumetrie con $Rd/Ed < 1$ come la maggior parte dei cinematismi, coinvolgono le fratture del sistema K2 e secondariamente K1. Alcuni prismi presentano dimensioni non compatibili con quelle del cantiere in esame nel caso di bancate da 9m, mentre nelle bancate da 3m lo sviluppo di volumetrie è sempre ampiamente gestibile con mezzi meccanici. Come nel caso di cinematismi planari, risulta ancora una volta fondamentale la ricerca e l'individuazione delle tracce ascrivibili al sistema K2 e K1, per questo sistema le tracce sui fronti immergono da NW verso SE. I fronti a 3m risultano bene gestibili con mezzi meccanici (vedi dimensioni medie dei blocchi); i fronti a 9m indicano volumetrie che dovranno man mano essere riosservate sul caso reale in modo da verificare le volumetrie reali e valutare la necessità di procedere a suddividere i volumi nella fase di rimozione-bonifica. L'analisi sui prismi di parete effettuata con altezza del fronte di 9m e ridimensionamento delle volumetrie con tracce medie delle persistenze, indicano che le volumetrie risultano ridimensionate applicando le persistenze medie dei sistemi di discontinuità con volumetrie finali gestibili con interventi di disgiungimento e rimozione con mezzi meccanici (escavatore e/o martellone).

L'analisi di potenziali ribaltamenti indica il sistema K4, opposto al K2, nella coltivazione tale sistema si presenta con tracce simili al K2 sui fronti ma con immersione opposta. L'attivabilità del cinematismo è comunque al momento incompatibile con le altezze dei fronti di scavo.

Seguendo il progetto approvato sul fronte in analisi non sono previste modifiche, se non l'abbandono di una risega di circa 2m che si spingerà fino al fronte della bancata di q.ta 1194.0m s.l.m..

Complessivamente il progetto prevede anche con l'abbassamento del piano principale della cava a 1181.0m s.l.m. dislivelli massimi di circa 20m compatibili con le caratteristiche geomeccaniche dell'area (ascrivibili al Dominio 1), con le valutazioni fatte in precedenza (vedi *Tabella altezze critiche pag. 13*).

Fronti FR 3 - tipo N135SW (figura 8), Foto 5

Allo stato attuale corrisponde al fronte opposto al FR1, localizzato sul lato NE del canale di accesso in cava. Su di esso sono visibili le tracce dei piani del sistema K1 (parallelo al *verso di macchia*) con immersione a NE, la cui interazione con il fronte, in caso di fratture del sistema a più alto angolo di inclinazione e ravvicinate tra loro, determina localmente *sfogliature* che in alcuni casi è necessario rimuovere, in quanto, essendo a basso spessore, potenzialmente potrebbero ribaltare verso il piazzale.

Procedendo con l'analisi delle verifiche effettuate si rileva che dai test di Markland per il fronte in esame potenziale scivolamento planare delle discontinuità ascrivibili al sistema K5; i cinematismi sono attivabili in conseguenza di volumetrie che risultino persistenti da interessare la pedata superiore del fronte e sia "sganciati" lateralmente o per tagli o per altre discontinuità. L'inclinazione

media del sistema di circa 67°, risulta per le fratture più inclinate e persistenti impiegabile come fronte di scavo al fine di evitare i cinematismi che coinvolgono questo sistema.

In caso di fronti residui, se non è possibile il contenimento all'interno della geometria di scavo, nell'eventualità in cui si manifesti la *traccia* senza altre evidenze, si consiglia un consolidamento preventivo con chiodatura in barre di acciaio tipo dywidagg da dimensionare sul caso reale.

Nell'analisi tridimensionale (*cunei e prismi di parete*) si evidenzia come le volumetrie con $Rd/Ed < 1$ come la maggior parte dei cinematismi, coinvolgono le fratture del sistema K2 e K5. Alcuni prismi presentano dimensioni non compatibili con quelle del cantiere in esame nel caso di bancate da 9m, mentre nelle bancate da 3m lo sviluppo di volumetrie è sempre ampiamente gestibile con mezzi meccanici (tutte volumetrie inferiori a 10mc). Come nel caso di cinematismi planari, risulta ancora una volta fondamentale la ricerca e l'individuazione delle tracce ascrivibili al sistema K2 e K5, per questo sistema le tracce sui fronti immergono da NE verso SW. I fronti a 3m risultano bene gestibili con mezzi meccanici (vedi dimensioni medie dei blocchi); i fronti a 9m indicano volumetrie che dovranno man mano essere riosservate sul caso reale in modo da verificare le volumetrie reali e valutare la necessità di procedere a suddividere i volumi nella fase di rimozione-bonifica. L'analisi sui prismi di parete effettuata con altezza del fronte di 9m e ridimensionamento delle volumetrie con tracce medie delle persistenze, indicano che le volumetrie risultano ridimensionate applicando le persistenze medie dei sistemi di discontinuità con volumetrie finali gestibili con interventi di disaggio e rimozione con mezzi meccanici (escavatore e/o martellone). In questo caso la valutazione parte dall'osservazione della presenza del sistema K1, che, come riportato all'inizio della descrizione, può generare condizioni strutturali predisponenti all'insorgere di cinematismi.

L'analisi di potenziali ribaltamenti indica il sistema K1, che come abbiamo già osservato su questo fronte in caso di fratture ravvicinate e inclinazione delle stesse oltre il valore medio, può generare limitati volumi che "sfogliano" e che si ritiene opportuno quando presenti rimuovere con uso di martellone demolitore in modo da ripulire la sottostante frattura.

Seguendo il progetto approvato, si osserva un prolungamento verso N del fronte in analisi con altezze comunque inferiori rispetto alle attuali, che si mantengono su valori di circa 6m e che nella fase progettuale raggiungeranno un massimo di 10-11m.

Come interventi su questo fronte si consiglia di eliminare le volumetrie derivanti dalla combinazione K1-fronte di scavo rappresentate da "toppe" e "sfoglie" sul fronte stesso. Tale intervento potrà essere condotto con mezzi meccanici (escavatore e/o martellone demolitore).

Fronti FR4 - tipo N170W-SW (figura 9), Foto 6

È uno dei fronti attuali principali della cava, localizzato nell'area E, in corrispondenza del piazzale di q.ta 1193.72m s.l.m.. Attualmente il fronte appare stabile con una altezza di circa 6m, mentre questa sale fino a circa 30m in direzione meridionale dove il fronte FR4 si collega al fronte FR6 e senza evidenze di volumetrie potenzialmente instabili. Su questo fronte sono ben evidenti le fratture del sistema ascrivibile al "contro" (in riferimento al verso di *macchia*).

Procedendo con l'analisi delle verifiche effettuate si rileva dai test di Markland per il fronte in esame potenziale scivolamento planare delle discontinuità ascrivibili al sistema K3, che a favore di sicurezza non ha fratture di tipo persistente (limitata lunghezza – max 3m), pertanto i cinematismi a livello di bancata da 3-9m risultano ampiamente ridimensionati. Inoltre, la inclinazione media del sistema è di circa 82°, così che lo stesso possa essere impiegato come fronte di scavo nel caso di fratture particolarmente persistenti, escludendo in tal modo il verificarsi di qualsiasi cinematismo che interessi tale sistema.

Nell'analisi tridimensionale (*cunei e prismi di parete*) si evidenzia come le volumetrie con $Rd/Ed < 1$ come la maggior parte dei cinematismi, coinvolgono le fratture del sistema K4, e secondariamente K3 e K5. Alcuni prismi presentano dimensioni non compatibili con quelle del cantiere in esame nel caso di bancate da 9m, mentre nelle bancate da 3m lo sviluppo di volumetrie è sempre ampiamente gestibile con mezzi meccanici. Come nel caso di cinematismi planari, risulta ancora una volta fondamentale la ricerca e l'individuazione delle tracce ascrivibili al sistema K4, K3 e K5 che si possono riconoscere sul fronte in esame: il primo con tracce inclinate da S verso N; il secondo con tracce suborizzontali con debole inclinazione S-N; il terzo con tracce inclinate di circa 60° da N verso S (*contro*).. I fronti a 3m risultano bene gestibili con mezzi meccanici (vedi dimensioni medie dei blocchi); i fronti a 9m indicano volumetrie che dovranno man mano essere

riosservate sul caso reale in modo da verificare le volumetrie reali e valutare la necessità di procedere a suddividere i volumi nella fase di rimozione-bonifica.

L'analisi sui prismi di parete effettuata con altezza del fronte di 9m e ridimensionamento delle volumetrie con tracce medie delle persistenze, indicano che le volumetrie risultano, anche senza ridimensionamento, con valori mai superiori a 10mc e quindi gestibili con interventi di disgaggio e rimozione con mezzi meccanici (escavatore e/o martellone), o di consolidamento in caso di fronte residuo finale con barre tipo dywitt.

L'analisi di potenziali ribaltamenti non individua sistemi potenzialmente attivabili.

Seguendo il progetto approvato sul fronte in analisi non sono previste modifiche, se non l'abbandono di una risega di circa 2m al di sotto della bancata di q.ta 1194.0m s.l.m..

Complessivamente il progetto prevede anche con l'abbassamento del piano principale della cava a 1181.0m s.l.m. dislivelli massimi per questo fronte di circa 10m ampiamente compatibili con le caratteristiche geomeccaniche dell'area (ascrivibili al Dominio 1), con le valutazioni fatte in precedenza (vedi *Tabella altezze critiche pag. 13*).

Fronti FR5 - tipo N45NW (figura 10), Foto 5

Nella condizione attuale sono fronti residui di modesta importanza localizzati nell'area occidentale e settentrionale del cantiere, come visibile nella figura di riferimento allegata.

Procedendo con l'analisi delle verifiche effettuate si rileva dai test di Markland per il fronte in esame potenziale scivolamento planare delle discontinuità ascrivibili al sistema K4. Tali fratture possono essere individuate sul fronte in esame come delle tracce subparallele con debole inclinazione NE-SW.

Nell'analisi tridimensionale (*cunei e prismi di parete*) si evidenzia che le volumetrie con $Rd/Ed < 1$ come la maggior parte dei cinematismi, coinvolgono le fratture del sistema K4, e secondariamente K1. Alcuni prismi presentano dimensioni non compatibili con quelle dei fronti del cantiere in esame, sia nel caso di fronti da 3m che da 9m, si rimanda quindi ad una analisi deterministica dalla quale, al momento, non sono emerse configurazioni da verificare.

L'analisi sui prismi di parete effettuata con altezza del fronte di 9m e ridimensionamento delle volumetrie con tracce medie delle persistenze, indicano che le volumetrie risultano, dopo ridimensionamento delle tracce medie delle fratture, con valori gestibili con interventi di disgaggio e rimozione con mezzi meccanici (escavatore e/o martellone), o di consolidamento in caso di fronte residuo finale con barre tipo dywitt.

L'analisi di potenziali ribaltamenti indica il sistema K2, opposto al K4, nella coltivazione tale sistema si presenta con tracce simili al K2 sui fronti ma con immersione opposta. L'attivabilità del cinematismo è comunque al momento incompatibile con le altezze dei fronti di scavo (vedi verifica numerica).

Seguendo il progetto approvato, questa geometria di fronte (FR5) è rappresentata dal collegamento tra i piazzali di q.ta 1169m - 1175m - 1181m s.l.m. con altezza di 9m, ampiamente compatibile con le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso indagato. L'ampliamento dei fronti in esame potrà comportare il configurarsi di potenziali cinematismi che al momento sono esclusi viste le dimensioni attuali dei fronti con questa orientazione.

Fronti FR6 - tipo N80N-NW (figura 11), Foto 7

Rappresenta il fronte meridionale della cava dove sono ben visibili le tracce delle fratture ascrivibili al sistema del K1 "verso di macchia", con in particolare la discontinuità indicata come J1 con orientazione 065/40 che attraversa l'intera cava. Al momento attuale si evidenziano delle strutture presenti nella porzione di congiunzione tra il fronte FR6 ed il fronte FR1. Queste presentano immersione come le fratture del K1 e l'azione dell'acqua ha man evidenziato i limiti di queste che al momento non danno indicazione di potenziali cinematismi ma che si consiglia alla ripresa dei lavori di coltivazione di sottoporre a disgaggio e controllo puntuale, così da evidenziare la presenza di strutture da analizzare deterministicamente e se necessario intervenire con consolidamenti puntuali o generali; tale verifica potrà essere realizzata anche impiegando personale specializzato (*tecchiaioli*).

Procedendo con l'analisi delle verifiche effettuate si rileva dai test di Markland per il fronte in esame potenziale scivolamento planare delle discontinuità ascrivibili al sistema K2; i cinematismi

sono attivabili in conseguenza di volumetrie che risultino persistenti sia da interessare la pedata superiore del fronte e sia “sganciati” lateralmente o per tagli o per altre discontinuità. L’inclinazione media del sistema non prevede il suo impiego come fronte di scavo (circa 56°), se non per particolari fratture ad alto angolo di inclinazione e di particolare persistenza, risulta quindi fondamentale la sua ricerca sui fronti in oggetto che si evidenzia con una traccia suborizzontale sul fronte stesso in modo da prevenire eventuali cinematismi a seguito della coltivazione che sui fronti in avanzamento dovrà prevedere la rimozione del volume. In caso di fronti residui, se non è possibile il contenimento all’interno della geometria di scavo dello sviluppo della frattura (piede), nell’eventualità in cui si manifesti la *traccia* senza altre evidenze, si consiglia un consolidamento preventivo con chiodatura in barre di acciaio tipo dywidagg da dimensionare sul caso reale. A favore di sicurezza, per i cinematismi planari, si evidenzia comunque che l’angolo tra immersione del piano di frattura e fronte formano un angolo di circa 20° al limite dell’attivabilità del cinematismo.

Nell’analisi tridimensionale (*cunei e prismi di parete*) si evidenzia che le volumetrie con $Rd/Ed < 1$ come la maggior parte dei cinematismi, coinvolgono le fratture del sistema K4, e secondariamente K5, K1 e K3. I cunei rocciosi evidenziati per le bancate da 3m risultano gestibili con i normali mezzi meccanici di cava; nel caso di prismi relativi alle bancate da 9m questi, in caso di avanzamento del fronte in coltivazione, dovranno essere man mano rimossi suddividendone il volume in più parti. Anche in caso di fronte residuo si consiglia comunque di rimuovere le volumetrie derivanti da combinazione tra i vari sistemi di frattura.

I prismi di parete evidenziano tutti volumetrie che possono essere gestite con i mezzi meccanici di cava (escavatore e martellone).

Sono evidenti sul fronte le tracce del sistema K1 che attraversano lo specchio del fronte immergendo da SW verso NE. L’ispezione di dettaglio alla ripresa dovrà essere condotta lungo queste direttrici che risultano carsificate e potenzialmente possono essere associate aree di locale fratturazione da bonificare o consolidare ad esempio con reti sul versante. Di queste in particolare ricordiamo la J1 già citata che è appunto caratterizzata da una evidente carsificazione e presenza di elementi litoidi. Associata a questa frattura è presente una struttura sulla parte orientale del fronte (Foto 7) definita dalla stessa discontinuità (che scende a zero verso il piano di cava) e dai limiti del fronte attuale. La stessa, sebbene non evidenzia potenziali cinematismi in quanto in continuità con l’ammasso roccioso sul lato meridionale e con parziale immersione della J1 che la delimita verso l’interno dell’ammasso, si consiglia venga tenuta sotto osservazione al fine di evidenziare eventuali fratture secondarie che delimitino volumi associati alla stessa e di rimuoverla per regolarizzare l’andamento del fronte così come mostrato nelle tavole di progetto. In questo caso dovranno essere predisposti ordini di servizio in quanto l’intervento come progettato non prevede un attacco progressivo dall’alto ma l’abbattimento del volume nel suo complesso.

Il progetto prevede la realizzazione di un fronte verticale di altezza massima di circa 30-32m che in considerazione della buona qualità dell’intero ammasso (Dominio 1) risulta compatibile con i risultati delle verifiche fatte (pag. 13, Analisi delle altezze critiche).

