

STUDIO DI GEOLOGIA

Dott. Alberto Cattani (338- 2875555)

VIA CAVOUR 29/31

54033 CARRARA (MS)

Tel e Fax 0585 280602

E.mail: studio.catt@gmail.com

PEC studiocattani@epap.sicurezzapostale.it

P.IVA 01255240457

RELAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO E ANALISI DI STABILITA' DEI FRONTI



CAVA DI MARMO DENOMINATA “CATTANI-LISCIATA”

COMUNE DI FIVIZZANO (MS)

BACINO MARMIFERO “EQUI TERME- SIGLIOLA”

DITTA: ESCAVAZIONE LA GIOIA SRL

Carrara ottobre 2020

Geol. Dott. Alberto Cattani

1. PREMESSA

La Ditta ESCAVAZIONE LA GIOIA S.r.l. con sede in VIA Carriona 388 di Carrara, coltiva la cava di marmo denominata "Cattani-Lisciata".

Il piano vigente è autorizzato con Determinazione dirigenziale n. 219 del 18/06/2018, con scadenza 04/05/2022.

Con l'approvazione/autorizzazione del PABE del Comune di Fivizzano, in cui si prevede la coltivazione di 480.000 mc di marmo in 10 anni, è stato realizzato il Piano di coltivazione della cava.

Le coltivazioni di progetto saranno svolte per la maggior parte sulle superfici già oggetto di coltivazione degli anni passati, sui gradoni sottostanti la quota di 504 m, mentre continueranno le coltivazioni previste e autorizzate sui ripiani soprastanti.

Con queste coltivazioni non verranno variate le modalità di coltivazione

L'analisi di stabilità dei fronti della cava era stata eseguita sia negli anni 2006, 2011 e nell'anno 2018 per i fronti dei gradoni di quota 504, 515 e 525 m attualmente coltivati.

Per i fronti dei gradoni situati al di sotto della quota 504 m l'analisi era stata eseguita negli anni passati, quando i fronti erano visibili e non ancora sepolti dai detriti.

2. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO E CATASTALE

Il complesso estrattivo in oggetto è individuabile sulla tavoletta III NE "Monte Sagro" a scala 1:25000 del F.97 dell'IGM ed è situato nel Comune di Fivizzano.

Catastalmente il complesso estrattivo è identificabile ai mappali nn° 46, 47, 75, 76, 77, 78, 80, 81, 82, 83, 84 e 91 per intero e 48, 49, 74, 89 in parte del Foglio 162 del Comune di Fivizzano (MS).

Le coordinate ricavate dal programma Google Earth sono: 44°09'17.32" N e 10°10'15.32" E

3. DESCRIZIONE GIACIMENTOLOGICA DELLA CAVA

La cava è coltivata con il metodo dei gradini multipli ed è formata da una serie di gradoni posti a cascata da sud a nord.

Con la strada di arroccamento si arriva al piazzale situato a quota 504 metri circa, largo 50 e lungo 100 m.

A settentrione di tale piazzale vi è il piano di quota 515 m, lungo circa 150 e largo 20 metri, al quale si accede mediante una rampa situata nella parte orientale.

Il piazzale poi è delimitato a meridione dal ripiano posto alle quote 525 m, lungo 150 e largo 20 metri.

A meridione vi sono i gradoni e fronti residui delle passate coltivazioni, posti alle quote 535, 544, 554, 563 ,574, 584, 594, 605, 609 ed infine 612 metri, nella parte più alta e meridionale della cava.

Nella parte inferiore e settentrionale della cava vi è un piazzale a quota 461 m, delle dimensioni di circa 40x60 m, chiuso a valle, che viene utilizzato per la raccolta di tutte le acque della cava. L'acqua che arriva al piazzale subisce la decantazione e poi viene recuperata per l'utilizzo nella lavorazione.

In alto e a meridione vi è una serie di gradoni residui delle passate coltivazioni, posti a dislivelli medi di 10 metri, alle quote 535, 544, 554, 563 ,574, 584, 594, 605, 609 ed infine 612 metri, nella parte più alta e meridionale della cava.

I gradoni residui citati hanno pedate con larghezza variabile dai 2 ai 10 metri.

Su tutti questi gradoni residui indicati le coltivazioni sono state ultimate e su di essi sono state eseguite disgaggi periodici e sono state eseguite numerose chiodature preventive con barre di ferro, su quelle porzioni che risultavano potenzialmente instabili.

Le coltivazioni continueranno sui piazzali di quota 504, quello di 515 e il superiore di 525 m, come da precedente progetto autorizzato, mentre con la presente SCIA si prevede una modesta coltivazione del fronte compreso tra 494 e 504 m, dopo avere completamente ripulito dal detrito tale ripiano.



FOTO 1 .CAVA CATTANI LISCIATA. Visibili i gradoni residui e i fronti della parte meridionale e i gradoni e fronti riempiti di detrito posti a valle del piazzale di 504 m.

4. CARATTERISTICHE MERCEOLOGICHE E GEOTECNICHE DEL MARMO

Le principali qualità di marmo della cava sono il “Bianco venato”, materiale di colore bianco perlaceo a granulometria media (300 μ) con presenza di venature e punteggiature grigie dovute alla presenza di pirite microcristallina .

Il verso di macchia, cioè la scistosità S1, ha mediamente direzione NNW con immersione WSW e inclinazione media di 55°.

L'ammasso roccioso si presenta variamente interessato da giunti che sono stati cartografati sulla carta delle fratture a scala 1: 500 di tavola 6.

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEL MARMO VENATO

Le caratteristiche fisico-meccaniche del marmo bianco venato estratto in cava sono buone e sono le seguenti:

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1. Peso per unità di volume | 2686 Kg/mc |
| 2. Carico di rottura a compressione | 1306 Kg/cm ^q |
| 3. Carico di rottura a compressione dopo cicli di gelività | 1388 Kg/cm ^q |
| 4. Carico unitario di rottura a flessione | 152 Kg/cm ^q |
| 5. Dilatazione lineare termica | 6.4 10 ⁽⁻⁶⁾ per °C |
| 6. Coefficiente d'imbibizione d'acqua | 0,18 % in peso |

7. Resistenza all'urto	61,3 cm
8. Modulo di elasticità lineare	529000 Kg/cm ²
9. Resistenza all'abrasione	7,07 mm

5. ANALISI STRUTTURALE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Tutti i piazzali di cava sono delimitati dai fronti principali di coltivazione che hanno direzione media di 60° con immersione media 330° , indicati sulla carta delle fratture con la sigla F1.

Questi fronti sono verticali perché tagliati con filo e sono visibili sulle foto allegate; alcune volte i fronti citati hanno inclinazione di 60-70°, perché realizzati mediante la “spogliazione delle fratture K1, nel caso che vengano intercettate e fuoriescano dal fronte.

I fronti secondari sono perpendicolari ai precedenti, con immersione media 240° e indicati con la sigla F2, hanno larghezza limitata a pochi metri e si realizzano quando viene abbattuta una bancata.

Gli abbattimenti delle bancate si realizzano esclusivamente lungo i fronti F1.

Sono state eseguite nuove misurazioni delle caratteristiche di giacitura delle superfici di discontinuità dell'ammasso roccioso lungo i fronti di nuova formazione, e sono state riutilizzate le misurazioni eseguite sia nell'anno 2006 che nel 2012, per quei fronti che non hanno subito coltivazioni.

Per i vari giunti sono state registrate l'inclinazione, l'immersione, l'apertura, il riempimento, la spaziatura, la presenza di acqua, la rugosità.

Una volta registrato tutti i dati sono state determinate, tramite analisi stereografica, le principali famiglie di fratture presenti nell'ammasso roccioso.

Famiglia di discontinuità	Dir. gradi	Imm. gradi	Incl. gradi	JRC	ESTENSIONE %
K1	60	330	60	10	100
K1-1	70	340	35	8	100
K2	320	230	60	8	70
K3	120	30	50	6	20
K4	10	100	40	6	20

• **Famiglia K1** . La famiglia descritta è formata da fratture planari che si ritrovano con maggior frequenza in cava, come è riscontrabile nella tavola della rappresentazione polare dei giunti, con piani a immersione da 330° a 360°, ed

inclinazione dai 50° ai 65°. I giunti della famiglia K1 si presentano aperti ma quasi sempre privi di materiale di riempimento; l'indice di scabrosità (JRC) varia da valori da 8 a 12 , la loro estensione quasi sempre del 100%, la spaziatura $s=l/n$ in media è superiore ai 5 metri.

Famiglia K1-1, è da considerare una sottofamiglia della precedente in quanto ha la stessa immersione della precedente ma l'inclinazione si riduce a valori di 30-45°. I giunti si presentano aperti ma privi di materiale di riempimento; l'indice di scabrosità (JRC) varia da valori da 8 a 10 , la loro estensione è per la maggior parte delle volte del 100%.

Tale famiglia di giunti è formata da fratture denominate “peli del secondo” e sono quelle più evidenti in cava, anche se la distanza tra un piano di discontinuità e l'altro, in genere è superiore ai 5 metri, come è visibile sulle foto allegate.

- **Famiglia K2** è rappresentata dalle fratture con direzione WNW e immersione a 210-260° con inclinazione media da 50 a 60° .

Tali fratture in genere sono chiuse e sono interrotte da ponti di roccia, hanno JRC = 8 - 10 e l'estensione è variabile dal 50 al 80%.

La spaziatura in genere va dai 5 ai 10 metri, per cui le bancate di marmo si presentano con un alto grado di saldezza. I giunti indicati sono “fratture del verso” e seguono il verso di macchia del marmo.

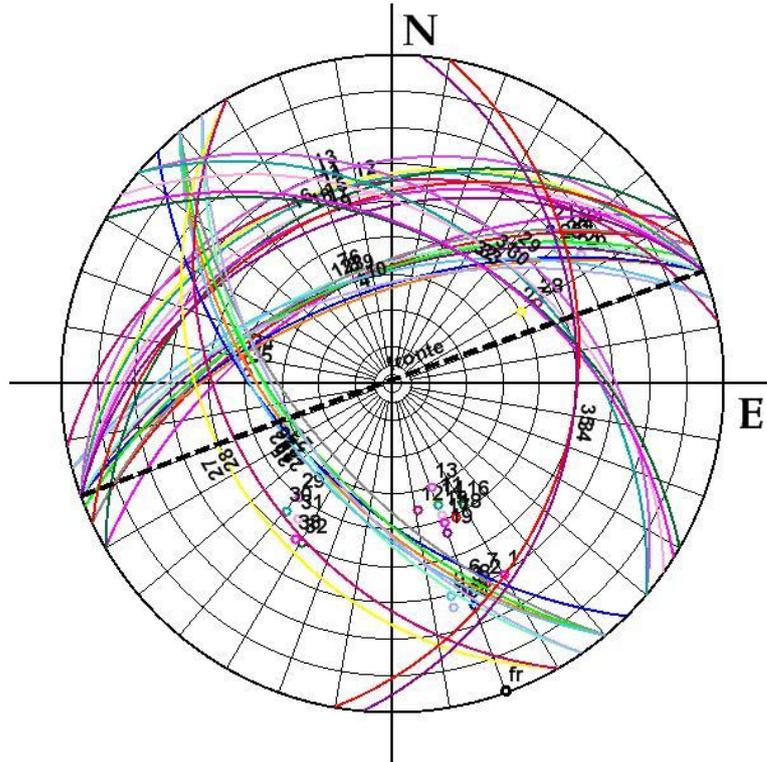
- **Famiglia K3** , comprende le “fratture del contro” , perpendicolari a quelle del “verso”. Hanno immersione variabile dai 20° ai 50° e l'inclinazione media 50°.

Sono fratture molto rare e sono evidenti solo in pochissimi fronti di cava. hanno JRC = 6 - 8 e l'estensione è di pochi metri.

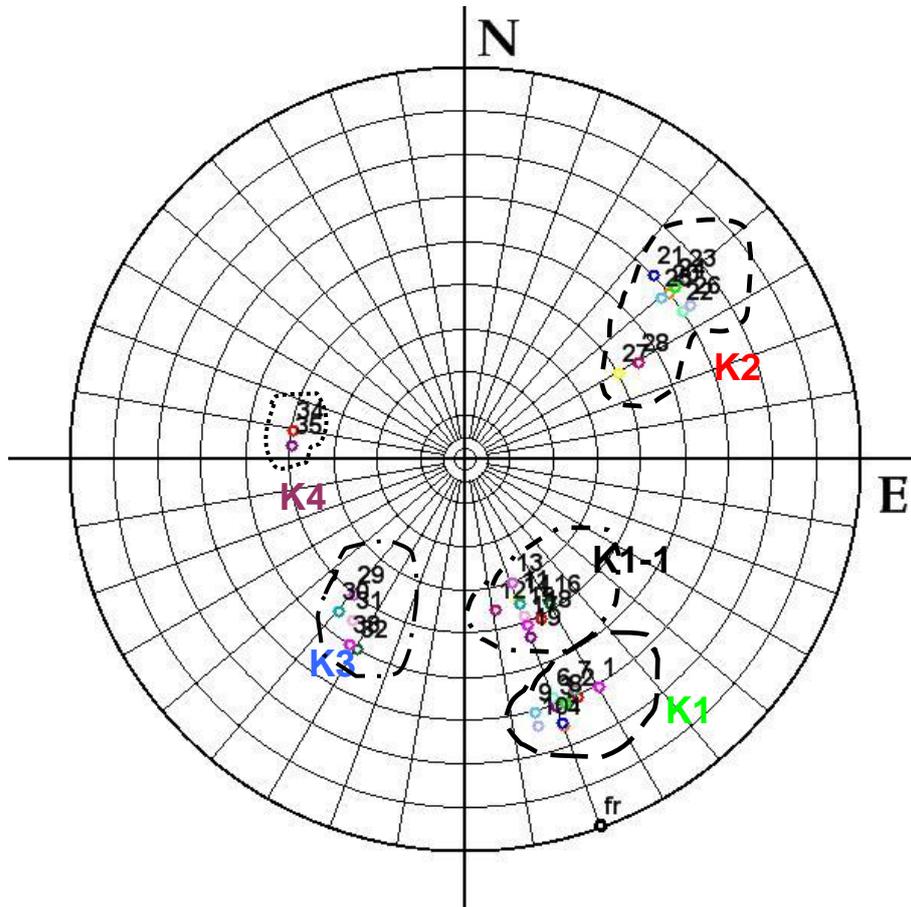
- **Famiglia K4** è rappresentata da rarissime fratture con immersione media 100° e inclinazione varia da 40° a 70°, visibili solo sulla parte alta della cava. Esse hanno JRC = 6-8 e l'estensione è di pochi metri.

I giunti della cava, al momento dei rilievi sono asciutti .

E' stata elaborata la rappresentazione stereografica polare inferiore dei giunti della cava utilizzando il software IS GeoRocce della Omnia IS, che elabora i diagrammi di Schmidt. con giaciture, poli e percentuale di densità. Di seguito si allegano gli stereogrammi ricavati dal rilievo delle fratture, con indicazione delle famiglie di giunti rilevate .

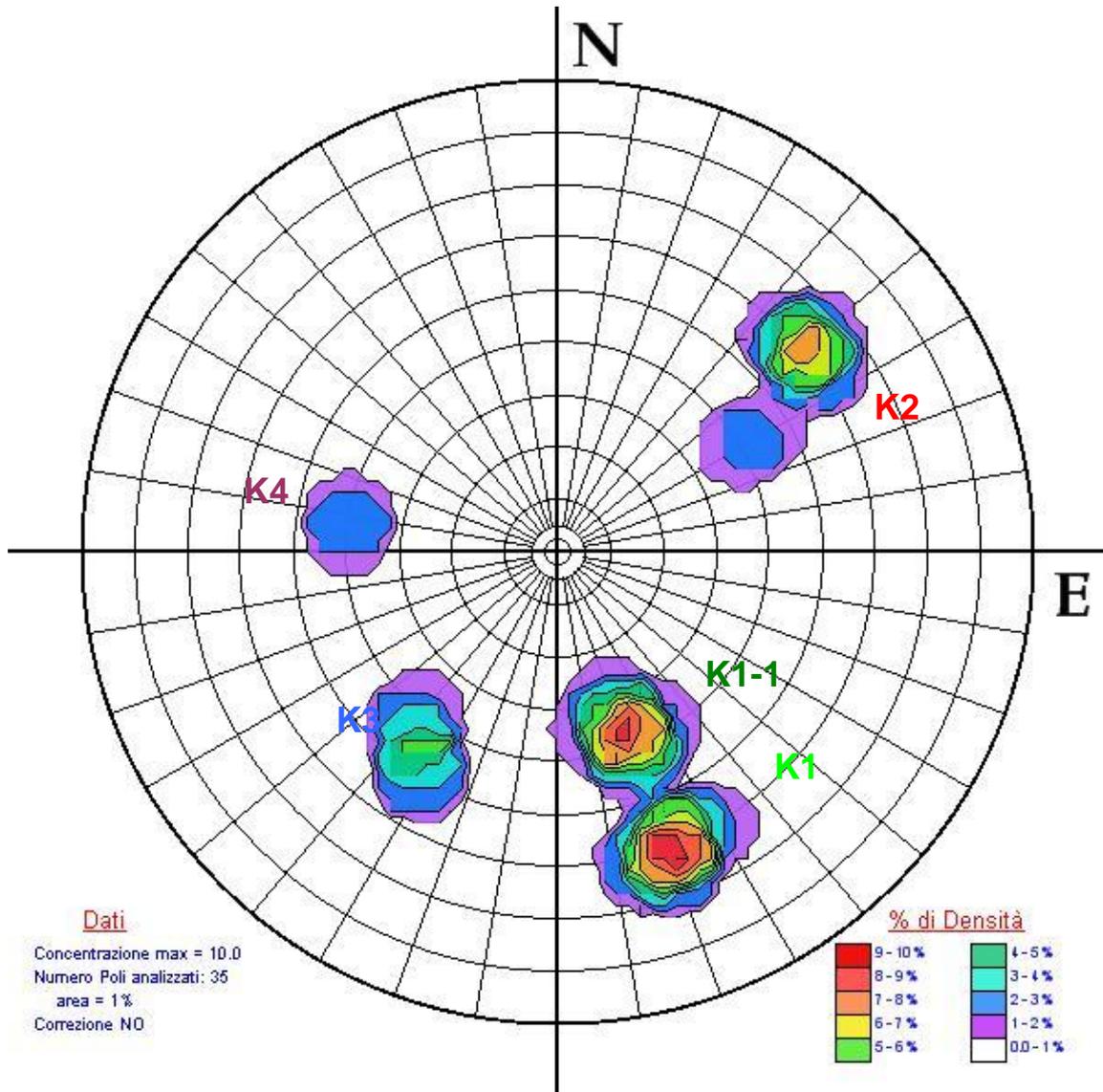


(Figura 1 - stereogramma polare con piani e poli.



