

COMUNE DI CARRARA

PROVINCIA DI MASSA CARRARA

PIANO DI COLTIVAZIONE CAVE "GALLERIA FANTISCRITTI" N. 87 E "FANTISCRITTI B" N. 92



REDATTA AI SENSI DELLA L.R. 10/10 E L.R. 35/15

ESERCENTE:

Consorzio "Le Gallerie di Fantiscritti"

TITOLO:

RELAZIONE GEOMECCANICA
DI STABILITA'

IL TECNICO:

Dott. Ing. Massimo Gardenato
ingegnere minerario



TAV.:

DATA:

MAGGIO 2026

FILE:

RelTec_26



via G.Pascoli, 44 55032 Castelnuovo Garf.na (LU) - via di Turigliano, 24a 54033 Carrara (MS)
Tel. 0585 093077 e e-mail: studio@rocnnet.net



RELAZIONE GEOMECCANICA DI STABILITA'

Premessa

La presente relazione, completa di allegati cartografici, è stata redatta a supporto della Verifica di assoggettabilità a Via ai sensi dell'art. 48 della L.R. 10/10 per il piano di coltivazione delle cave n. 87 Galleria Fantiscritti e Fantiscritti B n. 92 site nel bacino estrattivo di Fantiscritti presentato dal Consorzio denominato "Le Gallerie di Fantiscritti".

La presente variante ai progetti vigente intende raccordare ed ottimizzare gli stessi nell'ambito di una gestione unica e coordinata.

Le cave prevedono già nell'ambito dell'autorizzazione vigente un collegamento sotterraneo alla quota di ca. 452 m che consente, in particolare, alla cava n. 87 oggi raggiungibile attraverso la cava n. 85, di divenire indipendente. Il presente progetto si coordina anche con il progetto in fase di autorizzazione della cava n°88 Verdichiara, in modo da uniformare le lavorazioni con il cantiere Superiore della cava Fantiscritti B.

La coltivazione di progetto nei cantieri a cielo aperto e sotterranei si svolgerà secondo modalità e direzioni già individuate con le attuali lavorazioni e come autorizzato, perciò la relazione può essere intesa come continuazione delle vari relazioni di stabilità condotte nell'area di interesse, ritenute ad oggi ancora perfettamente valide. Tra tutte si farà riferimento all'ultimo aggiornamento annuale di stabilità condotto nell'area di interesse dove si era analizzato nel dettaglio l'abbattimento del sottotecchia posto sul fronte residuo di passate lavorazioni tra il cantiere Scaloni e il cantiere Inferiore che nel presente progetto rimane del tutto identico. Per quanto riguarda i cantieri in sotterraneo si valuterà nel dettaglio la stabilità delle lavorazioni sino ad oggi eseguite.

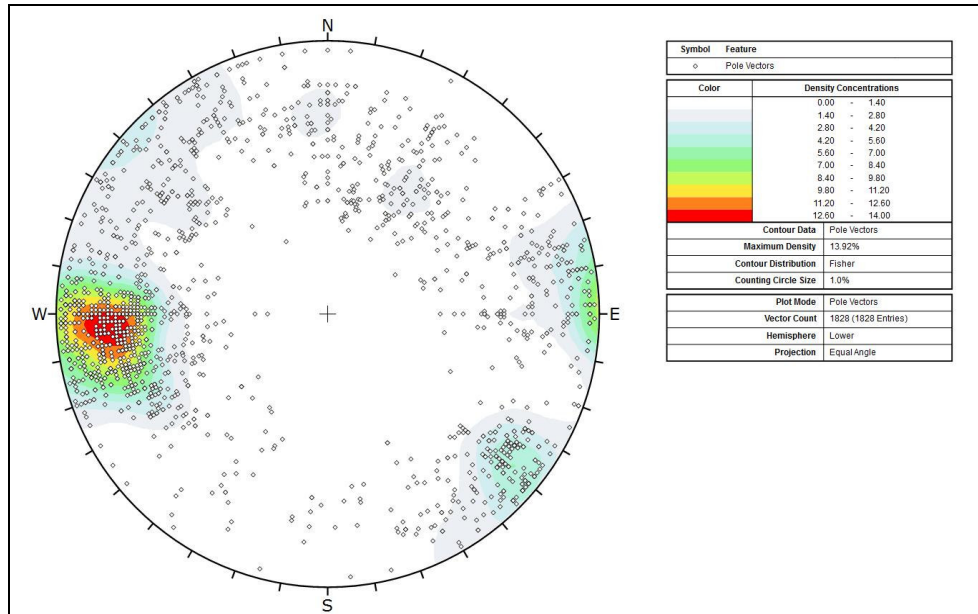
Analisi strutturale dell'ammasso roccioso

Il presente studio trae origine dai diversi studi di stabilità redatti dallo scrivente nel corso degli anni rimarcando le eventuali differenze eventualmente emerse con i rilievi condotti per l'occasione e le situazioni particolari emerse nel corso delle coltivazioni che hanno portato all'attuale configurazione dei fronti di cava. Con riferimento agli studi passati eseguiti nelle cave, sono individuate due zone omogenee costituite l'una dai cantieri a cielo aperto delle

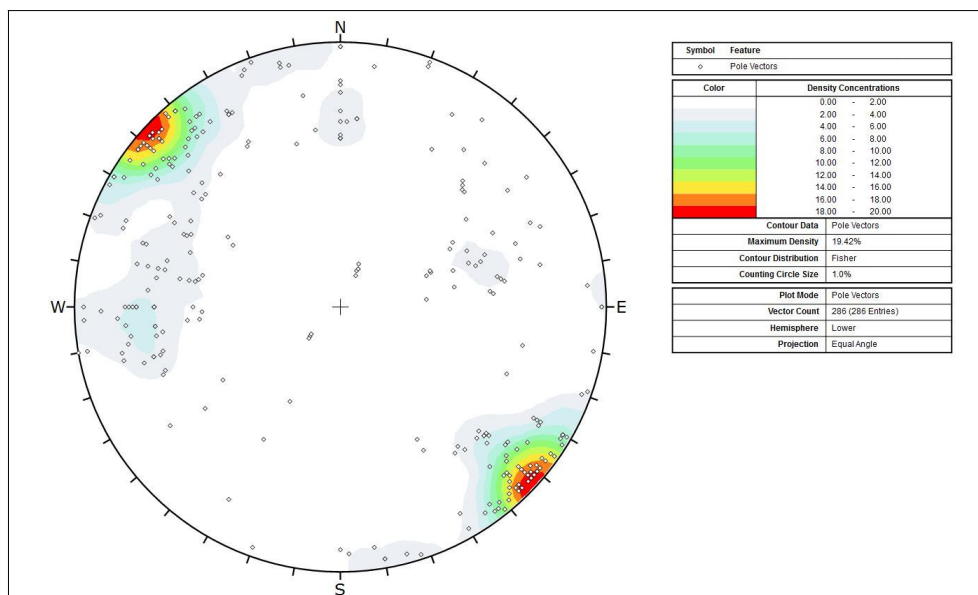


cave n°92 e n°88 e dei cantieri in sotterraneo della cava n°92 (zona omogenea I) e l'altra relativa al cantiere in sotterraneo della cava n°87 (zona omogenea II) in funzione della presenza dei raggruppamenti medi di discontinuità.

Di seguito si riporta lo stereogramma relativo al complesso dei rilievi effettuati fino ad oggi dell'insieme delle discontinuità rilevate nei cantieri delle cave citate.



Stereogramma della zona omogenea I (cantieri cava n°92 e n°88).



Stereogramma della zona omogenea II (cantieri sotterranei cave n°87 e n°85).



A tal proposito è stato eseguito un accurato rilievo geomeccanico lungo le bancate in coltivazione realizzate successivamente alla redazione della precedente analisi di stabilità e ad un controllo delle discontinuità poste lungo i fronti già analizzati nei quattro cantieri denominati Scaloni, Zucchetto, Superiore e Inferiore della cava Fantiscritti B, lungo le pareti e il tetto della cava in sotterraneo denominata Galleria Fantiscritti n°87 e lungo i fronti in coltivazione della cava Verdichiara n°88, il cui presente piano si coordina nelle aree a confine con la cava n°92. Dal confronto tra quanto sopra esposto e quanto emerso in questa sede si evince una sostanziale uniformità dei dati strutturali che conferma e rende ulteriormente valida la precedente classificazione.

I dati così ottenuti sono stati raccolti ed elaborati con le usuali tecniche statistiche cercando di determinare la distribuzione e le rispettive caratteristiche delle famiglie di discontinuità nell'ipotesi che i dati siano rappresentati da una distribuzione di tipo normale. Tale assunzione, ovviamente, ha talvolta carattere di arbitrarietà e, del resto, sovente i dati di campagna non permettono di poter stabilire se la distribuzione possa essere di tipo diverso, pur se concettualmente sia possibile. Tale asserzione trova riscontro anche nelle recenti note "Rock Engineering – course notes by E. Hoek" (2002), laddove si sottolinea come la distribuzione statistica dei parametri geomeccanici sia ben approssimata da una distribuzione di tipo normale, a meno di non avere a disposizione una rilevante mole di dati da cui derivare un tipo diverso di rappresentazione. E' evidente come spesso i dati ricavati dai rilievi di campagna possano non essere sufficienti per definire una distribuzione in modo sufficientemente corretto o, in altri termini, per avere una distribuzione di tipo significativo. In questi casi, a parere dello scrivente, deve essere la sensibilità del tecnico a stabilire se si è in presenza, ad esempio nel caso di un raggruppamento di discontinuità in un intervallo di valori di immersione ed inclinazione, di un fenomeno per l'appunto significativo e cioè correlato con una reale caratteristica dell'ammasso roccioso, magari anche solo limitata ad una porzione dello stesso, o se invece si è in presenza di una serie di esemplari casuali. La distribuzione di detti esemplari potrà pertanto anche non essere di tipo normale ed essere trattata, ad esempio, come uniforme laddove gli esemplari siano pochi e spazati tra loro, ma questo, a parere dello scrivente, poco sposta rispetto alle successive analisi di tipo previsionale da effettuare.



Pertanto, a margine di quanto sopra, va sottolineato come spesso la definizione di un raggruppamento di discontinuità quale famiglia, possa anche essere, dal punto di vista statistico, fatto privo di significatività.

Caratteristiche di fratturazione

Come già accennato in precedenza, l'aggiornamento strutturale ha pertanto permesso di stabilire la quasi totale coincidenza delle caratteristiche giaciture e dei raggruppamenti medi. Infatti, l'introduzione delle discontinuità rilevate per l'occasione ha determinato la variazione delle caratteristiche medie di immersione ed inclinazione solo di alcuni gradi, come evidenziato nella tabella seguente.

Zona omogenea I

<i>Raggruppamento medio</i>	<i>Immersione media</i>	<i>Inclinazione media</i>	<i>Limite variabilità (2σ)</i>
K1.1	83°	75°	25.62
K1.2	260°	75°	28.05
K2.1	313°	80°	23.35
K2.2	130°	77°	27.52
K3	191°	61°	41.36
K4	360°	71°	15.07

Zona omogenea II

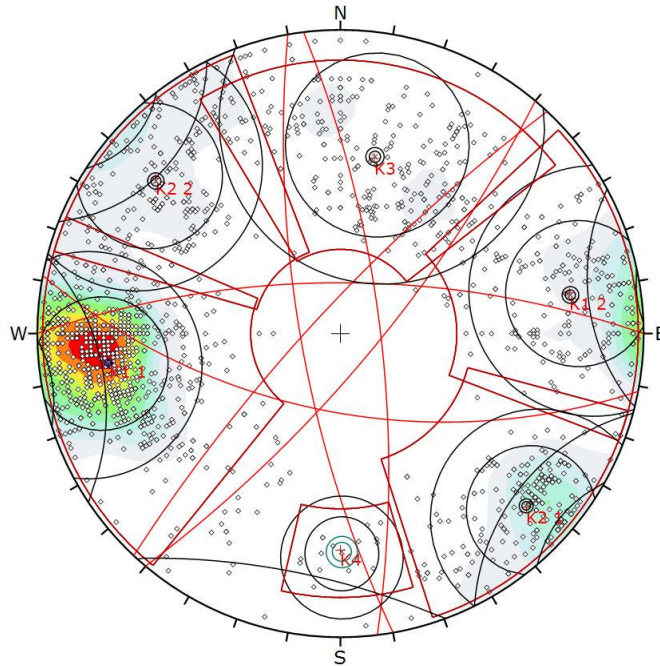
<i>Raggruppamento medio</i>	<i>Immersione media</i>	<i>Inclinazione media</i>	<i>Limite variabilità (2σ)</i>
K1.1	311°	84°	20.20
K1.2	133°	81°	20.35
K2	93°	80°	30.08
K3	248°	54°	41.92
K4.1	175°	77°	22.73
K4.2	352°	87°	10.14

Nella quarta colonna si riporta il limite di variabilità calcolato per $\sigma=95.44\%$ (si veda il tabulato riportato successivamente alle figure in cui sono riassunte tutte le caratteristiche dei raggruppamenti medi come evidenziati dal "Dips Document Information" del programma DIPS®). Il programma utilizzato per il trattamento e lo studio dei dati strutturali raccolti in campagna (DIPS® di Rocscience Inc. Canada) permette di visualizzare mediante rappresentazioni stereografiche la distribuzione della densità dei poli dei piani medi, i raggruppamenti medi individuati, e tutte le informazioni strutturali di ausilio all'analisi. In particolare si riporta di seguito alle suddette rappresentazioni il documento informativo



(“Dips Document Information”) che riassume tutte le caratteristiche del rilievo ed i computi elaborati dal programma e lo stereogramma complessivo con i piani medi.

Stereogramma aggiornato con le ciclografie dei piani medi rilevati per la zona omogenea I



Stereogramma cumulativo dei rilievi effettuati nell'area

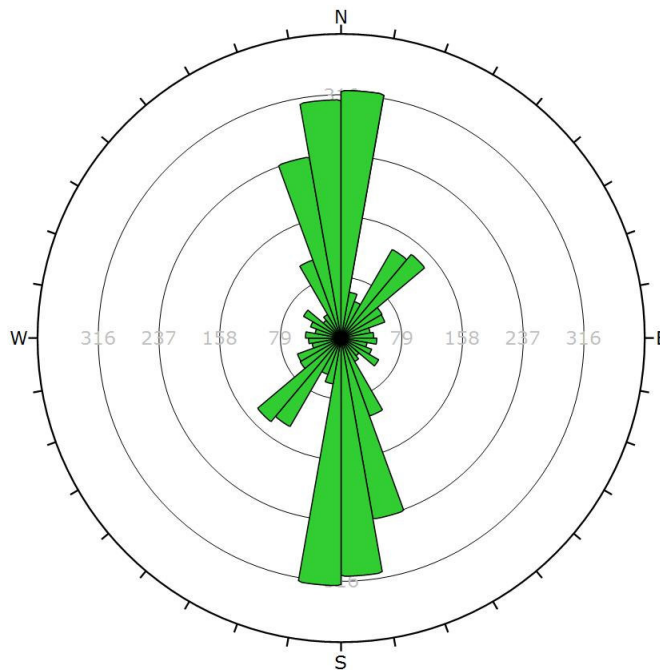
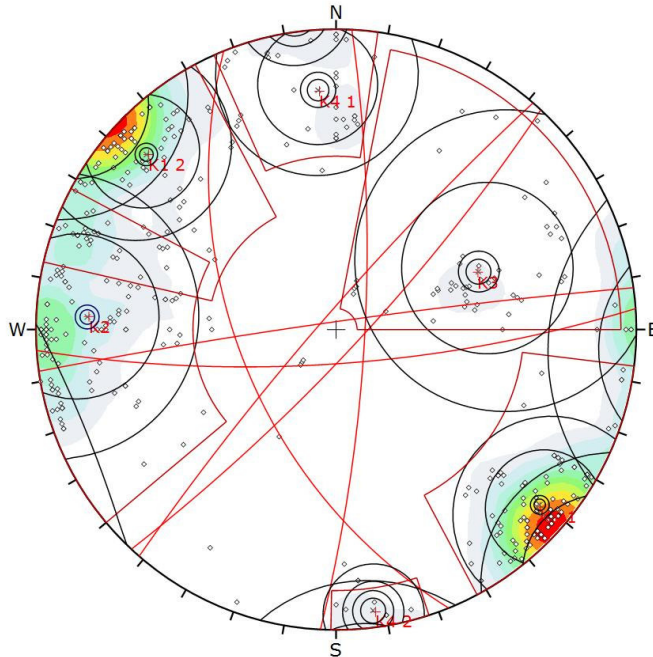


Diagramma a “rosetta” delle direzioni dei piani di frattura rilevati.



Stereogramma aggiornato con le ciclografie dei piani medi rilevati per la zona omogenea II



Stereogramma cumulativo dei rilievi effettuati nell'area

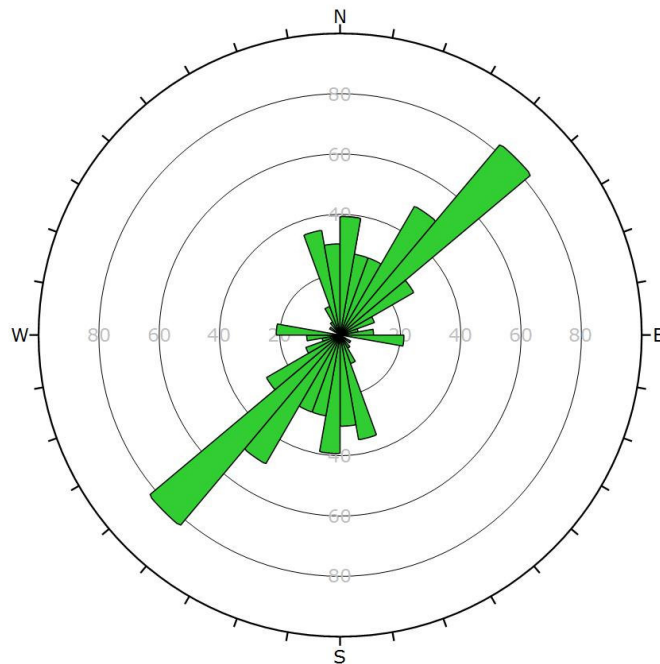


Diagramma a "rosetta" delle direzioni dei piani di frattura rilevati.