16.0 – CONCLUSIONI

Sulla base delle osservazioni del rilievo di campagna e delle successive elaborazioni, si ritiene che lo sviluppo del progetto (relativamente alla sola fase analizzata dei cantieri a cielo aperto) sia fattibile, tenendo presenti le indicazioni riportate ai paragrafi che precedono e che si riportano in forma sintetica di seguito fronte per fronte:

- per il fronte FR1 (Foto 3) attuale e di progetto verificare man mano che si procederà alla sua rimozione la presenza di fratture del K1 che rispetto allo stesso sono disposte a franapoggio, provvedendo in caso di discontinuità pervasive ad adottare gli accorgimenti necessari per evitare scivolamenti incontrollati;
- per il fronte FR2 (Foto 4) attuale e di progetto al fine di garantire il futuro abbassamento in completa sicurezza per le maestranze dell’attuale piano di cava fino alla q.ta prevista di 1181.0m s.l.m., sarebbe preferibile intervenire per eliminare i residui di bancata presenti (di cui una parte già interessata da un taglio basale eseguito da precedenti gestioni) o in

seconda ipotesi prevedere un consolidamento corticale con reti fascianti e cavi in acciaio, che si ritiene comunque di minore efficacia. Nella parte SE in corrispondenza del tratto di bancata "sospesa" ai fini della sicurezza si consiglia di provvedere al suo abbattimento od in seconda ipotesi alla "calzatura" della stessa con blocchi e materiale detritico;

- per il fronte FR3 (Foto 5) attuale e di progetto come interventi su questo fronte si consiglia di eliminare le volumetrie derivanti dalla combinazione *K1-fronte di scavo* rappresentate da "toppe" e "sfoglie" sul fronte stesso. Tale intervento potrà essere condotto con mezzi meccanici (escavatore e/o martellone demolitore);
- per il fronte FR4 (Foto 6) attuale e di progetto verifica e disaggio annuale da parte di personale specializzato;
- per i fronte FR5 (Foto 5) attuale e di progetto verifica e disaggio annuale da parte di personale specializzato;
- per i fronte FR6 (Foto 7) attuale e di progetto si consiglia il disaggio, la verifica e la definizione a seguito di questi degli interventi di consolidamento o disaggio di dettaglio ritenuti necessari estendendo l'analisi e la verifica anche all'area di collegamento tra FR6 ed FR1. La struttura posta nella porzione orientale di questo fronte (collegata alla J1) dovrà essere anch'essa oggetto di verifica con definizione di eventuali interventi di consolidamento o monitoraggio della stessa.

Al termine degli interventi di verifica, disaggio e consolidamento sopra indicati sarà cura della Società presentare una relazione illustrativa di quanto effettuato e dei risultati ottenuti.

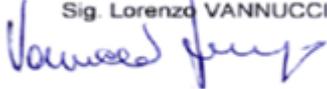
Il presente documento dovrà essere illustrato a tutto il personale operante che dovrà prontamente segnalare alla D.L. o ai tecnici eventuali problematiche emerse sui fronti o sulle tecchie oggetto di studio.

Si rimane a completa disposizione per chiarimenti e/o integrazioni alla presente relazione.

Carrara, 21.06.2016

Il Legale Rappresentante

Sig. Lorenzo VANNUCCI

Sig. Lorenzo VANNUCCI


Sig. Giorgio TURBA

Il Geologo

Dott. Brunello FORFORI




SISTEMA		K1	K2	K3	K4	K5
PERSISTENZA	non pers	5%	6.5%	12.5%	33.3%	14.3%
	subpers.	0%	19.6%	87.5%	6.7%	28.6%
	pers.	95%	73.9%	0%	60%	57.1%
PERSISTENZA (m)	min.	3	0.9	1.1	1.4	1.1
	max.	20	20	3	10	20
	med..	9.8	7.9	2.1	7.7	7.4
CLASSI DI PERSISTENZA (m)	0-1	0%	0%	0%	0%	0%
	1-3	0%	23.9%	75%	13.3%	42.9%
	3-10	10%	8.7%	25%	20%	7.1%
	10-20	85%	65.2%	0%	66.7%	35.7%
	20-50	5%	2.2%	0%	0%	14.3%
>50	0%	0%	0%	0%	0%	
SPAZIATURA (cm)	min.	36	0	81.6	53.9	39.1
	max.	505.1	1030.9	436.6	895.7	401.2
	med.	194.8	181.9	259.1	468.2	207.3
CLASSI DI SPAZIATURA (cm)	0-2	0%	4.8%	0%	0%	0%
	2-6	0%	0%	0%	0%	0%
	6-20	0%	4.8%	0%	0%	0%
	20-60	16.7%	14.3%	0%	14.3%	16.7%
	60-200	50%	47.5%	50%	14.3%	50%
	200-600	33.3%	23.8%	50%	42.8%	33%
	>600	0%	4.8%	0%	28.6%	0%
FORMA (scabrezza a g.s.)	II	35%	73.9%	75%	93.3%	35.7%
	V	65%	2.2%	25%	6.7%	14.3%
	VIII	0%	23.9%	0%	0%	50%
ALTERAZIONE	Assente	60%	89.1%	87.5%	86.7%	57.2%
	Ox.	5%	10.9%	0%	0%	7.1%
	Carsif.	15%	0%	12.5%	13.3%	21.4%
	Ox./Carsif.	20%	0%	0%	0%	14.3%
APERTURA (mm)	min.	0	0	0	0	0
	max.	50	2	0	50	40
	med.	3.91	0.08	0.00	5.67	4.67
CLASSI DI APERTURA (mm)	0-0.5	55%	93.5%	75%	60%	50%
	0.5-2.5	15%	4.3%	0%	0%	7.1%
	2.5-10	0%	0%	0%	20%	0%
	10-100	10%	0%	0%	20%	7.2%
	>100	0%	0%	0%	0%	0%
ESP.	20%	2.2%	25%	0%	35.7%	
RIEMPIMENTO	Assente	80%	100%	100%	60%	85.7%
	Terra	0%	0%	0%	0%	0%
	Sassi	0%	0%	0%	26.7%	0%
	Concrezioni	0%	0%	0%	0%	0%
	Sassi/Terra	20%	0%	0%	13.3%	14.3%
Sas./Ter./Con.	0%	0%	0%	0%	0%	
ACQUA	Assente	90%	100%	100%	93.3%	85.7%
	Umidità	0%	0%	0%	0%	0%
	Venute	10%	0%	0%	6.7%	14.3%
JCS (MPa)	Min.	---	---	---	---	---
	Max.	---	---	---	---	---
	Media	50	50	50	50	50
JRC (Joint Roughness Coefficient)	0 - 2	0%	0%	0%	0%	0%
	2 - 4	45%	95.6%	75%	66.6%	64.3%
	4 - 6	10%	4.4%	12.5%	6.7%	21.4%
	6 - 8	30%	0%	12.5%	20%	0%
	8 - 10	0%	0%	0%	0%	0%
	10 - 12	15%	0%	0%	6.7%	14.3%
	12 - 14	0%	0%	0%	0%	0%
14 - 16	0%	0%	0%	0%	0%	

Tabella 2: Parametri fisico-meccanici dei sistemi di discontinuità rilevati per l'ammasso – area produttiva Dominio strutturale 1.-

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS									
Parameter		Range of values							
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range - uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial comp. strength	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
	Rating	15	12	7	4	2	1	0	
2	Drill core Quality <i>RQD</i>		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		> 2 m	0.6 - 2 . m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities (See E)		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge >5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous		
	Rating		30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (l/m)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		(Joint water press./ (Major principal σ))	0	< 0.1	0.1, - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
	General conditions		Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)									
Strike and dip orientations		Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable			
Ratings	Tunnels & mines	0	-2	-5	-10	-12			
	Foundations	0	-2	-7	-15	-25			
	Slopes	0	-5	-25	-50				
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS									
Rating	100 ← 81		80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21			
Class number	I		II	III	IV	V			
Description	Very good rock		Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock			
D. MEANING OF ROCK CLASSES									
Class number	I		II	III	IV	V			
Average stand-up time	20 yrs for 15 m span		1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span			
Cohesion of rock mass (kPa)	> 400		300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100			
Friction angle of rock mass (deg)	> 45		35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15			
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions									
Discontinuity length (persistence)	< 1 m		1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m			
Rating	6		4	2	1	0			
Separation (aperture)	None		< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm			
Rating	6		5	4	1	0			
Roughness	Very rough		Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided			
Rating	6		5	3	1	0			
Infilling (gouge)	None		Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft filling < 5 mm	Soft filling > 5 mm			
Rating	6		4	2	2	0			
Weathering	Unweathered		Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed			
Rating	6		5	3	1	0			
F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING**									
Strike perpendicular to tunnel axis					Strike parallel to tunnel axis				
Drive with dip - Dip 45 - 90°		Drive with dip - Dip 20 - 45°			Dip 45 - 90°		Dip 20 - 45°		
Very favourable		Favourable			Very unfavourable		Fair		
Drive against dip - Dip 45-90°		Drive against dip - Dip 20-45°			Dip 0-20 - Irrespective of strike°				
Fair		Unfavourable			Fair				

* Some conditions are mutually exclusive . For example, if infilling is present, the roughness of the surface will be overshadowed by the influence of the gouge. In such cases use A.4 directly.

** Modified after Wickham et al (1972).

Tabella 3: Parametri generali di riferimento classificazione di Bieniawski. -

**Tab. 5 - VALUTAZIONE PARAMETRI DI BENIAWSKI PESATI
CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'**

CAVA BORELLE - DOMINIO 1					
FAMIGLIA	PARAMETRI	DESCRIZIONE	VALORE	PESO SISTEMA	VALORE
K1	Persistenza	3-10m	2	0.194	0.39
	Apertura	1-5mm	1	0.194	0.19
	JRC	vedi Tab.	5	0.194	0.97
	Riempimento	vedi Tab.	5	0.194	0.97
	Alterazione	vedi Tab.	4	0.194	0.78
	H2O	vedi Tab.	11	0.194	2.13
	Spaziatura	1.9m	18	0.194	3.49
				Totale Pesato	8.9
K2	Persistenza	3-10m	2	0.447	0.89
	Apertura	<0.1mm	5	0.447	2.24
	JRC	vedi Tab.	1	0.447	0.45
	Riempimento	vedi Tab.	6	0.447	2.68
	Alterazione	vedi Tab.	5	0.447	2.24
	H2O	vedi Tab.	13	0.447	5.81
	Spaziatura	1.8m	17	0.447	7.60
				Totale Pesato	21.9
K3	Persistenza	1-3m	4	0.078	0.31
	Apertura	0mm	6	0.078	0.47
	JRC	vedi Tab.	2	0.078	0.16
	Riempimento	vedi Tab.	6	0.078	0.47
	Alterazione	vedi Tab.	5	0.078	0.39
	H2O	vedi Tab.	14	0.078	1.09
	Spaziatura	2.6m	20	0.078	1.56
				Totale Pesato	4.4
K4	Persistenza	3-10m	2	0.145	0.29
	Apertura	>5mm	0	0.145	0.00
	JRC	vedi Tab.	3	0.145	0.44
	Riempimento	vedi Tab.	4	0.145	0.58
	Alterazione	vedi Tab.	5	0.145	0.73
	H2O	vedi Tab.	13	0.145	1.89
	Spaziatura	4.7m	20	0.145	2.90
				Totale Pesato	6.8
K5	Persistenza	3-10m	2	0.136	0.27
	Apertura	1-5mm	1	0.136	0.14
	JRC	vedi Tab.	4	0.136	0.54
	Riempimento	vedi Tab.	5	0.136	0.68
	Alterazione	vedi Tab.	4	0.136	0.54
	H2O	vedi Tab.	12	0.136	1.63
	Spaziatura	2.1m	20	0.136	2.72
				Totale Pesato	6.5
Rating Totale Pesato		48.6			

**Tab. 7 - VALUTAZIONE PARAMETRI DI BENIAWSKI PESATI
CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'**

CAVA BORELLE - DOMINIO 2					
FAMIGLIA	PARAMETRI	DESCRIZIONE	VALORE	PESO SISTEMA	VALORE
	Persistenza	10-20m	1	0.194	0.19
	Apertura	1-5mm	1	0.194	0.19
K1	JRC	vedi Tab.	4	0.194	0.78
	Riempimento	vedi Tab.	4	0.194	0.78
	Alterazione	vedi Tab.	4	0.194	0.78
	H2O	vedi Tab.	9	0.194	1.75
	Spaziatura	1.9m	18	0.194	3.49
				Totale Pesato	8.0
	Persistenza	10-20m	1	0.447	0.45
	Apertura	1-5mm	1	0.447	0.45
K2	JRC	vedi Tab.	1	0.447	0.45
	Riempimento	vedi Tab.	4	0.447	1.79
	Alterazione	vedi Tab.	4	0.447	1.79
	H2O	vedi Tab.	10	0.447	4.47
	Spaziatura	1.4m	13	0.447	5.81
				Totale Pesato	15.2
	Persistenza	3-10m	2	0.078	0.16
	Apertura	0mm	6	0.078	0.47
K3	JRC	vedi Tab.	2	0.078	0.16
	Riempimento	vedi Tab.	4	0.078	0.31
	Alterazione	vedi Tab.	5	0.078	0.39
	H2O	vedi Tab.	11	0.078	0.86
	Spaziatura	2.6m	20	0.078	1.56
				Totale Pesato	3.9
	Persistenza	10-20m	1	0.145	0.15
	Apertura	>5mm	0	0.145	0.00
K4	JRC	vedi Tab.	2	0.145	0.29
	Riempimento	vedi Tab.	4	0.145	0.58
	Alterazione	vedi Tab.	3	0.145	0.44
	H2O	vedi Tab.	9	0.145	1.31
	Spaziatura	2.6m	20	0.145	2.90
				Totale Pesato	5.7
	Persistenza	3-10m	2	0.136	0.27
	Apertura	1-5mm	1	0.136	0.14
K5	JRC	vedi Tab.	3	0.136	0.41
	Riempimento	vedi Tab.	4	0.136	0.54
	Alterazione	vedi Tab.	4	0.136	0.54
	H2O	vedi Tab.	8	0.136	1.09
	Spaziatura	1.9m	18	0.136	2.45
				Totale Pesato	5.4
Rating Totale Pesato		38.1			

