

# Ingegnere Marco Berlinghieri

Via Roma 7, Carrara (MS)

340.8330858

berlinghieri.m@gmail.com

linkedin.com/in/marco-berlinghieri/

01375150453

BRLMRC90A17A479Q



P.I.

C.F.

Regione Toscana

Comune di Carrara (MS)

## Relazione geomeccanica di stabilità

Cava di marmo n.147 "Querciola" – Bacino di Colonnata

Ditta:

Mega Stone Factory s.r.l.

Via Argine destro Carrione, 25

54033 Carrara (MS)

Protocollo:	File:	Formato:	Totale pagine:	Il Tecnico:
0216/AB05/24	Relazione geomeccanica di stabilità.doc	Fronte retro A4	32	Ing. Marco Berlinghieri
Allegati:	A: Valutazione dell'azione sismica B: Caratteristiche tecniche elementi di rinforzo per il consolidamento			

Revisione:	Data:	Descrizione:
0	Novembre 2024	Prima emissione
1		
2		

A termine di legge si riserva la proprietà di questo elaborato con la proibizione di riprodurlo o trasferirlo a terzi senza autorizzazione scritta.

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 2 di 32

## Sommario

1.	Premessa.....	3
2.	Rilievo geomeccanico .....	3
3.	Caratterizzazione geotecnica dell'ammasso roccioso.....	6
	a) Classificazione mediante RMR .....	6
	b) Determinazione dei parametri di resistenza e deformabilità per l'ammasso roccioso.....	6
	c) Parametri geomeccanici di progetto.....	7
4.	Analisi della stabilità.....	10
5.	Situazione allo stato attuale e in progetto .....	19
6.	Strumentazione di monitoraggio geostrutturale.....	24
7.	Conclusioni .....	25
	Allegato A - Valutazione dell'azione sismica.....	26
	Allegato B - Caratteristiche tecniche elementi di rinforzo per il consolidamento .....	30

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 3 di 32

## 1. Premessa

Il presente elaborato è parte integrante del progetto di escavazione, redatto per la cava n° 147 "Querciola", che risulta essere la logica prosecuzione di quanto sino ad oggi autorizzato, prevedendo un raccordo delle lavorazioni a confine con le cave limitrofe n.150 "Fossaficola A", in modo tale che esse possano proseguire le lavorazioni come da loro piano di coltivazione recentemente autorizzato.

L'attività estrattiva condotta presso la cava nel tempo ha comportato l'abbattimento della linea di cresta che univa il M.te Serrone a Nord, al M.te Campanili a Sud, determinando uno sviluppo prevalente della cava in direzione Est-Ovest.

L'analisi di stabilità è stata condotta andando a determinare e verificare i possibili fenomeni di instabilità che si potrebbero venire a creare lungo i fronti di progetto.

I rilievi geomeccanici necessari per la redazione dell'elaborato sono stati eseguiti direttamente nei settori interessati, eseguendo l'aggiornamento della carta delle fratture, redatta con lo scopo di mappare le principali strutture nell'area di cava.

I dati sperimentali raccolti nei rilievi sono stati confrontati con quelli presenti in bibliografia o raccolti durante passate campagne di indagine presso la cava.

## 2. Rilievo geomeccanico

Sono stati redatti specifici rilievi, condotti nell'inverno 2023, finalizzati alla raccolta dei dati sperimentali utili per la caratterizzazione geomeccanica dell'area estrattiva. L'insieme dei dati sperimentali raccolti, analizzati con senso critico sono serviti a condurre le considerazioni del caso.

I dati ricavati sono stati trattati statisticamente ed esaminati mediante lo stereogramma di Schmidt per valutare le principali famiglie di discontinuità che interessano il versante.

Dopo aver definito i parametri geometrici dell'ammasso roccioso si sono valutate le caratteristiche geomeccaniche, e le resistenze mobilitabili sui giunti.

Sono stati raccolti dati sperimentali mediante saggi condotti mediante il pettine di Barton e martello di Schmidt, su alcune discontinuità individuate durante il rilievo e ritenute più importanti da un punto di vista statico. È stata inoltre valutato l'indice di resistenza mediante alcune prove di punzonamento (point load test) su alcuni campioni di dimensione irregolare raccolti.

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 4 di 32

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

$$\log(JCS) = 8,8 \cdot 10^{-4} \cdot \gamma \cdot R + 1,01 \quad (1)$$

Nella figura seguente si riporta lo stereogramma di Schmidt relativo alle discontinuità rilevate durante gli stendimenti geostrutturali.

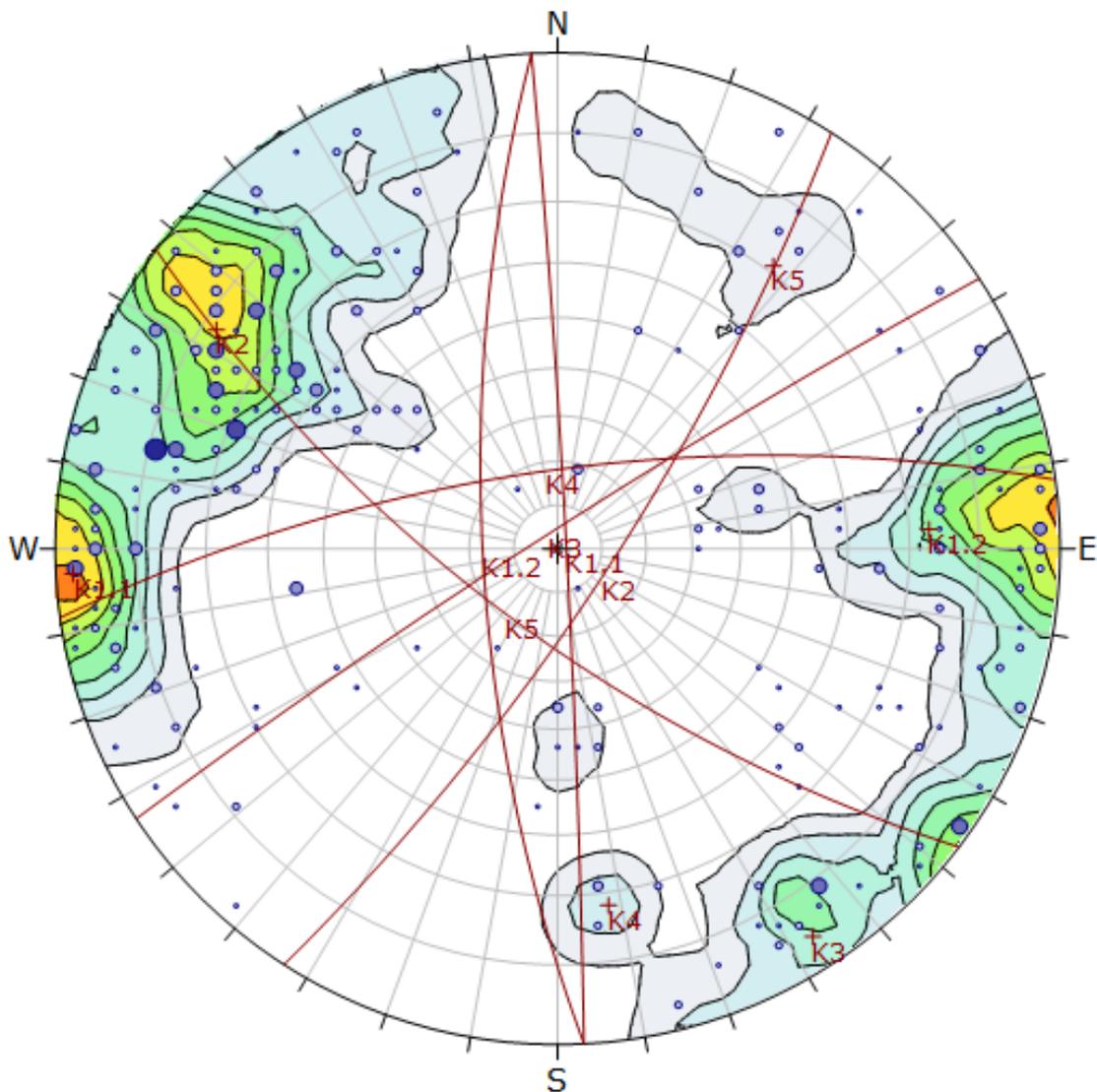


Figura 1 - stereogramma di Schmidt con rappresentazione dei poli delle giaciture rilevate mediante curve isodensità e sovrapposizione delle principali famiglie di discontinuità

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 5 di 32

Le fratture più frequenti risultano essere quelle orientate verso NordOvest e verso Est, chiamate rispettivamente K1.1 e K2.

In numero minore risultano le discontinuità orientate mediamente SudEst, famiglia K3 e alcune discontinuità più a basso angolo orientate verso Sud e NordEst, chiamate rispettivamente K4 e K5.

L'elaborazione dei dati riguardanti la giacitura delle discontinuità ha permesso di individuare la densità di frequenza per ogni famiglia di discontinuità, questa è riassunta nella seguente tabella.

