STUDIO DI GEOLOGIA

Dott. Alberto Cattani (338- 2875555)
VIA CAVOUR 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 DI SCAVO IN SOTTERRANEO, DEL FRONTE PRINCIPALE RESIDUO DI CAVA A CIELO APERTO E DEL VERSANTE SOPRASTANTE

CAVA DI MARMO DENOMINATA "PESCINA A" n° 13

COMUNE DI CARRARA (MS)
BACINO DI PESCINA BOCCANAGLIA

DITTA ESCAVAZIONE LA GIOIA SRL
VIA CARRIONA 388 CARRARA

Carrara febbraio 2022 Geol. Dott. Alberto Cattani

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

INDICE

1. PREMESSA Pag. 2

2 DESCRIZIONE GIACIMENTOLOGICA DELLA CAVA pag. 3

3 CARATTERISTICHE MERCEOLOGICHE E GEOTECNICHE DEL MARMO pag. 3

4 ANALISI STRUTTURALE DELL'AMMASSO ROCCIOSO pag. 3

5 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO pag. 12

6 SITUAZIONE DEI FRONTI E ANALISI DI STABILITA' pag. 22

6.1 ANALISI DEL CINEMATISMO DI RIBALTAMENTO DIRETTO SUI FRONTI F1 - F2- F3. Pag 23

6.2 ANALISI DEL CINEMATISMO DI RIBALTAMENTO COLONNARE SUI FRONTI F1- F2-F3. Pag. 30

6.3 ANALISI DEL CINEMATISMO DI SCIVOLAMENTO PLANARE SUI FRONTI F1- F2- F3 . pag. 34

7 INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO ESEGUITI pag. 41

8 VERIFICA DEI PILASTRI DI PROGETTO pag. 42

9 CONCLUSIONI pag. 43

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

1. PREMESSA

La cava di marmo denominata PESCINA A è una unità estrattiva indicata con il numero 13 del catasto cave del Comune di Carrara ed è coltivata dalla Ditta ESCAVAZIONE LA GIOIA srl**.** con sede in Carrara via Carriona 388, che ha la disponibilità dell'area del complesso estrattivo ed è stata autorizzata alla coltivazione con autorizzazione rilasciata dal Comune di Carrara con Determina n° 92 del 05/09/2016. Con la successiva Determinazione N. 71 del 31/05/2018 è stata approvata la variante per la coltivazione in sotterraneo .

Con la Determinazione n. 903 del 05/06/2019 l'autorizzazione è stata prorogata al 17/06/2021.

Essa è situata nel Bacino marmifero di Pescina Boccanaglia, in località denominata PESCINA e si raggiunge percorrendo la strada Comunale che conduce alla località Boccanaglia e poi la strada di arroccamento privata che collega il piazzale della cava.

Con il presente Piano di coltivazione, che avrà la durata di 5 anni, come la durata della P.C.A. del Parco delle Apuane, si prevede la coltivazione di 31310 mc di roccia in posto, pari a 84537 tonnellate.

Il progetto attuale è sviluppato esclusivamente su Beni Estimati nella disponibilità della Ditta Escavazione La Gioia srl.

Il cantiere è in sotterraneo, in zona prevista “ad attività estrattiva”.

La galleria di tracciamento è aperta alla quota media di 382/382,5 metri, con tetto a circa 387,5/388.

L’ “area servizi” resterà sul piazzale a cielo aperto di quota 382 m, contiguo all’accesso al sotterraneo.

La presente analisi di stabilità è integrata con la RELAZIONE PREVISONALE DI STABILITA’ del sotterraneo e dei pilastri eseguiti dall’Ing. Marco Berlingueri dello studio di ingegneria Pandolfi.

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

2. DESCRIZIONE GIACIMENTOLOGICA DELLA CAVA

La cava "Pescina A" è aperta alla quota di circa 380 m, sul versante destro del Fosso di Pescina; è stata coltivata a cielo aperto, mentre di recente anche in sotterraneo.

Essa è stata coltivata sia a cielo aperto che in sotterraneo ed è formata da un piazzale superiore a 382 m, largo circa 25 m e lungo 40 m, contornato a occidente e a settentrione da un gradone posto a 391 m, delimitato da un fronte la cui altezza è variabile da 15 a 30 metri.

Nella parte mediana del fronte che delimita il piazzale di 382 m è aperto il sotterraneo, costituito da una galleria larga 9 m, lunga 37 m e alta 5,5 m.

Dopo 20 m dall'entrata è stata realizzata una galleria perpendicolare alla precedente e dopo 20 metri circa è stata iniziata la galleria per realizzare la seconda uscita.

A est del piazzale superiore vi è sono gradoni residui a 373 m a 366 m.

Il fronte che delimita a settentrione il piazzale inferiore è alto mediamente 30 metri.

Tale fronte è stato oggetto di consolidamento mediante barre di acciaio lunghe 9 metri e successiva fasciatura con reti e funi di acciaio.

3. CARATTERISTICHE MERCEOLOGICHE E GEOTECNICHE DEL MARMO

Il marmo che affiora lungo il versante in cui è aperta la cava è costituito da "marmo Calacattoide", oltre a marmo "venato" e a marmo scuro bardigliaceo.

Il "Bianco venato" è un materiale di colore dal bianco perlaceo al grigio chiaro a grana media, con presenza di venature e punteggiature grigie dovute alla presenza di pirite microcristallina.

Il verso di macchia, cioè la scistosità S1, ha mediamente direzione 320° con immersione 230° e inclinazione media di 35°.

4. ANALISI STRUTTURALE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Il fronte principale di coltivazione e avanzamento del sotterraneo o F1 è quelli situato a NNW, mentre il fronte secondario o F2 è posto a WSW .e il fronte F3 a ENE.

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

FRONTI DI AVANZAMENTO PRINCIPALI F1 corrispondono ai fronti posti a NNW del sotterraneo, con immersione SSE e gli abbattimenti in sotterraneo si eseguiranno procedendo con i tracciamenti verso nord, come indicato sulla tavola 4.

Il fronte di cava a cielo aperto, che delimita a NNW tutta la zona di cava, ha immersione a SSE ed è un fronte F1, come quelli principali di avanzamento in sotterraneo.
Solo alcune porzioni di esso sono verticali, perché tagliati con filo, mentre in genere ha inclinazione prossima a 80/85°, in quanto realizzato mediante "spogliazione di fratture esistenti.
Il versante soprastante il ciglio di cava, fino al crinale, ha inclinazione da 20 a 40°, per cui tali porzioni non ai ritiene possibile cinematismi di instabilità.

FRONTE DI AVANZAMENTO SECONDARIO F2.
E' il fronte in sotterraneo ortogonale al precedente e corrisponde a fronte posto ad ovest dei tracciamenti del sotterraneo. A cielo aperto si ha un modesto fronte di questo tipo, sul piazzale di quota 382 m. Non si riscontrano tali fronti sul versante superiore al ciglio di cava.

FRONTI DI AVANZAMENTO SECONDARI F3.
Sono fronti del sotterraneo e sono posti ad est, sono paralleli ai precedenti, lungo il ramo del sotterraneo autorizzato.
Non sono presenti tali fronti nella zona a cielo aperto

RILIEVO DELLE FRATTURE

Sono stati eseguiti i rilievi delle fratture presenti nelle varie parti del complesso estrattivo, soprattutto lungo i fronti a cielo aperto e nelle loro parti superiori.
Nel rilievo di campagna sono stati effettuati stendimenti alla base dei fronti esistenti, sia a cielo aperto che in sotterraneo e sono state registrate le seguenti caratteristiche delle fratture: direzione, immersione, inclinazione, spaziatura, persistenza, rugosità, resistenza delle pareti, apertura, riempimento e posizione spaziale.

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

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

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

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.

Una volta registrato tutti i dati sono state determinate, tramite analisi stereografica, le principali famiglie di fratture presenti nell'ammasso roccioso (Figure 1-2-3)

Relazione sulla giaciture rilevate

Sono stati inseriti i seguenti piani di giacitura con i rispettivi valori di Dip e Dip-direction:

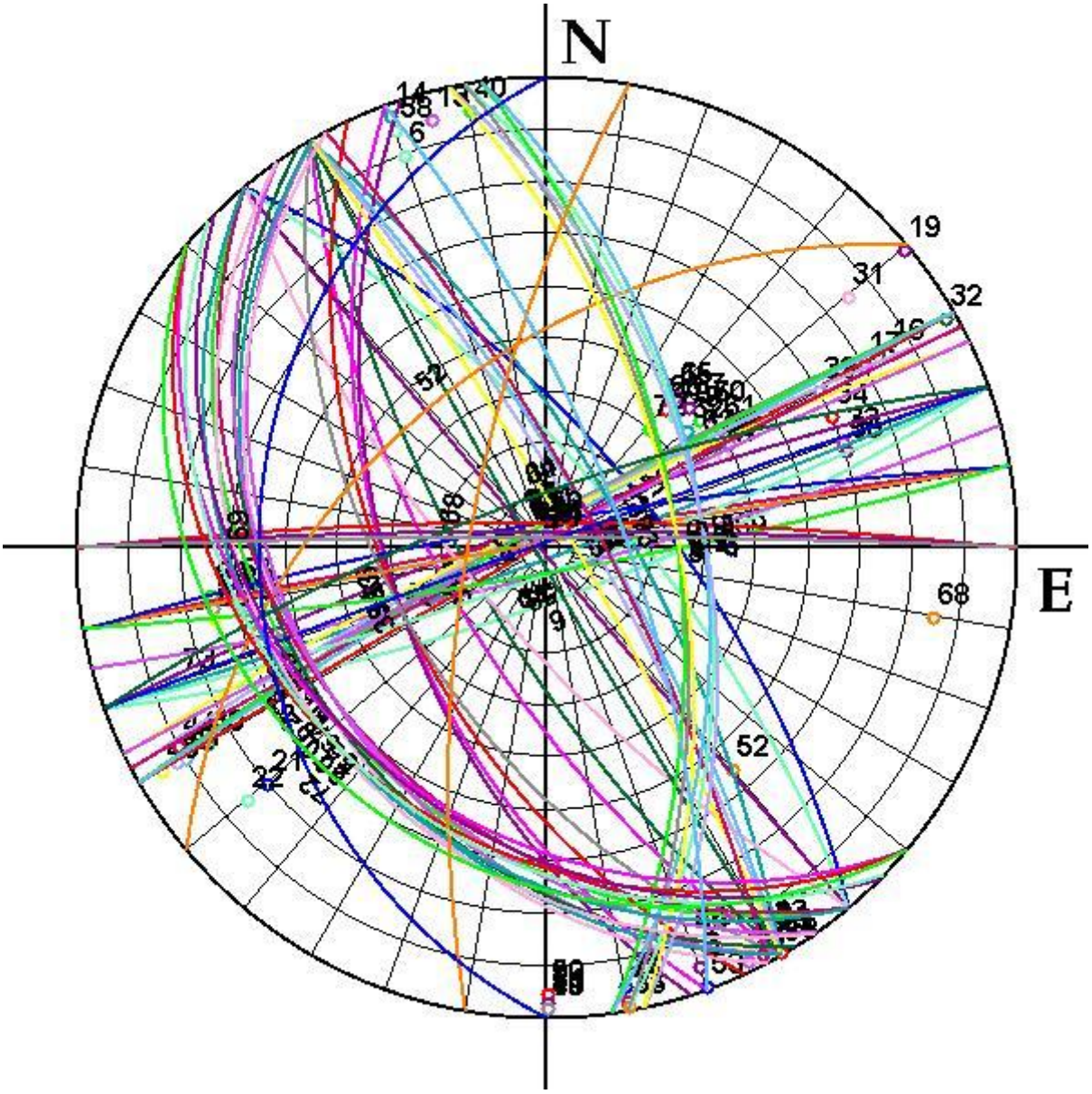
Indice	*Nome Piano*	*Dip*	*Dip-direction*
1	Piano k1	38.0	220.0
2	Piano k2	35.0	220.0
3	Piano k3	85.0	340.0
4	Piano k4	80.0	340.0
5	Piano k5	85.0	160.0
6	Piano k6	80.0	160.0
7	Piano k7	40.0	230.0
8	Piano k8	38.0	230.0
9	Piano k9	85.0	360.0
10	Piano k10	88.0	360.0
11	Piano k11	85.0	350.0
12	Piano k12	88.0	350.0
13	Piano k13	85.0	165.0
14	Piano k14	88.0	160.0
15	Piano k15	89.0	330.0
16	Piano k16	75.0	240.0
17	Piano k17	70.0	240.0
18	Piano k18	89.0	330.0
19	Piano k19	89.0	230.0
20	Piano k20	80.0	340.0
21	Piano k21	70.0	50.0
22	Piano k22	75.0	50.0
23	Piano k23	85.0	330.0
24	Piano k24	86.0	330.0
25	Piano k25	87.0	330.0
26	Piano k26	85.0	332.0
27	Piano k27	85.0	334.0
28	Piano k28	88.0	332.0
29	Piano k29	88.0	334.0

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

30	Piano k30	75.0	60.0
31	Piano k31	75.0	230.0
32	Piano k32	88.0	240.0
33	Piano k33	60.0	250.0
34	Piano k34	60.0	245.0
35	Piano k35	60.0	252.0
36	Piano k36	89.0	350.0
37	Piano k37	85.0	350.0
38	Piano k38	85.0	160.0
39	Piano k39	60.0	240.0
40	Piano k40	85.0	170.0
41	Piano k41	80.0	60.0
42	Piano k42	82.0	60.0
43	Piano k43	85.0	60.0
44	Piano k44	80.0	62.0
45	Piano k45	40.0	240.0
46	Piano k46	38.0	240.0
47	Piano k47	38.0	242.0
48	Piano k48	38.0	238.0
49	Piano k49	88.0	360.0
50	Piano k50	85.0	360.0
51	Piano k51	87.0	360.0
52	Piano k52	55.0	320.0
53	Piano k53	89.0	340.0
54	Piano k54	60.0	80.0
55	Piano k55	65.0	80.0
56	Piano k56	65.0	82.0
57	Piano k57	60.0	82.0
58	Piano k58	60.0	78.0
59	Piano k59	65.0	78.0
60	Piano k60	40.0	230.0
61	Piano k61	40.0	235.0
62	Piano k62	35.0	230.0
63	Piano k63	35.0	235.0
64	Piano k64	80.0	340.0
65	Piano k65	38.0	220.0
66	Piano k66	35.0	220.0
67	Piano k67	38.0	225.0
68	Piano k68	75.0	280.0
69	Piano k69	35.0	270.0
70	Piano k70	35.0	224.0
71	Piano k71	88.0	360.0
72	Piano k72	30.0	220.0
73	Piano k73	75.0	70.0