Dips Analysis Information

Project Summary

- File Name: Cave 92+88_26

General Settings

- Extra Data Columns: 15
- Poles: 1828
- Entries: 1828

Set Statistics

Set: 1m: K1 1

- Poles: 855
- Entries: 855
- Fisher's K: 31.4128

	68.26%	95.44%	99.74%	50%
Variability Limit	15.5349°	25.6174°	35.8537°	12.0587°
Confidence Limit	0.538286°	0.882979°	1.22593°	0.418342°

Set: 2m: K1 2

- Poles: 205
- Entries: 205
- Fisher's K: 26.289

	68.26%	95.44%	99.74%	50%
Variability Limit	16.9917°	28.0495°	39.3232°	13.1863°
Confidence Limit	1.20547°	1.97744°	2.74559°	0.936852°

Set: 3m: K2 1

- Poles: 225
- Entries: 225
- Fisher's K: 37.7153

	68.26%	95.44%	99.74%	50%
Variability Limit	14.1703°	23.3461°	32.629°	11.0017°
Confidence Limit	0.954982°	1.56653°	2.17502°	0.742185°

Set: 4m: K2 2

- Poles: 213
- Entries: 213
- Fisher's K: 27.2912

	68.26%	95.44%	99.74%	50%
Variability Limit	16.6745°	27.5192°	38.5652°	12.9408°
Confidence Limit	1.15986°	1.90262°	2.64169°	0.901407°

Set: 5m: K3

- Poles: 273
- Entries: 273
- Fisher's K: 12.3771

	68.26%	95.44%	99.74%	50%
Variability Limit	24.8677°	41.3646°	58.7286°	19.2659°
Confidence Limit	1.55732°	2.55467°	3.54715°	1.21029°

Set: 6m: K4

- Poles: 15
- Entries: 15
- Fisher's K: 89.7294

	68.26%	95.44%	99.74%	50%
Variability Limit	9.17335°	15.0748°	20.9865°	7.12628°
Confidence Limit	2.37859°	3.90218°	5.41873°	1.84853°



Dips Analysis Information

Project Summary

- File Name: File Name: Cave 87+85_26

General Settings

- Extra Data Columns: 13
- Poles: 403
- Entries: 403

Set Statistics

Set: 1m: K1 1

- Poles: 104
- Entries: 104
- Fisher's K: 50.2087

	68.26%	95.44%	99.74%	50%
Variability Limit	12.2736°	20.1989°	28.1822°	9.53151°
Confidence Limit	1.21328°	1.99025°	2.76338°	0.942921°

Set: 2m: K1 2

- Poles: 69
- Entries: 69
- Fisher's K: 49.4503

	68.26%	95.44%	99.74%	50%
Variability Limit	12.3677°	20.3548°	28.402°	9.6045°
Confidence Limit	1.50109°	2.46242°	3.41905°	1.1666°

Set: 3m: K2

- Poles: 127
- Entries: 127
- Fisher's K: 22.9215

	68.26%	95.44%	99.74%	50%
Variability Limit	18.207°	30.0846°	42.2412°	14.1263°
Confidence Limit	1.64487°	2.6983°	3.74662°	1.27833°

Set: 4m: K3

- Poles: 48
- Entries: 48
- Fisher's K: 12.0639

	68.26%	95.44%	99.74%	50%
Variability Limit	25.1938°	41.9232°	59.562°	19.5168°
Confidence Limit	3.76381°	6.1758°	8.5783°	2.92493°

Set: 5m: K4 1

- Poles: 31
- Entries: 31
- Fisher's K: 39.7431

	68.26%	95.44%	99.74%	50%
Variability Limit	13.8023°	22.7346°	31.7631°	10.7165°
Confidence Limit	2.50384°	4.10771°	5.70425°	1.94586°

Set: 6m: K4 2

- Poles: 6
- Entries: 6
- Fisher's K: 197.696

	68.26%	95.44%	99.74%	50%
Variability Limit	6.17651°	10.1399°	14.0953°	4.79931°
Confidence Limit	2.52586°	4.14384°	5.75444°	1.96297°



Le caratteristiche medie delle famiglie rimangono le stesse già evidenziate ed ampiamente descritte nelle precedenti analisi di stabilità. Si riporta per comodità di lettura, unicamente la descrizione delle stesse per ogni zona omogenea.

Zona Omogenea I

I giunti della famiglia K1.1 ($83^\circ/75^\circ$) presentano una persistenza mediamente compresa tra i 3 e i 10 metri, un'apertura dell'ordine di 1 – 5 mm con riempimento, quando presente, di natura Hard-Filling. In linea generale gli esemplari appartenenti a questa famiglia si presentano rugosi con un andamento planare–ondulato e con un scarso se non assente grado di alterazione.

Della famiglia K1.2 ($260^\circ/75^\circ$), che rappresenta i giunti del contro ribaltati sulla verticale rispetto ai precedenti, gli esemplari medi risultano avere una persistenza media che si estende oltre i 20 m mentre l'apertura media si aggira su valori compresi tra 1 mm e 5 mm con superfici mediamente rugosie alla piccola scala e ondulate planari alla grande scala. In termini di riempimento si ricade nella condizione, quando presente, di natura Soft-Filling con gli esemplari rilevati mediamente alterati e privi di circolazione idrica.

Le discontinuità della famiglia K2.1 ($313^\circ/80^\circ$) presentano persistenza compresa tra i 3 m ed i 10 m, con un grado di apertura oltre i 5 mm, riempimento quando presente di natura Hard-Filling / Soft-Filing con un grado di alterazione delle superfici abbastanza elevato. Alla piccola scala, i giunti di tale famiglia, si manifestano tendenzialmente rugosi mentre risultano planari ondulati alla grande scala con circolazione idrica assente.

Nel caso della famiglia K2.2 ($130^\circ/77^\circ$) le discontinuità hanno una persistenza che varia dai 3 m ai 10 m ed un'apertura di oltre 5 mm. Il riempimento, se presente, è di natura Hard-Filling / Soft-Filling e l'alterazione risulta essere debole o nulla. I giunti appartenenti a tale famiglia risultano essere rugosi alla piccola scala e ondulate alla grande scala mentre non si è riscontrata circolazione idrica.

Le discontinuità della famiglia K3 ($191^\circ/61^\circ$), i cui poli si sono riscontrati principalmente presso il cantiere Scaloni, hanno una persistenza che si estende oltre i 20 m con numerose superfici esposte. Il riempimento risulta essere, se presente, di tipo Hard-Filling / Soft-Filing con alterazione molto elevata delle superfici quando presente. Le discontinuità appartenenti a



tale famiglie si presentano, inoltre, debolmente rugose alla piccola scala e planari ondulate alla grande scala con assenza di circolazione idrica.

La famiglia K4 (360°/71°) è presente invece solamente nel cantiere “Ex cava Scaloni A”. Queste discontinuità hanno una persistenza oltre i 20 metri, apertura compresa tra 0.1 e 5 mm e riempimento, quando presente, di tipo Soft-Filling. Tali giunti risultano alla piccola scala debolmente rugosi con alcuni esemplari lisci alla piccola scala mentre planari – ondulati alla grande scala. La circolazione idrica è pressoché assente e gli esemplari rilevati al piede non presentano una marcata alterazione.

Zona Omogenea II

Tutta l’area indagata risulta strutturalmente dominata dal sistema medio denominato K1 presente con esemplari coniugati ribaltati sulla verticale. Si tratta di giunti che attraversano il cantiere da Nord-Est a Sud-Ovest con una buona persistenza (10 – 20 m circa).

A questo sistema si affianca il raggruppamento medio denominato K2 caratterizzato da giunti mediamente persistenti caratterizzati da modesta apertura e generalmente chiusi e il raggruppamento denominato K3 immergente verso Sud-Ovest con una inclinazione media compresa tra 45°-55° circa.

Si tratta di superfici poco persistenti, generalmente chiuse o poco aperte e prive di riempimento e decisamente rugose a piccola scala ed ondulate a grande scala.

Il raggruppamento medio denominato K4 risulta, infine, costituito da esemplari coniugati e ribaltati sulla verticale (da cui la distinzione in due sistemi K4.1 e K4.2) che attraversano il sottterraneo in direzione NO-SE con una buona persistenza.

Caratterizzazione geomeccanica dell’ammasso roccioso e delle discontinuità

Caratteristiche del materiale roccioso

Per queste si fa riferimento essenzialmente a dati di bibliografia e di laboratorio (Contratto di ricerca Comune di Carrara con CNR-FIRGET (2002) “Analisi di metodologie di calcolo e sperimentali applicabili nelle valutazioni statiche di coltivazioni di pietra ornamentale”. Con riferimento al progetto N. 1198 “Ricerca sulle metodologie di controllo geostrutturale e di bonifica delle pareti rocciose per la sicurezza dei fronti di cava nell’escavazione della pietra



ornamentale” approvato con D.M. 16/12/1999 (Ministero del lavoro e della previdenza sociale). In sunto si hanno i seguenti valori:

- Resistenza a compressione uniassiale: 70-100 MPa
- Resistenza a trazione: 6.6-10 MPa
- Modulo di elasticità o di Young: 50.000-65.000 MPa
- Resistenza a taglio della roccia intatta: 15-25 MPa
- Angolo di attrito interno del materiale: 35°-45°

Classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso e delle discontinuità.

Per quanto riguarda la classificazione geomeccanica, i criteri di resistenza e le caratteristiche di resistenza delle discontinuità, si rimanda a quanto contenuto nella relazione allegata al piano originario. Infatti, stante le osservazioni di cui sopra, che consentono di poter ritenere affidabili le caratterizzazioni di discontinuità effettuate a suo tempo nei diversi studi, si ritiene che possano ritenersi accettabili anche i possibili range di variazione delle caratteristiche di resistenza delle discontinuità medesime.

Zona Omogenea I

	IMM.	INCL.	σ	2σ	c (MPa)	ϕ_p (°)
K1.1	83°	75°	15.58	25.68	0.00004 ÷ 0.019	38° ÷ 45°
K1.2	260°	74°	17.51	28.92	0.000067 ÷ 0.023	39° ÷ 45°
K2.1	313°	81°	13.81	22.75	0.000055 ÷ 0.008	40° ÷ 45°
K2.2	130°	78°	16.28	26.85	0.000052 ÷ 0.001	42° ÷ 45°
K3	190°	62°	25.28	42.08	0.000077 ÷ 0.012	42° ÷ 45°
K4	360°	71°	9.17	15.07	0.000033 ÷ 0.006	38° ÷ 45°

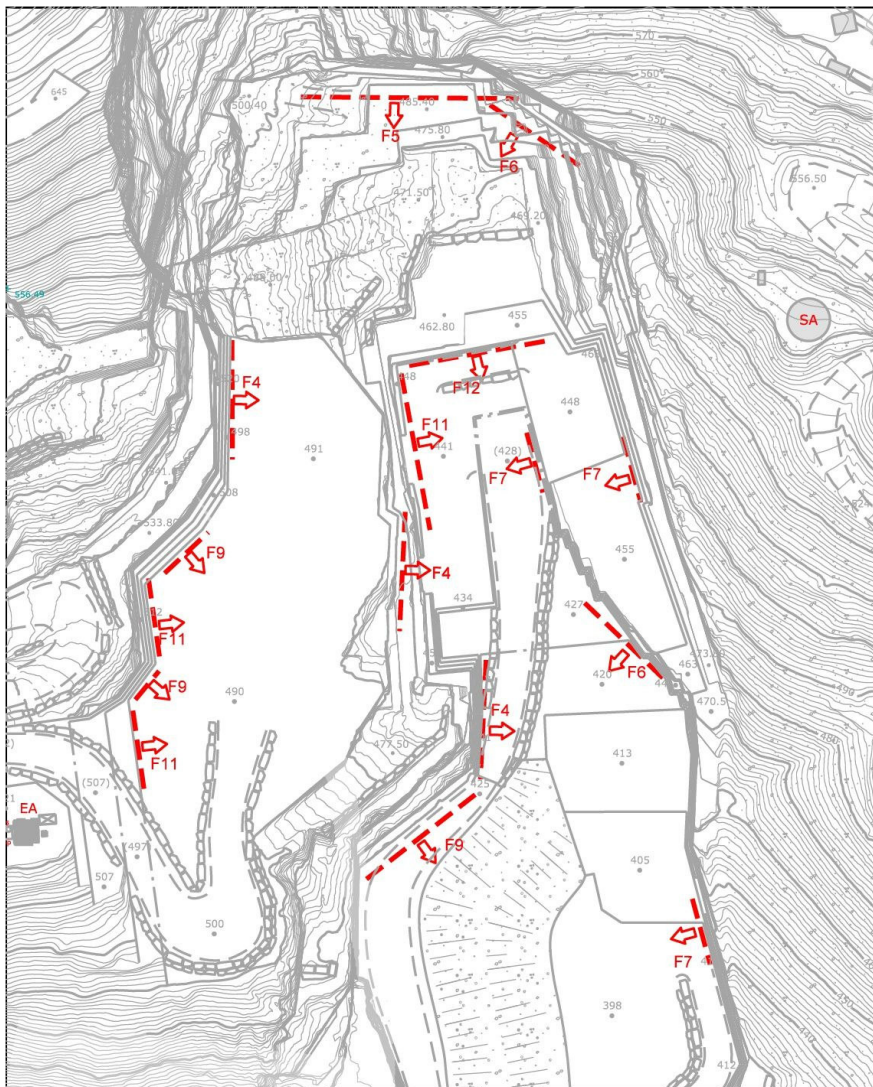
Zona Omogenea II

	IMM.	INCL.	σ	2σ	c (MPa)	ϕ_p (°)
K1.1	310°	83°	12.27	20.20	0 ÷ 0.1	35° ÷ 45°
K1.2	133°	81°	12.37	20.35	0 ÷ 0.1	35° ÷ 43°
K2	93°	72°	18.21	30.08	0 ÷ 0.1	35° ÷ 43°
K3	245°	52°	25.19	41.92	0 ÷ 0.1	35° ÷ 43°
K4.1	175°	77°	13.80	22.74	0 ÷ 0.1	35° ÷ 42°
K4.2	352°	87°	6.18	10.14	0 ÷ 0.1	35° ÷ 43°



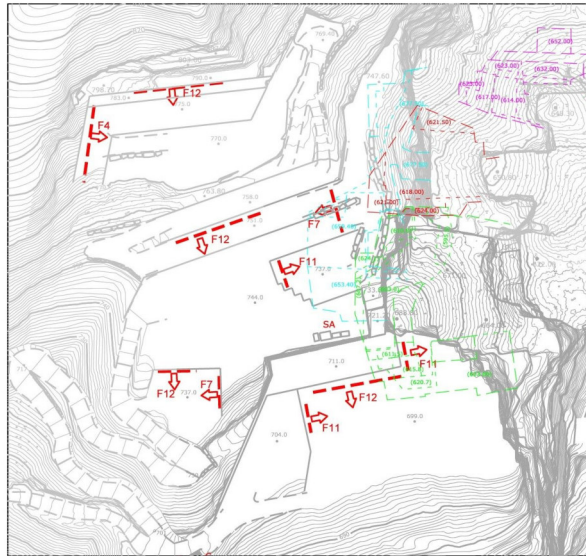
Analisi di stabilità dell'ammasso roccioso

Come già detto in fase di premessa il presente studio trae origine dai diversi studi di stabilità redatti in passato dallo scrivente nelle aree delle cave allo studio. La successiva analisi è stata condotta per le direzioni dei fronti residuali, nel range di variazione di $\pm 10^\circ$, che rappresentavano sia i fronti residuali che le direzioni del progetto autorizzato. Come osservabile negli estratti planimetrici di seguito riportati, le direzioni dei fronti di coltivazione a cielo aperto rimangono gli stessi analizzati già nel progetto recentemente autorizzato. Come descritto sopra le valutazioni eseguite nella recente analisi di stabilità rimangono valide anche per il presente progetto in quanto non si registrano modifiche nella coltivazione.

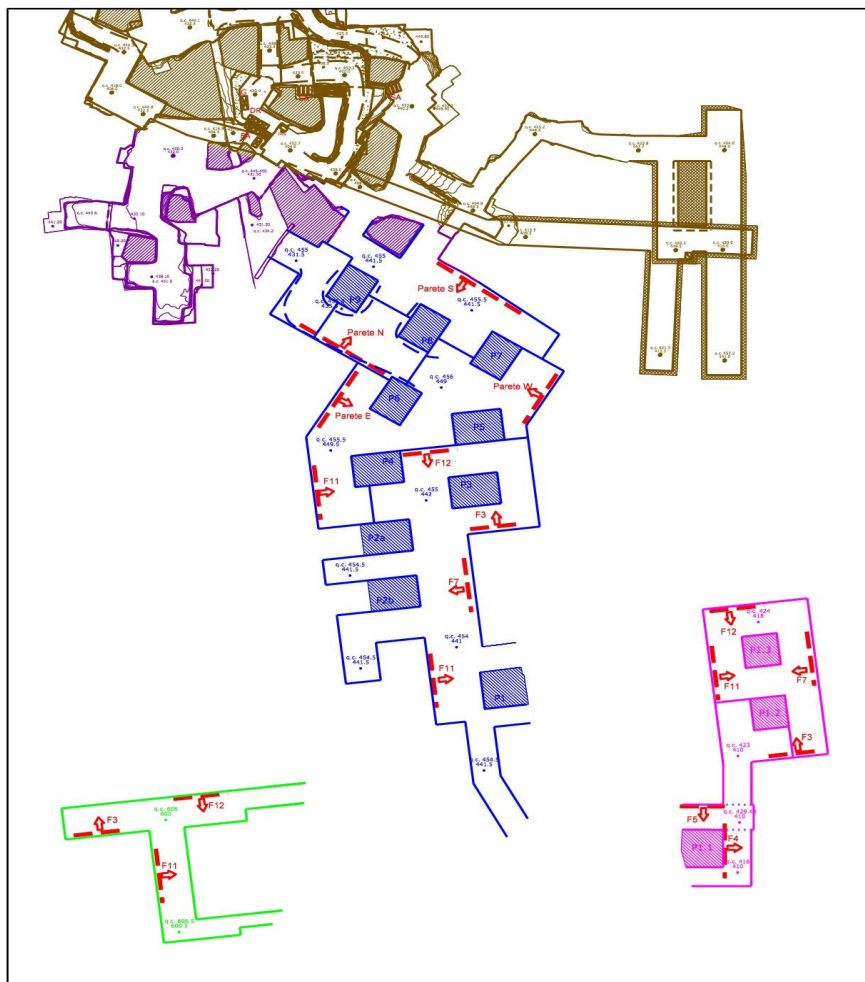


Estratto planimetrico del progetto a cielo aperto con indicate le direzioni medie dei fronti per i cantieri Inferiore, Scaloni e Zucchetto.