*Tabella 1 - giacitura delle famiglie individuate*

Famiglia di discontinuità	Dip [°]	Dip Dir [°]	f [%]
K1.1	88	087	17,7
K1.2	73	267	10,1
K2	78	123	31,0
K3	86	327	6,3
K4	72	352	2,9
K5	71	217	3,4

I parametri geomeccanici caratteristici delle discontinuità che valutati per le singole famiglie di discontinuità sono stati riassunti nella seguente tabella, dove viene riportata spaziatura, continuità, scabrezza, resistenza di parete, apertura, riempimento e presenza d'acqua.

*Tabella 2 – parametri geomeccanici caratteristici delle individuate*

Famiglia di discontinuità	Spaziatura	Continuità	Scabrezza [JRC]	Resistenza di parete [JCS]	Apertura	Riempimento	Presenza d' acqua
K1.1	0,6-2 m	> 20 m	4-6	48	1-5 mm	Mat. Alterato	-
K1.2	> 20 m	10-20 m	6-8	44	1-5 mm	Mat. Alterato	-

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 6 di 32

K2	0,6-2 m	> 20 m	6-8	48	1-5 mm	-	-
K3	2-6 m	10-20 m	4-6	40	1-5 mm	-	-
K4	6-10 m	3-10 m	6-8	44	1-5 mm	-	-
K5	6-10 m	3-10 m	6-8	44	0-1 mm	-	-

### 3. Caratterizzazione geotecnica dell'ammasso roccioso

Sulla base dei risultati raccolti dai rilievi geostrutturali, si procede alla determinazione dell'indice di classificazione RMR, che rappresenta una stima quantitativa dei parametri che caratterizzano l'ammasso roccioso presente nel versante.

La classificazione è stata fatta applicando formule empiriche che permettono la valutazione dei parametri di resistenza in relazione al valore di alcuni indici di qualità.

#### a) Classificazione mediante RMR

Il metodo RMR, introdotto da Bieniawski (1973), prevede la definizione di sei parametri:

P1 – resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;

P2 – recupero percentuale modificato RQD;

P3 – spaziatura delle discontinuità;

P4 – condizioni delle discontinuità;

P6 – orientazione delle discontinuità in rapporto alla direzione di scavo.

La somma degli indici associati ai primi cinque parametri fornisce il valore del cosiddetto RMR "di base", caratteristico dell'ammasso analizzato. Al valore dell'RMR di base viene poi sottratto un punteggio legato alla valutazione dell'influenza della giacitura dei sistemi di discontinuità principali sull'opera per la quale si esegue la classificazione.

#### b) Determinazione dei parametri di resistenza e deformabilità per l'ammasso roccioso

Mediante l'ausilio del codice di calcolo Rocdata (Rocscience, 1991), che consente di interpolare direttamente i dati sperimentali e valori presenti in letteratura con il metodo della regressione lineare o della riflessione semplice, si sono stimati i parametri di resistenza caratteristici della roccia secondo i criteri di Hoek – Brown ( $\sigma_{ci}$ ,  $m_i$  e  $\sigma_t$ ) e di Mohr – Coulomb ( $c$  e  $\phi$ ). I risultati ottenuti sono riportati di seguito.

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 7 di 32

Tabella 3. Valutazione dei parametri per l'indice RMR

P <sub>1</sub>	Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta ( $\sigma_{ci}$ ) in MPa	100-200	
	Coefficiente numerico	12	
P <sub>2</sub>	Recupero percentuale modificato (RQD)	75-90	
	Coefficiente numerico	15	
P <sub>3</sub>	Spaziatura delle discontinuità	0,6-2 m	
	Coefficiente numerico	15	
P <sub>4</sub>	Condizioni delle discontinuità	Continua	10-20 m
			1
		Aperta	1 - 5 mm
			1
		Scabrezza	Poco scabri
		3	
	Riempimento	Duro	
		4	
	Alterazione	Debolmente alterati	
		5	
P <sub>5</sub>	Venute d'acqua	Nessuna venuta d'acqua	
	Coefficiente numerico	15	
P <sub>6</sub>	Orientazione delle discontinuità	Direzione parallela all'asse della galleria	
	Coefficiente numerico	-5	
<i>RMR</i>		66	

In relazione al valore di RMR ottenuto, l'ammasso roccioso viene suddiviso in cinque classi di qualità come indicato nella seguente tabella.

Tabella 4. Classi di qualità dell'ammasso roccioso in base all'indice RMR

Classi	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottima	Buona	Discreta	Scadente	Molto scadente
RMR	81 - 100	61 - 80	41 - 60	21 - 40	< 20

Otteniamo un valore di RMR pari a 66 che ci fornisce una qualità della roccia "Buona – Classe II".

### c) Parametri geomeccanici di progetto

I dati raccolti nella campagna di caratterizzazione dell'ammasso roccioso hanno permesso di stimare i seguenti parametri geomeccanici:

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 8 di 32

Tabella 5 - Parametri di deformabilità e resistenza della roccia intatta

Resistenza a compressione $\sigma_{ci}$ (MPa)	GSI (-)	Parametro resistenza $m_i$ (-)	Fattore disturbo D (-)
100	61	8	0

Per quanto riguarda l'ammasso roccioso ammasso si sono stimati i seguenti parametri geomeccanici:

Tabella 6 - Parametri di deformabilità e resistenza dell'ammasso roccioso

Hoek-Brown Criterion			Mohr-Coulomb Fit		Rock Mass Parameters			
$m_b$ (-)	S (-)	A (-)	c (MPa)	$\varphi$ (°)	E (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	$\sigma_t$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)
1.987	0.0131	0.503	1.732	53.37	32276	11.325	-0.661	20.325

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

$$\tau = \sigma \tan \left[ JRC \cdot \log_{10} \left( \frac{JCS}{\sigma} \right) + \varphi_b \right] \quad (2)$$

dove  $\tau$  è la resistenza di taglio (valore di picco),  $\sigma$  lo sforzo normale,  $JRC$  il coefficiente di scabrezza,  $JCS$  la resistenza a compressione sulla parete del giunto e  $\varphi_b$  l'angolo di attrito di base. I parametri caratteristici utilizzati sono i seguenti:

Tabella 7 - Parametri di deformabilità e resistenza delle superfici di discontinuità

Peso specifico materiale Uwr [t/m3]	Resistenza a compressione sulla parete del giunto JCS [t/m2]	Coefficiente di scabrezza JRC [-]	Angolo di attrito di base $\varphi_b$ [°]
2,70	11624	4	32,5

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 9 di 32

### Major and Minor Principal Stresses

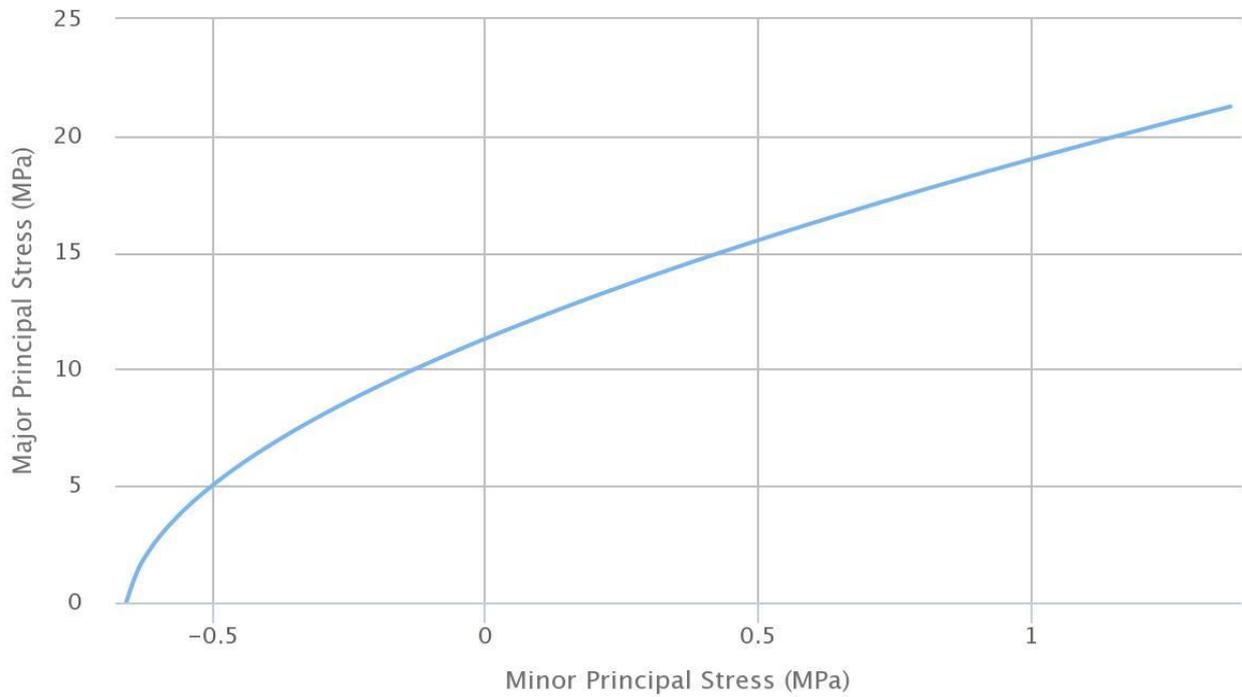


Figura 2 – analisi della resistenza dell’ammasso roccioso – grafico sforzo massimo e minimo criterio di rottura Hoek e Brown