(Figura 2 - stereogramma polare con poli.)

A miglior visione delle stesse, si allega anche il diagramma che il programma IS GeoRocce della omnia IS ha elaborato e contornato con tonalità di colore diverso, in base alla diversa concentrazione dei poli nelle varie aree .



(Figura 3 - rappresentazione poli in % di densità.)

6. CARATERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO

La caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso marmoreo in esame è stata ottenuta attraverso l'applicazione della classificazione RMR-System (BIENIAWSKI 1989). "RMR '89" (Rock Mass Rating, Bieniawsky (1989))

Relazione sulla classificazione mediante l'indice RMR '89, Bieniawski (1989)

Le scelte dei parametri sono elencate e riassunte nei punti seguenti:

- P1 (Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta): 10.7 (da una $\sigma_c = 120$ MPa)
- P2 (Indice di recupero percentuale modificato RQD (RockQualityDesignation): 15.7 (da un RQD = 80 %)
- P3 (Spaziatura delle discontinuità): 20 (da una Spaziatura = 3 m)
- P4 (Condizioni delle discontinuità): 23
 - v1 (- persistenza : 3 ÷ 10 m) : 2
 - v2 (- apertura : 0.1 ÷ 1 mm) : 4
 - v3 (- rugosità : Rugosa) : 5
 - v4 (- alterazione : Non alterate) : 6
 - v5 (- riempimento : Assente) : 6
- P5 (Venute d'acqua): nessuna, corrispondente al parametro 15
- P6 (Effetti della giacitura delle discontinuità rispetto alla direzione di scavo): mediocre e Pendii come tipologia opera, corrispondente al parametro -24

e si è pervenuto ad un indice RMRc pari a: 84 rispondente a una qualità dell'ammasso roccioso OTTIMA

RMRa (asciutto) = 69

RMRb (di base) = 84

Dall'indice RMRb sono stati calcolati:

$c = 420.00$ [kPa]

$\phi = 47.00$ [°]

$E = 68.00$ [GPa].

L'indice RQD è direttamente correlabile con la spaziatura dei giunti mediante l'espressione proposta da Priest e Hudson : $RQD = 100 e^{-0.1(0.1n+1)}$, dove n è il numero medio di giunti per metro, oppure mediante la relazione proposta da Palmstrom : $RQD\% = 115 - 3.3 J_v$, con J_v = numero totale di giunti per m^3 .

Analizzando i dati rilevati in campagna, si può calcolare un $RQD\% > 70\%$.

La spaziatura dei giunti è molto alta per ciascuna famiglia; si può comunque definire un range di variazione compreso tra i 2 e 10 metri.

Per quanto riguarda le condizioni dei giunti c'è una discreta variabilità dei vari fattori. Comunque le fratture K1 e K1-1 hanno un'elevata persistenza, mentre quelle della famiglia K2 hanno una persistenza del 50-80%, sono generalmente chiuse o poco aperte, hanno superfici rugose, il riempimento è quasi sempre assente ed in generale risultano asciutte o debolmente umide; quelle della famiglia K3 e K4 hanno una persistenza del 20-40%, sono generalmente chiuse o poco aperte, hanno superfici rugose, il riempimento è quasi sempre assente ed in generale risultano asciutte.

RILIEVO DELLE FRATTURE

Nei rilievi di campagna sono stati effettuati stendimenti alla base dei fronti e per le fratture sono state registrate le seguenti caratteristiche: direzione, immersione, inclinazione, spaziatura, persistenza, rugosità, resistenza delle pareti, apertura, riempimento e posizione spaziale.

L'orientazione di una discontinuità è individuata attraverso la valutazione della immersione e dell'inclinazione per mezzo di bussola.

La spaziatura è generalmente individuata per ogni famiglia di fratture e determina direttamente le dimensioni dei singoli blocchi di roccia integra.

La persistenza o estensione rappresenta l'estensione areale di una discontinuità entro un piano. Può essere approssimativamente quantificata osservando le lunghezze delle tracce di discontinuità sulla superficie esposta. Questo è uno dei parametri più importanti che riguardano le masse rocciose, ma è anche uno dei più difficili da quantificare; infatti molte volte le superfici esposte sono piccole rispetto all'area o alla lunghezza di discontinuità persistenti, cosicché la persistenza reale può essere solo ipotizzata.

I valori della persistenza di un giunto vengono di norma suddivisi nelle seguenti classi, che nella tabella vengono indicati con numeri progressivi, che verranno indicati nelle tabelle di rilievo:

CONTINUITA'

1. Molto bassa	< 1 m
2. Bassa	1-3 m
3. Media	3-10 m
4. Alta	10-20 m
5. Molto alta	>20 m

La rugosità o scabrezza di una discontinuità può essere caratterizzata da una ondulazione a grande scala e da una rugosità vera e propria a piccola scala. In pratica la prima influisce sulla direzione iniziale dello scorrimento mentre la seconda influisce sulla resistenza al taglio.

L'apertura del giunto può essere classificata con la tabella seguente, a cui sono state associate lettere identificative:

Apertura	Tipo di giunto
A) <0.1 mm	molto serrato
B) 0.1-0.25 mm	serrato
C) 0.25-0.5 mm	parzialmente serrato
D) 0.5-2.5 mm	aperto
E) 2.5-10 mm	apertura ampia
F) 1-10 cm	apertura molto ampia
G) 10-100 cm	apertura estremamente ampia
H) > 1 m	giunto cavernoso

Per ogni sistema di discontinuità è determinato il valore medio dell'apertura evidenziando la presenza di eventuali forti scostamenti da questo valore.

La presenza di materiale di riempimento nelle discontinuità aperte condiziona la resistenza al taglio lungo di esse.

La posizione spaziale è determinata eseguendo degli stendimenti alla base della parete e riportando le coordinate del punto di inizio della discontinuità

La presenza d'acqua nelle discontinuità della roccia condiziona la valutazione dei valori di sforzo normale efficace.

JCS = resistenza a compressione delle pareti della discontinuità è stata misurata con il martello di Schmidt , sui giunti della cava la cui superficie risultava esposta

ed accessibile, eseguendo una serie di almeno 10 letture, eliminando il valore più alto e più basso ed eseguendo la media delle letture; il valore ottenuto, riportato sul grafico sottostante, permette di calcolare JCS.

E' stato calcolato il JCS per le quattro famiglie di fratture della cava e si ottiene:

K1	JCS =40 Mpa
K1-1	40 MPa
K2	35 MPa
K3	35 MPa
K4	32 MPa

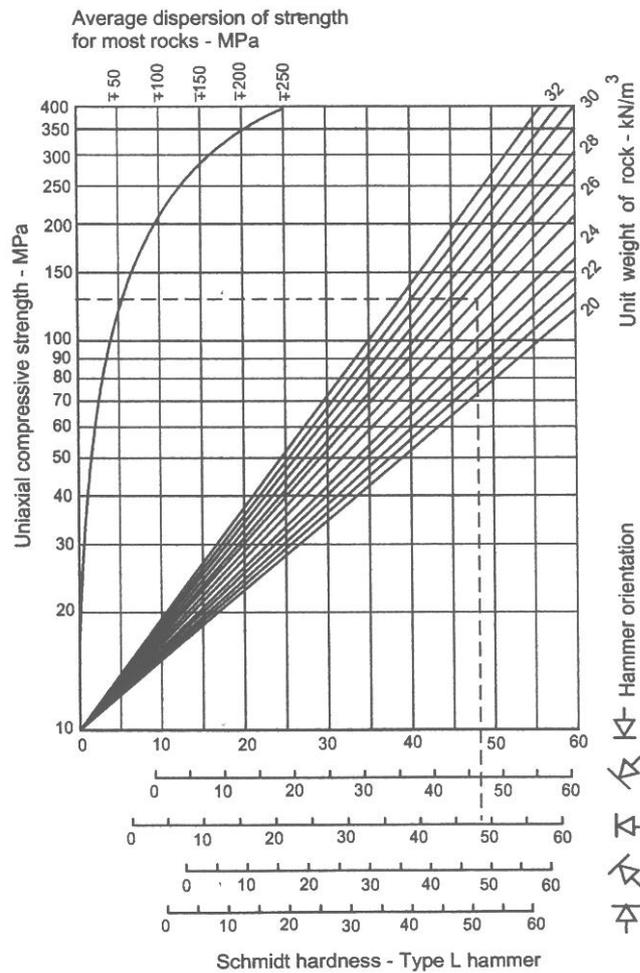


Fig. 4 Grafico martello di Schmidt

Determinazione dei parametri geomeccanici

I parametri geomeccanici da considerare nell'analisi di stabilità dei fronti sono l'angolo di attrito interno e la coesione dei piani di discontinuità.

Per quanto riguarda l'angolo di attrito, si distingue un angolo di attrito di base ed un angolo di attrito di picco evidenziato nella relazione di BARTON che permette di

determinare il valore della resistenza al taglio di giunti dotati di una seppur minima scabrezza:

$$\tau = \sigma_n \tan [\phi + JRC \log(JCS / \sigma_n)]$$

dove:

τ = sollecitazione tangenziale che provoca lo scorrimento lungo la superficie di frattura (resistenza al taglio);

σ_n = sollecitazione normale alla superficie del giunto;

ϕ = angolo di attrito di base della roccia intatta al quale si può associare un valore compreso tra 32° e 34° (desunto dalla bibliografia);

JRC = coefficiente di rugosità del giunto (joint roughness coefficient) che rappresenta un fattore di scala della rugosità e varia approssimativamente tra 0 e 20;

JCS = coefficiente di resistenza a compressione delle pareti del giunto (Joint compression strength); in caso di superficie del giunto alterata il valore può ridursi fino ad un quarto della resistenza a compressione uniassiale del materiale roccioso, quindi un valore compreso tra 25 e 40 MPa.

In presenza di giunti scabri, le asperità tendono ad essere troncate durante lo scorrimento: in questo caso si ha la comparsa di una coesione che dipende dal tipo di roccia e dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso ed è determinata sostituendo nella relazione che esprime la resistenza al taglio con la formula classica derivata dal criterio di Mohr-Coulomb:

$$\tau = c + \sigma_n \tan \phi \quad \text{da cui} \quad c = \tau - \sigma_n \tan \phi$$

dove:

τ = sollecitazione tangenziale che provoca lo scorrimento lungo la superficie di frattura (resistenza al taglio)

σ_n = sollecitazione normale alla superficie di frattura

c = coesione che si esplica quando le superfici dei giunti sono a contatto e che indica la tensione in grado di rompere le asperità dei giunti stesso

ϕ = angolo di attrito

Per lo studio in questione è stato assunto, quale rappresentativo, il criterio di rottura per l'ammasso roccioso definito da Hoek–Brown nel 1997.

Tale criterio viene utilizzato quando la scala dello studio risulta molto grande rispetto alla spaziatura dei sistemi presenti.

Il criterio di rottura di Hoek–Brown per masse rocciose fratturate è definito dalla seguente relazione:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci} [(m_b \sigma'_3 / \sigma_{ci}) + s]^a$$

in cui

σ'_1 e σ'_3 sono le tensioni minima e massima effettive;

m_b è il valore dato da Hoek–Brown alla costante m per la massa rocciosa;

s e a sono costanti che dipendono dalle caratteristiche della massa rocciosa;

σ_{ci} è il carico di compressione uniassiale di rottura della roccia intatta.

Secondo il metodo proposto da Hoek-Brown (1980), l'equazione precedente è usata per generare una serie di valori su ampia scala.

Successivamente un processo di fitting statistico viene utilizzato per ricavare un involucro di Mohr equivalente definito dall'equazione seguente:

$$\tau = A \sigma_{ci} [(\sigma'_n - \sigma_{tm}) / \sigma_{ci}]^B$$

dove

A e B sono costanti del materiale determinate dalla regressione;

σ'_n è il carico effettivo normale;

σ_{tm} è la resistenza a trazione della massa rocciosa.

La σ_{tm} è data dalla relazione:

$$\sigma_{tm} = (\sigma_{ci} / 2)[m_b - \sqrt{(m_b^2 + 4s)}]$$

Si rende necessario stimare queste tre proprietà fondamentali:

1. resistenza a compressione uniassiale σ_{ci} ;
2. il valore della costante di Hoek-Brown m ;
3. il valore del fattore GSI (Geological Strength Index).

σ_{ci} è valutata da dati presenti in bibliografia in 125 Mpa.

Dalle tabelle presenti in bibliografia si assume m pari a 9.

Il valore del GSI, ricavato dall'indice RMR-15= 69.

Attraverso la tabella di calcolo apposita si ricavano i seguenti valori:

$$\sigma_{tm} = - 1,07\text{MPa}$$

$$\sigma_{cm} = 26,20\text{Mpa}$$

CARATTERISTICHE DELLE DISCONTINUITA'

A poca profondità e in condizioni normali di stress, le rotture della roccia intatta sono minime e il comportamento della massa rocciosa è controllato dallo scivolamento lungo le discontinuità. Per analizzare la stabilità di un insieme di blocchi di roccia è necessario capire i fattori che controllano la resistenza al taglio delle discontinuità.

La valutazione di quest'ultima è determinata dalla relazione

$$\tau = \sigma_n' \operatorname{tg} (\varphi_{base} + JRC \log_{10} (JCS / \sigma_n'))$$

τ = resistenza al taglio

φ_{base} = angolo di attrito di base

σ_n' = tensione normale efficace

JRC = coefficiente di rugosità della discontinuità, si ottiene confrontando la superficie della discontinuità con i profili di Barton

JCS = resistenza a compressione delle pareti della discontinuità

Il rapporto tra τ e σ_n' è più precisamente rappresentato da una relazione non lineare come già proposto da Barton (1973). Comunque, visto che questa relazione non è espressa in termini di attrito e coesione, parametri che vengono richiesti dalla maggior parte dei software che affrontano problemi di stabilità in roccia, è necessario stimare la coesione e l'angolo di attrito dalle relazioni proposte da Barton.

Quindi viene definito un angolo di attrito ed una coesione istantanei per uno stress normale σ_n' attraverso l'inclinazione della tangente e l'intercetta della curva τ - σ_n'

Per ottenere questi valori viene utilizzata una tabella di calcolo apposita, ipotizzando una variazione di carico fino a 2 Mpa e un angolo di attrito di base, dedotto dalla bibliografia, variabile da 32° a 34°, JRC pari a 10, JCS pari a 40 MPa.

BARTON SHEAR FAILURE CRITERION

Angolo di attrito di base (PHIB) =	32
Coefficiente di rugosità dei giunti (JRC) =	10
Resistenza a compressione dei giunti (JCS) =	40
Sforzo normale minimo (SIGNMIN) =	0,006

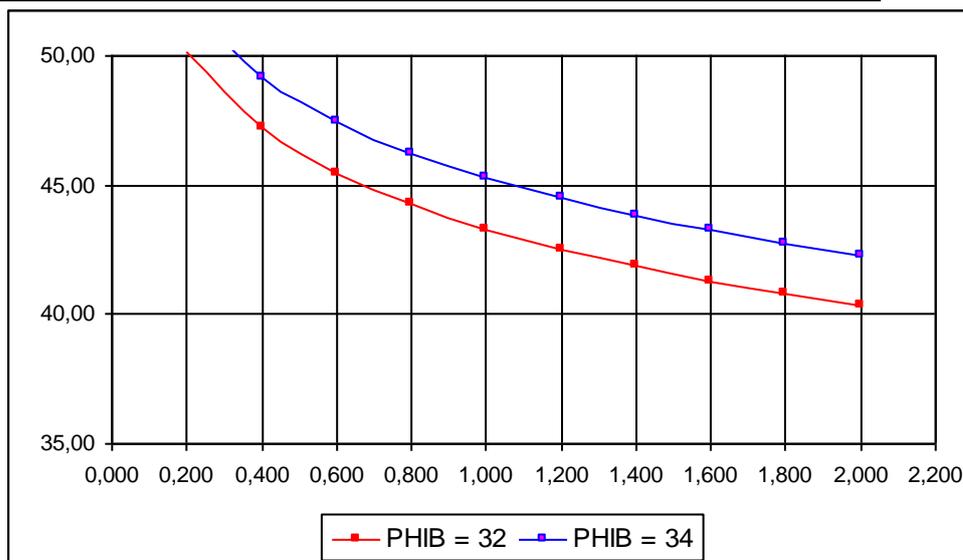
STRESS NORMALE (SIGN) [Mpa]	RESISTENZA DI TAGLIO (TAU) [Mpa]	d TAU/d SIGN (DTDS)	ANGOLO DI ATTRITO (PHI) [°]	COESIONE (COH) [Mpa]
-----------------------------	----------------------------------	---------------------	-----------------------------	----------------------

PHIB = 32
PHIB = 34

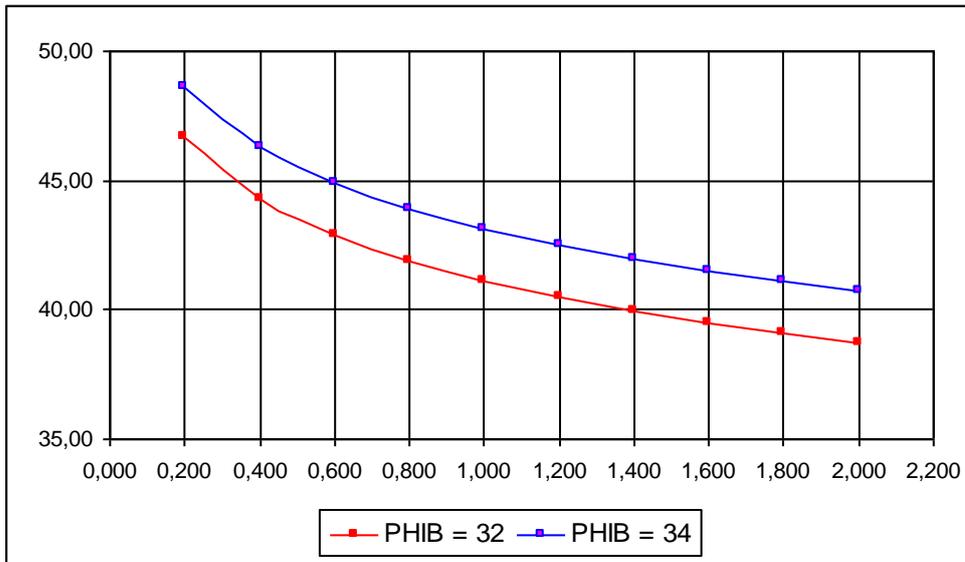
0,200	0,286	1,198	50,15	0,046
0,400	0,512	1,080	47,20	0,080
0,600	0,721	1,017	45,47	0,111
0,800	0,920	0,974	44,24	0,141
1,000	1,111	0,942	43,29	0,169
1,200	1,297	0,917	42,51	0,197
1,400	1,478	0,896	41,85	0,224
1,600	1,656	0,878	41,28	0,251
1,800	1,830	0,862	40,77	0,277
2,000	2,001	0,849	40,32	0,303