COMMITTENTI:	Consorzio "Le Gallerie di Fantascritti"
OGGETTO:	Relazione geomeccanica di stabilità – Piano di coltivazione delle cave Galleria Fantascritti n. 87 e Fantascritti B n. 92
DATA:	Maggio 2026



Estratto planimetrico del progetto con indicate le direzioni medie dei fronti per il cantiere di ripresa dall'alto denominato Superiore della cava n°92 e quelli della cava Verdichiara n°88.



Estratto planimetrico del progetto dei sotterranei con indicate le direzioni medie dei fronti.



Ricerca dei possibili cinematismi

L'analisi di stabilità è stata condotta andando a determinare e verificare i possibili fenomeni di instabilità che si potrebbero venire a creare lungo le direzioni dei vari cantieri a cielo aperto, che come detto corrispondono a quanto valutato nel piano recentemente autorizzato, e nei nuovi cantieri sotterranei. In questo ultimo caso le direzioni dei fronti in avanzamento risultano essere i medesimi di quelli a cielo aperto per cui in particolare sono stati analizzati i prismi potenzialmente instabili a tetto e lungo i piedritti e lo spigolo di tetto degli accessi.

Nel caso di cava in materiale rigido si prevede generalmente un'analisi impostata sulla verifica allo scivolamento di blocchi o cunei rispettivamente su una superficie di scivolamento o su due o più superfici intersecantesi.

L'effettivo movimento delle strutture è legato al verificarsi di altre ulteriori condizioni indispensabili al realizzarsi del cinematismo:

- mancanza di continuità laterale della massa rocciosa,
- effettiva emersione in superficie delle fratture di cui si è accennato sopra,
- dimensioni della struttura fisicamente compatibili con quelle della cava,
- condizione di effettiva persistenza delle discontinuità su tutta la superficie di contatto del cuneo idealizzato, etc.

In modo particolare si ritiene utile evidenziare come in accordo con i primi tre punti il cuneo o il prisma idealmente formati devono essere posti in relazione alla morfologia della cava e dell'area circostante.

In altri termini il prisma deve risultare abbastanza piccolo da far sì che le fratture che lo individuano si sviluppino completamente all'interno delle pareti di cava ed analogamente l'andamento morfologico della superficie topografica sopra il ciglio del fronte deve permettere l'emersione delle suddette fratture, diversamente il cuneo non potrà muoversi o perché "fermato" dai fronti laterali della cava (se è troppo grande) o perché fisicamente congiunto con l'ammasso roccioso se le fratture non emergono sulla superficie di taglio esterna. Differente invece è il problema dei cunei isolabili in situazioni di coltivazione di gradoni in cui alle superfici verticali, magari due concorrenti, del fronte si correlano le superfici orizzontali delle bancate così da far realizzare la possibilità di "chiusura" delle superfici isolanti il cuneo roccioso. In questo caso possono realizzarsi con relativa facilità le condizioni di cui sopra si è fatto un parziale elenco.



Nel caso delle coltivazioni di cava in sotterraneo, la valutazione di stabilità del tetto viene effettuata con i metodi classici di equilibrio al limite allo scivolamento di prismi cinematicamente rimovibili. Per l'analisi prismi di parete si è utilizzato il programma software UNWEDGE[®], sempre di Rocscience Inc., che applica il metodo alle equazioni vettoriali adattato all'approccio del problema (vedasi fig. sottostante) così come illustrato da Hoek e Bray (1980, Underground excavations in rock). Questo software, comunque, utilizza la formulazione di Goodman e Shi per la determinazione dei prismi rimovibili e delle modalità cinematiche di movimento.

In linea di principio possono crearsi anche configurazioni più complesse dovute al sommarsi di più piani di discontinuità (teoria dei blocchi di Goodman e Shi), ma è anche vero che l'esperienza degli ammassi marmorei apuani insegna come siano molto più probabili i fenomeni d'instabilità legati allo scoscendimento di prismi di parete. Questa teoria formulata in termini esclusivamente topologici e di giaciture, permette una valutazione delle condizioni di stabilità dei blocchi in accordo a cinematismi semplici di scivolamento. L'analisi è basata su ipotesi semplificative di discontinuità ubiquitarie e totalmente persistenti all'interno dell'ammasso roccioso, prive di coesione e con giacitura corrispondente a quella media della famiglia cui appartengono. La teoria dei blocchi permette di operare per via grafica considerando le giaciture dei sistemi di discontinuità presenti in un dato settore di massa rocciosa e le giaciture delle pareti libere che lo delimitano.

Affinché un blocco possa muoversi dalla massa rocciosa non può che farlo entro l'insieme delle direzioni libere, che viene definito come spazio della piramide SP, comprendente le direzioni poste al di sopra dei piani rappresentanti il fronte e il piano superiore orizzontale.

Tra i blocchi di tipo rimovibile solo quelli in grado di sviluppare una direzione \hat{s} compatibile e configurante la minore apertura angolare $0 \leq \theta = \cos^{-1}(\hat{s} \times \hat{r}) < 90$ con il versore \hat{r} della risultante delle forze attive, possono eventualmente lasciare la loro sede, o staccandosi da tutti i piani o scivolando su uno o su due piani.

Il verso di possibile eventuale movimento è detto *modo* e per il potenziale scivolamento di un blocco possono sussistere due tipi di modi: lo scivolamento su un piano (modo *i*) o quello lungo la linea d'intersezione di due piani (modo *ij*).



Per cui, tutte le possibili strutture, anche le più complesse, sono delle strutture sottoinsieme di quelle più semplici (il cuneo in particolare) idealizzate da un'eventuale terza, quarta o quinta frattura che riduce una struttura "base" suddividendola in due o più figure. Non a caso il modo di distacco (o tipo di movimento) di queste strutture si riconduce sempre ad uno scivolamento su una superficie o sull'intersezione di due di esse.

Queste considerazioni consentono di eseguire, come si vedrà in seguito, l'analisi in forma parametrica alla ricerca di una modalità generale di dissesto delle diverse strutture identificate con i software di cui sopra, approccio che consente di mantenere le valutazioni su un piano il più generale possibile. Come detto l'analisi è stata quindi condotta per l'immersione media dei fronti di progetto, quelli raggiunti nella configurazione attuale e del cielo del sotterraneo.

Come accennato in precedenza, e rifacendosi alla Key Block Theory, tutte le possibili strutture, anche le più complesse sono delle strutture sottoinsieme di quelle più semplici idealizzate da un'eventuale quarta o quinta frattura che riduce una struttura "base" suddividendola in due o più figure. Non a caso il modo di distacco (o tipo di movimento) di queste strutture si riconduce sempre ad uno scivolamento su una superficie o sull'intersezione di due di esse.

Alle pagine seguenti si riportano invece le tabelle con indicate, per ciascun cinematismo possibile, le combinazioni interessate relativamente a ciascuna direzione di immersione media di analisi.

Nel seguito pertanto per sola comodità di lettura si riportano le tabelle relative ai cinematismi di scivolamento per ciascuna direzione media dei fronti attuali e di progetto a cielo aperto contenute nella relazione di stabilità allegata al piano di coltivazione autorizzato e al quale il presente aggiornamento di stabilità si riferisce.

Essendo i fronti dei cantieri sotterranei del tutto identici a quelli esterni (a meno di pochi gradi) le successive valutazioni sono valide anche per tutte le gallerie, ricordando che per la porzione profonda del sotterraneo W della cava n°92 e per la cava n°87 viene considerata la zona omogenea II. Per il sotterraneo superiore della cava n°87 si considera appartenente alla zona omogenea I in quanto molto più superficiale delle precedenti. A tutte si aggiunge la stabilità del tetto delle gallerie.



Pareti dei cantieri a cielo aperto e dei sotterranei E e W (porzione meno profonda) della cava n°92 e del sotterraneo alto della cava n°87.

n°	Combinazione	F3 Imm.358°	F4 Imm.95°	F5 Imm.180°	F6 Imm.115°
1	K1.1 - K1.2 - K2.1	Scivola su K1.1 - K2.1 (23°/61°)	Scivola su K1.1 (84°/75°)	Scivola su K1.2 (261°/76°)	Scivola su K1.1 - K1.2 (172°/6°)
2	K1.1 - K1.2 - K2.2	Stabile	Scivola su K1.1 - K2.2 (100°/74°)	Scivola su K2.2 (127°/76°)	Scivola su K2.2 (127°/76°)
3	K1.1 - K1.2 - K3	Stabile	Scivola su K1.1 - K3 (151°/55°)	Scivola su K3 (191°/62°)	Scivola su K3 (191°/62°)
4	K1.1 - K1.2 - K4	Scivola su K4 (357°/70°)	Scivola su K1.1 (84°/75°)	Scivola su K1.1 - K1.2 (172°/6°)	Scivola su K1.1 (84°/75°)
5	K1.1 - K2.1 - K2.2	Scivola su K1.1 - K2.1 (23°/61°)	Scivola su K1.1 (84°/75°)	Scivola su K2.2 (127°/76°)	Scivola su K1.1 - K2.2 (100°/74°)
6	K1.1 - K2.1 - K3	Scivola su K1.1 - K2.1 (23°/61°)	Scivola su K1.1 (84°/75°)	Scivola su K3 (191°/62°)	Scivola su K1.1 - K3 (151°/55°)
7	K1.1 - K2.1 - K4	Scivola su K2.1 - K4 (14°/69°)	Scivola su K2.1 - K4 (14°/69°)	Stabile	Scivola su K1.1 (84°/75°)
8	K1.1 - K2.2 - K3	Stabile	Scivola su K1.1 - K2.2 (100°/74°)	Scivola su K2.2 (127°/76°)	Scivola su K2.2 (127°/76°)
9	K1.1 - K2.2 - K4	Scivola su K1.1 - K4 (31°/66°)	Scivola su K1.1 (84°/75°)	Scivola su K2.2 (127°/76°)	Scivola su K1.1 (84°/75°)
10	K1.1 - K3 - K4	Scivola su K4 (357°/70°)	Scivola su K1.1 (84°/75°)	Scivola su K1.1 - K3 (151°/55°)	Scivola su K1.1 (84°/75°)
11	K1.2 - K2.1 - K2.2	Scivola su K2.1 - K2.2 (40°/12°)	Scivola su K2.1 - K2.2 (40°/12°)	Scivola su K1.2 (261°/76°)	Scivola su K2.2 (127°/76°)
12	K1.2 - K2.1 - K3	Stabile	Stabile	Scivola su K1.2 (261°/76°)	Scivola su K3 (191°/62°)
13	K1.2 - K2.1 - K4	Scivola su K4 (357°/70°)	Scivola su K2.1 - K4 (14°/69°)	Scivola su K1.2 (261°/76°)	Stabile
14	K1.2 - K2.2 - K3	Stabile	Stabile	Scivola su K3 (191°/62°)	Scivola su K3 (191°/62°)
15	K1.2 - K2.2 - K4	Scivola su K4 (357°/70°)	Scivola su K2.2 - K4 (57°/54°)	Scivola su K1.2 - K2.2 (194°/57°)	Scivola su K2.2 (127°/76°)
16	K1.2 - K3 - K4	Scivola su K1.2 - K4 (319°/65°)	Stabile	Scivola su K3 (191°/62°)	Scivola su K3 (191°/62°)
17	K2.1 - K2.2 - K3	Scivola su K2.1 - K2.2 (40°/12°)	Scivola su K2.1 - K2.2 (40°/12°)	Scivola su K3 (191°/62°)	Scivola su K2.2 (127°/76°)
18	K2.1 - K2.2 - K4	Scivola su K2.1 - K4 (14°/69°)	Scivola su K2.1 - K4 (14°/69°)	Stabile	Scivola su K2.2 - K4 (57°/54°)
19	K2.1 - K3 - K4	Scivola su K4 (357°/70°)	Scivola su K2.1 - K4 (14°/69°)	Scivola su K3 (191°/62°)	Stabile
20	K2.2 - K3 - K4	Scivola su K4 (357°/70°)	Scivola su K2.2 - K4 (57°/54°)	Scivola su K2.2 - K3 (189°/62°)	Scivola su K2.2 (127°/76°)

n°	Combinazione	F7 Imm.250°	F9 Imm.150°	F11 Imm.75°	F12 Imm.160°
1	K1.1 - K1.2 - K2.1	Scivola su K1.1 - K2.1 (261°/76°)	Scivola su K1.1 - K1.2 (172°/6°)	Scivola su K1.1 - K2.1 (23°/61°)	Scivola su K1.1 - K1.2 (172°/6°)
2	K1.1 - K1.2 - K2.2	Scivola su K1.2 - K2.2 (194°/57°)	Scivola su K2.2 (127°/76°)	Scivola su K1.1 (84°/75°)	Scivola su K2.2 (127°/76°)
3	K1.1 - K1.2 - K3	Scivola su K1.2 - K3 (199°/62°)	Scivola su K3 (191°/62°)	Scivola su K1.1 (84°/75°)	Scivola su K3 (191°/62°)
4	K1.1 - K1.2 - K4	Scivola su K1.2 (261°/76°)	Scivola su K1.1 - K1.2 (172°/6°)	Scivola su K1.1 - K4 (31°/66°)	Scivola su K1.1 - K1.2 (172°/6°)
5	K1.1 - K2.1 - K2.2	Stabile	Scivola su K2.2 (127°/76°)	Scivola su K1.1 (84°/75°)	Scivola su K2.2 (127°/76°)
6	K1.1 - K2.1 - K3	Scivola su K2.1 - K3 (236°/53°)	Scivola su K3 (191°/62°)	Scivola su K1.1 (84°/75°)	Scivola su K3 (191°/62°)
7	K1.1 - K2.1 - K4	Stabile	Stabile	Scivola su K2.1 - K4 (14°/69°)	Stabile
8	K1.1 - K2.2 - K3	Scivola su K3 (191°/62°)	Scivola su K2.2 (127°/76°)	Scivola su K1.1 - K2.2 (100°/74°)	Scivola su K2.2 (127°/76°)
9	K1.1 - K2.2 - K4	Stabile	Scivola su K2.2 (127°/76°)	Scivola su K1.1 (84°/75°)	Scivola su K2.2 (127°/76°)
10	K1.1 - K3 - K4	Scivola su K3 - K4 (273°/15°)	Scivola su K1.1 - K3 (151°/55°)	Scivola su K1.1 (84°/75°)	Scivola su K1.1 - K3 (151°/55°)
11	K1.2 - K2.1 - K2.2	Scivola su K1.2 (261°/76°)	Scivola su K1.2 - K2.2 (194°/57°)	Scivola su K2.1 - K2.2 (40°/12°)	Scivola su K1.2 - K2.2 (194°/57°)
12	K1.2 - K2.1 - K3	Scivola su K1.2 (261°/76°)	Scivola su K1.2 - K3 (199°/62°)	Stabile	Scivola su K1.2 - K3 (199°/62°)
13	K1.2 - K2.1 - K4	Scivola su K1.2 - K2.1 (267°/76°)	Stabile	Scivola su K2.1 - K4 (14°/69°)	Stabile
14	K1.2 - K2.2 - K3	Scivola su K3 (191°/62°)	Scivola su K3 (191°/62°)	Stabile	Scivola su K3 (191°/62°)
15	K1.2 - K2.2 - K4	Scivola su K1.2 - K2.2 (194°/57°)	Scivola su K1.2 - K2.2 (194°/57°)	Scivola su K2.2 - K4 (57°/54°)	Scivola su K1.2 - K2.2 (194°/57°)
16	K1.2 - K3 - K4	Scivola su K1.2 (261°/76°)	Scivola su K3 (191°/62°)	Stabile	Scivola su K3 (191°/62°)
17	K2.1 - K2.2 - K3	Scivola su K3 (191°/62°)	Scivola su K3 (191°/62°)	Scivola su K2.1 - K2.2 (40°/12°)	Scivola su K3 (191°/62°)
18	K2.1 - K2.2 - K4	Stabile	Stabile	Scivola su K2.1 - K4 (14°/69°)	Stabile
19	K2.1 - K3 - K4	Scivola su K2.1 - K3 (236°/53°)	Scivola su K3 (191°/62°)	Scivola su K2.1 - K4 (14°/69°)	Scivola su K3 (191°/62°)
20	K2.2 - K3 - K4	Scivola su K3 (191°/62°)	Scivola su K2.2 - K3 (189°/62°)	Scivola su K2.2 - K4 (57°/54°)	Scivola su K2.2 - K3 (189°/62°)

n°	Combinazione	F3 Imm.358°	F4 Imm.95°	F5 Imm.180°	F6 Imm.115°
1	K1.1 - K1.2	Non si forma	Scivola su K1.1 - K1.2 (172°/6°)	Scivola su K1.1 - K1.2 (172°/6°)	Scivola su K1.1 - K1.2 (172°/6°)
2	K1.1 - K2.1	Scivola su K1.1 - K2.1 (23°/61°)	Non si forma	Non si forma	Non si forma
3	K1.1 - K2.2	Non si forma	Non si forma	Scivola su K2.2 (127°/76°)	Scivola su K1.1 - K2.2 (100°/74°)
4	K1.1 - K3	Non si forma	Scivola su K1.1 - K3 (151°/55°)	Scivola su K1.1 - K3 (151°/55°)	Scivola su K1.1 - K3 (151°/55°)
5	K1.1 - K4	Scivola su K1.1 - K4 (31°/66°)	Scivola su K1.1 (84°/75°)	Non si forma	Scivola su K1.1 (84°/75°)
6	K1.2 - K2.1	Non si forma	Non si forma	Non si forma	Scivola su K1.2 (261°/76°)
7	K1.2 - K2.2	Non si forma	Non si forma	Scivola su K1.2 - K2.2 (194°/57°)	Non si forma
8	K1.2 - K3	Non si forma	Non si forma	Scivola su K3 (191°/62°)	Scivola su K3 (191°/62°)
9	K1.2 - K4	Scivola su K4 (357°/70°)	Non si forma	Non si forma	Non si forma
10	K2.1 - K2.2	Scivola su K2.1 - K2.2 (40°/12°)	Scivola su K2.1 - K2.2 (40°/12°)	Non si forma	Scivola su K2.1 - K2.2 (40°/12°)
11	K2.1 - K3	Non si forma	Non si forma	Scivola su K3 (191°/62°)	Non si forma
12	K2.1 - K4	Scivola su K2.1 - K4 (14°/69°)	Scivola su K2.1 - K4 (14°/69°)	Non si forma	Non si forma
13	K2.2 - K3	Non si forma	Non si forma	Scivola su K2.2 - K3 (189°/62°)	Scivola su K2.2 - K3 (189°/62°)
14	K2.2 - K4	Scivola su K2.2 - K4 (57°/54°)	Scivola su K2.2 - K4 (57°/54°)	Non si forma	Scivola su K2.2 - K4 (57°/54°)
15	K3 - K4	Scivola su K4 (357°/70°)	Non si forma	Non si forma	Non si forma

n°	Combinazione	F7 Imm.250°	F9 Imm.150°	F11 Imm.75°	F12 Imm.160°
1	K1.1 - K1.2	Scivola su K1.1 - K1.2 (172°/6°)	Scivola su K1.1 - K1.2 (172°/6°)	Non si forma	Scivola su K1.1 - K1.2 (172°/6°)
2	K1.1 - K2.1	Non si forma	Non si forma	Scivola su K1.1 - K2.1 (23°/61°)	Non si forma
3	K1.1 - K2.2	Non si forma	Scivola su K2.2 (127°/76°)	Scivola su K1.1 (84°/75°)	Scivola su K2.2 (127°/76°)
4	K1.1 - K3	Non si forma	Scivola su K1.1 - K3 (151°/55°)	Scivola su K1.1 (84°/75°)	Scivola su K1.1 - K3 (151°/55°)
5	K1.1 - K4	Non si forma	Non si forma	Scivola su K1.1 - K4 (31°/66°)	Non si forma
6	K1.2 - K2.1	Scivola su K1.2 (261°/76°)	Non si forma	Non si forma	Non si forma
7	K1.2 - K2.2	Scivola su K1.2 - K2.2 (194°/57°)	Scivola su K1.2 - K2.2 (194°/57°)	Non si forma	Scivola su K1.2 - K2.2 (194°/57°)
8	K1.2 - K3	Scivola su K1.2 - K3 (199°/62°)	Scivola su K3 (191°/62°)	Non si forma	Scivola su K3 (191°/62°)
9	K1.2 - K4	Scivola su K1.2 (261°/76°)	Non si forma	Non si forma	Non si forma
10	K2.1 - K2.2	Non si forma	Non si forma	Scivola su K2.1 - K2.2 (40°/12°)	Non si forma
11	K2.1 - K3	Scivola su K2.1 - K3 (236°/53°)	Scivola su K3 (191°/62°)	Non si forma	Scivola su K3 (191°/62°)
12	K2.1 - K4	Non si forma	Non si forma	Scivola su K2.1 - K4 (14°/69°)	Non si forma
13	K2.2 - K3	Scivola su K3 (191°/62°)	Scivola su K2.2 - K3 (189°/62°)	Non si forma	Scivola su K2.2 - K3 (189°/62°)
14	K2.2 - K4	Non si forma	Non si forma	Scivola su K2.2 - K4 (57°/54°)	Non si forma
15	K3 - K4	Scivola su K3 - K4 (273°/15°)	Non si forma	Non si forma	Non si forma

