

STUDIO DI GEOLOGIA TECNICA
Dott. Fiorenzo DUMAS
Via Codena, 2
54033 – CARRARA (MS)
Tel. 0585/776919
Mobile 338/4979343
fiorenzodumas@virgilio.it

**PROGETTO DI COLTIVAZIONE DELLA CAVA N. 46
“POLVACCIO” REDATTO AI SENSI DELL’ART. 17 L.R. 35/15,
AUTORIZZATA CON DETERMINA N. 4117 DEL 24.08.2023 E
PROROGATA CON DETERMINA N. 5449 DEL 22.10.2025, SITA
NEL BACINO INDUSTRIALE N.° 2 TORANO – SCHEDA PIT/PPR
N. 15 – PABE COMUNE DI CARRARA**

9.0 RELAZIONE GEOMECCANICA E DI STABILITA’ DEI FRONTI E DELLE TECCHIE AI SENSI
DELL’ART. 52 D.L.g.s. 624/96

Committente: Escavazione Polvaccio S.r.l.

IL LEGALE RAPPRESENTANTE

Sig. Franco BARATTINI



Il Geologo

Dott. Fiorenzo DUMAS



1. PREMESSA.....	4
2. METODOLOGIA	4
3. ORIENTAZIONE FRONTI	5
3.1. I DATI DEL MAGGIO 2026	5
3.2. I DATI DEL 2020	6
4. DETERMINAZIONE DEI CINEMATISMI INSTABILI MEDIANTE L'ANALISI GRAFICA DI MARKLAND	7
4.1. FRONTI VERTICALI ANALISI GRAFICA MARKLAND	7
4.1.1. <i>analisi fronte n150° verticale ne(±10°)</i>	7
4.1.2. <i>analisi fronte n60° verticale nw (±10°)</i>	8
4.1.3. <i>analisi fronte n150° esposto ne 53 (±10°)</i>	9
4.1.4. <i>analisi fronte n60° esposto ne 60°(±10°)</i>	9
5. SINTESI DEI CINEMATISMI INSTABILI DALLA ANALISI GRAFICA DI MARKLAND	10
6. RICONOSCIMENTO DISCONTINUITÀ ED ELABORAZIONE DATI DELLE PRECEDENTI CAMPAGNE	10
7. CARATTERI STRUTTURALI DI RILIEVO	11
8. CRITERI DI PROGETTAZIONE E VERIFICA	12
8.1. AZIONI DI CALCOLO	12
8.2. RESISTENZE	13
8.3. MODALITÀ DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE.....	14
8.4. AZIONI DOVUTE AL SISMA.....	14
8.5. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	14
8.6. CONDIZIONI TOPOGRAFICHE	15
8.7. DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA.....	15
9. CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO	16
9.1. CLASSIFICAZIONE DI BENIAWSKY (INDICE RMR,1989).....	16
9.2. CLASSIFICAZIONE DI HOEK-KAISERBAEDN (INDICE GSI 1995-2002)	18
9.3. CARATTERISTICHE DELL'AMMASSO	19
9.4. RESISTENZA AL TAGLIO DELLE DISCONTINUITÀ.....	20
10. ANALISI E VERIFICA DEI FRONTI DI CAVA.....	20
10.1. VERIFICHE FRONTI	23
10.1.1. <i>Fronte orientato N60, verticale esposto a NW:</i>	23
10.1.2. <i>Fronte orientato N71, verticale esposto a N (Fig. 20):</i>	24
10.1.3. <i>Fronte orientato N82, verticale esposto a N:</i>	25
10.1.4. <i>Fronte orientato N93, verticale esposto a N:</i>	26
10.1.5. <i>Fronte orientato N123, verticale esposto a SW:</i>	27
10.1.6. <i>Fronte orientato N133, verticale esposto a NE:</i>	28
10.1.7. <i>Fronte orientato N154, verticale esposto a NE:</i>	29
10.1.8. <i>Fronte orientato N167, verticale esposto a SW:</i>	30
ALLEGATI – PROGRAMMA ROCKPLANE	32
ANALISI SCIVOLAMENTI PLANARI CANTIERE POLVACCIO ALTO	32
ANALISI RIBALTAMENTI CANTIERE POLVACCIO ALTO VERIFICHE GRAFICHE FRONTI ATTUALI.....	34
11. LE TECCHIE.....	35
11.1. FRONTE ORIENTATO N71° INCLINATO 55° NW:	36

1. PREMESSA

Per incarico della Escavazione Polvaccio S.r.l. è stata redatta la relazione geomeccanica con analisi di stabilità dei fronti del Cantiere Polvaccio alto, l'unico attivo dei 4 cantieri componenti la cava n. 46 "Polvaccio"; in ottemperanza a quanto richiesto dalla L.R. 35/15 e dall'art. 52 del D.lvo 624/96, adottando, nelle procedure di calcolo, quanto riportato nel D.M. 17.01.2018 e nella Circ. 617/2009.

Al fine di redigere questa analisi la Società ha provveduto a far eseguire un rilievo topografico utilizzato come base per l'esecuzione di stazioni puntuali di misura a random eseguite nel Maggio 2026, che vanno ad integrare i dati rilevati nelle precedenti campagne.

2. METODOLOGIA

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

- prima osservazione dei fronti di scavo e delle tecchie al fine di individuare eventuali situazioni di instabilità in essere e/o potenziali;
- integrazione dei dati geostrutturali già disponibili (campagne 2016, 2019 e 2020) attraverso stazioni puntuali di misura;
- proiezione su diagramma di Wulf dei nuovi dati geostrutturali raccolti nel cantiere e successivo confronto tra questi e le precedenti proiezioni al fine di rilevare l'omogeneità dei sistemi di discontinuità e/o l'insorgenza di nuovi;
- elaborazione statistica dei dati raccolti con conseguente redazione delle tabelle dei "Ranges dei sistemi di discontinuità" e delle tabelle "Parametri fisico-meccanici dei sistemi di discontinuità" riferite a ciascun cantiere;
- classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso con i metodi di Bieniawski e del GSI;
- definizione dei parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso mediante le classificazioni meccaniche;
- definizione e utilizzo dei parametri di resistenza delle discontinuità ascrivibili a ogni sistema rilevato attraverso metodo di Barton-Choubey;
- verifica grafica dei cinematismi potenzialmente instabili mediante diagramma di Markland;
- verifica analitica dei cinematismi potenzialmente instabili di tipo planare, tridimensionale e di ribaltamento individuati in precedenza:
 - Per i **fronti**:
 - Planare per i fronti di avanzamento attraverso *Rocplane* della *Rocscience®*;
 - Tridimensionale per i fronti di avanzamento attraverso *B-Rock* della *ProgramGeo* e *Swedge* della *Rocscience®*
 - Ribaltamento;
 - Per la tecchia orientata Est-Ovest esposta nord:
 - Planare per i fronti di avanzamento attraverso *Rocplane* della *Rocscience®*;
 - Tridimensionale per i fronti di avanzamento attraverso *B-Rock* della *ProgramGeo* e *Swedge* della *Rocscience®*
- discussione dei potenziali cinematismi così individuati mediante analisi dei parametri geometrici e fisico-meccanici (tipo, persistenza, angolo tra direzione di scivolamento e fronte, peso statistico del sistema di discontinuità ecc..) al fine di valutare quanto concorrano alla stabilità dei fronti rocciosi;
- osservazione dei fronti attivi e delle tecchie, a seguito delle verifiche effettuate, così da individuare eventuali casi reali di potenziale scivolamento planare e tridimensionale e/o altre problematiche;
- programmazione di eventuale verifica analitica specifica di casi riconosciuti nel sito;
- utilizzo dei dati geomeccanici e strutturali per la stesura annuale della Relazione di Stabilità;

3. ORIENTAZIONE FRONTI

Nell'ambito del "range" dei $\pm 10^\circ$ i fronti di escavazione indagati in precedenza hanno orientazione hanno orientazione:

Fronti Attuali e Progettati		Tecchie Attuali
N 60 verticale esposto NW	N 71 verticale esposto NNW;	N 71 inclinato 55° NW;
N 82 verticale esposto N;	N 93 verticale esposto N;	
N 123 verticale esposto SW	N 133 verticale esposto NE	
N 154 verticale esposto NE;	N 167 verticale esposto SW	

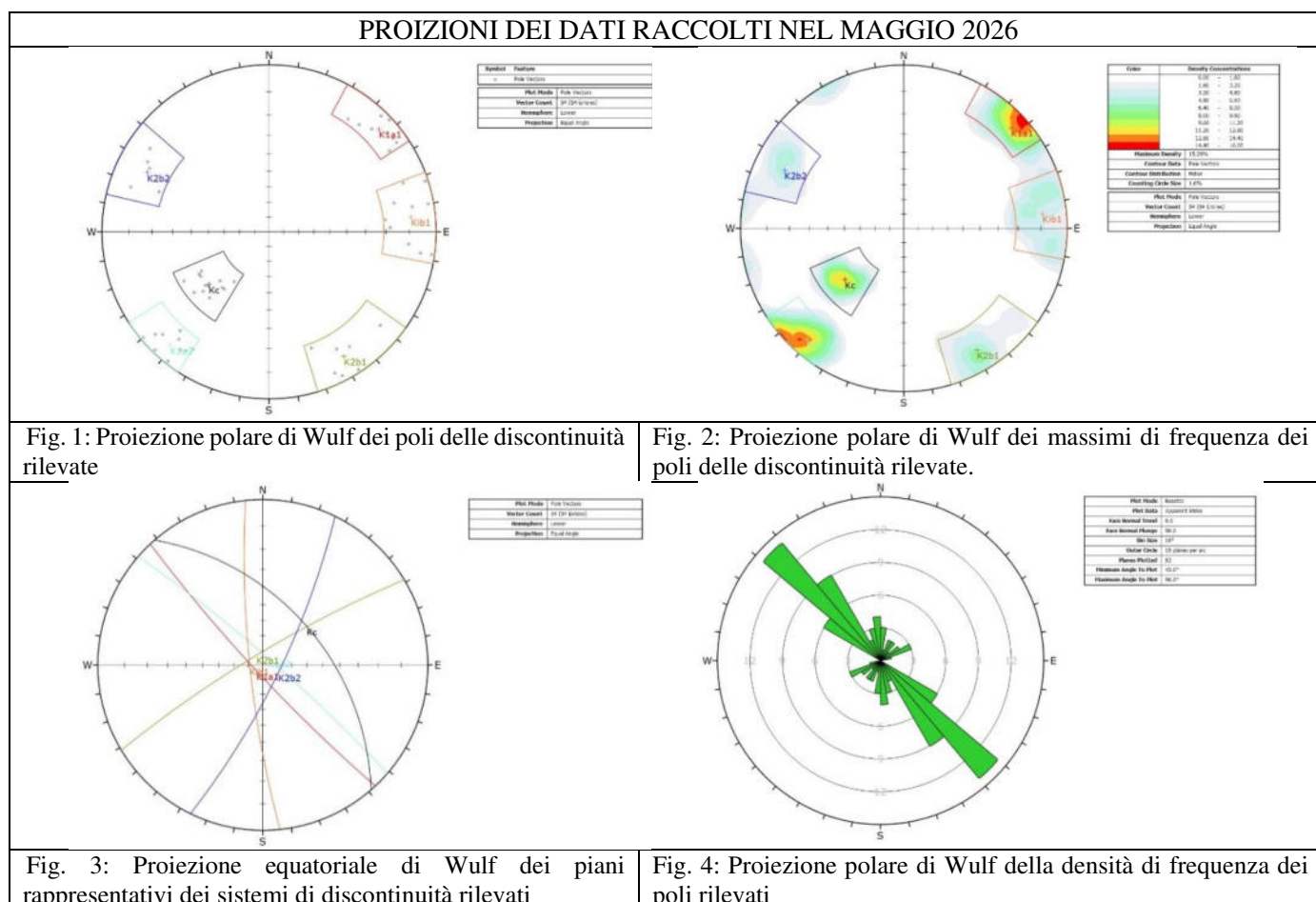
mentre i nuovi fronti indagati hanno orientazione:

Nuovi Fronti Attuali
N 60° inclinato 60° NE
N 150° inclinato 53° NW;

3.1. I DATI DEL MAGGIO 2026

Nell'ambito della stesura del nuovo progetto è stata eseguita una nuova campagna di rilevamento geostrutturale finalizzata a verificare l'eventuale insorgenza di sistemi di discontinuità non rilevati in precedenza che abbiano determinato variazione nella condizione strutturale dell'ammasso roccioso.

Nel maggio 2026 è stata eseguita una campagna raccolta dati all'interno del cantiere Polvaccio Alto, i cui risultati sono stato proiettati nelle Figg. 1, 2 3 e 4, consentendo di redigere la Tab. 1 relativa ai "range di giacitura e piani rappresentativi dei sistemi rilevati", confermando la corrispondenza con quelli già rilevati nelle precedenti campagne d'indagine.

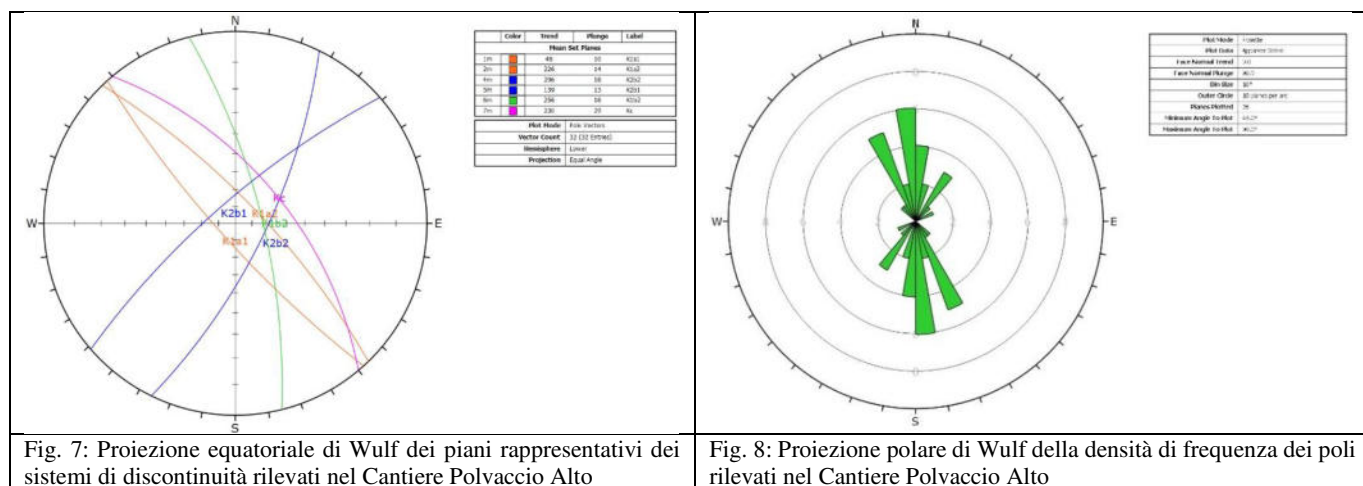
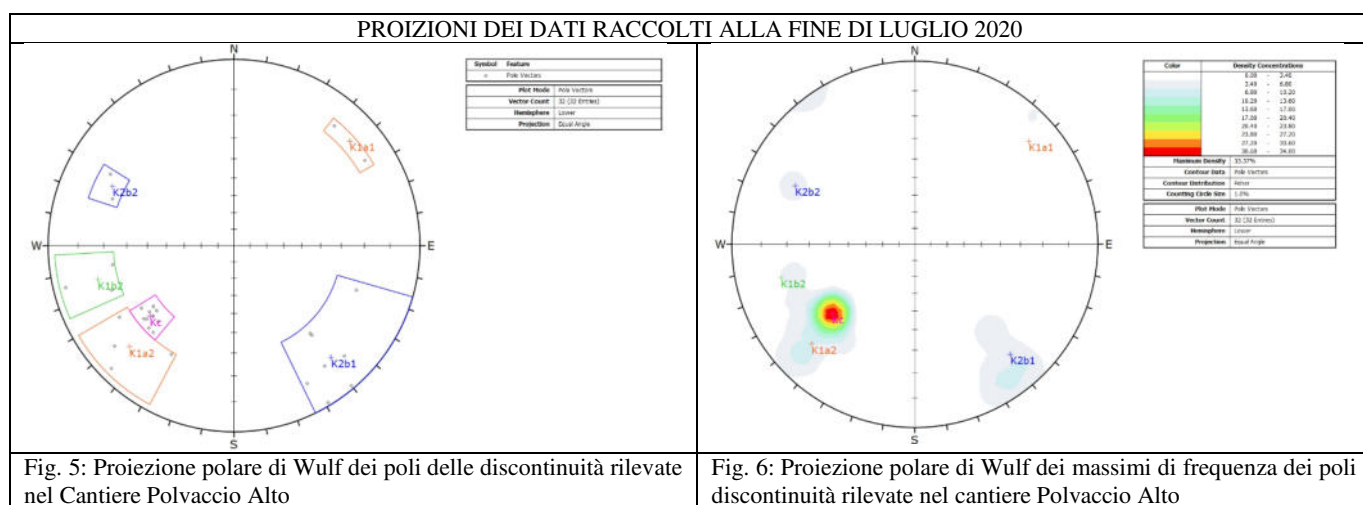


SISTEMA	K1				K2				Kc
Sottosistema	K1a		K1b		K2a		K2b		
Sottogruppo	K1a1	K1a2	K1b1	K1b2	K2a1	K2a2	K2b1	K2b2	
Range Imm.	207-237	33-57	249-281	/	/	/	304-343	103-130	30-67
Range Incl.	78-90	75-90	70-90	/	/	/	72-90	68-79	34-65
Piano Rapp.	227-89	44-87	256-85	/	/	/	328-85	118-80	52-31

Tab. 1: Tabella range di giacitura e piani rappresentativi dei sistemi rilevati nel Maggio 2026.

3.2. I DATI DEL 2020

La campagna di rilevamento dati si è svolta attraverso stazioni puntuali di misura che hanno permesso il rilevamento dei dati geostrukturali proiettati su diagrammi polare e equatoriale di Wulf, Fig. 5, 6, 7 e8. Le proiezioni hanno confermato l'omogeneità di questi rispetto ai sistemi di discontinuità rilevati con le precedenti campagne, oltre che redigere la sottostante tabella della giacitura dei sistemi individuati.



SISTEMA	K1				K2				Kc
Sottosistema	K1a		K1b		K2a		K2b		
Sottogruppo	K1a1	K1a2	K1b1	K1b2	K2a1	K2a2	K2b1	K2b2	
Range Imm.	218-240	28-59	66-87	/	/	/	286-334	108-122	40-58
Range Incl.	76-82	67-88	53-68	/	/	/	60-90	67-79	58-68
Piano Rapp.	228-81	46-81	75-74	/	/	/	324-83	116-72	50-61

Tab. 2: Tabella dei range di giacitura e piani rappresentativi dei sistemi di discontinuità individuati della campagna 2020.

4. DETERMINAZIONE DEI CINEMATISMI INSTABILI MEDIANTE L'ANALISI GRAFICA DI MARKLAND

I cinematismi che si sono manifestati erano generati dall'intersezione tra:

- il fronte orientato NW-SE verticale esposto NE con discontinuità ascrivibili ai sistemi K_c , K_{1a2} e K_{1b2} , Fig. 5;
- il fronte orientato NE-SW verticale esposto NW con le discontinuità ascrivibili al sistema K_{2b1} , Fig. 6.

Di seguito si è affrontata l'analisi grafica dei cinematismi che si potevano sviluppare lungo il fronte orientato N10°, verticale, esposto verso E, con un range di variazione $\pm 10^\circ$ della direzione.

4.1. FRONTI VERTICALI ANALISI GRAFICA MARKLAND

Si sottolinea che nel cantiere Polvaccio Alto i fronti coltivati hanno all'incirca orientazione NW-SE esposti NE e circa orientazione NE-SW esposti NW. I primi sono coincidenti con fratture ascrivibili al sistema K_c ed i secondi coincidono con fratture ascrivibili al sistema K_{2b1} . Ambedue possono avere variazioni della direzione di $\pm 10^\circ$.