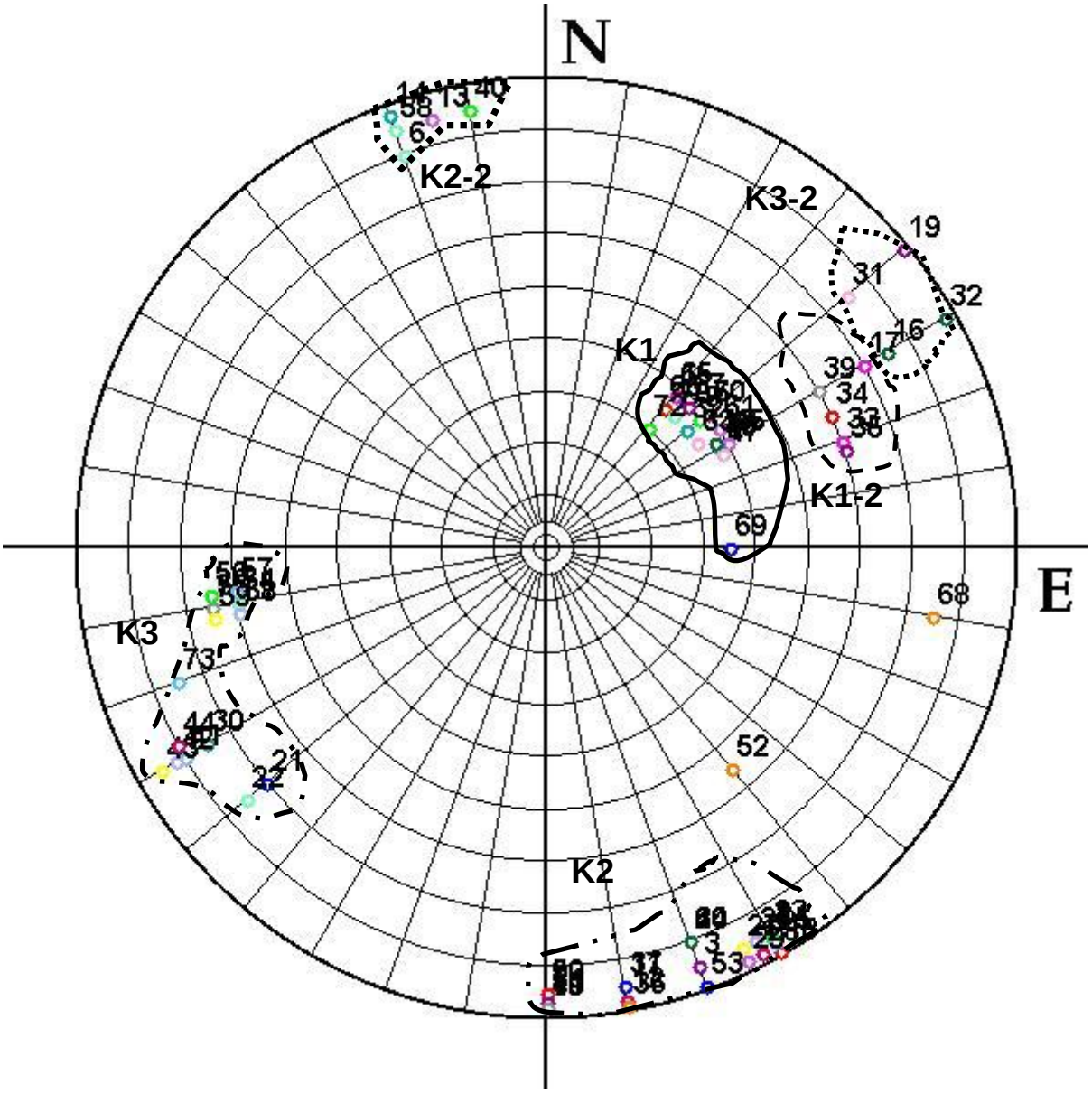
Di seguito si allegano gli stereogrammi ottenuti con giaciture e poli (Fig.1-2) e percentuale di densità ricavata (Fig.3):

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2



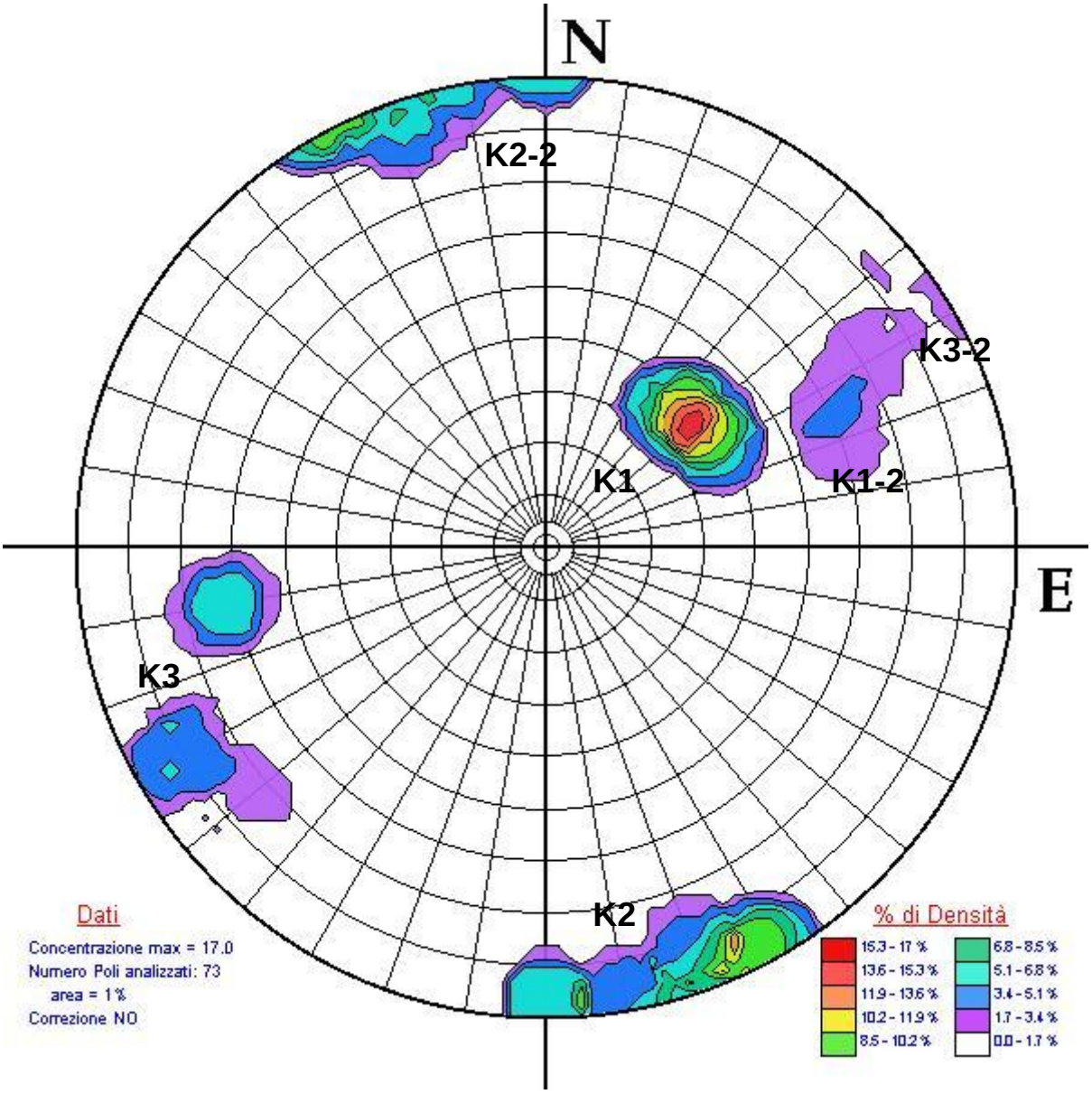
(Figura 1 - stereogramma polare con piani e poli.)

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2



(Figura 2 - stereogramma polare con poli.)

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2



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

Dall'analisi degli stereogrammi è possibile riconoscere le seguenti famiglie principali di discontinuità e sottofamiglie, cartografate nella tavola 4 delle fratture:

Famiglia di discontinuità	Dir. gradi	Imm. gradi	Incl. gradi	JRC	ESTENSIONE %
K1	140	230	35	6-8	100
K1-2	150	240	60	6-8	100
K2	70	340	85	8	100
K2-2	70	160	85	8-10	30
K3	330	60	80	6-8	80
K3-2	330	240	85	6-8	50

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

- **Famiglia K1** . La famiglia descritta è formata da fratture che hanno andamento parallelo al "verso di macchia" e si ritrovano con buona frequenza in cava, soprattutto nelle parti superiori del versante e sui fronti di escavazione, come è riscontrabile nella tavola della rappresentazione polare dei giunti Hanno piani a immersione variabile dai 210 ai 250° ed inclinazione da 25° a 40°.

Tale famiglia di fratture è formata da giunti che si presentano aperti nelle parti superiori, talvolta con materiale di riempimento di tipo terroso nelle zone vicine al monte vergine.L'indice di scabrosità (JRC) assume valori da 6 a 8 e la loro l'estensione in genere è del 100%; la spaziatura s=l/n in genere è superiore ai 2 metri , ma in alcuni punti sono più ravvicinate con spaziatura di pochi decimetri, come è visibile nella porzione di fronte situata sopra l'entrata del sotterraneo .

- **Famiglia K1-2** è da ritenersi una sottofamiglia della K1, con piani a immersione media 240°, ma con inclinazione maggiore rispetto alla prima, da 50° a 65° . I giunti si presentano aperti e l'indice di scabrosità (JRC) assume valori da 6 a 8; la loro l'estensione in genere è del 100% e la spaziatura è superiore al metro.

La frattura n° 68, che ha immersione 280° e inclinazione 75 °, riscontrabile sul fronte N del gradone di quota 366m, è una frattura K1, che in alto ha inclinazione di 35° e poi aumenta l'inclinazione fino a 75°.

- **Famiglia K2** è rappresentata dalle fratture con immersione media 340°con inclinazione da 80° fino alla verticalità.

Sono fratture abbastanza frequenti, con spaziatura superiore al metro.

I fronti settentrionali della cava e anche del sotterraneo sono aperti utilizzando una frattura di tale famiglia per eseguire gli abbattimenti.

Alcune di queste fratture sono visibili sul versante soprastante il sotterraneo, dove il fronte è frastagliato.

La spaziatura è di alcuni metri, Il loro JRC = 8 .

- **Famiglia K2-2** è una sottofamiglia delle K2, con fratture che aumentano l'inclinazione fino a ribaltarsi.

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

Le fratture hanno immersione media 160° e inclinazione da 80° fino alla verticalità.

La spaziatura è di alcuni metri, Il loro JRC = 8 - 10 .

- Famiglia **K3** è rappresentata dai giunti con immersione media 60° e inclinazione variabile da 70° a 90°. Si presentano mediamente aperte e JRC=6-8.
- **Famiglia K3-2** è una sottofamiglia delle K3, con fratture che aumentano l'inclinazione fino a ribaltarsi.

Le fratture hanno immersione media 240° e inclinazione da 80° fino alla verticalità.

E' stata elaborata la rappresentazione stereografica polare inferiore dei giunti della cava con il diagramma di Schmidt , di cui si allega istogramma.

I poli dei giunti sono indicati nel diagramma e le varie famiglie K1 , K1-2, K2, K2-2, K3, K3-2 sono indicate dalla concentrazione delle nuvole dei poli. (figure 1-2-3)

Dall'analisi effettuata è emerso che lungo il complesso estrattivo vi sono zone con fratture abbastanza distanziate, tali da delimitare bancate di marmo dalle quali ricavare una buona percentuale di blocchi e semisquadrati, alternate da fasce con fratture più ravvicinate .

In queste zone più fratturate la resa di marmo commerciabile è limitata.

5. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO

La classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso marmoreo in esame è stata ottenuta attraverso l'applicazione della classificazione RMR-System (BIENIAWSKI 1989).

Essa si basa sui valori assunti dall'indice di qualità della roccia RMR, correlato dai seguenti parametri dell'ammasso:

- Resistenza a compressione monoassiale della roccia
- Indice RQD
- Spaziatura dei giunti

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

- Condizioni dei giunti (alterazione delle pareti, scabrezza, apertura e materiale di riempimento);
- Condizioni idrauliche

Ciascuno di tali parametri è stato valutato quantitativamente sul terreno e ad essi è stato attribuito il relativo indice numerico.

Per quanto riguarda la resistenza a compressione monoassiale della roccia è stato preso in considerazione il valore ricavato dalla bibliografia specifica, di 1100 Kg/cm^2 (110 Mpa)

L'indice RQD, non avendo effettuato carotaggi specifici, 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% pari a 90-100%.

La spaziatura dei giunti è variabile per ciascuna famiglia; si può comunque definire un range di variazione compreso tra 0,5 e 2 metri.

Per quanto riguarda le condizioni dei giunti c'è una discreta variabilità dei vari fattori.

Ad ognuno di questi parametri è associato un indice.