COMMITTENTI: Consorzio "Le Gallerie di Fantiscritti"

OGGETTO: Relazione geomeccanica di stabilità - Piano di coltivazione delle cave Galleria Fantiscritti n. 87 e Fantiscritti B n. 92

DATA: Maggio 2026



Tetto dei sotterranei E e W (porzione meno profonda) della cava n°92 e del sotterraneo alto della cava n°87

n°	Combinazione	Tetto
1	K1.1 - K1.2 - K2.1	Distacco Totale
2	K1.1 - K1.2 - K2.2	Scivola su K2.2 (130°/77°)
3	K1.1 - K1.2 - K3	Scivola su K3 (191°/61°)
4	K1.1 - K1.2 - K4	Distacco Totale
5	K1.1 - K2.1 - K2.2	Scivola su K1.1 (83°/75°)
6	K1.1 - K2.1 - K3	Distacco Totale
7	K1.1 - K2.1 - K4	Scivola su K2.1 - K4 (13°/71°)
8	K1.1 - K2.2 - K3	Scivola su K2.2 (130°/77°)
9	K1.1 - K2.2 - K4	Scivola su K1.1 (83°/75°)
10	K1.1 - K3 - K4	Distacco Totale
11	K1.2 - K2.1 - K2.2	Distacco Totale
12	K1.2 - K2.1 - K3	Scivola su K1.2 (260°/75°)
13	K1.2 - K2.1 - K4	Scivola su K2.1 (313°/80°)
14	K1.2 - K2.2 - K3	Scivola su K2.2 - K3 (195°/61°)
15	K1.2 - K2.2 - K4	Distacco Totale
16	K1.2 - K3 - K4	Scivola su K1.2 (260°/75°)
17	K2.1 - K2.2 - K3	Scivola su K2.2 (130°/77°)
18	K2.1 - K2.2 - K4	Scivola su K2.1 - K4 (13°/71°)
19	K2.1 - K3 - K4	Scivola su K2.1 (313°/80°)
20	K2.2 - K3 - K4	Distacco Totale

Cinematismi dei cantieri sotterranei W (porzione più profonda) della cava n°92 e del sotterraneo già esistente della cava n°87.

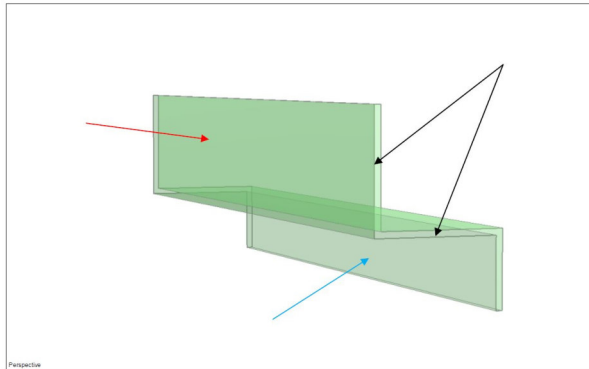
Cinematismi per immersione media di analisi				
n°	Combinazione	Tetto	Parere S (imm.200°)	Parete N (imm. 20°)
1	K1.1 - K1.2 - K2	Distacco Totale	Scivola su K1.1 - K1.2 (221°/11°)	Scivola su K1.2 - K2 (70°/70°)
2	K1.1 - K1.2 - K3	Scivola K1.1 - K3 (229°/51°)	Scivola K1.1 - K3 (229°/51°)	Stabile
3	K1.1 - K1.2 - K4.1	Scivola K1.2 - K4.1 (180°/77°)	Scivola K1.2 - K4.1 (180°/77°)	Stabile
4	K1.1 - K1.2 - K4.2	Distacco Totale	Scivola su K1.1 - K4.2 (285°/82°)	Scivola su K1.2 - K4.2 (73°/72°)
5	K1.1 - K2 - K3	Distacco Totale	Scivola K1.1 - K3 (229°/51°)	Scivola su K1.1 - K2 (30°/54°)
6	K1.1 - K2 - K4.1	Distacco Totale	Scivola su K4.1 (175°/77°)	Scivola su K1.1 - K2 (30°/54°)
7	K1.1 - K2 - K4.2	Scivola su K4.2 (352°/87°)	Scivola su K1.1 - K4.2 (285°/82°)	Scivola su K2 - K4.2 (73°/71°)
8	K1.1 - K3 - K4.1	Scivola K1.1 - K4.1 (236°/65°)	Scivola K1.1 - K4.1 (236°/65°)	Stabile
9	K1.1 - K3 - K4.2	Scivola su K1.1 - K4.2 (285°/82°)	Scivola su K1.1 - K4.2 (285°/82°)	Stabile
10	K1.1 - K4.1 - K4.2	Scivola su K1.1 - K4.2 (285°/82°)	Scivola su K1.1 - K4.2 (285°/82°)	Stabile
11	K1.2 - K2 - K3	Scivola su K1.2 (133°/81°)	Scivola su K1.2 - K3 (213°/47°)	Scivola su K1.2 - K2 (70°/70°)
12	K1.2 - K2 - K4.1	Scivola su K1.2 (133°/81°)	Scivola su K4.1 (175°/77°)	Scivola su K1.2 - K2 (70°/70°)
13	K1.2 - K2 - K4.2	Scivola su K1.2 - K4.2 (73°/72°)	Scivola su K1.2 - K4.2 (73°/72°)	Stabile
14	K1.2 - K3 - K4.1	Scivola K1.2 - K4.1 (180°/77°)	Scivola K1.2 - K4.1 (180°/77°)	Stabile
15	K1.2 - K3 - K4.2	Distacco Totale	Scivola su K3 (245°/52°)	Scivola su K1.2 - K4.2 (73°/72°)
16	K1.2 - K4.1 - K4.2	Distacco Totale	Scivola K1.2 - K4.1 (180°/77°)	Scivola su K1.2 - K4.2 (73°/72°)
17	K2 - K3 - K4.1	Scivola su K4.1 (175°/77°)	Scivola su K4.1 (175°/77°)	Stabile
18	K2 - K3 - K4.2	Distacco Totale	Scivola su K3 (245°/52°)	Scivola su K2 - K4.2 (73°/71°)
19	K2 - K4.1 - K4.2	Distacco Totale	Scivola su K4.1 (175°/77°)	Scivola su K2 - K4.2 (73°/71°)
20	K3 - K4.1 - K4.2	Scivola su K3 - K4.1 (248°/52°)	Scivola su K3 - K4.1 (248°/52°)	Stabile

Cinematismi per immersione media di analisi				
n°	Combinazione	Parete W - (Imm. 290°)	Parete E - (Imm. 110°)	
1	K1.1 - K1.2 - K2	Scivola su K1.2 - K1.2 (221°/11°)	Scivola su K1.2 - K2 (70°/70°)	
2	K1.1 - K1.2 - K3	Scivola K1.1 - K3 (229°/51°)	Stabile	
3	K1.1 - K1.2 - K4.1	Scivola K1.1 - K4.1 (236°/65°)	Scivola su K1.2 (133°/81°)	
4	K1.1 - K1.2 - K4.2	Scivola su K1.1 - K4.2 (285°/82°)	Scivola su K1.2 - K4.2 (73°/72°)	
5	K1.1 - K2 - K3	Scivola su K3 (245°/52°)	Scivola su K2 (93°/72°)	
6	K1.1 - K2 - K4.1	Scivola K1.1 - K4.1 (236°/65°)	Scivola su K2 (93°/72°)	
7	K1.1 - K2 - K4.2	Scivola su K1.1 - K4.2 (285°/82°)	Scivola su K2 - K4.2 (73°/71°)	
8	K1.1 - K3 - K4.1	Scivola K1.1 - K4.1 (236°/65°)	Stabile	
9	K1.1 - K3 - K4.2	Scivola su K1.1 - K4.2 (285°/82°)	Stabile	
10	K1.1 - K4.1 - K4.2	Scivola su K1.1 - K4.2 (285°/82°)	Stabile	
11	K1.2 - K2 - K3	Scivola su K3 (245°/52°)	Scivola su K2 (93°/72°)	
12	K1.2 - K2 - K4.1	Stabile	Scivola su K1.2 (133°/81°)	
13	K1.2 - K2 - K4.2	Stabile	Scivola su K1.2 - K4.2 (73°/72°)	
14	K1.2 - K3 - K4.1	Scivola su K3 (245°/52°)	Scivola su K1.2 (133°/81°)	
15	K1.2 - K3 - K4.2	Scivola su K3 (245°/52°)	Scivola su K1.2 - K4.2 (73°/72°)	
16	K1.2 - K4.1 - K4.2	Scivola su K4.1 - K4.2 (263°/10°)	Scivola su K1.2 (133°/81°)	
17	K2 - K3 - K4.1	Scivola su K3 - K4.1 (248°/52°)	Scivola su K2 - K4.1 (123°/69°)	
18	K2 - K3 - K4.2	Scivola su K3 - K4.2 (266°/50°)	Scivola su K2 (93°/72°)	
19	K2 - K4.1 - K4.2	Scivola su K4.1 - K4.2 (263°/10°)	Scivola su K2 (93°/72°)	
20	K3 - K4.1 - K4.2	Scivola su K3 - K4.1 (248°/52°)	Stabile	

COMMITTENTI: Consorzio "Le Gallerie di Fantiscritti"
OGGETTO: Relazione geomeccanica di stabilità – Piano di coltivazione delle cave Galleria Fantiscritti n. 87 e Fantiscritti B n. 92
DATA: Maggio 2026



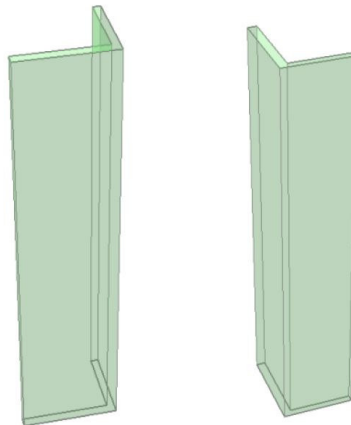
A questi si aggiungono i possibili cinematismi che possono innescarsi lungo i piedritti e gli spigoli di tetto del secondo portali da realizzarsi per il cantiere Sotterraneo basale W, quello quello alto W e del Sotterraneo E. L'analisi è stata compiuta con il software Unwedge che consente di effettuare tale analisi considerando unicamente una larghezza indefinita dell'apertura così come rappresentato nel seguito.



Esemplificazione di calcolo con cui è stato idealizzato lo spigolo di tetto. La freccia rossa indica la parete esterna, la freccia celeste il fronte di avanzamento in sotterraneo e le frecce nere l'area di spigolo in cui si potrebbero eventualmente realizzare strutture cinematicamente rimovibili.

I risultati dell'analisi cinematica sono riportati nella tabella seguente in cui laddove è indicato tetto o parete si fa riferimento a possibili blocchi che si formano nelle singole superficie e non all'intersezione tra le stesse (spigolo). E' da evidenziare che la formazione dei blocchi di spigolo che si potrebbero formare a cielo del sotterraneo è da mettere in correlazione con le dimensioni dell'apertura del sotterraneo. E' evidente come blocchi di larghezza maggiore dell'apertura di progetto (12 m ca.) siano in realtà sempre e comunque non rimovibili in quanto poggiati sui due piedritti laterali, non rappresentabili e configurabili con il software utilizzato nell'analisi.

Come già specificato sopra sono stati anche analizzati tutti i possibili cinematismi di scivolamento che potrebbero originarsi lungo i due piedritti laterali delle aperture di progetto. L'analisi è stata compiuta con il medesimo software Unwedge che consente di effettuare tale analisi mediante una ricostruzione grafica di cui nell'immagine seguente si riporta un estratto.



Esemplificazione di calcolo con cui sono stati idealizzati i due piedritti laterali destro e sinistro di ciascuna delle aperture di progetto.

L'analisi è stata condotta sui due piedritti, uno immergente mediamente a S e l'altro immergente mediamente a N, del portale da realizzarsi sul fronte F4 e sui piedritti N e S del portale da realizzarsi sul fronte F7 per il sotterraneo Est .

Portale Galleria W				
n°	Combinazione	Piedritto S	Piedritto N	Spigoli di Tetto Portali W (Fronte 90°)
1	K1.1 - K1.2 - K2.1	Scivola su K1.1 - K2.1 (23°/62°)	Scivola su K1.1 - K1.2 (171°/6°)	Scivola su K2.1 (313°/80°)
2	K1.1 - K1.2 - K2.2	Scivola su K1.1 (83°/75°)	Scivola su K1.1 - K1.2 (172°/6°)	Distacco Totale
3	K1.1 - K1.2 - K3	Stabile	Scivola su K3 (191°/62°)	Distacco Totale
4	K1.1 - K1.2 - K4	Scivola su K1.1 - K4 (33°/68°)	Scivola su K1.1 - K1.2 (171°/6°)	Scivola su K4 (360°/71°)
5	K1.1 - K2.1 - K2.2	Scivola su K1.1 (83°/75°)	Scivola su K2.2 (130°/77°)	Scivola su K1.1 (83°/75°)
6	K1.1 - K2.1 - K3	Scivola su K1.1 - K2.1 (23°/62°)	Scivola su K1.1 - K3 (149°/53°)	Distacco Totale
7	K1.1 - K2.1 - K4	Scivola su K2.1 - K4 (13°/71°)	Stabile	Scivola su K2.1 - K4 (13°/71°)
8	K1.1 - K2.2 - K3	Scivola su K1.1 (83°/75°)	Scivola su K2.2 (130°/77°)	Scivola su K2.2 (130°/77°)
9	K1.1 - K2.2 - K4	Scivola su K1.1 (83°/75°)	Scivola su K1.1 - K2.2 (89°/73°)	Scivola su K1.1 (83°/75°)
10	K1.1 - K3 - K4	Scivola su K1.1 - K4 (33°/68°)	Scivola su K1.1 - K3 (149°/53°)	Scivola su K1.1 (83°/75°)
11	K1.2 - K2.1 - K2.2	Scivola su K2.1 - K2.2 (42°/7°)	Scivola su K1.2 - K2.2 (197°/59°)	Distacco Totale
12	K1.2 - K2.1 - K3	Stabile	Scivola su K3 (191°/62°)	Non si forma
13	K1.2 - K2.1 - K4	Scivola su K2.1 - K4 (13°/71°)	Stabile	Scivola su K2.1 (313°/80°)
14	K1.2 - K2.2 - K3	Stabile	Scivola su K2.2 - K3 (195°/61°)	Non si forma
15	K1.2 - K2.2 - K4	Scivola su K2.2 - K4 (60°/56°)	Scivola su K2.2 (130°/77°)	Distacco Totale
16	K1.2 - K3 - K4	Stabile	Scivola su K3 (191°/62°)	Distacco Totale
17	K2.1 - K2.2 - K3	Scivola su K2.2 - K3 (195°/61°)	Scivola su K3 (191°/62°)	Distacco Totale
18	K2.1 - K2.2 - K4	Scivola su K2.1 - K4 (13°/71°)	Scivola su K2.2 (130°/77°)	Scivola su K2.1 - K4 (13°/71°)
19	K2.1 - K3 - K4	Scivola su K2.1 - K4 (13°/71°)	Stabile	Distacco Totale
20	K2.2 - K3 - K4	Scivola su K2.2 - K4 (60°/56°)	Scivola su K2.2 (130°/77°)	Scivola su K2.2 (130°/77°)