Nell'analisi che si affronta inizialmente i due fronti si considerano con inclinazione verticale, condizione strutturale che genera il manifestarsi di cinematismi potenzialmente instabili (Fig. 9, 10 Fronte N150° e Fig. 11, 12 Fronte N60°), per poi passare all'analisi della condizione di coincidenza tra i fronti N150° con una locale frattura ascrivibile al sistema K_c e fronti N60° coincidenti con una locale frattura al sistema K_{2b1} . In considerazione del fatto che i due fronti analizzati hanno variazione della loro direzione azimutale di $\pm 10^\circ$ e che i due sistemi di frattura K_c e K_{2b1} sono caratterizzati da un ampio range del valore d'inclinazione, la loro combinazione prospetta moltissimi casi da analizzare, nonostante la coincidenza del fronte con la locale frattura ascrivibile a uno dei due sistemi menzionati. Al fine di analizzare la condizione strutturale che si verifica con la coincidenza frattura-fronte, si è ritenuto di analizzare, Fig. 13, 14, 15 e 16, la condizione in cui il fronte coincide con la frattura a valore minimo di inclinazione ($53^\circ K_c$ e $60^\circ K_{2b1}$). Di seguito si analizzano le condizioni di instabilità riferite ai due fronti N150° verticale NE($\pm 10^\circ$) e N60° verticale NW($\pm 10^\circ$), considerando che le discontinuità rilevate ricadono all'interno dei campi che definiscono i sistemi di discontinuità già rilevati.

4.1.1. ANALISI FRONTE N150° VERTICALE NE($\pm 10^\circ$)

Analisi Planare

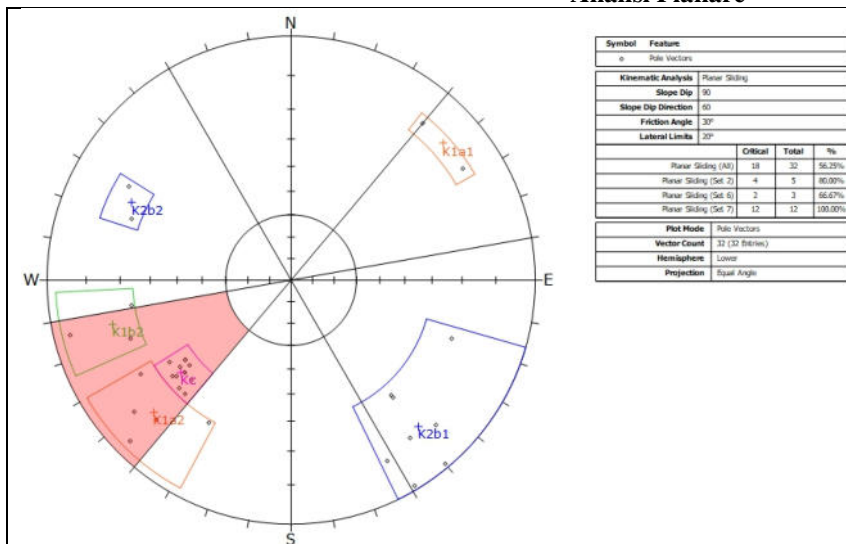


Fig. 9: Diagramma di Markland del Fronte N150° verticale esposto NE con evidenziata l'area di instabilità ed i poli delle discontinuità interessate dal cinematismo planare. Dall'analisi emerge che con inclinazione verticale del fronte le discontinuità interessate dal potenziale cinematismo planare consistono:

- in tutte le discontinuità rilevate del sistema K_c ;
- nelle discontinuità del sistema K_{1a2} con immersione $> 230^\circ$;
- nelle discontinuità del sistema K_{1b2} con immersione $< 260^\circ$.

Analisi Tridimensionale

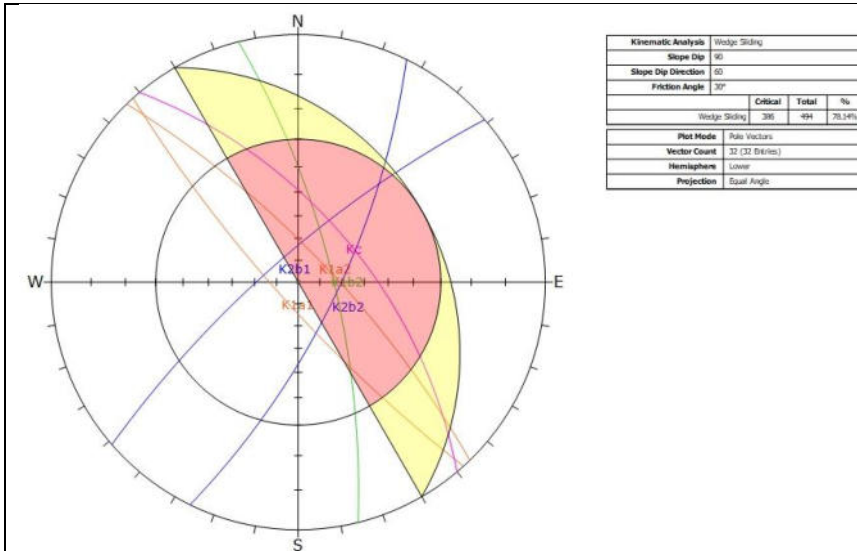


Fig. 10: Diagramma di Markland del Fronte N150 verticale esposto NE con evidenziata l'area di instabilità ed i piani rappresentativi delle discontinuità interessate dal cinemismo tridimensionale.

Dall'analisi emerge che con inclinazione verticale del fronte le coppie di discontinuità interessate dal potenziale cinemismo tridimensionale sono ascrivibili ai sistemi: K_c-K_{2b1}; K_c-K_{1b2}; K_{1a2}-K_{2b1}; K_{1a2}-K_{1b2}; K_{1b2}-K_{2b2}; K_{1b2}-K_{1a1}.

4.1.2.ANALISI FRONTE N60° VERTICALE NW (±10°)

Analisi Planare

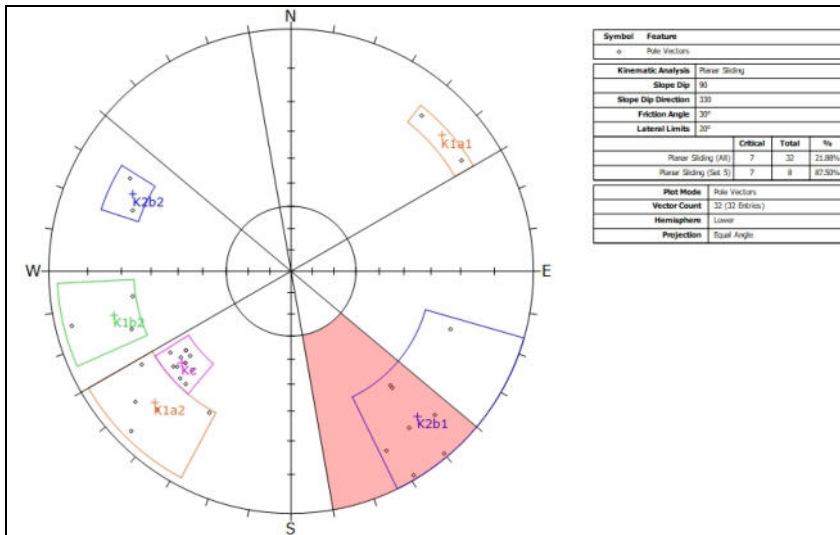


Fig. 11: Diagramma di Markland del Fronte N 60 verticale esposto NW con evidenziata l'area di instabilità ed i poli delle discontinuità interessate dal cinemismo planare.

Dall'analisi emerge che con inclinazione verticale del fronte le discontinuità interessate dal potenziale cinemismo planare consistono: nelle discontinuità del sistema K_{2b1} con immersione >130°.

Analisi Tridimensionale

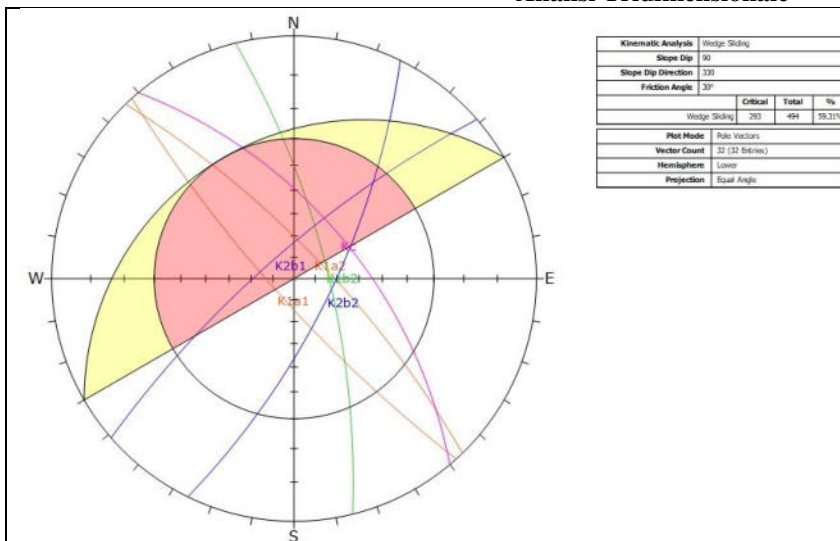


Fig. 12: Diagramma di Markland del Fronte N 60 verticale esposto NW con evidenziata l'area di instabilità ed i piani rappresentativi delle discontinuità interessate dal cinemismo tridimensionale.

Dall'analisi emerge che con inclinazione verticale del fronte le coppie di discontinuità interessate dal potenziale cinemismo tridimensionale sono ascrivibili ai sistemi: K_c-K_{2b1}; K_c-K_{1b2}; K_c-K_{2b2}; K_{1a1}-K_{2b1}; K_{1a2}-K_{2b1}; K_{2b1}-K_{2b2}.

4.1.3.ANALISI FRONTE N150° ESPOSTO NE 53 (±10°)

Analisi Planare

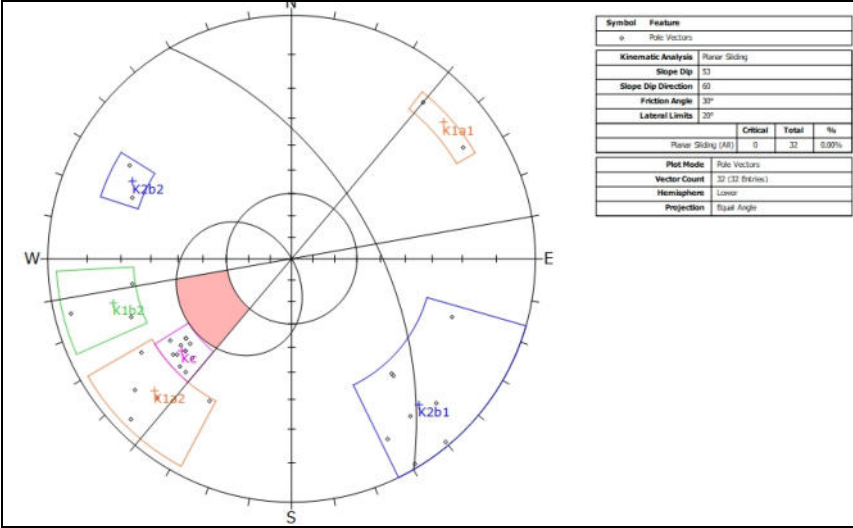


Fig. 13: Diagramma di Markland del Fronte N150 inclinato 53 NE non si generano scivolamenti planari; in quanto nell’area di instabilità non sono contenuti poli di fratture. Dall’analisi emerge che con fronte inclinato di 53° e coincidente con frattura ascritta al sistema K_c, non si possono formare scivolamenti planari.

Analisi Tridimensionale

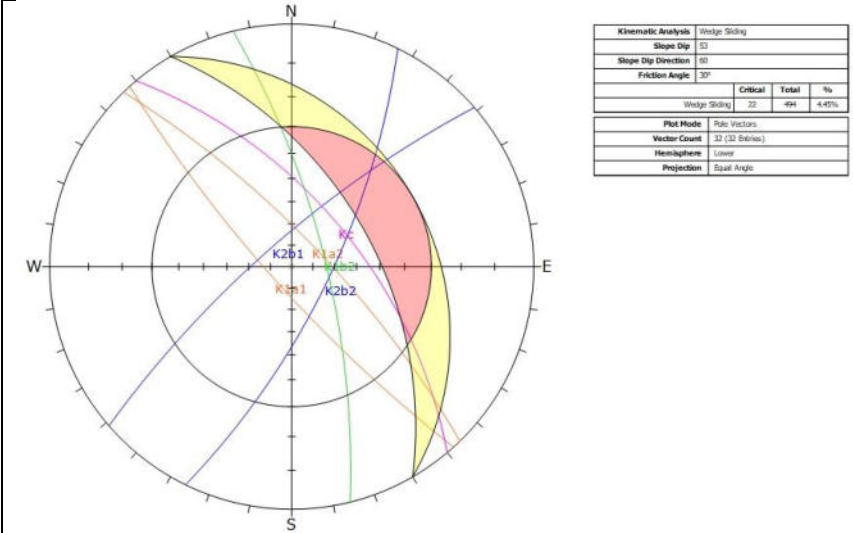


Fig. 14: Diagramma di Markland del Fronte N150 inclinato 53 NE con evidenziata l’area di instabilità ed i piani rappresentativi delle discontinuità interessate dal cinematismo tridimensionale. Dall’analisi emerge che con inclinazione del fronte di 53° e coincidente con frattura ascritta al sistema K_c si può formare una sola coppia cinematica K_c-K_{2b1}, localizzata nei pressi del margine del campo di instabilità.

4.1.4. ANALISI FRONTE N60° ESPOSTO NE 60° (±10°)

Analisi Planare

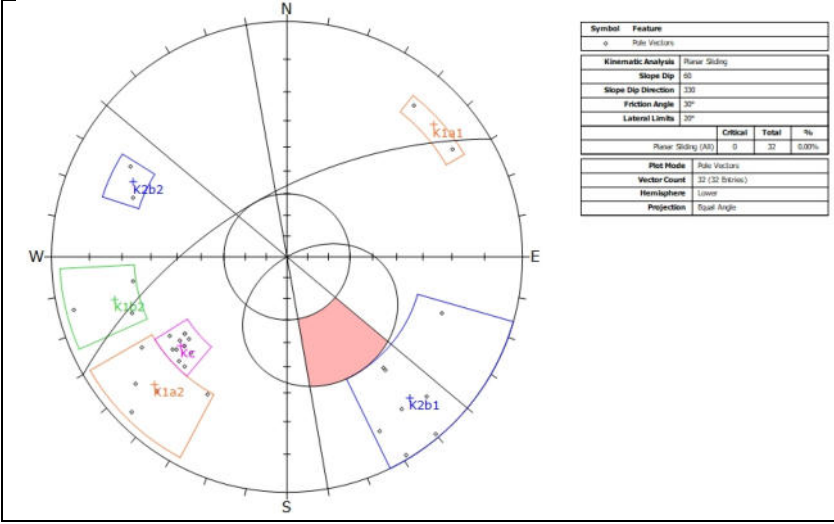


Fig. 15: Diagramma di Markland del Fronte N60 inclinato 60 NW non si generano scivolamenti planari; in quanto nell’area di instabilità non sono contenuti poli di fratture. Dall’analisi emerge che con fronte inclinato di 60° e coincidente con frattura ascritta al sistema K_{2b1}, non si possono formare scivolamenti planari.

Analisi Tridimensionale

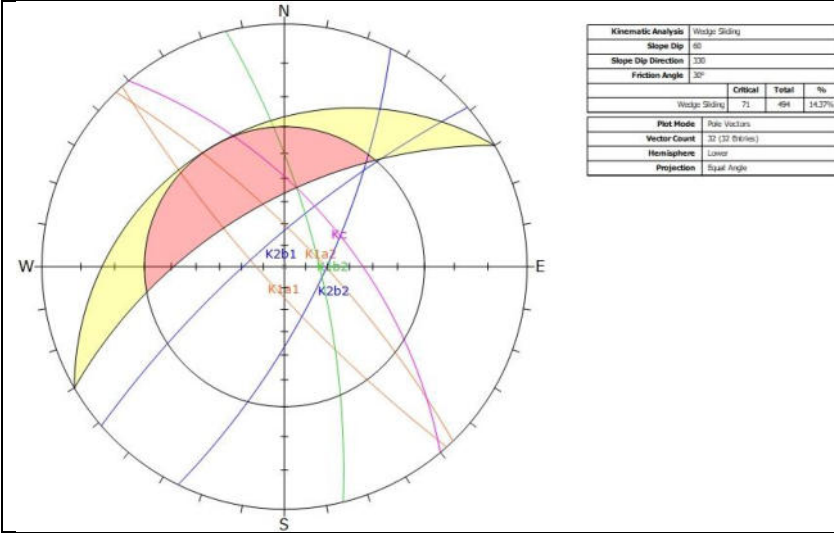


Fig. 16: Diagramma di Markland del Fronte N60 inclinato 60 NW con evidenziata l’area di instabilità ed i piani rappresentativi delle discontinuità interessate dal cinematismo tridimensionale. Dall’analisi emerge che con inclinazione del fronte di 60° e coincidente con frattura ascritta al sistema K_{2b1} si può formare una sola coppia cinematica K_c-K_{1a2}

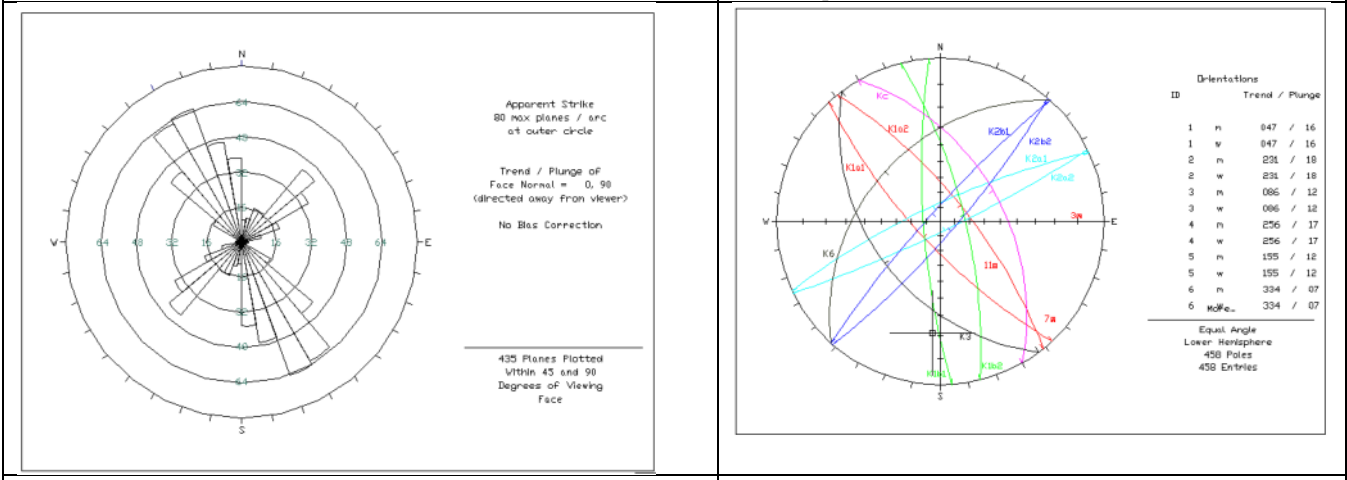
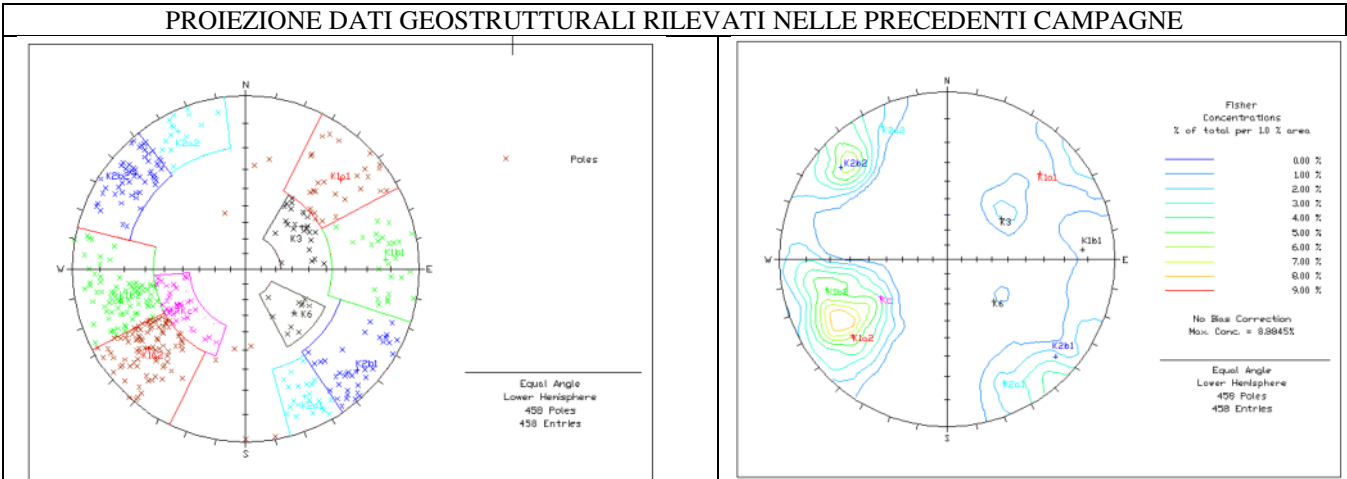
5. SINTESI DEI CINEMATISMI INSTABILI DALLA ANALISI GRAFICA DI MARKLAND

L'analisi di Markland ha permesso verificare che:

- 1) i fronti N150° verticale a NE e N60° verticale esposto NW sono sottoposti alla formazione di volumi instabili che si vengono a determinare per l'interazione tra le fratture dei sistemi di discontinuità Kc-K2b1-K1b2-K1a2-K1b22-K2b2;-K1a1. e tra queste ed il fronte;
- 2) tali volumi instabili o potenzialmente tali, per ragioni di sicurezza, sono stati rimossi appena si presentavano durante la fase di disgiungimento della bancata stessa;
- 3) l'aver fatto coincidere il fronte con la locale frattura ascrivibile ad uno dei due sistemi Kc o K2b1 ha eliminato la possibilità di formazione di cinematismi, ponendo il fronte stesso in sicurezza.