La somma degli indici parziali relativi ai parametri analizzati fornisce l'indice RMR per l'ammasso roccioso, perciò è possibile risalire alla qualità dello stesso e di conseguenza ai valori medi di coesione e all'angolo d'attrito interno.

Prima però di attribuire l'indice RMR bisogna anche considerare la correzione per l'orientazione dei fronti, che è sempre negativa.

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

- P1 (Resistenza a compressone monoassiale della roccia intatta): 9.4 (da una Sigma c = 100 MPa)
- P2 (Indice di recupero percentuale modificato RQD (RockQualityDesignation): 11.9 (da un RQD = 60 %)

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

- P3 (Spaziatura delle discontinuità): 20 (da una Spaziatura = 2 m)
- P4 (Condizioni delle discontinuità): 22

  v1 (- persistenza : 10 ÷ 20 m) : 1

  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): favorevole e Pendii come tipologia opera, corrispondente al parametro -5

e si è pervenuto ad un indice RMRc pari a: 78 rispondente a una qualità dell'ammasso roccioso BUONA

RMRa (asciutto) = 63

RMRb (di base) = 78

Dall'indice RMRb sono stati calcolati:

c = 390.00 [kPa]

phi = 44.00 [°]

E = 56.00 [GPa].

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.

Per calcolare il valore di JCS con il martello di Schmidt, va tenuto conto anche dell'angolo di battuta.

La foto sottostante illustra la modalità di esecuzione delle letture.

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

Foto 1 Misurazione del JCS con il martello di Schmidt

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

K1 e K1-2 (letture effettuate in verticale 34-28-32-28-26-28-36-40-34 32. Si eliminano 40 e 26 e si ottiene il valore medio corrispondente aJCS = 54) JCS =54 Mpa
K2 e K2-2 44MPa
K3 e K3-2 46 MPa

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

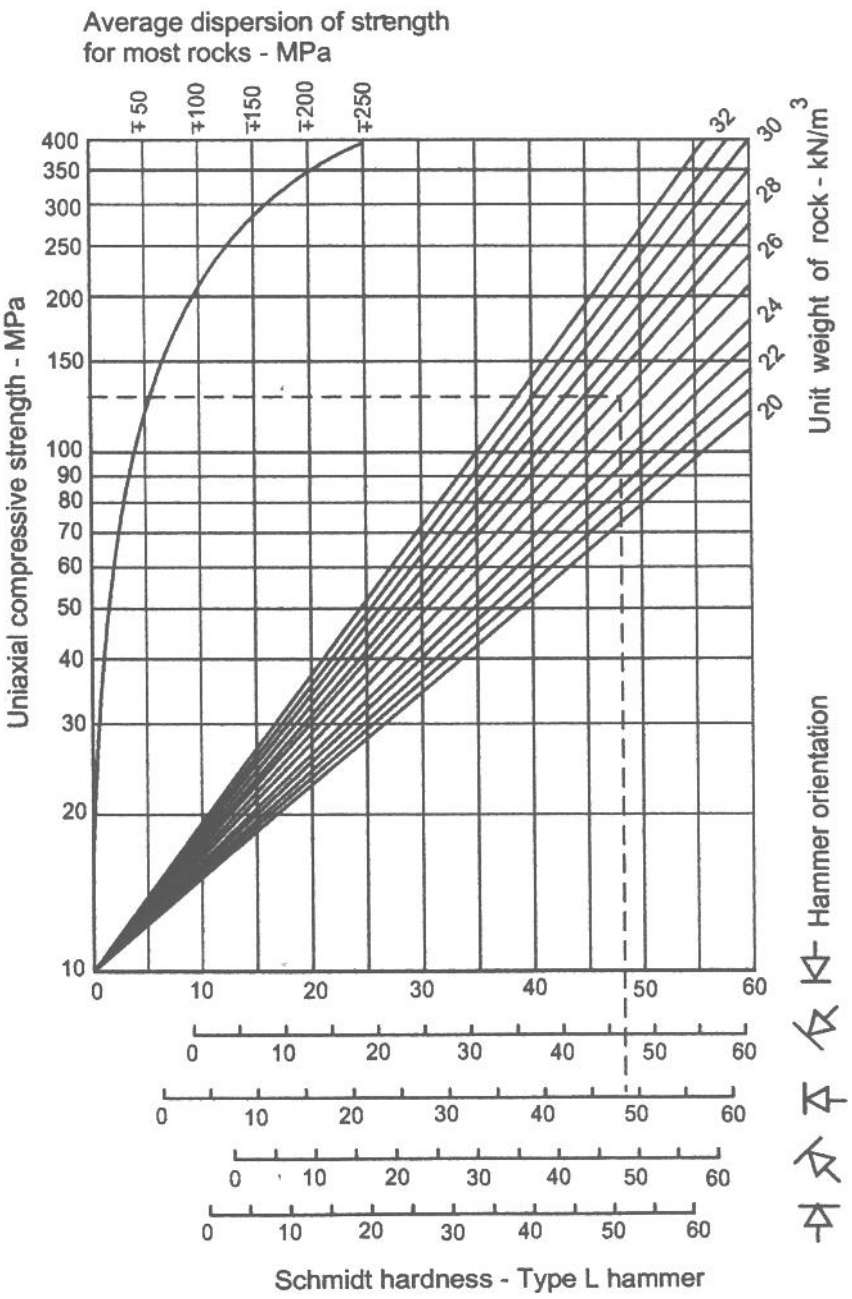


Fig. 4 Grafico martello di Schmidt

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

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

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:

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

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.

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

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 inviluppo 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 100 Mpa.

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

Il valore del GSI, ricavato dall'indice RMR-15= 63.

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

σ_{tm} = - 0,68MPa

σ_{cm} = 21,38Mpa

CARATTERISTICHE DELLE DISCONTINUITA'

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

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

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

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 6, JCS pari a 54 MPa.

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

BARTON SHEAR FAILURE CRITERION

Angolo di attrito di base (PHIB) =	32
Coefficiente di rugosità dei giunti (JRC) =	8
Resistenza a compressione dei giunti (JCS) =	54
Sforzo normale minimo (SIGNMIN) =	0.000

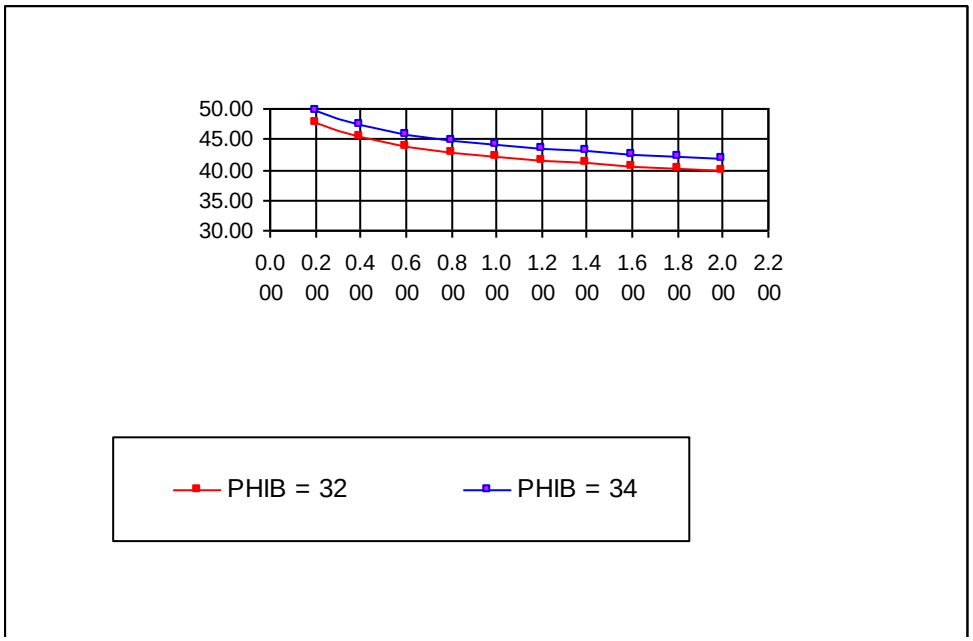
STRESS NORMALE (SIGN) [Mpa]	RESISTENZA DI TAGLIO (TAU) [Mpa]	d TAU/d SIGN (DTDS)	ANGOLO DI ATTRITO (PHI) [°]	COESIONE (COH) [Mpa]
0.200	0.251	1.099	47.70	0.031
0.400	0.461	1.011	45.31	0.056
0.600	0.658	0.963	43.92	0.080
0.800	0.847	0.930	42.93	0.103
1.000	1.030	0.905	42.16	0.125
1.200	1.209	0.886	41.53	0.147
1.400	1.385	0.869	41.00	0.168
1.600	1.557	0.855	40.54	0.189
1.800	1.727	0.843	40.13	0.210
2.000	1.895	0.832	39.77	0.230

Angolo di attrito di base (PHIB) =	34
Coefficiente di rugosità dei giunti (JRC) =	8
Resistenza a compressione dei giunti (JCS) =	54
Sforzo normale minimo (SIGNMIN) =	0.000

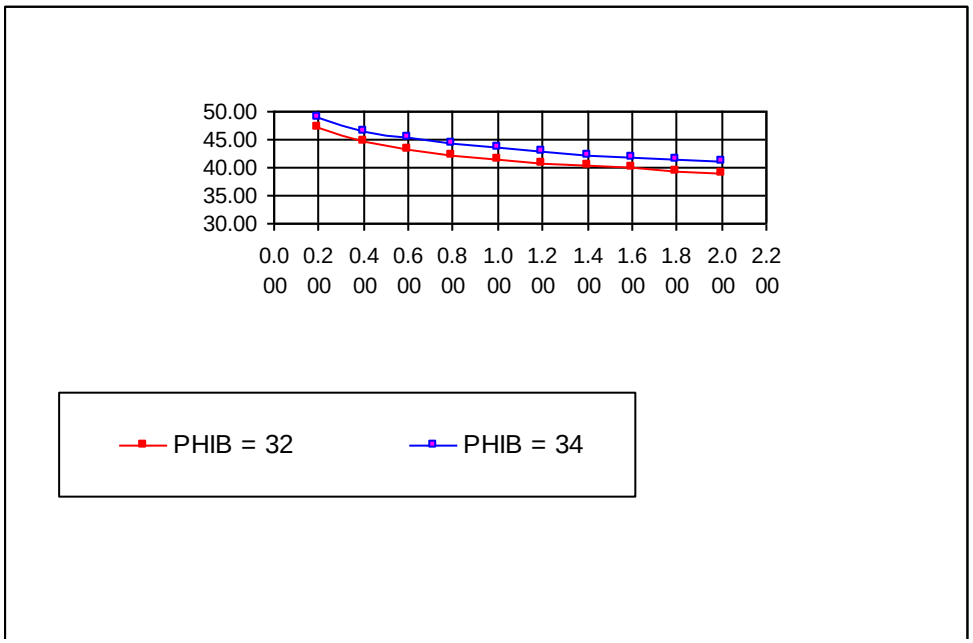
STRESS NORMALE (SIGN) [Mpa]	RESISTENZA DI TAGLIO (TAU) [Mpa]	d TAU/d SIGN (DTDS)	ANGOLO DI ATTRITO (PHI) [°]	COESIONE (COH) [Mpa]
0.200	0.270	1.178	49.67	0.034
0.400	0.495	1.083	47.29	0.061
0.600	0.706	1.032	45.90	0.087
0.800	0.909	0.997	44.91	0.111
1.000	1.105	0.970	44.14	0.135
1.200	1.297	0.949	43.51	0.158
1.400	1.485	0.932	42.98	0.180
1.600	1.670	0.917	42.52	0.203
1.800	1.852	0.904	42.12	0.225
2.000	2.032	0.893	41.75	0.246

Per la famiglia K1 e K1-2 si ottiene il grafico soprastante, in cui si evince che il valore dell'angolo di attrito è compreso tra 40° e 50°:

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

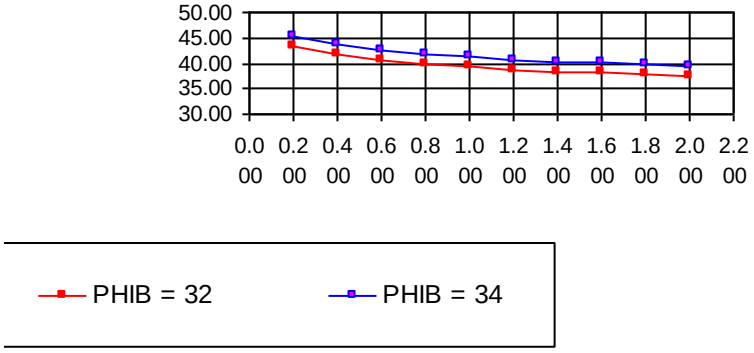


Per la famiglia K2, considerando JRC pari a 8, JCS pari a 44 si ottiene il grafico seguente, in cui si evince che il valore dell'angolo di attrito è compreso **tra 39° e 49°.**



Per la famiglia K3 e K3-3 che ha JRC pari a 6 e JCS pari a 46 si ottiene il grafico seguente, in cui si evince che il valore dell'angolo di attrito è compreso tra 37° e 46°.

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2



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.

6. SITUAZIONE DEI FRONTI E ANALISI DI STABILITA'

Di seguito si identificano le tre possibilità di formazione di fronti di coltivazione nella continuazione degli avanzamenti che si effettueranno nel sotterraneo, con coltivazione inferiori a 1000 mc, che sono i seguenti:

- **FRONTI PRINCIPALI NN.W. (F1)**,con direzione media N 60° ed immersione media N 150°, verticali o aperti mediante "spogliazione delle fratture principali K2 e K2-2.
- **FRONTE OCCCIDENTALE (F2),** paralleli al precedente, con direzione media 330°ed immersione N60°, verticali .

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

- **FRONTE ORIENTALE o (F3)** perpendicolari ai precedenti e posti a est.