### Shear and Normal Stresses

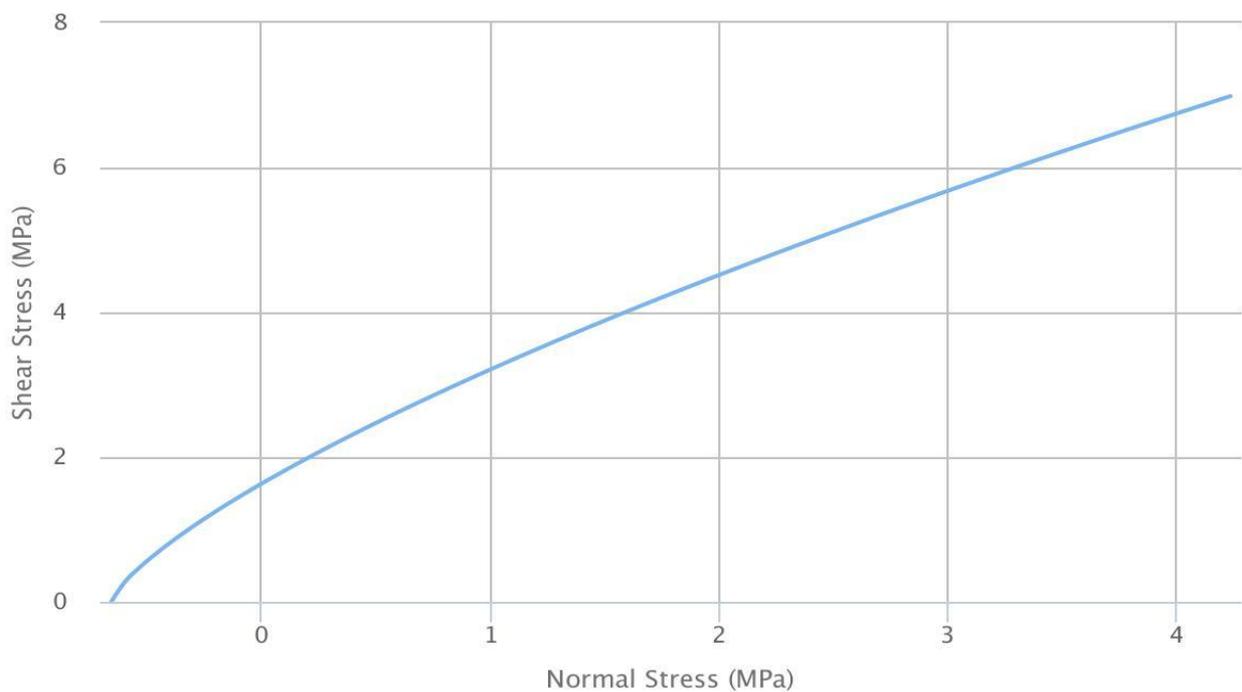


Figura 3 – analisi della resistenza dell’ammasso roccioso – grafico sforzo di taglio e tangenziale criterio di rottura Mohr-Coulomb

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 10 di 32

#### 4. Analisi della stabilità

In seguito alla valutazione dei parametri geometrici e geomeccanici del contesto in esame si riporta nel presente capitolo la descrizione dell'analisi di stabilità condotta nel sito in esame.

Si fa riferimento in questo elaborato alle recenti disposizioni imposte dal Legislatore che prevedono l'applicazione delle "norme tecniche per le costruzioni", nelle quali un capitolo è dedicato alla progettazione geotecnica. Tali disposizioni definiscono l'uso di un metodo semi-probabilistico per la definizione del fattore di sicurezza.

Come noto, tale normativa recepisce i criteri di progettazione contenuti negli Eurocodici e sostanzialmente si basa sull'applicazione del concetto di "stato limite" e non più di "tensione ammissibile".

Le equazioni corrispondenti alla metodologia di calcolo introdotta sono:

$$E_d \leq R_d \quad (3)$$

dove

$$E_d = E \left( \gamma_F \cdot F_K; \frac{X_K}{\gamma_m}; a_d \right) \quad (4)$$

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

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

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left( \gamma_F \cdot F_K; \frac{X_K}{\gamma_R}; a_d \right) \quad (5)$$

dove in questo caso  $\gamma_R$  è un coefficiente di riduzione del parametro.

Il suddetto metodo è anche detto "dei coefficienti parziali"; i relativi indici sono riportati nelle tabelle di seguito. Tali indici sono riduttivi o maggiorativi a seconda dell'azione presa in considerazione. Questi coefficienti vanno in pratica a "coprire" parte delle incertezze sul modello e sui parametri sperimentali adottati durante il calcolo. Di seguito si riportano le tabelle contenenti i coefficienti maggiorativi, presenti nelle NTC'18.

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 11 di 32

Tabella 8 - coefficienti parziali per le azioni

	Effetto	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti $G_1$	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti $G_2^{(4)}$	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

<sup>(4)</sup> Per i carichi permanenti  $G_2$  si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti  $\gamma_{G1}$

Tabella 9 - coefficienti parziali per le resistenze (in questo caso parametri geotecnici o geomeccanici)

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

Pertanto, dopo aver opportunamente corretto i carichi o i parametri di resistenza dall'equazione 4 oppure 5, si evince l'espressione del F.S., che sarà espresso come segue:

$$F_s \geq 1 \quad (6)$$

Il metodo di calcolo appena descritto e più cautelativo di quello basato sul metodo delle tensioni ammissibili.

Per tale motivo si vuole procedere alla verifica di stabilità di alcune porzioni di roccia potenzialmente rimuovibili e valutarne la condizione statica nelle condizioni di Stato Limite Ultimo (SLU), tenendo conto anche degli effetti dinamici dovuti all'eventuale azione di un sisma. Questi ultimi parametri sono stati desunti dalla specifica normativa e riportati in allegato.

La valutazione dei possibili cinematismi è stata condotta individuando dapprima la configurazione della fratturazione naturale dell'ammasso roccioso e successivamente esaminando l'interferenza di queste sulla geometria dei fronti esistenti.

In base al metodo di calcolo denominato del blocco chiave, sviluppata da Goodman e Shi (1985), quali potrebbero essere le tipologie di cinematismi generabili dalla intersezione tra

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 12 di 32

le famiglie di discontinuità desunte dall'analisi statistica e i fronti artificiali generati dalla coltivazione del giacimento. Dopodiché valuteremo singolarmente le condizioni di quei cunei ritenuti potenzialmente rimuovibili dalla loro sede in base ai sopralluoghi congiunti tra il Direttore Responsabile e il personale sorvegliante.

La figura 2 mostra un dettaglio della planimetria della cava, dalla quale si può evincere la geometria ricorrente dei fronti di coltivazione F1, F2, F3 e F4.