6. RICONOSCIMENTO DISCONTINUITÀ ED ELABORAZIONE DATI DELLE PRECEDENTI CAMPAGNE

L'elaborazione dei dati raccolti è stata eseguita con l'ausilio del programma informatizzato DIPS della Rocscience che, oltre alla definizione dei sistemi di discontinuità e dei loro piani rappresentativi, ha consentito il trattamento statistico dei dati riportati nelle tabelle sintetiche riferite alla distribuzione stereografica ed alle caratteristiche fisico-meccaniche dei vari sistemi riconosciuti. Allo scopo di evidenziare la giacitura preferenziale delle discontinuità rilevate nelle precedenti campagne all'interno dell'unità estrattiva sono stati proiettati su reticolo polare di Wulf i poli delle discontinuità, Fig. 17, elaborati i loro massimi di frequenza, Fig. 18, costruito il diagramma a rose, Fig. 19, ed il diagramma dei relativi piani rappresentativi Fig. 20. Da ultimo nelle Figg. 21/24 sono cumulate le proiezioni dei dati rilevati nelle campagne 2016 2019e 2020.



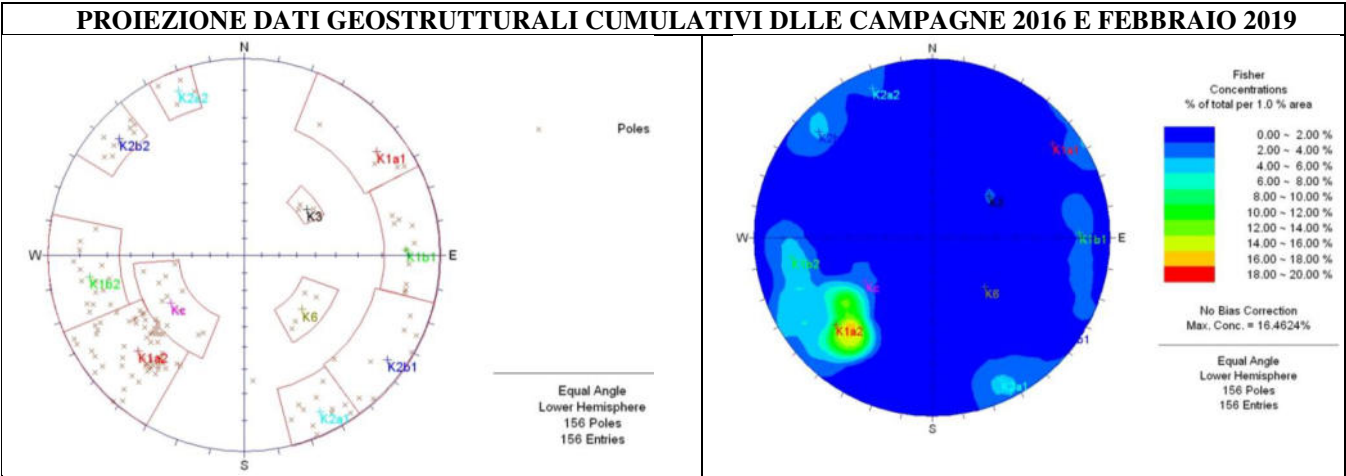


Fig. 21: Proiezione polare su diagramma di Wulff dei poli delle discontinuità rilevate nelle campagna 2019/2016

Fig. 22: Definizione massimi frequenza su diagramma Wulff poli delle discontinuità rilevate campagna 2019/2016

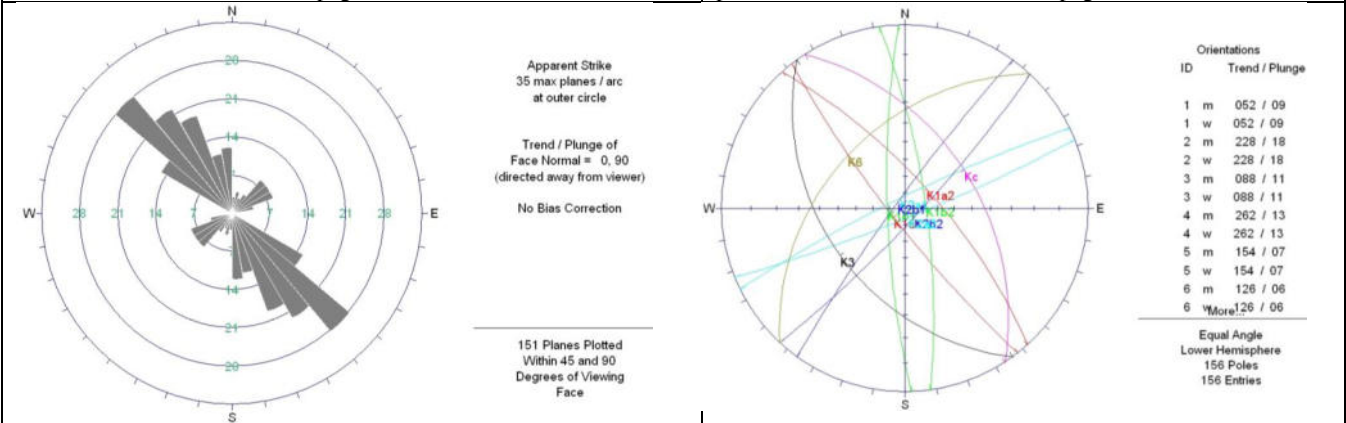


Fig. 23: Diagramma a rose su reticolo polare di Wulff , frequenza sistemi di discontinuità rilevati nelle campagna 2019 /2016

Fig. 24: Proiezione equatoriale su reticolo di Wulff dei piani rappresentativi sistemi discontinuità campagna 2019/2016

A tali dati sono stati raffrontati quelli rilevati nel Maggio 2026, previa proiezione su reticolo polare di Wulff dei poli delle discontinuità, Fig. 21, elaborati i loro massimi di frequenza, Fig. 22 costruito il diagramma a rose, Fig. 24, ed il diagramma dei relativi piani rappresentativi Fig. 25; da cui risulta che nei nuovi ribassi indagati emerge una netta predominanza del sistema K1a2 e in subordine dei sistemi Kc, K2a e K2b.

Il cumulo dei dati con rilevati nelle successive e varie campagne rispetto a quelli del periodo 2016-2019 - 2020 consente di affermare che la fratturazione all'interno del sito si è mantenuta omogenea.

L'elaborazione dei dati geomeccanici rilevati ha permesso di definire i sistemi di discontinuità secondari (Kc, K3; K6), principali (K1, K2), ed i sottosistemi di quest'ultimi, oltre che redigere le sottostanti Tab. 1 e 2, relative alla giacitura dei sistemi ed ai parametri fisico-meccanici.

Sistema a	K1				K2				Kc	K3	K6
Sottosistema a	K1a		K1b		K2a		K2b				
Sottogruppo	K1a1	K1a2	K1b1	K1b2	K2a1	K2a2	K2b1	K2b2			
Ranges Immersione	205-242	26-62	242-287	62-103	326-345	141-173	287-326	103-141	18-85	208-270	294-332
Ranges Inclin azione	53-90	56-90	53-90	56-90	62-90	69-90	60-90	69-90	39-56	22-53	19-54
Piano Rappresentativo	227-74	50-72	266-78	76-73	335-78	154-83	312-71	131-80	60-49	233-44	310-41

Tab. 3: Tabella range d'immersione, inclinazione e piano rappresentativo dei sistemi di discontinuità individuati.

Nella definizione dei sistemi il sottogruppo K1a2 risulta essere il sistema del “Contro scontrato”, il sistema Kc del “Contro reale”, il sistema K2 del “Verso meccanico”, il sottogruppo K1a1 del “Verso reale”.

Sotto il profilo cinematico l'importanza di un sistema è legata sia al numero di discontinuità rilevate nel cantiere sia ai valori dei parametri di persistenza e spaziatura individuati in loco, elaborati e trascritti nelle tabelle fisico-meccaniche. L'elaborazione statistica dei dati rilevati ha permesso la redazione delle tabelle dei parametri fisico-meccanici caratteristici dell'ammasso roccioso costituente il cantiere, (Tab. 4).

7. CARATTERI STRUTTURALI DI RILIEVO

Il rilievo geologico-strutturale ha evidenziato la presenza di alcuni settori con differenti caratteristiche; elemento dominante per la definizione delle "zone di omogeneità" è stato il parametro “spaziatura” tra le discontinuità. Sulla base di questo parametro sono state distinte 2 classi di omogeneità:

- ❑ "FINIMENTI": vi sono ascritte le fasce cataclastiche dove la spaziatura tra le discontinuità è decimetrica; la posizione di queste aree, interne alla zona indagata, è indicata nella Carta della Fratturazione scala 1:1000;
- ❑ "AREA ESTRATTIVA": rappresenta la maggior parte della zona indagata ed è caratterizzata da una spaziatura tra le discontinuità di un metro o superiore, valori che definiscono volumi rocciosi con dimensioni già commerciabili fin dal momento dell'apertura dei nuovi cantieri.

CANTIERE POLVACCIO ALTO								
SISTEMA		K1		K2		Kc	K3	K6
SOTTO SISTEMA		K1a	K1b	K2a	K2b			
PESO DEL SISTEMA	discontinuità disperse							
PERSISTENZA tipo	non pers.	17.52%	14.94%	20.00%	15.86%	19.35%	59.09%	100.00%
	subpers.	37.12%	35.64%	13.00%	42.69%	35.48%	13.64%	0.00%
	pers.	45.36%	49.42%	67.00%	41.45%	45.17%	27.27%	0.00%
PERSISTENZA m	min	0.77	0.1	0.26	0.32	0.91	0.15	0.19
	media modale	10.81	9.97	8.31	9.41	9.12	1.84	1.64
	max	70.00	>20.00	32.00	>20.00	>20.00	>20.00	>20.00
PERSISTENZA m	0-1	1.41%	5.56%	40.00%	6.76%	8.33%	58.33%	66.67%
	1-3	30.99%	28.30%	20.00%	29.73%	20.83%	16.67%	11.11%
	3-10	22.54%	24.53%	0.00%	25.68%	37.50%	16.67%	11.11%
	10-20	0.00%	41.51%	0.00%	1.35%	33.33%	0.00%	0.00%
	>20	45.06%	0.00%	40.00%	36.49%	0.00%	8.33%	11.11%
SPAZIATURA cm	0-2	0.00%	0.00%	20.00%	0.00%	14.29%	0.00%	0.00%
	2-6	0.00%	0.00%	20.00%	1.96%	0.00%	0.00%	0.00%
	6-20	2.44%	4.26%	40.00%	29.41%	14.29%	0.00%	0.00%
	20-60	14.63%	27.66%	0.00%	39.22%	0.00%	0.00%	50.00%
	60-200	51.22%	51.06%	0.00%	19.61%	28.57%	50.00%	50.00%
	200-600	31.71%	10.64%	0.00%	9.80%	42.86%	50.00%	0.00%
	>600	0.00%	6.38%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
SPAZIATURA cm	min	7.92	18.08	4.81	6.39	0.15	107.58	35.36
	media modale	151.66	150.99	20.17	63.93	187.49	477.82	124.18
	max	548.55	1399.11	66.47	379.43	361.89	308.06	195.63
SCABREZZA tipo	I	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	II	9.28%	9.20%	0.00%	6.10%	9.68%	9.09%	0.00%
	III	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	IV	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	V	65.98%	49.43%	48.00%	52.44%	67.74%	63.64%	85.71%
	VI	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	VII	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	VIII	24.74%	41.37%	52.00%	41.46%	22.58%	27.27%	14.29%
APERTURA mm	0.0-0.5	78.87%	83.02%	80.00%	87.84%	84.00%	91.67%	88.89%
	0.5-2.5	19.72%	15.09%	20.00%	9.46%	16.00%	8.33%	11.11%
	2.5-10	/	1.89%	0.00%	2.70%	0.00%	0.00%	0.00%
	>10	1.41%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
APERTURA mm	min	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	media modale	0.28	0.19	0.02	0.13	0.07	0.05	0.29
	max	13.00	1.50	0.50	3.00	1.50	0.50	1.00
ALTERAZIONE	non alterata	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%
	carsificata	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	patina ox	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
RIEMPIMENTO	assente	76.30%	80.45%	92.00%	87.80%	87.10%	95.45%	100.00%
	argilla	9.28%	6.90%	8.00%	3.66%	3.23%	0.00%	0.00%
	lit.	2.07%	3.45%	0.00%	1.22%	3.23%	4.55%	0.00%
	argilla / lit.	12.35%	9.20%	0.00%	7.32%	6.44%	0.00%	0.00%
	arg. + lit. + calc.	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
ACQUA	assente	98.97%	96.55%	100.00%	96.34%	100.00%	100.00%	85.71%
	umidità	0.00%	0.00%	0.00%	2.44%	0.00%	0.00%	0.00%
	stillicidio	1.03%	3.45%	0.00%	1.22%	0.00%	0.00%	14.29%
JRC	0-2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	2-4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	4-6	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	6-8	100.00%	100.00%	100.00%	97.56%	100.00%	100.00%	100.00%
	8-10	0.00%	0.00%	0.00%	2.44%	0.00%	0.00%	0.00%
	10-12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	12-14	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	14-16	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	16-18	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	18-20	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Tab. 4 Parametri fisico-meccanici dei sistemi di discontinuità rilevati nel cantiere Polvaccio Alto

8. CRITERI DI PROGETTAZIONE E VERIFICA

Le verifiche di sicurezza riportate nei seguenti capitoli saranno effettuate con i metodi degli Stati Limite (Ultimo e di Esercizio), così come definito nelle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) di cui al D.M. 17/01/2018.

Per ogni stato limite deve essere soddisfatta la relazione: $E_d \leq R_d$

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

8.1. AZIONI DI CALCOLO

Stato Limite Ultimo

Il progetto e la verifica delle strutture sono state effettuate in condizioni di Stato Limite Ultimo, con la seguente combinazione di carico:

$$F_d = \gamma_{g1} G_{k1} + \gamma_{g2} G_{k2} + \gamma_P P_k + \gamma_Q \cdot \left[Q_{1k} + \sum_{i=2}^2 (\psi_{0i} Q_{ik}) \right]$$

dove: G_{k1} = valore caratteristico delle azioni permanenti strutturali;
 G_{k2} = valore caratteristico delle azioni permanenti non strutturali
 P_k = valore caratteristico della forza di precompressione;
 Q_{1k} = valore caratteristico dell'azione variabile di base;
 Q_{ik} = valori caratteristici delle azioni variabili tra loro indipendenti;
 $\gamma_{g1} = 1,3$ (1,0 se il suo contributo aumenta la sicurezza);
 $\gamma_{g2} = 1,5$ (0,0 se il suo contributo aumenta la sicurezza);
 $\gamma_P = 0,9$ (1,2 se il suo contributo diminuisce la sicurezza);
 $\gamma_Q = 1,5$ (0 se il suo contributo aumenta la sicurezza);
 ψ_{0i} = coefficiente di combinazione delle azioni variabili.

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_Q	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

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

Tabella dei coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni

Stati Limite di Esercizio

Combinazione rare

$$F_d = G_{k1} + G_{k2} + P_k + Q_{k1} + \sum_{j=2}^{j=n} (\psi_{0j} Q_{kj})$$

Combinazione frequenti

$$F_d = G_{k1} + G_{k2} + P_k + \psi_{11} Q_{k1} + \sum_{j=2}^{j=n} (\psi_{2j} Q_{kj})$$

Combinazione quasi permanenti

$$F_d = G_{k1} + G_{k2} + P_k + \sum_{j=1}^{j=n} (\psi_{2j} Q_{kj})$$

Combinazione sismica

$$F_d = E + G_{k1} + G_{k2} + P_k + \sum_{j=1}^{j=n} (\psi_{2j} Q_{kj})$$

Combinazione eccezionale

$$F_d = E + G_{k1} + G_{k2} + A_d + P_k + \sum_{j=1}^{j=n} (\psi_{2j} Q_{kj})$$

dove:

- E = azione sismica;
- A_d = azione eccezionale di progetto;
- ψ_{0j} = coefficiente atto a definire i valori raro (di breve durata) ma ancora significativo nei riguardi della possibile concomitanza con altre azioni variabili;
- ψ_{1j} = coefficiente atto a definire i valori delle azioni assimilabili ai frattili di ordine 0,95 delle distribuzioni
- ψ_{2j} = coefficiente atto a definire i valori quasi permanenti delle azioni variabili assimilabili ai valori medi delle distribuzioni dei valori istantanei.

I valori dei coefficienti di combinazione (ψ_{ij}) sono riportati nella tabella sottostante:

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

Tabella dei Valori dei coefficienti di combinazione dei carichi variabili

8.2. RESISTENZE

I valori dei parametri geotecnici di resistenza saranno determinati con riferimento al valore caratteristico diviso per il coefficiente parziale sicurezza (γ_M), indicati nella successiva tabella (Tabella 6.2.II – D.M. 17/01/2018) e tenendo conto, ove necessario, degli ulteriori coefficienti γ_R specificati dalla Norma per i diversi tipi di opera.

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_Y	1,0	1,0

Tabella dei Valori dei coefficienti di sicurezza parziali dei parametri geotecnici.