Angolo di attrito di base (PHIB) =	34
Coefficiente di rugosità dei giunti (JRC) =	10
Resistenza a compressione dei giunti (JCS) =	40
Sforzo normale minimo (SIGNMIN) =	0,010

STRESS NORMALE (SIGN) [Mpa]	RESISTENZA DI TAGLIO (TAU) [Mpa]	d TAU/d SIGN (DTDS)	ANGOLO DI ATTRITO (PHI) [°]	COESIONE (COH) [Mpa]
0,200	0,308	1,285	52,11	0,051
0,400	0,551	1,157	49,16	0,088
0,600	0,775	1,089	47,44	0,121
0,800	0,988	1,043	46,21	0,153
1,000	1,193	1,009	45,26	0,184
1,200	1,392	0,982	44,48	0,213
1,400	1,586	0,960	43,82	0,242
1,600	1,776	0,941	43,25	0,271
1,800	1,962	0,924	42,74	0,299
2,000	2,146	0,910	42,29	0,326

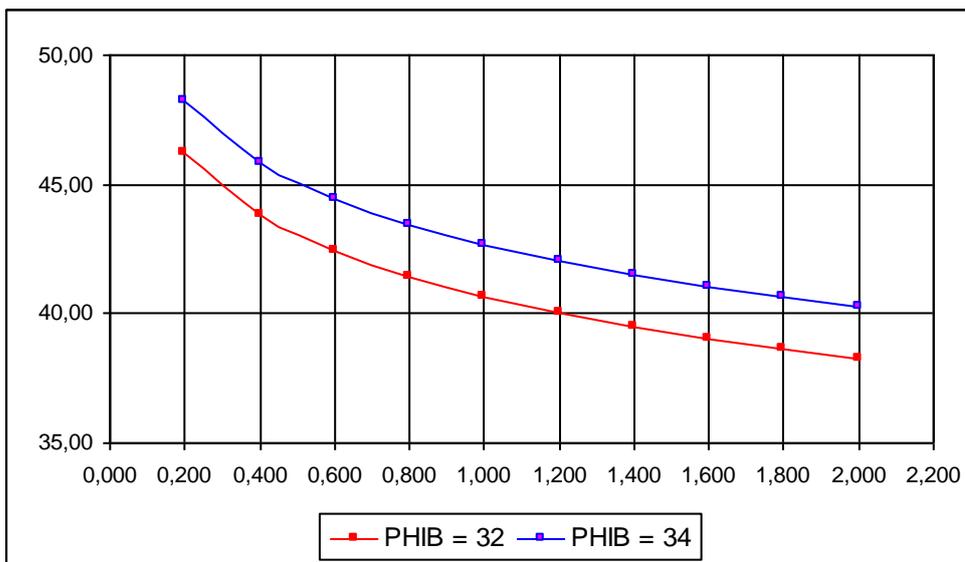


Per la famiglia K1 si ottiene il grafico soprastante, in cui si evince che il valore dell'angolo di attrito è compreso tra 40° e 50°:

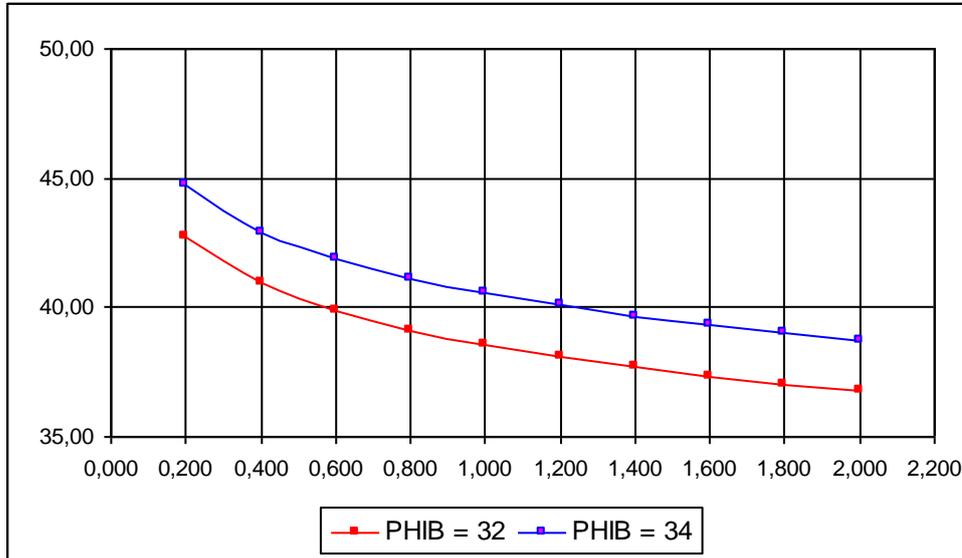


Per la famiglia K1-1, considerando JRC pari a 8, JCS pari a 40 si ottiene il grafico seguente, in cui si evince che il valore dell'angolo di attrito è compreso tra 38° e 48°:

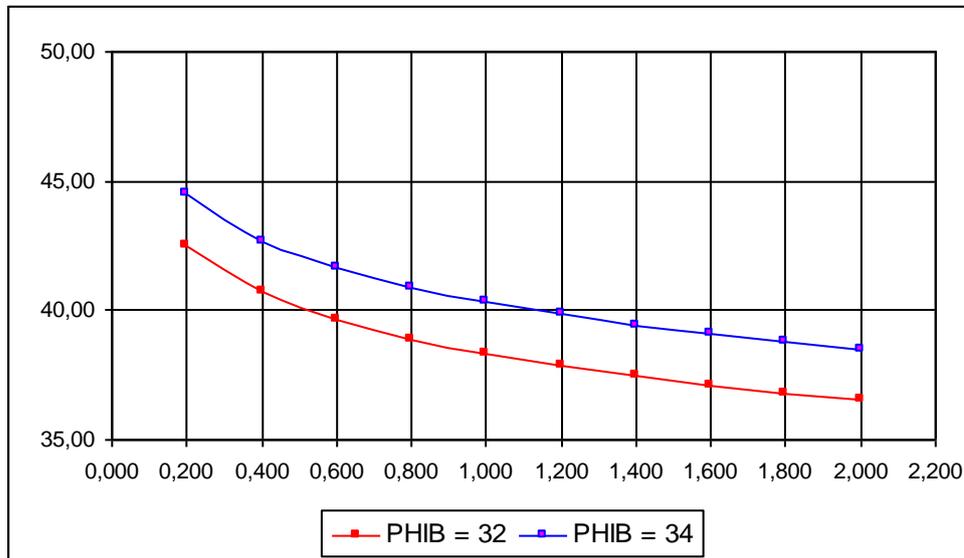
Per la famiglia K2, considerando JRC pari a 8, JCS pari a 35 si ottiene il grafico seguente, in cui si evince che il valore dell'angolo di attrito è compreso tra 38° e 48°.



Per la famiglia K3, che ha JRC pari a 6 e JCS pari a 35 si ottiene il grafico seguente, in cui si evince che il valore dell'angolo di attrito è compreso tra 37° e 45°.



Per la famiglia K4, considerando JRC pari a 6, JCS pari a 33 si ottiene il grafico seguente, in cui si evince che il valore dell'angolo di attrito è compreso tra 37° e 44°:



Dopo il rilievo geostrutturale, conclusa la classificazione geomeccanica e determinate le caratteristiche di attrito e coesione delle varie famiglie, si passa alle

procedure di analisi di stabilità vere e proprie, mediante l'analisi dei possibili cinematismi presenti nell'ammasso roccioso

Un'analisi cinematica consiste nello studio dei possibili movimenti dei blocchi senza riferimento alle forze che lo producono. Questo tipo di analisi tuttavia è integrata considerando quelle forze che sono sempre presenti nei problemi di stabilità, ovvero la forza peso e le forze di attrito lungo i piani di scorrimento.

Alla base di tutti i metodi grafici ci sono le seguenti assunzioni comuni:

- l'ammasso roccioso è costituito da discontinuità piane, infinitamente persistenti;
- la resistenza al taglio lungo i piani di discontinuità è dovuta solo all'attrito;
- l'ammasso roccioso è soggetto alla sola forza peso.

Una analisi per verificare la possibilità della formazione di cunei di distacco potenzialmente pericolosi, viene eseguita inserendo i dati di campagna nel programma "Rock 3D" della "Geo&Soft" che si basa sulla "Key Block Theory" di Goodman & Shi. per l'identificazione, la ricostruzione geometrica e la stabilizzazione dei blocchi di roccia complessa.

Parte essenziale della teoria dei blocchi (Goodman e Shi, 1981-1985) è l'analisi dei sistemi di discontinuità (si considerano i valori centrali rappresentativi di ogni famiglia di discontinuità) congiuntamente alle superfici di scavo. Queste ultime, intersecando le discontinuità, originano solidi di varia configurazione che, in particolari condizioni (in rapporto alle forze applicate), possono abbandonare la parete di scavo "key blocks".

7. SITUAZIONE DEI FRONTI E ANALISI DI STABILITA'

I fronti attualmente presenti nei vari ripiani di escavazione della cava sono i seguenti:

- **FRONTI PRINCIPALI MERIDIONALI o F1**, con direzione media 60° ed immersione media 330° , verticali oppure inclinati di 60° , come le fratture del "secondo", perché aperti mediante "spogliazione" delle fratture K1.

Questi sono i fronti principali e sono stati indicati con la sigla F1

- **FRONTI SECONDARI o F2**, perpendicolari ai precedenti, con direzione media 330° ed immersione 240° , indicati con F2. Questi fronti sono di limitata larghezza, in genere non superiori ai 4 metri. Alcune volte sono verticali ma nella maggior parte dei casi sono inclinati di circa 60° , in quanto i tagli vengono dati parallelamente alle fratture K2 e al verso di macchia.

Su tali fronti e sulle porzioni di essi era già stata fatta una analisi di stabilità nell'anno 2006, poi nell'anno 2011 e successivamente nel 2018, mediante il rilievo delle fratture visibili sui singoli fronti e porzioni di fronte.

La situazione odierna non è sostanzialmente variata, in quanto alcuni fronti, quelli al di sotto del piano di 505 m, non sono stati coltivati e al momento sono obliterati dal detrito utilizzato per allargare i piazzali superiori, per cui si utilizzano i rilievi delle fratture già rilevate negli anni passati.

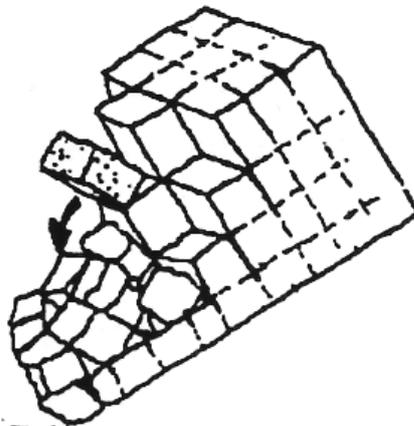
Sono stati analizzati i vari fronti che delimitano i piazzali della cava che verranno coltivati e i ripiani soprastanti, sono state analizzate le fratture che emergono su di essi ed è stata eseguita l'analisi di stabilità.

7.1 ANALISI DEL CINEMATISMO DI RIBALTAMENTO DIRETTO SUL FRONTE F1 .

RIBALTAMENTO DIRETTO.

Perché si possa originare il cinematismo del ribaltamento diretto (block toppling GOODMAN & BRAY, 1976; MATHESON, 1983), è necessario che le fratture siano a “reggipoggio” e devono esistere i piani basali con immersione nel senso del versante (a franapoggio), con inclinazione minore dell’angolo di attrito, per prevenire lo scorrimento.

Altre condizioni sono che la direzione di immersione del piano basale e delle intersezioni giace preferibilmente entro $+ 20^\circ$ e -20° dalla direzione di immersione del versante.



c) Ribaltamento diretto

Fig. 5 . Esempio di ribaltamento diretto dei blocchi

Lungo i fronti F1 sono presenti le fratture K1 e k1-1, che sono poste a franapoggio e potrebbero costituire i piani basali sui quali potrebbe avvenire il ribaltamento diretto. Non sono presenti però le fratture con inclinazione a reggipoggio, per cui non si possono creare blocchi che potrebbero originare il cinematismo del ribaltamento diretto.

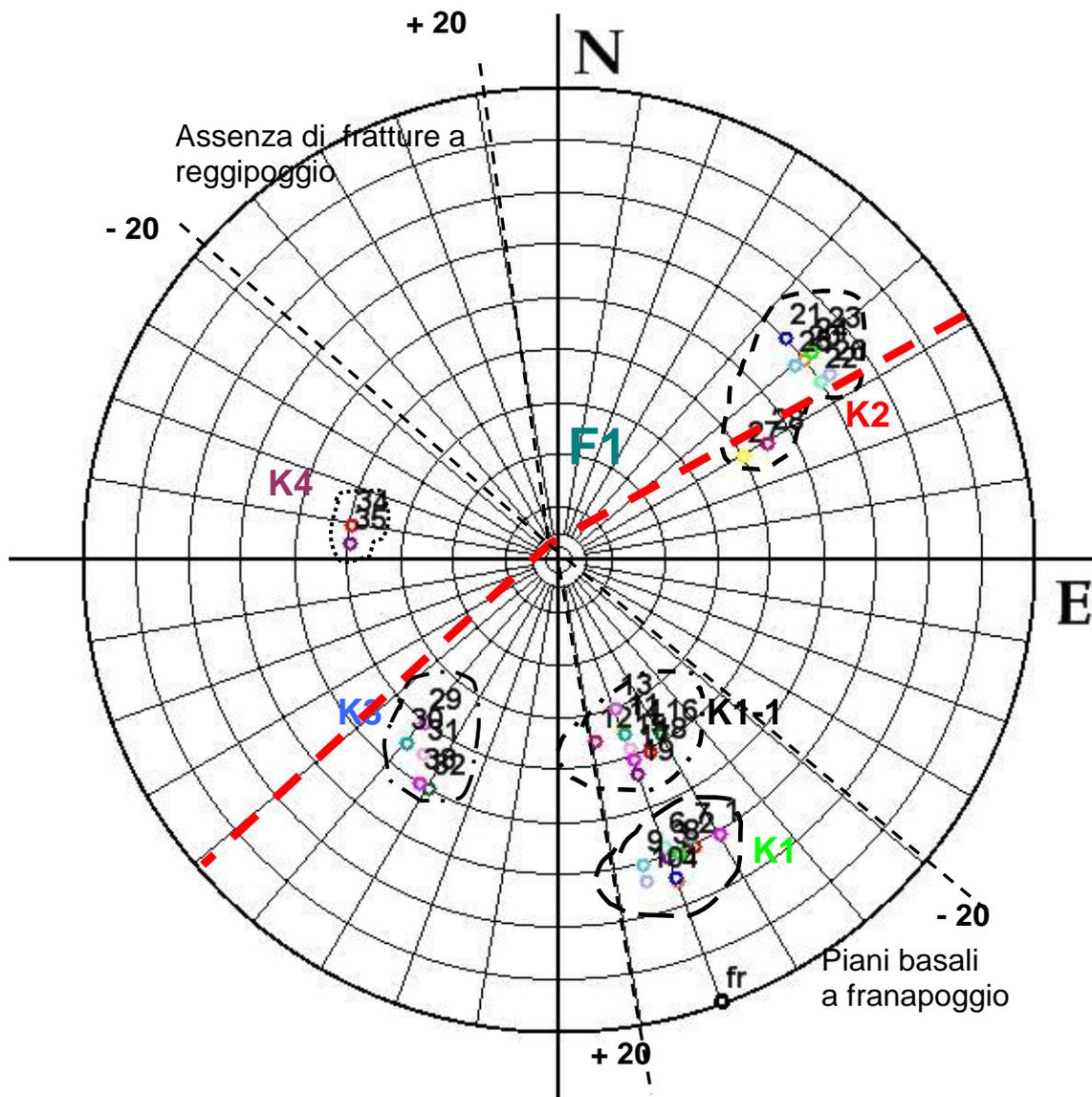


Fig. 6 Analisi del cinematismo di ribaltamento diretto lungo il fronte F1

7.2 ANALISI DEL CINEMATISMO DI RIBALTAMENTO DIRETTO SUL FRONTE F2 .

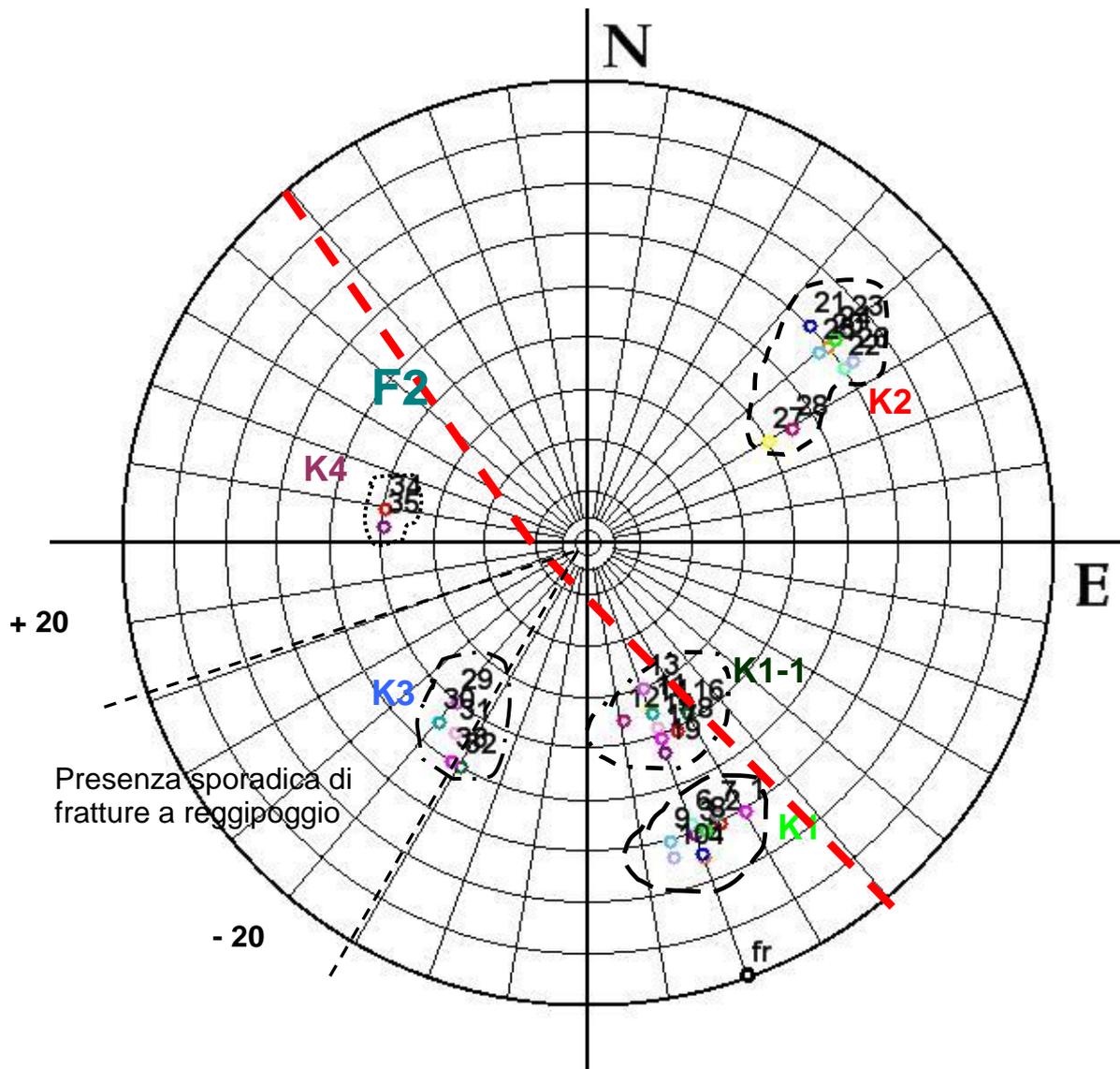


Fig. 7 Analisi del cinematismo di ribaltamento diretto lungo il fronte F2

Lungo i fronti F2 sono presenti le fratture K2 che sono poste a franapoggio e potrebbero costituire i piani basali sui quali potrebbe avvenire il ribaltamento diretto, però la loro inclinazione è superiore a quella dell'angolo d'attrito, per cui si potrebbe avere solo lo scivolamento lungo tali giunti.