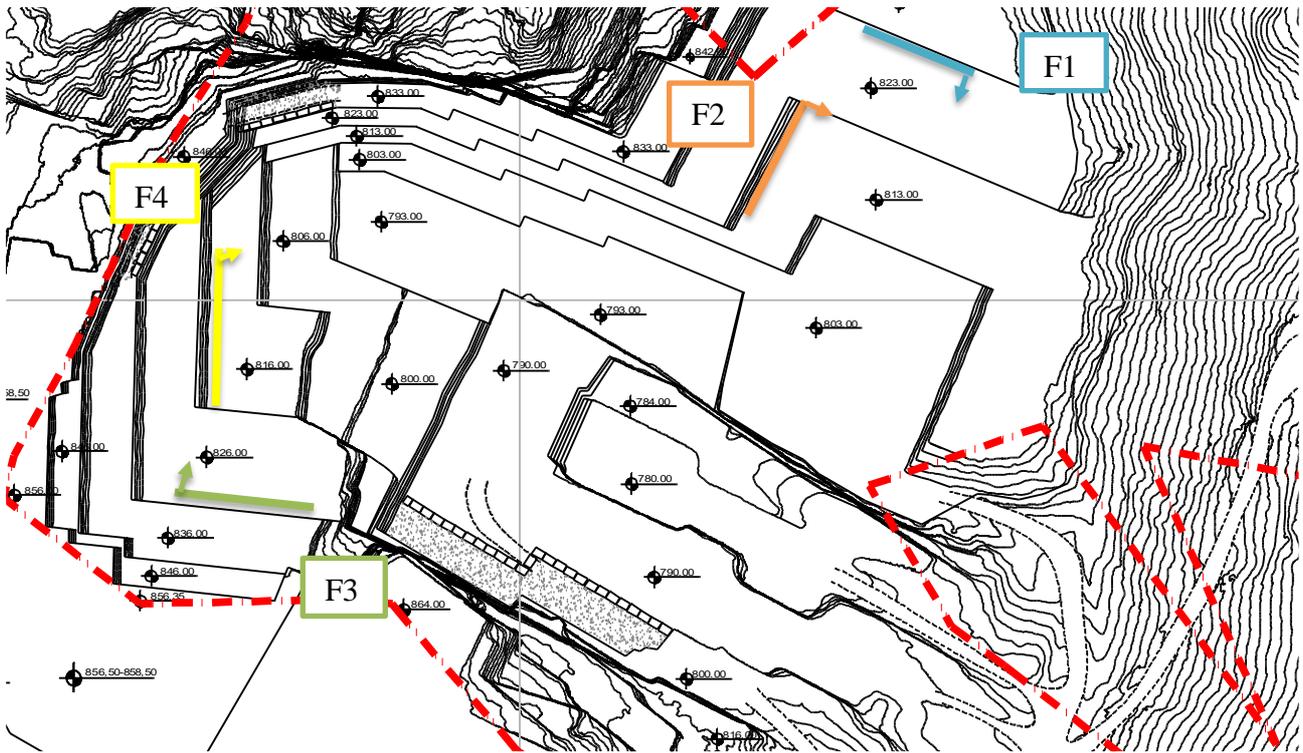


Figura 4 – stralcio della planimetria in progetto della cava n.147 "Querciola", con in evidenza i fronti di coltivazione ricorrenti nella coltivazione (F1: azzurro, F2: arancione, F3: verde, F4: giallo)

Dai fronti analizzati risultano essere quattro le direzioni principali di avanzamento, così come riassunto in tabella:

Tabella 10 - orientazione fronti di avanzamento principali

	F 1	F 2	F 3	F 4
DIP DIR [°]	203°	118°	186°	092°
DIP [°]	90°	75°	90°	85°

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 13 di 32

Nelle figure seguenti si riportano gli stereogrammi dei cinematismi individuati sui fronti F1, F2, F3 e F4.

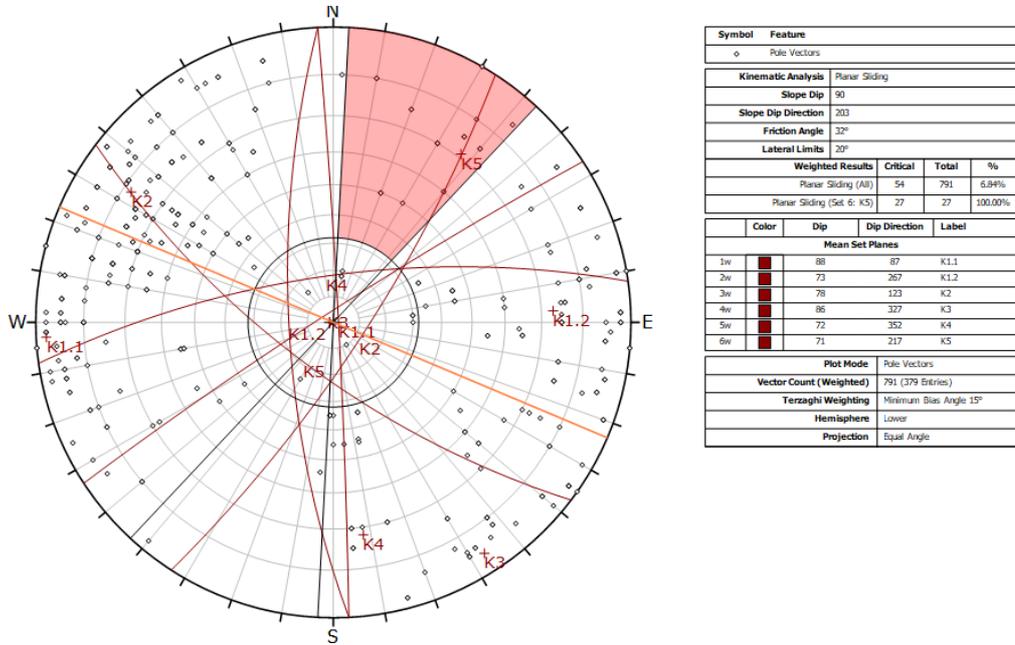


Figura 5 - valutazione della suscettibilità allo scivolamento su un piano lungo la direzione 203°/90°

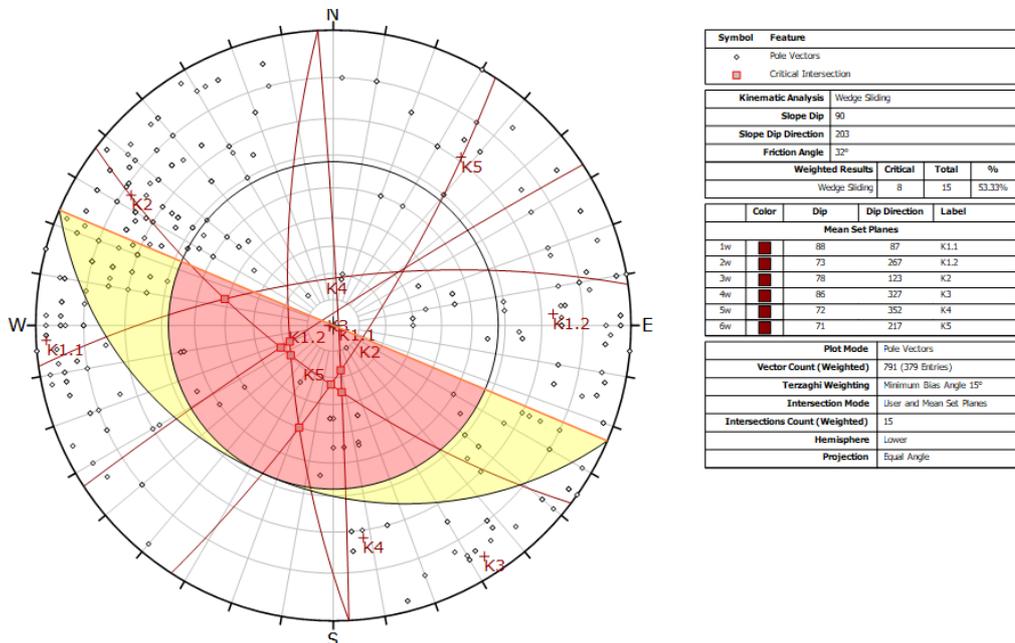
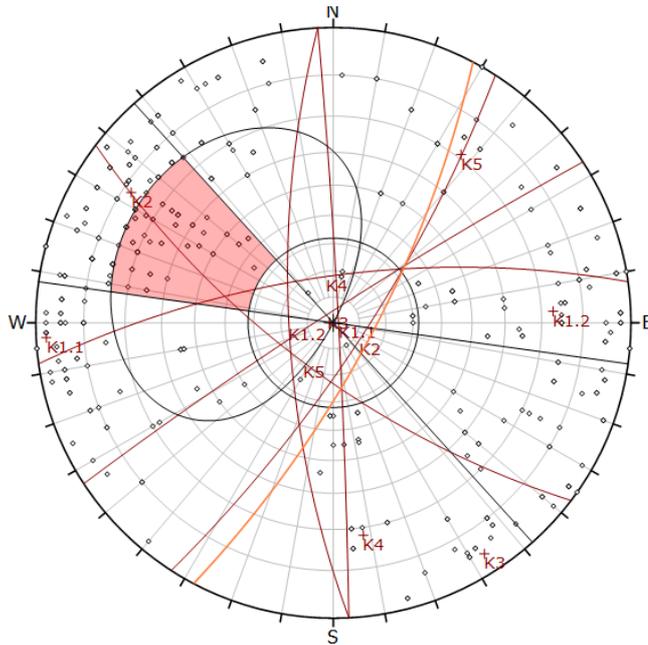


Figura 6 - valutazione della suscettibilità allo scivolamento su due piani lungo la direzione 203°/90°

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 14 di 32



Symbol	Feature
o	Pole Vectors

Kinematic Analysis	
	Planar Sliding
Slope Dip	75
Slope Dip Direction	118
Friction Angle	32°
Lateral Limits	20°

Weighted Results			
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	91	791	11.53%
Planar Sliding (Set 3: K2)	65	245	26.53%