Portale Galleria E				
n°	Combinazione	Piedritto S	Piedritto N	Spigolo di Tetto S (Fronte 255°)
1	K1.1 - K1.2 - K2.1	Scivola su K2.1 (313°/80°)	Scivola su K1.2 (260°/75°)	Distacco Totale
2	K1.1 - K1.2 - K2.2	Stabile	Scivola su K1.2 - K2.2 (197°/59°)	Scivola su K2.2 (130°/77°)
3	K1.1 - K1.2 - K3	Stabile	Scivola su K3 (191°/62°)	Scivola su K3 (191°/62°)
4	K1.1 - K1.2 - K4	Scivola su K4 (360°/71°)	Scivola su K1.1 - K1.2 (171°/6°)	Distacco Totale
5	K1.1 - K2.1 - K2.2	Scivola su K1.1 - K2.1 (23°/62°)	Stabile	Distacco Totale
6	K1.1 - K2.1 - K3	Scivola su K2.1 (313°/80°)	Scivola su K3 (191°/62°)	Distacco Totale
7	K1.1 - K2.1 - K4	Scivola su K2.1 - K4 (13°/71°)	Stabile	Non si forma
8	K1.1 - K2.2 - K3	Stabile	Scivola su K3 (191°/62°)	Scivola su K2.2 (130°/77°)
9	K1.1 - K2.2 - K4	Scivola su K4 (360°/71°)	Stabile	Scivola su K1.1 (83°/75°)
10	K1.1 - K3 - K4	Scivola su K4 (360°/71°)	Scivola su K3 (191°/62°)	Distacco Totale
11	K1.2 - K2.1 - K2.2	Scivola su K2.1 (313°/80°)	Scivola su K1.2 (260°/75°)	Scivola su K1.2 (260°/75°)
12	K1.2 - K2.1 - K3	Scivola su K1.2 - K2.1 (264°/75°)	Scivola su K1.2 (260°/75°)	Scivola su K1.2 (260°/75°)
13	K1.2 - K2.1 - K4	Scivola su K2.1 (313°/80°)	Scivola su K1.2 (260°/75°)	Scivola su K2.1 (313°/80°)
14	K1.2 - K2.2 - K3	Stabile	Scivola su K2.2 - K3 (195°/61°)	Scivola su K2.2 - K3 (195°/61°)
15	K1.2 - K2.2 - K4	Scivola su K1.2 - K4 (316°/64°)	Scivola su K2.2 - K3 (195°/61°)	Distacco Totale
16	K1.2 - K3 - K4	Scivola su K1.2 - K4 (316°/64°)	Scivola su K1.2 - K4 (316°/64°)	Scivola su K1.2 (260°/75°)
17	K2.1 - K2.2 - K3	Scivola su K2.1 (313°/80°)	Scivola su K2.2 - K3 (195°/61°)	Scivola su K2.2 - K3 (195°/61°)
18	K2.1 - K2.2 - K4	Scivola su K4 (360°/71°)	Stabile	Distacco Totale
19	K2.1 - K3 - K4	Scivola su K4 (360°/71°)	Scivola su K2.1 - K3 (236°/52°)	Scivola su K2.1 (313°/80°)
20	K2.2 - K3 - K4	Scivola su K3 - K4 (274°/12°)	Scivola su K2.2 - K3 (195°/61°)	Distacco Totale



In relazione allo studio odierno, così come per i progetti precedenti e ugualmente per quelli futuri, l'identificazione di tali cinematismi serve da linea guida per la possibile previsione di eventuali strutture instabili durante la realizzazione degli avanzamenti di progetto e che comunque possono essere controllate ed eventualmente consolidate e/o rimosse durante le normali operazioni di cava. Le valutazioni di cui sopra, si ricorda, hanno avuto valore di ausilio per una previsione generale di tipo statistico durante tutti gli avanzamenti eseguiti sino a raggiungere la configurazione attuale.

Anche per quanto riguarda i portali, quanto riportato sopra serve da linea guida nel momento in cui si realizzeranno le nuove aperture.

Verifica di stabilità dei fronti attuali

Cava Fantiscritti B n°92

Nel seguito verranno analizzate le condizioni di stabilità dei fronti descritti in precedenza nella configurazione attuale raggiunta dalle lavorazioni della cava Fantiscritti B n°92.

Cantiere Inferiore

Per quel che concerne le verifiche generali di stabilità circa le possibilità cinematiche si rimanda integralmente alle relazioni allegate al progetto autorizzato in quanto le coltivazioni a cielo aperto si stanno svolgendo lungo le direzioni del progetto autorizzato.

Attualmente le lavorazioni nei cantieri bassi della cava denominata Fantiscritti B n°92 procedono secondo il progetto approvato e si sviluppano in direzione ca. N su diversi piazzali a partire dalle quote di 462,8 nella zona Nord sino ad arrivare a quota ca. 415,5 m, dove è in fase di apertura lo sbasso a quota 412 che risulta essere l'ultimo sbasso ad oggi autorizzato. Dall'ultimo aggiornamento di stabilità sono state eseguite le lavorazioni in avanzamento in direzione N, al di sotto del cantiere Scaloni, del piazzale posto a quota 448 ca. da cui è stata realizzato l'accesso N del cantiere sotterraneo Ovest. Risulta in fase di prosecuzione il nuovo sbasso a quota 444 m ca.. I fronti principali soprastanti i suddetti cantieri bassi in lavorazione sono i medesimi ormai da diversi anni e nel tempo intercorso tra l'analisi di stabilità allegata al piano di coltivazione ed oggi sono stati eseguiti unicamente degli abbassamenti di quota come previsto dal progetto autorizzato. Nel contempo, come detto in premessa, i fronti principali sono stati oggetto



in passato di verifiche locali e di diversi puntuali interventi di consolidamento preventivo a cura della Direzione dei Lavori.

A parere dello scrivente le coltivazioni effettuate nell'ultimo periodo non hanno modificato in maniera sostanziale la stabilità generale dei fronti in quanto non si riscontrano evoluzioni a grande scala, avendo interessato esclusivamente la porzione centrale e S del cantiere e in minima parte quella a N al di sotto del fronte residuo che si sviluppa verso il basso a partire dal cantiere Scaloni. Difatti i fronti interni sono ormai poco modificati rispetto al passato stante l'arretramento delle bancate rispetto ad essi.

Per quanto riguarda le problematiche a piccola scala si osserva dalle foto allegate come durante gli avanzamenti se si venissero a creare delle masse potenzialmente instabili queste sono come detto preventivamente consolidate e/o immediatamente rimosse mediante l'utilizzo dell'escavatore.



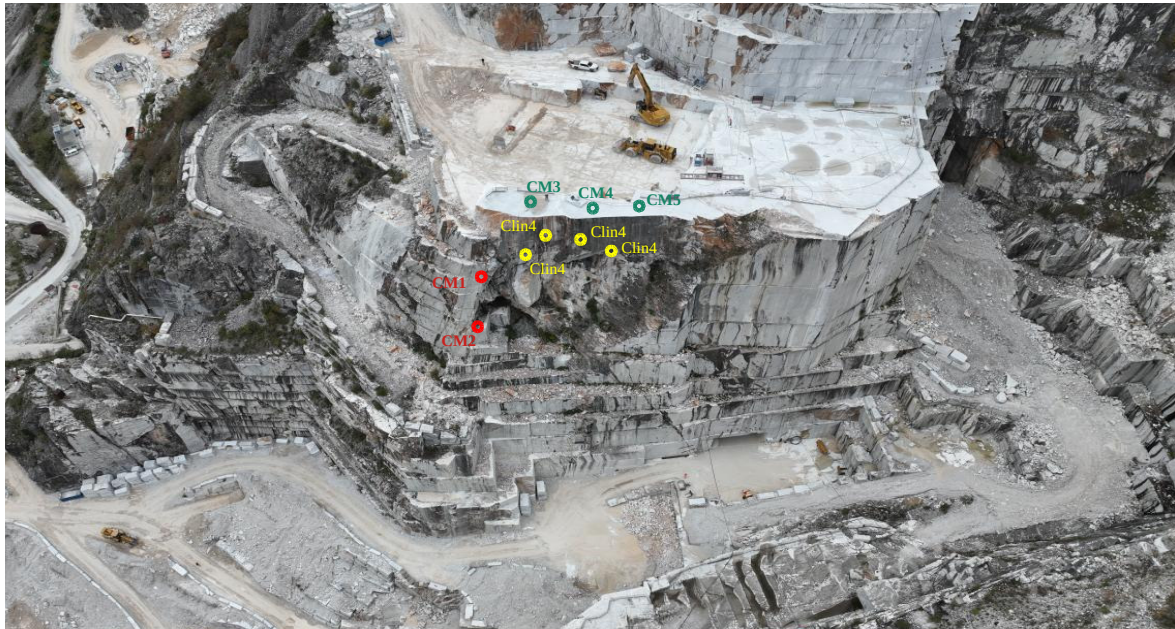
Panoramica dei fronti di cava del cantiere Inferiore

Per quanto riguarda la “techia” principale sovrastante il cantiere Inferiore non sono visibili evoluzioni apprezzabili e le lavorazioni eseguite sino ad oggi risultano essere distanti dallo stesso. Le pareti che dal cantiere denominato Scaloni si sviluppano verso il basso, sia in corrispondenza dell'ingresso al sotterraneo abbandonato posto più a Sud, che quello sovrastante il cantiere Inferiore, dove si stanno eseguendo ad oggi le lavorazioni, è stato sottoposto a controllo da parte di tecnici specializzati. Quest'ultimo tipo di operazione viene



svolta ogni qual volta viene terminato uno sbasso, con la rimozione della porzione spondale, del cantiere Scaloni. Durante questo controllo si valutano le condizioni del fronte e si interviene mediante l'apposizione di tiranti preventivi allo scopo di consolidare la porzione sottostante del successivo abbassamento di quota del cantiere Scaloni.

Inoltre a controllo della citata parete è stato installato un sistema di monitoraggio con lo scopo di controllare, in funzione del tempo e delle lavorazioni di sbasso previste, il comportamento di alcune strutture caratterizzanti lo strapiombo residuo e le possibili dislocazioni a carico di prescelte discontinuità attraversanti il contrafforte meridionale su cui lo strapiombo insiste (foto successiva).



Panoramica del fronte in esame con visibile il contrafforte roccioso e le strutture strapiombanti. In giallo sono individuate le postazioni clinometriche attivate mentre in rosso sono segnate le postazioni fessurometriche bidimensionali e in verde quello monodimensionali.

In allegato alla presente si riportano i grafici relativi agli strumenti installati da cui si può apprezzare come non abbiano evidenziato alcun movimento o rotazione a carico della porzione di fronte oggetto di controllo. Inoltre si ribadisce come sono stati eseguiti gli interventi di messa in sicurezza, a cura della direzione lavori, della porzione sottostante allo sbasso di quota che si eseguirà nel cantiere Scaloni. Per quanto riguarda i restanti fronti residui sovrastanti il cantiere Inferiore (fronti F5 e F6) immergenti verso S e SW non si evidenziano problematiche a grande scala in quanto risultano immutati da decenni. Per quanto



riguarda le possibili problematiche a piccola scala si evidenzia come il fronte sia stato oggetto nel periodo recente di controllo da parte di tecnici specializzati.



Particolare dei fronti 5 e 6.

Per quanto riguarda il fronte F7, visibile nella successiva foto, le lavorazioni eseguite recentemente consistono nell'apertura della galleria Est, nel completamento dello sbasso di quota 433,5 m, nella prosecuzione degli sbassi di quota 422,9 m, 415,8 m e l'apertura del nuovo sbasso a quota 412 m nella porzione più a Sud del cantiere.



Panoramica del fronte residuale dove si può osservare il portale di accesso al sotterraneo Est e gli interventi di messa in sicurezza dello stesso previsti e realizzati prima dell'inizio delle lavorazioni.



Gallerie W ed E

Per quanto riguarda le due gallerie sono stati realizzati i due accessi per i nuovi cantieri sotterranei, uno al di sotto del cantiere Scaloni e uno al di sotto del fronte F7. Per quanto riguarda questi accessi nel progetto erano stati determinati i cinematismi di entrambi, e prima della loro realizzazione sono stati eseguiti una serie di interventi di messa in sicurezza del portale stesso (vedasi foto successive).



Panoramica del fronte al momento dell'apertura del sotterraneo W con visibile l'intervento di consolidamento del portale.



Panoramica del fronte al momento dell'apertura del sotterraneo E con visibile l'intervento di consolidamento del portale.



Le lavorazioni nella galleria E sono proseguite come da progetto (prescrizione lett.c punto 1) realizzando esclusivamente un ramo di galleria di ca. 30 m di lunghezza, in quanto raggiunta la porzione finale si doveva realizzare un foro ispettivo al fine di valutare lo spessore della copertura dello stesso sotterraneo per poi prevedere il suo ampliamento in direzione N e S.

Come visibile dalla Tav. 11 si è potuto valutare che la copertura sia sufficiente (maggiore di 15 m ovunque), per cui si può ritenere idonea a garantire la sicurezza per lo sviluppo futuro previsto.

Lungo il tracciamento eseguito sono stati riscontrate principalmente delle discontinuità a carattere finimentoso appartenenti alla famiglia K1. Durante le lavorazioni quindi sono stati eseguiti dei consolidamenti, a cura della Direzione lavori, delle porzioni attraversate dalle discontinuità al fine di compattarle e si è sistematicamente posizionata a tetto una rete di protezione al fine di evitare la possibile caduta di piccole porzioni rocciose, come apprezzabile nella foto successiva.



Particolare del tetto e degli interventi eseguiti (rete di protezione e tiranti).

Per quanto riguarda l'altro sotterraneo, durante gli avanzamenti in direzione W sono state anche in questo caso riscontrate principalmente discontinuità appartenenti alla famiglia K1. Una volta raggiunto il termine del ramo che si sviluppa dall'unico accesso è stata riscontrata



la presenza della struttura K2.2 denominata FF 130/65 nelle Tav. 10 e 11 allegate che risulta riscontrabile anche lungo il fronte esterno. La previsione precedentemente fatta in occasione del piano vigente prevedeva di intercettare questa struttura un po' più a N.



Particolare della struttura intercettata.

Anche in questo caso, durante le lavorazioni sono stati eseguiti una serie di interventi sistematici di consolidamento a tetto mediante inserimento di tiranti e, nel caso della struttura citata, di reti di protezione. Gli interventi hanno interessato anche le pareti del sotterraneo.



Particolare del fondo del ramo realizzato con visibili gli interventi descritti.



Zucchetto Est

Come descritto in precedenza, in questa zona del cantiere della cava Fantiscritti B, non sono state eseguite alcune lavorazioni per cui la condizione del fronte residuo non risulta mutata rispetto all'ultima analisi di stabilità. Come noto il piazzale del cantiere è principalmente attraversato da discontinuità, di tipo finimentoso, appartenenti alla famiglia denominata K1.1, i quali risultano i medesimi di quelli riscontrati nel cantiere inferiore, e da una serie di discontinuità K3. Lungo tale fronte non sono stati riscontrati problemi a grande scala, mentre per quanto riguarda la situazione a piccola scala durante le lavorazioni passate sono stati eliminati possibili blocchi cinematicamente rimovibili andando a ripulire le discontinuità che le generavano o intervenendo con l'apposizione di tiranti.



Panoramica del fronte sovrastante il cantiere Zucchetto, con visibili gli interventi eseguiti.

Cantiere Scaloni

Per quanto riguarda il cantiere Scaloni si evidenzia come le lavorazioni eseguite dall'ultimo aggiornamento di stabilità hanno riguardato il completamento dello sbasso di quota 520 e l'apertura del successivo a quota di 516,5 m che si è concentrato nella porzione SE e E del piazzale, lasciando in posto una porzione spondale di larghezza superiore ai 6 m.

Dal rilievo eseguito per l'occasione non sono stati riscontrati problemi a grande scala, mentre per quanto riguarda la situazione a piccola scala durante le lavorazioni sono stati eliminati



possibili piccoli blocchi, in corrispondenza del ciglio delle bancate, cinematicamente rimovibili andando a ripulire le discontinuità che le generavano. Nella foto successiva si evidenziano gli interventi eseguiti successivamente alla redazione dell'ultima analisi di stabilità che consistono principalmente nella rimozione delle potenziali masse cinematicamente rimovibili mediante mezzi meccanici quali escavatori e nell'apposizione di alcuni tiranti nelle porzione più a N (al di sopra dell'accesso del sotterraneo abbandonato) sempre a cura della direzioni lavori.



Panoramica del fronte residuo sovrastante il cantiere Scaloni con visibili le masse rimosse con l'utilizzo di mezzi meccanici e indicazione delle zone oggetto di interventi.

Le lavorazioni eseguite nel cantiere in esame hanno nel recente passato interessato la rimozione delle porzioni spondali sovrastante i cantieri inferiori. A controllo della zona è attivo il sistema di monitoraggio descritto sopra ed inoltre, ogni qualvolta viene realizzato uno sbasso e la conseguente rimozione della sponda, è eseguito un controllo di tutta la parete sottostante e l'installazione di chiodature preventive, a cura della Direzione Lavori, che permetteranno di eseguire il successivo sbasso in sicurezza.

Il controllo viene eseguito da personale specializzato della ditta ApiAn che esegue anche la messa in opera degli interventi di messa in sicurezza di porzioni instabili e/o consolidamenti propedeutici al successivo abbassamento di quota. Come visibile nell'allegato alla presente, riportante gli esisti del sistema di monitoraggio, è oggetto di controllo anche la



strumentazione e i cavi di collegamento che possono essere distrutti durante le fasi di rimozione della sponda.

Cantiere Superiore

In questo cantiere le lavorazioni risultano eseguite su due quote, una in adiacenza alla cava n°88 che si attesta su due gradoni posti alle quote di ca. 751,1 m e 744 m m, mentre l'altra a quota media di 714 m, in corrispondenza del tornante e al di sotto del fronte che si sviluppa dai cantieri sovrastanti, e di quota 711,8 m nella porzione centrale e verso E. Nella porzione superiore del cantiere le lavorazioni venivano, e nel breve periodo verranno, svolte dalle maestranze della F.T. Cave srl sotto la direzione del Direttore Responsabile della stessa cava poiché eliminando così l'interferenza e le problematiche delle lavorazioni in un'area a confine, dato il poco spazio a disposizione. Allo stesso modo nella porzione inferiore del cantiere nelle aree della cava Verdichiara n°88 (porzione più esterna in lavorazione) vengono eseguite dalle maestranze della Figaia Cave S.p.A. sotto la direzione dello stesso Direttore Responsabile. Le coltivazioni nella zona della cava nel settore più a SE del complesso sono proseguite sino ad oggi, e proseguiranno in futuro, come indicato nelle linee di indirizzo per l'abbattimento delle porzioni spondali, ovvero mediante ispezione preventiva da parte di tecnici specializzati e installazione di tiranti, che saranno utili nei due successivi sbassi.

La condizione di stabilità dei fronti sia a grande scala che ha piccola scala non è stata quindi modificata e permane in buono stato. Le lavorazioni in queste aree risultano di messa in sicurezza in quanto propedeutiche all'abbassamento di quota dei fronti residui sia tra i due cantieri e quello del fronte che si sviluppa verso il cantiere Inferiore della cava n°92.