Il fronte a cielo aperto che delimita i vecchi piazzali di coltivazione della cava è un fronte F1, che non è verticale come i fronti di avanzamento in sotterraneo ma inclinato verso SSE, in quanto aperto mediante "spogliazione" delle fratture esistenti.

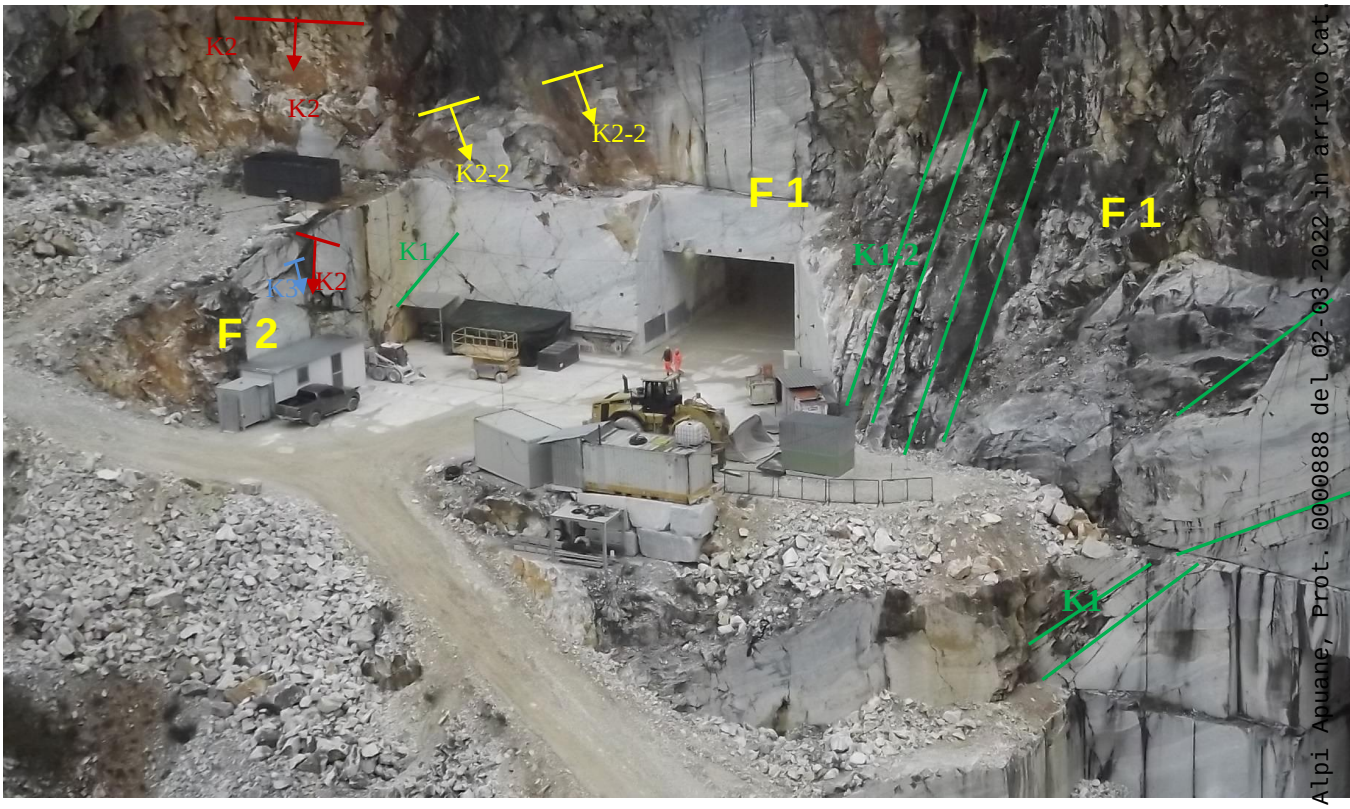


FOTO 2 CAVA PESCINA A N. 13. Visibile il piazzale esterno, l'accesso al sotterraneo e alcune delle fratture che interessano i fronti

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat. 3 Cla. 2

6.1 ANALISI DEL CINEMATISMO DI RIBALTAMENTO DIRETTO SUI FRONTI F1 - F2- F3.

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° e –20° dalla direzione di immersione del versante.

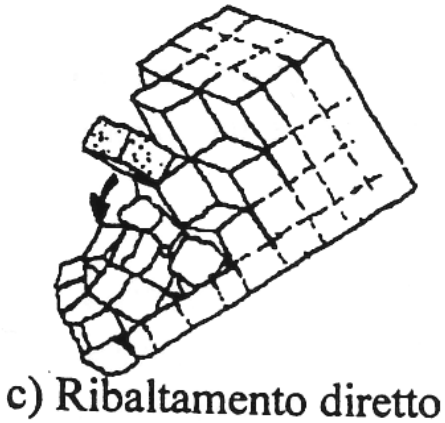


Fig. 5 . Esempio di ribaltamento diretto dei blocchi

FRONTE DI AVANZAMENTO F1

Lungo il fronti F1 possono essere presenti le fratture a reggipoggio della famiglia K2, che in genere sono quasi verticali. Sono presenti anche i piani basali con immersione nel senso del versante (a franapoggio), rappresentati dalle fratture K2-2, che hanno però un angolo superiore all'angolo di attrito, per cui non si originerà il cinematismo del ribaltamento diretto, ma eventualmente il cinematismo di scivolamento.

Tale cinematismo potrebbe originarsi anche sui fronti che delimitano la cava a cielo aperto , solo nel caso in cui vengano dati tagli verticali e le fratture K2-2 fuoriescano dal fronte, creando una superficie di scivolamento.

Considerato che tale fronte F1 a cielo aperto non è verticale come ma inclinato verso SSE, in quanto aperto mediante "spogliazione" delle fratture K2-2 esistenti, il cinematismo di ribaltamento diretto non si originerà.

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

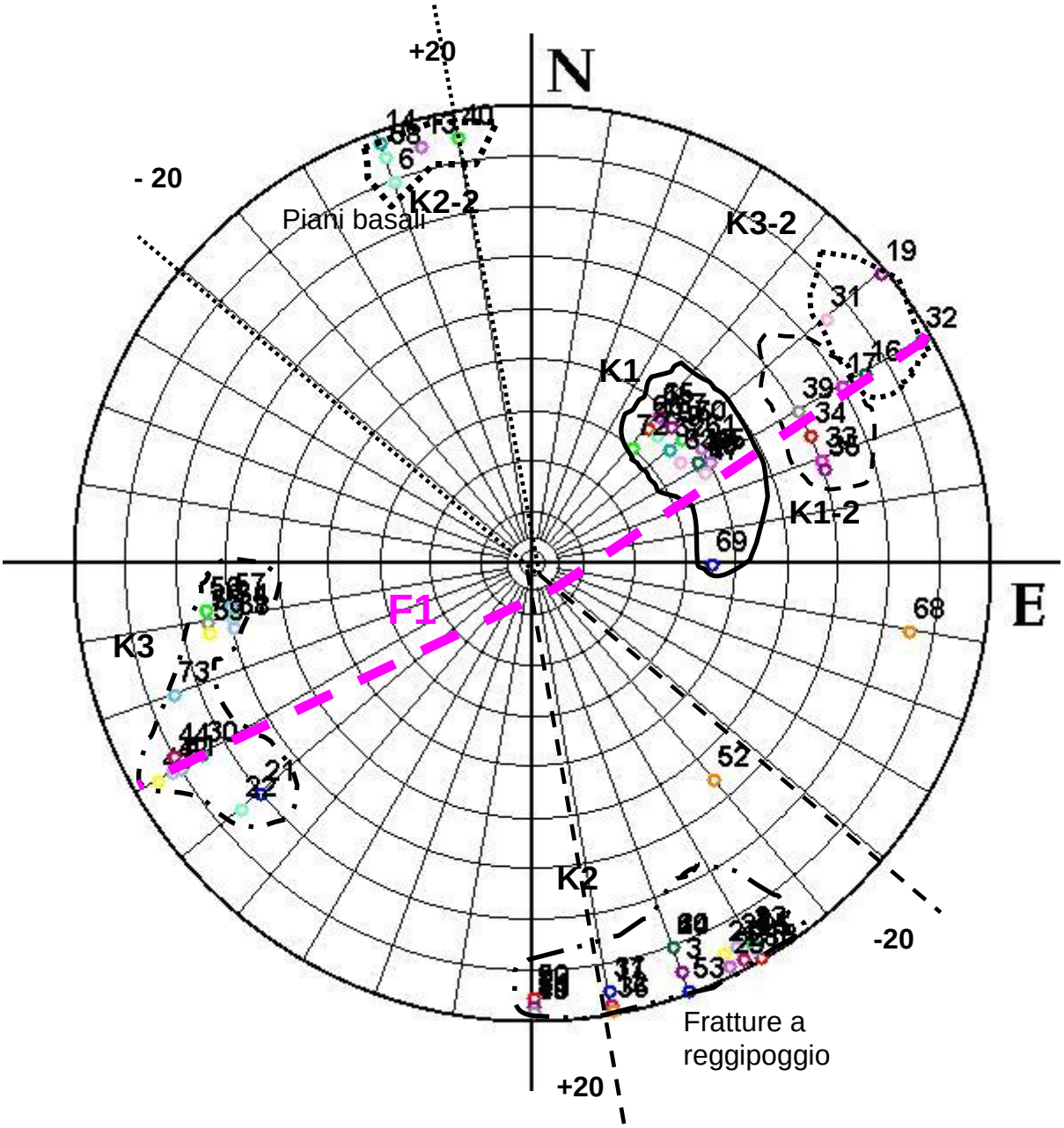


Fig. 6 Analisi del cinematismo di ribaltamento diretto lungo il fronte F1, prossimo alla verticalità

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

Le porzioni di versante vergine, situate al di sopra del ciglio del fronte F1, hanno inclinazione ancora più bassa del fronte principale, da 20° a 40°, per cui le possibilità di formazione del cinematismo di ribaltamento sono quasi inesistenti, come visibile sulla fig. 6B e sulla foto 3.

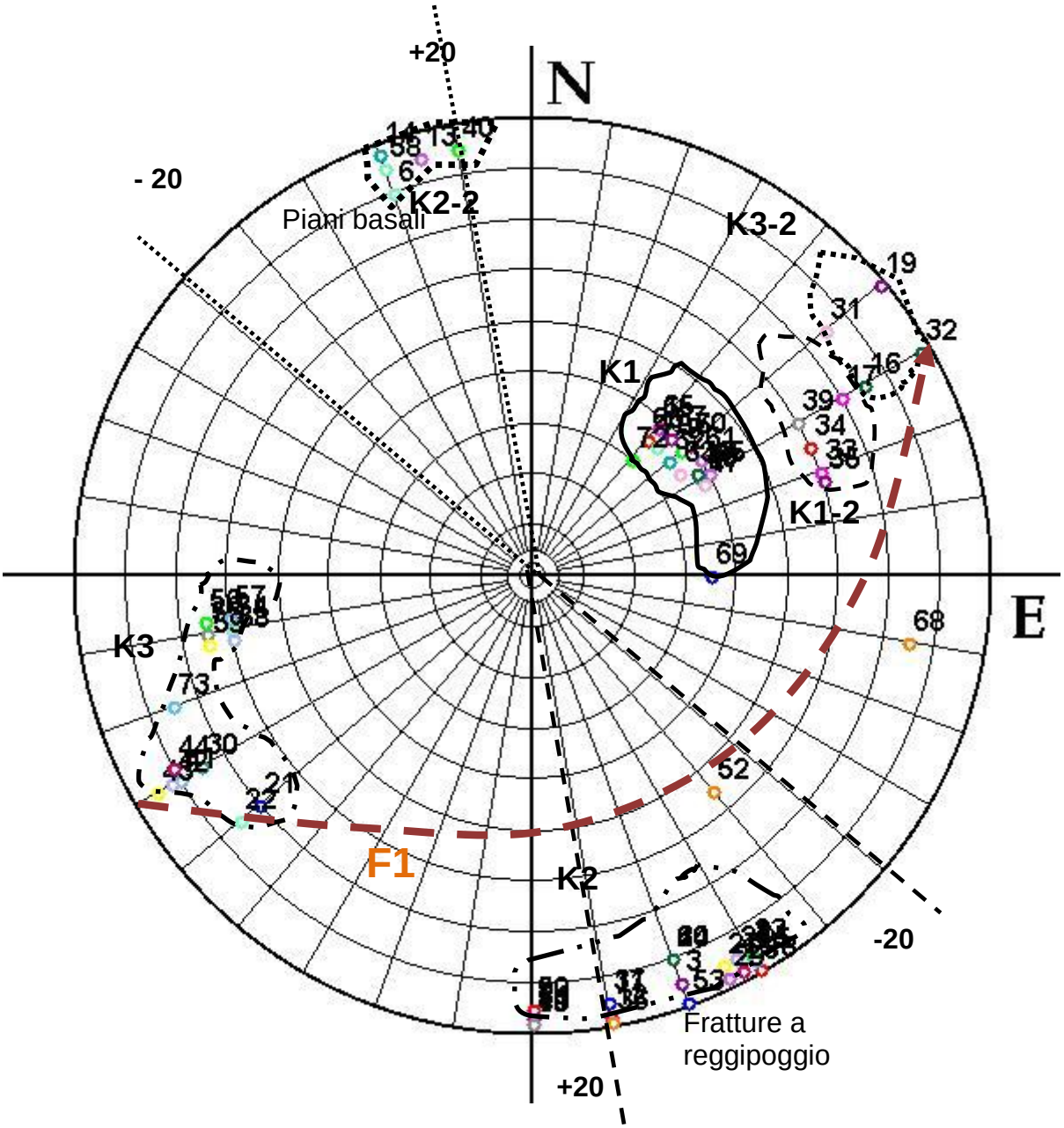


Fig. 6 B. Analisi del cinematismo di ribaltamento diretto lungo il fronte F1 a cielo aperto e del versante.