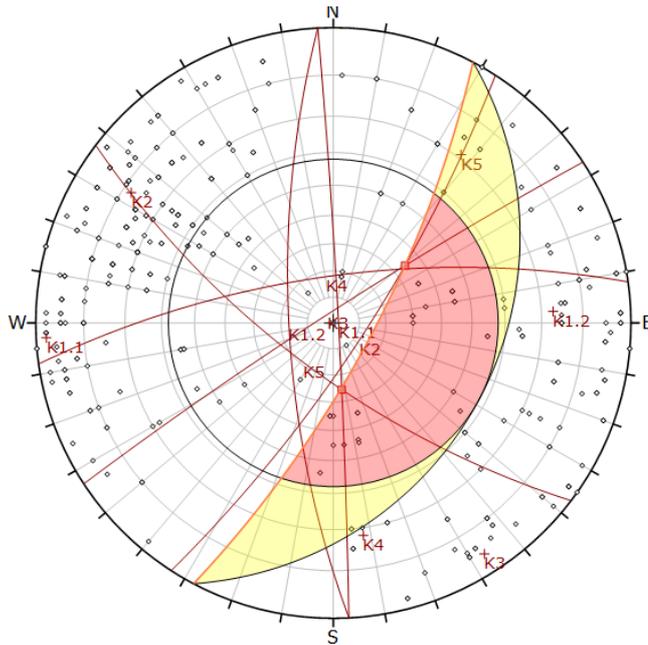
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	88	87	K1.1
2w	73	267	K1.2
3w	78	123	K2
4w	86	327	K3
5w	72	352	K4
6w	71	217	K5

Plot Mode	
	Pole Vectors
Vector Count (Weighted)	791 (379 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Figura 7 - valutazione della suscettibilità allo scivolamento su un piano lungo la direzione 118°/75°



Symbol	Feature
o	Pole Vectors
□	Critical Intersection

Kinematic Analysis	
	Wedge Sliding
Slope Dip	75
Slope Dip Direction	118
Friction Angle	32°

Weighted Results			
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	2	15	13.33%

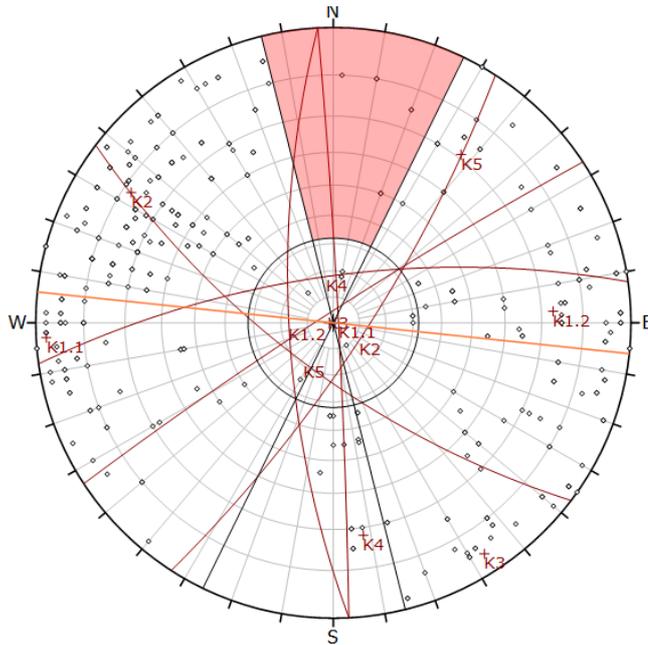
Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	88	87	K1.1
2w	73	267	K1.2
3w	78	123	K2
4w	86	327	K3
5w	72	352	K4
6w	71	217	K5

Plot Mode	
	Pole Vectors
Vector Count (Weighted)	791 (379 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Intersection Mode	User and Mean Set Planes
Intersections Count (Weighted)	15
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Figura 8 - valutazione della suscettibilità allo scivolamento su due piani lungo la direzione 118°/75°

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 15 di 32



Symbol	Feature
○	Pole Vectors

Kinematic Analysis		Planar Sliding	
Slope Dip	90		
Slope Dip Direction	186		
Friction Angle	32°		
Lateral Limits	20°		
Weighted Results		Critical	Total
Planar Sliding (All)		24	791
			3.05%

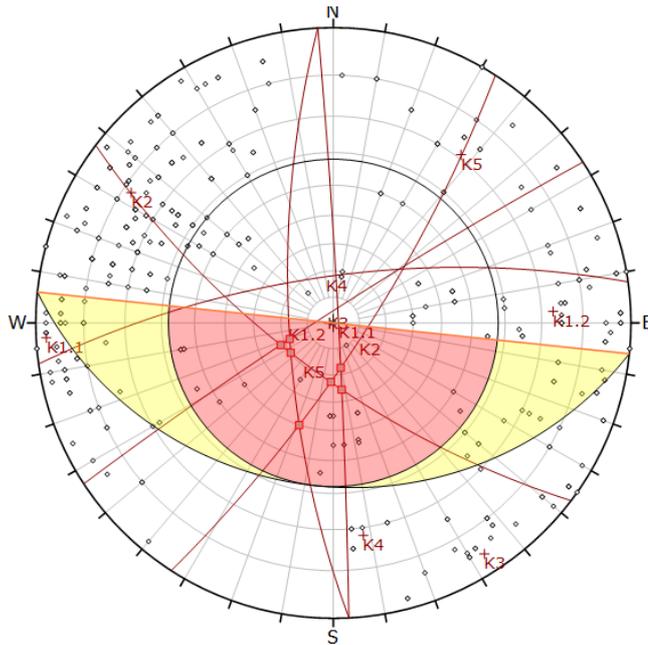
  

Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	88	67	K1.1
2w	73	267	K1.2
3w	78	123	K2
4w	86	327	K3
5w	72	352	K4
6w	71	217	K5

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count (Weighted)	791 (379 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Figura 9 - valutazione della suscettibilità allo scivolamento su un piano lungo la direzione 186°/90°



Symbol	Feature
○	Pole Vectors
□	Critical Intersection

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	90		
Slope Dip Direction	186		
Friction Angle	32°		
Weighted Results		Critical	Total
Wedge Sliding		7	15
			46.67%

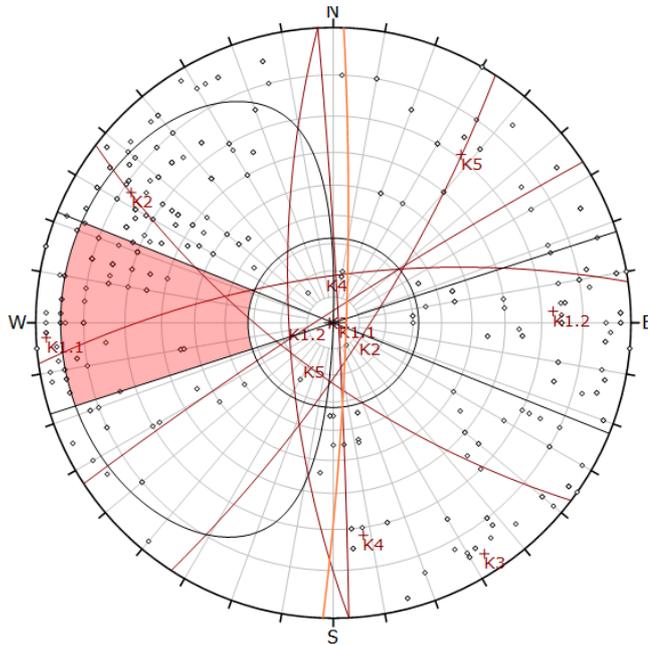
Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	88	67	K1.1
2w	73	267	K1.2
3w	78	123	K2
4w	86	327	K3
5w	72	352	K4
6w	71	217	K5

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count (Weighted)	791 (379 Entries)
Terzaghi Weighting	Minimum Bias Angle 15°
Intersection Mode	User and Mean Set Planes
Intersections Count (Weighted)	15
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

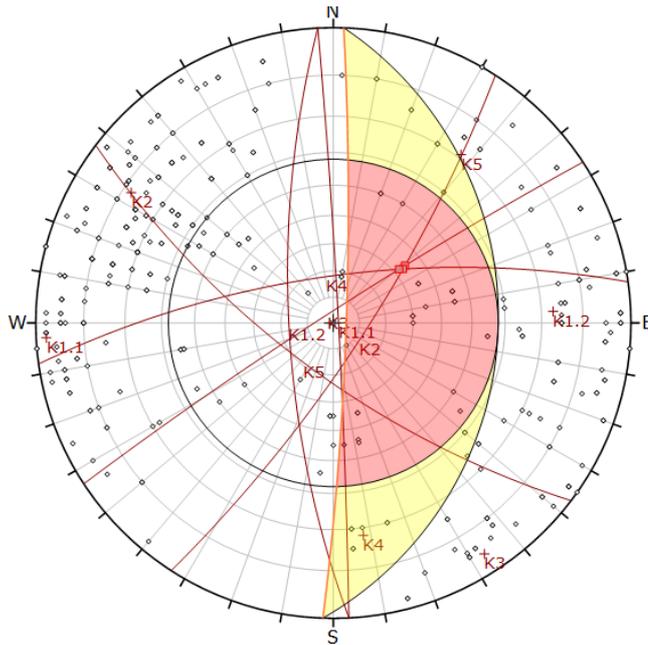
Figura 10 - valutazione della suscettibilità allo scivolamento su due piani lungo la direzione 186°/90°