Inoltre sono presenti solo rare fratture con inclinazione a reggipoggio, per cui non si possono creare blocchi che potrebbero originare il cinematismo del ribaltamento diretto

7.3 ANALISI DEL CINEMATISMO DI RIBALTAMENTO COLONNARE SUL FRONTE F1 .

RIBALTAMENTO DI FLESSURA

I cinematismi di ribaltamento di flessura colonnare consistono nella rottura di blocchi colonnari o nastriformi, associati a movimenti di scorrimento relativo lungo i giunti; si differenzia dal ribaltamento diretto soprattutto per l'assenza di un piano basale di ribaltamento posto a franapoggio e si possono ipotizzare nelle zone dove esistono fratture con posizione giaciturale a reggipoggio ed anche verticali, ravvicinate da alcuni centimetri a pochi decimetri.

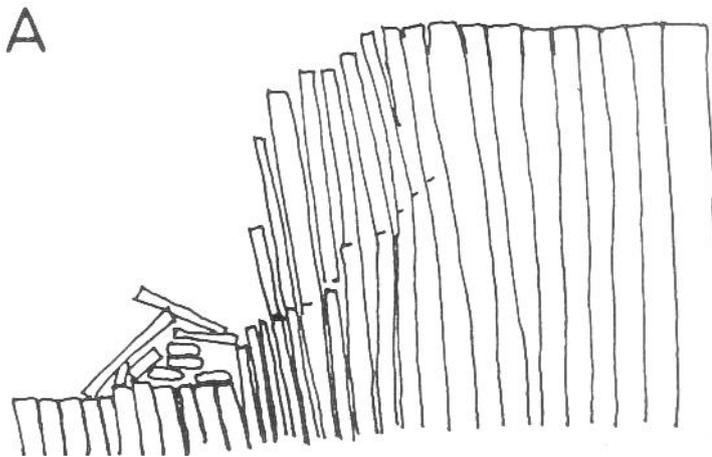


Fig. 8 . Esempio di ribaltamento di flessura

Per verificarsi tale fenomeno devono verificarsi le seguenti condizioni:

- Discontinuità che immergono a reggipoggio con direzione del piano entro + 20° e - 20° dalla direzione di immersione del versante,

Sono stati analizzati i possibili cinematismi di ribaltamento di flessura (flexural toppling: GOODMAN & BRAY, 1976) lungo il fronte F1, che ha direzione media N 60°, immersione 330°.

Nel caso in esame non sono state evidenziate fratture a reggipoggio e ravvicinate che potrebbero originare il cinematismo di ribaltamento di flessura.

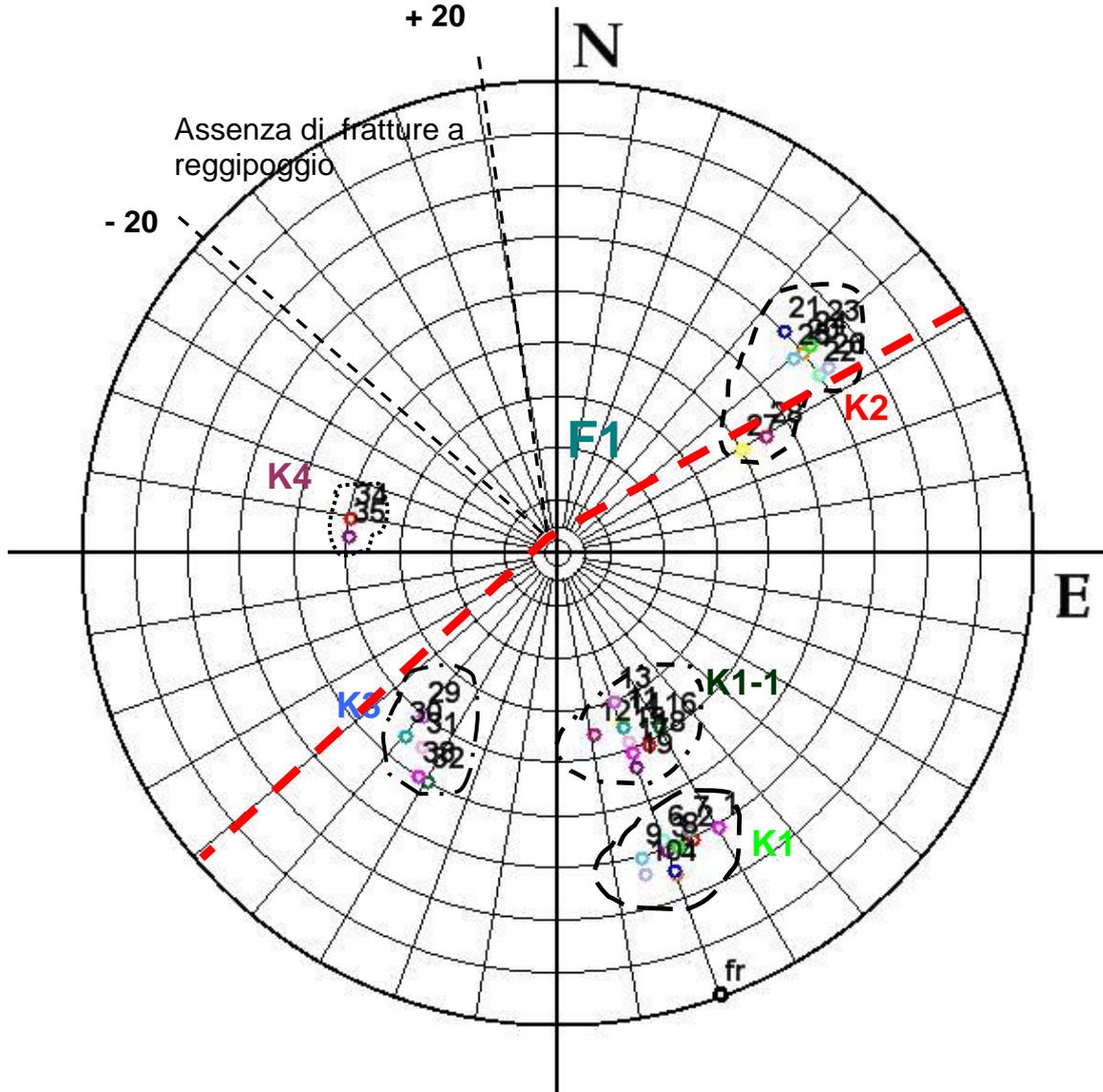


Fig. 9 Analisi del cinematismo di ribaltamento di flessura lungo il fronte F1

7.4 ANALISI DEL CINEMATISMO DI RIBALTAMENTO COLONNARE SUL FRONTE F2.

I fronti indicati con la sigla F2 presentano sporadici giunti della famiglia K3, con disposizione giaciturale a reggipoggio, compresi nell'area +20 -20 rispetto all'immersione del fronte. Tali giunti peraltro in cava sono molto rari e presenti solo su pochi fronti, per cui è da escludersi tale tipo di fenomeno

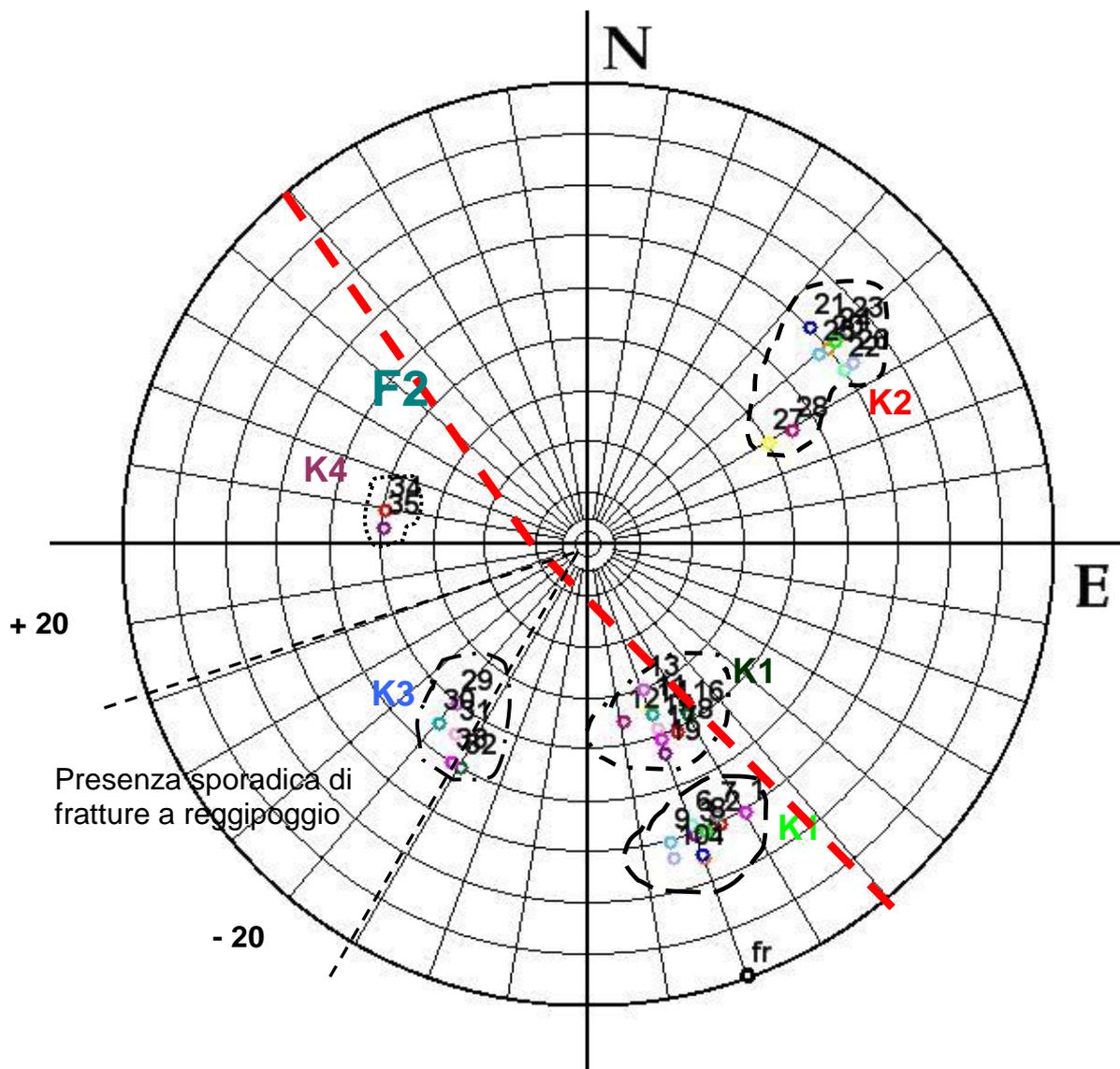


Fig. 10 Analisi del cinematismo di ribaltamento di flessura lungo il fronte F2

7.5 ANALISI DEL CINEMATISMO DI SCIVOLAMENTO PLANARE SUL FRONTE F1 .

Le condizioni cinematiche per avere uno scorrimento planare lungo la direzione di massima pendenza di un piano di discontinuità, visibile sulla figura 13 sono le seguenti (Matheson, 1983; Hudson & Harrison , 1993):

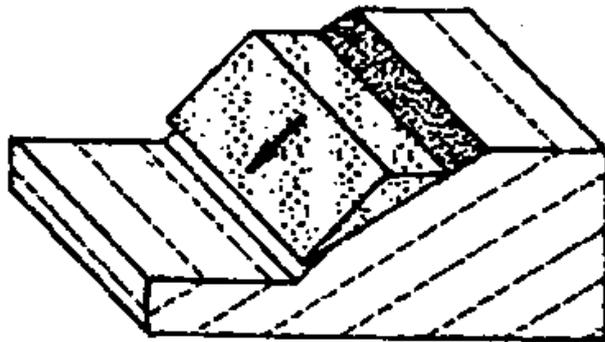


Fig. 11 . Esempio di scivolamento planare

- Il piano del giunto ha circa la stessa immersione del versante, preferibilmente entro $+ o - 20^\circ$ rispetto all'immersione del versante.

$$\alpha f - 20^\circ < \alpha p < \alpha f + 20^\circ$$

- L'inclinazione del piano di scorrimento (a franapoggio e meno inclinato del pendio) deve essere inferiore dell'inclinazione del versante, per cui deve affiorare sul versante.

$$\beta p < \psi f$$

- L'inclinazione del piano di scorrimento deve essere maggiore dell'angolo di attrito $\beta p < \phi$

Dove

αp = immersione del giunto

αf = immersione versante

βp = inclinazione del piano di scorrimento

ψf = inclinazione del versante

ϕ = angolo di attrito interno della roccia

Le condizioni indicate vengono riportate in proiezione stereografica e nella figura sottostante sono visibili i cerchi che corrispondono alla giacitura del versante e l'involuppo dei poli dei piani uscenti dal versante.

Pertanto, se un versante ha inclinazione 80° , i poli critici che potrebbero originare scivolamento sono quelli che sono compresi tra il valore dell'angolo di

attrito (35°) e il valore di 80° , sempre compresi nell'ambito di $\pm 20^\circ$ rispetto all'immersione del versante.

**FRONTE DI
ESCAVAZIONE**

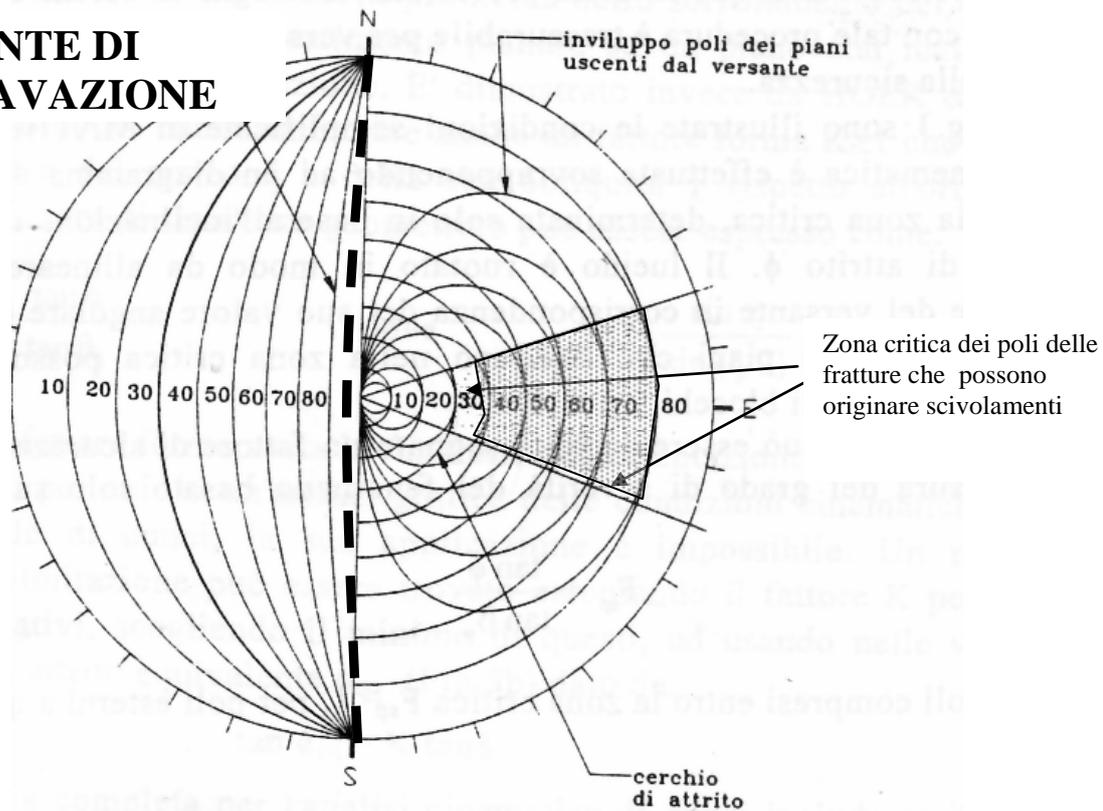


Fig. 12 Condizioni cinematiche per lo scorrimento planare

Nella figura 12, la zona critica delle discontinuità che potrebbero originare scivolamenti è quella ombreggiata. Le stesse condizioni sopra indicate si devono avere per lo scorrimento di cunei, formati dall'intersezione fra due piani o tre piani di discontinuità.