Per gli ammassi rocciosi al valore caratteristico di resistenza a taglio τ_R si applica un coefficiente parziale $\gamma_{\tau R}=1.0$ (M1) e $\gamma_{\tau R}=1.25$ (M2), mentre al valore caratteristico della resistenza uni-assiale q_u , anche se le NTC18 non si esprimono, è stato utilizzato il coefficiente parziale dell'EC7 $\gamma_{qu}=1.0$ (M1) e $\gamma_{qu}=1.4$ (M2).

8.3. MODALITÀ DI VERIFICA AGLI STATI LIMITE

Le verifiche in condizioni di Stato Limite Ultimo (SLU) e Stato Limite di Esercizio in presenza di Sisma (SLE-S) saranno effettuate secondo l'approccio 2 – Combinazione 2 (§ 6.5.3.1.1 – D.M. 17/01/2018), utilizzando:

- i coefficienti di amplificazione dei carichi ($G_1=1,0$; $G_2=1,3$; $Q_i=1,3$) riportati nella colonna A2 della corrispondente tabella;
- i coefficienti riduttivi delle resistenze dei materiali riportati nella colonna M2 della corrispondente tabella;
- i coefficienti riduttivi delle resistenze globale del sistema riportati nella colonna R2 della corrispondente tabella (tabella sottostante).

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$

8.4. AZIONI DOVUTE AL SISMA

Vita nominale, classe d'uso e Periodo di riferimento dell'opera

La struttura in progetto rientra nella categoria delle opere ordinarie (tab. 2.4.I – D.M. 17/01/2018), per cui la vita nominale di progetto è:

$V_N \geq 50$ [anni]

Data la destinazione d'uso la struttura può essere classificata in classe d'uso II (par. 2.4.2. D.M. 17/01/2018): “Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali”. Il periodo di riferimento (V_R) per le azioni sismiche è dato da: $V_R = V_N \cdot C_U$. dove: C_U =coefficiente d'uso funzione della classe d'uso

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Per il caso in esame: $V_R = 50 \cdot 1,0 = 50$ anni

8.5. CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.				
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica			
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.			
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.			
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.			
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.			
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.			

L'ammasso roccioso è ascritto alla Categoria A della Tabella 3.2.II NTC18.

8.6. CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Dal punto di vista topografico il sito appartiene alla Categoria T4: “Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ ” Tabella 3.2.III NTC18.

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

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

8.7. DEFINIZIONE DELL’AZIONE SISMICA

Le analisi in presenza di azioni sismiche sono effettuate con metodo pseudo statico secondo il principio dell’equilibrio limite, rappresentando l’azione sismica con una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente simico. I valori dei coefficienti sismici orizzontale (k_h) e verticale (k_v) possono essere valutati mediante le seguenti relazioni (§ 7.11.6.2.1 – D.M. 17/01/2018):

$$k_h = \beta_m \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = 0,5 \cdot k_h$$

dove: a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = Accelerazione di gravità;
 β_m = coefficiente di riduzione dell’accelerazione massima attesa al sito (cfr. Tabella 7. 11.I – D.M. 17/01/2018).

Tab. 7.11.I – Coefficienti di riduzione dell’accelerazione massima attesa al sito

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

Latitudine (WGS84)
44.09919463

Longitudine (WGS84)
10.13028462

Latitudine (ED50)
44.100959

Longitudine (ED50)
10.131365

Altitudine (m)
583

Classe dell’edificio
II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti

Vita Nominale Struttura
50

Periodo di Riferimento per l’azione sismica
50

Parametri di pericolosità Sismica

Stato Limite	T_r [anni]	a_g/g []	F_a []	T^*_a [s]
Operatività	30	0.051	2.449	0.240
Danno	50	0.065	2.464	0.252
Salvaguardia Vita	475	0.162	2.394	0.268
Prevenzione Collasso	875	0.206	2.364	0.296

Tabella A: Parametri di pericolosità sismica per il punto di riferimento della Cava Polvaccio n. 46 (Edilus-MS ACCA Software®).

I parametri di pericolosità sismica sono stati definiti attraverso il programma Edilus-MS della ACCA Software®, ove è sufficiente indicare un punto di riferimento medio, che per il caso in esame presenta coordinate WGS84: latitudine 44.099 N 44.09, E 10.135317.

Per il sito in esame si ha:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove:

a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido;
 S = coefficiente che comprende l’effetto dell’amplificazione stratigrafica (S_S) e topografica (S_T),

- a_g = 0,162·g – per un sisma con periodo di ritorno di 475 anni, corrispondente allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV);
- S_S = 1,00 - coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_S) per suolo di tipo A “Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi” (Tabella 3.2.V – D.M. 17/01/2018);
- S_T = 1,40 - coefficiente di amplificazione topografica (S_T) per “pendii con inclinazione $i \geq 30^\circ$ - in corrispondenza della sommità del pendio” (Tabella 3.2.VI – D.M. 17/01/2018);

da cui: $a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 0,162 \cdot g \cdot 1,00 \cdot 1,4 = 0,2268 \cdot g$

con corrispondenti valori dei coefficienti sismici orizzontale (k_h) e verticale (k_v), pari a:

$$k_h = \beta_m \frac{a_{max}}{g} = 0,30 \frac{0,2268g}{g} = 0,06804$$

$$k_v = 0,5 \cdot k_h = 0,5 \cdot 0,06804 = 0,03402$$

9. CLASSIFICAZIONE DELL’AMMASSO ROCCIOSO

In questo paragrafo si procede alla caratterizzazione dell’ammasso secondo il metodo di Bieniawski (1989) ed il GSI (Geological strenght - Index-Hoek&Brown, 2002), sulla base dei dati geostrutturali rilevati durante le campagne d’indagine.

Si ricorda che gli stendimenti e le stazioni puntuali di misura sono stati eseguiti su fronti campione individuati precedentemente e rappresentati le condizioni medie geostrutturali del singolo cantiere, in coerenza con quanto riportato nella letteratura specifica.

9.1. CLASSIFICAZIONE DI BENIAWSKY (INDICE RMR,1989)

Il metodo consiste nell’assegnare un valore (indice RMR) risultante dalla sommatoria di cinque indici valutati in relazione alle caratteristiche dell’ammasso roccioso, Tab. 5, e delle discontinuità che lo caratterizzano e riferite al peso statistico di ogni sistema, corretto in funzione della combinazione tra orientazione esistente dei fronti principali e dei vari sistemi di discontinuità. La sommatoria fornisce un indice che viene raffrontato a cinque classi di qualità dell’ammasso (Tab. 6 e 7).

	PARAMETRO	Valori riscontrati	INDICE RMR	Note
1	RESISTENZA ROCCIA	1000÷2500 Kg/cmq	9	Valore assunto 100MPa
2	RQD	90-100%	20	
3	SPAZIATURE GIUNTI	0.6–2m	Vedi Tab. 3-4	Il range è riferito ai valori di spaziatura dei sistemi persistenti
4	CONDIZIONE DEI GIUNTI		Vedi Tab. 3-4	Il range è riferito ai valori dei sistemi persistenti
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Assente	Vedi Tab. 3-4	
		Totale somma voci 3-4-5	50	Risultato elaborazione Tab. 4
	BRMR	Totale	79	
	Corr. Orient. Giunti		-9	Risultato elaborazione Tab. 4°
	RMR	Totale	70	

Tab. 53: Valore di BRMR e RMR: assegnazione dei parametri di Bieniawski, 1989.

Il valore di BMR = 79 permette di classificare l’ammasso roccioso in classe II “buona”; che nonostante la correzione subita di 9 punti rimane sempre nella stessa classe di appartenenza.

Stima dei parametri caratteristici dell’ammasso con le espressioni fornite da Bieniawski:

PARAMETRI			CAMPO VALORI						
1	Resistenza roccia	Carico di punta	>100 Kg/cmq	40-100 Kg/cmq	20-40 Kg/cmq	10-20 Kg/cmq	non applicabile		
		Compressione uniassiale	>2500 Kg/cmq	>1000-2500 Kg/cmq	500-1000 Kg/cmq	250-500 Kg/cmq	50-250 Kg/cmq	10-50 Kg/cmq	>10 Kg/cmq
	INDICE		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
	INDICE		20	17	13	8	3		
3	SPAZIATURA		>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200mm	<60 mm		
	INDICE		20	15	10	8	5		
4	CONDIZIONE GIUNTI (Valore valutato in base alla sez. E)		Superfici molto scabre non continue. Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura <1 mm Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1mm Pareti roccia alterata	Superf. Lisce o laminate o riempimento <5mm o apertura 1-5 mm Giunti continui	intramezzati spessore tenero> 5 mm o giunti aperti > 5 mm Giunti continui		
	INDICE		30	25	20	10	0		
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10 m lunghezza tunnel	Assente	<10	10-25 litri/min	25-125 litri/min	>125 litri/min		
		Rapp.: tra Pressione acqua nei giunti su sol. Nat. In situ	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	<0.5		
		Condizioni generali	Completo. Asciutto	Debol. Umido	Solo umidità	Acqua in debole pressione	Severi problemi idraulici		
	INDICE		15	10	7	4	0		

N = Σ ni	0-21	21-40	41-60	61-80	81-100
CLASSE	V	IV	III	II	I
QUALITÀ AMMASSO	molto scadente	scadente	discreta	buona	ottima
c Kg/cmq	>1	1.0-2.0	2.0-3.0	3.0-4.0	>4.0
φ	<15°	15°-25°	25°-35°	35°-45°	>45°
GIUDIZIO SULLE DIFFICOLTÀ' DELLO SCAVO	nessuna difficoltà	può essere scavato facilmente frammentazione notevole	discrete difficoltà	si cava con difficoltà frammenti di notevoli dimensioni	notevoli difficoltà di scavo
T / L	30 min / 1 m	10 ore / 2,5 m	7 giorni / 5 m	1 anno / 10 m	20 anni / 15 m

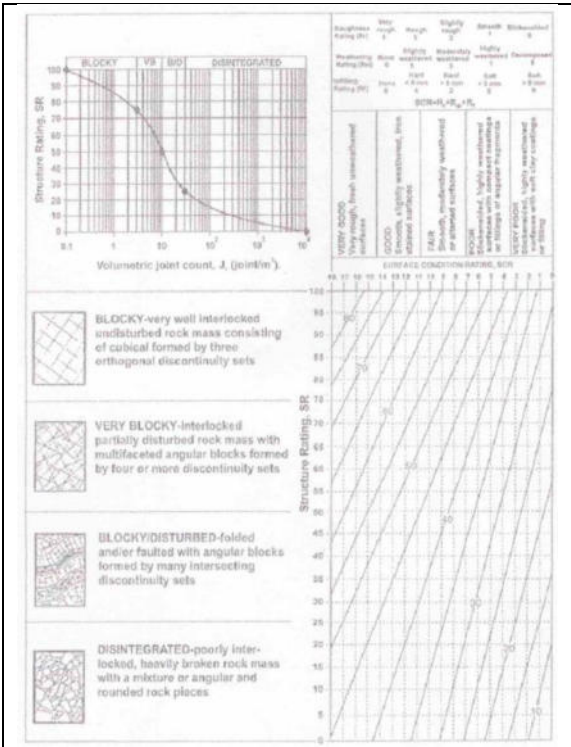
Tab. 6: Parametri di classificazione degli ammassi rocciosi (After Bienawski, 1989).

Tab. 7 – VALUTAZIONE PARAMETRI DI BENIAWSKI PESATI CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA’					
FAMIGLIA	PARAMETRI	DESCRIZION	VALORE	PESO SISTEMI	VALORE
	Persistenza	10-20 m	1	0.123	0.123
	Apertura	1-5 mm	1	0.123	0.123
K1	JRC	6-8	3	0.123	0.369
	Riempimen	assente	6	0.123	0.738
	Alterazion	assente	6	0.123	0.738
	H2O	assente	15	0.123	1.845
	Spaziatura	>2.0 m	20	0.123	2.460
				Totale Pesato	6.396
	Persistenz	10-20 m	1	0.175	0.175
	Apertura	0,1-1 mm	4	0.175	0.700
K6	JRC	6-8	3	0.175	0.525
	Riempimen	assente	6	0.175	1.050
	Alterazion	assente	6	0.175	1.050
	H2O	assente	15	0.175	2.625
	Spaziatura	0.90-1.6 m	15	0.175	2.625
				Totale Pesato	8,75
	Persistenz	10-20 m	1	0.287	0.287
	Apertura	0,1-1 mm	4	0.287	1.148
K2	JRC	6-8	3	0.287	0.861
	Riempimen	assente	6	0.287	1.722
	Alterazion	assente	6	0.287	1.722
	H2O	assente	15	0.287	4.305
	Spaziatura	>2.0 m	120	0.287	5.74
				Totale Pesato	15.7856
	Persistenza	10-20 m	1	0.316	0.316
	Apertura	0,1-1 mm	4	0.316	1.264
K3	JRC	6-8	3	0.316	0.948
	Riempimento	assente	6	0.316	1.896
	Alterazione	assente	6	0.316	1.896
	H2O	assente	15	0.316	4.740
	Spaziatura	0.66-0.94 m	14	0.316	4.424
				Totale Pesato	15.484
	Persistenza	3-10 m	2	0.07	0.140
	Apertura	1-5 mm	1	0.07	0.070
K4//SI	JRC	6-8	3	0.07	0.210
	Riempimento	assente	6	0.07	0.420
	Alterazione	assente	6	0.07	0.420
	H2O	assente	15	0.07	1.050
	Spaziatura	>20 m	20	0.07	1.400
				Totale Pesato	3.710
Rating Totale Pesato		50.25			

Parametro	Valori caratteristici	Valori di calcolo
Coesione	c = 5 x RMR = 350 kPa	c _d = c/1,25 = 280 kPa
Angolo di attrito	φ = 0.5 x RMR + 5° = 40°	φ _d = φ / 1,25 = 32°
Modulo Elastico	E = 2 x RMR - 100 = 40.0 GPa	E _d = E / 1,25 = 32 GPa

9.2. CLASSIFICAZIONE DI HOEK-KAISERBAEDN (INDICE GSI 1995-2002)

Questa classificazione fornisce un sistema per valutare la riduzione della resistenza dell’ammasso in funzione delle differenti condizioni geologiche in cui si trova lo stesso. Allo scopo è stata utilizzata la tabella modificata da Sonmez-Ulusay (1999), Tab. 8 e 8A, che permettono di dare un valore numerico ai parametri “condizione strutturale” (SR) e “condizione delle discontinuità” (SCR), in maniera meno soggettiva rispetto alla semplice descrizione basata sulle precedenti tabelle. La stima del parametro SR è basata sul numero di discontinuità per mc di roccia, mentre l’indice SCR parte dalla stessa base relativa alla valutazione delle condizioni delle discontinuità per la stima dell’indice RMR di Bieniawski.



Tab. 8: Tabella modificata da Sonmez-Ulusay, schema per la determinazione del valore GSI.

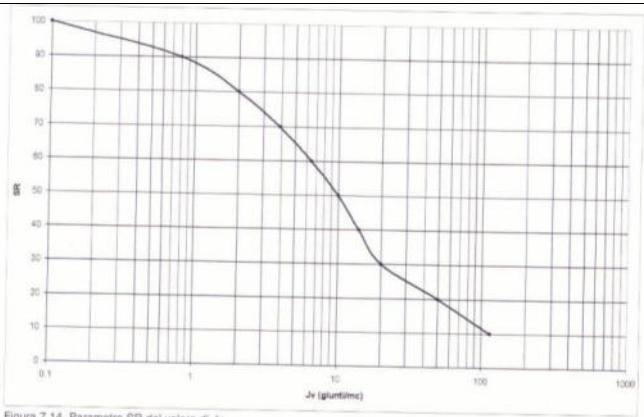


Figura 7.14. Parametro SR dal valore di Jv

relativo alle condizioni delle discontinuità SCR, ottenuto dalla somma di tre coefficienti parziali:

SCR = Rr + Rw + Rf

secondo la seguente attribuzione:

Parametro Rr: rugosità dei giunti:

MOLTO RUGOSI	RUGOSI	PIANO	LISCI	LEVIGATI
6	5	3	1	0

Parametro Rw: alterazione dei giunti:

ASSENTE	LEGGERMENTE ALTERATI	MEDIANENTE ALTERATI	MOLTO ALTERATI	DECOMPOSTI
6	5	3	1	0

Parametro Rf: Riempimento dei giunti:

ASSENTE	COMPATTO < 5 mm	COMPATTO > 5 mm	TENERO < 5 mm	TENERO > 5 mm
6	4	2	2	0

Tab. 6a					
FAMIGLIA	PESO SIST.	Rr	Rw	Rf	Valore pesato
K1	0,123	3	6	6	1,845
Kc	0,175	5	6	6	2,625
K2	0,287	3	6	6	4,305
K3	0,316	3	6	6	4,74
K6	0,07	3	6	6	1,05
				Totale	14,565

Tab. 8A: Tabella per la determinazione del parametro Sr

La determinazione del parametro SCR avviene sommando i tre coefficienti riportati:

SCR= Rr+Rw+Rf

dove:

Rr= rugosità giunti

Rw= alterazione giunti

Rf: riempimento giunti

formula che permette di ottenere un valore pari a 14, Tab. 9

Inserendo tali valori all’interno della Tab. 6 si è stimato un range di GSI compreso tra 65-75.

La scelta di un range al posto di un valore univoco è consigliata dagli stessi autori; nelle valutazioni seguenti sarà considerato comunque il valore minimo del range pari a 65. Si ricorda inoltre che una stima del valore di GSI si può ottenere anche dal valore di BRMR, con la seguente espressione:

GSI = BRMR₈₉ – 5 = 79 – 5 = 74

che fornisce un valore di GSI = 74, valore leggermente sovrastimato al valore minimo determinato per via diretta con le tabelle degli autori

Tab. 9 - STIMA SCR (surface condition rating)					
FAMIGLIA	PESO SIST.	Rr	Rw	Rf	Valore pesato
K1	0,123	3	6	6	1,845
Kc	0,175	5	6	6	2,625
K2	0,287	3	6	6	4,305
K3	0,316	3	6	6	4,74
K6	0,07	3	6	6	1,05
				Totale	14,565

9.3. CARATTERISTICHE DELL'AMMASSO

Per la definizione della legge di comportamento dell'ammasso roccioso del cantiere si fa riferimento al criterio di rottura di HOEK-BROWN. A partire dall'involuppo di resistenza curvilineo (piano σ - τ) è possibile definire, un angolo d'attrito interno ed una coesione equivalenti, rappresentativi di un ipotetico involucpo di Mohr-Coulomb, ottenuto con una retta tangente all'involuppo curvilineo.

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

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

- valore di σ_{ci} (sigci) resistenza a compressione uniassiale della roccia intatta: 100 MPa;
- valore di **GSI** (Geological Strenght Index, prima definito); si assumerà il valore minimo del range;
- parametro adimensionale "**m_i**" tabellato in funzione del tipo di roccia oggetto di indagine, per il marmo 9±3: valore adoperato 9 in entrambi i casi;
- fattore disturbo "D", posto a 0, poiché lo scavo del materiale è effettuato con filo diamantato e tagliatrice a catena, mezzi che inducono limitatissimo disturbo all'ammasso.