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 16 di 32



Symbol	Feature		
o	Pole Vectors		
<b>Kinematic Analysis</b> Planar Sliding			
Slope Dip	85		
Slope Dip Direction	92		
Friction Angle	32°		
Lateral Limits	20°		
<b>Weighted Results</b>			
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	76	791	9.60%
Planar Sliding (Set 1: K1.1)	27	135	20.30%
Planar Sliding (Set 3: K2)	39	245	16.12%
<b>Mean Set Planes</b>			
Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	88	87	K1.1
2w	73	267	K1.2
3w	78	123	K2
4w	86	327	K3
5w	72	352	K4
6w	71	217	K5
<b>Plot Mode</b>		Pole Vectors	
<b>Vector Count (Weighted)</b>		791 (379 Entries)	
<b>Terzaghi Weighting</b>		Minimum Bias Angle 15°	
<b>Hemisphere</b>		Lower	
<b>Projection</b>		Equal Angle	

Figura 11 - valutazione della suscettibilità allo scivolamento su un piano lungo la direzione 092°/85°



Symbol	Feature		
o	Pole Vectors		
■	Critical Intersection		
<b>Kinematic Analysis</b> Wedge Sliding			
Slope Dip	85		
Slope Dip Direction	92		
Friction Angle	32°		
<b>Weighted Results</b>			
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	3	15	20.00%
<b>Mean Set Planes</b>			
Color	Dip	Dip Direction	Label
Mean Set Planes			
1w	88	87	K1.1
2w	73	267	K1.2
3w	78	123	K2
4w	86	327	K3
5w	72	352	K4
6w	71	217	K5
<b>Plot Mode</b>		Pole Vectors	
<b>Vector Count (Weighted)</b>		791 (379 Entries)	
<b>Terzaghi Weighting</b>		Minimum Bias Angle 15°	
<b>Intersection Mode</b>		User and Mean Set Planes	
<b>Intersections Count (Weighted)</b>		15	
<b>Hemisphere</b>		Lower	
<b>Projection</b>		Equal Angle	

Figura 12 - valutazione della suscettibilità allo scivolamento su due piani lungo la direzione 092°/85°

I risultati dell'analisi secondo la teoria dei blocchi (Goodman & Shi, 1985) sono stati riassunti nella seguente tabella, che riepiloga i cinematismi individuati, per ogni direzione analizzata:

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 17 di 32

Tabella 11 - risultato dell'analisi cinematica

<b>Fronte in esame</b>	<b>N° progressivo cinematisimo</b>	<b>Tipo di scivolamento</b>	<b>Piano/linea di scivolamento</b>
Fronte 1 (203°/90°)	01	Scivolamento su un piano	K <sub>5</sub>
	02	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.1</sub> /K <sub>2</sub>
	03	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.1</sub> /K <sub>5</sub>
	04	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.2</sub> /K <sub>2</sub>
	05	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.2</sub> /K <sub>3</sub>
	06	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.2</sub> /K <sub>5</sub>
	07	Lungo linea di intersezione	K <sub>2</sub> /K <sub>5</sub>
	08	Lungo linea di intersezione	K <sub>3</sub> /K <sub>5</sub>
	09	Lungo linea di intersezione	K <sub>4</sub> /K <sub>5</sub>
Fronte 2 (118°/75°)	10	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.1</sub> /K <sub>5</sub>
	11	Lungo linea di intersezione	K <sub>2</sub> /K <sub>3</sub>
Fronte 3 (186°/90°)	12	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.1</sub> /K <sub>2</sub>
	13	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.1</sub> /K <sub>5</sub>
	14	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.2</sub> /K <sub>2</sub>
	15	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.2</sub> /K <sub>3</sub>
	16	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.2</sub> /K <sub>5</sub>
	17	Lungo linea di intersezione	K <sub>2</sub> /K <sub>5</sub>
	18	Lungo linea di intersezione	K <sub>2</sub> /K <sub>5</sub>
Fronte 4 (092°/85°)	19	Lungo linea di intersezione	K <sub>2</sub> /K <sub>3</sub>
	20	Lungo linea di intersezione	K <sub>2</sub> /K <sub>4</sub>
	21	Lungo linea di intersezione	K <sub>3</sub> /K <sub>4</sub>

si andrà di seguito a valutare il F.S. sui cinematismi riportati in tabella 11 mediante uno specifico software di analisi tridimensionale di cinematismi, basato sull'equilibrio limite ma in grado di considerare le azioni di un sisma e la componente coesiva sulle discontinuità generanti un blocco.

Nella tabella 12 si indicano per ciascun cinematisimo individuato i rispettivi fattori di sicurezza calcolati mediante la modellazione 3D dei blocchi e tenendo in conto della azione sismica che agisce sugli stessi.

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 18 di 32

Tabella 12 - risultato dell'analisi cinematica

<b>Fronte in esame</b>	<b>N°</b>	<b>Tipo di scivolamento</b>	<b>Piano/linea di scivolamento</b>	<b>F.S.</b>	<b>Consolidamenti necessari</b>
Fronte 1 (203°/90°)	01	Scivolamento su un piano	K <sub>5</sub>	1,70*	n.1/ml Φ:32mm l:6m
	02	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.1</sub> /K <sub>2</sub>	2,45	-
	03	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.1</sub> /K <sub>5</sub>	1,51*	n.1 Φ:32mm l:6m
	04	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.2</sub> /K <sub>2</sub>	2,02	-
	05	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.2</sub> /K <sub>3</sub>	1,74	-
	06	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.2</sub> /K <sub>5</sub>	1,56*	n.2 Φ:32mm l:6m
	07	Lungo linea di intersezione	K <sub>2</sub> /K <sub>5</sub>	1,54*	n.3 Φ:32mm l:6m
	08	Lungo linea di intersezione	K <sub>3</sub> /K <sub>5</sub>	1,65*	n.3 Φ:32mm l:6m
	09	Lungo linea di intersezione	K <sub>4</sub> /K <sub>5</sub>	2,17*	n.1 Φ:32mm l:3m
Fronte 2 (118°/75°)	10	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.1</sub> /K <sub>5</sub>	>10**	-
	11	Lungo linea di intersezione	K <sub>2</sub> /K <sub>3</sub>	>10**	-
Fronte 3 (186°/90°)	12	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.1</sub> /K <sub>2</sub>	2,21	-
	13	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.1</sub> /K <sub>5</sub>	1,92*	n.1 Φ:32mm l:3m
	14	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.2</sub> /K <sub>2</sub>	2,03	-
	15	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.2</sub> /K <sub>3</sub>	2,38	-
	16	Lungo linea di intersezione	K <sub>1.2</sub> /K <sub>5</sub>	2,33*	n.1 Φ:32mm l:3m
	17	Lungo linea di intersezione	K <sub>2</sub> /K <sub>5</sub>	2,75*	n.2 Φ:32mm l:3m
	18	Lungo linea di intersezione	K <sub>2</sub> /K <sub>5</sub>	1,76*	n.1 Φ:32mm l:3m
Fronte 4 (092°/85°)	19	Lungo linea di intersezione	K <sub>2</sub> /K <sub>3</sub>	3,00	-
	20	Lungo linea di intersezione	K <sub>2</sub> /K <sub>4</sub>	1,69	-
	21	Lungo linea di intersezione	K <sub>3</sub> /K <sub>4</sub>	3,42	-

\* Fattore di sicurezza atteso dopo l'installazione dei sistemi di consolidamenti prescritti

\*\* Cuneo particolarmente snello e di ridotte dimensioni, provvedere al disaggio

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 19 di 32

I risultati della tabella sopra riportata sono indicati sotto forma di fattore di sicurezza cioè del rapporto tra la forza resistente e quella mobilitante. Proprio sulla base di questa definizione si possono considerare accettabili e in grado di soddisfare i criteri di sicurezza imposti dalla attuale Normativa tecnica e i vigenti termini di Legge.

Le verifiche sono state svolte ipotizzando un'altezza della bancata di 10 m, per i cinematismi sviluppabili a vasta scala si rimanda alle verifiche condotte in fase autorizzativa del piano di coltivazione.

Nel caso il Direttore Responsabile e o il Sorvegliante, durante le operazioni di valutazione deterministica del cinematismo, riscontrassero che il cuneo di roccia presenti dimensioni da quelle ipotizzate, l'analisi dovrà essere verificata ed eventualmente adattata.

## 5. Situazione allo stato attuale e in progetto

Per meglio comprendere i possibili fenomeni di instabilità a grande scala, le principali fratture presenti nei due cantieri interessati dal progetto, sono stata mappate e rappresentate nella tavola n.8 "Tav.8 - Carta delle fratture e sezioni strutturali", e riportate su una vista panoramica dei due cantieri oggetto del presente piano di coltivazione.

L'attività estrattiva condotta nel tempo ha comportato l'abbattimento della linea di cresta che univa il M.te Serrone a Nord, al M.te Campanili a Sud, determinando uno sviluppo prevalente della cava in direzione Est-Ovest.