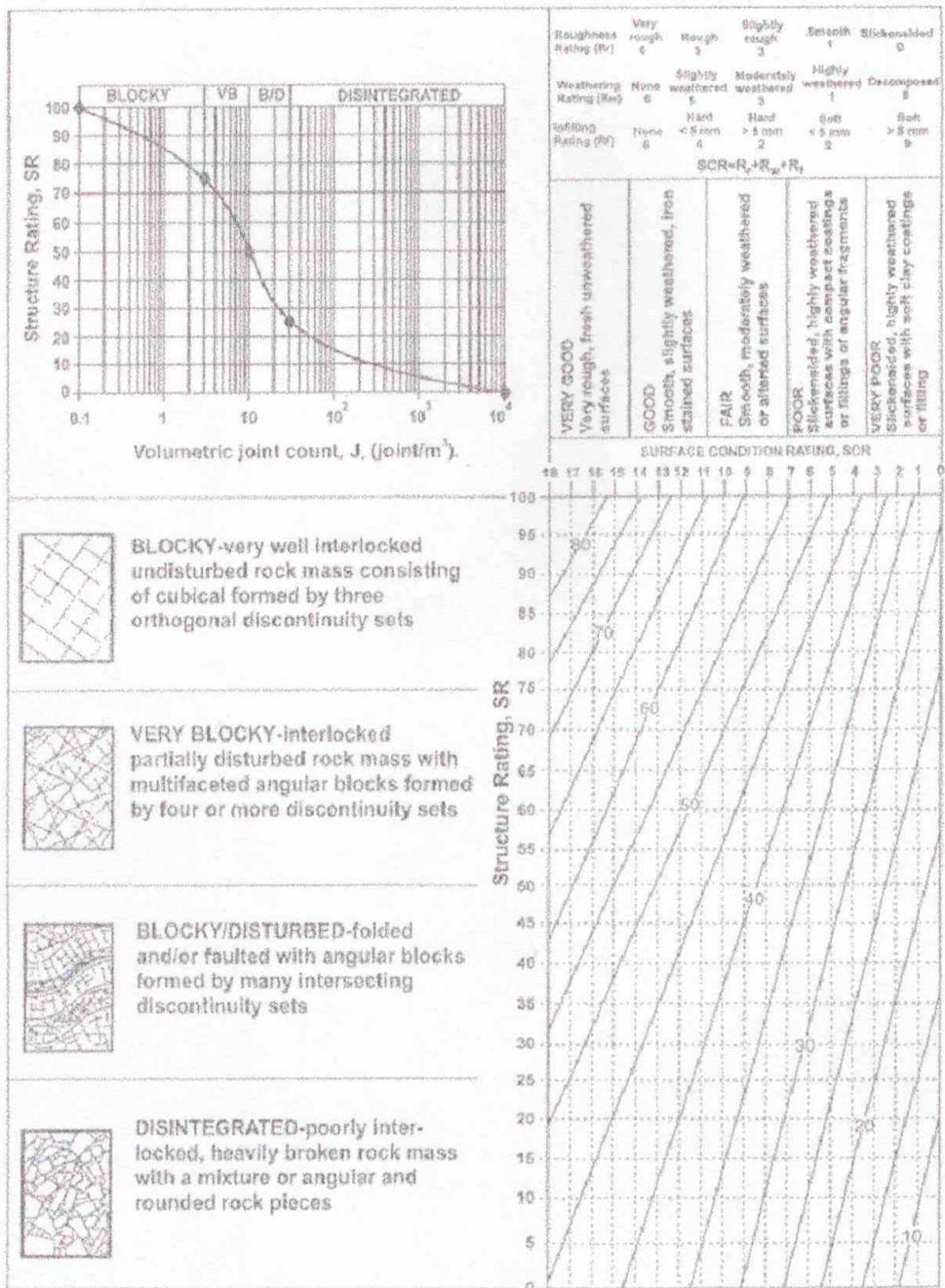


Tabella 8: Schema per la determinazione del GSI.-

Tab. 9 - CORREZIONE ORIENTAZIONE FRONTI

CAVA BORELLE

FAMIGLIA	PESO SIST.	FR1 N135SW	FR2 N40NW	FR3 N140NE	FR4 N85N	FR5 N170SW	Fattore di Correzione
K1	0.194	0	0	-50	0	0	-9.70
K2	0.447	0	0	0	0	0	0.00
K3	0.078	-5	-10	0	0	-50	-5.07
K4	0.145	0	-60	0	-5	-5	-9.43
K5	0.136	-60	0	0	0	-5	-8.84

Totale Mediato	-6.61
---------------------------	--------------

Tab. 10 - PARAMETRO SCR - Surface Condition Rating**CAVA BORELLE - DOMINIO 1**

FAMIGLIA	PESO SIST.	Rr	Rw	Rf	Valore pesato
K1	0.194	5	4	5	2.7
K2	0.447	1	5	6	5.4
K3	0.078	2	5	6	1.0
K4	0.145	3	5	4	1.7
K5	0.136	4	4	5	1.8
TOTALE					12.6

Tab. 11 - PARAMETRO SCR - Surface Condition Rating**CAVA BORELLE - DOMINIO 2**

FAMIGLIA	PESO SIST.	Rr	Rw	Rf	Valore pesato
K1	0.194	4	4	4	2.3
K2	0.447	1	4	4	4.0
K3	0.078	2	5	4	0.9
K4	0.145	2	3	4	1.3
K5	0.136	3	4	4	1.5
TOTALE					10.0

<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>							
		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	
STRUTTURA		CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'					
	INTATTA o MASSIVA - roccia sana con poche discontinuità ad ampia spaziatura	GRADO di INTERCONNESSIONE FRA I FRAMMENTI DI ROCCIA ↓	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

Figura 7.6. Determinazione del GSI

Tabella 12: stima visiva del GSI.-

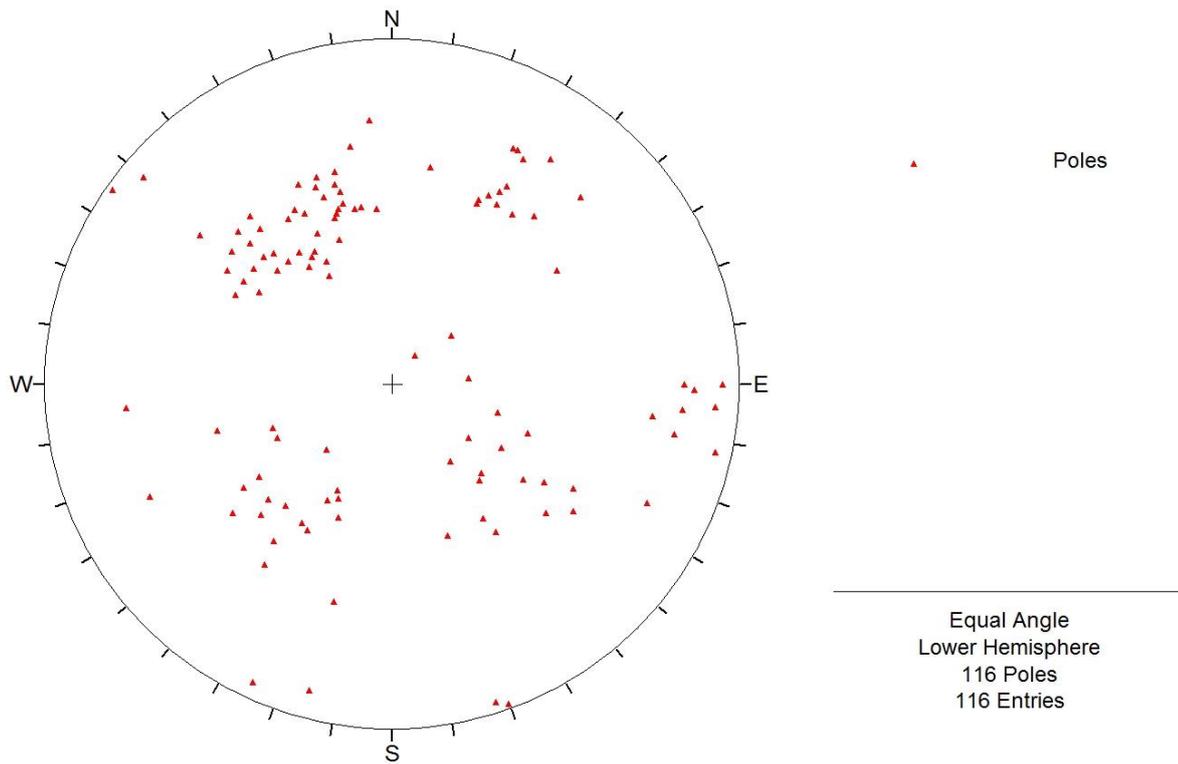


Figura 1: proiezione polare dei poli rilevati.-

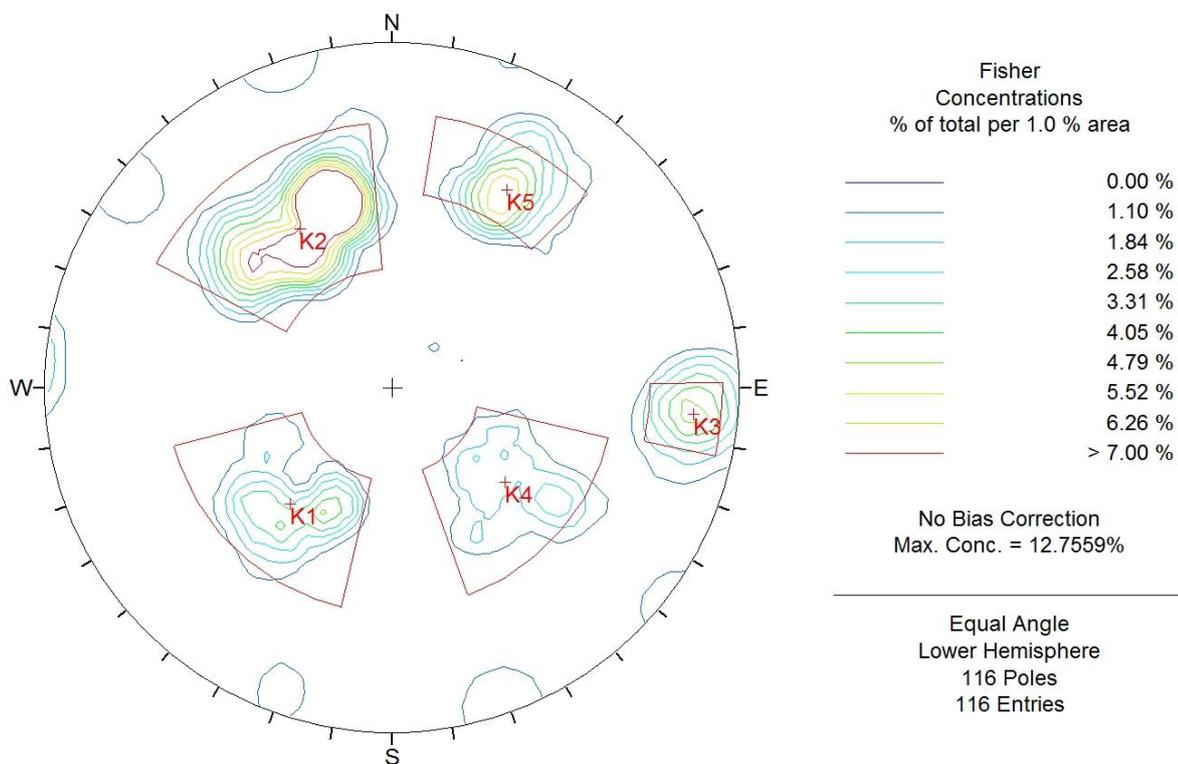
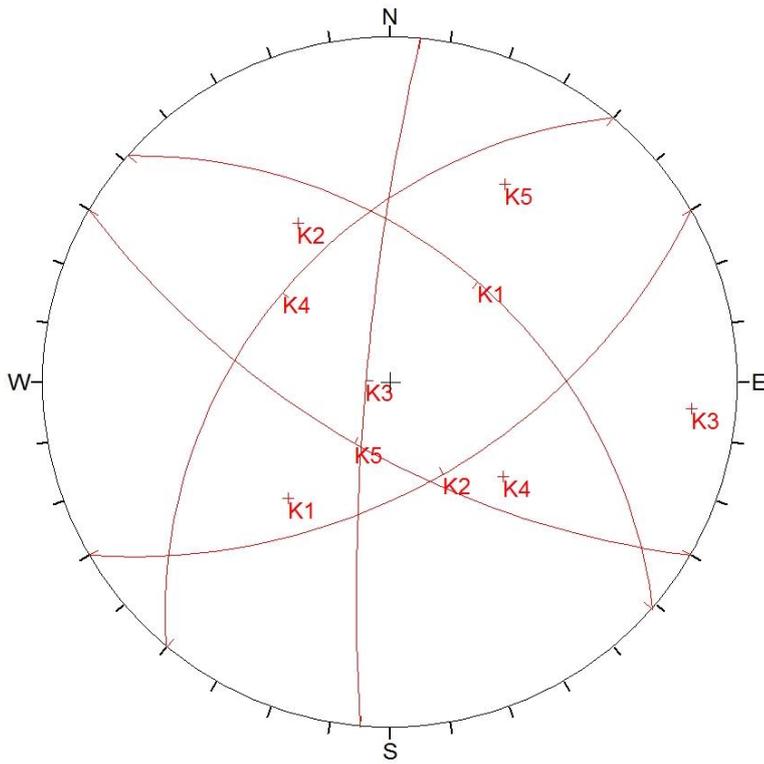


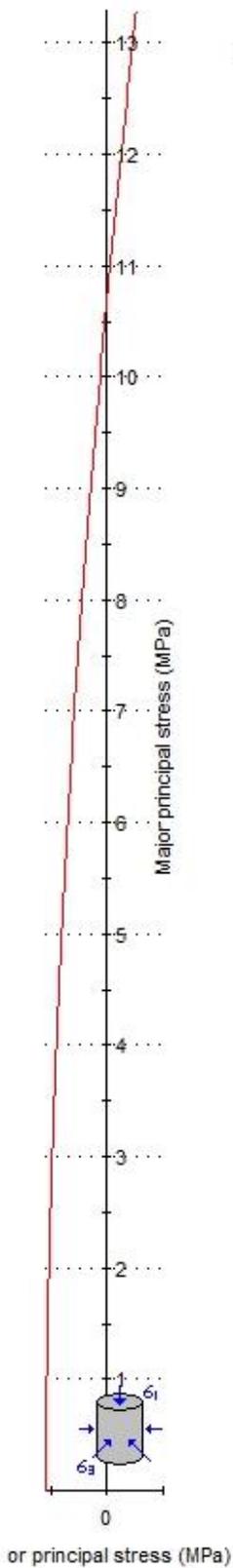
Figura 2: massimi di frequenza e principali sistemi rilevati.-



Orientations		
ID		Dip / Direction
1	m	48 / 041
2	m	56 / 150
3	m	82 / 275
4	m	46 / 310
5	m	67 / 210

Equal Angle
Lower Hemisphere
116 Poles
116 Entries

Figura 3: piani rappresentativi dei sistemi.-



Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification

intact uniaxial compressive strength = 100 MPa
 GSI = 60 $m_i = 9$ Disturbance factor = 0

Hoek-Brown Criterion

$m_b = 2.157$ $s = 0.0117$ $a = 0.503$

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 1.406 MPa friction angle = 60.05 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.544 MPa
 uniaxial compressive strength = 10.701 MPa
 global strength = 20.856 MPa
 modulus of deformation = 17782.79 MPa