Cava Galleria Fantiscritti n°87

La condizione di stabilità dei vuoti del sotterraneo allo stato attuale è stata ampiamente descritta e valutata durante l'iter del piano recentemente autorizzato. Nel corso del 2025 non sono state eseguite lavorazioni produttive, ma solo operazioni di preparazione e sistemazione viabilità ed impianti.

Il presente paragrafo tratta quindi le valutazioni di stabilità redatte in quel momento, date le minime lavorazioni eseguite, che hanno ottenuto parere favorevole da parte della stessa Az. ASL Toscana Nord Ovest e che provengono da precedenti valutazioni sempre approvate dallo



stesso Ente. Durante l'iter procedurale era stato condotto un rilievo geostrutturale di dettaglio dell'intero sotterraneo soffermandosi maggiormente sulle aree in prossimità dell'unico elemento di sostegno presente al fine di valutare l'influenza che le stesse avrebbero avuto sulla stabilità del pilastro stesso. Attraverso le valutazioni fatte si era potuto verificare sia il corretto dimensionamento dello stesso elemento di sostegno che la stabilità dei vuoti realizzati da un punto di vista cinematico. Si evidenzia quindi che ad oggi la stabilità a piccola e grande scala del sotterraneo risulti soddisfatta.

Nelle Tav.10 e 11 sono riportate la carta delle fratture del sotterraneo attuale e le proiezioni delle principali strutture fragili del comprensorio estrattivo posizionato nella porzione di cielo aperto sovrastante il sotterraneo della cava n°87.

Come visibile le lavorazioni progettuali risultano essere minime e non vanno ad interessare le principali strutture, se non quelle del ramo che si svilupperà in direzione SE. Questo comunque terminerà prima di intercettare l'importante faglia che attraversa l'intero comprensorio. In questo ramo si potrebbe comunque intercettare la fascia finimentosa FF103°/80° che è stata rilevata nel comprensorio estrattivo delle cave Verdichiara – Fantiscritti B ma che comunque non produce alcun problema di stabilità sia a piccola che grande scala.

Si evidenzia quindi che ad le minime lavorazioni progettuali con producano alcuna variazione sulla stabilità a piccola e grande scala del sotterraneo rispetto a quanto ad oggi autorizzato.

Scelte progettuali

I lavori del presente progetto proseguiranno come da vigente autorizzazione con le implementazioni proposte a prosecuzione del sistema di lavoro sin qui adottato in ragione anche dell'incremento temporale richiesto.

Per quanto riguarda il cantiere Inferiore si prevede il completamento degli sbassi sino alla quota media di 398 e 405 m ca. nelle aree della ex Cava Scaloni B (Rosso Comasco) e con una configurazione di successivi gradoni a salire, posti alle quote di 413, 420, 427, 434, 441 m nelle aree a Nord del cantiere posto in adiacenza al cantiere denominato "Zucchetto" e sottostante il cantiere "Scaloni". Questo dipende dalla volontà aziendale di realizzare e mantenere l'accesso a due sotterranei realizzati, uno lungo la parete ad Est (livello basale Est)



e uno lungo la parete a Ovest (livello basale Ovest) dell'anfiteatro di cava, per cui le lavorazioni procederanno in modo minore nelle aree in adiacenza agli ingressi.

Nel Cantiere Zucchetto, posto nella zona orientale della cava, si eseguiranno solo parte dei lavori recentemente autorizzati in quanto si eseguirà solo lo sbasso sino alla quota di 455-448 m. Parte di queste lavorazioni sono state già classificate nella vigente autorizzazione come finalizzate a garantire la sicurezza dei cantieri di lavorazione, ovvero la porzione iniziale del cantiere attraversata dell'importante struttura fragile.

Per il cantiere Scaloni le lavorazioni procederanno come recentemente autorizzato, attraverso la messa in sicurezza del fronte sovrastante i cantieri sottostanti attraverso l'abbassamento di quota sino alle quote 490 m ca. per l'intero sviluppo del cantiere, compresa la porzione SE alle quote per permettere di asportare le porzione aggettante in sottotecchia che caratterizza il fronte residuo di passate coltivazioni. Quest'area infatti è caratterizzata dalla presenza di importanti strutture fragili che debbono necessariamente essere asportate per la realizzazione dei lavori necessari a garantire la sicurezza delle aree (vedasi foto successiva).



Panoramica del fronte che si sviluppa dal cantiere Scaloni in cui le lavorazioni risultano in parte essere una messa in sicurezza dell'area. In colore la quota approssimata di 490 ca.



Per il cantiere Superiore a confine con la cava n. 88 le lavorazioni proseguiranno in coordinamento con la limitrofa cava. Nel piazzale posto superiormente, che caratterizza anche aree della cava n°88, le coltivazioni previste raggiungeranno la quota di 744 m coordinata con la medesima cava n. 88, mentre la porzione più a S si prevede la realizzazione di due gradoni posti alle quote di 704 m e 699 m ca. a proseguire i piano già oggi autorizzati. Parte di queste lavorazioni sono state individuate nel progetto recentemente autorizzato come scopertura del giacimento, ovvero le lavorazioni che interessano la porzione corticale (ca. 3 m di profondità) del monte vergine, e di messa in sicurezza attraverso la realizzazione della gradonatura del fronte principale (vedasi foto successive).



Panoramica della porzione superiore del fronte principale da asportare per garantire sicurezza delle aree sottostanti

Come visibile dalle tavole allegare in questa porzione di area, che comprende il piazzale di progetto alla quota 744 m in aree del Consorzio cava n. 92 e la porzione esterna dei piazzali di



quota 712 m e 706 m in aree cava n. 88 di F.T. Cave s.r.l. le lavorazioni verranno svolte per motivi logistici, e soprattutto di sicurezza delle stesse, come precisato di seguito.

Ovvero, nella porzione superiore le lavorazioni saranno eseguite da uomini e mezzi della F.T. Cave s.r.l. poiché, come detto, la presenza di contemporanee operazioni del Consorzio creerebbe interferenza e possibile insorgenza di problematiche di sicurezza. Medesima considerazione a parti invertite può essere fatta per la porzione ad Est del cantiere in adiacenza alla zona dove è presente il relitto dell'ascensore che in passato veniva utilizzato dalle maestranze per giungere alla cava n°88.

Per quanto riguarda il cantiere Sotterraneo W (Sotterraneo basale Ovest cave 92 e 87) posto al di sotto del cantiere Scaloni, rappresenta il maggior sviluppo sotterraneo delle cave del Consorzio e si svilupperà attraverso la realizzazione di due ulteriori ingressi, uno sul fronte esposto a E ed uno a S dell'anfiteatro di cava come apertura di sicurezza e ventilazione. La galleria oggi autorizzata prevede il raggiungimento della cava in sotterraneo denominata n. 87 al fine della realizzazione di una nuova uscita di ventilazione e accesso di tutti i cantieri che si sviluppano lungo la strada Marmifera di Fantiscritti-Ravaccione evitando operazioni interferenti con la cava n. 85.

La galleria aperta alla quota di ca. 448 m nel cantiere esterno, ha quota cielo ca. 454 m ca e si svilupperà come descritto negli elaborati 8A e 8B con uno schema a camere e pilastri, numerati da P1 a P9, previsti al momento come opportunamente sfalsati tra loro per meglio intercettare le discontinuità presenti. A questo proposito si evidenzia il cambio di orientazione per adeguare il tracciamento alla direzione media delle discontinuità principali come note nelle cave. Infatti, mentre i sotterranei profondi (cave 85 e 87) hanno uno sviluppo tendente a NE-SW in conseguenza delle principali discontinuità, quelli attuali e quelli abbandonati alle quote superiori evidenziano l'opportunità di procedere N – S come a cielo aperto. Nella precedente disamina le aree oggetto di studio, sono state suddivise in due zone omogenee, costituite l'una dai cantieri a cielo aperto delle cave n°92 e n°88 e dei cantieri in sotterraneo della cava n°92 (zona omogenea I) e l'altra relativa ai cantieri dei sotterranei più profondi della cava n°87 (zona omogenea II). Nella zona omogenea I prevalgono le discontinuità K1 orientate mediamente ca. N-S, mentre nella zona omogenea II le discontinuità principali si sviluppano in direzione NE-SW.



Su parte dei sotterranei sono previsti uno sbasso a seguire a quota 441-442 ca. partendo dalle zone di accesso e due ulteriori ribassi alla estremità NW in area cava n. 87 per raggiungere la quota 431.5 ca. dei vecchi sotterranei di Ravaccione (colore viola in aree cava n. 87) così da avere una viabilità complessiva di attraversamento dei cantieri a creare un anello.

Tra i due ingressi sul lato E verrà lasciato in posto un pilastro (denominato P1) della dimensione di 18 m x 18 m, pari a ca. 324 mq, mentre tra gli altri pilastri avranno dimensioni preliminarmente previste prudenzialmente comprese tra 21x15 e 18x15 m come descritto negli elaborati 8A e 8B, da sottoporre a successive verifiche una volta accertata la reale condizione strutturale. L'estensione orientale dello sviluppo del sotterraneo nella parte Nord tiene conto della proiezione della nota faglia di andamento NW-SE presente nei sotterranei storici di Ravaccione in modo da non incrociarla nello sviluppo (vedasi Tav.10 e 11).

Le dimensioni dei due ingressi principali sarà di 12 m quella, più a Sud di 9 m, l'apertura meridionale di ventilazione e sicurezza avrà ampiezza di 12 m ca.. Per il secondo accesso si procederà come fatto per quello esistente, ovvero una volta individuata la posizione corretta si procederà all'inserimento di due file di tiranti del tipo Dywidag del diametro di 40 mm della lunghezza di 9 m, disposti a raggiera. La fila superiore sarà costituita da 4 tiranti e la fila inferiore da 5 tiranti.

Tutte le lavorazioni di questa galleria mantengono congrua distanza dalle operazioni attuali e di progetto (anche quelle in corso di autorizzazione) della cava n. 85 in modo da non creare potenziali interferenze.

Per il cantiere Sotterraneo E (Sotterraneo basale Est), posto al di sotto del ravaneto dove è impostata la strada comprensoriale, si svilupperà in questa fase attraverso la realizzazione di due ingressi sul fronte esposto a E dell'anfiteatro di cava nella porzione della ex cava Scaloni B. La posizione degli ingressi e le quote a cui verranno realizzate sono state stabilite in occasione del progetto oggi autorizzato attraverso la realizzazione di più fori ispettivi per valutare l'andamento del substrato roccioso ricoperto dal citato detrito.

Tramite le indagini svolte fu valutato alla galleria di realizzare l'ingresso N alla quota di 423 m, con quota cielo 429.5 m per garantire una sufficiente copertura. L'ingresso N è stato effettivamente realizzato alla quota prevista, realizzando altresì al termine del tratto autorizzato un ulteriore foro inclinato verso l'alto (vedasi Tav. 11) per validare le ipotesi del



vigente piano in merito alla effettiva copertura. Il foro è “uscito” nel ravaneto adiacente dopo ca. 13,5 m di foro in posizione all’incirca coincidente con un allungamento di 1-2 m con le ipotesi fatte in passato in esito ai fori eseguiti all’epoca. Questo ha consentito di ipotizzare le lavorazioni di progetto oggi presentate.

Si prevede pertanto di realizzare la seconda uscita a Sud ad una quota inferiore rispetto alle ipotesi del passato alla quota di ca. 410 con quota cielo ca. 416 m, valori idonei a garantire coperture sufficienti (maggiori di 15 m ovunque). Questa rappresenta una uscita di servizio e sicurezza, mentre lo sviluppo avverrà verso Nord dove le coperture aumentano ovviamente in modo significativo. Anche in questo caso per il secondo accesso si procederà come fatto per quelli esistenti mediante l’inserimento di due file di tiranti del tipo Dywidag del diametro di 40 mm della lunghezza di 9 m, disposti a raggiera. La fila superiore sarà costituita da 4 tiranti e la fila inferiore da 5 tiranti.

Il sotterraneo sarà organizzato sempre a camere e pilastri, di dimensioni minori rispetto a quello Ovest con per ora due pilastri centrali denominati P1.2 e P1.3. Tra i due ingressi verrà lasciato in posto un pilastro (denominato P1.1) con base rettangolare di dimensione di ca. 225 mq. La larghezza del portale N sarà di 12 m mentre quello Sud di 9 m. In questa fase progettuale. In questo sotterraneo è previsto al momento un unico sbasso a quota di riferimento di ca. 410 m.

Il presente progetto prevede altresì l’apertura di un nuovo sotterraneo in quota 600 realizzato a cavallo tra le cave 87 e 92 in posizione laterale rispetto alle vecchie scale di accesso. La galleria avrà uno sviluppo al momento limitato in relazione alla esplorazione del giacimento in quote e si manterrà con direzione Ovest circa allineandosi con i sotterranei abbandonati della cava n. 87, pur mantenendosi ad una quota inferiore (vedasi sezioni 16 e 17 Tav. 9). E’ previsto un ramo in direzione Sud con uno sviluppo di ca. 55 m e successivo ramo verso Est a praticare una piccola apertura di ventilazione. Ulteriori sviluppi potranno essere valutati durante l’esecuzione delle fasi esplorative e dopo le valutazioni previste in futuro.

Per la realizzazione del portale si prevede si procederà come fatto per quelli già esistenti, ovvero una volta individuata la posizione corretta si procederà all’inserimento di due file di tiranti del tipo Dywidag del diametro di 40 mm della lunghezza di 9 m, disposti a raggiera. La fila superiore sarà costituita da 4 tiranti e la fila inferiore da 5 tiranti.



Pilastrini di progetto

Come brevemente descritto sopra tutti gli elementi di sostegno nei vari sotterranei, sono stati posizionati e dimensionati in funzione delle principali discontinuità che attraversano le aree dei cantieri. Nei cantieri sotterranei, come descritto sopra, le discontinuità rilevabili si dispongono principalmente a cavallo delle due famiglie medie K1.1 e K2.2 (immersione tra 80° - 135°) con maggiore presenza di discontinuità K1.1 nella zona omogenea I, mentre le restanti nella zona omogenea II.

Si ribadisce, come fatto in passato, che il cantiere Sotterraneo W sarà sviluppato interamente al di sotto dell'importante struttura fragile che attraversa il cantiere Intermedio e giunge sino al Cantiere Scaloni ($130^{\circ}/62^{\circ}$) e che caratterizza tutta la porzione indicata come area di messa in sicurezza del cantiere e oggetto di monitoraggio. Tutto questo è visibile nelle sezioni strutturali di Tav. 11.

In previsione degli sviluppi del cantiere Sotterraneo W si può certamente affermare come il collegamento tra il sotterraneo della cava n°92 con quello della cava n°87 non interferirà geostretturalmente con la condizione attuale della cava profonda. Inoltre non si ravvedono potenziali situazioni di pericolo poiché le proiezioni delle principali strutture non generano cinematismi che possono crearsi all'interno del sotterraneo. Le strutture lungo i sotterranei avranno luci minime, in quanto i pilastri sono posizionati sfalsati e in modo tale da contenere i possibili blocchi che le stesse possono generare.

Come previsto nel progetto è stata realizzata la prima misura di stato tensionale lungo il diaframma posto a destra dell'ingresso del sotterraneo W ed è stata inserita una coppia di stressmeter per valutare la variazione della stessa con il proseguo delle lavorazioni. Nel breve periodo (3-6 mesi) saranno realizzate le ulteriori due misure previste al termine delle quali è già possibile prevedere la realizzazione di un modello numerico 3D calibrato sulle misure di stato tensionale, in quanto la più profonda permetterà di ricavare uno stato tensionale meno influenzato dalla configurazione esterna. Nel medio-lungo termine è sin d'ora possibile formulare un piano di valutazione dello stato tensionale agente sui futuri elementi di sostegno, abbinandolo anche al controllo delle variazioni di sollecitazione derivanti dal proseguo delle lavorazioni nel loro intorno per una migliore taratura del modello. Per quanto riguarda il cantiere Sotterraneo E, data la poca copertura, risulta non necessario eseguire una valutazione sullo stato tensionale prima del raggiungimento del pilastro P1-2.



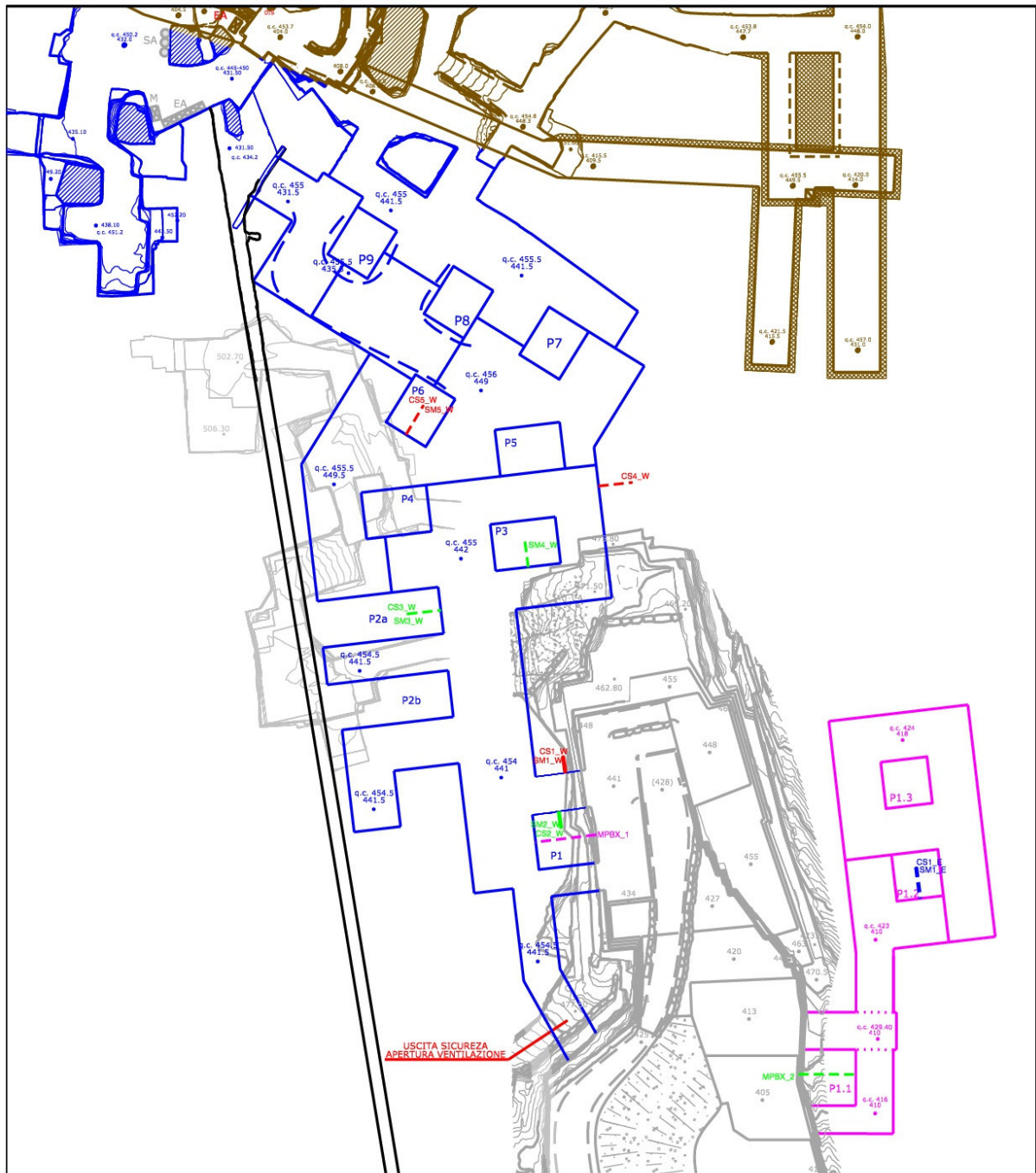
Le misure dello stato di sollecitazione verranno eseguite mediante la tecnica dell'overcoring (3D) con almeno due misure per foro (vedasi immagine successiva su rappresentazione finale del progetto). Come detto le misure SC2_W e SC3_W si eseguiranno nel breve periodo e, una volta eseguite, si procederà con la creazione del modello numerico. Nel punto dove si eseguiranno le misure verranno poi installati i relativi stressmeter per la verifica dell'influenza delle lavorazioni nel loro intorno.