È stata ipotizzata a progetto un'altezza dei gradoni di 10 m, in modo da poter effettuare tagli di avanzamento al monte con altezza di circa 9,60 m e profondità 3,40 m, garantendo una tolleranza al fine di evitare possibili sfori. Le valutazioni effettuate in fase progettuale hanno tenuto conto che:

- in avanzamento, per il piazzale sottostante, utilizzato per il ribaltamento della bancata, sarà garantita una dimensione di almeno 25 m;
- il ribaltamento delle porzioni sezionate viene effettuato dalla parte superiore della bancata, utilizzando mezzi adeguati;
- sono presenti operatori di cava formati per eventuali operazioni di consolidamento/disgaggio;
- i tagli con la macchina a filo vengono normalmente eseguiti dall'alto, proteggendo in maniera adeguata il piazzale retrostante alla macchina e al circuito di taglio.

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 20 di 32

Il cantiere "superiore" si è sviluppato nel corso degli ultimi anni, ed è il risultato dell'allargamento del diaframma formatosi dalle coltivazioni condotte nel passato fra la cima di Canal Grande e la cima Campanili.

Attualmente risultano in coltivazione i gradoni di quota 833 e 846 m slm, mentre quello a quota 856 m slm risulta quasi esaurito, il progetto prevede il proseguo della coltivazione e degli abbattimenti di bonifica attraverso l'asportazione di bancate di circa 10 m, alle quote di progetto 846 m slm, 836 m slm, 826 m slm, 816 m slm e 806 m slm. Tali gradoni verso NordOvest prevedono la riprofilatura del versante con l'espiazione di una o più discontinuità presenti, mentre verso Ovest e verso Sud, la gradonatura effettuata sarà rispettivamente di 12 m e 20 m, in modo da consentire la loro ripresa nel futuro.



Figura 13 - vista d'insieme della cava con riportate la traccia delle strutture principali (rosso: K1.1, giallo: K2, verde: K3)

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 21 di 32

È in corso l'attività di bonifica e messa in sicurezza dello "zucchetto sud" ubicato nelle aree a confine con la cava limitrofa, condotto con l'adiacente cava denominata "Fossaficola A". In merito alla porzione residuale dello "Zucchetto Sud", i progressivi abbassamenti di quota (rimozione di circa 14 m), permetteranno di ridurre il dislivello con il cantiere inferiore, con un incremento del grado di sicurezza globale. Si precisa che dopo ogni sbasso, con l'abbattimento della sponda residuale verrà svolta una verifica in parete della porzione residuale.



Figura 14 – vista dello "zucchetto sud", con riportate le strutture principali (rosso: k1.1, giallo: K2, verde: K3, azzurro K5)

La geometria residua del gradone a quota 846 m slm, nella porzione a confine con la cava n.150 "Fossaficola A", garantisce un raccordo con le geometrie finali attualmente autorizzate alla cava limitrofa.

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 22 di 32



Figura 15 - vista della porzione a confine con la cava n.150 "Fossaficola A" con riportate la traccia delle strutture principali (rosso: K1.1, arancione K1.2, giallo: K2, azzurro: K5)

Il cantiere "intermedio" è il risultato di una bonifica della parte superiore dello "zucchetto nord", iniziata alcuni anni fa. Si prevede che le coltivazioni procedano mediante abbassamenti di quota, garantendo la riprofilatura del versante con l'esplosione di una o più discontinuità presenti.

Attualmente risultano in coltivazione i gradoni di quota 847 m slm e 832 m slm, mentre quello a quota 855 m slm risulta esaurito, il progetto prevede il proseguo delle operazioni coltivazione, bonifica e messa in sicurezza di parte dello "zucchetto nord", attraverso l'asportazione di bancate di circa 10 m, alle quote di progetto 842 m slm, 833 m slm, 823 m slm, 813 m slm, 803 m slm e 793 m slm. Tali gradoni verso Ovest prevedono la riprofilatura del versante con l'esplosione di una o più discontinuità presenti, mentre verso Sud la gradonatura effettuata sarà di 25 m, in modo da consentire la loro ripresa nel futuro.

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 23 di 32

In merito allo "Zucchetto Nord", gran parte degli interventi di bonifica previsti nel precedente piano autorizzato non hanno visto applicazione, poiché risultò difficilmente raggiungibile la parte superiore da cui era previsto l'inizio della gradonatura per sbassi discendenti. Tuttavia negli anni sono stati condotti periodicamente, da una squadra di rocciatori e tecnici, interventi di bonifica localizzata, disaggio o l'eventuale consolidamento di tutte quelle porzioni ritenute potenzialmente instabili.

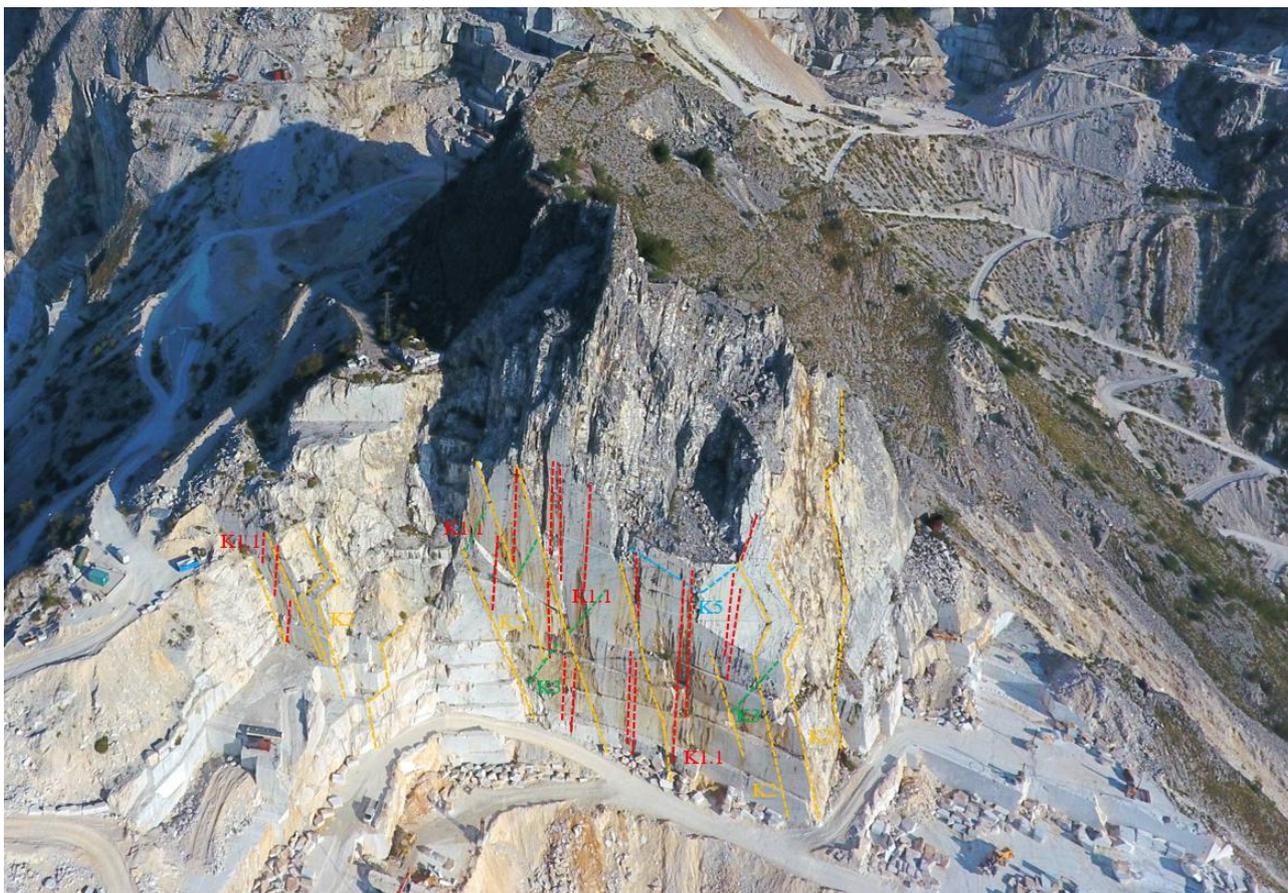


Figura 16 – vista aerea dello "zucchetto nord", con riportate le strutture principali (rosso: k1.1, giallo: K2, verde: K3, azzurro K5)

Il cantiere "inferiore" si è sviluppato nel corso degli ultimi anni, ed è il risultato degli sbassi discendenti condotti nel passato nella parte centrale della cava, che hanno raggiunto i gradoni di quota 779 m slm. In questo cantiere le lavorazioni risultano momentaneamente sospese, per permettere l'allargamento della cava e la riduzione dei dislivelli fra i diversi cantieri, il progetto non prevede attualmente lavorazioni.