I risultati dell'elaborazione effettuata dal programma con l'inserimento dei dati sono schematizzati nelle seguenti tabelle redatte per ogni cantiere:

Parametro ammasso	Valore caratteristico stimato	Valore di calcolo
Resistenza a compressione σ_c	14,20 MPa	$\sigma_{cd} = \sigma_c / 1,6 = 8,88 \text{ MPa}$
Resistenza a trazione σ_{tm}	-0,79 MPa	$\sigma_{tm,d} = \sigma_{tm} / 1,6 = 0,469 \text{ MPa}$
Modulo di deformazione E	23713.7 MPa	$E_d = E / 1.25 = 18970,96 \text{ MPa}$

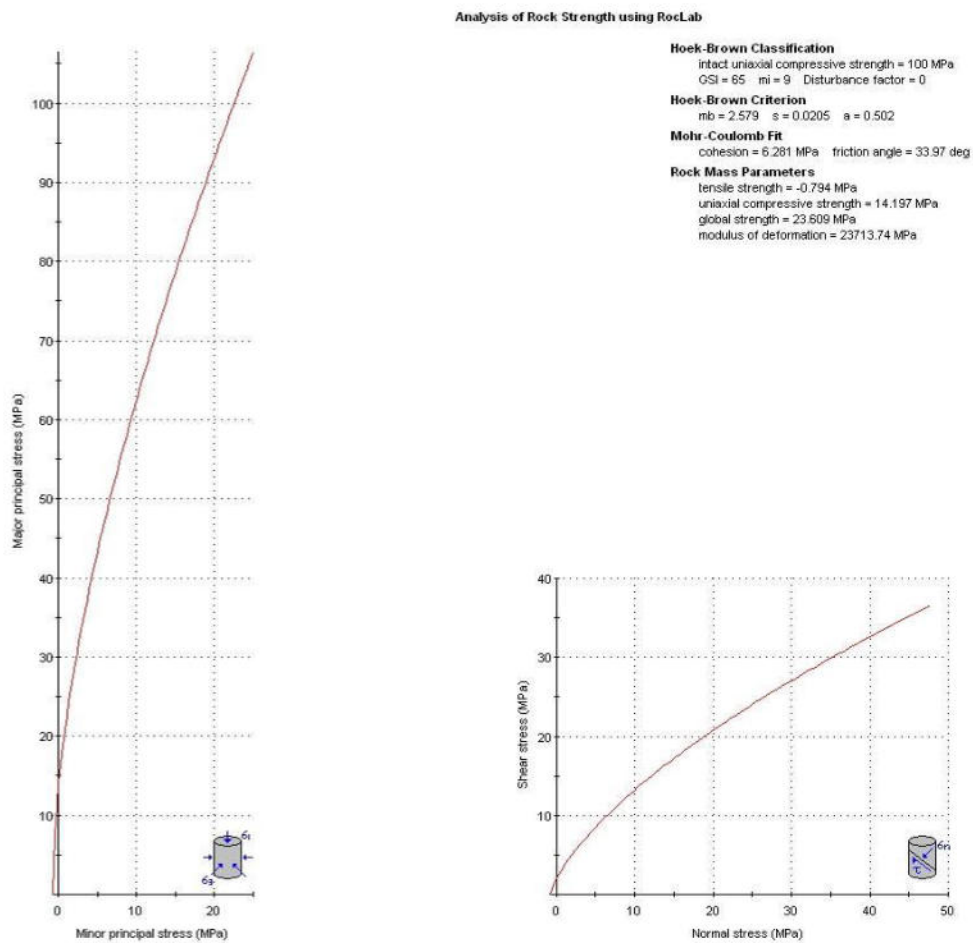


Fig. 25: Parametri di resistenza dell'ammasso ricavati con il programma ROCKLAB 1.0.

9.4. RESISTENZA AL TAGLIO DELLE DISCONTINUITÀ

Attraverso l’espressione di Barton-Bandis $\tau = \sigma_n \tan \phi_p$, si è calcolata la resistenza della discontinuità alla rottura (τ) per ogni famiglia presente nei vari cantieri di lavoro in cui è stato suddiviso il sito valutando il ϕ_p (angolo di picco alla rottura), con un ϕ_r (angolo residuo) pari a 31°:

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

dove:

- JRC (Joint Roughness Coefficient) è il valore di rugosità a piccola scala della discontinuità, variabile da un minimo di 6 ad un massimo di 8 (valori cautelativi riscontrati in loco);
- JCS (Joint Wall Compressive Strenght) è stato desunto dai dati bibliografici disponibili e da altri rilevati eseguiti dagli scriventi in loco. Presenta valori variabili da un minimo di 75 ad un massimo di 90MPa;
- i_o rappresenta l’angolo di ondulazione a grande scala della discontinuità (parametro “scabrezza”), che si trascura ai fini della sicurezza perché di difficile determinazione;
- per il valore di σ_n si è assunto il carico litostatico unitario per la roccia in esame di 2.7 ton/mq (27kN/mc).

Per la definizione dei parametri da utilizzare nelle verifiche, si ricorda che l’inviluppo di resistenza, costruito al variare della tensione normale agente sul piano di discontinuità (legge di Barton-Bandis), è di tipo curvilineo (criterio di rottura di Barton-Choubey), con curvatura che tende all’infinito per valori elevati della tensione normale σ_n .

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

Per ogni cantiere sono stati derivati partendo dall’espressione di Barton-Bandis i valori dei parametri geotecnici utilizzati per le successive valutazioni.

In particolare il foglio di calcolo utilizzato permette di stimare il valore massimo e minimo dei parametri geotecnici di picco. Tale valore è funzione della variabilità di alcuni parametri tipici della discontinuità (JRC e JCS) e dello stato tensionale (supposto unicamente litostatico) in cui si sta operando.

Caratterizzazione del giunto Sistemi K1a, K2a, K1b, K2b, Kc,, K3, K5 e K6						
secondo il criterio di rottura curvilineo di Barton-Choubey						
Dati d'ingresso			Min	Max		
Angolo di attrito di base			31,0	31,0	[°]	
Joint Roughness Coefficient			6,0	8,0	[1]	
Joint Compressive Strenght			75,0	90,0	[MPa]	
Peso di volume ammasso roccioso			27,0		[kN/m³]	
Campo di applicabilità criterio Barton-Choubey		$\sigma_n \text{ min}$	0,0	0,0	MPa	
		$\sigma_n \text{ max}$	75,0	90,0	MPa	
Stato tensionale previsto			Coesione [kPa]		Angolo di attrito	
	[m]	[MPa]	min	max	min	max
prof. min	10,00	0,270	25,1	41,7	42,9	47,4
prof. max	60,00	1,620	129,3	196,2	38,3	41,3

Stato tensionale previsto			Parametro	Valori caratteristici	Valori di calcolo
prof. min	10.0 m	0.270 MPa	Coesione	c = 25.1 kPa	cd = c/1,25 = 20 kPa
			Angolo di attrito	$\varphi = 42.9^\circ$	$\varphi_d = \varphi / 1,25 = 36^\circ$
Prof. max	60.0 m	2.70 MPa	Coesione	c = 129.3 kPa	cd = c/1,25 = 103.4 kPa
			Angolo di attrito	$\varphi = 38^\circ$	$\varphi_d = \varphi / 1,25 = 32^\circ$

10. ANALISI E VERIFICA DEI FRONTI DI CAVA

Al momento la coltivazione dell’unità estrattiva n° 46 Polvaccio è svolta all’interno del solo cantiere Polvaccio Alto; di cui si è provveduto a definirne le caratteristiche strutturali generali e le caratteristiche di resistenza, sia dell’ammasso che delle discontinuità. Nella trattazione statistica dei dati geostretturali rilevati, gli stessi sono stati trattati a livello di sottosistema (K1a, K1b ed ecc) così da poter disporre per la loro elaborazione di un numero adeguato di dati, mentre nell’analisi di stabilità di tipo analitico previsionale i cinematismi sono stati affrontati combinando i dati geostretturali a livello di sottogruppo K1a1, K1a2, K1b1, K1be, K2a1, K2a2, K2b1 e K2b2.

Per le verifiche analitiche sono stati utilizzati i piani rappresentativi dei sistemi riconosciuti.

Mentre nell’ammasso produttivo è possibile, per la condizione strutturale, definire volumetrie isolate dai sistemi di discontinuità ivi riconosciuti e verificarne la staticità con le varie metodologie disponibili; questa discretizzazione non è fattibile per le aree cataclastiche visti i valori di spaziatura decimetrico-centimetrici e la presenza di sistemi di discontinuità a random. Per queste aree, che potranno costituire porzioni di fronti finali

e/o fronti in coltivazione durante lo sviluppo della cava, si prevede oltre alla costante osservazione, l’eventuale disagggio di limitate porzioni o la posa in opera, ove necessario, di reti di contenimento.

Va sottolineato che condizione necessaria affinché si producano potenziali cinematismi è che almeno due discontinuità delimitanti la porzione rocciosa intersechino sia alzata che pedata dei fronti e che il valore dell’inclinazione di tali discontinuità sia superiore all’angolo di attrito residuo della discontinuità stessa.

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

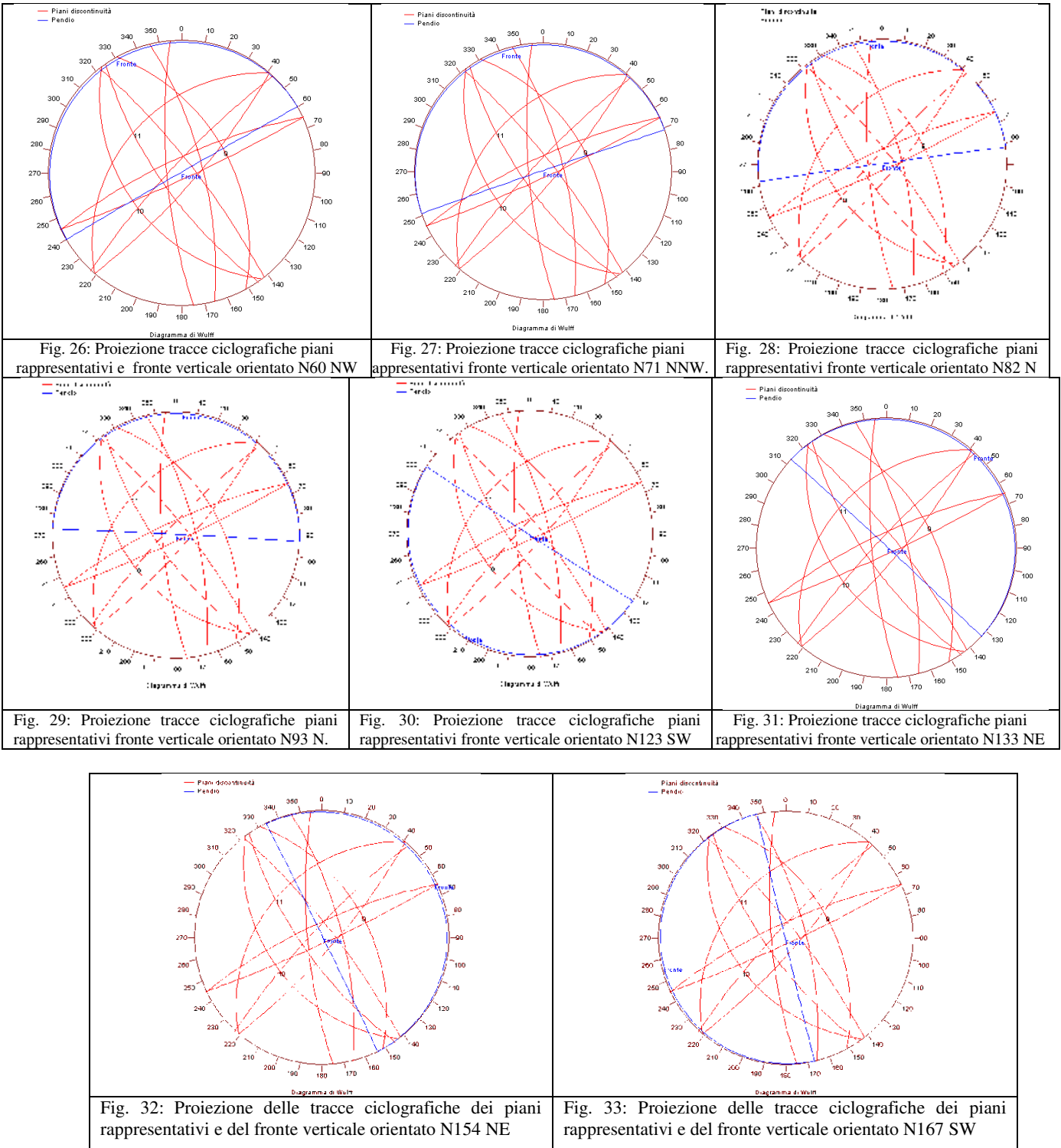
- mancanza di continuità laterale della massa rocciosa;
- persistenza totale dei piani che isolano la massa, escludendo la presenza di ponti di roccia;
- dimensioni della volumetria in studio compatibile con le dimensioni dei fronti.

Si ricorda che una costante osservazione da parte del personale dei fronti prima dell’esecuzione dei tagli al monte, fa sì che vengano messi in luce potenziali situazioni a rischio, così da intervenire disaggiando o stabilizzando l’eventuale massa rocciosa.

Il fatto che le cave costituiscono dei fronti di lavoro in continua evoluzione permette di intervenire ogni qualvolta si presenti una situazione di potenziale instabilità, disaggiandola o consolidandola con il progredire della coltivazione.

Sulla base dei dati raccolti e successivamente elaborati, sono stati costruiti i diagrammi di Markland di Fig. 26-33. A tal fine sono stati proiettati i cerchi massimi rappresentativi dei vari sistemi di discontinuità (piano rappresentativo) con le tracce dei fronti di scavo; questa proiezione permette di evidenziare quali potenziali cinematismi potrebbero innescarsi.

CANTIERE POLVACCIO ALTO
Fronti Attuali – DIAGRAMMA DI MARKLAND



La metodologia di lavoro prevede a questo punto una primaria analisi dei cinematismi potenziali derivanti dalle combinazioni tra i piani medi proiettati ed i fronti in studio.

La prima analisi considera il verificarsi della possibilità di cinematismi di tipo planare (caso bidimensionale), tramite il programma PLANE FAILURE ANALYSIS del “DEPARTMENT OF MINING & GEOLOGICAL ENGINEERING – UNIVERSITY OF ALASKA”, il cui criterio adottato per l’analisi è quello dell’equilibrio limite, criterio di rottura di Mohr-Coulomb. La base teorica è relativa alle formule ricavate da HOEK & BRAY (1981) per cinematismi di origine planare (caso bidimensionale). Nel caso di cinematismo planare il programma, a favore della sicurezza, ipotizza sempre che la direzione di scivolamento e la direzione azimutale della discontinuità siano perfettamente perpendicolari, non tenendo conto del contributo dovuto alla differenza tra le due, che nel caso risulti inferiore a 20° attiva il cinematismo stesso.

In seguito si è analizzato il cinematismo tridimensionale di cunei rocciosi potenzialmente instabili, generati dalla combinazione di due e/o tre sistemi di discontinuità oltre al fronte oggetto di verifica. Questa viene compiuta in automatico dal programma B-ROCK 2.2 utilizzando la teoria dei blocchi rimovibili di Goodman&Shi.

La teoria analizza, da un punto di vista geometrico, la possibilità della combinazione di più piani (le discontinuità) che isolino su di un dato fronte volumi geometricamente rimovibili. Nel caso si riconoscano geometrie potenzialmente tali il programma in automatico effettua una stima analitica dell’FS in condizioni di volume con le dimensioni massime possibili per quella combinazione geometrica. Condizione che poi va verificata in loco al fine di verificare se può prodursi in relazione all’ampiezza del fronte.

La base teorica relativa ai programmi utilizzati per le verifiche numeriche è relativa alle formule ricavate da HOEK & BRAY (1981) sia per cinematismi di origine planare (caso bidimensionale) sia per quelli tridimensionali (cunei rocciosi); i parametri geotecnici utilizzati sono quelli derivanti dallo studio geomeccanico effettuato cantiere per cantiere, ridotti applicando i coefficienti previsti dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) di cui al D.M. 17/01/2018.

Il programma B-ROCK 2.2 in particolare combina i sistemi di frattura a due a due con il fronte in analisi per poi passare ad inserire un terzo sistema.

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

Le verifiche sono state condotte in condizioni sismiche, applicando quanto previsto al paragrafo 7 delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) di cui al D.M. 17/01/2018.

L’analisi si riferisce ai fronti principali attualmente presenti nel cantiere. Al fine di schematizzare i risultati, sono state redatte, per ogni fronte analizzato, delle tabelle riassuntive in cui sono riportati:

- l’altezza della bancata;
- il tipo di cinematismo;
- i sistemi coinvolti;
- il peso o volume della massa in gioco;
- il valore del coefficiente di sicurezza;

Poiché il programma B-ROCK prende come notazione numerica i vari piani in serie (esempio il sottogruppo K_{1a1} è indicato come 1, mentre il sistema K_c come 9, e via di seguito) all’inizio di ogni cantiere oggetto di verifica sarà indicato il piano nelle sue connotazioni.

Nell’analisi sono stati coinvolti tutti i sistemi presenti nel cantiere esaminato, indipendentemente dal fatto che il sistema sia di tipo principale K1 e K2 (dove sono stati coinvolti i loro sottogruppi: K_{1a1} , K_{1a2} , K_{2b1} , K_{1b2} , K_{2a1} , K_{2a2} , K_{2b1} , e K_{2b2}) o secondario, per esempio i sistemi K_c , K3, K5 e K6, che hanno carattere minore sia come peso percentuale del sistema sia come caratteristiche di persistenza e spaziatura.

Di seguito si descriveranno i principali cinematismi emersi durante l’analisi effettuata, distinti cantiere per cantiere e fronte per fronte.

Affinché si abbia potenziale instabilità per ribaltamento su di un fronte devono essere presenti le seguenti condizioni, codificate da Goodman&Bray (1976):

- a) Direzione del fronte e direzione degli strati e/o delle discontinuità alla base non devono differire per più di 20° (cono di confidenza totale pari a 40°);
- b) La direzione di immersione degli strati e/o delle discontinuità alla base deve essere opposta a quella del fronte in oggetto;
- c) Lateralmente il fronte deve essere isolato (assenza di continuità laterale del blocco) da altre discontinuità, dal vuoto o da tagli nel caso di fronti di scavo;
- d) La normale al piano di ribaltamento deve avere un valore di inclinazione inferiore alla differenza tra l’inclinazione del fronte e l’angolo di attrito lungo i piani (assunto pari all’angolo di attrito di base/residuo del materiale 31°).

Tradotta in formula, quest’ultima condizione impone che:

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

dove:

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

In particolare queste condizioni, di tipo puramente geometrico, permettono di compiere un test grafico tipo Markland, Fig. 9-16, dove è definita un’area, all’interno dello stereogramma, in cui ricadono i poli dei piani che potenzialmente potrebbero di innescare l’instabilità per ribaltamento.

Ulteriore condizione che facilita il ribaltamento del blocco è la presenza di un sistema di discontinuità od un taglio che, a basso angolo, isoli la base del blocco stesso, permettendogli di ruotare.

L’analisi è stata condotta per tutti i poli dei piani rilevati nello studio strutturale e verrà di seguito descritta andando ad analizzare fronte per fronte. Alla Verifica grafica è seguita una analitica mediante l’applicazione della formula di Timoshenko e Gere (1961)

$$l = 0.868 \sqrt[3]{E_d t^2 / \gamma}$$

dove:

l= altezza massima della bancata stabile
E_d= E/1.25 = a titolo cautelativo si sono considerati il valore di calcolo del modulo elastico dell’ammasso roccioso ricavato per ciascun cantiere utilizzando il programma Rocklab. 1.0, anziché quello determinato mediante la classificazione di Beniaowski.
t= spessore solido roccia soggetto a ribaltamento, si è considerato il valore minimo di spaziatura del sistema.
γ= peso di volume della roccia= 2,7 t/mc

Cantiere Polvaccio Alto

Famiglia B-Rock	Piano discontinuità Imm/incl
<u>1</u>	K _{1a1} (227/74
<u>2</u>	K _{1a2} (50/72)
<u>3</u>	K _{1b1} (266/78)
<u>4</u>	K _{1b2} (76/73
<u>5</u>	K _{2a1} (335/78
<u>6</u>	K _{2a2} (154/83)
<u>7</u>	K _{2b1} (312/71
<u>8</u>	K _{2b2} (131/80)
<u>9</u>	K _c (60/49)
<u>10</u>	K ₃ (233/44)
<u>11</u>	K ₆ (310/41)

Di seguito è riportata la discussione delle analisi effettuate:

10.1. VERIFICHE FRONTI

10.1.1. FRONTE ORIENTATO N60, VERTICALE ESPOSTO A NW:

CINEMATISMI PLANARI :

- Potenziale scivolamento planare lungo discontinuità appartenenti ai sistemi *K_{2a1}*, *K_{2b1}* oppure *K₆*
I risultati analitici sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico planare allegato:

Altezza bancata	Sistemi	FS sisma	Vol. mc	Note
10 m	<i>K_{2a1}</i>	0.645	28.9	Far coincidere preventivamente fronte e discontinuità evita il manifestarsi dell’evento.
10 m	<i>K_{2b1}</i>	0.939	19.1	Far coincidere preventivamente fronte e discontinuità evita il manifestarsi dell’evento
10 m	<i>K₆</i>	0.732	167.9	Far coincidere preventivamente fronte e discontinuità evita il manifestarsi dell’evento.