Con il procedere delle coltivazioni verranno poi realizzate ulteriori misure di stato tensionale (CS4_W e CS5_W) e inseriti in prestabilite posizioni altri stressmeter (SM4_W e SM5_W). Le misure si realizzeranno una volta arrivati in prossimità delle aree e prima dell'isolamento dell'eventuale pilastro. All'esecuzione delle misure si provvederà a valutare la bontà del modello numerico realizzato precedentemente.

Una misura verrà poi realizzata prima dell'isolamento del pilastro P1.2 del sotterraneo E prima dell'isolamento di due facce dello stesso. Anche in questo caso si installerà una coppia di stress meter nel punto dove è stata eseguita la misura.

Ulteriore implementazione del sistema di monitoraggio ad oggi presente è prevista l'installazione di due MPBX, con almeno tre punti di misura, da installarsi in corrispondenza dei pilastri più esterni dei due sotterranei (P1 galleria W e P1.1 galleria E) a controllo dei possibili movimenti a carico delle discontinuità che attraverseranno i pilastri indicati. Il primo potrà essere installato nel breve periodo mentre il secondo sarà installato non appena sarà autorizzata la realizzazione dell'ampliamento previsto nel progetto della galleria E.

Per quanto riguarda il sotterraneo da realizzarsi a quota 600 a cavallo tra le cave 87 e 92, in posizione laterale rispetto alle vecchie scale di accesso, si prevede prima della realizzazione dell'accesso alla galleria l'installazione di un MPBX (in direzione EW) atto al controllo dei possibili movimenti a carico delle discontinuità che attraversano la porzione di versante compresa tra il citato sotterraneo e i quelli abbandonati posti a N e a quota più alta. Una volta realizzati i primi avanzamenti si realizzerà anche in questo sotterraneo una misura di stato tensionale (CS1_W alto) e relativa installazione degli stressmeter. In aggiunta si installerà un ulteriore MPBX in direzione NS sempre per controllo della porzione di ammasso tra la galleria e i sotterranei abbandonati.



Indicazione della postazione della misura eseguita e degli stressmeter installati (rosso), quelli da realizzare nel breve periodo (verde) e nel lungo termine (rosso) nel sotterraneo W.E' indicata anche la posizione del MPBX_1 da installare sul pilastro P1. Nel sotterraneo E è indicata le opere da eseguir sul pilastro P1.2 (CSIRO e Stressmeter) e sul pilastro P1.1 (MPBX_2) degli stressmeter da installare.

COMMITTENTI:	Consorzio "Le Gallerie di Fantiscritti"
OGGETTO:	Relazione geomeccanica di stabilità – Piano di coltivazione delle cave Galleria Fantiscritti n. 87 e Fantiscritti B n. 92
DATA:	Maggio 2026



Indicazione della postazione della misura da eseguire e la posizione e direzione dei MPBX da installare.

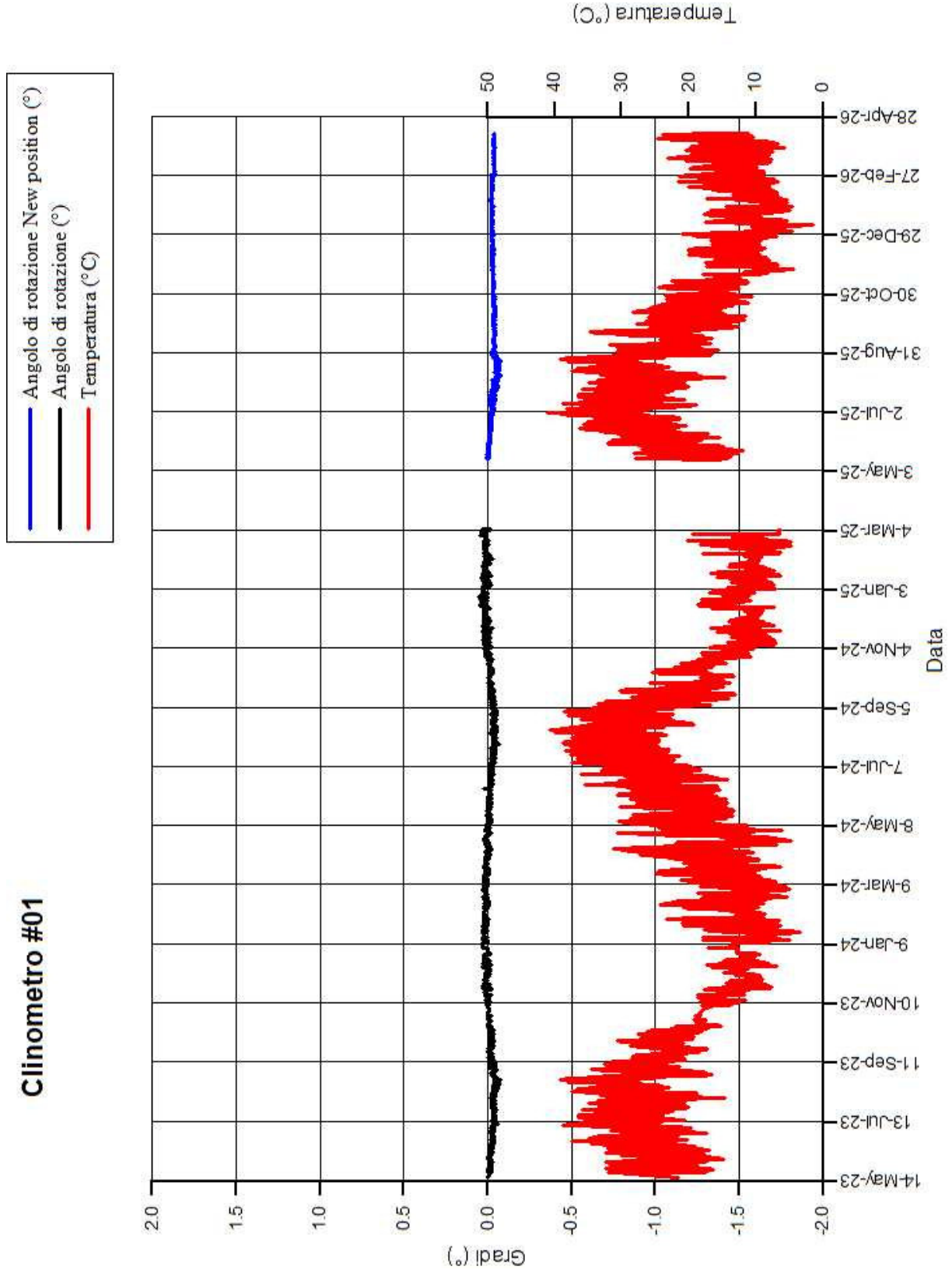
Carrara, Maggio 2026

Il Tecnico
Dott. Ing. Massimo Gardenato





ALLEGATO I
GRAFICI MONITORAGGIO

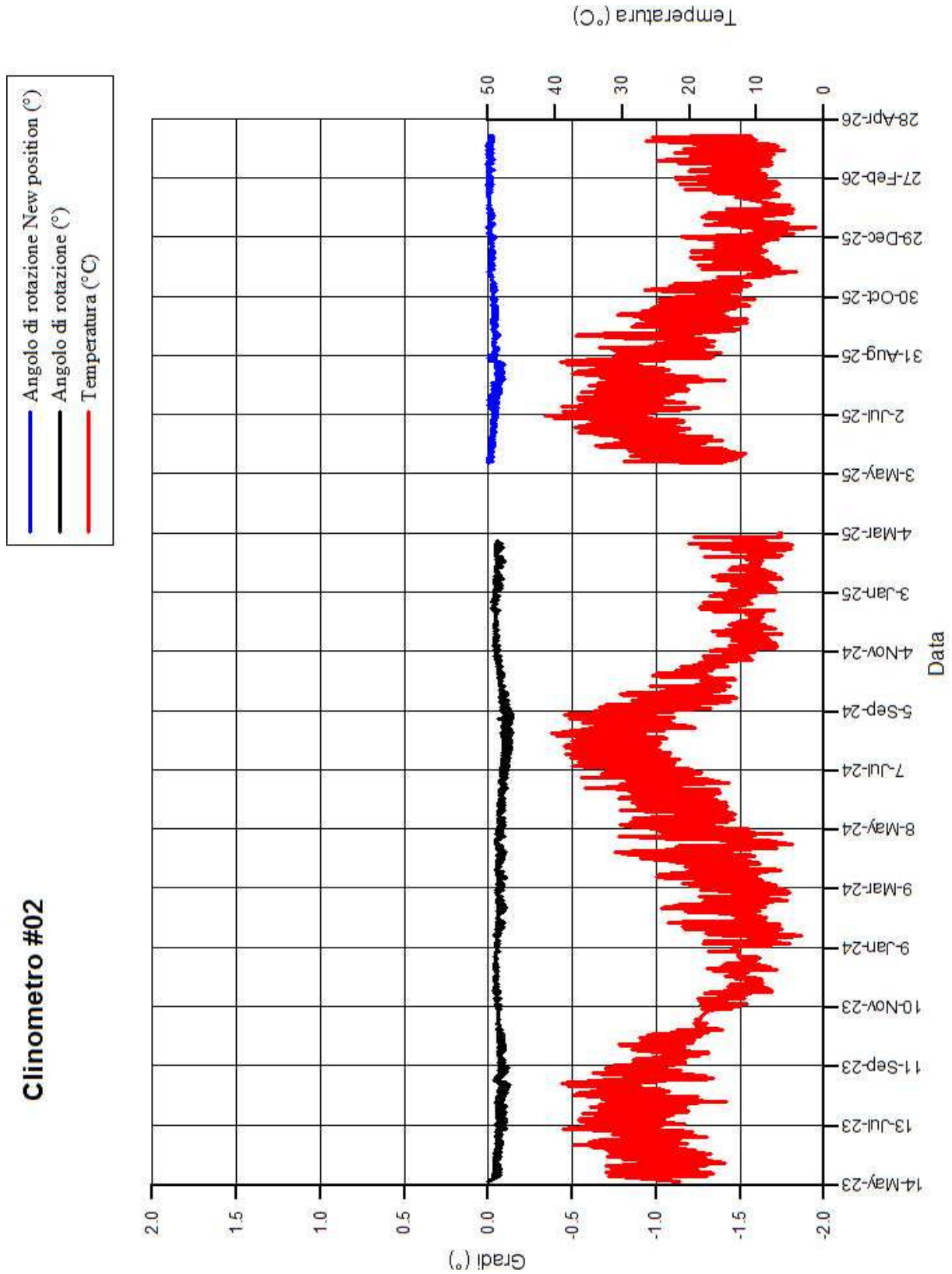


Clinometro #01

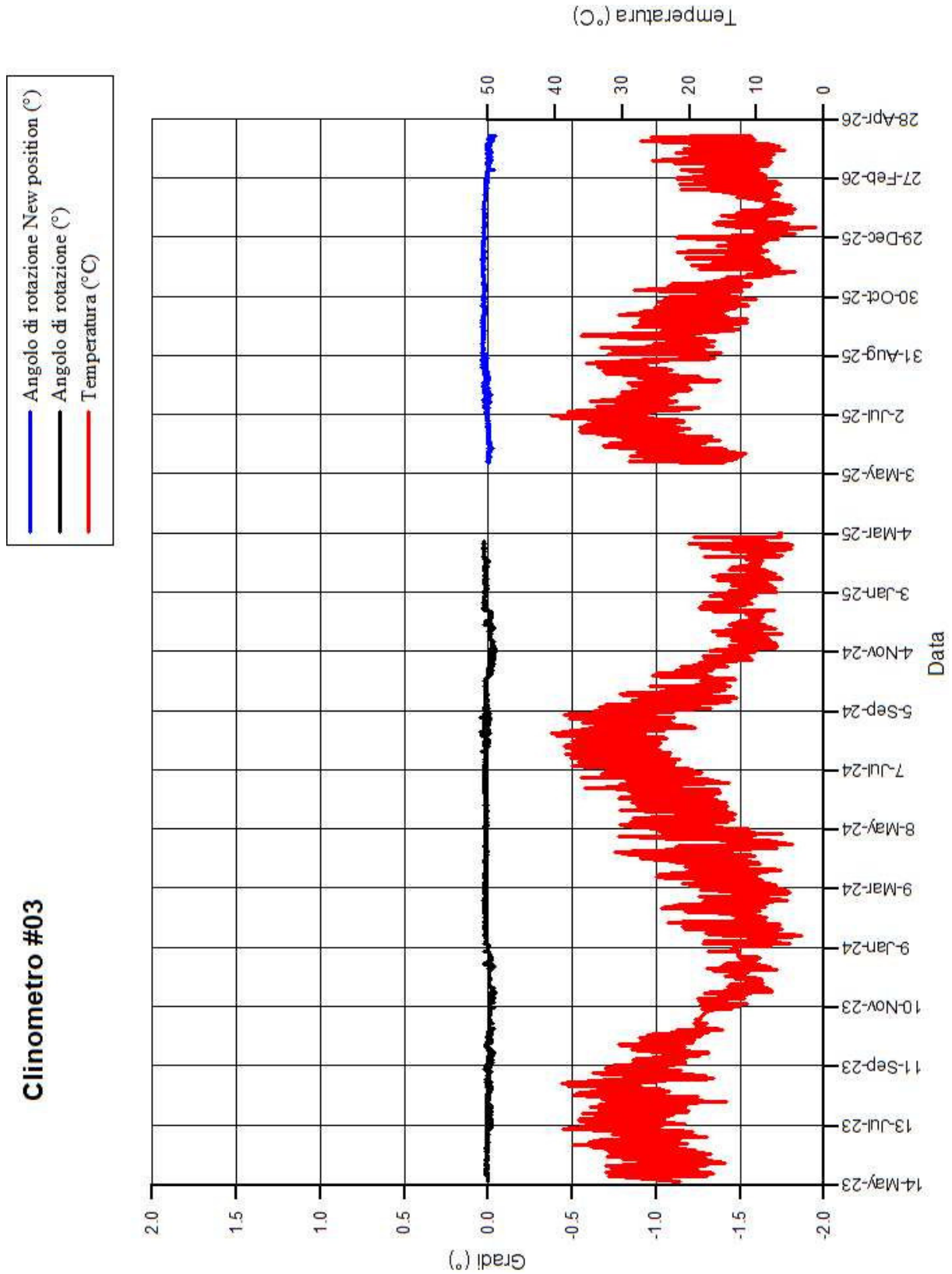
COMMITTENTI: Consorzio "Le Gallerie di Fantiscritti"

OGGETTO: Relazione geomeccanica di stabilità – Piano di coltivazione delle cave Galleria Fantiscritti n. 87 e Fantiscritti B n. 92