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 24 di 32

## **6. Strumentazione di monitoraggio geostrutturale**

Il sistema di monitoraggio geostrutturale, è stato pensato in modo da poter controllare alcune porzioni di ammasso roccioso ritenute strutturalmente importanti. Le attività previste avranno lo scopo di misurare e controllare eventuali spostamenti delle porzioni più esterne poste a sud della tecchia che circoscrive a NO il cantiere "intermedio", e delimitate posteriormente da fratture appartenenti alla famiglia K2. Si ritiene che l'installazione di un estensimetro multibase in foro e di un clinometro biassiale, siano idonei a monitorare eventuali fenomeni di scivolamento planare e/o toppling.

Ulteriori valutazioni andranno condotte con il proseguo della coltivazione per valutare l'esigenza di installare ulteriori strumenti in posizioni ora non accessibili.

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 25 di 32

## 7. Conclusioni

Nel rapporto si descrive l'analisi geomeccanica di stabilità dei cantieri della cava n.147 "Querciola" oggetto del presente progetto di escavazione.

Per eseguire la valutazione tecnica sono stati condotti sopralluoghi congiunti tra il Direttore Responsabile e il personale sorvegliante, ed eseguiti dei rilievi geostrutturali volti alla determinazione delle caratteristiche principali dell'ammasso roccioso. Da tali rilievi, e dal successivo trattamento statistico dei dati, sono stati valutati i parametri geomeccanici attribuibili alle discontinuità presenti nell'ammasso in esame.

I dati utilizzati per le valutazioni analitiche sono stati trattati secondo la vigente Normativa tecnica, contenuta del D.M. 17/01/2018, che impone l'uso del metodo semi-probabilistico denominato "dei coefficienti parziali" che prevede l'uso del criterio di verifica agli stati limite. La verifica è stata condotta esaminando tutti i cinematismi ammissibili, cioè generabili dall'intersezione delle n famiglie di discontinuità riconosciute nell'ammasso roccioso con i fronti ricorrenti di avanzamento, escludendo dall'analisi quelli cinematicamente non ammissibili.

I calcoli sono stati eseguiti mediante un codice tridimensionale basato sul metodo dell'equilibrio limite in grado di considerare l'effetto sismico e la resistenza di coesione mobilitabile sui giunti.

Dove i cinematismi analizzati hanno mostrato un fattore di sicurezza insufficiente è stato proposto l'intervento necessario per ristabilire adeguate condizioni di sicurezza, laddove le valutazioni specifiche mostrassero caratteristiche differenti da quelle ipotizzate nell'analisi il Direttore Responsabile prevedrà una nuova verifica deterministica.

Sono in corso e proseguirà la bonifica dello "zucchetto sud" e dello "zucchetto nord", due porzioni di monte vergine che insisto sui cantieri della cava, continueranno le consuete e periodiche attività di verifica e disgiungimento della "tecchia", in modo da controllare l'eventuale mobilitazione di masse rocciose.

Ing. Marco Berlinghieri

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 26 di 32

Regione Toscana

Comune di Carrara (MS)

## Relazione geomeccanica di stabilità

Cava di marmo n.147 "Querciola" – Bacino di Colonnata

Ditta:	<u>Mega Stone Factory s.r.l.</u> Via Argine destro Carrione, 25 54033 Carrara (MS)
--------	--

**Allegato A - Valutazione dell'azione sismica**

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 27 di 32

Nell'analisi dei possibili cinematismi, come previsto dalle NTC '18, sono state tenute in considerazione le azioni sismiche, valutandole con metodi pseudostatici, cioè mediante i metodi dell'equilibrio limite (l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico).

I coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \cdot a_{max} / g \quad (7)$$

$$k_v = \pm 0,5 k_h \quad (8)$$

Ai fini dell'individuazione dell'azione sismica di progetto, utilizzando le seguenti tabelle (Tabella 3.2.II e Tabella 3.2.V NTC'18) è stata scelta la categoria di sottosuolo a cui riferirsi, e ricavati i coefficienti di amplificazione stratigrafica  $S_S$  e  $C_C$ , che per sottosuoli di categoria A valgono 1.

Tabella 13 - categorie di sottosuolo

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 28 di 32

Tabella 14 - espressioni di  $S_S$  e di  $C_C$

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

Nella valutazione del coefficiente di amplificazione topografica, si è adottata la classificazione proposta in normativa, che per la configurazione in esame  $S_S$  assume valore unitario (Tabella 3.2.IV e Tabella 3.2.VI NTC'18).

Tabella 15 - categorie topografiche

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

Tabella 16 - valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a $30^\circ$	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$	1,4

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

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 29 di 32

Tabella 17 - parametri sismici per il sito in esame, periodo di riferimento dell'azione sismica 50 anni

Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0,052	2,450	0,238
Danno (SLD)	50	0,065	2,460	0,255
Salvaguardia della vita (SLV)	475	0,165	2,396	0,287
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,211	2,383	0,293

L'accelerazione orizzontale massima al sito, è così ottenuta

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 1 \cdot 1,4 \cdot 0,165 = 2,266 \text{ m/s}^2$$

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

Tabella 18 - coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 < a_g \text{ (g)} \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g \text{ (g)} \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g \text{ (g)} \leq 0,1$	0,20	0,20

I coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  risultano quindi:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max}/g = 0,062 \text{ m/s}^2$$

$$k_v = \pm 0,5 k_h = \pm 0,031 \text{ m/s}^2$$

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 30 di 32

Regione Toscana

Comune di Carrara (MS)

## Relazione geomeccanica di stabilità

Cava di marmo n.147 "Querciola" – Bacino di Colonnata

Ditta:	<u>Mega Stone Factory s.r.l.</u> Via Argine destro Carrione, 25 54033 Carrara (MS)
--------	--

**Allegato B - Caratteristiche tecniche elementi di rinforzo per il consolidamento**

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 31 di 32

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

### Tiranti a barre DYWIDAG a filettatura continua

#### Concetto Base

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

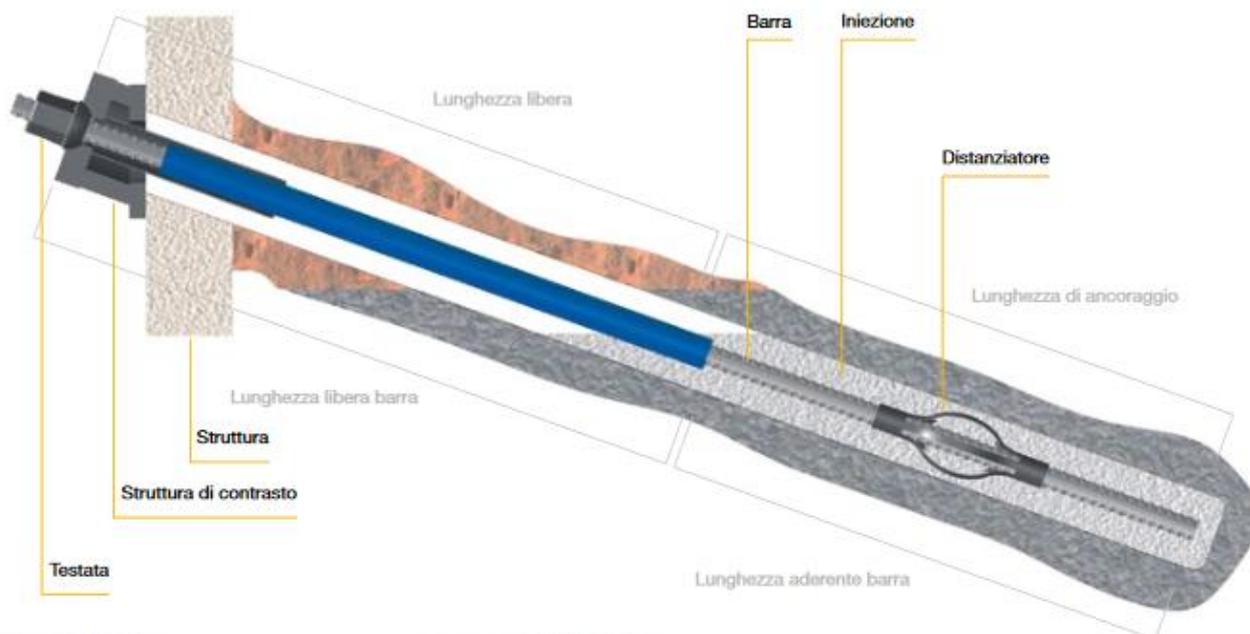
Per definizione un tirante si compone di tre parti principali:

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

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

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

#### Tirante a barre



#### Campi d'impiego

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

#### Caratteristiche chiave

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

Incarico: Piano di Coltivazione della cava n.147 "Querciola"	Documento: Relazione Geomeccanica di Stabilità	Redattore: Ing. Marco Berlinghieri
Committente: Mega Stone Factory s.r.l.	Prot.: 0216/AB05/24 Data: novembre 2024	Foglio: 32 di 32

### **Acciaio da precompressione DYWIDAG Y1050H**

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