CINEMATISMI TRIDIMENSIONALI

- Lo specchio seguente mostra le potenziali combinazioni che potrebbero emergere sul fronte in oggetto con i relativi coefficienti di sicurezza. I risultati analitici sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico tridimensionali allegato:

Fronte	Blocco	Combinazione Piani	Volume mc	FS con sisma	Note
N60 NW	1	K1a1/K1a2	795,7749	53,89	
h= 10 m	4	K1a1/K2a1	K63,3229	0,92	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od in alternativa l'abbattimento
	6	K1a1/K2b1	1,2224	0,31	
	10	K1a1/K6	649,574	1,42	
	K6	K1a2/K1b1	48,9564	3,59	
	13	K1a2/K2a1	76,3267	0,35	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od in alternativa l'abbattimento
	15	K1a2/K2b1	21,2969	0,75	
	19	K1a2/K6	840,2688	2,54	
	20	K1b1/K1b2	322,6783	47,89	
	21	K1b1/K2a1	101,8296	0,44	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od in alternativa l'abbattimento
	23	K1b1/K2b1	3,3672	0,4	
	25	K1b1/Kc	438,0328	12,28	
	27	K1b1/K6	835,4424	4,36	
	28	K1b2/K2a1	63,K624	0,34	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od in alternativa l'abbattimento
	30	K1b2/K2b1	38,2584	1,72	
	32	K1b2/Kc	152,5772	16,31	
	34	K1b2/K6	1062,7531	4,34	
	36	K2a1/K2b1	97,5966	0,31	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od in alternativa l'abbattimento
	37	K2a1/K2b2	37,7415	0,3	
	38	K2a1/Kc	37,7329	0,39	

	39	K2a1/K3	180,0317	2,18	
	40	K2a1/K6	445,7609	1,28	
	45	K2a2/K6	74,9563	1,42	
	46	K2b1/K2b2	582,8886	70,6	
	47	K2b1/Kc	89,8243	1,93	
	50	K2b2/Kc	2,1237	1,51	
	54	Kc/K6	1212,0717	3,92	
	55	K3/K6	400,4697	1,51	
	56	K1a1/K1a2+K1b1	83,9152	49,68	
	57	K1a1/K1a2+K1b2	332,9102	52,56	
	61	K1a1/K1a2+K2b2	206,2124	52,29	
	138	K1a1/K6+K1b1	617,127	1,42	
	139	K1a1/K6+K1b2	650,3705	1,42	
	141	K1a1/K6+K2a2	422,5369	1,4	
	144	K1a1/K6+Kc	661,8078	1,42	
	145	K1a1/K6+K3	662,5283	1,42	
	218	K1a2/K6+K1a1	857,9208	2,53	
	220	K1a2/K6+K1b2	749,9917	2,5	
	222	K1a2/K6+K2a2	477,6665	2,49	
	225	K1a2/K6+Kc	846,8054	2,53	
	226	K1a2/K6+K3	859,5779	2,53	
	232	K1b1/4+K2b2	122,832	46,7	
	278	K1b1/Kc+K2b2	159,3626	11,99	
	290	K1b1/K6+K1a1	712,0096	4,17	
	292	K1b1/K6+K1b2	816,0325	4,25	
	294	K1b1/K6+K2a2	191,9783	4,24	
	298	K1b1/K6+K3	767,3407	4,3	
	341	K1b2/Kc+K2b2	24,5239	15,79	
	353	K1b2/K6+K1a1	1024,7216	4,28	
	354	K1b2/K6+ K1a2	967,6993	4,19	
	357	K1b2/K6+K2a2	277,5508	4,22	
	361	K1b2/K6+K3	1040,3721	4,3	
	375	K2a1/K2b1+K2a2	97,9364	0,31	Il basso peso statistico del sistema K2a2 e K2a1 rende poco probabile il manifestarsi del cinematismo. Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od in alternativa l'abbattimento
	384	K2a1/K2b2+K2a2	37,8242	0,3	
	393	K2a1/Kc+K2a2	37,8253	0,39	Il basso peso statistico del sistema K2a2 e K2a1 associato a quello del sistema Kc rende poco probabile il manifestarsi del cinematismo. Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od in alternativa l'abbattimento
	402	K2a1/K3+K2a2	181,0031	2,18	
	4K6	K2a1/K6+K2a2	449,14	1,28	
	476	K2b1/Kc+K2b2	88,9377	1,93	
	533	Kc/K6+K1a1	1238,8182	3,9	
	534	Kc/K6+K1a2	1226,0985	3,88	
	538	Kc/K6+K2a2	359,7797	3,8	
	541	Kc/K6+K3	1237,3462	3,9	

POTENZIALI RIBALTAMENTI

- l’analisi condotta per via grafica (basata esclusivamente sulle caratteristiche geometriche) mostra potenziali ribaltamenti. I risultati ottenuti dall’applicazione della formula di Timoshenko e Gere sono riportati nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico di ribaltamento allegato.

SISTEMA	Ed (Mpa= t/mq)	t (m)	Υ (T/mc)	l (m)
K _{2a}	18970.96= 1897096	0.21	2.7	27
K _{2b}	18970.96= 1897096	0.64	2.7	57

10.1.2. FRONTE ORIENTATO N71, VERTICALE ESPOSTO A N (FIG. 20):

CINEMATISMI PLANARI:

- Potenziale scivolamento planare lungo discontinuità appartenenti ai sistemi K_{2a1} oppure K_{2b1} .
I risultati analitici sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico planare allegato:

Altezza bancata	Sistemi	FS sisma	Vol. mc	Note
10 m	k _{2a1}	0.645	28.9	Far coincidere preventivamente fronte e discontinuità evita il manifestarsi dell’evento.
10 m	k _{2b1}	0.939	19.1	Far coincidere preventivamente fronte e discontinuità evita il manifestarsi dell’evento

CINEMATISMI TRIDIMENSIONALI

Lo specchio seguente mostra le potenziali combinazioni che potrebbero emergere sul fronte in oggetto, con i relativi coefficienti di sicurezza. I risultati analitici sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico tridimensionale allegato:

Fronte	Blocco	Combinazione Piani	Volume mc	FS con sisma	Note
N70 NNW	1	K1a1/K1a2	793,2071	53,9	
h= 10 m	4	K1a1/K2a1	49,1193	0,35	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	10	K1a1/K6	362,8804	1,43	
	11	K1a2/K1b1	48,1329	3,59	
	13	K1a2/K2a1	83,5477	0,59	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	15	K1a2/K2b1	17,6206	0,75	
	19	K1a2/K6	551,0074	2,54	
	20	K1b1/K1b2	324,4226	47,89	
	21	K1b1/K2a1	58,8683	0,36	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	23	K1b1/K2b1	0,5144	0,44	
	25	K1b1/Kc	458,8673	12,27	
	27	K1b1/KK2a2	547,0045	4,41	
	28	K1b2/K2a1	99,3298	1,1	
	30	K1b2/K2b1	37,1499	1,72	

	32	K1b2/Kc	171,6673	16,23	
	34	K1b2/K6	776,0595	4,37	
	36	K2a1/K2b1	65,9541	2,36	
	37	K2a1/K2b2	129,7684	5,93	
	38	K2a1/Kc	143,7994	1,25	
	39	K2a1/K3	15,2262	0,37	Il basso peso statistico del sistema K3 rende poco probabile il manifestarsi del cinematismo. Nel caso si manifesti è consigliato procedere al consolidamento od abbattimento
	46	K2b1/K2b2	586,8479	70,57	
	47	K2b1/Kc	107,8059	1,95	
	50	K2b2/Kc	16,146	1,41	
	54	Kc/K6	944,4683	3,94	
	55	K3/K6	146,5918	1,54	
	56	K1a1/K1a2+K1b1	96,1265	50,1	
	57	K1a1/K1a2+K1b2	320,0884	52,57	
	59	K1a1/K1a2+K2a2	150,0179	52,19	
	60	K1a1/K1a2+K2b1	24,5679	49,15	
	61	K1a1/K1a2+K2b2	204,483	52,3	
	138	K1a1/K6+K1b1	329,8593	1,42	
	139	K1a1/K6+K1b2	359,2542	1,43	
	145	K1a1/K6+K3	369,3743	1,43	
	218	K1a2/K6+K1a1	561,5947	2,54	
	220	K1a2/K6+K1b2	444,6426	2,51	
	226	K1a2/K6+K3	563,4185	2,54	
	230	K1b1/K1b2+K2a2	89,0459	46,52	
	232	K1b1/K1b2+K2b2	112,8986	46,67	
	276	K1b1/Kc+K2a2	143,3477	11,93	
	278	K1b1/Kc+K2b2	159,4963	11,94	
	290	K1b1/K6+K1a1	429,633	4,24	
	292	K1b1/K6+K1b2	524,5546	4,3	
	298	K1b1/K6+K3	479,9865	4,36	
	339	K1b2/Kc+K2a2	44,5226	15,76	
	341	K1b2/Kc+K2b2	30,0647	15,33	
	353	K1b2/K6+K1a1	723,1377	4,3	
	354	K1b2/K6+K1a2	658,9308	4,2	
	361	K1b2/K6+K3	740,8013	4,33	
	375	K2a1/K2b1+K2a2	66,2155	2,36	
	384	K2a1/K2b2+K2a2	130,4842	5,93	
	393	K2a1/Kc+K2a2	144,5484	1,25	
	466	K2b1/K2b2+K2a2	145,8465	68,5	
	475	K2b1/Kc+K2a2	72,811	1,92	
	476	K2b1/Kc+K2b2	107,9663	1,94	
	533	Kc/K6+K1a1	963,3945	3,92	
	534	Kc/K6+K1a2	946,3821	3,89	
	541	Kc/K6+K3	961,4749	3,92	

POTENZIALI RIBALTAMENTI (Fig. 28)

- l’analisi condotta per via grafica (basata esclusivamente sulle caratteristiche geometriche) mostra potenziali ribaltamenti. I risultati analitici ottenuti dall’applicazione della formula di Timoshenko e Gere sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico ribaltamento allegato

SISTEMA	Ed (Mpa= t/mq)	t (m)	Y (T/mc)	l (m)
K _{2a}	18970.96= 1897096	0.21	2.7	27
K _{2b}	18970.96= 1897096	0.64	2.7	57

10.1.3. FRONTE ORIENTATO N82, VERTICALE ESPOSTO A N:

CINEMATISMI PLANARI:

- Potenziale scivolamento planare lungo discontinuità appartenente al sistema K_{2a1}.

I risultati analitici sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico planare allegato:

Altezza bancata	Sistemi	FS sisma	Vol. mc	Note
10 m	K _{2a1}	0.645	28.9	Far coincidere preventivamente fronte e discontinuità evita il manifestarsi dell’evento.

CINEMATISMI TRIDIMENSIONALI

Lo specchietto seguente mostra le potenziali combinazioni che potrebbero emergere sul fronte in oggetto, i relativi coefficienti di sicurezza. I risultati analitici sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico tridimensionale allegato:

Fronte	Blocco	Combinazione Piani	Volume mc	FS con sisma	Note
N82 N	1	K1a1/K1a2	790,2405	53,91	
h= 10 m	4	K1a1/K2a1	5,6816	0,37	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	10	K1a1/K6	222,514	1,44	
	11	K1a2/K1b1	47,5326	3,59	
	13	K1a2/K2a1	37,1434	0,6	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	15	K1a2/K2b1	16,5059	0,75	
	19	K1a2/K6	407,6744	2,55	
	20	K1b1/K1b2	326,0979	47,88	
	21	K1b1/K2a1	13,0643	0,37	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	25	K1b1/Kc	481,2398	12,25	
	27	K1b1/K6	404,2718	4,45	
	28	K1b2/K2a1	55,2011	1,13	
	30	K1b2/K2b1	38,3108	1,71	
	31	K1b2/K2b2	0,0096	0,66	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento

	32	K1b2/Kc	192,3645	16,15	
	34	K1b2/K6	635,0021	4,38	
	36	K2a1/K2b1	20,6645	2,49	
	37	K2a1/K2b2	86,4751	6,04	
	38	K2a1/Kc	120,368	1,32	
	43	K2a2/Kc	13,0902	1,06	
	46	K2b1/K2b2	588,8441	70,56	
	47	K2b1/Kc	129,6641	1,95	
	50	K2b2/Kc	36,008	1,39	
	54	Kc/K6	824,1081	3,94	
	55	K3/K6	43,701	1,61	
	56	K1a1/K1a2+K1b1	109,556	50,42	
	59	K1a1/K1a2+K2a2	149,9199	52,21	
	60	K1a1/K1a2+K2b1	39,5611	50,46	
	61	K1a1/K1a2+K2b2	195,6375	52,31	
	138	K1a1/K6+K1b1	191,6248	1,43	
	145	K1a1/K6+K3	225,9021	1,44	
	218	K1a2/K6+K1a1	414,2768	2,54	
	226	K1a2/K6+K3	416,3234	2,55	
	230	K1b1/K1b2+K2a2	78,457	46,49	
	231	K1b1/K1b2+K2b1	41,0779	42,28	
	232	K1b1/K1b2+K2b2	78,6823	46,6	
	276	K1b1/Kc+K2a2	90,425	11,87	
	277	K1b1/Kc+K2b1	135,4329	10,98	
	278	K1b1/Kc+K2b2	197,8737	11,9	
	290	K1b1/K6+K1a1	294,5132	4,3	
	298	K1b1/K6+K3	340,5684	4,4	
	339	K1b2/Kc+K2a2	18,1114	15,07	
	341	K1b2/Kc+K2b2	36,9722	14,37	
	353	K1b2/K6+K1a1	569,9617	4,32	
	354	K1b2/K6+K1a2	498,3746	4,2	
	361	K1b2/K6+K3	589,7402	4,34	
	384	K2a1/K2b2+K2a2	87,2218	6,04	
	393	K2a1/Kc+K2a2	121,3048	1,32	
	466	K2b1/K2b2+K2a2	125,6913	68,43	
	475	K2b1/Kc+K2a2	95,2136	1,93	
	476	K2b1/Kc+K2b2	130,5832	1,95	
	533	Kc/K6+K1a1	837,2969	3,92	
	534	Kc/K6+K1a2	814,812	3,89	
	541	Kc/K6+K3	834,879	3,92	

POTENZIALI RIBALTAMENTI

- l’analisi condotta per via grafica (basata esclusivamente sulle caratteristiche geometriche) mostra potenziali ribaltamenti. I risultati ottenuti dall’applicazione della formula di Timoshenko e Gere sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico ribaltamento allegato:

SISTEMA	Ed (Mpa= t/mq)	t (m)	Y (T/mc)	l (m)
K _{2a}	18970.96= 1897096	0.21	2.7	27
K _{2b}	18970.96= 1897096	0.64	2.7	57

10.1.4. FRONTE ORIENTATO N93, VERTICALE ESPOSTO A N:

CINEMATISMI PLANARI:

- Dall’analisi grafica non si rilevano potenziali scivolamenti planari.

CINEMATISMI TRIDIMENSIONALI

Lo specchietto seguente mostra le potenziali combinazioni che potrebbero emergere sul fronte in oggetto, i relativi coefficienti di sicurezza. I risultati analitici sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico tridimensionale allegato:

Fronte	Blocco	Combinazione Piani	Volume mc	FS con sisma	Note
N93 ENE	1	K1a1/K1a2	786,5205	53,92	
h= 10 m	4	K1a1/K2a1	0,068	0,45	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	10	K1a1/K6	135,5953	1,45	
	11	K1a2/K1b1	47,1503	3,59	
	13	K1a2/K2a1	27,8099	0,6	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	15	K1a2/K2b1	16,4453	0,75	
	18	K1a2/K3	13868,5032	12,94	
	19	K1a2/K6	317,0357	2,55	
	20	K1b1/K1b2	327,8271	47,87	
	21	K1b1/K2a1	4,1131	0,38	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	25	K1b1/Kc	507,2709	12,24	
	27	K1b1/K6	314,0154	4,48	
	28	K1b2/K2a1	47,979	1,13	
	29	K1b2/K2a2	1,0124	0,5	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	30	K1b2/K2b1	40,3616	1,71	
	31	K1b2/K2b2	0,8423	0,53	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	32	K1b2/Kc	216,6665	16,07	
	34	K1b2/K6	546,4748	4,39	
	36	K2a1/K2b1	11,3916	2,56	
	37	K2a1/K2b2	78,4203	6,07	
	38	K2a1/Kc	137,4479	1,35	
	43	K2a2/Kc	38,3557	1,03	
	46	K2b1/K2b2	590,0622	70,56	
	47	K2b1/Kc	156,0169	1,95	

	50	K2b2/Kc	61,1427	1,38	
	54	Kc/K6	759,8828	3,94	
	55	K3/K6	3,5981	1,79	
	59	1/K1a2+K2a2	132,8363	52,22	
	60	K1a1/K1a2+K2b1	57,573	50,96	
	61	K1a1/K1a2+K2b2	174,7915	52,32	
	218	K1a2/K6+K1a1	320,7335	2,55	
	226	K1a2/K6+K3	323,0909	2,55	
	230	K1b1/K1b2+K2a2	45,8932	46,36	
	231	K1b1/K1b2+K2b1	53,6783	43,77	
	232	K1b1/K1b2+K2b2	89,8751	46,51	
	276	K1b1/Kc+K2a2	137,0795	11,8	
	277	K1b1/Kc+K2b1	180,1875	11,27	
	278	K1b1/Kc+K2b2	239,4541	11,86	
	290	K1b1/K6+K1a1	212,4192	4,35	
	298	K1b1/K6+K3	254,4578	4,44	
	353	K1b2/K6+K1a1	469,5284	4,33	
	354	K1b2/K6+K1a2	389,798	4,2	
	355	K1b2/K6+K1b1	472,3534	4,11	
	361	K1b2/K6+K3	491,6883	4,36	
	384	K2a1/K2b2+K2a2	79,3168	6,07	
	393	K2a1/Kc+K2a2	138,8376	1,35	
	466	K2b1/K2b2+K2a2	59,6907	68,31	
	475	K2b1/Kc+K2a2	114,6068	1,93	
	476	K2b1/Kc+K2b2	157,6848	1,95	
	533	Kc/K6+K1a1	767,015	3,92	
	534	Kc/K6+K1a2	736,9527	3,89	
	541	Kc/K6+K3	764,0043	3,92	

POTENZIALI RIBALTAMENTI:

- l’analisi condotta per via grafica (basata esclusivamente sulle caratteristiche geometriche) mostra potenziali ribaltamenti. I risultati ottenuti dall’applicazione della formula di Timoshenko e Gere sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico ribaltamento allegato:

SISTEMA	Ed (Mpa= t/mq)	t (m)	Y (T/mc)	l (m)
K _{1a}	18970.96= 1897096	1.52	2.7	102.0
K _{2a}	18970.96= 1897096	0.21	2.7	27.0
K ₃	18970.96= 1897096	4.77	2.7	218.0

10.1.5. FRONTE ORIENTATO N123, VERTICALE ESPOSTO A SW:

CINEMATISMI PLANARI:

- Potenziale scivolamento planare lungo discontinuità appartenenti ai sistemi K_{1a1} oppure K₃.
I risultati analitici sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico planare allegato:

Altezza bancata	Sistemi	FS sisma	Vol. mc	Note
10 m	K _{1a1}	0.510	41.7	Far coincidere preventivamente fronte e discontinuità evita il manifestarsi dell’evento.
10 m	K ₃	0.648	139.9	Far coincidere preventivamente fronte e discontinuità evita il manifestarsi dell’evento

CINEMATISMI TRIDIMENSIONALI

Lo specchietto seguente mostra le potenziali combinazioni che potrebbero emergere sul fronte in oggetto, con i relativi coefficienti di sicurezza. I risultati analitici sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico tridimensionale allegato:

Fronte	Blocco	Combinazione Piani	Volume mc	FS con sisma	Note
N123 SW h= 10 m	2	K1a1/K1b1	29,2075	0,71	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	3	K1a1/K1b2	206,8074	4,06	
	4	K1a1/K2a1	15,7368	0,47	
	5	K1a1/K2a2	45,1523	0,37	
	6	K1a1/K2b1	27,4027	0,47	
	7	K1a1/K2b2	66,0337	0,66	
	8	K1a1/Kc	1960,7649	8,0	
	9	K1a1/K3	2843,0295	16,03	
	17	K1a2/Kc	245,5098	9,14	
	22	K1b1/K2a2	16,3666	0,48	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	23	K1b1/K2b1	2,3191	0,38	
	24	K1b1/K2b2	40,4804	1,16	
	26	K1b1/K3	618,1253	2,69	
	33	K1b2/K3	1201,3882	3,91	
	39	K2a1/K3	359,3734	1,22	
	40	K2a1/K6	321,3458	4,08	
	41	K2a2/K2b1	24,3825	2,46	
	44	K2a2/K3	466,3969	1,2	
	45	K2a2/K6	619,5095	3,99	
	48	K2b1/K3	451,9723	1,13	
	49	K2b1/K6	5488,5561	12,05	
	51	K2b2/K3	581,2252	1,28	
	53	Kc/K3	4430,1294	6,19	
	55	K3/K6	172,7682	1,35	
	74	K1a1/K1b2+K1a2	198,1974	4,02	
	80	K1a1/K1b2+Kc	184,8125	4,04	
	110	K1a1/K2b2+K1a2	65,414	0,66	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	116	K1a1/K2b2+Kc	64,9582	0,66	

	119	K1a1/Kc+K1a2	1542,644	7,8	
	136	K1a1/K3+K6	327,1811	15,07	
	283	K1b1/K3+K1b2	591,4543	2,66	
	284	K1b1/K3+K2a1	370,4795	2,41	
	289	K1b1/K3+K6	515,373	2,64	
	347	K1b2/K3+K2a1	722,0955	3,74	
	348	K1b2/K3+K2a2	675,1874	3,68	
	349	K1b2/K3+K2b1	811,0413	3,74	
	350	K1b2/K3+K2b2	770,2504	3,67	
	352	K1b2/K3+K6	921,3216	3,82	
	447	K2a2/K3+K2a1	473,9274	1,2	
	451	K2a2/K3+K6	462,7687	1,2	
	456	K2a2/K6+K2a1	650,5612	3,98	
	492	K2b1/K6+K2a1	471,2658	11,19	
	509	K2b2/K3+K1b2	235,9428	1,25	
	510	K2b2/K3+K2a1	546,736	1,25	
	511	K2b2/K3+K2a2	521,3632	1,22	
	512	K2b2/K3+K2b1	591,6138	1,27	
	514	K2b2/K3+K6	592,4976	1,28	
	528	Kc/K3+K2a1	1608,0651	5,93	
	529	Kc/K3+K2a2	1539,5112	5,89	
	530	Kc/K3+K2b1	1820,9187	5,92	
	531	Kc/K3+K2b2	1769,3656	5,89	
	532	Kc/K3+K6	2042,3521	5,99	
	542	K3/K6+K1a1	173,5104	1,35	
	543	K3/K6+K1a2	174,157	1,35	
	550	K3/K6+Kc	167,4988	1,35	

POTENZIALI RIBALTAMENTI

- l’analisi condotta per via grafica (basata esclusivamente sulle caratteristiche geometriche) mostra potenziali ribaltamenti. I risultati ottenuti dall’applicazione della formula di Timoshenko e Gere sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico ribaltamento allegato:

SISTEMA	Ed (Mpa= t/mq)	t (m)	Y (T/mc)	l (m)
K _{1a}	18970.96= 1897096	1.52	2.7	102.0
K _{1b}	18970.96= 1897096	1.51	2.7	101.0
K _c	18970.96= 1897096	1.87	2.7	117.0

10.1.6. FRONTE ORIENTATO N133, VERTICALE ESPOSTO A NE:

CINEMATISMI PLANARI:

- Potenziale scivolamento planare lungo discontinuità appartenenti ai sistemi K_{1a2} oppure K_C .
I risultati analitici sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico planare allegato::

Altezza bancata	Sistemi	FS sisma	Vol. mc	Note
10 m	K _{1a2}	0.836	21.5	Far coincidere preventivamente fronte e discontinuità evita il manifestarsi dell’evento.
10 m	K _c	0.568	112.5	Far coincidere preventivamente fronte e discontinuità evita il manifestarsi dell’evento

CINEMATISMI TRIDIMENSIONALI

Lo specchietto seguente mostra le potenziali combinazioni che potrebbero emergere sul fronte in oggetto, i relativi coefficienti di sicurezza. I risultati analitici sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico tridimensionali allegato:

Fronte	Blocco	Combinazione Piani	Volume mc	FS con sisma	Note
N133 NE	1	K1a1/K1a2	733,8846	54,08	
h= 10 m	11	K1a2/K1b1	61,1226	3,55	
	12	K1a2/K1b2	6,9837	0,0	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo disagggio
	13	K1a2/K2a1	39,3194	0,57	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	14	K1a2/K2a2	20,796	0,28	
	15	K1a2/7	36,466	0,71	
	16	K1a2/K2b2	17,982	0,29	
	18	K1a2/K3	13001,106	12,97	
	19	K1a2/K6	134,7644	2,51	
	20	K1b1/K1b2	338,7929	47,82	
	25	K1b1/Kc	775,8685	12,1	
	27	K1b1/K6	117,7717	4,63	
	28	K1b2/K2a1	56,4821	1,12	
	29	K1b2/K2a2	18,8019	0,46	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	30	K1b2/7	57,3759	1,68	
	31	K1b2/K2b2	15,641	0,47	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	32	K1b2/Kc	474,2982	15,57	
	34	K1b2/K6	361,197	4,41	
	36	K2a1/7	2,8805	2,75	
	37	K2a1/K2b2	72,1246	6,1	
	38	K2a1/Kc	403,5827	1,39	
	42	K2a2/K2b2	3,2472	1,92	
	43	K2a2/Kc	313,777	1,01	

	46	7/K2b2	592,2777	70,54	
	47	7/Kc	430,6628	1,94	
	50	K2b2/Kc	333,5731	1,37	
	54	Kc/K6	832,2367	3,88	
	58	K1a1/K1a2+K2a1	258,2836	51,94	
	59	K1a1/K1a2+K2a2	274,3405	52,22	
	60	K1a1/K1a2+7	277,8628	52,04	
	146	K1a2/K1b1+K1a1	56,5676	3,53	
	153	K1a2/K1b1+K3	61,2734	3,54	
	164	K1a2/K2a1+K1a1	37,9955	0,57	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	171	K1a2/K2a1+K3	39,4033	0,57	
	182	K1a2/7+K1a1	35,1339	0,71	
	189	K1a2/7+K3	36,5404	0,71	
	218	K1a2/K6+K1a1	123,582	2,5	
	226	K1a2/K6+K3	135,284	2,51	
	229	K1b1/K1b2+K2a1	87,2587	44,4	
	230	K1b1/K1b2+K2a2	110,283	46,01	
	231	K1b1/K1b2+7	116,739	45,13	
	275	K1b1/Kc+K2a1	466,175	11,27	
	276	K1b1/Kc+K2a2	505,048	11,61	
	277	K1b1/Kc+7	537,9789	11,45	
	290	K1b1/K6+K1a1	80,3842	4,56	
	298	K1b1/K6+K3	101,9616	4,6	
	353	K1b2/K6+K1a1	246,8765	4,36	
	361	K1b2/K6+K3	305,3668	4,38	
	384	K2a1/K2b2+K2a2	73,3801	6,09	
	466	7/K2b2+K2a2	82,0114	68,01	
	533	Kc/K6+K1a1	746,3226	3,84	
	534	Kc/K6+K1a2	531,8448	3,77	
	541	Kc/K6+K3	732,8134	3,85	

POTENZIALI RIBALTAMENTI

- l’analisi condotta per via grafica (basata esclusivamente sulle caratteristiche geometriche) mostra potenziali ribaltamenti. I risultati ottenuti dall’applicazione della formula di Timoshenko e Gere sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico ribaltamento allegato:

SISTEMA	Ed (Mpa= t/mq)	t (m)	Y (T/mc)	l (m)
K _{1a}	18970.96= 1897096	1.52	2.7	102.0
K _{1b}	18970.96= 1897096	1.51	2.7	101.0
K ₃	18970.96= 1897096	4.77	2.7	218.0.0

10.1.7. FRONTE ORIENTATO N154, VERTICALE ESPOSTO A NE:

CINEMATISMI PLANARI:

- Potenziale scivolamento planare lungo discontinuità appartenenti ai sistemi K_{1a2} oppure K_c.
I risultati analitici sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico planare allegato: :

Altezza bancata	Sistemi	FS sisma	Vol. mc	Note
10 m	K _{1a2}	0.836	21.5	Far coincidere preventivamente fronte e discontinuità evita il manifestarsi dell’evento.
10 m	K _c	0.568	112.5	Far coincidere preventivamente fronte e discontinuità evita il manifestarsi dell’evento

CINEMATISMI TRIDIMENSIONALI

- Lo specchietto seguente mostra le potenziali combinazioni che potrebbero emergere sul fronte in oggetto, i relativi coefficienti di sicurezza. I risultati analitici sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico tridimensionale allegato:

Fronte	Blocco	Combinazione Piani	Volume mc	FS con sisma	Note
N154 NE	8	K1a1/Kc	4176,6483	7,79	
h= 10 m	9	K1a1/K3	1580,3289	16,43	
	11	K1a2/K1b1	0,1326	0,3	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	12	K1a2/K1b2	89,4034	0,4	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	13	K1a2/K2a1	10,1916	0,3	
	14	K1a2/K2a2	25,9192	0,6	
	15	K1a2/K2b1	11,3866	0,28	
	16	K1a2/K2b2	30,5565	0,39	
	17	K1a2/Kc	2585,4905	8,31	
	20	K1b1/K1b2	373,9248	47,67	
	25	K1b1/Kc	1731,5589	0,96	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	27	K1b1/K6	33,2187	4,86	
	28	K1b2/K2a1	103,3582	1,08	
	29	K1b2/K2a2	68,4738	0,46	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	30	K1b2/K2b1	105,9104	1,63	
	31	K1b2/K2b2	63,4897	0,46	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	32	K1b2/Kc	2068,261	0,9	
	34	K1b2/K6	311,7759	4,38	
	36	K2a1/K2b1	1,222	2,87	
	37	K2a1/K2b2	71,1522	6,11	
	38	K2a1/Kc	2092,1004	1,01	
	42	K2a2/K2b2	5,0704	1,89	
	43	K2a2/Kc	2179,1104	0,87	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	46	K2b1/K2b2	592,9636	70,54	
	47	K2b1/Kc	2063,3619	1,0	
	50	K2b2/Kc	2161,1375	1,0	

	53	Kc/K3	5383,3122	6,13	
	54	Kc/K6	1759,7437	1,05	
	120	K1a1/Kc+K1b1	2821,002	7,43	
	121	K1a1/Kc+K1b2	2362,6248	7,11	
	124	K1a1/Kc+K2b1	3077,1848	7,42	
	125	K1a1/Kc+K2b2	3032,8074	7,39	
	126	K1a1/Kc+K3	3959,7598	7,13	
	127	K1a1/Kc+K6	3174,9492	7,49	
	155	K1a2/K1b2+1	89,2956	0,4	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	162	K1a2/K1b2+K3	89,7433	0,4	
	200	K1a2/Kc+K1a1	2503,0581	8,18	
	207	K1a2/Kc+K3	2624,2666	8,28	
	208	K1a2/Kc+K6	2002,2271	7,74	
	227	K1b1/K1b2+K1a1	180,0437	46,71	
	229	K1b1/K1b2+K2a1	199,5289	45,28	
	230	K1b1/K1b2+K2a2	215,5726	45,89	
	234	K1b1/K1b2+K3	270,7939	47,09	
	272	K1b1/Kc+K1a1	1415,9214	0,96	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	275	K1b1/Kc+K2a1	1691,238	0,96	
	276	K1b1/Kc+K2a2	1698,5469	0,96	
	279	K1b1/Kc+K3	1589,4375	0,96	
	301	K1b2/K2a1+K1b1	75,175	1,07	
	310	K1b2/K2a2+K1b1	49,4593	0,45	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	319	K1b2/K2b1+K1b1	78,5996	1,61	
	328	K1b2/K2b2+K1b1	52,9261	0,46	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	335	K1b2/Kc+K1a1	1183,3517	0,89	
	342	K1b2/Kc+K3	1718,5033	0,89	
	380	K2a1/K2b2+K1a1	46,3199	6,01	
	384	K2a1/K2b2+K2a2	72,3793	6,1	
	387	K2a1/K2b2+K3	58,4111	6,05	
	461	K2b1/K2b2+K1a1	182,0762	68,53	
	466	K2b1/K2b2+K2a2	92,2357	67,93	
	468	K2b1/K2b2+K3	211,1021	68,93	

POTENZIALI RIBALTAMENTI

- l’analisi condotta per via grafica (basata esclusivamente sulle caratteristiche geometriche) mostra potenziali ribaltamenti. I risultati ottenuti dall’applicazione della formula di Timoshenko e sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico ribaltamento allegato:

SISTEMA	Ed (Mpa= t/mq)	t (m)	Y (T/mc)	l (m)
K _{1a}	18970.96= 1897096	1.52	2.7	102.0
K _{1b}	18970.96= 1897096	1.51	2.7	101.0
K ₃	18970.96= 1897096	4.77	2.7	218.0

10.1.8. FRONTE ORIENTATO N167, VERTICALE ESPOSTO A SW:

CINEMATISMI PLANARI:

- Potenziale scivolamento planare lungo discontinuità appartenenti ai sistemi K₃ oppure K₆.
I risultati analitici sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico planare allegato: :

Altezza bancata	Sistemi	FS sisma	Vol. mc	Note
10 m	K ₃	0.648	139.9	Far coincidere preventivamente fronte e discontinuità evita il manifestarsi dell’evento.
10 m	K ₆	0.732	167.9	Far coincidere preventivamente fronte e discontinuità evita il manifestarsi dell’evento

CINEMATISMI TRIDIMENSIONALI

- Lo specchietto seguente mostra le potenziali combinazioni che potrebbero emergere sul fronte in oggetto, i relativi coefficienti di sicurezza. I risultati analitici sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico tridimensionale allegato:

Fronte	Blocco	Combinazione Piani	Volume mc	FS con sisma	Note
N167 SW	1	K1a1/K1a2	824,4974	53,81	
h= 10 m	2	K1a1/K1b1	96,6936	0,39	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	4	K1a1/K2a1	69,2143	0,93	
	5	K1a1/K2a2	33,1375	0,46	
	6	K1a1/K2b1	53,2807	0,54	
	7	K1a1/K2b2	16,9852	0,46	
	10	K1a1/K6	284,5297	1,24	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	11	K1a2/K1b1	20,9938	0,31	
	18	K1a2/K3	14396,2506	12,93	
	19	K1a2/K6	65,1124	1,46	
	21	K1b1/K2a1	40,9517	0,36	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	22	K1b1/K2a2	63,978	0,47	
	23	K1b1/K2b1	47,5368	0,35	
	24	K1b1/K2b2	83,3626	1,14	
	26	K1b1/K3	290,7846	1,1	
	27	K1b1/K6	0,0114	0,0	Nel caso si presenti il cuneo tende a perdere contatto con ambedue le due superfici, per cui è consigliato procedere ad un immediato consolidamento od in alternativa l’abbattimento
	39	K2a1/K3	508,5865	2,26	
	40	K2a1/K6	532,4514	4,0	
	41	K2a2/K2b1	26,7762	2,45	
	44	K2a2/K3	394,9017	1,91	
	45	K2a2/K6	837,2765	3,95	
	48	K2b1/K3	411,72	1,2	
	49	K2b1/K6	5703,9294	12,03	

	51	K2b2/K3	284,8025	1,22	
	55	K3/K6	906,2974	2,53	
	57	K1a1/K1a2+K1b2	277,4172	52,57	
	62	K1a1/K1a2+Kc	608,5589	53,18	
	83	K1a1/K2a1+K1a2	68,7601	0,92	Nel caso si presenti è consigliato procedere al suo consolidamento od abbattimento
	85	K1a1/K2a1+K1b2	55,0502	0,92	
	89	K1a1/K2a1+Kc	67,7759	0,92	
	137	K1a1/K6+K1a2	281,5496	1,24	
	139	K1a1/K6+K1b2	201,6405	1,23	
	144	K1a1/K6+Kc	275,9754	1,24	
	212	K1a2/K3+K2a1	657,8484	11,81	
	213	K1a2/K3+K2a2	722,4177	12,11	
	214	K1a2/K3+K2b1	561,9805	11,88	
	215	K1a2/K3+K2b2	622,9918	12,19	
	402	K2a1/K3+K2a2	518,6527	2,26	
	403	K2a1/K3+K2b1	444,7276	1,19	
	404	K2a1/K3+K2b2	469,1466	2,24	
	408	K2a1/K6+K1a2	116,9948	3,8	
	410	K2a1/K6+K1b2	260,4452	3,91	
	411	K2a1/K6+K2a2	556,4039	3,99	
	414	K2a1/K6+Kc	326,2995	3,93	
	449	K2a2/K3+K2b2	349,3068	1,0	
	453	K2a2/K6+K1a2	205,002	3,8	
	455	K2a2/K6+K1b2	377,2756	3,86	
	459	K2a2/K6+Kc	491,5703	3,88	
	485	K2b1/K3+K2b2	418,1339	1,2	
	489	K2b1/K6+K1a2	130,9425	11,38	
	491	K2b1/K6+K1b2	618,4807	11,66	
	495	K2b1/K6+Kc	753,4276	11,7	
	542	K3/K6+K1a1	915,0227	2,52	
	543	K3/K6+K1a2	927,8344	2,53	
	545	K3/K6+K1b2	561,6466	2,49	
	550	K3/K6+Kc	856,0447	2,52	

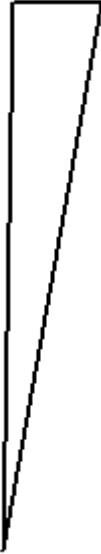
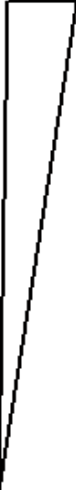
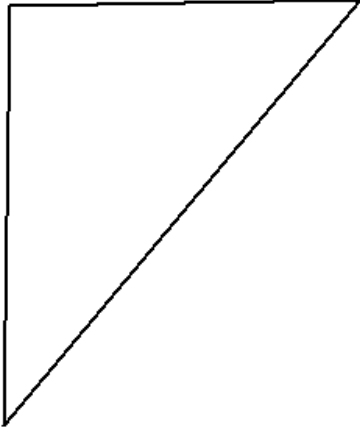
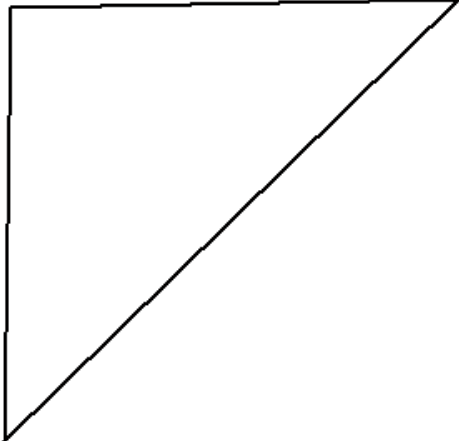
POTENZIALI RIBALTAMENTI)