Le condizioni cinematiche di scorrimento di cunei trattate dai vari autori sono alquanto cautelative, in quanto il problema viene affrontato in maniera analoga ad uno scorrimento planare, sul piano con inclinazione uguale a quello della linea di intersezione. Lo studio effettuato da Horck & Bray (1981) ha dimostrato che nella stabilità dei cunei interviene anche un fattore di forma $K \geq 1$ che dipende dall'angolo di apertura del cuneo ξ e della sua obliquità λ rispetto all'orizzontale, per cui il fattore di sicurezza geometrico diventa:

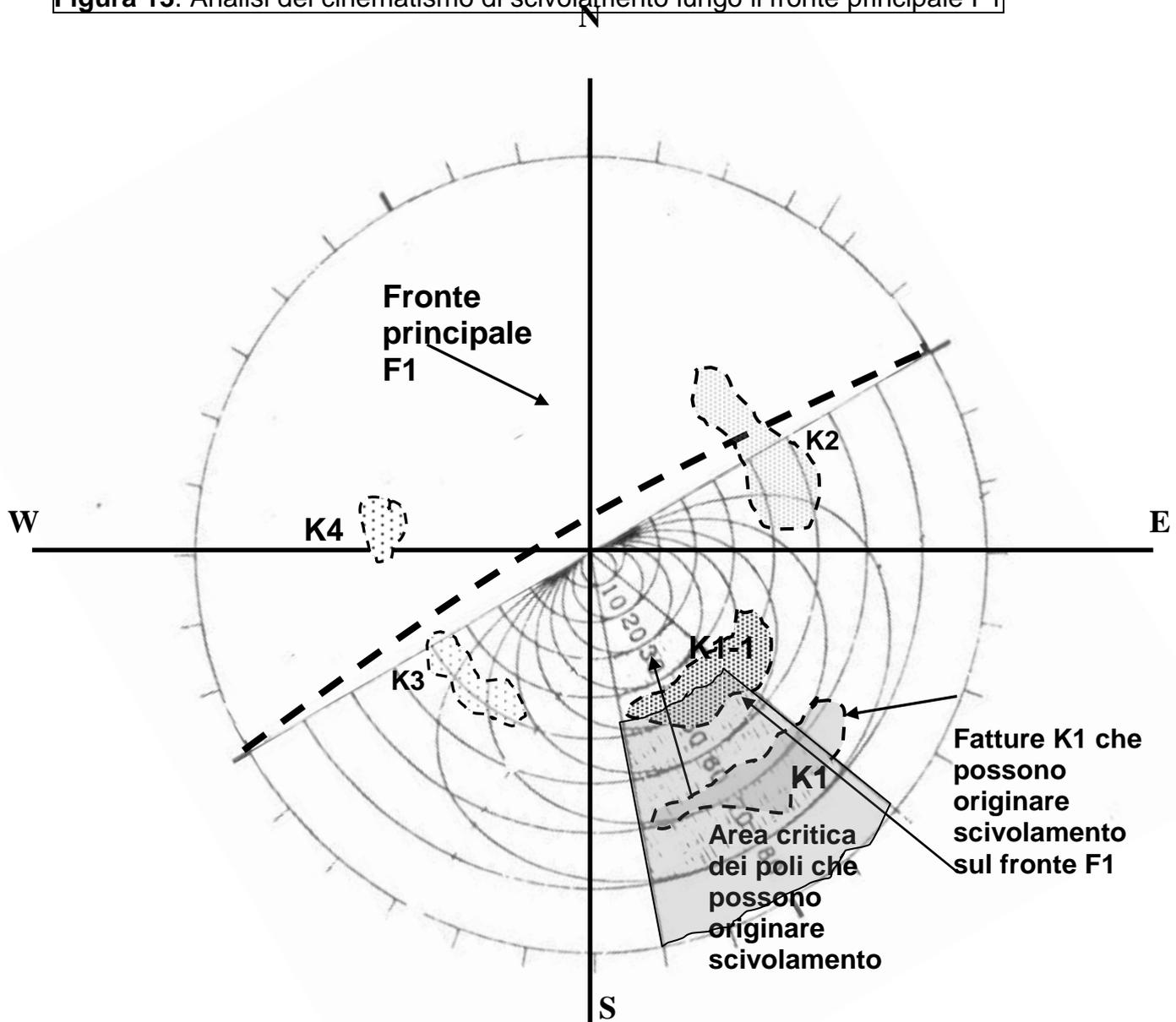
$$F_{sc} = K \frac{\tan \phi}{\tan \beta_i} \quad \text{dove } K = \frac{\sin \lambda}{\sin (\xi/2)}$$

E' stata eseguita l'analisi del cinematismo degli scivolamenti planari sui fronti principali (F1), e su quelli secondari (F2).

Per i fronti F1 sono stati presi in considerazione i cinematismi di scivolamento dei blocchi lungo le fratture della famiglia K1-1 che hanno piani con immersione media 330°, inclinazione media 35° e della famiglia K1, che hanno piani con immersione media 330°, inclinazione media 60°, JRC = 8, sia i cinematismi dei blocchi formati da tutte le famiglie di fratture della cava

L'analisi degli scivolamenti è stata effettuata lungo il fronte principale, tagliato verticalmente e in parte aperto mediante "spogliazione" di una frattura principale K1.

Figura 13. Analisi del cinematismo di scivolamento lungo il fronte principale F1



Dall'analisi del fronte F1 emerge che i giunti che emergono dal fronte sono quelli delle famiglie K1-1 e K1

Prendendo in considerazione la famiglia K1-1, che ha immersione simile a quella dei fronti principale della cava, non si prevedono fenomeni di scivolamento planare perché i giunti hanno inclinazione inferiore o pari all'angolo di attrito limite ed anche perché si ha una continuità verso monte e lateralmente dei "corsi" di marmo delimitati dai giunti citati. Inoltre i giunti non sono continui ma la persistenza si interrompe.

Si potrebbe realizzare uno scivolamento durante le lavorazioni, quando vengono isolate lateralmente e posteriormente le porzioni di marmo, con tagli verticali dati per isolare le bancate di larghezza di 2 metri.

La scabrezza dei giunti e il loro JRC elevato in genere impediscono lo scivolamento spontaneo.

Per evitare qualunque tipo di inconvenienti, quando si effettuano i tagli ad isolare la bancata posteriormente, come misura precauzionale, le lavorazioni andranno effettuate stando superiormente o lateralmente al fronte, preparando alla sua base un letto di detriti per ammortizzare eventuali scivolamenti ed inibendo la zona al passaggio.

Sono state effettuate prove pratiche di scivolamento lungo le fratture K1-1; dopo avere effettuato i tagli verticali posteriori di isolamento delle bancate, sono stati inseriti cuscini idraulici per verificare se si riusciva a fare avvenire lo scivolamento delle porzioni superiori, mediante spinta orizzontale.

Ciò non si è verificato ed è sempre stato necessario l'uso dell'escavatore per il ribaltamento delle bancate.

Lungo le fratture K1 potrebbe originarsi il fenomeno dello scivolamento quando emergono dal fronte e quando vengono tagliate posteriormente i corsi di marmo ad interrompere la loro continuità. In tal caso è necessario eseguire gli abbattimenti mediante la "spogliazione" di tali fratture mediante escavatore, lasciando così in posto un fronte inclinato anziché verticale, come è visibile anche sulla foto sottostante.

Se vengono abbandonate bancate di marmo che hanno alla base una frattura K1 che emerge dal fronte, queste vanno consolidate con chiodature o spogliate lungo le fratture stesse.



FOTO 2 Cava Cattani-Lisciata. Fronte principale F1

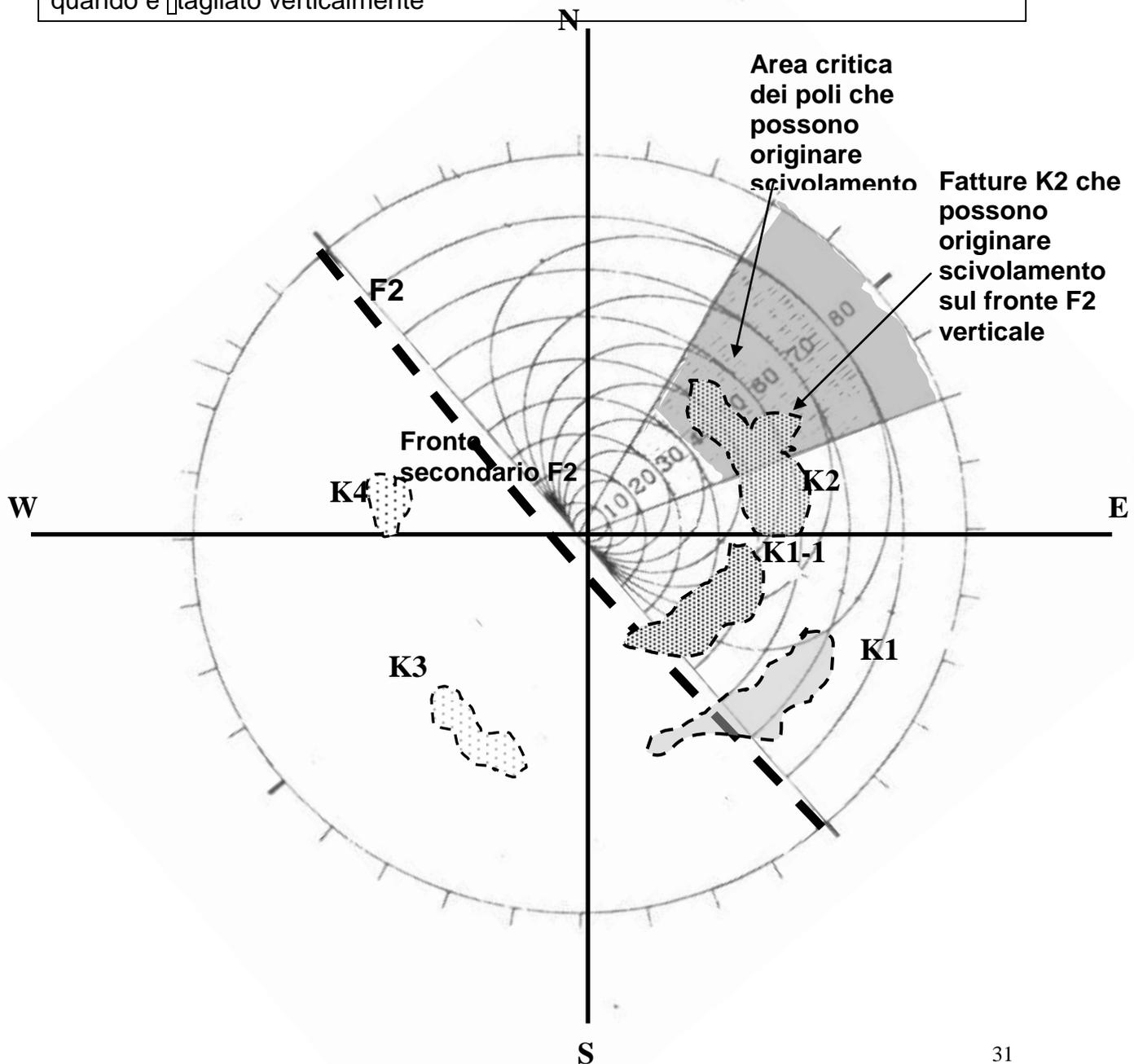
Il fronte è interessato da poche fratture K1-1 e K2. Visibile il gradone superiore nel quale gli abbattimenti sono stati realizzati mediante spogliazione della frattura K1.

7.6 ANALISI DEL CINEMATISMO DI SCIVOLAMENTO PLANARE SUI FRONTI SECONDARI O F2

Questi fronti sono perpendicolari ai fronti principali, hanno direzione media 320° , immersione 230° e sono verticali oppure inclinati di 65° , perché aperti con tagli paralleli alle fratture K2.

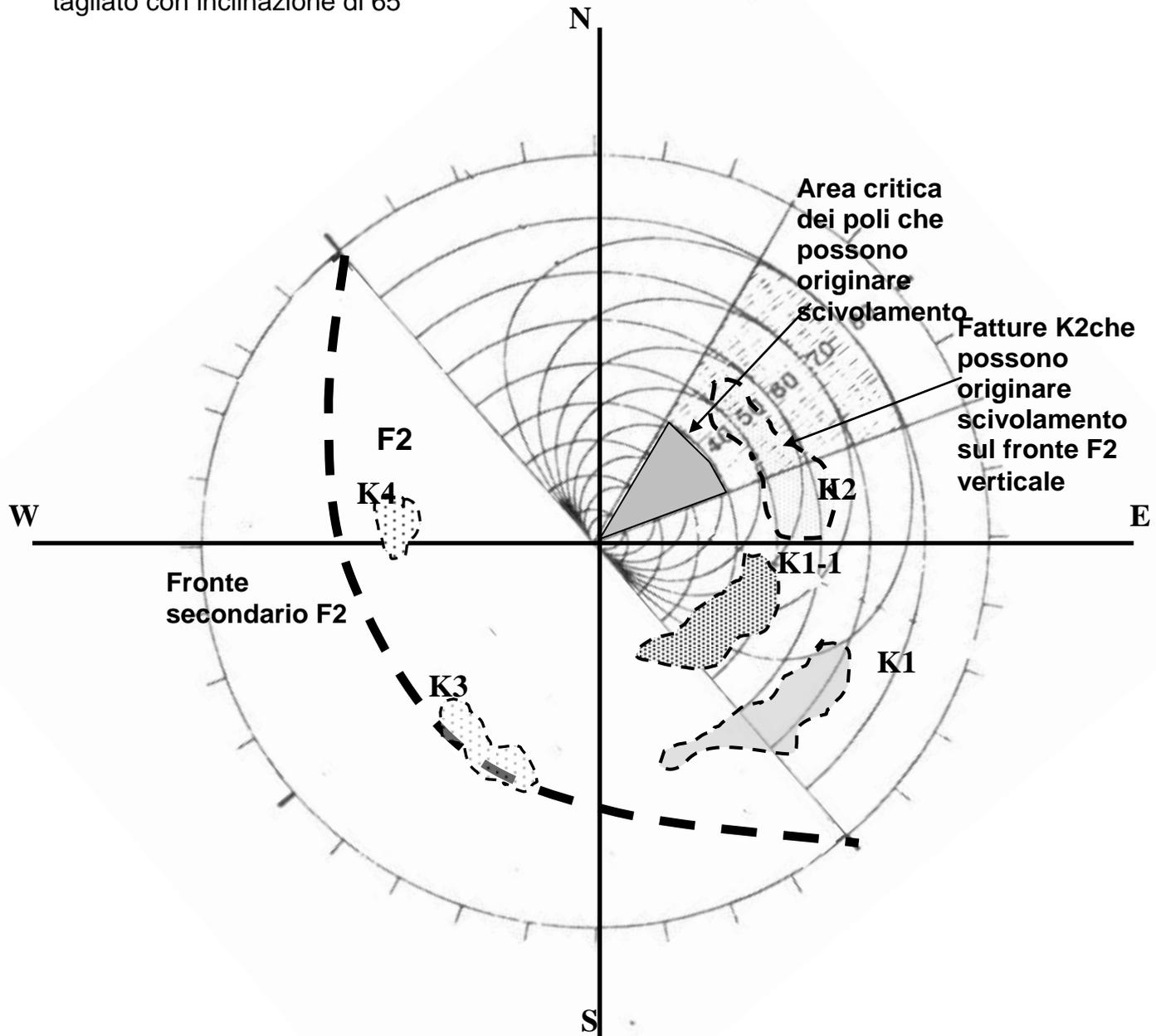
Questo tipo di fronte ha sempre larghezza limitata a pochi metri e viene realizzato durante gli abbattimenti delle bancate del fronte principale.

Figura 14. Analisi del cinematismo di scivolamento lungo il fronte secondario F2 quando è tagliato verticalmente



Dall'analisi risulta che le fratture lungo le quali potrebbe originarsi il cinematismo di scivolamento sono le K2, che escono dal fronte quando esso è verticale. L'alta spaziatura dei giunti e la continuazione verso monte dei "corsi" di marmo delimitati da essi, impedisce il cinematismo di scivolamento, anche se le fratture a volte emergono dal fronte.

Figura 15. Analisi del cinematismo di scivolamento lungo il fronte secondario F2 tagliato con inclinazione di 65°



Quando il fronte è inclinato con inclinazione simile ai giunti K2 di 65° , le fratture non escono dal fronte per cui non si può originare il cinematismo di scivolamento. Per tale motivo e per evitare sfrido di marmi, in genere i fronti secondari F2

vengono tagliati parallelamente alle fratture K2 e al “verso di macchia” , evitando così i fenomeni di scivolamento, come è visibile nella foto sottostante.