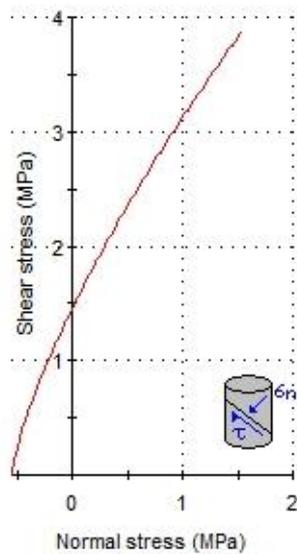


Figura 4: Dominio Strutturale 1 - elaborazione Roclab - GSI 60.-

Analysis of Rock Strength using RocLab

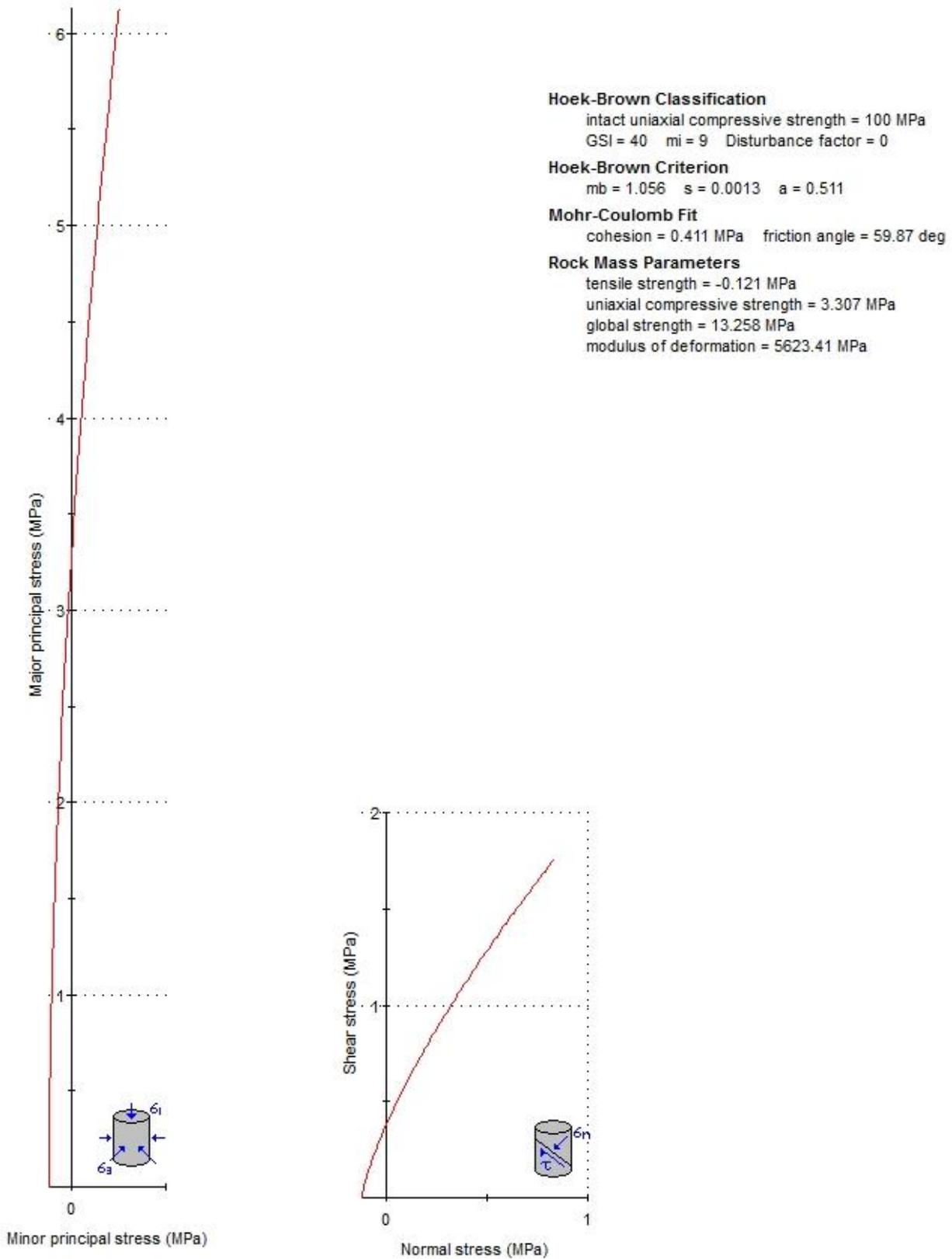


Figura 5: Dominio Strutturale 2 - elaborazione Roclab - GSI 40.-

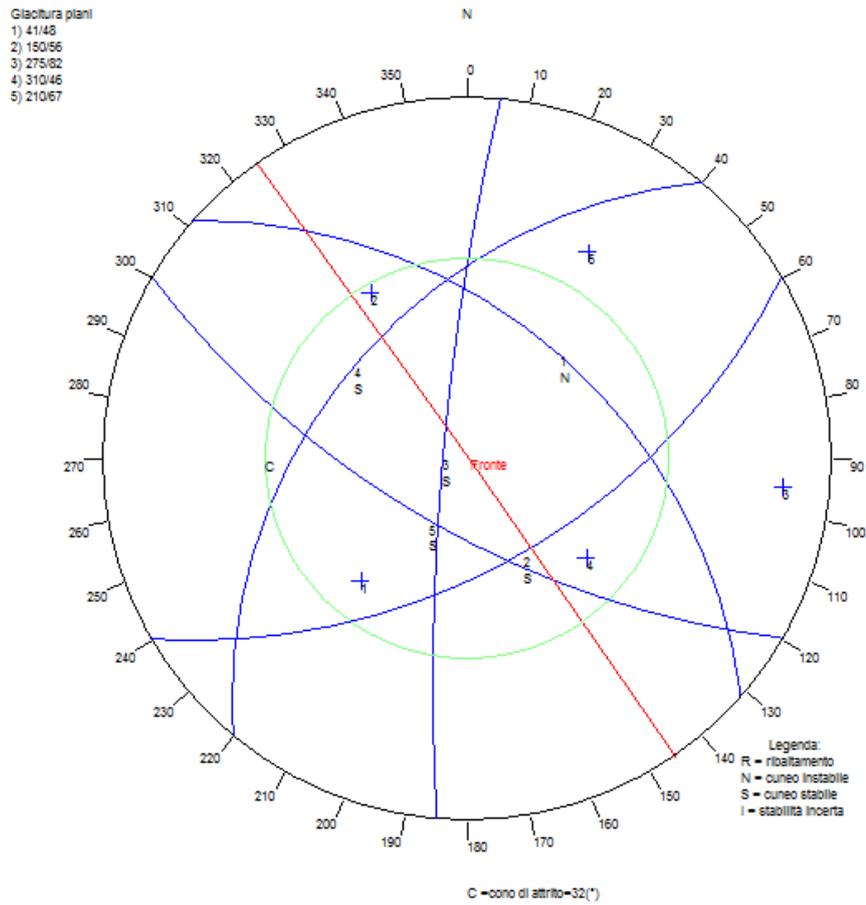


Figura 6: Diagramma di Markland –Fronti FR1 tipo N145NE verticali.-

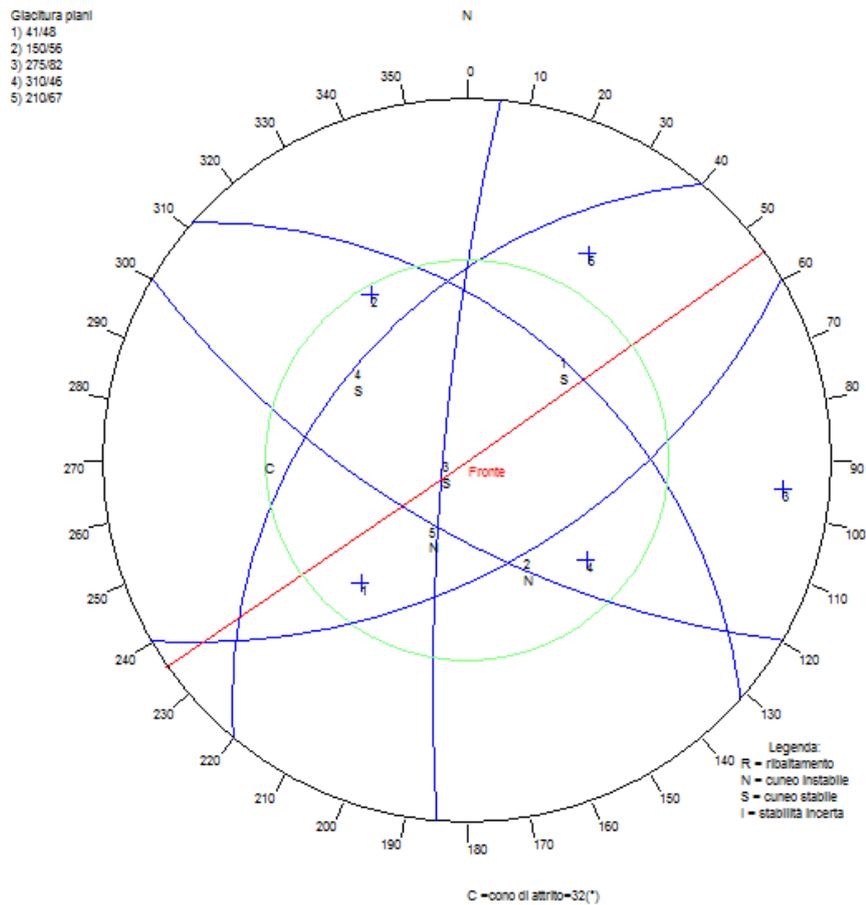


Figura 7: Diagramma di Markland –Fronti FR2 tipo N55SE verticali.-

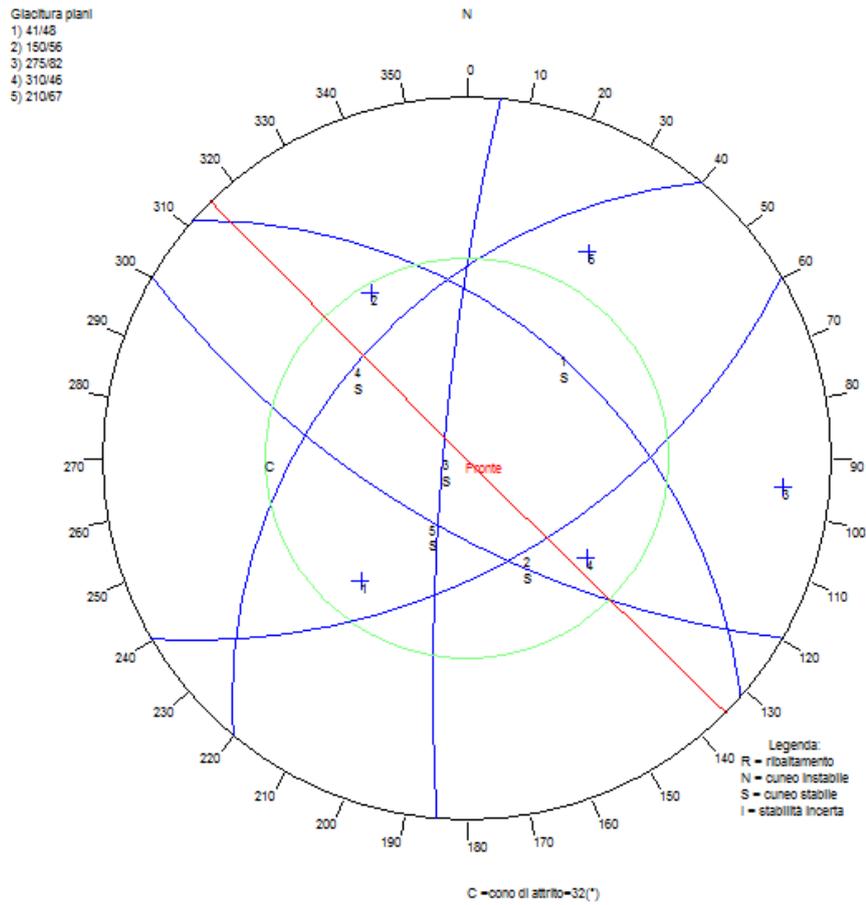


Figura 8: Diagramma di Markland –Fronti FR3 tipo N135SW verticali.-

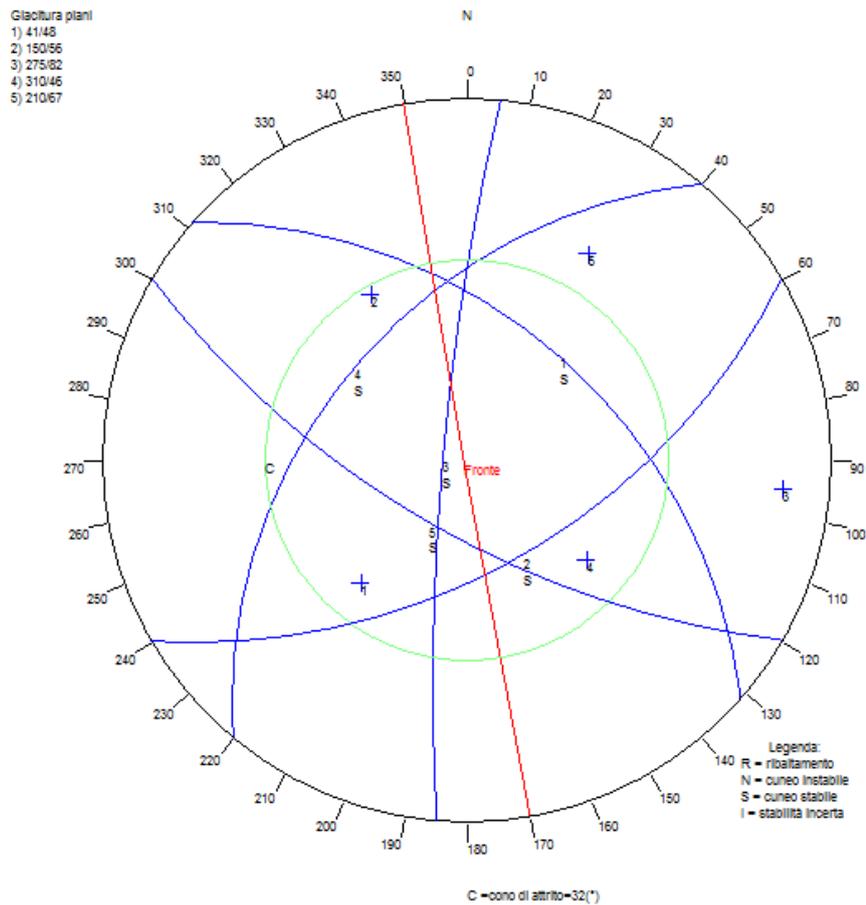


Figura 9: Diagramma di Markland –Fronti FR4 tipo N170W-SW verticali.-

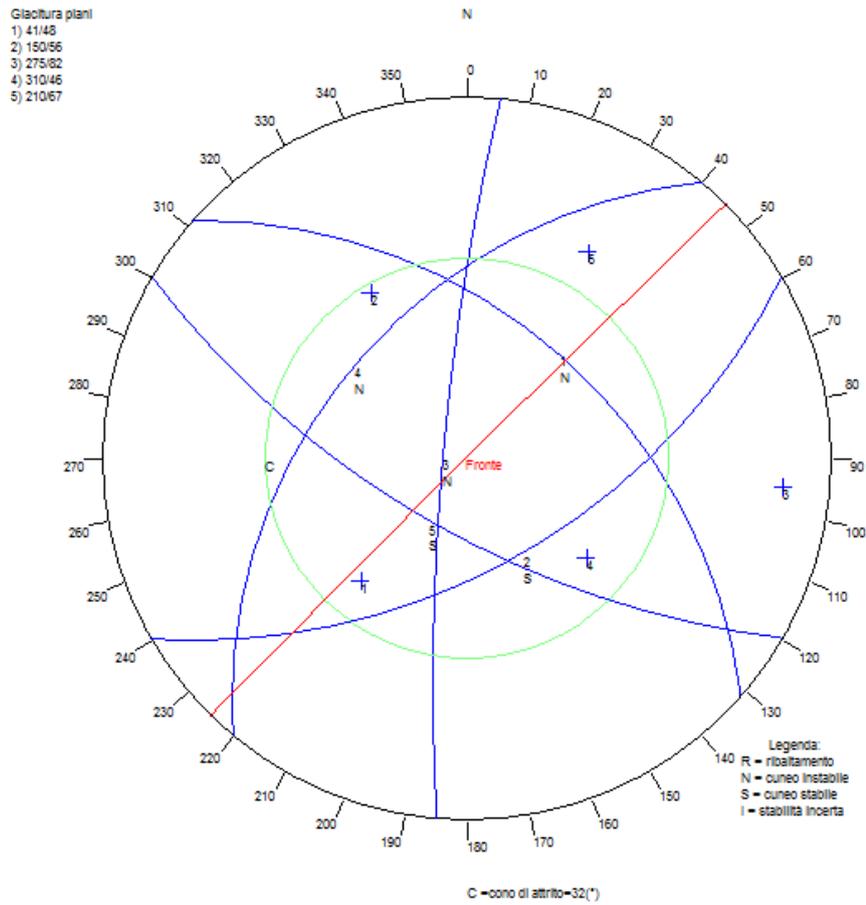


Figura 10: Diagramma di Markland –Fronti FR5 tipo N45NW verticali.-

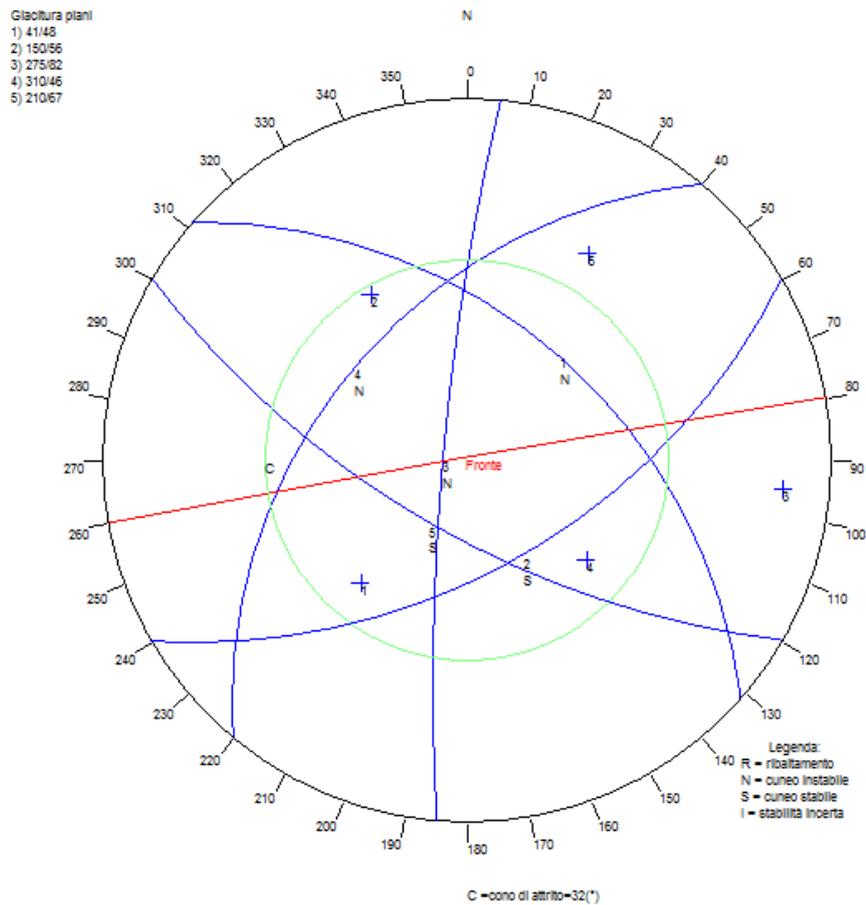


Figura 11: Diagramma di Markland –Fronti FR6 tipo N80NW verticali.-

ALLEGATI – CARATTERIZZAZIONE DEI GIUNTI PRINCIPALI FAMIGLIE

Sistema K1

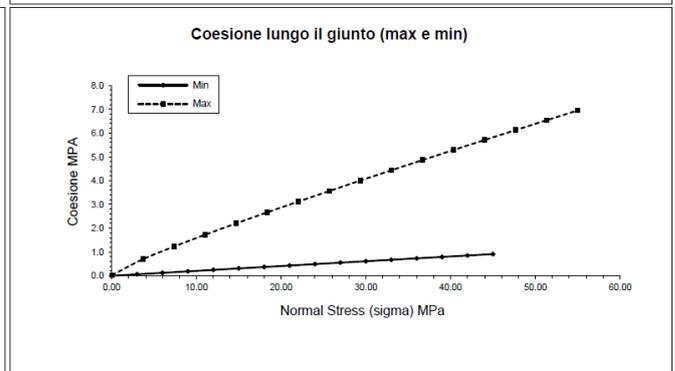
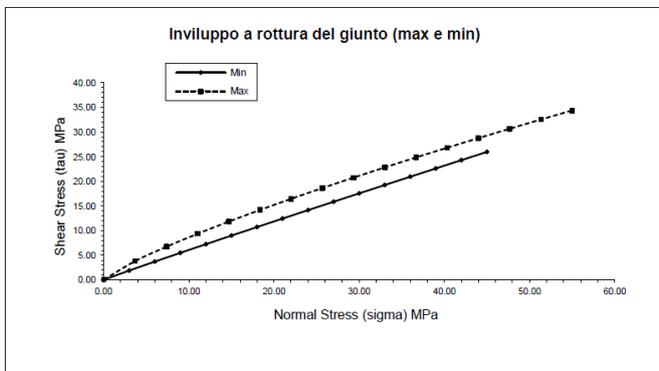
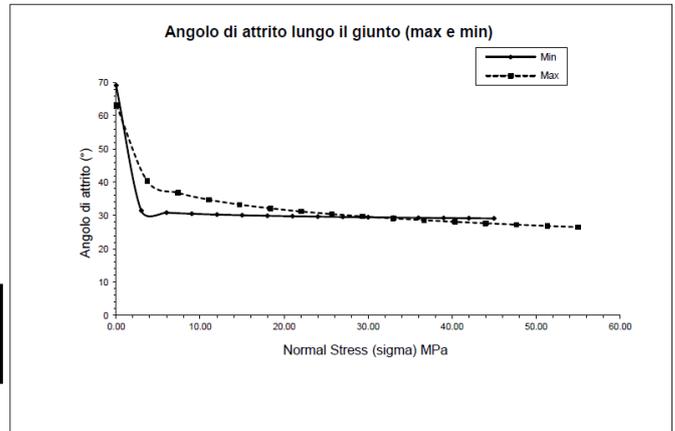
Caratterizzazione del giunto

secondo il criterio di rottura curvilineo di Barton-Choubey

Dati d'ingresso	Min	Max	
Angolo di attrito di base	30.0	32.0	[°]
Joint Roughness Coefficient	2.0	12.0	[1]
Joint Compressive Strenght	45.0	55.0	[MPa]
Peso di volume ammasso roccioso	27.0		[kN/m ³]

Campo di applicabilità	$\sigma_{n \text{ min}}$	0.0	0.0	MPa
criterio Barton-Choubey	$\sigma_{n \text{ max}}$	45.0	55.0	MPa

Stato tensionale previsto			Coesione [kPa]		Angolo di attrito	
	[m]	[MPa]	min	max	min	max
prof. min	3.00	0.073	1.7	41.9	34.7	59.9
prof. max	9.00	0.813	17.7	213.7	32.6	48.0



Sistema K2

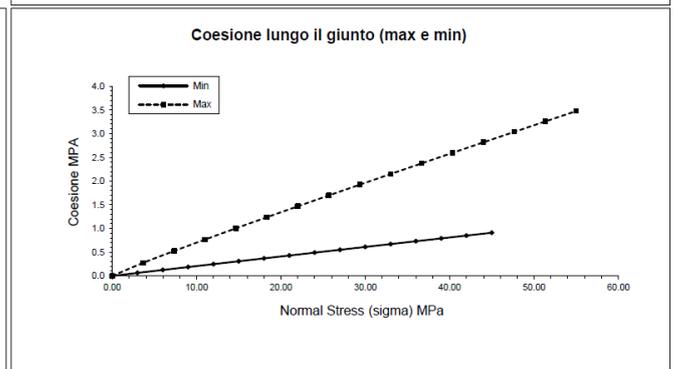
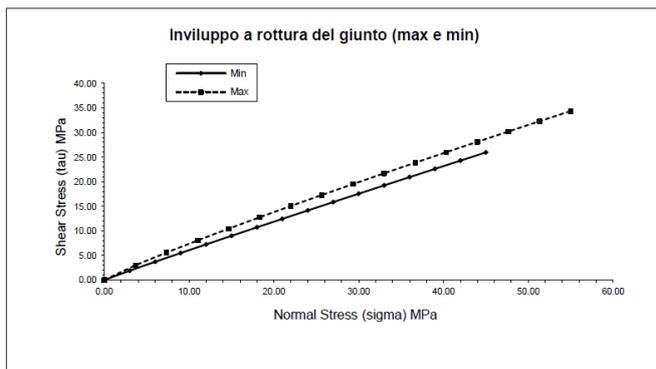
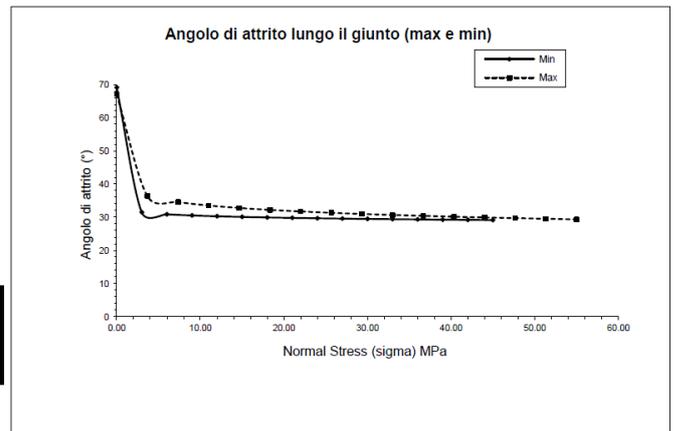
Caratterizzazione del giunto

secondo il criterio di rottura curvilineo di Barton-Choubey