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

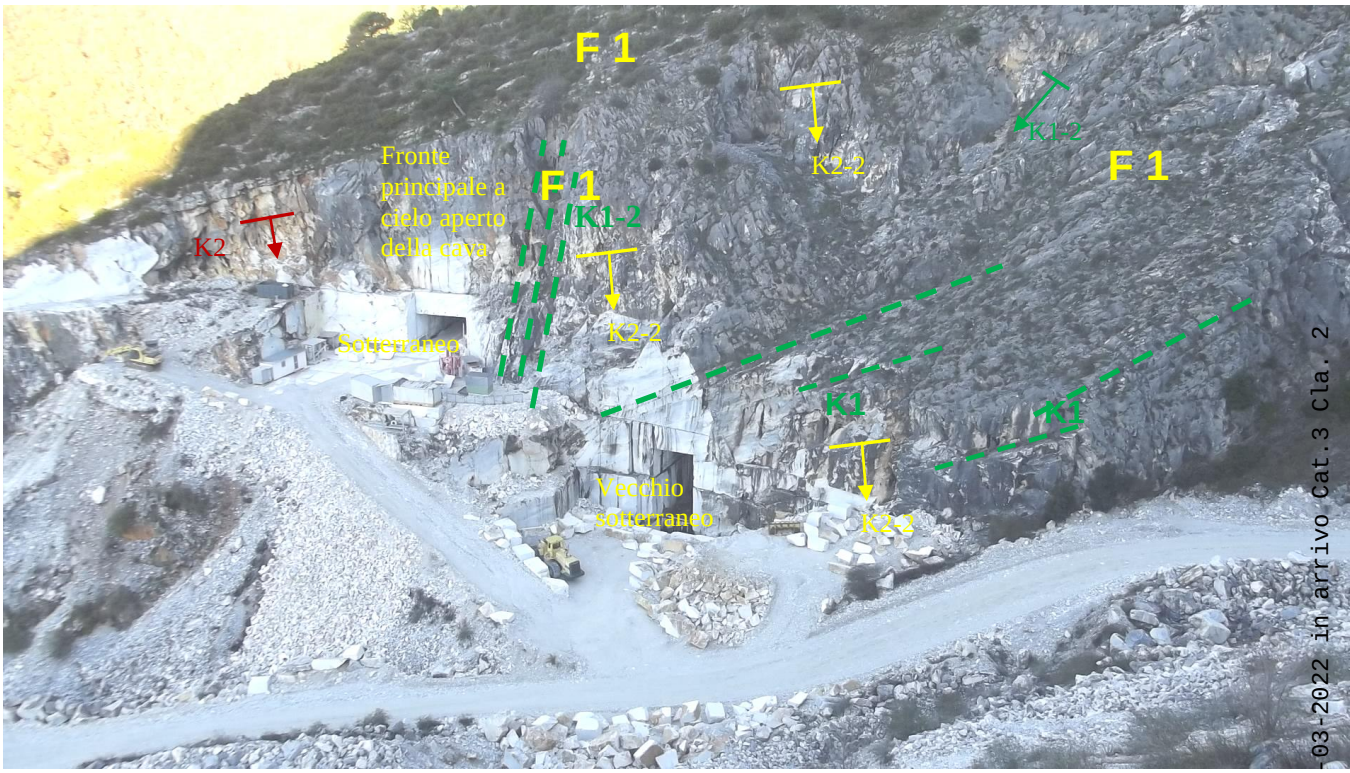


FOTO 3 CAVA PESCINA A N. 13. Visibile il piazzale esterno, il fronte principale che delimita i piazzali a cielo aperto e la parte del versante posto superiormente

FRONTE DI AVANZAMENTO F2

Lungo i fronti F2, perpendicolari a F1 ma situati a occidente del piazzale , possono essere presenti le fratture a reggipoggio della famiglia K1, K1-2, K3-2. Sono presenti anche i piani basali con immersione a franapoggio, rappresentati dalle fratture K3, che hanno però un angolo superiore all'angolo di attrito, per cui non si originerà il cinematismo del ribaltamento diretto, ma eventualmente il cinematismo di scivolamento. Anche in questo caso l'avanzamento è facilmente controllabile e nel caso che emergano fratture K1 o K1-2 o K3-2 che potrebbero originare il ribaltamento o lo scivolamento, queste verranno preventivamente messe in sicurezza mediante chiodature

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

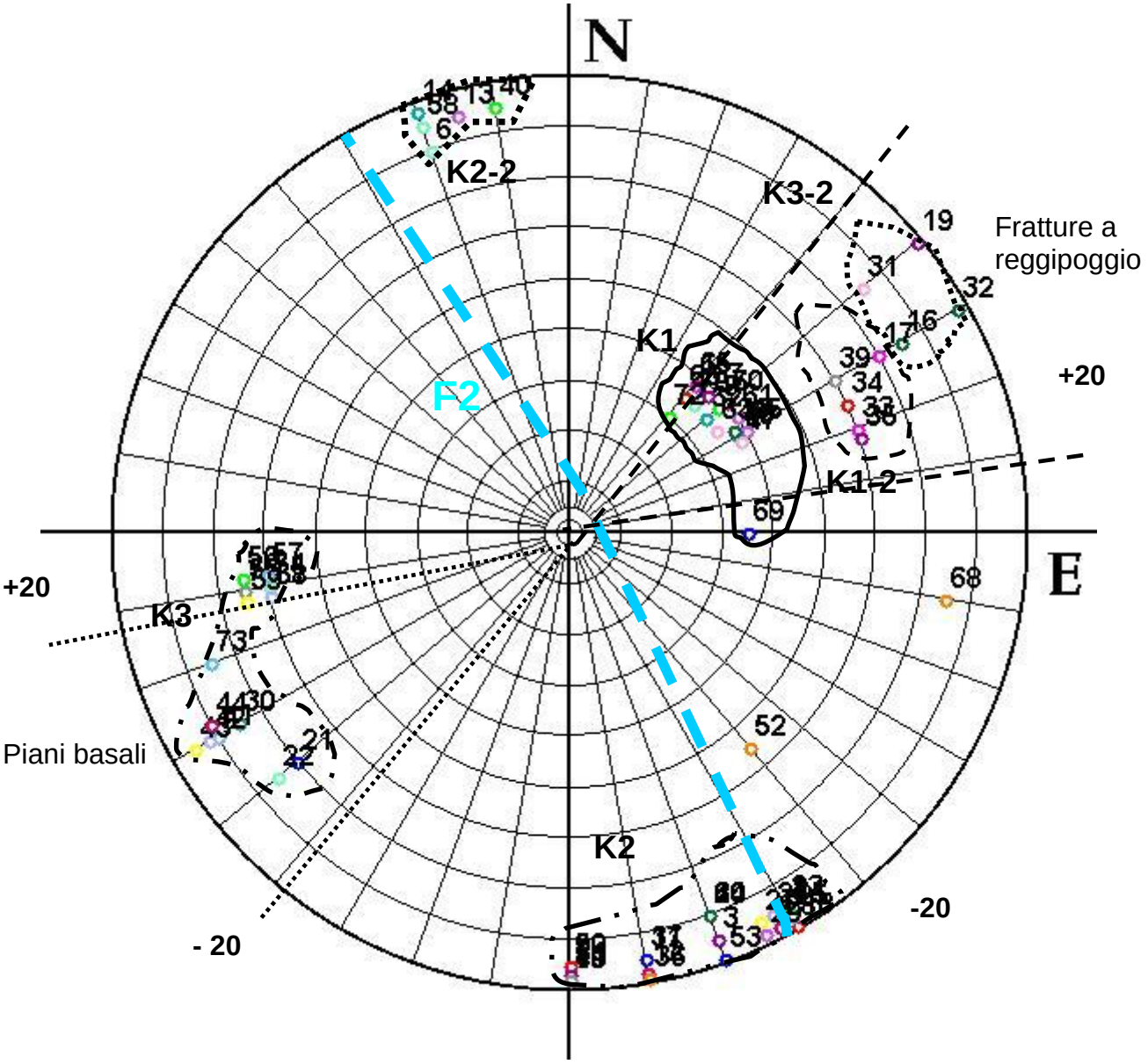


Fig. 7 Analisi del cinematismo di ribaltamento diretto lungo il fronte F2

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

FRONTE DI AVANZAMENTO F3

Lungo i fronti F3, perpendicolari a F1, posti nella parte orientale del sotterraneo ma ancora da realizzare, possono essere presenti le fratture a reggipoggio della famiglia K 3, che in genere hanno una discreta spaziatura. Sono presenti anche i piani basali con immersione nel senso del versante, rappresentati dalle

fratture K1 e K1-2, che hanno una inclinazione che va da valori più bassi a valori superiori all'angolo di attrito, per cui non si potrebbe originare il cinematismo del ribaltamento diretto.

Il fronte F3 che si realizzerà nella parte orientale del sotterraneo avrà altezza modesta e sarà facilmente controllabile . Nel caso che emergano fratture K1 o K1-2 o K3-2 che potrebbero originare il ribaltamento o lo scivolamento, queste verranno preventivamente messe in sicurezza mediante chiodature.

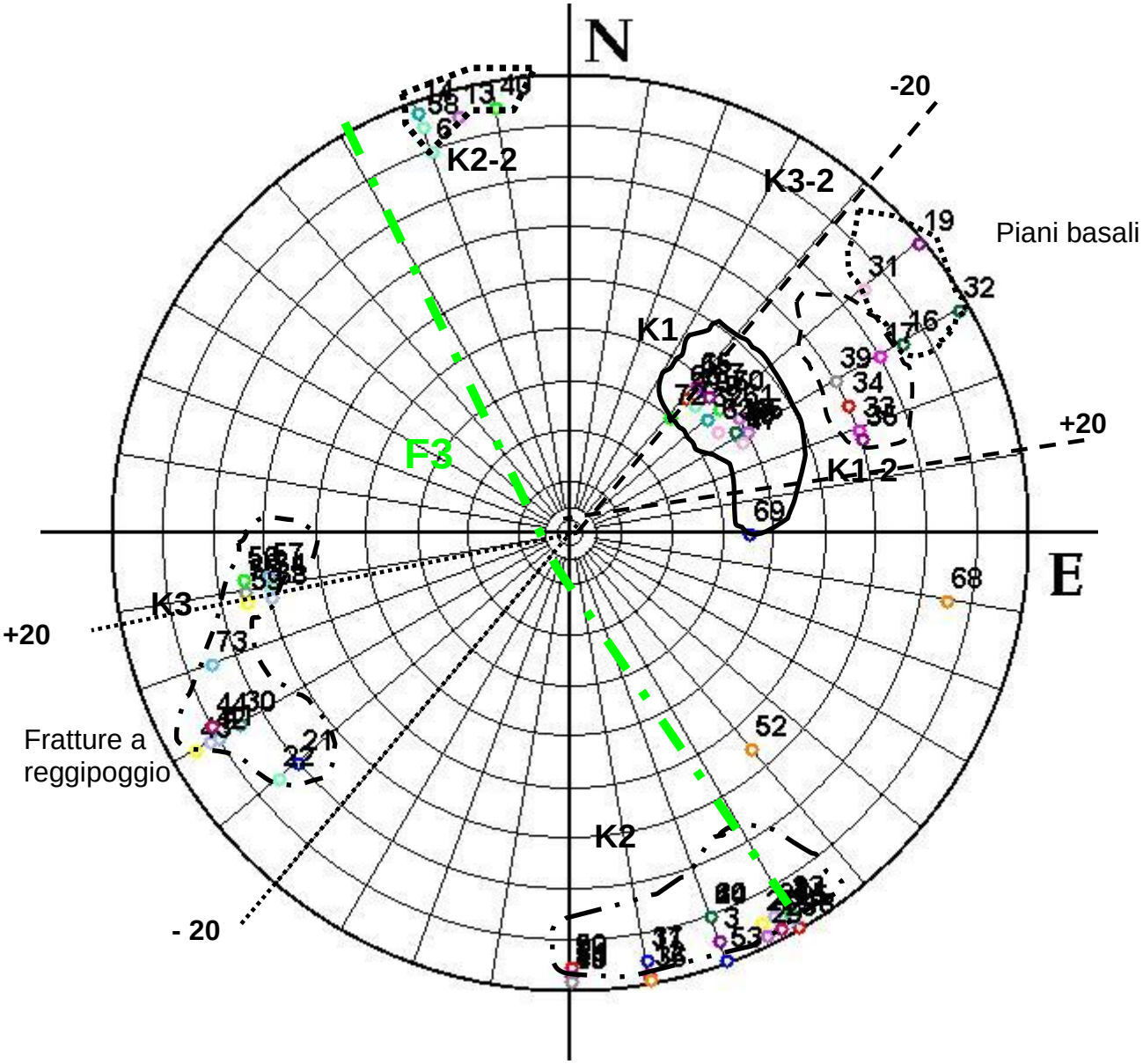


Fig. 8 Analisi del cinematismo di ribaltamento diretto lungo il fronte F3

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

6.2 ANALISI DEL CINEMATISMO DI RIBALTAMENTO COLONNARE SUI FRONTI F1- F2-F3.

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 differenza 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.

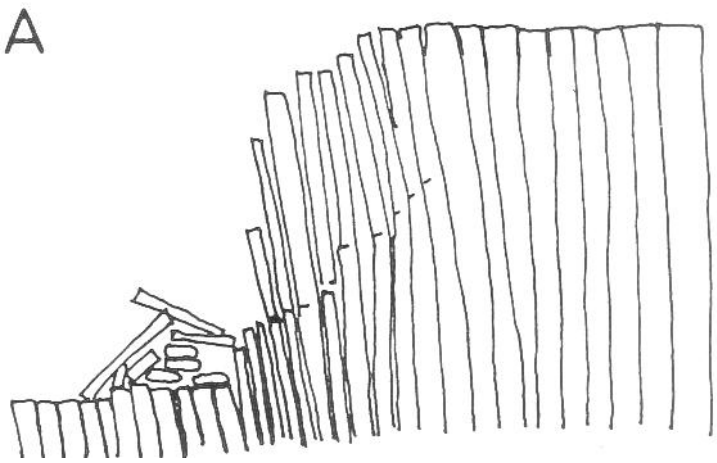


Fig. 9 . Esempio di ribaltamento di flessura

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,

FRONTE DI AVANZAMENTO F1

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°, verticali o con immersione 150°.