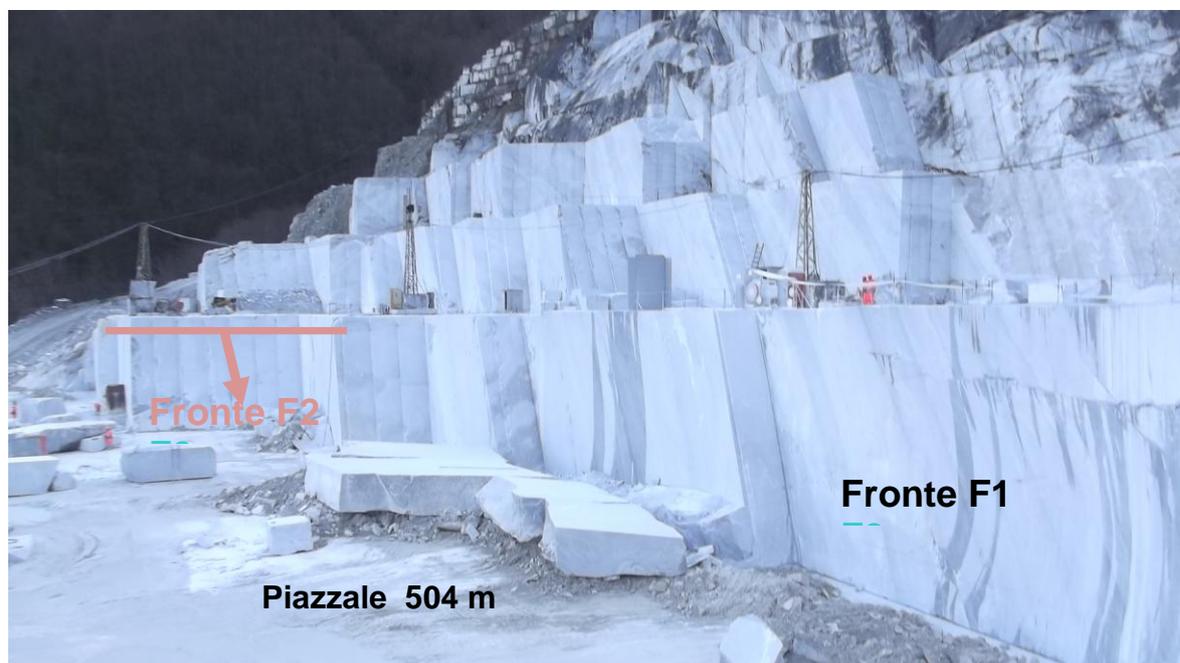
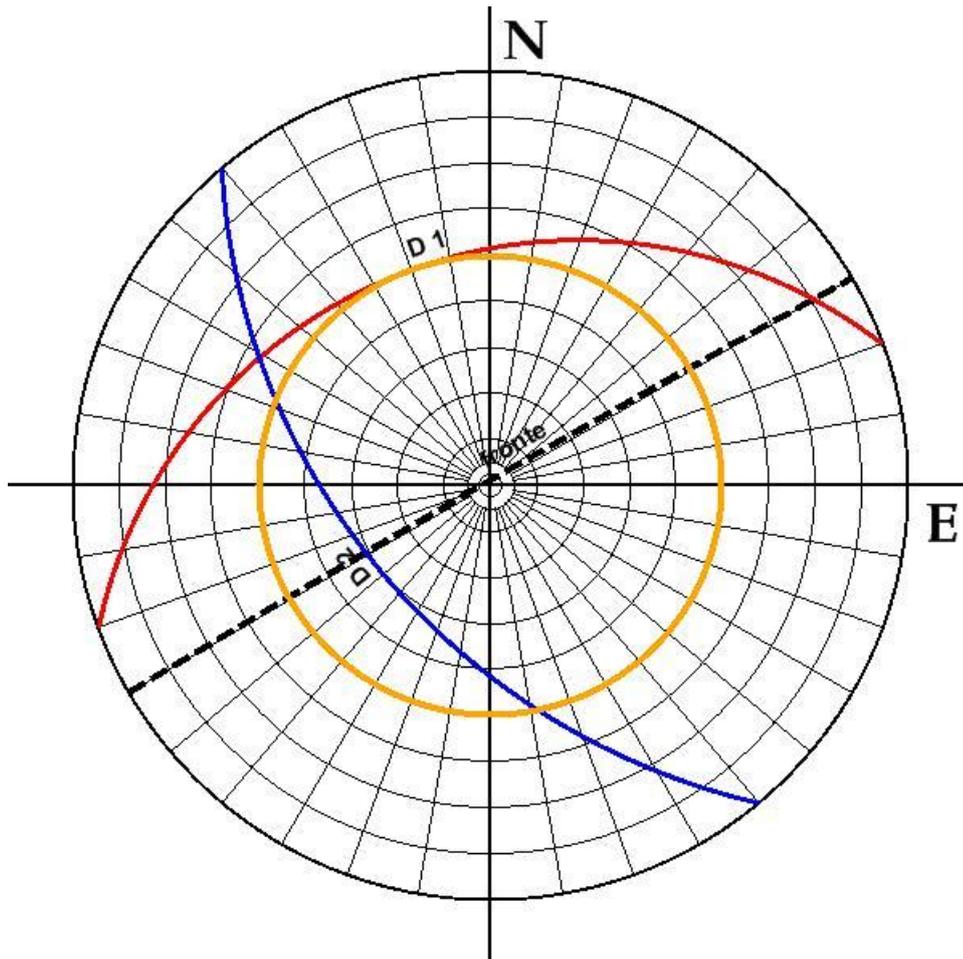


Foto 3 Cava Cattani Lisciata. Piazzale 504 m .Fronte F2 tagliato con inclinazione simile alle fratture K2 e al verso di macchia. A destra i fronti F1

7.7 TEST DI MARKLAND SUL FRONTE PRINCIPALE F1

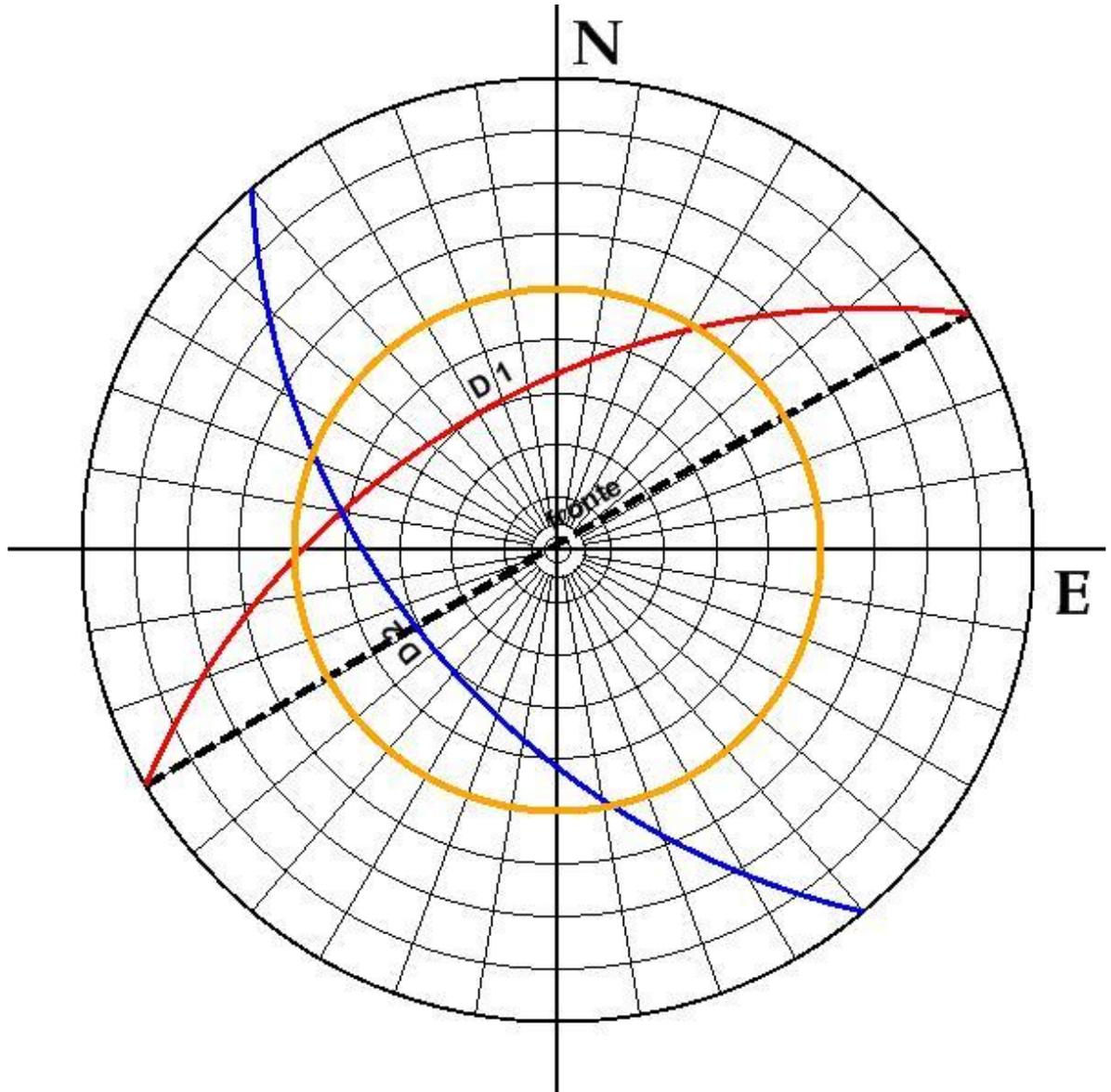
Eseguendo alcune analisi di stabilità dei cunei che potrebbero ipoteticamente formarsi sul fronte principale F1, mediante l'utilizzo del test di Markland, elaborato dal programma IS GeoRocce, che prende in considerazione l'incontro di due famiglie di fratture e del fronte, emerge che non si possono creare cunei potenzialmente instabili nell'incontro delle fratture K1-1 e K2, come visibile sulla figura 16.



(Figura 16 - schematizzazione del test di Markland)

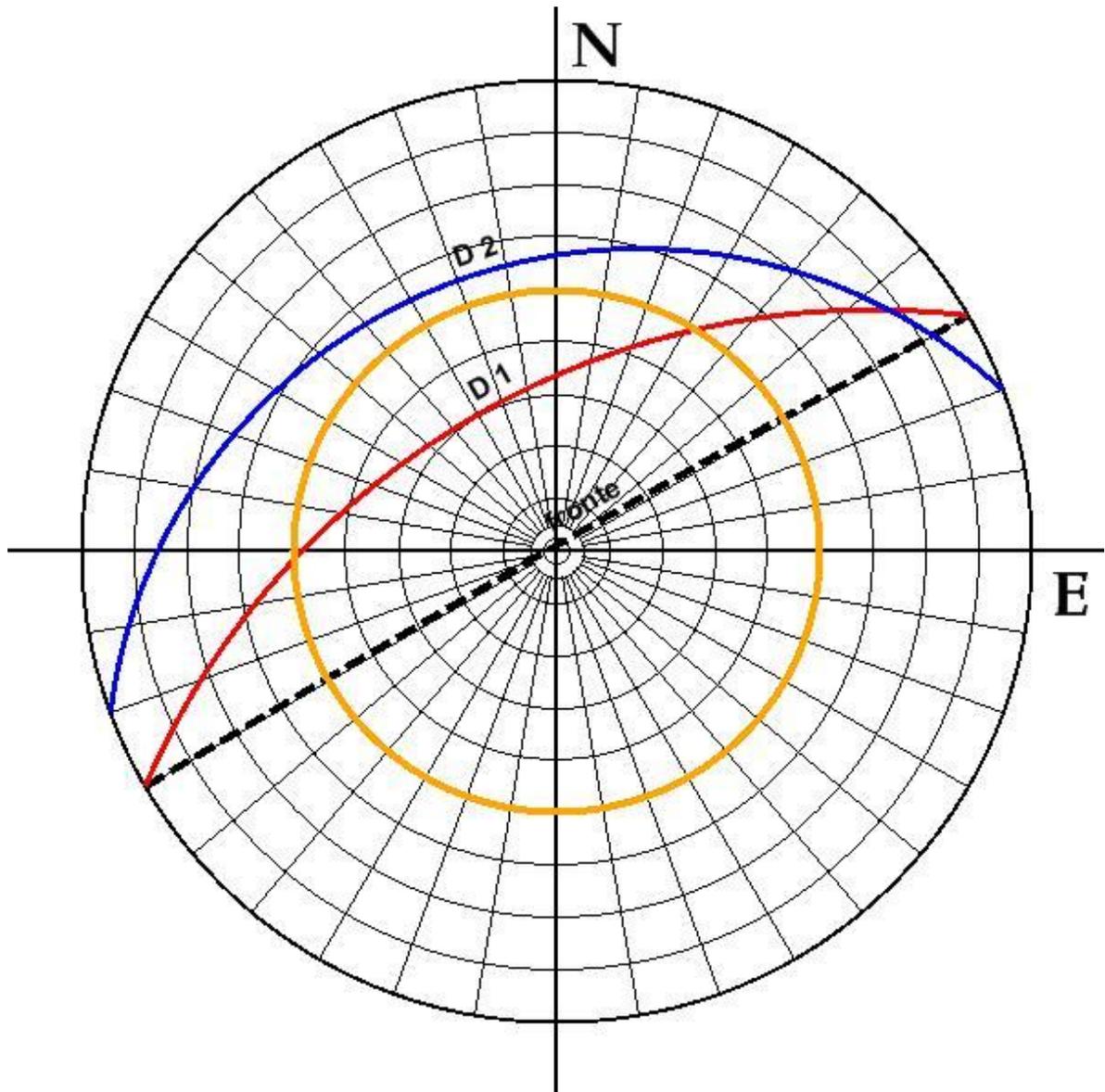
- ϕ : - angolo di attrito medio fra le discontinuità meccaniche = 40
- **Fr**: - Fronte: dip (inclinazione) = 89 ; dipdir (immersione) = 330
- **D1**: - prima discontinuità: dip = 40; dip-dir = 340
- **D2**: - seconda discontinuità: dip = 60 ; dipdir = 230

Si possono creare scivolamenti quando emergono dal fronte le fratture K1 che hanno inclinazione superiore a quella dell'angolo di attrito interno, come è riscontrabile nelle figure 17 e 18.



(Figura 17 - schematizzazione del test di Markland)

- ϕ : - angolo di attrito medio fra le discontinuità meccaniche = 40
- Fr**: - Fronte: dip (inclinazione) = 89 ; dipdir (immersione) = 330
- D1**: - prima discontinuità: dip = 60 ; dip-dir = 330
- D2**: - seconda discontinuità: dip = 60 ; dipdir = 230



(Figura 18 - schematizzazione del test di Markland)

- ϕ : - angolo di attrito medio fra le discontinuità meccaniche = 40
- **Fr**: - Fronte: dip (inclinazione) = 89 ; dipdir (immersione) = 330
- **D1**: - prima discontinuità: dip = 60 ; dip-dir = 330
- **D2**: - seconda discontinuità: dip = 35 ; dipdir = 340

7.8 ANALISI STABILITA' MEDIANTE IL PROGRAMMA ROCK 3 D

Una analisi deterministica di stabilità dei vari fronti di coltivazione era stata eseguita sia nell'anno 2006 che nell'anno 2011, eseguendo una serie successiva di stendimenti, per inserire le varie fratture nel programma Rock 3 D, che ha permesso di individuare se esisteva la possibilità di formazione di cunei rocciosi, soprattutto per i fronti superiori della cava che oggi sono abbandonati, con fronti alti mediamente 10 metri e gradoni rompifronte con larghezza da 2 a 10 metri.

Gli ampi gradoni sono stati realizzati per evitare di fare emergere dal fronte le eventuali fratture K1 ed evitare cinematismi di scivolamento.

Con il presente piano di coltivazione si prevede la coltivazione dei gradoni situati alle quote inferiori a 505 m, per cui le lavorazioni saranno svolte nelle aree già oggetto di coltivazioni passate, sui fronti che oggi sono obliterati dalle bastionature e dai riempimenti di detrito, eseguiti per allargare i piazzali superiori.

I risultati degli stendimenti e analisi eseguite negli anni 2006 e 2011, quando i fronti erano visibili e sono state rilevate le fratture che li interessavano, sono stati ripresi e utilizzati per le analisi di stabilità dei fronti che oggi non sono visibili.

I risultati possono essere estesi probabilisticamente a tutte le varie porzioni di fronti F1 di avanzamento, emergendo su tutti essi le medesime famiglie di giunti, anche se posizionate ad ascisse ed ordinate diverse, come succede ad ogni abbattimento di una porzione di fronte di coltivazione.

Dall'analisi degli elaborati, risulta che lungo i fronti principali F1 sono quasi sempre riscontrabili le tracce delle fratture K1-1, e K1, alcune volte le K2 e raramente le K3, il cui incontro non genera cunei.

Nel caso che dal fronte emerga una frattura K1, la porzione marmorea compresa tra il fronte e la frattura può essere soggetta al cinematismo di scivolamento, come è già stato precedentemente analizzato, per cui i blocchi delimitati dalle K1 devono essere abbattuti mediante "spogliazione" della frattura oppure consolidati con chiodature con barre di acciaio, nel caso di fronti non più oggetto di coltivazione.

Le fratture K1 in genere sono presenti nelle parti superiori della cava e in tali zone i fronti sono stati realizzati mediante “spogliazione” delle fratture K1.

Gli abbattimenti si effettuano normalmente durante la coltivazione con uso di escavatore o di cuscino ad acqua

I gradoni situati alle quote superiori sono stati abbandonati come gradoni rompifronte e non sono stati più oggetto di coltivazioni.

Anche i fronti dei gradoni situati sotto la quota 504 m, come il gradone di quota 494, quello sottostante e quello di 470 m, per i quali era stata fatta l'analisi di stabilità nell'anno 2011, non sono stati oggetto di coltivazione e sono stati ricoperti di detrito, per una loro futura ripresa delle coltivazioni dall'alto.



Foto 4 Cava Cattani Lisciata. Piazzale di 514 m
I fronti F1, dove emergevano le fratture K1, sono stati realizzati mediante spogliazione di tali fratture.

ANALISI DEI FRONTI DEL GRADONE DI QUOTA 494 m CON IL PROGRAMMA ROCK 3D

I fronti del gradone di quota 494 erano già stati oggetto di analisi nell'anno 2011. Tali fronti sono stati poi ricoperti dal detrito per ampliare il piazzale di quota 504. Oggi il detrito che ricopriva tale gradone è stato in parte asportato, riportando alla luce il fronte che sarà oggetto di coltivazione.



Foto 5 Cava Cattani Lisciata. Ripiano di 494 m che è stato riportato a giorno, dopo l'asportazione del detrito che lo ricopriva.

L'analisi di stabilità con il programma Rock 3 D di tale fronte era stata eseguita negli anni passati, mediante realizzazione di stendimenti per rilevare le fratture. Di seguito si allega la vecchia fotografia del fronte, che era ancora tutto scoperto (foto 6) e gli istogrammi ricavati dal programma di analisi della stabilità.