Dati d'ingresso	Min	Max	
Angolo di attrito di base	30.0	32.0	[°]
Joint Roughness Coefficient	2.0	6.0	[1]
Joint Compressive Strenght	45.0	55.0	[MPa]
Peso di volume ammasso roccioso	27.0		[kN/m ³]

Campo di applicabilità	$\sigma_{n \text{ min}}$	0.0	0.0	MPa
criterio Barton-Choubey	$\sigma_{n \text{ max}}$	45.0	55.0	MPa

Stato tensionale previsto			Coesione [kPa]		Angolo di attrito	
	[m]	[MPa]	min	max	min	max
prof. min	3.00	0.046	1.1	5.1	35.1	47.7
prof. max	9.00	0.509	11.2	45.1	33.0	41.5



Sistema K3

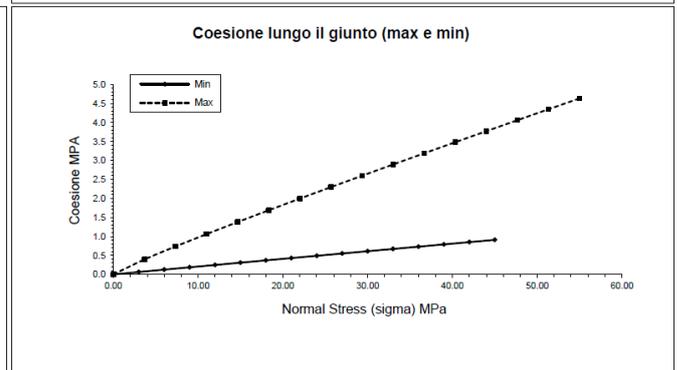
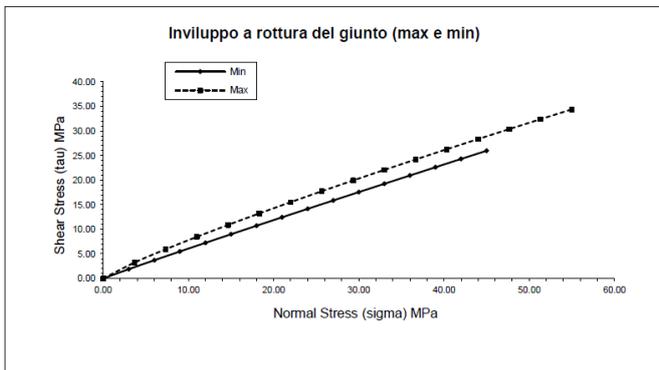
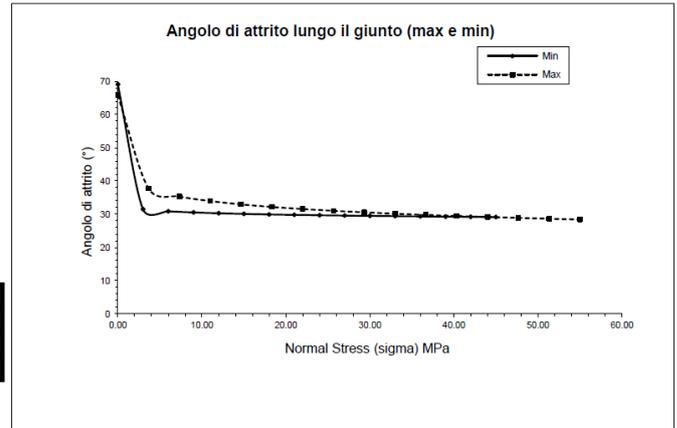
Caratterizzazione del giunto

secondo il criterio di rottura curvilineo di Barton-Choubey

Dati d'ingresso	Min	Max	
Angolo di attrito di base	30.0	32.0	[°]
Joint Roughness Coefficient	2.0	8.0	[1]
Joint Compressive Strenght	45.0	55.0	[MPa]
Peso di volume ammasso roccioso	27.0		[kN/m ³]

Campo di applicabilità	$\sigma_{n \text{ min}}$	0.0	0.0	MPa
criterio Barton-Choubey	$\sigma_{n \text{ max}}$	45.0	55.0	MPa

Stato tensionale previsto		Coesione [kPa]		Angolo di attrito		
	[m]	[MPa]	min	max	min	max
prof. min	3.00	0.002	0.1	0.9	37.7	62.9
prof. max	9.00	0.026	0.6	5.9	35.6	54.7



Sistema K4

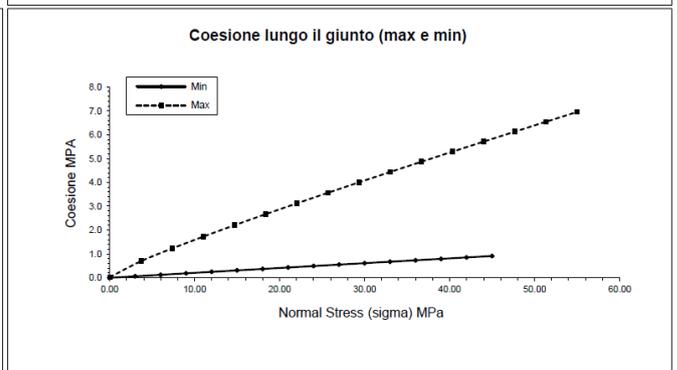
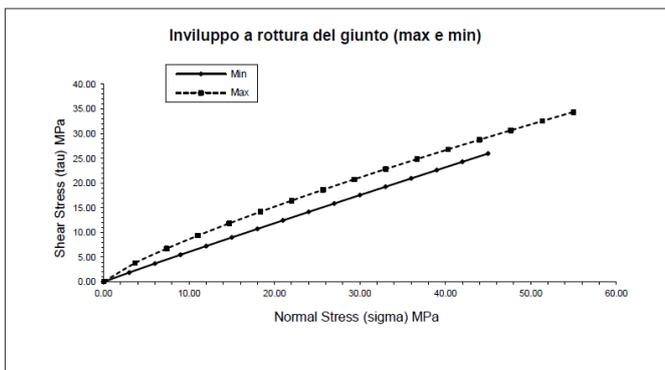
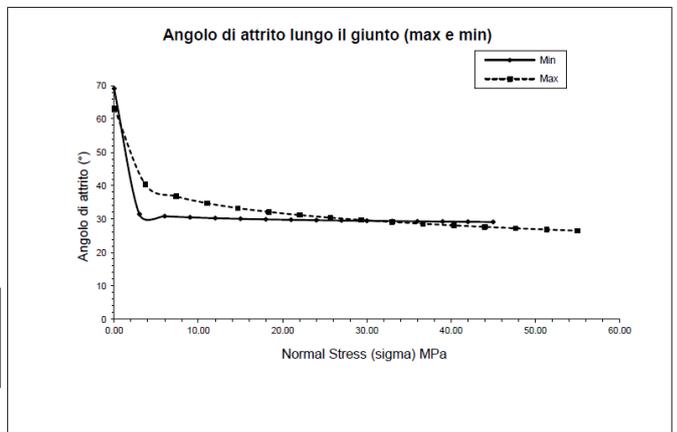
Caratterizzazione del giunto

secondo il criterio di rottura curvilineo di Barton-Choubey

Dati d'ingresso	Min	Max	
Angolo di attrito di base	30.0	32.0	[°]
Joint Roughness Coefficient	2.0	12.0	[1]
Joint Compressive Strenght	45.0	55.0	[MPa]
Peso di volume ammasso roccioso	27.0		[kN/m ³]

Campo di applicabilità	$\sigma_{n \text{ min}}$	0.0	0.0	MPa
criterio Barton-Choubey	$\sigma_{n \text{ max}}$	45.0	55.0	MPa

Stato tensionale previsto		Coesione [kPa]		Angolo di attrito		
	[m]	[MPa]	min	max	min	max
prof. min	3.00	0.082	1.9	44.6	34.6	59.4
prof. max	9.00	0.906	19.7	231.7	32.5	47.5