Nel caso in esame sono presenti fratture a reggipoggio rappresentate dalle K 2, però esse non sono ravvicinate in modo tale da poter originare il cinematismo di ribaltamento di flessura.

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

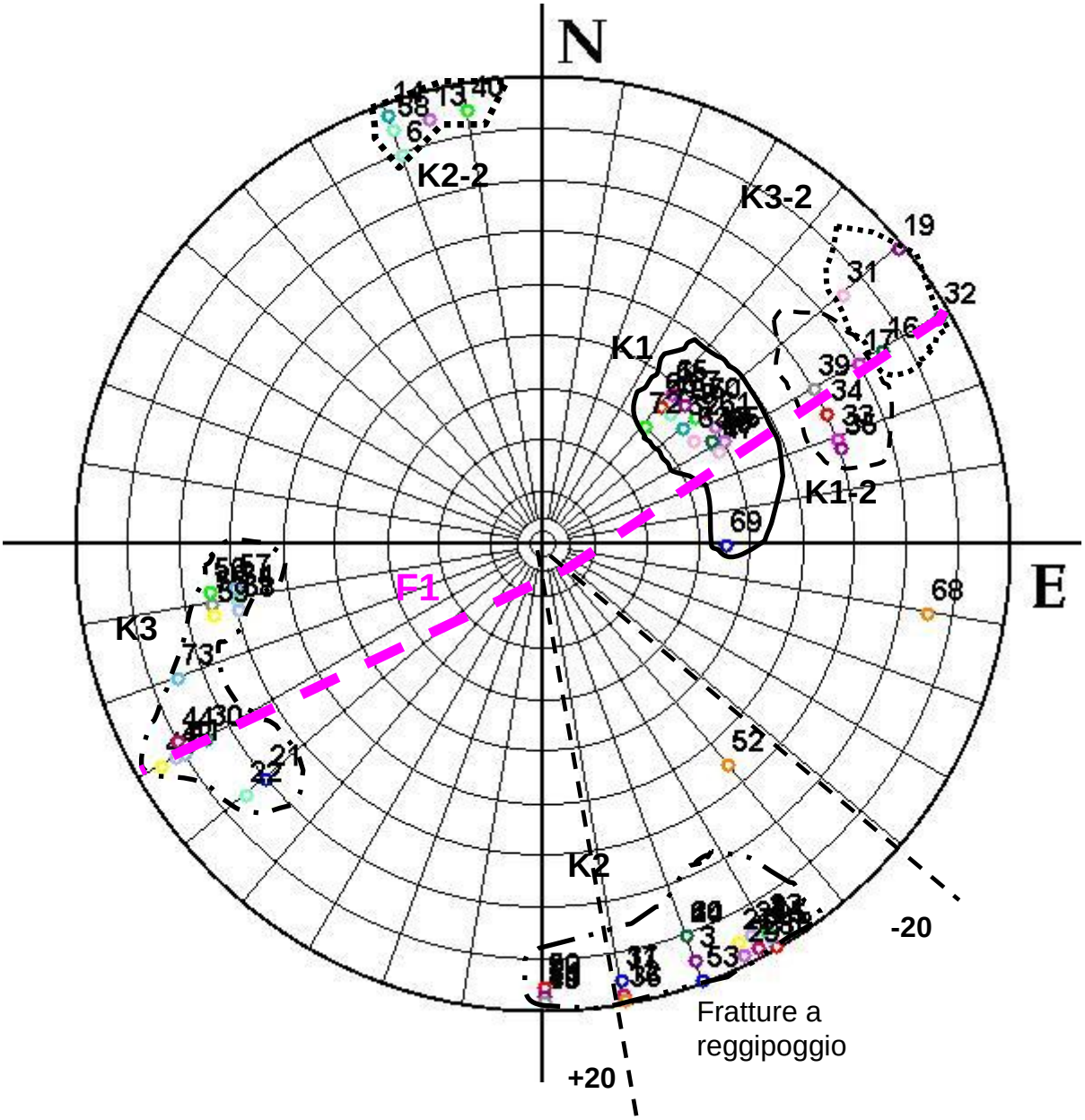


Fig. 10 Analisi del cinematismo di ribaltamento di flessura lungo il fronte F1

Anche sul fronte che delimita la cava nella parte NNW e tutta la porzione di monte vergine soprastante, fino al crinale, non presenta condizioni di fatturazione ravvicinata e a reggipoggio tale da poter innescare il cinematismo del ribaltamento di flessura, come è riscontrabile anche sulla foto 3 .

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

FRONTE DI AVANZAMENTO F2

Lungo i fronti F2, paralleli ma opposti a F3, possono essere presenti le fratture a reggipoggio della famiglia K 1, K1-2 e K3-2.

I giunti K1 e K1-2 hanno una inclinazione bassa per cui non possono originare il ribaltamento di flessura. Le fratture K 3-2 poco frequenti e sono ben distanziate, per cui non possono originare blocchi colonnari o nastriformi e non si originerà il cinematismo del ribaltamento colonnare.

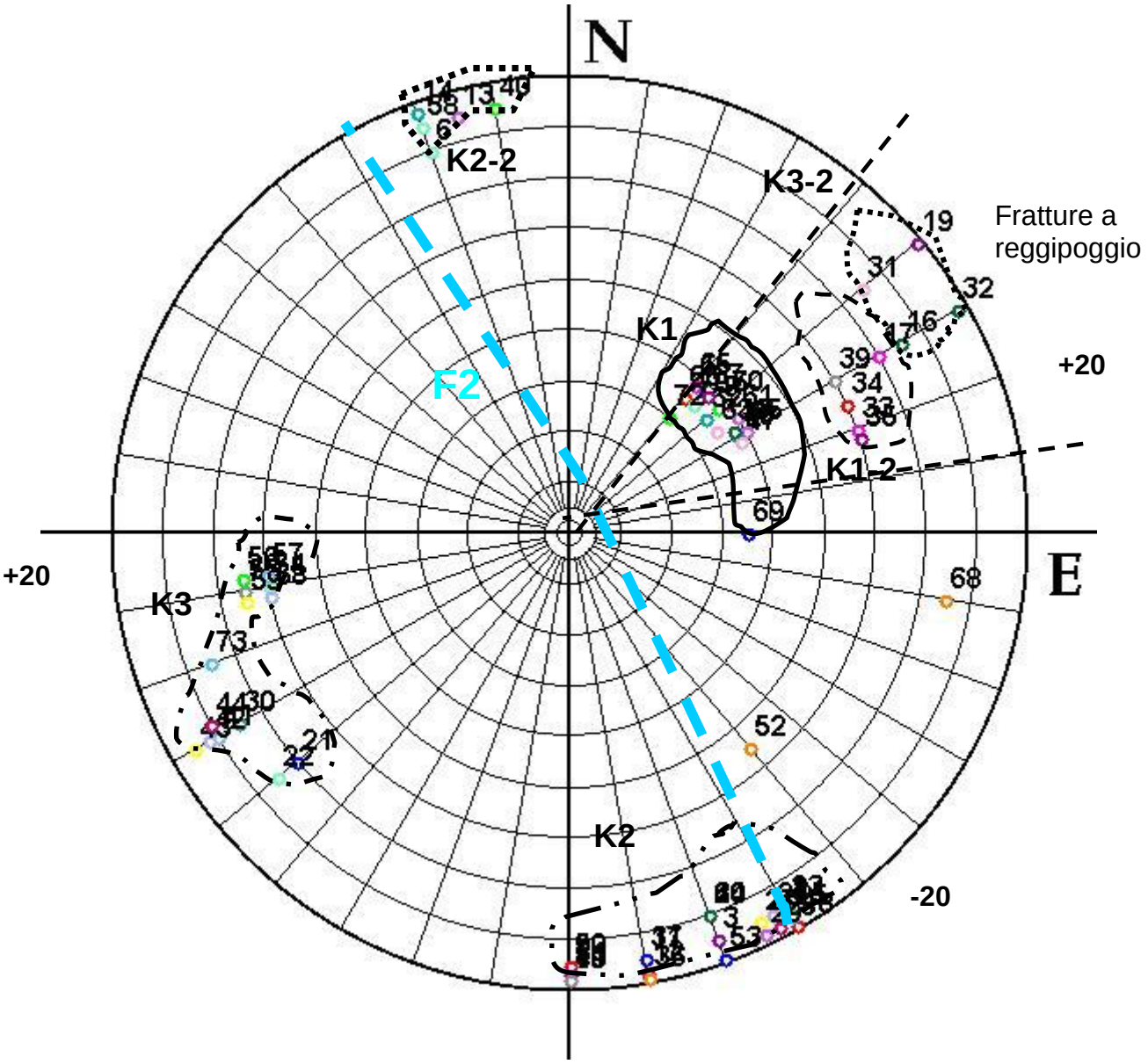


Fig. 11 Analisi del cinematismo di ribaltamento di flessura lungo il fronte F2

Lungo i fronti F1, F2 e F3 non ci sono le condizioni per il verificarsi del ribaltamento di flessura, come è evidente nelle figure 10, 11 e 12

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

FRONTE DI AVANZAMENTO F3

Lungo i fronti F2, possono essere presenti le fratture a reggipoggio della famiglia K 2, che in genere sono distanziate e sono poco frequenti nella cava, per cui non possono originare blocchi colonnari o nastriformi e non si originerà il cinematismo del ribaltamento colonnare.

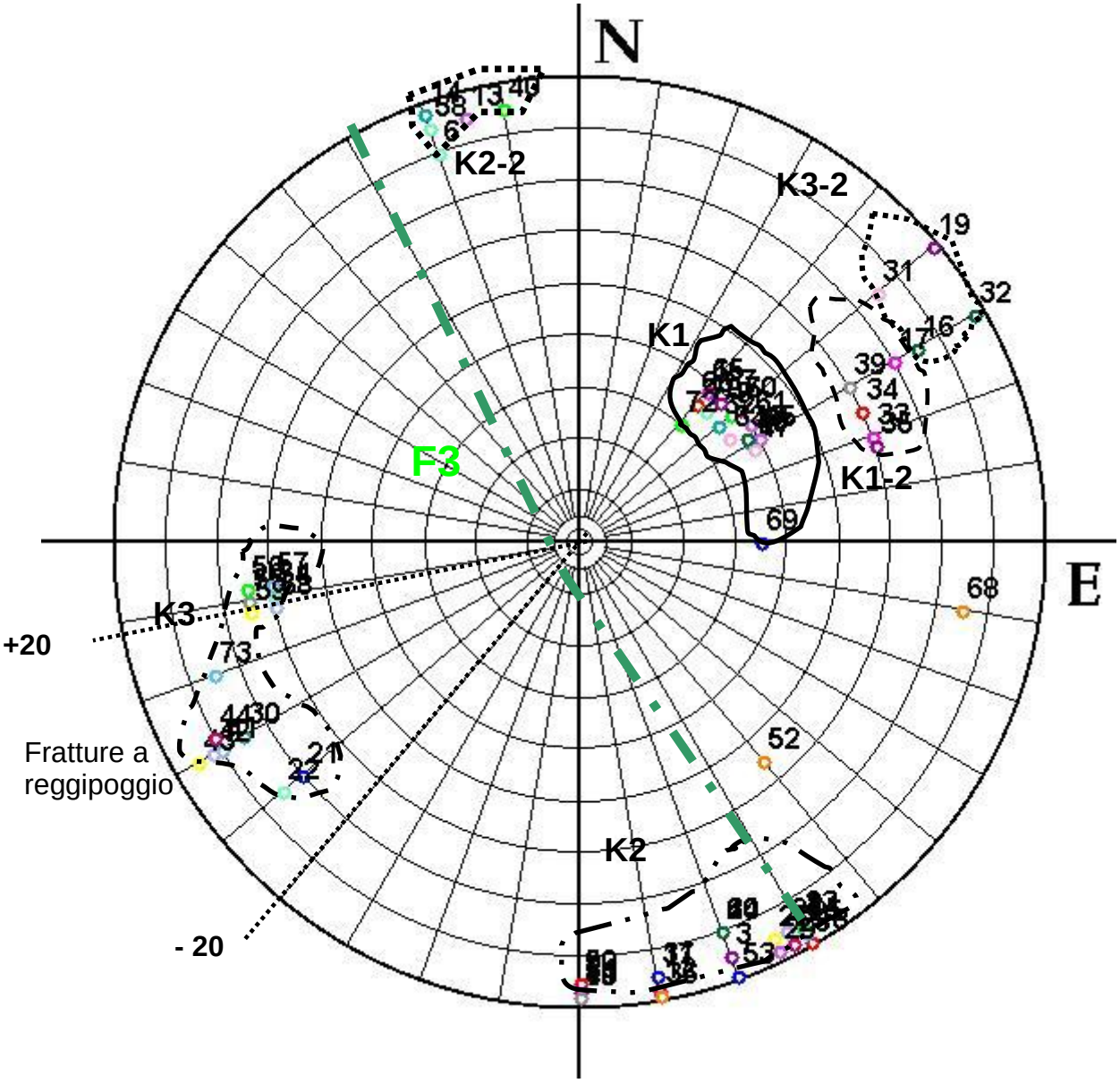


Fig. 12 Analisi del cinematismo di ribaltamento di flessura lungo il fronte F3

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

6.3 ANALISI DEL CINEMATISMO DI SCIVOLAMENTO PLANARE SUI FRONTI F1- F2- F3 .

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):

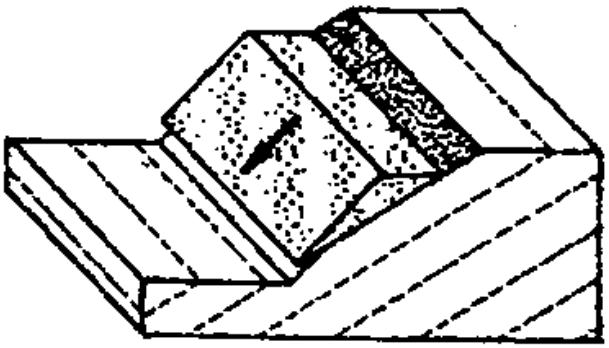


Fig. 13 Cinematismo di scivolamento planare

- Il piano del giunto ha circa la stessa immersione del versante, preferibilmente entro + o – 20° rispetto all'immersione del versante.