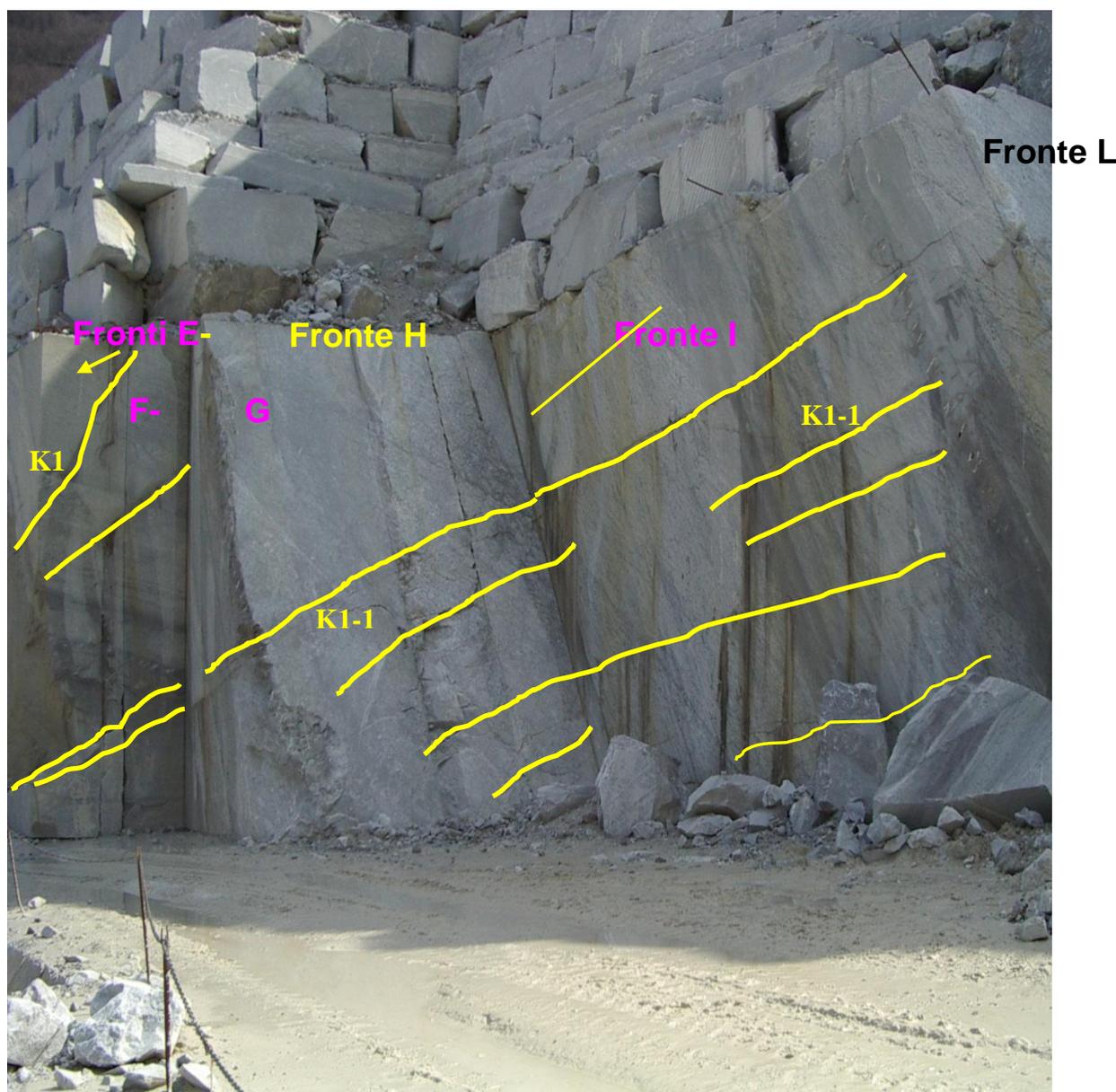
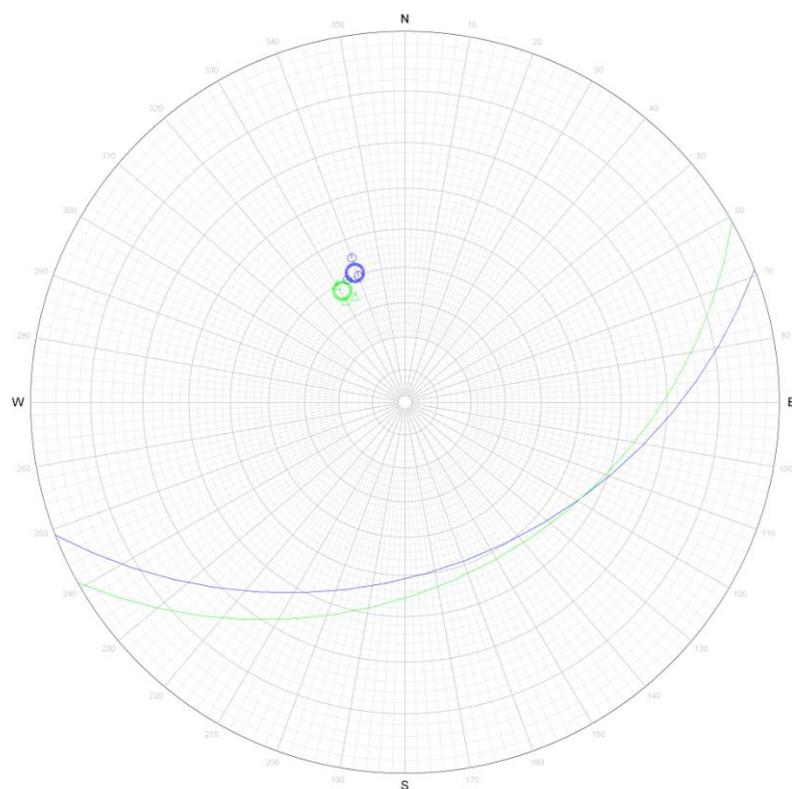


Foto 6. Ripiano di quota 494 metri, quando i fronti erano visibili.

RILIEVO STRUTTURALE

ANALISI DETERMINISTICA DI STABILITA'
CAVA CATTANI LISCIATA. CANTIERE Q.494
FRONTE I 2
ALLEGATO I 2



www.geosoft.com

FRONTE I 2
ALLEGATO I 2

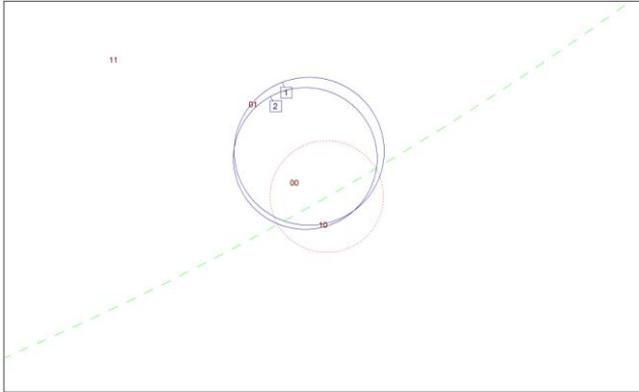
RISULTATI DELLA CLUSTER ANALYSIS

GIACITURA CARATTERISTICA DEI CLUSTER

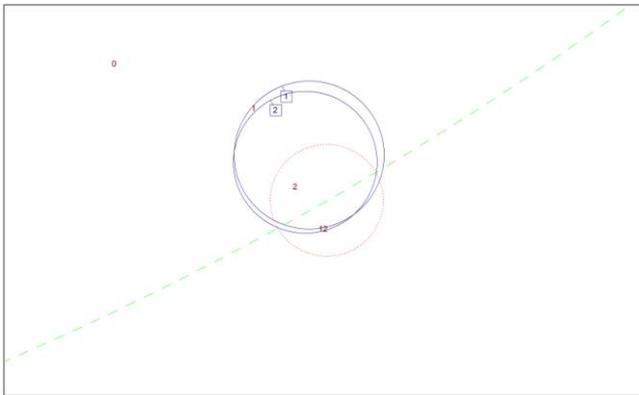
Cluster	Immersione [°]	Inclinazione [°]
1	339	41
2	331	38

ANALISI DEI CINEMATISMI

ANALISI DETERMINISTICA DI STABILITA'
CAVA CATTANI LISCIATA. CANTIERE Q.494
FRONTE I 2
ALLEGATO I 2



PIRAMIDI DI GIUNTI



PIANI DI SCIVOLAMENTO

www.geoandsoft.com

ANALISI DELLE DISCONTINUITA' REALI

ANALISI DETERMINISTICA DI STABILITA'
CAVA CATTANI LISCIATA. CANTIERE Q.494
FRONTE I 2
ALLEGATO I 2



MAPPA DELLE TRACCE DELLE DISCONTINUITA'

www.geoandsoft.com

MAPPE DELLE REGIONI MASSIME

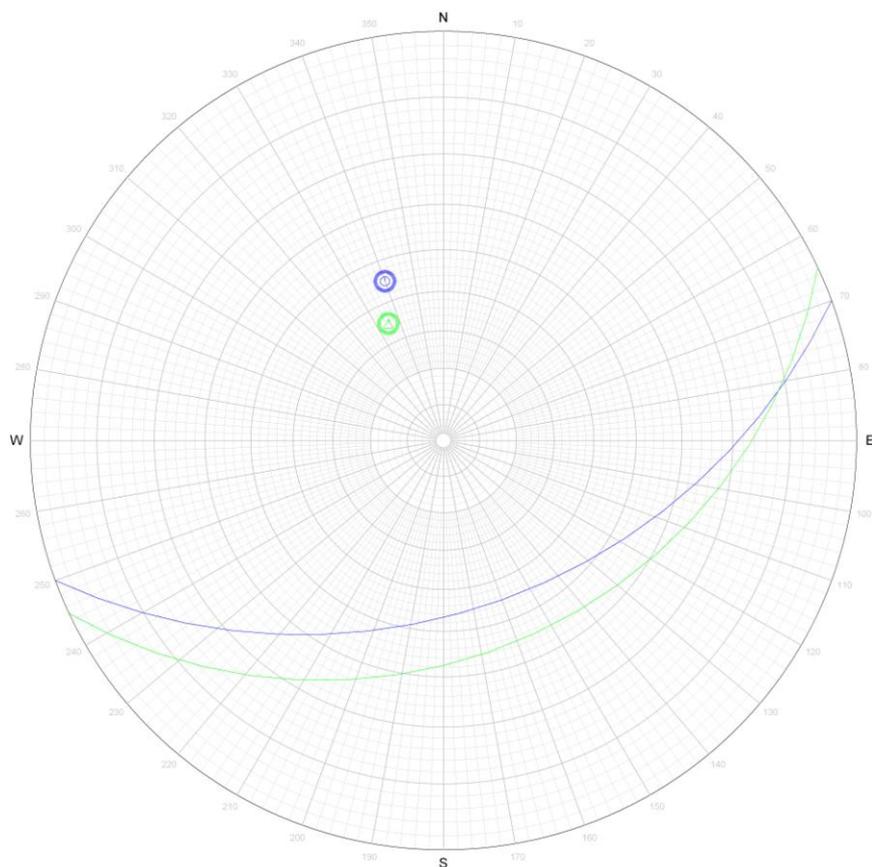
PARAMETRI DEL FRONTE

Larghezza [m]	13.00
Altezza [m]	9.00
Area [m ²]	117.00
Inclinazione [°]	89.00
Immersione [°]	330.00
Peso di volume [kN/m ³]	27.00

Lungo il fronte I del gradone di quota 494 non ci sono le condizioni per la formazione di cunei.

RILIEVO STRUTTURALE

ANALISI DETERMINISTICA DI STABILITA'
CAVA CATTANI LISCIATA, CANTIERE Q.494
FRONTE L 2
ALLEGATO L 2



www.geoandsoft.com

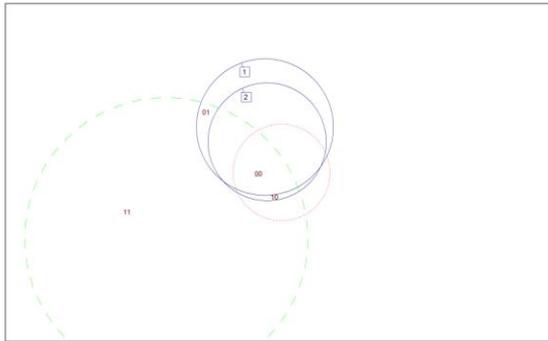
RISULTATI DELLA CLUSTER ANALYSIS

GIACITURA CARATTERISTICA DEI CLUSTER

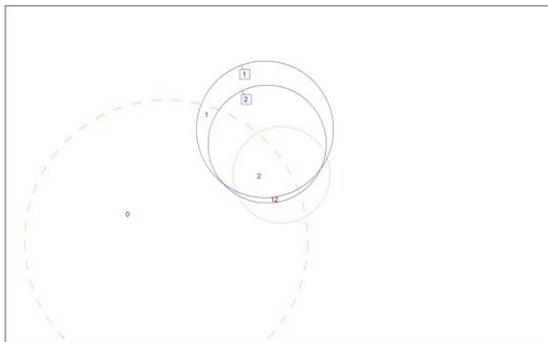
Cluster	Immersione [°]	Inclinazione [°]
1	340	45
2	335	35

ANALISI DEI CINEMATISMI

ANALISI DETERMINISTICA DI STABILITA'
CAVA CATTANI LISCIATA, CANTIERE Q.494
FRONTE L 2
ALLEGATO L 2



PIRAMIDI DI GIUNTI

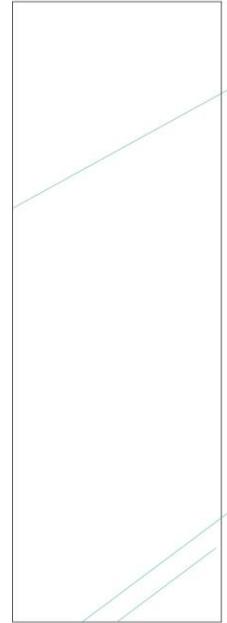


PIANI DI SCIVOLAMENTO

www.geosoft.com

ANALISI DELLE DISCONTINUITA' REALI

ANALISI DETERMINISTICA DI STABILITA'
CAVA CATTANI LISCIATA, CANTIERE Q.494
FRONTE L 2
ALLEGATO L 2



MAPPA DELLE TRACCE DELLE DISCONTINUITA'

www.geosoft.com

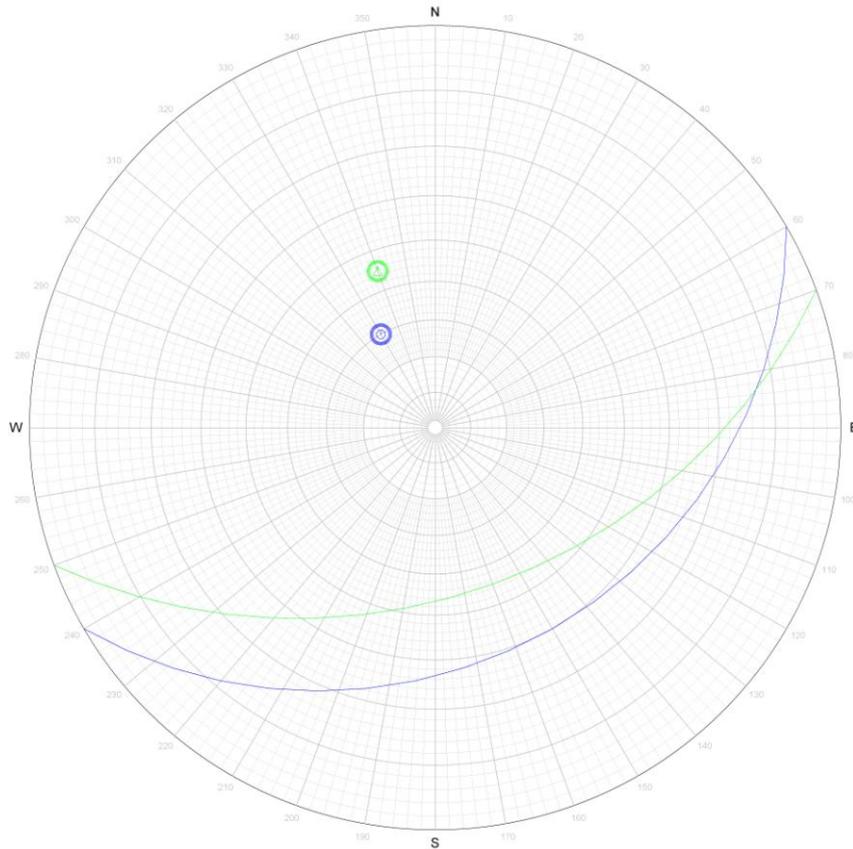
PARAMETRI DEL FRONTE

Larghezza [m]	3.00
Altezza [m]	9.00
Area [m ²]	27.00
Inclinazione [°]	70.00
Immersione [°]	240.00
Peso di volume [kN/m ³]	27.00

Lungo il fronte L del gradone di quota 494 non ci sono le condizioni per la formazione di cunei

RILIEVO STRUTTURALE

ANALISI DETERMINISTICA DI STABILITA'
CAVA CATTANI LISCIATA. CANTIERE Q.494
FRONTE N2
ALLEGATO N 2



www.geoandsoft.com

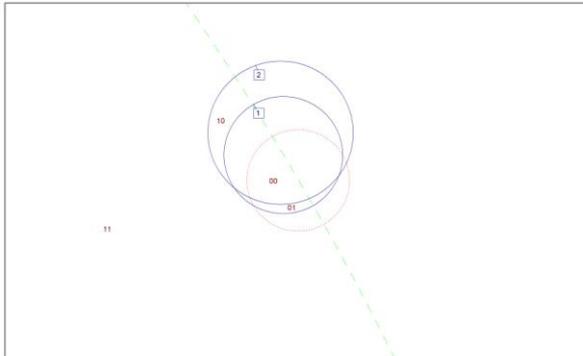
RISULTATI DELLA CLUSTER ANALYSIS

GIACITURA CARATTERISTICA DEI CLUSTER

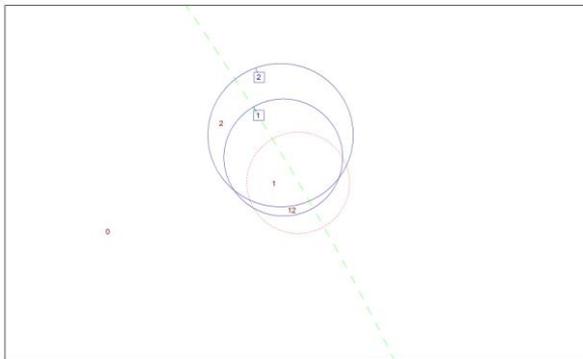
Cluster	Immersione [°]	Inclinazione [°]
1	330	30
2	340	45