Sistema K5

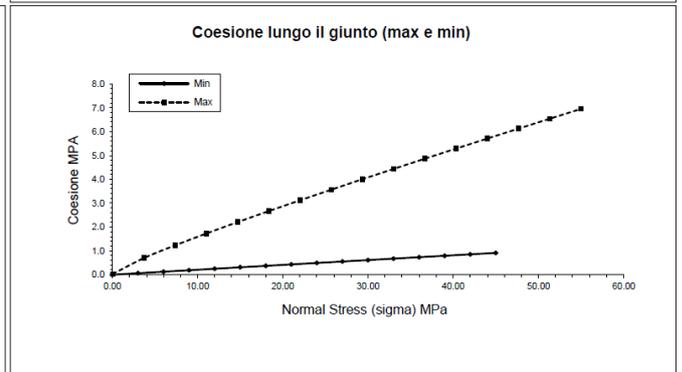
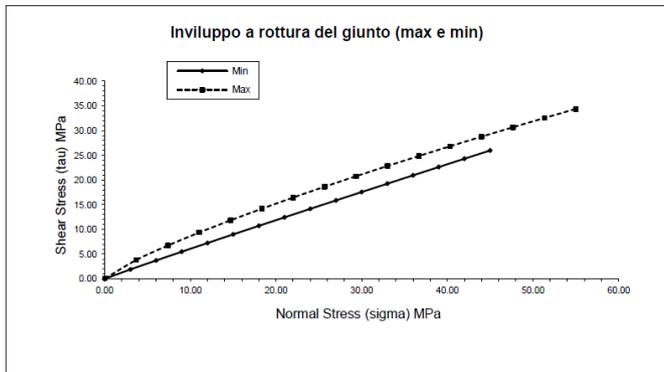
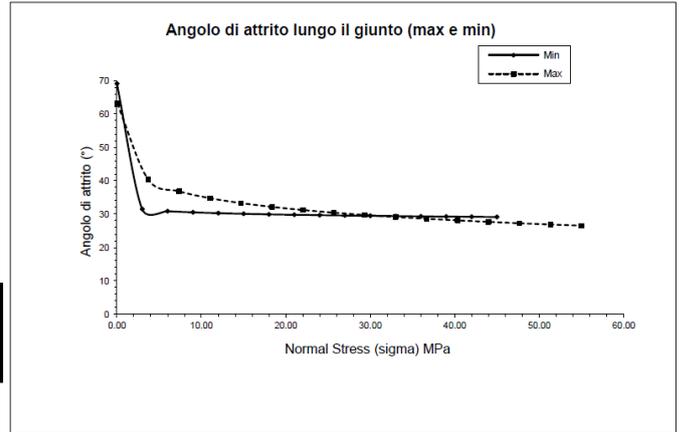
Caratterizzazione del giunto

secondo il criterio di rottura curvilineo di Barton-Choubey

Dati d'ingresso	Min	Max	
Angolo di attrito di base	30.0	32.0	[°]
Joint Roughness Coefficient	2.0	12.0	[1]
Joint Compressive Strenght	45.0	55.0	[MPa]
Peso di volume ammasso roccioso	27.0		[kN/m ³]

Campo di applicabilità	$\sigma_{n \text{ min}}$	0.0	0.0	MPa
criterio Barton-Choubey	$\sigma_{n \text{ max}}$	45.0	55.0	MPa

Stato tensionale previsto	Coesione [kPa]		Angolo di attrito			
	[m]	[MPa]	min	max		
prof. min	3.00	0.020	0.5	22.0	35.8	65.8
prof. max	9.00	0.224	5.0	85.0	33.7	54.5



DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

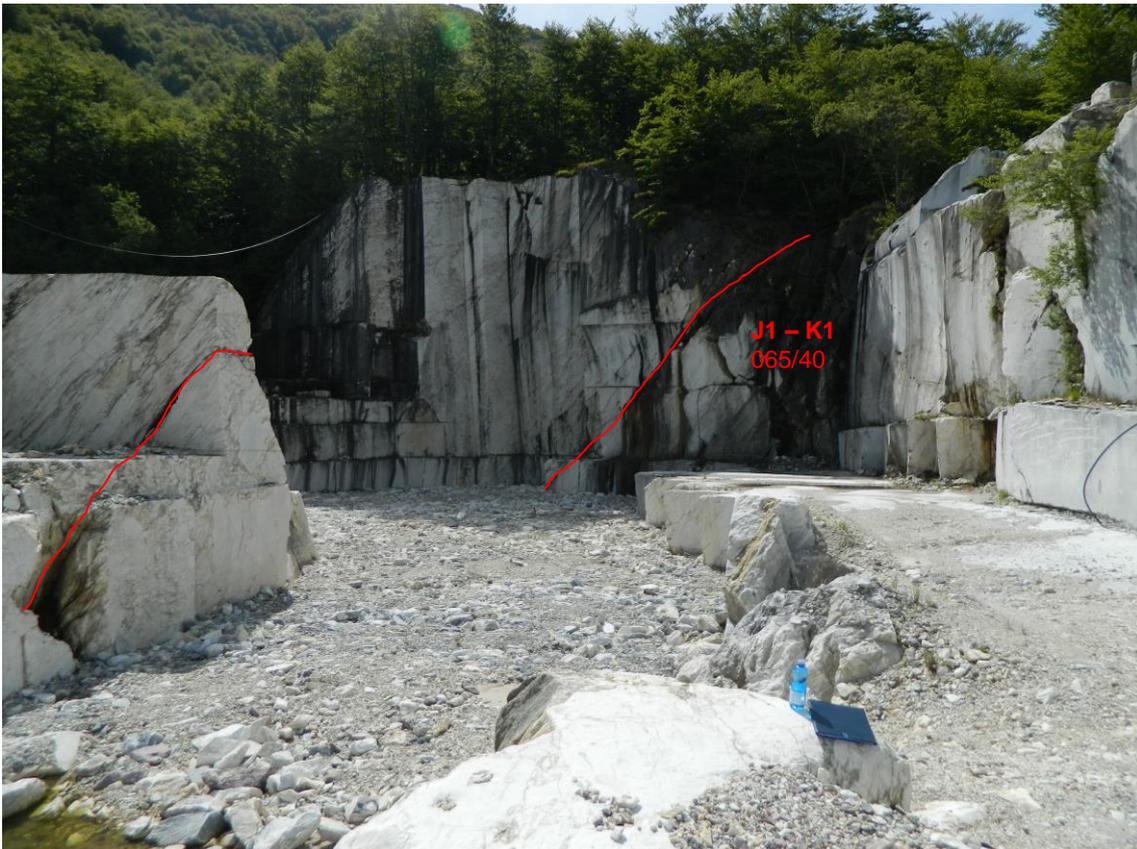


Foto 1: Panoramica della cava Borelle dall'accesso principale q.ta 1188.0m s.l.m..-



Foto 2: Panoramica dei fronti orientali della cava Borelle con residuo di lavorazioni che visto la condizione strutturale (materiale non commerciabile per lo stato di fratturazione) sarebbe consigliabile rimuovere per consentire lo sviluppo delle coltivazioni autorizzate (ribassi) come da progetto in sicurezza.-



Foto 3: vista del fronte FR1 con soprastante piazzale di q.ta 1200.1m s.l.m. In rosso tracce sistema K1, in blu sistema K2, in ocra K3 ed in verde sistema K4.-



Foto 4: vista del fronte FR2 – dettaglio.



Foto 5: vista del fronte FR3 e FR5 caratterizzati dalla presenza delle tracce delle fratture del sistema K1



Foto 6: vista del fronte FR4 e dei principali sistemi riconosciuti sullo stesso.-

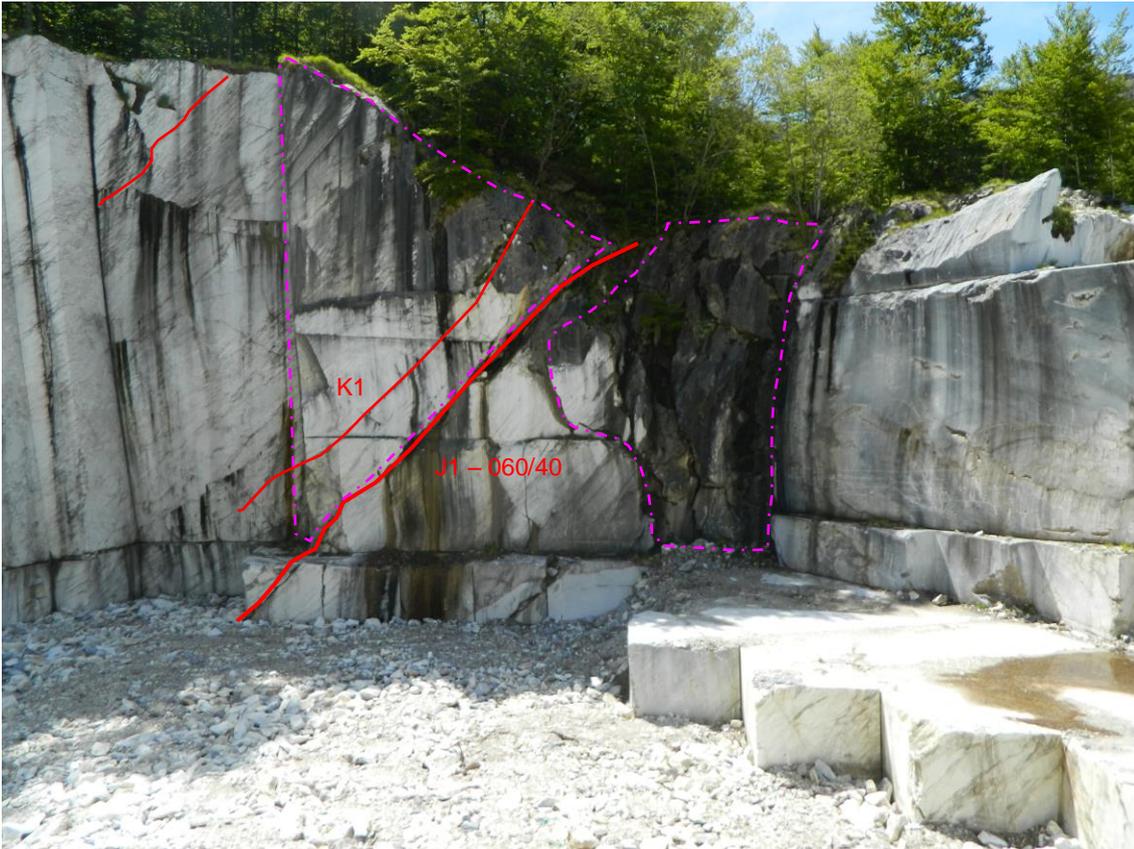


Foto 7: Vista del fronte FR6, con evidenziate le aree e la struttura (delimitate da tratteggio color magenta) da verificare al momento della ripresa dei lavori.-

ALLEGATI – PROGRAMMA B-Rock

Fr1 N145NE – 3m

Verifica di stabilità di blocchi isolati: coefficienti di sicurezza						
Blocco	Famiglie	Immersione	Inclinazione	Volume (mc)	Fs	Deficit di forza(kg):
1	1/2	90	36	21.5097	1.04	1552.1
2	1/3	358	39	10.0722	0.65	-7287
3	1/4	354	37	7.3714	0.65	-5350.5
4	1/5	124	8	53.1211	6.19	148975.5
5	2/3	194	47	2.8914	n.c.	0
6	2/4	232	12	30.3853	n.c.	0
7	2/5	158	56	0.2868	n.c.	0
8	3/4	360	34	2.8506	1.65	2960
9	3/5	204	67	2.1848	n.c.	0
10	4/5	278	41	7.5824	n.c.	0
11	1/2+3	90	36	185.6334	n.c.	0
12	1/2+4	90	36	509.315	n.c.	0
13	1/2+5	90	36	8.0565	1.0	1100.7
14	1/3+2	358	39	31.6936	n.c.	0
15	1/3+4	358	39	786.3555	n.c.	0
16	1/3+5	358	39	9.7589	0.81	-3556.6
17	1/4+2	354	37	82.1501	n.c.	0
18	1/4+3	354	37	658.3635	n.c.	0
19	1/4+5	354	37	5.8232	0.43	-4549.2
20	1/5+2	124	8	123.8403	n.c.	0
21	1/5+3	124	8	57.1574	n.c.	0
22	1/5+4	124	8	69.2881	n.c.	0
23	2/3+1	194	47	2.195	n.c.	0
24	2/3+4	194	47	2.7208	n.c.	0
25	2/3+5	194	47	0.8553	n.c.	0
26	2/4+1	232	12	9.7152	n.c.	0
27	2/4+3	232	12	21.8453	n.c.	0
28	2/4+5	232	12	4.6924	n.c.	0
29	2/5+1	158	56	0.2428	n.c.	0
30	2/5+3	158	56	0.2681	n.c.	0
31	2/5+4	158	56	0.2867	n.c.	0
32	3/4+1	360	34	12.5752	n.c.	0
33	3/4+2	360	34	1.9955	n.c.	0
34	3/4+5	360	34	0.3664	n.c.	0
35	3/5+1	204	67	0.2529	n.c.	0
36	3/5+2	204	67	0.8458	n.c.	0
37	3/5+4	204	67	1.9847	n.c.	0
38	4/5+1	278	41	1.5902	n.c.	0
39	4/5+2	278	41	7.3948	n.c.	0
40	4/5+3	278	41	6.7711	n.c.	0

Fr1 N145NE – 9m

Verifica di stabilità di blocchi isolati: coefficienti di sicurezza						
Blocco	Famiglie	Immersione	Inclinazione	Volume (mc)	Fs	Deficit di forza(kg):
1	1/2	90	36	580.7621	0.99	-11897.6
2	1/3	358	39	271.9492	0.61	-220573.8
3	1/4	354	37	199.0276	0.61	-161802.9
4	1/5	124	8	1434.2697	5.79	3710942.9
5	2/3	194	47	78.0689	n.c.	0
6	2/4	232	12	820.4019	n.c.	0
7	2/5	158	56	7.7443	n.c.	0
8	3/4	360	34	76.9669	1.6	73082.8
9	3/5	204	67	58.9893	n.c.	0
10	4/5	278	41	204.7258	n.c.	0
11	1/2+3	90	36	5094.6267	n.c.	0
12	1/2+4	90	36	13962.7243	n.c.	0
13	1/2+5	90	36	212.0091	0.93	-19891.6
14	1/3+2	358	39	884.2159	n.c.	0
15	1/3+4	358	39	21773.4052	n.c.	0
16	1/3+5	358	39	228.7791	0.64	-194100.9
17	1/4+2	354	37	2282.7847	n.c.	0
18	1/4+3	354	37	18256.8334	n.c.	0
19	1/4+5	354	37	156.0497	0.62	-142243
20	1/5+2	124	8	3373.9937	n.c.	0
21	1/5+3	124	8	1562.2916	n.c.	0
22	1/5+4	124	8	1891.8679	n.c.	0
23	2/3+1	194	47	57.2567	n.c.	0
24	2/3+4	194	47	72.8944	n.c.	0
25	2/3+5	194	47	17.417	n.c.	0
26	2/4+1	232	12	252.6063	n.c.	0
27	2/4+3	232	12	612.6143	n.c.	0
28	2/4+5	232	12	114.9081	n.c.	0
29	2/5+1	158	56	5.9031	n.c.	0
30	2/5+3	158	56	6.9534	n.c.	0
31	2/5+4	158	56	7.7261	n.c.	0
32	3/4+1	360	34	361.7176	n.c.	0
33	3/4+2	360	34	60.8916	n.c.	0
34	3/4+5	360	34	6.2706	n.c.	0
35	3/5+1	204	67	0.3363	n.c.	0
36	3/5+2	204	67	18.3237	n.c.	0
37	3/5+4	204	67	52.8706	n.c.	0
38	4/5+1	278	41	63.4598	n.c.	0
39	4/5+2	278	41	198.9933	n.c.	0
40	4/5+3	278	41	180.7751	n.c.	0

Fr2 N55SE – 3m

Verifica di stabilità di blocchi isolati: coefficienti di sicurezza						
Blocco	Famiglie	Immersione	Inclinazione	Volume (mc)	Fs	Deficit di forza(kg):
1	1/2	90	36	28.8873	0.99	-658.2
2	1/3	358	39	5.095	n.c.	0
3	1/4	354	37	24.2454	n.c.	0
4	1/5	124	8	40.2168	6.22	113267.4
5	2/3	194	47	19.7682	0.4	-27613.4
6	2/4	232	12	4.1588	0.4	-5675.3
7	2/5	158	56	20.5705	0.39	-28954.8
8	3/4	360	34	19.2827	n.c.	0
9	3/5	204	67	0.2368	0.0	-425.3
10	4/5	278	41	11.6024	n.c.	0
11	1/2+3	90	36	29.2746	n.c.	0
12	1/2+4	90	36	29.2746	n.c.	0
13	1/2+5	90	36	29.2202	n.c.	0
14	1/3+2	358	39	2.7456	n.c.	0
15	1/3+4	358	39	40.8887	n.c.	0
16	1/3+5	358	39	5.1028	n.c.	0
17	1/4+2	354	37	14.7388	n.c.	0
18	1/4+3	354	37	44.4491	n.c.	0
19	1/4+5	354	37	24.616	n.c.	0
20	1/5+2	124	8	5.5982	n.c.	0
21	1/5+3	124	8	11.9302	5.7	64307
22	1/5+4	124	8	8.5417	5.64	58687.9
23	2/3+1	194	47	706.2631	n.c.	0
24	2/3+4	194	47	150.4671	n.c.	0
25	2/3+5	194	47	2030.3542	n.c.	0
26	2/4+1	232	12	1.0409	n.c.	0
27	2/4+3	232	12	7.3292	n.c.	0
28	2/4+5	232	12	2.1049	n.c.	0
29	2/5+1	158	56	6664.8466	n.c.	0
30	2/5+3	158	56	2564.9332	n.c.	0
31	2/5+4	158	56	96.548	n.c.	0
32	3/4+1	360	34	11.4211	n.c.	0
33	3/4+2	360	34	9.7713	n.c.	0
34	3/4+5	360	34	14.8604	n.c.	0
35	3/5+1	204	67	0.0874	n.c.	0
36	3/5+2	204	67	0.149	n.c.	0
37	3/5+4	204	67	0.2377	n.c.	0
38	4/5+1	278	41	483.8867	n.c.	0
39	4/5+2	278	41	0.2819	n.c.	0
40	4/5+3	278	41	35.0043	n.c.	0