$\alpha f - 20° < \alpha p < \alpha f + 20°$

- 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

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

Le condizioni indicate vengono riportate in proiezione stereografica e nella figura sottostante sono visibili i cerchi che corrispondono alla giacitura del versante e l'inviluppo 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 +/- 20° rispetto all'immersione del versante.

FRONTE DI ESCAVAZIONE

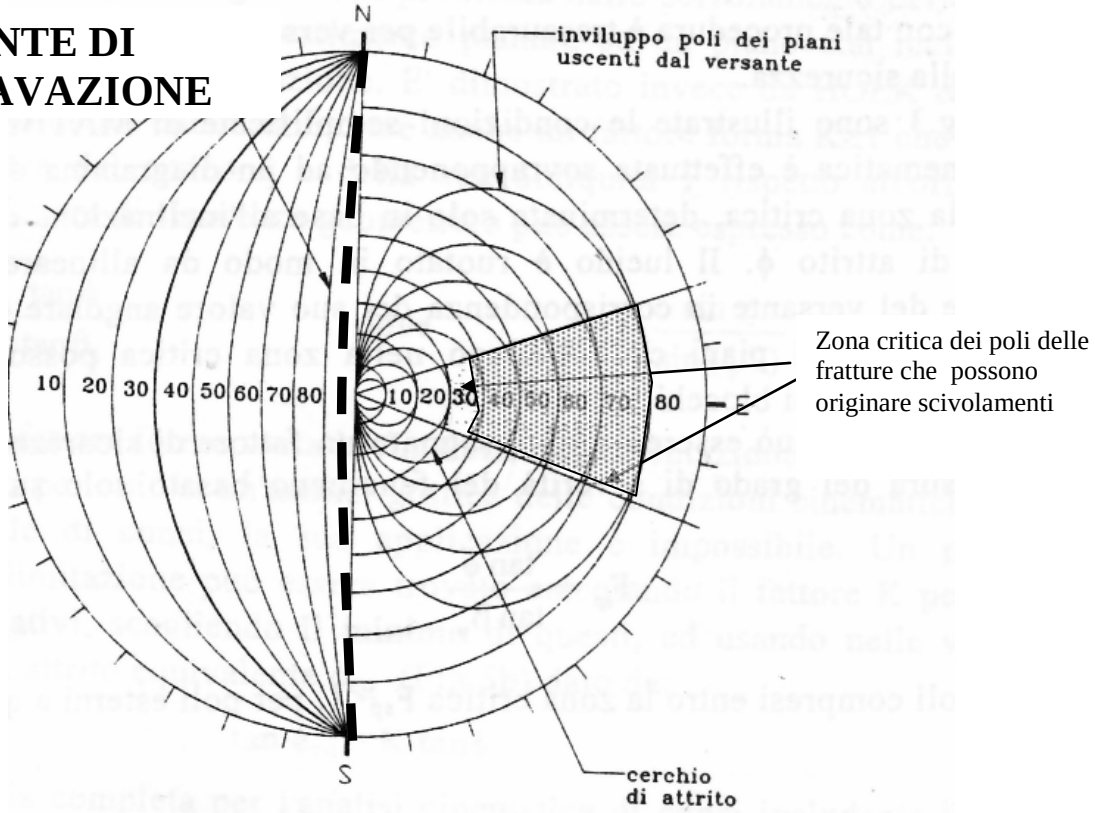


Fig. 14 Condizioni cinematiche per lo scorrimento planare

Nella figura 14, 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)

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

ha dimostrato che nella stabilità dei cunei interviene anche un fattore di forma K>=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:

$$Fsc = K \frac{\tan \phi}{\tan \beta i} \qquad \text{dove } K = \frac{\sin \lambda}{\sin (\xi/2)}$$

E' stata eseguita l'analisi del cinematismo degli scivolamenti planari sui fronti F1-F2 e F3.

FRONTI DI AVANZAMENTO F1

Per i fronti F1 sono stati presi in considerazione i cinematismi di scivolamento dei blocchi lungo le fratture della varie famiglie e come si vede nel grafico sottostante di figura 15 sono presenti alcuni poli di giunti K2-2 nella zona critica.

Quando il Fronte F1 verrà tagliato in modo verticale e dopo l'abbattimento della bancata dovessero emergere fratture K2-2, tali fratture potrebbero originare il cinematismo dello scivolamento planare, per cui vanno "spogliate" o consolidate mediante chiodature

Nella cava alcuni fronti di avanzamento F1 in sotterraneo sono originati per "spogliazione" delle fratture K2-2, per evitare lo scivolamento di cunei rocciosi.

Il fronte principale a cielo aperto è per la maggior parte creato mediante "spogliazione" delle fratture K2-2.

Nei casi in cui sono stati dati tagli verticali, come è visibile sulla foto 4, non sono visibili fratture K2-2 che fuoriescono dal fronte, per cui non si origina il cinematismo di scivolamento.

Lungo il versante soprastante il ciglio di cava, fino al crinale, le inclinazioni diminuiscono a 20-40°, come è visibile sulla foto 3, per cui il cinematismo di scivolamento non si innesca.

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

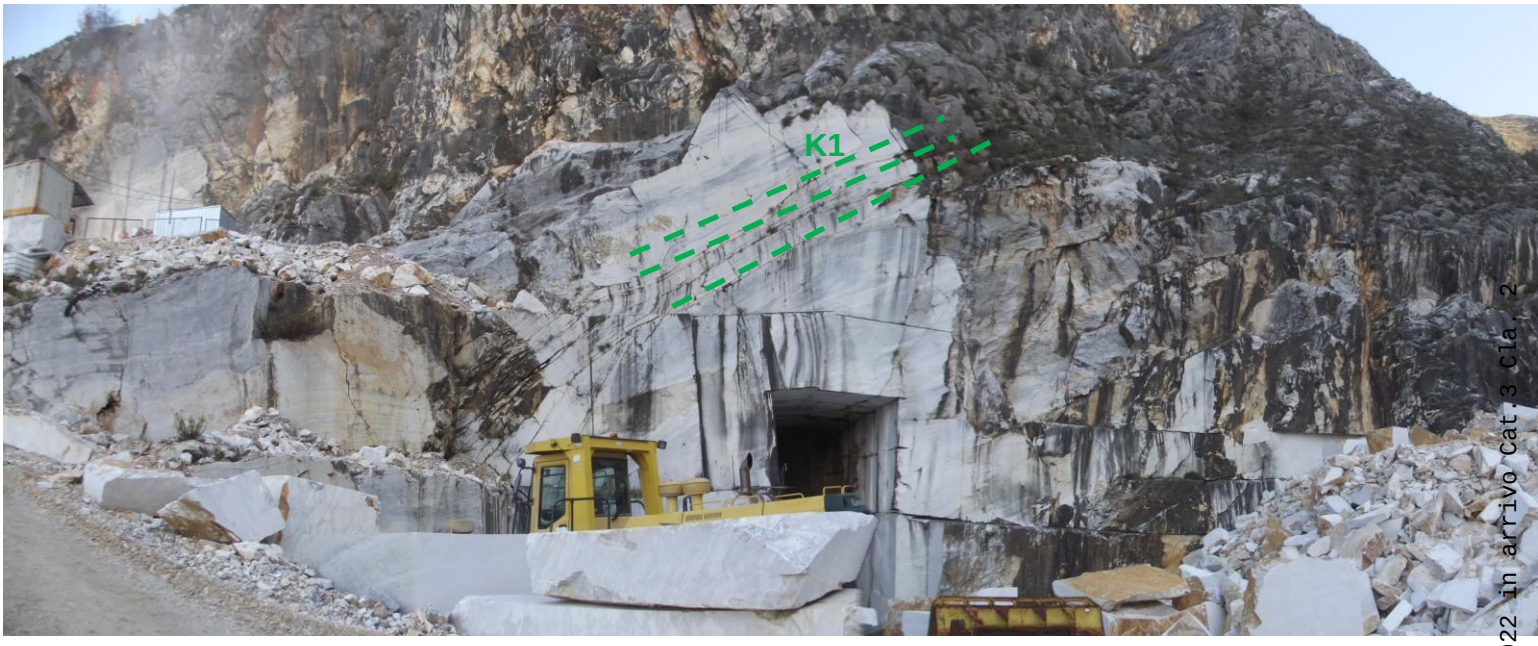
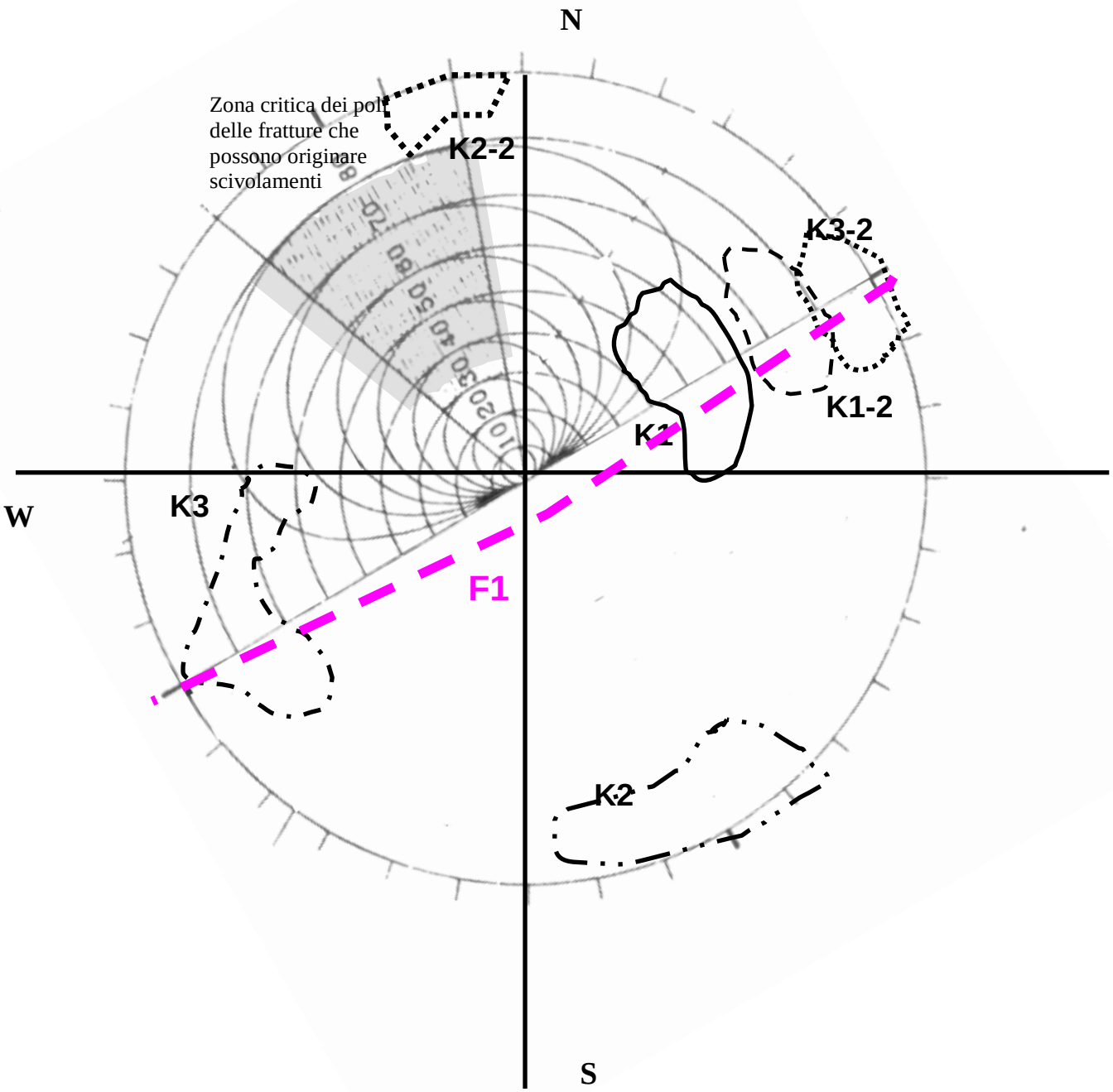


FOTO 4 CAVA PESCINA A N. 13. Visibile la porzione del fronte principale che delimita i piazzali a cielo aperto, tagliato verticalmente. Su di esso sono visibili fratture K1 ma non sono presenti fratture K2-2.

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat 3 Cla. 2

Figura 15. Analisi del cinematismo di scivolamento lungo il fronte F1



Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

FRONTI DI AVANZAMENTO F2

Per il fronte occidentale F2 le fratture che sono situate nella zona critica, che potrebbero dare origine al cinematismo dello scivolamento planare, sono quelle della famiglia K3

Tali fratture non sono molto frequenti.

Quando il tracciamento lungo il Fronte F2 verrà eseguito con taglio verticale e dopo lo sfornamento della bancata dovessero emergere fratture K3 continue, che potrebbero originare il cinematismo dello scivolamento planare, si abbatterà il cuneo delimitato alla base da tali fratture o in alternativa verrà chiodato.