- l’analisi condotta per via grafica (basata esclusivamente sulle caratteristiche geometriche) mostra potenziali ribaltamenti. I risultati ottenuti dall’applicazione della formula di Timoshenko e Gere sono riportati per esteso nella sottostante tabella e il cinematismo è indicato nel grafico ribaltamento allegato:
-

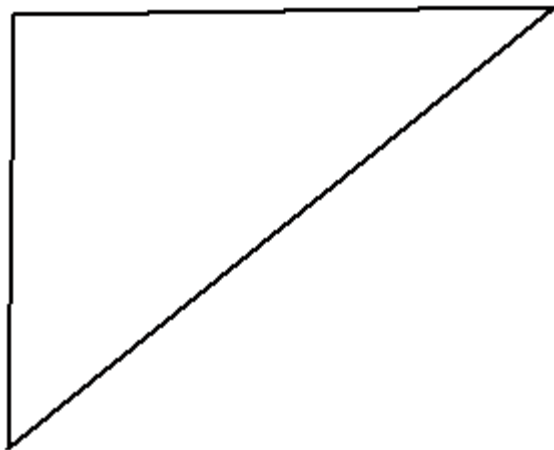
SISTEMA	Ed (Mpa= t/mq)	t (m)	Υ (T/mc)	l (m)
K _{1a}	18970.96= 1897096	1.52	2.7	102.0
K _{1b}	18970.96= 1897096	1.51	2.7	101.0
K _c	18970.96= 1897096	1.87	2.7	117.0

ALLEGATI – PROGRAMMA ROCKPLANE

ANALISI SCIVOLAMENTI PLANARI CANTIERE POLVACCIO ALTO

SISTEMA K1a1  ***** Summary ***** Slope Height = 10 Slope Face Angle = 89 Upper Slope Angle = 1 Cohesion = 2 Friction Angle = 36 Discontinuity Angle = 72 Unit Weight of Rock = 2,7 Unit Weight of Water = 1 Crest Location = 0,17 Horizontal Acceleration = 0,29 Discontinuity Length = 10,57 Weight of Rock Block = 41,7 Stability Factor = 0,510	SISTEMA K1a2  ***** Summary ***** Slope Height = 10 Slope Face Angle = 89 Upper Slope Angle = 1 Cohesion = 2 Friction Angle = 36 Discontinuity Angle = 80 Unit Weight of Rock = 2,7 Unit Weight of Water = 1 Crest Location = 0,17 Horizontal Acceleration = 0,29 Discontinuity Length = 10,18 Weight of Rock Block = 21,5 Stability Factor = 0,836
SISTEMA K2a1  ***** Summary ***** Slope Height = 10 Slope Face Angle = 89 Upper Slope Angle = 1 Cohesion = 2 Friction Angle = 36 Discontinuity Angle = 77 Unit Weight of Rock = 2,7 Unit Weight of Water = 1 Crest Location = 0,17 Horizontal Acceleration = 0,29 Discontinuity Length = 10,30 Weight of Rock Block = 28,9 Stability Factor = 0,645	SISTEMA K2b1  ***** Summary ***** Slope Height = 10 Slope Face Angle = 89 Upper Slope Angle = 1 Cohesion = 2 Friction Angle = 36 Discontinuity Angle = 81 Unit Weight of Rock = 2,7 Unit Weight of Water = 1 Crest Location = 0,17 Horizontal Acceleration = 0,29 Discontinuity Length = 10,15 Weight of Rock Block = 19,1 Stability Factor = 0,939
SISTEMA Kc  ***** Summary ***** Slope Height = 10 Slope Face Angle = 89 Upper Slope Angle = 1 Cohesion = 2 Friction Angle = 36 Discontinuity Angle = 50 Unit Weight of Rock = 2,7 Unit Weight of Water = 1 Crest Location = 0,17 Horizontal Acceleration = 0,29 Discontinuity Length = 13,24 Weight of Rock Block = 112,5 Stability Factor = 0,568	SISTEMA K3  ***** Summary ***** Slope Height = 10 Slope Face Angle = 89 Upper Slope Angle = 1 Cohesion = 2 Friction Angle = 36 Discontinuity Angle = 44 Unit Weight of Rock = 2,7 Unit Weight of Water = 1 Crest Location = 0,17 Horizontal Acceleration = 0,29 Discontinuity Length = 14,66 Weight of Rock Block = 139,9 Stability Factor = 0,648

SISTEMA K6



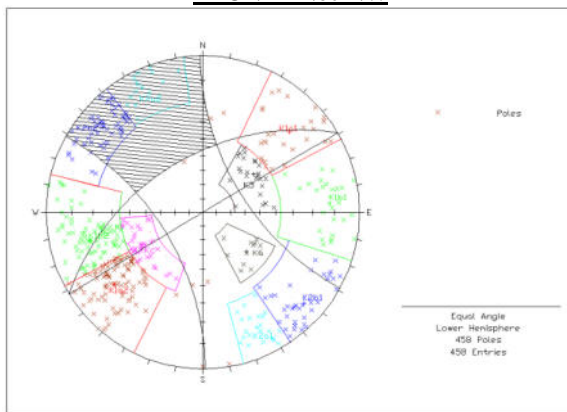
***** Summary *****

Slope Height = 10
Slope Face Angle = 89
Upper Slope Angle = 1
Cohesion = 2
Friction Angle = 36
Discontinuity Angle = 39
Unit Weight of Rock = 2,7
Unit Weight of Water = 1
Crest Location = 0,17
Horizontal Acceleration = 0,29
Discontinuity Length = 16,24
Weight of Rock Block = 167,9

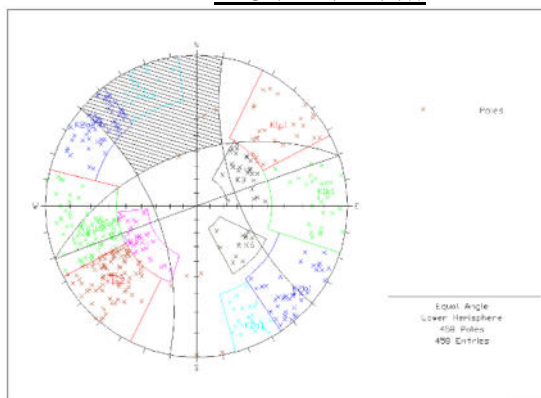
Stability Factor = 0,732

ANALISI RIBALTAMENTICANTIERE POLVACCIO ALTO VERIFICHE GRAFICHE FRONTI ATTUALI

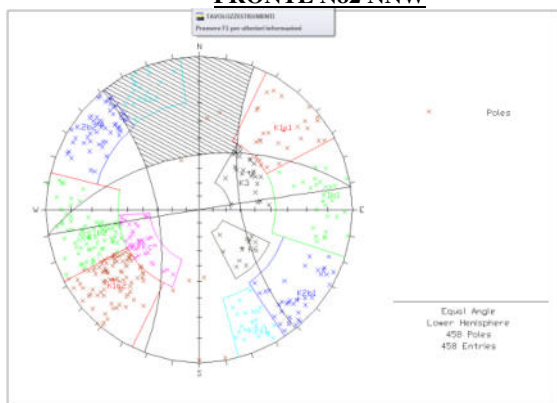
FRONTE N60 NW



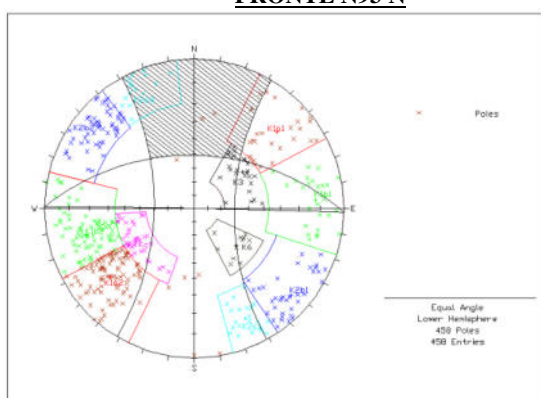
FRONTE N71 NNW



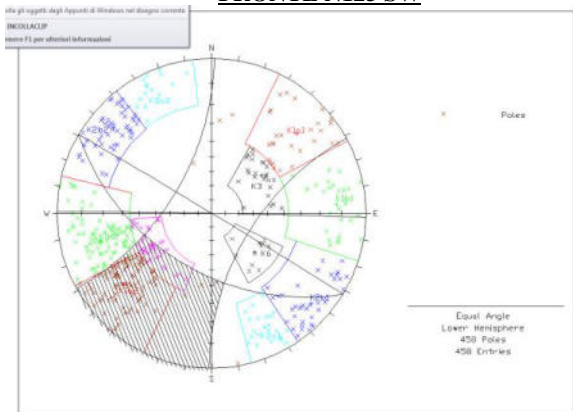
FRONTE N82 NNW



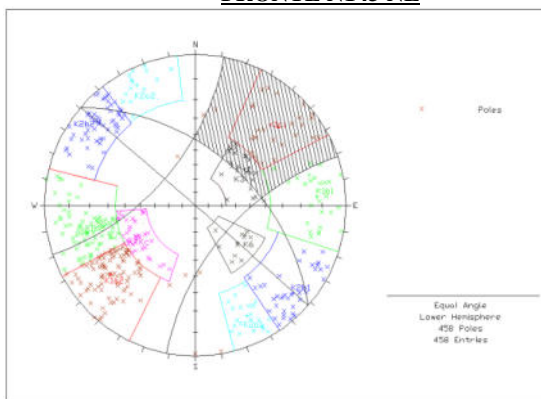
FRONTE N93 N



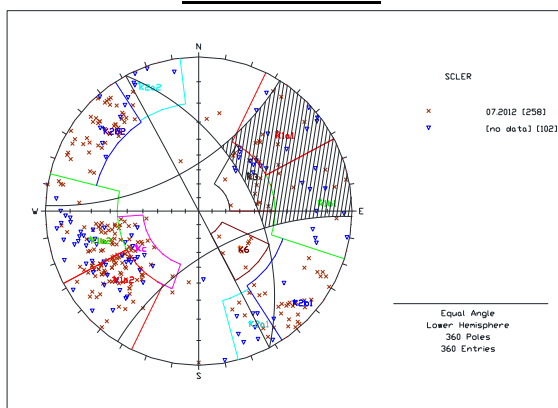
FRONTE N123 SW



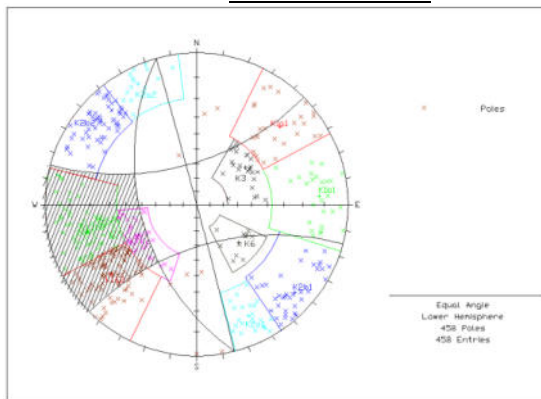
FRONTE N143 NE



FRONTE N154 NE



FRONTE N167 SW



11. LE TECCHIE

A seguito della autorizzazione n. 8 del 27.01.2010 la Società Escavazione Polvaccio s.r.l. ha intrapreso una serie di lavori mirati alla ripresa della coltivazione dall'alto del giacimento Polvaccio-Battaglino mediante l'apertura del Cantiere Polvaccio Alto, l'unico che è rimasto aperto dei vari cantieri che componevano l'unità estrattiva. In questi la coltivazione è stata temporaneamente sospesa perché le lavorazioni avrebbero interagito con quelle che si stavano intraprendendo all'interno del Cantiere Polvaccio Alto; per cui i cantieri non coltivati furono temporaneamente chiusi.

Al momento il detrito prodotto in cava è direttamente caricato in cantiere sul camion e trasportato al frantoio della Piastra; rimane da terminare l'asportazione della parte residua di detrito che ricopre il cantiere Vecchia Cava e la ex- cava n. 50 Battaglino. Ambedue le operazioni sono programmate con il progetto di cui questa relazione è parte integrante.

In base ai lavori intrapresi il cantiere non è circoscritto da vere e proprie tecchie, pareti subverticali di una certa altezza, ma il ciglio perimetrale di cava rimane costituito da gradoni residui di varia quota.

Nel complesso il cantiere Polvaccio Alto, con riferimento al gradone residuo q. 705.93m s.l.m., è così suddiviso:

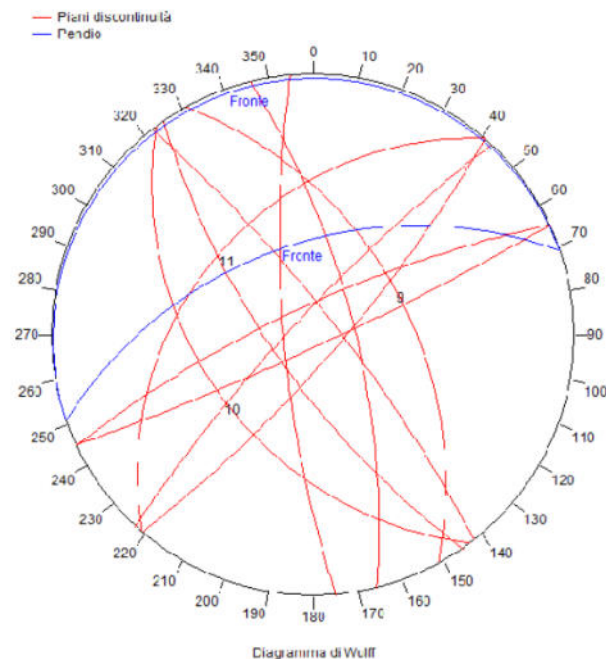
- 1) area superiore, costituita da piccoli saggi di cava posti alla base di una parete definita da n° 4 fratture persistenti, leggermente ondulate, con orientazione compresa nel range N62-70° ed inclinazione tra 80-85°NW, tutte ascrivibili al sistema K_{2a}, che appaiono separate e scalate da 3 discontinuità persistenti, con forma a scalini piani, con orientazione compresa nel range N114-144° ed inclinazione tra 54-65°NE ascrivibili al sistema K_{1a}. Nell'insieme le superfici esposte coincidono con gli specchi delle singole discontinuità, che nel complesso risultano puliti, leggermente inclinati quelli ascrivibili al sistema K_{2a} e ben inclinati gli specchi ascrivibili al sistema K_{1a}. Dall'osservazione in loco non si sono riscontrate condizioni di interferenza tra fronti e discontinuità che possano generare scivolamenti planari o tridimensionali di porzioni rocciose di grandi dimensioni. Durante gli interventi di disaggio si deve porre particolare attenzione alla stabilità dei volumi posti lungo le superfici esterne delle discontinuità ascrivibili al sistema K_{1a}, andando a "provarli" anche ripetutamente.
- 2) area inferiore, che rappresenta l'area di cava ed è costituita da una gradonatura di bancate residue. Dall'osservazione in loco di ogni singolo gradone non sono emerse discontinuità che possano generare scivolamenti planari e/o tridimensionali di grosse masse rocciose. Particolare attenzione deve essere posta alle superfici di scivolamento del sistema K_c, dove si debbono rimuovere tutte le "placche" che possano rimanere sospese lungo le superfici di discontinuità; procedura normalmente affrontata durante l'escavazione.

L'area di cava rimane così suddivisa:

- parte residua, costituita da una serie di gradoni non più attivi compresi tra q. 585.28 e q. 705.93m s.l., con quest'ultimo utilizzato come strada di accesso alla cava n° 91 Valbona A. Dall'osservazione in loco di quest'area non si sono constatati volumi che possano generare scivolamenti planari e/o tridimensionali di grosse masse rocciose;
- parte in coltivazione, costituita dai gradoni in coltivazione posti a q. 588.88 e 578.07m s.l.m. e successivi, come da progetto.

Come già detto, nel fronte residuo costituente la scalinata non si sono individuati volumi che possano generare scivolamenti planari e/o tridimensionali di grosse masse rocciose; sotto il profilo analitico la verifica globale della "scalinata" è stata di seguito affrontata, mentre per la verifica del singolo scalino si rimanda alle verifiche di stabilità corrispondente al gradone di pari altezza ed orientazione.

TECCHIA CANTIERE POLVACCIO ALTO
DIAGRAMMA DI MARKLAND Fronte N71° inclinato 51° NW



11.1. FRONTE ORIENTATO N71° INCLINATO 55° NW:

Fronte	Blocco	Combinazione Piani	Volume in mc	FS con sisma	Deficit di forza
N71 NW 55°	1	1a/2	142769,8846	19,82	
H= 90	10	1/11	4404,6169	0,0	Lo scarso peso statistico del sistema K6 rende la configurazione difficilmente realizzabile. Nel caso si presenti il cuneo tende a perdere contatto con ambedue le due superfici, per cui si consiglia di procedere al suo consolidamento od al disgiungimento.
	19	2/11	16477,2003	1,21	
	20	3/4	41713,641	8,36	
	25	3/9	46978,2665	3,62	
	27	3/11	25816,9974	1,89	
	32	4/9	13304,7167	5,66	
	34	4/11	46931,2266	1,81	
	46	7/8	88843,3651	28,9	
	54	9/11	59532,1047	1,63	
	56	1/2+3	52154,6758	19,28	
	58	1/2+5	40805,4531	19,32	
	59	1/2+6	55425,0469	19,36	
	60	1/2+7	56119,168	19,33	
	61	1/2+8	59830,5273	19,38	
	229	3/4+5	23676,1172	8,21	
	230	3/4+6	27128,9805	8,24	
	231	3/4+7	23601,3086	8,21	
	232	3/4+8	27979,3145	8,24	
	275	3/9+5	29874,2676	3,57	
	276	3/9+6	33620,0586	3,58	
	277	3/9+7	28095,0703	3,57	
	278	3/9+8	33605,207	3,59	
	338	4/9+5	9180,0498	5,59	
	339	4/9+6	10209,9688	5,61	
	340	4/9+7	8202,1162	5,57	
	341	4/9+8	9901,5684	5,6	
	465	7/8+5	36096,1367	28,28	
	466	7/8+6	40429,6016	28,39	

Carrara, 01.07. 2026

Il Tecnico
Dott. Geol. Fiorenzo DUMAS



Carrara, il 26/06/2026

Spett.le

ESCAVAZIONE POLVACCIO S.R.L.

Via Roma,17

54033 Carrara (MS)

P.Iva & Cod.Fisc. 00496390451

RELAZIONE DI FINE LAVORI

Su richiesta della Società Escavazione Marmi Polvaccio srl siamo intervenuti per effettuare una messa in sicurezza nella cava n° 46 in località Polvaccio.

I lavori si sono svolti dal 26 maggio al 03 giugno 2026 e sono consistiti nell'effettuare un disgaggio manuale del fronte di cava eliminando porzioni di roccia resesi instabili dagli agenti atmosferici.

I lavori sono indicati in foto allegata.

Alla fine della lavorazione riteniamo ripristinata la superficie del fronte; tuttavia consigliamo una verifica periodica.

**IL PRESIDENTE
BIANCHI GIULIANO**



AVVISO: la Vs. Ragione Sociale, Partita IVA e indirizzo che appare sul presente documento sarà quello che verrà utilizzato salvo Vs diversa prescrizione agli effetti dell'art. 29 e 41 del D.P.R. n°633/72. Con questo avviso ci consideriamo esonerati da qualsiasi responsabilità.



Zona disgaggio