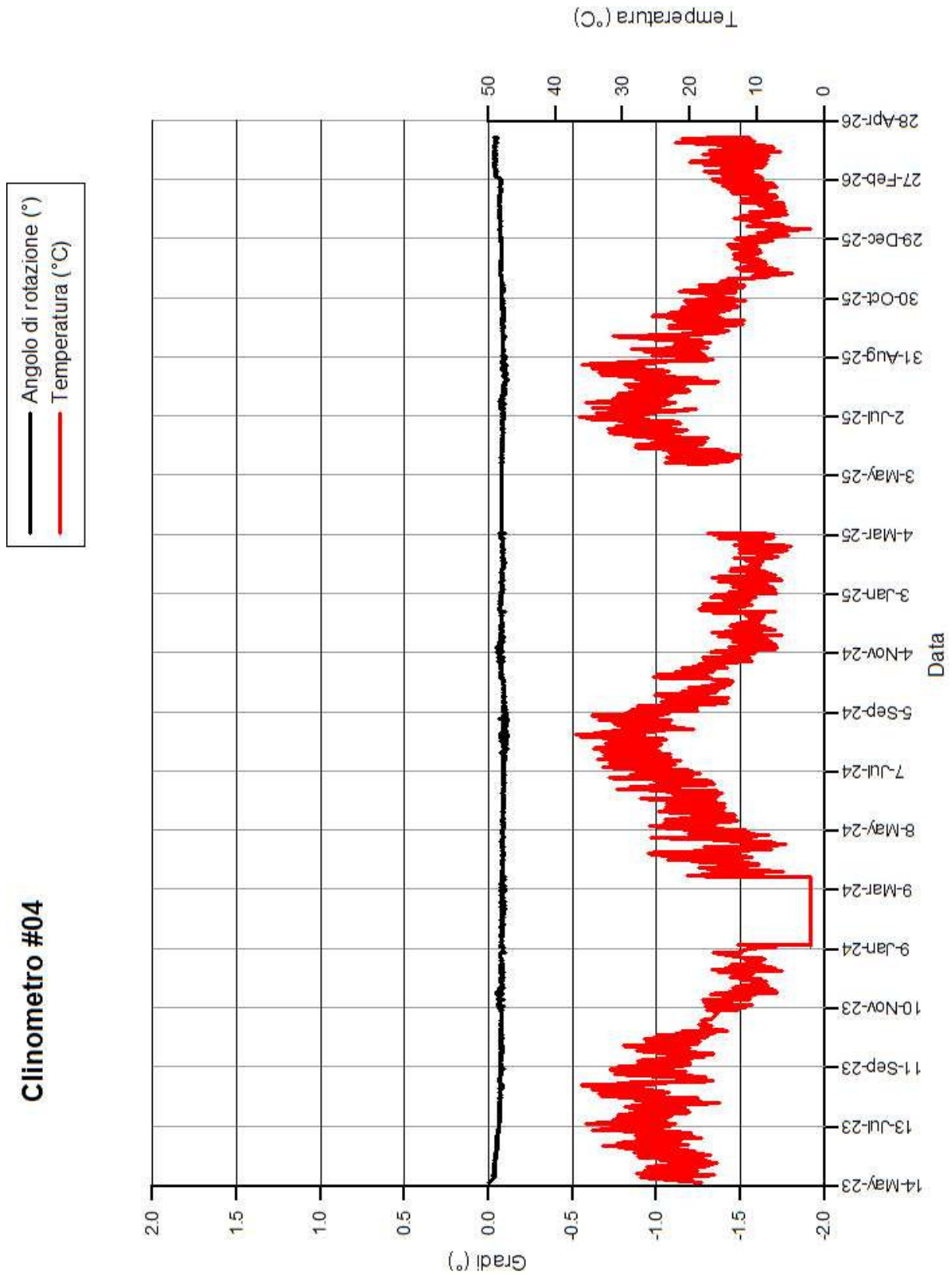
DATA: Maggio 2026

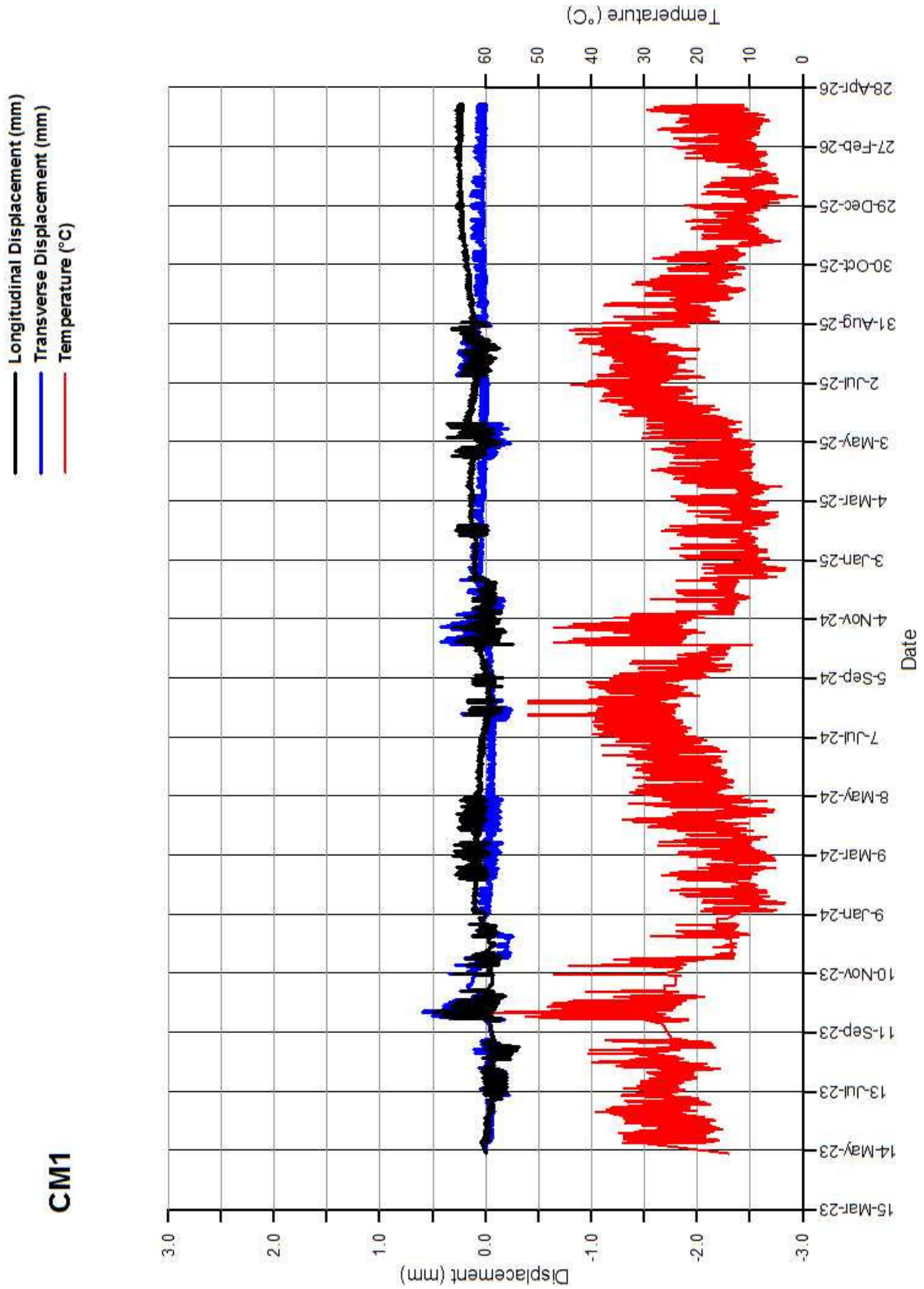


COMMITTENTI:	Consorzio "Le Gallerie di Fantiscritti"
OGGETTO:	Relazione geomeccanica di stabilità – Piano di coltivazione delle cave Galleria Fantiscritti n. 87 e Fantiscritti B n. 92
DATA:	Maggio 2026

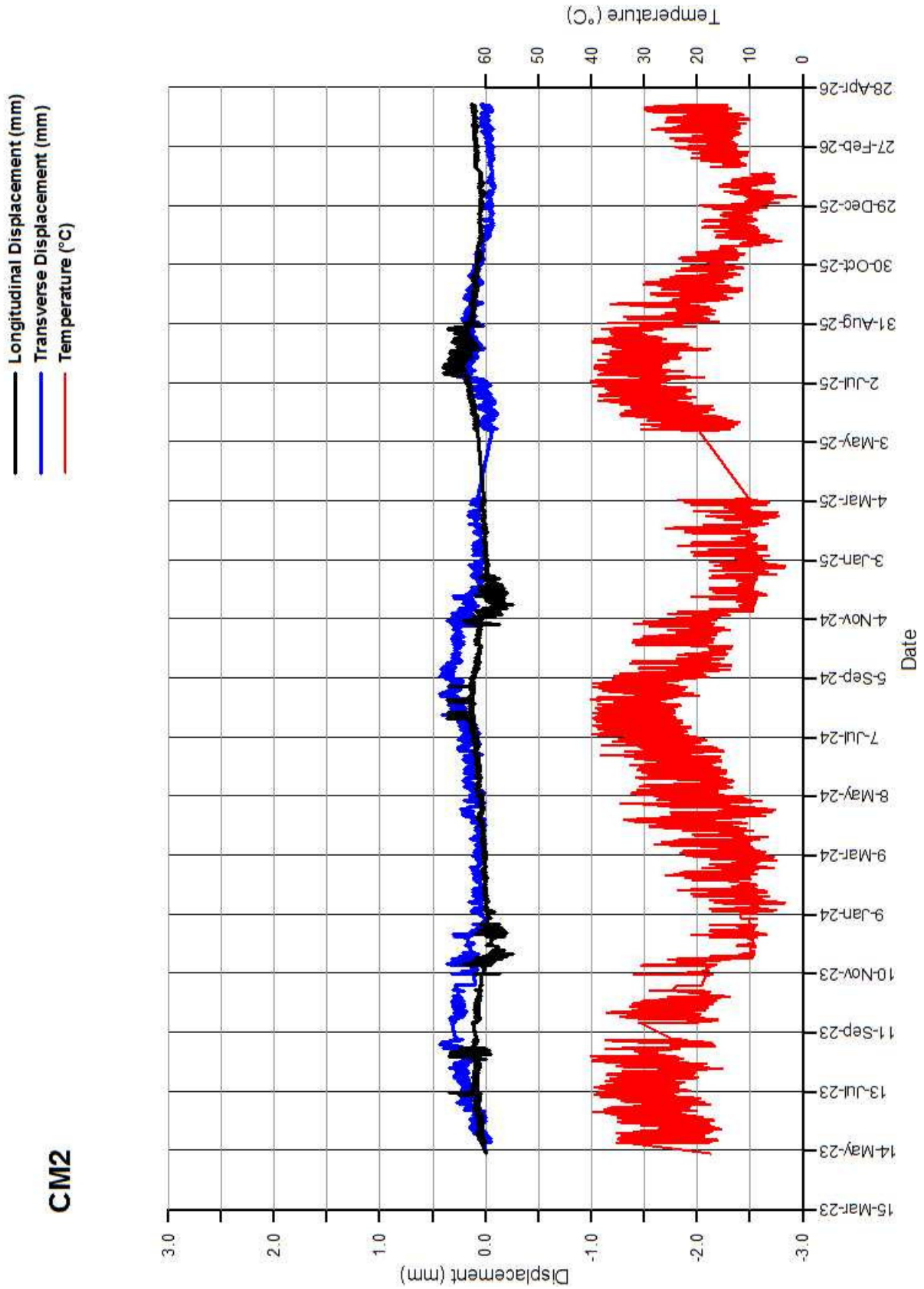


COMMITTENTI:	Consorzio "Le Gallerie di Fantiscritti"
OGGETTO:	Relazione geomeccanica di stabilità – Piano di coltivazione delle cave Galleria Fantiscritti n. 87 e Fantiscritti B n. 92
DATA:	Maggio 2026

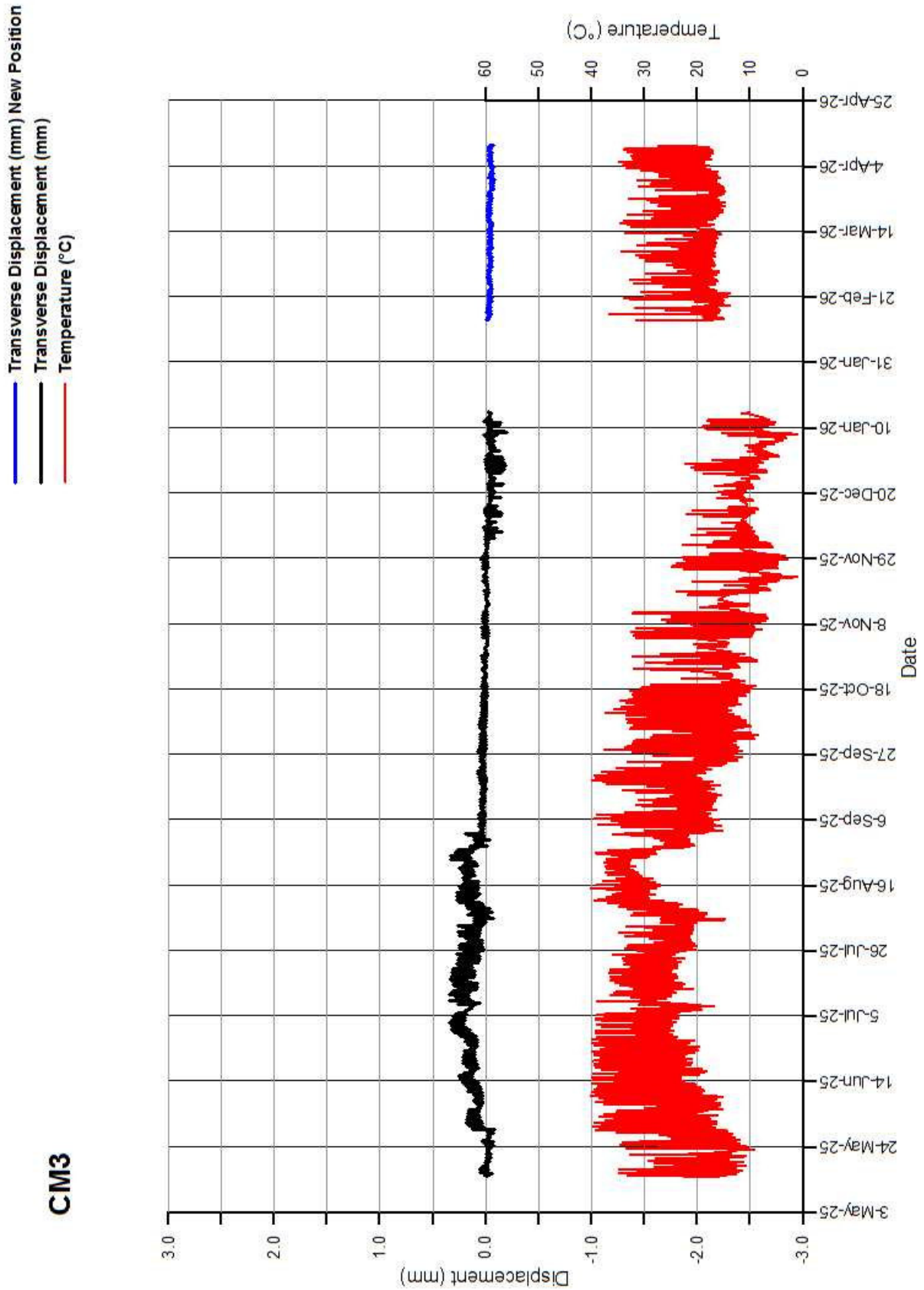




COMMITTENTI:	Consorzio "Le Gallerie di Fantiscritti"
OGGETTO:	Relazione geomeccanica di stabilità – Piano di coltivazione delle cave Galleria Fantiscritti n. 87 e Fantiscritti B n. 92
DATA:	Maggio 2026



COMMITTENTI:	Consorzio "Le Gallerie di Fantiscritti"
OGGETTO:	Relazione geomeccanica di stabilità – Piano di coltivazione delle cave Galleria Fantiscritti n. 87 e Fantiscritti B n. 92
DATA:	Maggio 2026

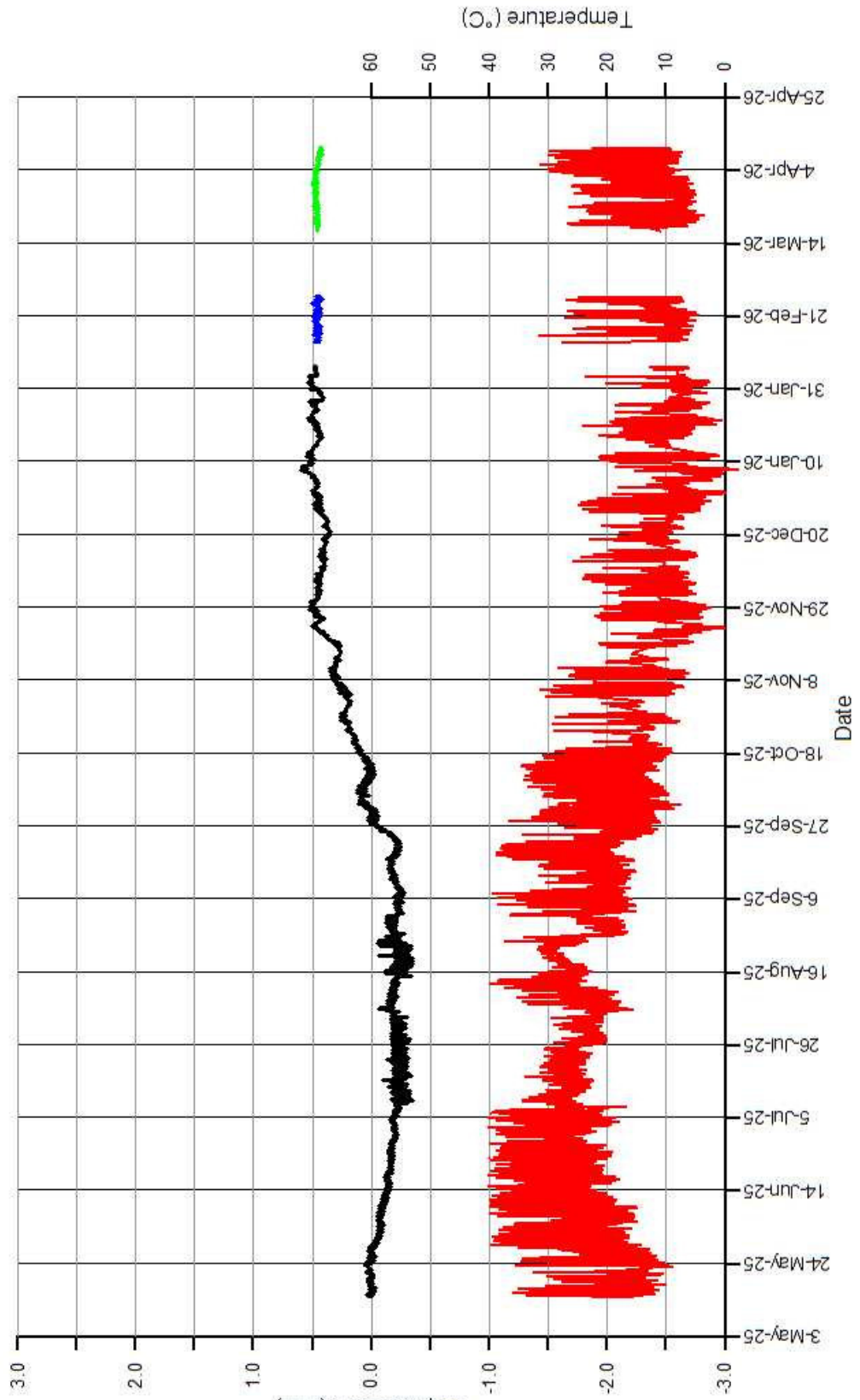


COMMITTENTI:	Consorzio "Le Gallerie di Fantiscritti"
OGGETTO:	Relazione geomeccanica di stabilità – Piano di coltivazione delle cave Galleria Fantiscritti n. 87 e Fantiscritti B n. 92
DATA:	Maggio 2026



- Transverse Displacement (mm) New Position #2
- Transverse Displacement (mm) New Position #1
- Transverse Displacement (mm)
- Temperature (°C)

CM4



COMMITTENTI:	Consorzio "Le Gallerie di Fantiscritti"
OGGETTO:	Relazione geomeccanica di stabilità – Piano di coltivazione delle cave Galleria Fantiscritti n. 87 e Fantiscritti B n. 92
DATA:	Maggio 2026