ANALISI DEI CINEMATISMI

ANALISI DETERMINISTICA DI STABILITA'
CAVA CATTANI LISCIATA. CANTIERE Q.494
FRONTE N2
ALLEGATO N 2



PIRAMIDI DI GIUNTI

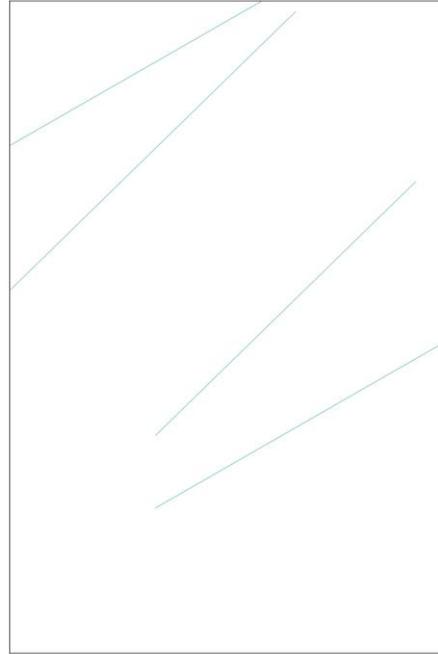


PIANI DI SCIVOLAMENTO

www.geosoft.com

ANALISI DELLE DISCONTINUITA' REALI

ANALISI DETERMINISTICA DI STABILITA'
CAVA CATTANI LISCIATA. CANTIERE Q.494
FRONTE N2
ALLEGATO N 2



MAPPA DELLE TRACCE DELLE DISCONTINUITA'

www.geosoft.com

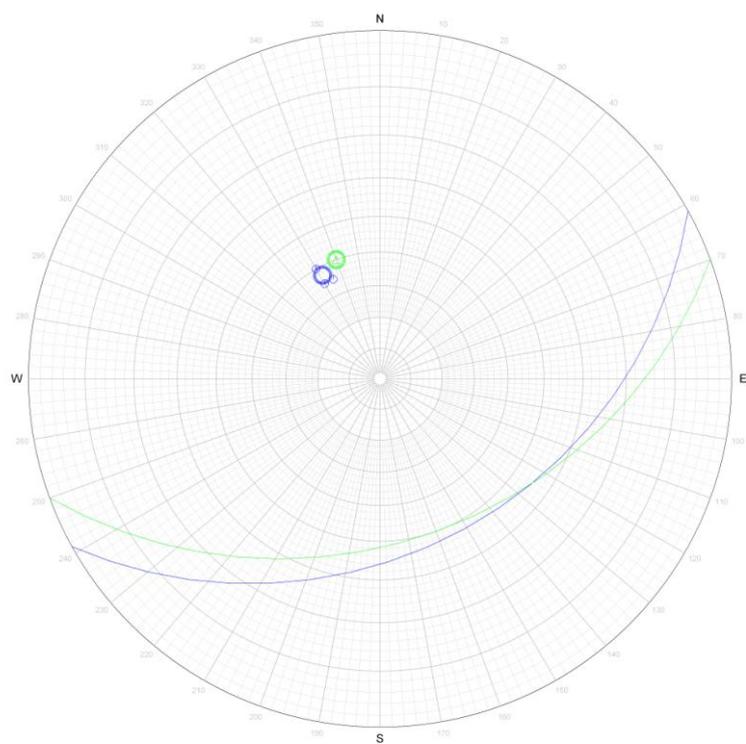
PARAMETRI DEL FRONTE

Larghezza [m]	6.00
Altezza [m]	9.00
Area [m ²]	54.00
Inclinazione [°]	89.00
Immersione [°]	240.00
Peso di volume [kN/m ³]	27.00

Lungo il fronte N del gradone di quota 494 non ci sono le condizioni per la formazione di cunei

RILIEVO STRUTTURALE

ANALISI DETERMINISTICA DI STABILITA'
CAVA CATTANI LISCIATA. CANTIERE Q.494
FRONTE O 2
ALLEGATO O 2



www.geoandsoft.com

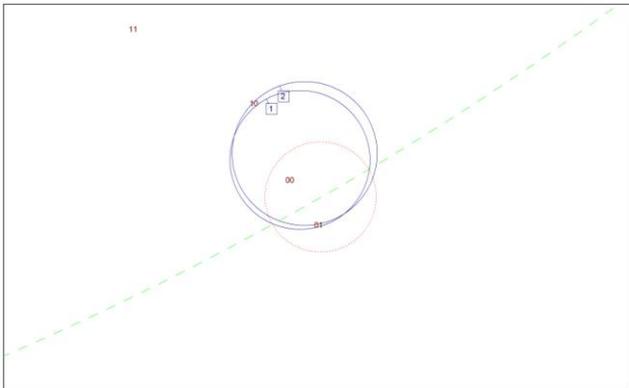
RISULTATI DELLA CLUSTER ANALYSIS

GIACITURA CARATTERISTICA DEI CLUSTER

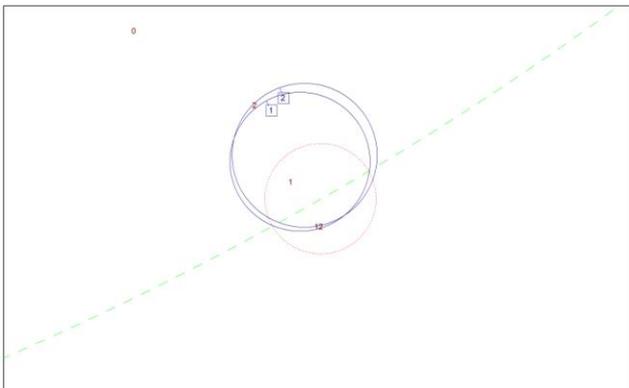
Cluster	Immersione [°]	Inclinazione [°]
1	331	37
2	340	40

ANALISI DEI CINEMATISMI

ANALISI DETERMINISTICA DI STABILITA'
CAVA CATTANI LISCIATA. CANTIERE Q.494
FRONTE O 2
ALLEGATO O 2



PIRAMIDI DI GIUNTI

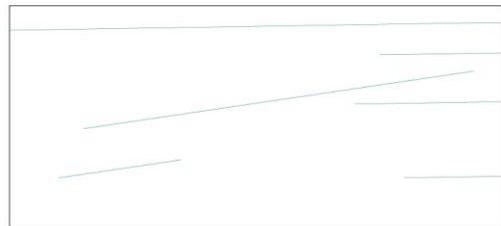


PIANI DI SCIVOLAMENTO

www.geoandsoft.com

ANALISI DELLE DISCONTINUITA' REALI

ANALISI DETERMINISTICA DI STABILITA'
CAVA CATTANI LISCIATA. CANTIERE Q.494
FRONTE O 2
ALLEGATO O 2



MAPPA DELLE TRACCE DELLE DISCONTINUITA'

www.geoandsoft.com

MAPPE DELLE REGIONI MASSIME

PARAMETRI DEL FRONTE

Larghezza [m]	20.00
Altezza [m]	9.00
Area [m ²]	180.00
Inclinazione [°]	89.00
Immersione [°]	330.00
Peso di volume [kN/m ³]	27.00

Lungo il fronte N del gradone di quota 494 non ci sono le condizioni per la formazione di cunei

GRADONE DI QUOTA 488 m

Al di sotto del gradone di quota 494/495 m vi è il ripiano di 481 metri e successivamente il gradone di 471 m, sepolti dal detrito scaricato per ampliare i piazzali di lavorazione superiori. Tali piazzali sono delimitati da fronti F1 e F2, che hanno la stessa direzione e immersione di quelli che delimitano il piazzale di 481 m.

Con il ribasso del piazzale di 494/495 m, si aprirà lo sbasso sottostante a 488 m, in modo da avere bancate da abbattere alte 7 m.

I fronti che delimitano questi piani sono attualmente obliterati dal detrito, per cui si sono utilizzati i rilievi delle fratture e gli stendimenti eseguiti negli anni 2006 e 2011, quando i fronti erano visibili.

Anche su questi fronti è stata eseguita l'analisi probabilistica di stabilità.

FRONTE PRINCIPALE (F1),

Su questo fronte sono visibili solo le tracce delle fratture K1-1, rare K1 e poche K2, per cui non c'è la possibilità di formazione di cunei rimovibili su tale fronte.

FRONTE SECONDARIO (F2),

Su questo fronte, che ha lunghezza molto limitata ed è aperto parallelamente alle fratture K2, sono visibili solo le tracce delle fratture K1-1 e rare K1, per cui non c'è la possibilità di formazione di cunei rimovibili.

I cinematismi di scivolamento di cunei rocciosi lungo i piani K1-1 si potrebbero realizzare durante le lavorazioni, quando vengono tagliate posteriormente e lateralmente le bancate di marmo, con tagli verticali paralleli e perpendicolari al piano del fronte, dati per isolare le bancate di larghezza di 3 metri e lunghezza media di 6 metri, interrompendo così la continuità dei corsi.

Per evitare inconvenienti durante le lavorazioni, quando si effettuano i tagli posteriormente, è consigliabile di eseguirli con la macchinetta posizionata sulla parte superiore della bancata e le lavorazioni alla base andranno effettuate nelle zone laterali del fronte, preparando alla sua base un letto di detriti per ammortizzare eventuali scivolamenti ed inibendo la zona al passaggio.

Questa misura precauzionale va adottata anche se è stato constatato negli anni passati di coltivazione, che dopo avere dato i tagli posteriori della bancata non si

originavano scivolamenti lungo le fratture citate, neppure dopo avere posto cuscini nel taglio e avere sottoposto a spinte le bancate.

FOTO 8 . Cava Cattani-Lisciata . Visibili i gradoni di 481 e 471m e fronti F1 e F2 e le fratture che li interessano



PIAZZALE DI QUOTA 461

Il piazzale di quota 461 m attualmente è utilizzato per la raccolta, la decantazione e il riciclo delle acque meteoriche che provengono dai ripiani soprastanti.

I fronti che lo delimitano nella parte meridionale i fronti principali F1 e quelli secondari F2, che hanno la stessa direzione e immersione di quelli che delimitano tutti i ripiani soprastanti.

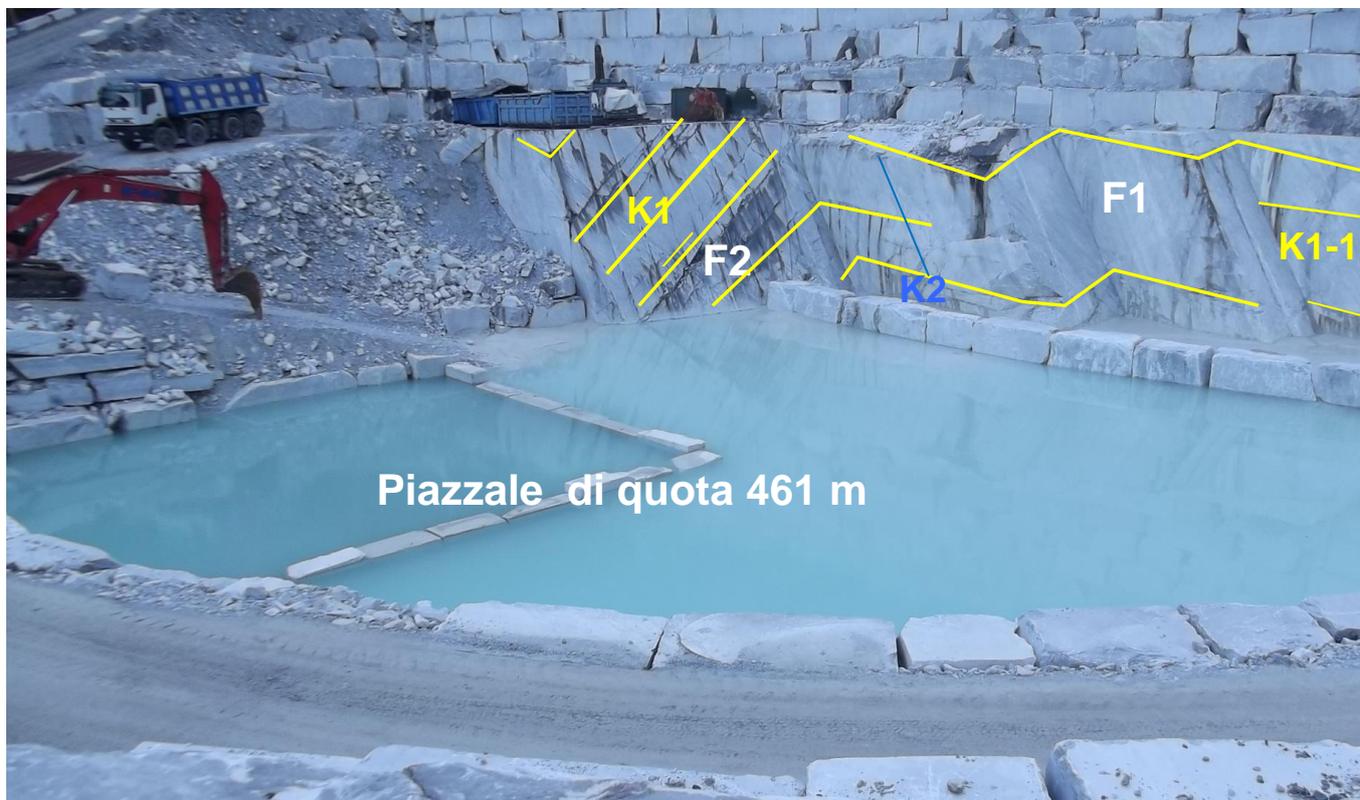


FOTO 9.

Cava "CATTANI-LISCIATA" ripiano di quota 461. Sul fronte sono visibili solo fratture K1-1 e rare fratture K2, parallele al verso di macchia.

FRONTE F1 PIAZZALE 461 METRI

Il fronte principale F1, che delimita il piazzale inferiore, situato a 461 metri, visibile sulla foto 9, si presenta interessato da fratture K1-1 con persistenza limitata e da rare fratture K2, per cui non si evidenziano cunei.

. FRONTE F2 PIAZZALE 461 METRI

Anche il fronte secondario F2 si presenta interessato da fratture K1-1 con persistenza limitata, per cui non si formano cunei.

8 CONCLUSIONI

I fronti della cava CATTANI- LISCIATA si presentano sani e compatti, interessati da fratture della famiglia K1-1. Nelle parti superiori appaiono fratture più inclinate K1. Le fratture della famiglia K2 sono poche e rarissime quelle K3 e K4. Queste ultime sono presenti solo sui fronti superiori, in prossimità del monte vergine.

Con le coltivazioni previste sui vari fronti non emerge la possibilità di avere cinematismi differenti da quelli sopra analizzati.

I fronti dei gradoni soprastanti di 504 m, 515, 525 m sono stati analizzati con la presentazione del piano di coltivazione nell'anno 2018 ed è emersa una situazione di stabilità. Tale piano era stato autorizzato con Determinazione dirigenziale n. 219 del 18/06/2018, con scadenza 04/05/2022.

E' emerso che potrebbero realizzare cinematismi di scivolamenti lungo le fratture K1, per cui i fronti in cui sono presenti tali fratture vengono realizzati eseguendo gli abbattimenti lungo queste fratture.

Quando emergono le K1-1 dai fronti principali F1, la scabrezza dei giunti e il basso angolo di inclinazione delle K1-1 impediscono lo scivolamento spontaneo.

Però per precauzione, quando emergono le tracce di tali fratture dal fronte, specie se sono molto inclinate, è consigliabile eseguire le lavorazioni dall'alto e stando lateralmente al fronte da tagliare, preparando alla sua base un letto di detriti per ammortizzare eventuali scivolamenti ed inibendo la zona al passaggio, quando si effettuano i tagli ad isolare la bancata posteriormente.

Se durante l'abbattimento delle bancate si individua la presenza di un possibile cuneo di distacco, il sorvegliante e/o il Direttore dei lavori opererà immediatamente con l'escavatore per abatterlo o in alternativa, se il fronte non verrà più coltivato, si dovrà consolidare per aumentare il fattore di sicurezza, mediante opportune chiodature, legature o fasciature.

I fronti residui superiori, posti a meridione e in alto, sono stati oggetto di interventi di disgaggio e di consolidamento, mediante una serie di chiodature preventive eseguite negli anni passati.

Le opere di consolidamento dei gradoni abbandonati sono state eseguite su ciascun gradone abbandonato, mediante la realizzazione di chiodature sia orizzontali che verticali, ad intercettare le fratture K1 e K1-1..

Dopo avere ultimato gli avanzamenti su un gradone e avere lasciato un gradone rompi fronte, il Direttore Responsabile e il Sorvegliante valuteranno le condizioni del fronte stesso che verrà abbandonato, in modo da individuare se su di esso siano presenti cunei che potrebbero essere rimossi con l'escavatore oppure se è necessario eseguire chiodature di consolidamento, in modo tale da eseguire le coltivazioni nei piani inferiori in tutta sicurezza.

Tutti i gradoni rompifronte abbandonati nelle zone superiori della cava hanno larghezza media di 5-6 metri.

Carrara ottobre 2020

Geol. Dott. Alberto Cattani



A circular professional stamp of the Italian Geological Association (Associazione Nazionale Geologi della Toscana) is visible. The stamp contains the text: "ASSOCIAZIONE NAZIONALE GEOLOGI DELLA TOSCANA", "DOTT. GEOL. ALBERTO CATTANI", and "No 121". Below the stamp is a handwritten signature in black ink.

INDICE

1	PREMESSA	PAG. 1
	2	INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO E CATASTALE " 1
3.	DESCRIZIONE GIACIMENTOLOGICA DELLA CAVA	" 1
4.	CARATTERISTICHE MERCEOLOGICHE E GEOTECNICHE DEL MARMO	" 3
5.	ANALISI STRUTTURALE DELL'AMMASSO ROCCIOSO	" 4
6.	CARATERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO	" 8
7.	SITUAZIONE DEI FRONTI E ANALISI DI STABILITA'	" 19
7.1	ANALISI DEL CINEMATISMO DI RIBALTAMENTO DIRETTO SUL FRONTE F1	" 20
7.2	ANALISI DEL CINEMATISMO DI RIBALTAMENTO DIRETTO SUL FRONTE F2 .	" 22
7.3	ANALISI DI RIBALTAMENTO COLONNARE SUL FRONTE F1 .	" 23
7.4	ANALISI DI RIBALTAMENTO COLONNARE SUL FRONTE F2	. " 25
7.5	ANALISI DEL CINEMATISMO DI SCIVOLAMENTO PLANARE SUL FRONTE F1 .	" 26
7.6	ANALISI DEL CINEMATISMO DI SCIVOLAMENTO SUI FRONTI SECONDARI F2	" 31
7.7	TEST DI MARKLAND SUL FRONTE PRINCIPALE F1	" 34
7.8	ANALISI STABILITA' MEDIANTE IL PROGRAMMA ROCK 3 D	" 37
8	CONCLUSIONI	" 53