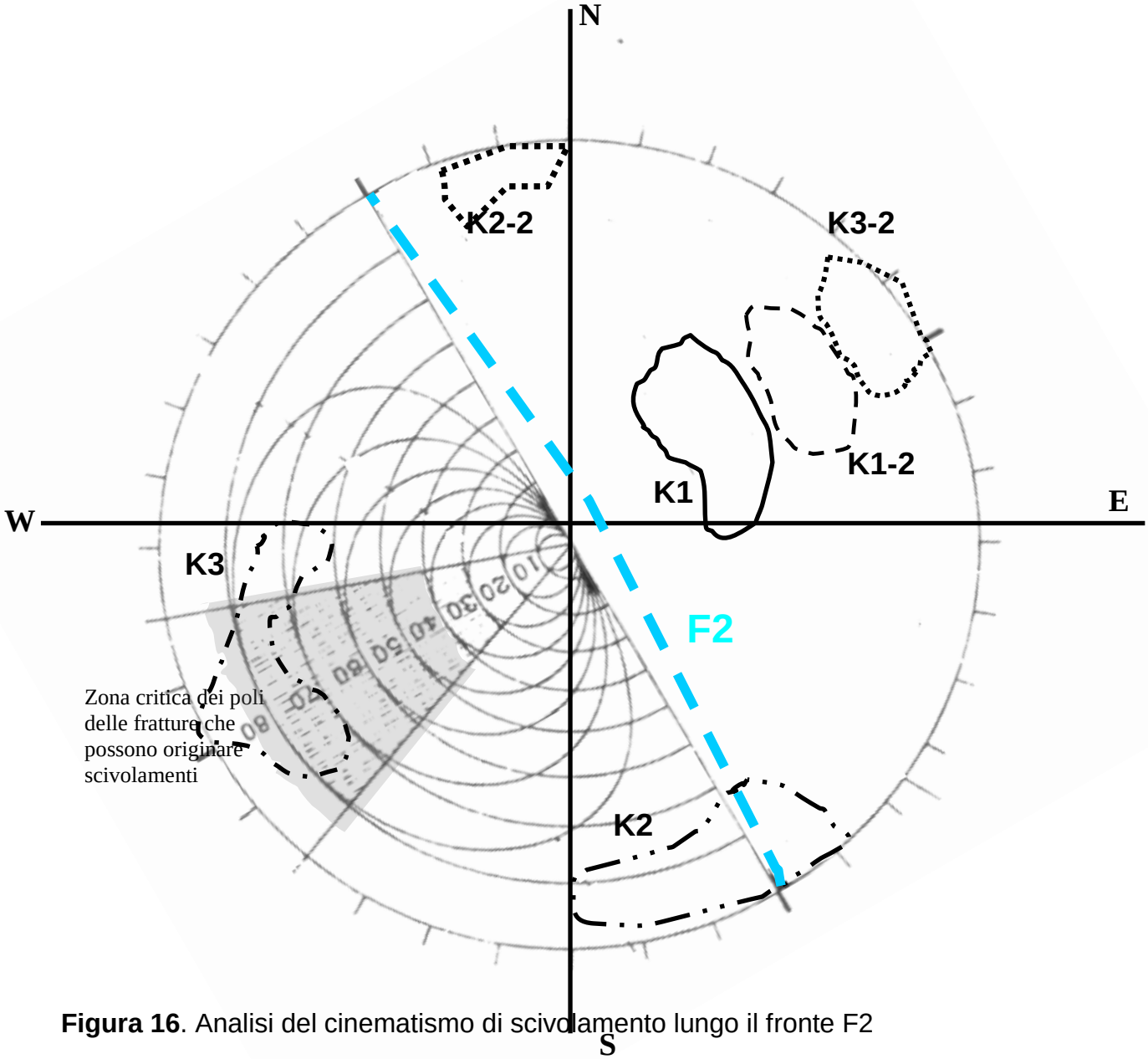


Figura 16. Analisi del cinematismo di scivolamento lungo il fronte F2

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

FRONTI DI AVANZAMENTO F3

Per i fronti F3 le fratture che sono situate nella zona critica, che potrebbero dare origine al cinematismo dello scivolamento planare, sono quelle della famiglia K1-K1-2 e K3-2..

Pertanto, nel momento in cui si crea il fronte F3 è necessario porre attenzione a queste fratture e prima di eseguire i tagli posteriori le fratture verranno chiodate.

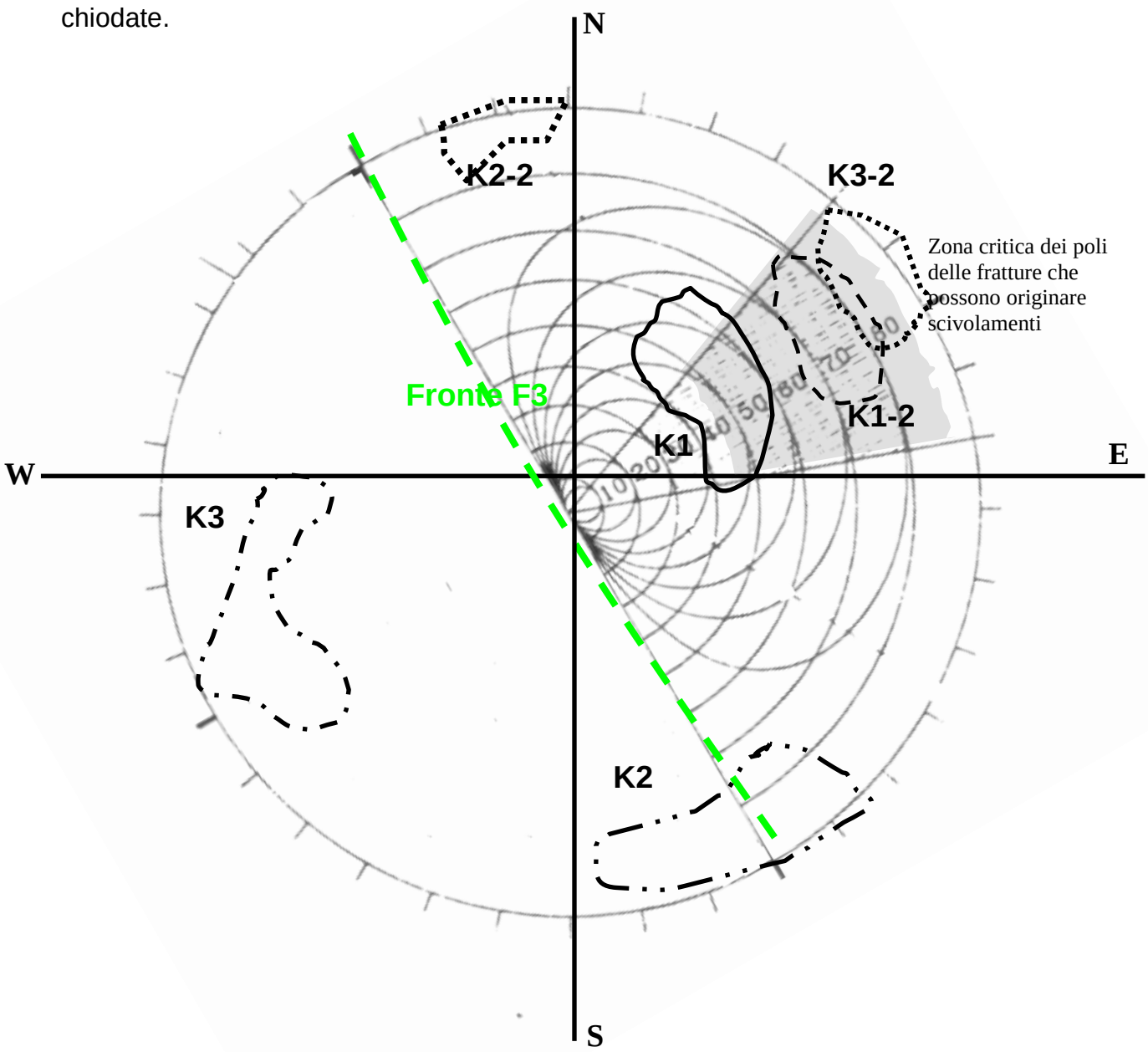


Figura 17. Analisi del cinematismo di scivolamento lungo il fronte F3

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

7. INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO ESEGUITI

Nella coltivazione della cava sono state messe in opera interventi di consolidamento preventivo.

Nella parte del fronte esterno della cava, che sovrasta l'entrata in sotterraneo, negli anni passati sono stati eseguiti interventi di consolidamento con barre di acciaio e fasciatura con reti, come è visibile sulla foto 5.

FOTO 5 . Cava Pescina A. Visibile il fronte superiore, messo in sicurezza negli anni passati con chiodature e fasciatura con reti, al di sopra dell'entrata del sotterraneo.

L'entrata del sotterraneo è stata oggetto di chiodature di consolidamento al tetto e di messa in opera di reti, come lavori preventivi di sicurezza, alcuni dei quali visibili sulla foto 5 e 6.

I cunei che potevano essere potenzialmente instabili sono stati oggetto di chiodature di consolidamento.

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

FOTO 6 . Cava Pescina A. Visibile l'entrata e l'interno del sotterraneo con le chiodature come opere preventive di sicurezza.

INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DA ESEGUIRE

Sulle uscite del sotterraneo, previste nella parte orientale, saranno eseguite chiodature e centine con barre di acciaio, al tetto delle uscite , come opere di consolidamento preventive.

Verranno eseguiti disgaggi sul fronte principale.

8 VERIFICA DEI PILASTRI DI PROGETTO

Nella coltivazione del sotterraneo della cava Pescina n. 13, già durante la prima fase delle coltivazioni è stata prevista la realizzazione di tre pilastri, indicati come pilastro 1, pilastro 2 e pilastro 3.

Il pilastro 1 lungo 15,5 metri e largo 12 m . Il pilastro 2 lungo 18,5 m e largo 14,5 metri. Il pilastro 3 lungo 22 m e largo 18 metri.

La verifica dei pilastri di progetto è stata eseguita nella "Valutazione previsionale di stabilità", redatta dall'Ing Marco Berlinghieri dello Studio di Ingegneria Pandolfi , che si allega.

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

9 CONCLUSIONI

L'analisi di stabilità dei fronti della PESCINA A è stata effettuata inizialmente nella zona a cielo aperto, nell'anno 2015, in quanto si prevedevano solo coltivazioni a cielo aperto.

Successivamente, con la presentazione della variante per coltivazioni in sotterraneo, l'analisi di stabilità nell'anno 2018 è stata estesa al sotterraneo, per valutare la stabilità dei fronti di cava attuali e di quelli che si andranno a creare con la coltivazione, per verificare se esistono situazioni strutturali tali da compromettere la stabilità dell'ammasso roccioso.

Per la realizzazione del presente Piano di coltivazione, all'interno del sotterraneo, si prevede di proseguire con il tracciamento delle gallerie principale in direzione NNW e di quelle con direzione ENE per individuare la posizione dei "corsi" di marmo con caratteristiche merceologiche migliori e meno fratturati, dato che nella parte esterna appaiono grosse lenti di marmo grigio, che commercialmente hanno scarsa richiesta di mercato.

Sono stati analizzati i cinematismi di ribaltamento e di scivolamento sui vari fronti .

Il cinematismo di scivolamento potrebbe verificarsi solo quando i fronti vengono tagliati verticalmente e da essi fuoriesce una frattura a franapoggio.

In particolare i fronti F3 del sotterraneo, che possono essere interessati da fratture K1 e K1-2, potrebbero originare lo scivolamento sulle K1-2, che hanno inclinazione superiore all'angolo di attrito, mentre le K1 in genere hanno una inclinazione bassa di 30-35°, per cui non danno origine a scivolamenti.

Quando si incontrano tali fratture K1-2, il fronte viene realizzato mediante "spogliazione" di tale frattura, senza eseguire tagli verticali.

L'analisi di stabilità del fronte residuo principale della cava a cielo aperto, che delimita a NNW i piani esterni, è stata effettuata per valutare se esistono situazioni strutturali tali da compromettere la stabilità dell'ammasso roccioso.

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2

Sono stati analizzati i cinematismi di ribaltamento e di scivolamento sul citato fronte e sul versante soprastante, fino al crinale .

Non sono emerse le condizioni affinché si verifichino i cinematismi di ribaltamento colonnare.

Il cinematismo di scivolamento potrebbe verificarsi quando il fronte viene tagliato verticalmente e da esso fuoriesce una frattura a franapoggio.

Il fronte principale a cielo aperto è per la maggior parte creato mediante "spogliazione" delle fratture K2-2.

Nei casi in cui sono stati dati tagli verticali, come è visibile sulla foto 4, non sono visibili fratture K2-2 che fuoriescono dal fronte, per cui non si origina il cinematismo di scivolamento.

Lungo il versante soprastante il ciglio di cava, fino al crinale, le inclinazioni diminuiscono a 20-40°, come è visibile sulla foto 3, per cui il cinematismo di scivolamento non si potrà innescare.

Sui fronti esterni al sotterraneo, negli anni passati sono stati eseguiti interventi di consolidamento mediante barre di acciaio lunghe 9 m e sono state eseguite fasciature con reti e funi di acciaio. Non si rilevano situazioni tali da essere necessari grossi interventi, ad eccezione dei normali lavori di disgaggio delle tecchie da effettuare periodicamente, per abbattere le piccole porzioni mobili che si possono formare.

Si possono formare cunei di piccole dimensioni sui fronti in cui esiste una fratturazione ravvicinata (finimento), facilmente eliminabili con disgaggio manuale o con escavatore.

La verifica dei pilastri di progetto è stata eseguita nella "Valutazione previsionale di stabilità", allegata, redatta dall'Ing Marco Berlinghieri dello Studio di Ingegneria Pandolfi.

Carrara febbraio 2022 GEOL. DOTT. ALBERTO CATTANI

Parco Regionale Alpi Apuane, Prot. 0000888 del 02-03-2022 in arrivo Cat.3 Cla. 2