Fr2 N55SE – 9m

Verifica di stabilità di blocchi isolati: coefficienti di sicurezza						
Blocco	Famiglie	Immersione	Inclinazione	Volume (mc)	Fs	Deficit di forza(kg):
1	1/2	90	36	779.9569	0.93	-86087.6
2	1/3	358	39	137.5661	n.c.	0
3	1/4	354	37	654.6255	n.c.	0
4	1/5	124	8	1085.8529	5.81	2821767.2
5	2/3	194	47	533.7413	0.39	-762214.9
6	2/4	232	12	112.2877	0.38	-156598.4
7	2/5	158	56	555.4038	0.38	-798968.5
8	3/4	360	34	520.6337	n.c.	0
9	3/5	204	67	6.3942	0.0	-11746.3
10	4/5	278	41	313.2659	n.c.	0
11	1/2+3	90	36	790.4143	n.c.	0
12	1/2+4	90	36	790.4143	n.c.	0
13	1/2+5	90	36	788.8134	n.c.	0
14	1/3+2	358	39	69.737	n.c.	0
15	1/3+4	358	39	1186.8802	n.c.	0
16	1/3+5	358	39	137.6205	n.c.	0
17	1/4+2	354	37	382.2512	n.c.	0
18	1/4+3	354	37	1308.5324	n.c.	0
19	1/4+5	354	37	664.4077	n.c.	0
20	1/5+2	124	8	163.4879	n.c.	0
21	1/5+3	124	8	314.028	5.31	1585154
22	1/5+4	124	8	221.7172	5.26	1443945.6
23	2/3+1	194	47	19261.251	n.c.	0
24	2/3+4	194	47	4107.7084	n.c.	0
25	2/3+5	194	47	55362.0414	n.c.	0
26	2/4+1	232	12	31.5106	n.c.	0
27	2/4+3	232	12	205.4005	n.c.	0
28	2/4+5	232	12	60.9331	n.c.	0
29	2/5+1	158	56	181587.7077	n.c.	0
30	2/5+3	158	56	69886.2627	n.c.	0
31	2/5+4	158	56	2635.5275	n.c.	0
32	3/4+1	360	34	344.8298	n.c.	0
33	3/4+2	360	34	252.1833	n.c.	0
34	3/4+5	360	34	395.5499	n.c.	0
35	3/5+1	204	67	1.067	n.c.	0
36	3/5+2	204	67	3.2606	n.c.	0
37	3/5+4	204	67	6.4167	n.c.	0
38	4/5+1	278	41	13360.0704	n.c.	0
39	4/5+2	278	41	14.7857	n.c.	0
40	4/5+3	278	41	972.9646	n.c.	0

Fr3 N135SW – 3m

Verifica di stabilità di blocchi isolati: coefficienti di sicurezza						
Blocco	Famiglie	Immersione	Inclinazione	Volume (mc)	Fs	Deficit di forza(kg):
1	1/2	90	36	59.4383	n.c.	0
2	1/3	358	39	48.664	n.c.	0
3	1/4	354	37	45.1166	n.c.	0
4	1/5	124	8	88.0223	n.c.	0
5	2/3	194	47	3.0235	0.86	-862.5
6	2/4	232	12	34.9492	3.28	56123.9
7	2/5	158	56	1.0089	0.0	56123.9
8	3/4	360	34	3.6832	n.c.	0
9	3/5	204	67	2.9932	0.0	-4982.9
10	4/5	278	41	7.6174	0.78	-3059.2
11	1/2+3	90	36	6495.4239	n.c.	0
12	1/2+4	90	36	19177.6464	n.c.	0
13	1/2+5	90	36	407.9281	n.c.	0
14	1/3+2	358	39	4279.4767	n.c.	0
15	1/3+4	358	39	75865.6905	n.c.	0
16	1/3+5	358	39	142.1299	n.c.	0
17	1/4+2	354	37	12192.5308	n.c.	0
18	1/4+3	354	37	73092.415	n.c.	0
19	1/4+5	354	37	160.9247	n.c.	0
20	1/5+2	124	8	1204.5053	n.c.	0
21	1/5+3	124	8	711.5611	n.c.	0
22	1/5+4	124	8	807.981	n.c.	0
23	2/3+1	194	47	3.0652	n.c.	0
24	2/3+4	194	47	2.8534	n.c.	0
25	2/3+5	194	47	0.0286	n.c.	0
26	2/4+1	232	12	7.3985	2.97	34135.2
27	2/4+3	232	12	24.9814	n.c.	0
28	2/4+5	232	12	2.1449	n.c.	0
29	2/5+1	158	56	0.8276	n.c.	0
30	2/5+3	158	56	0.9357	n.c.	0
31	2/5+4	158	56	1.0103	n.c.	0
32	3/4+1	360	34	15.5286	n.c.	0
33	3/4+2	360	34	2.8813	n.c.	0
34	3/4+5	360	34	0.6896	n.c.	0
35	3/5+1	204	67	1.9266	n.c.	0
36	3/5+2	204	67	2.2789	n.c.	0
37	3/5+4	204	67	2.8796	n.c.	0
38	4/5+1	278	41	3.7192	n.c.	0
39	4/5+2	278	41	7.6114	n.c.	0
40	4/5+3	278	41	7.7071	n.c.	0

Fr3 N135SW – 9m

Verifica di stabilità di blocchi isolati: coefficienti di sicurezza						
Blocco	Famiglie	Immersione	Inclinazione	Volume (mc)	Fs	Deficit di forza(kg):
1	1/2	90	36	1604.8328	n.c.	0
2	1/3	358	39	1313.9273	n.c.	0
3	1/4	354	37	1218.1475	n.c.	0
4	1/5	124	8	2376.6034	n.c.	0
5	2/3	194	47	81.6337	0.83	-28030.9
6	2/4	232	12	943.6278	3.16	1440765.7
7	2/5	158	56	27.2402	0.0	1440765.7
8	3/4	360	34	99.4464	n.c.	0
9	3/5	204	67	80.8171	0.0	-138451.7
10	4/5	278	41	205.6711	0.75	-95914.8
11	1/2+3	90	36	176214.7273	n.c.	0
12	1/2+4	90	36	520256.3684	n.c.	0
13	1/2+5	90	36	11073.9534	n.c.	0
14	1/3+2	358	39	116181.6714	n.c.	0
15	1/3+4	358	39	2059523.5898	n.c.	0
16	1/3+5	358	39	3865.6397	n.c.	0
17	1/4+2	354	37	331018.3305	n.c.	0
18	1/4+3	354	37	1984371.8083	n.c.	0
19	1/4+5	354	37	4375.7097	n.c.	0
20	1/5+2	124	8	32639.5526	n.c.	0
21	1/5+3	124	8	19285.1673	n.c.	0
22	1/5+4	124	8	21897.2851	n.c.	0
23	2/3+1	194	47	82.7594	n.c.	0
24	2/3+4	194	47	76.5395	n.c.	0
25	2/3+5	194	47	6.4159	n.c.	0
26	2/4+1	232	12	189.1491	2.86	865221
27	2/4+3	232	12	696.3164	n.c.	0
28	2/4+5	232	12	45.4831	n.c.	0
29	2/5+1	158	56	20.7516	n.c.	0
30	2/5+3	158	56	24.5954	n.c.	0
31	2/5+4	158	56	27.2518	n.c.	0
32	3/4+1	360	34	445.8548	n.c.	0
33	3/4+2	360	34	86.9412	n.c.	0
34	3/4+5	360	34	14.3972	n.c.	0
35	3/5+1	204	67	47.6312	n.c.	0
36	3/5+2	204	67	58.5659	n.c.	0
37	3/5+4	204	67	77.2102	n.c.	0
38	4/5+1	278	41	88.8509	n.c.	0
39	4/5+2	278	41	205.2318	n.c.	0
40	4/5+3	278	41	208.0899	n.c.	0

Fr4 N170W-SW – 3m

Verifica di stabilità di blocchi isolati: coefficienti di sicurezza						
Blocco	Famiglie	Immersione	Inclinazione	Volume (mc)	Fs	Deficit di forza(kg):
1	1/2	90	36	12.7132	n.c.	0
2	1/3	358	39	0.8544	n.c.	0
3	1/4	354	37	0.0921	n.c.	0
4	1/5	124	8	37.8185	n.c.	0
5	2/3	194	47	1.9304	0.84	-635.8
6	2/4	232	12	36.7609	3.28	59030.8
7	2/5	158	56	0.1269	n.c.	0
8	3/4	360	34	0.9093	n.c.	0
9	3/5	204	67	1.0189	0.0	-1728.8
10	4/5	278	41	8.5479	0.79	-3298.2
11	1/2+3	90	36	8.6654	n.c.	0
12	1/2+4	90	36	50.2688	n.c.	0
13	1/2+5	90	36	11.2339	n.c.	0
14	1/3+2	358	39	0.8057	n.c.	0
15	1/3+4	358	39	0.0328	n.c.	0
16	1/3+5	358	39	0.8548	n.c.	0
17	1/4+2	354	37	0.0785	n.c.	0
18	1/4+3	354	37	0.0113	n.c.	0
19	1/4+5	354	37	0.092	n.c.	0
20	1/5+2	124	8	36.4382	n.c.	0
21	1/5+3	124	8	5.2897	n.c.	0
22	1/5+4	124	8	11.2718	n.c.	0
23	2/3+1	194	47	1.9425	n.c.	0
24	2/3+4	194	47	1.9229	n.c.	0
25	2/3+5	194	47	1.9425	n.c.	0
26	2/4+1	232	12	16.0652	3.14	44024.9
27	2/4+3	232	12	8.9653	n.c.	0
28	2/4+5	232	12	12.1491	2.96	40280.6
29	2/5+1	158	56	0.0955	n.c.	0
30	2/5+3	158	56	0.1131	n.c.	0
31	2/5+4	158	56	0.1267	n.c.	0
32	3/4+1	360	34	6.7086	n.c.	0
33	3/4+2	360	34	1.7483	n.c.	0
34	3/4+5	360	34	0.3251	n.c.	0
35	3/5+1	204	67	4.5862	n.c.	0
36	3/5+2	204	67	3.1282	n.c.	0
37	3/5+4	204	67	0.2883	n.c.	0
38	4/5+1	278	41	27.1048	n.c.	0
39	4/5+2	278	41	7.7619	0.81	-3019.8
40	4/5+3	278	41	4.5517	0.73	-3144.8

Fr4 N170W-SW – 9m

Verifica di stabilità di blocchi isolati: coefficienti di sicurezza						
Blocco	Famiglie	Immersione	Inclinazione	Volume (mc)	Fs	Deficit di forza(kg):
1	1/2	90	36	343.2553	n.c.	0
2	1/3	358	39	23.0689	n.c.	0
3	1/4	354	37	2.4856	n.c.	0
4	1/5	124	8	1021.0992	n.c.	0
5	2/3	194	47	52.1211	0.81	-20119.2
6	2/4	232	12	992.5447	3.16	1515379.3
7	2/5	158	56	3.4262	n.c.	0
8	3/4	360	34	24.5499	n.c.	0
9	3/5	204	67	27.509	0.0	-47972.3
10	4/5	278	41	230.7925	0.76	-104176.3
11	1/2+3	90	36	252.6986	n.c.	0
12	1/2+4	90	36	1411.9221	n.c.	0
13	1/2+5	90	36	301.7702	n.c.	0
14	1/3+2	358	39	21.3962	n.c.	0
15	1/3+4	358	39	7.0438	n.c.	0
16	1/3+5	358	39	23.0615	n.c.	0
17	1/4+2	354	37	1.8886	n.c.	0
18	1/4+3	354	37	1.0612	n.c.	0
19	1/4+5	354	37	2.4784	n.c.	0
20	1/5+2	124	8	1002.8109	n.c.	0
21	1/5+3	124	8	154.2119	n.c.	0
22	1/5+4	124	8	317.1866	n.c.	0
23	2/3+1	194	47	52.4479	n.c.	0
24	2/3+4	194	47	51.8117	n.c.	0
25	2/3+5	194	47	52.4479	n.c.	0
26	2/4+1	232	12	424.7795	3.03	1121115.7
27	2/4+3	232	12	260.582	n.c.	0
28	2/4+5	232	12	317.5522	2.84	1023120.1
29	2/5+1	158	56	2.0591	n.c.	0
30	2/5+3	158	56	2.8242	n.c.	0
31	2/5+4	158	56	3.4108	n.c.	0
32	3/4+1	360	34	195.3664	n.c.	0
33	3/4+2	360	34	52.1742	n.c.	0
34	3/4+5	360	34	11.0902	n.c.	0
35	3/5+1	204	67	136.3501	n.c.	0
36	3/5+2	204	67	93.7273	n.c.	0
37	3/5+4	204	67	6.1444	n.c.	0
38	4/5+1	278	41	779.7539	n.c.	0
39	4/5+2	278	41	208.3042	0.77	-98649.1
40	4/5+3	278	41	117.3317	0.69	-101828

Fr5 N45NW – 3m

Verifica di stabilità di blocchi isolati: coefficienti di sicurezza						
Blocco	Famiglie	Immersione	Inclinazione	Volume (mc)	Fs	Deficit di forza(kg):
1	1/2	90	36	15.1586	n.c.	0
2	1/3	358	39	4.3096	1.19	1442.3
3	1/4	354	37	54.3183	0.85	-13996.2
4	1/5	124	8	32.4142	n.c.	0
5	2/3	194	47	5.4939	n.c.	0
6	2/4	232	12	20.0015	0.0	-16058.9
7	2/5	158	56	6.3002	n.c.	0
8	3/4	360	34	50.1586	1.64	51286.5
9	3/5	204	67	0.1859	n.c.	0
10	4/5	278	41	41.8989	0.55	-37829.1
11	1/2+3	90	36	13.6161	n.c.	0
12	1/2+4	90	36	10.4241	n.c.	0
13	1/2+5	90	36	15.2567	n.c.	0
14	1/3+2	358	39	4.3762	n.c.	0
15	1/3+4	358	39	20.091	n.c.	0
16	1/3+5	358	39	4.3761	n.c.	0
17	1/4+2	354	37	48.8244	0.85	-10071.5
18	1/4+3	354	37	14.4771	n.c.	0
19	1/4+5	354	37	55.1662	0.88	-10050.8
20	1/5+2	124	8	8.9	n.c.	0
21	1/5+3	124	8	9.9781	n.c.	0
22	1/5+4	124	8	6.4973	n.c.	0
23	2/3+1	194	47	11.4885	n.c.	0
24	2/3+4	194	47	1.794	n.c.	0
25	2/3+5	194	47	39.959	n.c.	0
26	2/4+1	232	12	17.8867	n.c.	0
27	2/4+3	232	12	15.2118	0.56	-16447.1
28	2/4+5	232	12	17.4837	n.c.	0
29	2/5+1	158	56	195.8532	n.c.	0
30	2/5+3	158	56	89.402	n.c.	0
31	2/5+4	158	56	2.0808	n.c.	0
32	3/4+1	360	34	19.5369	n.c.	0
33	3/4+2	360	34	40.267	1.62	54666.9
34	3/4+5	360	34	45.8148	1.6	54626.9
35	3/5+1	204	67	0.0755	n.c.	0
36	3/5+2	204	67	0.0969	n.c.	0
37	3/5+4	204	67	0.1717	n.c.	0
38	4/5+1	278	41	14182.4717	n.c.	0
39	4/5+2	278	41	412.7596	n.c.	0
40	4/5+3	278	41	1633.2327	n.c.	0

Fr5 N45NW – 9m

Verifica di stabilità di blocchi isolati: coefficienti di sicurezza						
Blocco	Famiglie	Immersione	Inclinazione	Volume (mc)	Fs	Deficit di forza(kg):
1	1/2	90	36	409.2811	n.c.	0
2	1/3	358	39	116.3586	1.12	25394.2
3	1/4	354	37	1466.5954	0.81	-484406.5
4	1/5	124	8	875.1828	n.c.	0
5	2/3	194	47	148.3361	n.c.	0
6	2/4	232	12	540.0413	0.0	-453072.5
7	2/5	158	56	170.1067	n.c.	0
8	3/4	360	34	1354.2822	1.59	1264343.7
9	3/5	204	67	5.0191	n.c.	0
10	4/5	278	41	1131.269	0.53	-1064610.1
11	1/2+3	90	36	364.0485	n.c.	0
12	1/2+4	90	36	271.5214	n.c.	0
13	1/2+5	90	36	411.605	n.c.	0
14	1/3+2	358	39	118.156	n.c.	0
15	1/3+4	358	39	595.4395	n.c.	0
16	1/3+5	358	39	118.156	n.c.	0
17	1/4+2	354	37	1306.4701	0.81	-390254.6
18	1/4+3	354	37	316.6392	n.c.	0
19	1/4+5	354	37	1489.2311	0.84	-388685.3
20	1/5+2	124	8	253.9349	n.c.	0
21	1/5+3	124	8	261.4097	n.c.	0
22	1/5+4	124	8	166.3874	n.c.	0
23	2/3+1	194	47	326.4009	n.c.	0
24	2/3+4	194	47	44.8707	n.c.	0
25	2/3+5	194	47	1122.2027	n.c.	0
26	2/4+1	232	12	480.9464	n.c.	0
27	2/4+3	232	12	406.4102	0.54	-463897.6
28	2/4+5	232	12	469.7176	n.c.	0
29	2/5+1	158	56	5437.8472	n.c.	0
30	2/5+3	158	56	2484.8046	n.c.	0
31	2/5+4	158	56	53.0028	n.c.	0
32	3/4+1	360	34	491.8992	n.c.	0
33	3/4+2	360	34	1074.9995	1.57	1347707.5
34	3/4+5	360	34	1231.0494	1.54	1346718.7
35	3/5+1	204	67	1.074	n.c.	0
36	3/5+2	204	67	1.8374	n.c.	0
37	3/5+4	204	67	4.5069	n.c.	0
38	4/5+1	278	41	385444.1223	n.c.	0
39	4/5+2	278	41	11225.0869	n.c.	0
40	4/5+3	278	41	44393.8465	n.c.	0

Fr6 N80N-NW – 3m

Verifica di stabilità di blocchi isolati: coefficienti di sicurezza						
Blocco	Famiglie	Immersione	Inclinazione	Volume (mc)	Fs	Deficit di forza(kg):
1	1/2	90	36	0.9616	n.c.	0
2	1/3	358	39	6.8977	1.2	2403.1
3	1/4	354	37	15.5039	0.89	-2947.6
4	1/5	124	8	33.2168	n.c.	0
5	2/3	194	47	8.2205	n.c.	0
6	2/4	232	12	32.7844	n.c.	0
7	2/5	158	56	8.1383	n.c.	0
8	3/4	360	34	8.7561	1.66	9213.1
9	3/5	204	67	0.8885	n.c.	0
10	4/5	278	41	1.2094	0.55	-1070.5
11	1/2+3	90	36	0.9174	n.c.	0
12	1/2+4	90	36	0.8372	n.c.	0
13	1/2+5	90	36	0.9615	n.c.	0
14	1/3+2	358	39	0.7536	n.c.	0
15	1/3+4	358	39	132.8537	n.c.	0
16	1/3+5	358	39	6.6421	1.23	3223.9
17	1/4+2	354	37	12.082	n.c.	0
18	1/4+3	354	37	172.7459	n.c.	0
19	1/4+5	354	37	15.2578	0.92	-1817.6
20	1/5+2	124	8	2.4597	n.c.	0
21	1/5+3	124	8	16.2018	n.c.	0
22	1/5+4	124	8	13.715	n.c.	0
23	2/3+1	194	47	29.6669	n.c.	0
24	2/3+4	194	47	1.1132	n.c.	0
25	2/3+5	194	47	95.0044	n.c.	0
26	2/4+1	232	12	35.0768	n.c.	0
27	2/4+3	232	12	121.4753	n.c.	0
28	2/4+5	232	12	48.131	n.c.	0
29	2/5+1	158	56	97.6945	n.c.	0
30	2/5+3	158	56	42.0569	n.c.	0
31	2/5+4	158	56	5.8031	n.c.	0
32	3/4+1	360	34	15.9528	n.c.	0
33	3/4+2	360	34	0.6751	n.c.	0
34	3/4+5	360	34	4.8006	1.58	9939.1
35	3/5+1	204	67	0.4925	n.c.	0
36	3/5+2	204	67	0.5727	n.c.	0
37	3/5+4	204	67	0.8432	n.c.	0
38	4/5+1	278	41	0.3668	n.c.	0
39	4/5+2	278	41	1.2166	n.c.	0
40	4/5+3	278	41	1.2166	n.c.	0

Fr6 N80N-NW – 3m

Verifica di stabilità di blocchi isolati: coefficienti di sicurezza						
Blocco	Famiglie	Immersione	Inclinazione	Volume (mc)	Fs	Deficit di forza(kg):
1	1/2	90	36	25.9632	n.c.	0
2	1/3	358	39	186.2376	1.13	43095.6
3	1/4	354	37	418.6063	0.84	-111396.1
4	1/5	124	8	896.8529	n.c.	0
5	2/3	194	47	221.9537	n.c.	0
6	2/4	232	12	885.1799	n.c.	0
7	2/5	158	56	219.7334	n.c.	0
8	3/4	360	34	236.4141	1.6	227587.8
9	3/5	204	67	23.9906	n.c.	0
10	4/5	278	41	32.6548	0.54	-30122.4
11	1/2+3	90	36	24.4325	n.c.	0
12	1/2+4	90	36	21.7081	n.c.	0
13	1/2+5	90	36	25.9324	n.c.	0
14	1/3+2	358	39	29.7243	n.c.	0
15	1/3+4	358	39	3755.2532	n.c.	0
16	1/3+5	358	39	178.8533	1.16	63116.6
17	1/4+2	354	37	356.5917	n.c.	0
18	1/4+3	354	37	4869.1342	n.c.	0
19	1/4+5	354	37	411.2977	0.87	-84361.1
20	1/5+2	124	8	55.489	n.c.	0
21	1/5+3	124	8	430.9703	n.c.	0
22	1/5+4	124	8	363.0232	n.c.	0
23	2/3+1	194	47	828.5643	n.c.	0
24	2/3+4	194	47	36.9148	n.c.	0
25	2/3+5	194	47	2640.0402	n.c.	0
26	2/4+1	232	12	966.6928	n.c.	0
27	2/4+3	232	12	3323.95	n.c.	0
28	2/4+5	232	12	1322.8598	n.c.	0
29	2/5+1	158	56	2735.613	n.c.	0
30	2/5+3	158	56	1181.9978	n.c.	0
31	2/5+4	158	56	154.4361	n.c.	0
32	3/4+1	360	34	460.9334	n.c.	0
33	3/4+2	360	34	8.1632	n.c.	0
34	3/4+5	360	34	124.5488	1.52	245165
35	3/5+1	204	67	11.0797	n.c.	0
36	3/5+2	204	67	13.6884	n.c.	0
37	3/5+4	204	67	22.4838	n.c.	0
38	4/5+1	278	41	16.0443	n.c.	0
39	4/5+2	278	41	32.8474	n.c.	0
40	4/5+3	278	41	32.8474	n.c.	0

ALLEGATI - DATI STRUTTURALI RILIEVO MAGGIO 2016.-

Dip	Dip-Direction	Stend_	LUNGH_M	LUNGH_CLASS	FORMA	TIPO	TERMINA_SU	APERT_MM	APERT_CLASS	ALTERAZIONE	RIEMPIMENTO	JRC	ACQUA
64	135	S1	2.2	1-3	VIII	X-R		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
62	130	S1	2	1-3	VIII	X-R		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
60	135	S1	1.8	1-3	VIII	X-R		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
61	140	S1	2.5	1-3	VIII	X-R		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
65	140	S1	1.5	1-3	VIII	R-R		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
85	15	S1	1.7	1-3	V	X-D	5S1	ESP	ESP	NO	NO	6-8	NO
80	275	S1	2.3	1-3	V	X-D	5S1	ESP	ESP	NO	NO	6-8	NO
51	33	S1	10	10-20	V	X-X		0.5	0.5-2.5	CARS-OX	NO	10-12	NO
50	145	S1	1.9	1-3	VIII	D-D	5S1-Macchia	2	0.5-2.5	NO	NO	2-4	NO
89	340	S1	3	3-10	VIII	R-R		ESP	ESP	CARS	NO	4-6	NO
88	342	S1	3	3-10	VIII	R-R		ESP	ESP	CARS	NO	4-6	NO
48	150	S1	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
47	148	S1	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
44	152	S1	10	10-20	II	X-R		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
89	125	S1	10	10-20	VIII	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
40	150	S1	6	3-10	II	X-R		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
52	30	S1	10	10-20	V	X-X		0	0-0.5	NO	NO	6-8	NO
57	165	S1	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
55	162	S1	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
60	160	S1	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
56	163	S1	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
55	168	S1	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
60	165	S1	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
54	161	S1	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
50	145	S1	6	3-10	II	X-R		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
78	295	S1	10	10-20	II	X-X		ESP	ESP	CARS	NO	4-6	NO
79	280	S1	3	3-10	V	X-R		ESP	ESP	CARS	NO	4-6	NO
30	305	S1	1.5	1-3	V	X-D	16S1	5	2.5-10	NO	TERRA-SASSI	6-8	NO
80	270	S1	1.9	1-3	II	X-R		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
66	15	S1	3	3-10	V	R-R		10	10-100	CARS	NO	4-6	NO
50	340	S1	3	3-10	II	X-X		5	2.5-10	NO	SASSI	4-6	NO
65	35	S1	10	10-20	II	X-X		ESP	ESP	CARS-OX	TERRA-SASSI	6-8	NO
62	210	F.S.1	10	10-20	VIII	X-X		ESP	ESP	CARS	NO	2-4	NO

62	215	F.S.1	10	10-20	VIII	X-X		ESP	ESP	CARS	NO	2-4	NO
38	27	S2	10	10-20	V	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
40	25	S2	10	10-20	V	X-X		0	0-0.5	OX	NO	2-4	NO
25	230	S2	4	3-10	II	X-D	2S2	0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
42	29	S2	10	10-20	V	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
65	220	S2	10	10-20	V	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
45	22	S2	10	10-20	V	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
12	218	S2	0.5	0-1	V	R-D	8S2	0	0-0.5	CARS	NO	2-4	NO
59	37	S2	4	3-10	V	X-X		ESP	ESP	CARS	TERRA-SASSI	6-8	NO
75	85	S3	0.4	0-1	V	X-R		ESP	ESP	CARS	TERRA	6-8	NO
75	225	S3	1.5	1-3	VIII	X-D	1S3	0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
86	130	S3	1.6	1-3	VIII	X-X		5	2.5-10	NO	SASSI	4-6	NO
55	170	S3	2	1-3	VIII	X-X		ESP	ESP	NO	NO	2-4	NO
50	135	S3	2.5	1-3	VIII	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
50	140	S3	2.2	1-3	VIII	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
55	135	S3	0.9	1-3	VIII	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
75	65	S3	10	10-20	VIII	X-X		ESP	ESP	NO	NO	2-4	NO
70	128	S3	10	10-20	V	X-X		0	0-0.5	NO	NO	4-6	NO
55	325	S3	1.4	1-3	II	X-D	9S3	10	10-100	NO	SASSI	6-8	NO
74	210	S3	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
50	326	S3	10	10-20	II	X-X		5	2.5-10	NO	SASSI	2-4	NO
61	51	S3	10	10-20	II	X-X		ESP	ESP	CARS	NO	2-4	NO
54	138	S3	3	3-10	II	X-R		2	0.5-2.5	NO	NO	2-4	NO
40	315	S3	10	10-20	II	X-X		50	10-100	CARS	TERRA-SASSI	10-12	NO
70	170	S3	1.4	1-3	II	R-D	13S3	0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
60	235	S3	1.2	1-3	II	X-R		ESP	ESP	NO	NO	4-6	NO
77	215	S3	2	1-3	V	X-R		ESP	ESP	OX	NO	4-6	NO
45	290	S3	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
74	277	S3	3	3-10	II	X-R		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
56	45	S3	10	10-20	V	X-X		1	0.5-2.5	NO	NO	6-8	NO
50	41	S3	10	10-20	V	X-X		0	0-0.5	NO	NO	6-8	NO
61	205	S3	4	3-10	VIII	X-X		ESP	ESP	CARS	NO	4-6	NO
65	305	S3	6	3-10	II	X-D	21S3	0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
62	300	S3	10	10-20	II	X-D	21S3	0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
65	190	S3	2.4	1-3	II	R-R		2	0.5-2.5	NO	NO	4-6	NO
63	207	S3	1.3	1-3	VIII	X-R		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
60	205	S3	1.5	1-3	VIII	X-R		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
65	209	S3	1.1	1-3	VIII	X-R		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO

25	265	S3	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	OX	NO	2-4	NO
41	318	S3	3	3-10	II	X-R		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
40	25	F.S.A	10	10-20	V	X-X		50	10-100	CARS-OX	TERRA-SASSI	10-12	SI
87	25	F.S.A	10	10-20	V	X-X		20	10-100	CARS-OX	TERRA-SASSI	10-12	SI
65	155	S4	20	20-50	VIII	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
55	125	S4	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	OX	NO	2-4	NO
50	125	S4	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	OX	NO	2-4	NO
60	125	S4	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	OX	NO	2-4	NO
55	120	S4	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	OX	NO	2-4	NO
55	130	S4	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	OX	NO	2-4	NO
50	55	S4	10	10-20	V	X-X		1	0.5-2.5	NO	NO	4-6	NO
35	285	S4	10	10-20	II	X-D	3S4	10	10-100	CARS	SASSI	6-8	SI
54	175	S4	8	3-10	II	X-R		0	0-0.5	NO	NO	4-6	NO
40	70	S4	10	10-20	V	X-X		0	0-0.5	NO	NO	6-8	NO
75	207	S4	20	20-50	II	X-X		40	10-100	CARS-OX	TERRA-SASSI	10-12	SI
67	210	S4	20	20-50	II	X-X		ESP	ESP	CARS-OX	TERRA-SASSI	10-12	SI
40	65	S4	20	20-50	II	X-X		ESP	ESP	CARS-OX	TERRA-SASSI	10-12	SI
75	208	F.S.B	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
30	45	F.S.C	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
45	145	F.S.D	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
60	160	F.S.E	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
60	160	F.S.F	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
65	160	F.S.F	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
60	165	F.S.F	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
65	165	F.S.F	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
52	154	F.S.F	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
48	160	F.S.F	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
60	151	F.S.F	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
62	164	F.S.F	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
59	148	F.S.F	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
58	153	F.S.F	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
63	159	F.S.F	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
75	175	F.S.G	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
55	55	F.S.G	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
55	75	F.S.H	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
52	47	F.S.I	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
87	270	F.S	1.5	1-3	II	X-R		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
82	271	F.S	1.1	1-3	II	X-R		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO

86	274	F.S	1.7	1-3	II	X-R		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
87	282	F.S	1.9	1-3	II	X-R		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
31	323	F.S	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
40	300	F.S	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
50	306	F.S	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
55	303	F.S	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO
60	310	F.S	10	10-20	II	X-X		0	0-0.5	NO	NO	2-4	NO