

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:

**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA
LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI
PROGETTO ESECUTIVO**

COP2 – CANTIERE OPERATIVO CASTAGNOLA - SECONDA FASE

Relazione geotecnica

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio Cociv Ing. E. Pagani	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 0	E	C V	R B	C A 1 8 0 1	0 0 1	B

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima emissione	studiogiachi	20/02/2015	COCIV	20/02/2015	A. Palomba	20/02/2015	 Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R
B00	Revisione generale	studiogiachi	05/05/2015	COCIV	05/05/2015	A. Mancarella	05/05/2015	

n. Elab.:	File: IG51-00-E-CV-RB-CA18-01- 001-B00.DOCX
-----------	---

1.	1 INTRODUZIONE.....	2
2.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMECCANICO.....	3
2.1	GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA.....	3
2.1.1	<i>Caratterizzazione geomeccanica.....</i>	<i>5</i>
2.1.2	<i>Caratterizzazione geomeccanica del materiale roccia.....</i>	<i>7</i>
2.1.3	<i>Caratterizzazione geomeccanica delle discontinuità.....</i>	<i>7</i>
2.1.4	<i>Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso.....</i>	<i>11</i>
3.	VERIFICA DI STABILITA'.....	13
3.1	VERIFICA STABILITÀ FRONTE.....	13
3.1.1	<i>Verifica allo scivolamento planare e di cunei.....</i>	<i>13</i>
4.	INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DEL FRONTE.....	16

1.1 INTRODUZIONE

Oggetto della presente relazione è l'analisi delle principali problematiche di ordine geologico, geotecnico e progettuale connesse alla realizzazione dell'opera di imbocco del Cunicolo Castagnola alla progressiva 14+821 - Fabbricato SSE, nell'ambito del sistema Alta Capacità Milano - Genova.

La zona di imbocco della Finestra Castagnola si trova in corrispondenza di una cava abbandonata, ubicata a metà del versante destro della valle del Rio Traversa, sinistra idrografica del Torrente Scrivia, a est dell'abitato di Castagnola, nel territorio comunale di Fraconalto. Al momento del sopralluogo (febbraio 2004) la finestra era già realizzata fino alla progressiva 690 m (Foto 1). La presente nota si riferisce all'opera di imbocco per la realizzazione del fabbricato SSE.

Lo studio ha portato alla redazione di una carta geomorfologica e di un profilo geologico.

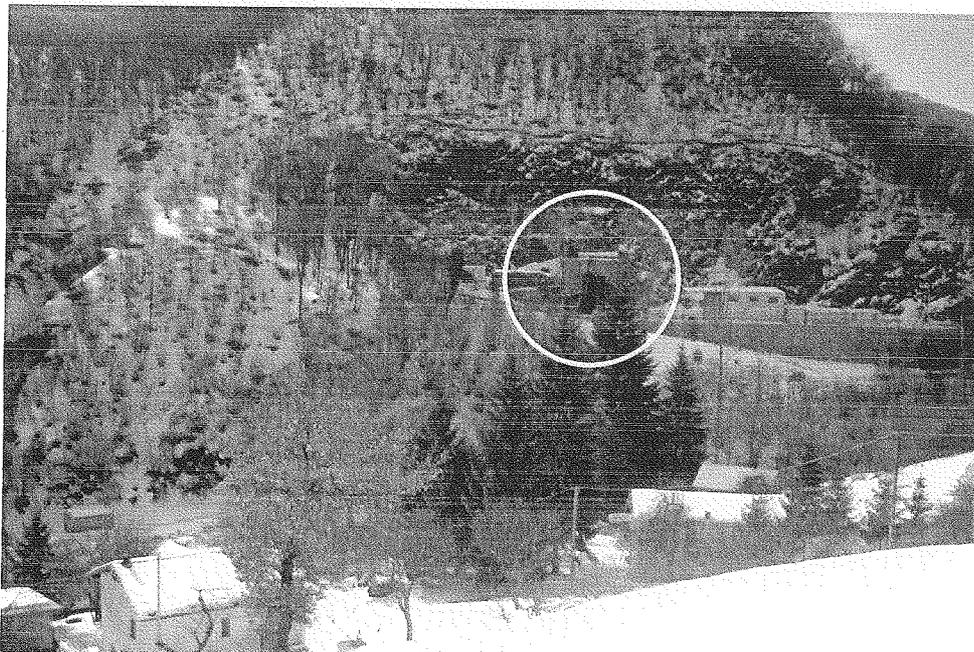


Foto 1. Panoramica della zona dell'imbocco.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO – GEOMECCANICO

2.1 *Geologia e Geomorfologia*

Il Rio Traversa nel tratto adiacente all'imbocco presenta un andamento sinuoso diretto da ovest ad est. Il fondovalle del corso d'acqua presenta una larghezza ridotta in corrispondenza della zona dell'imbocco (larghezza media circa 10-15 m), mentre si allarga considerevolmente più a valle, in prossimità dell'attraversamento realizzato mediante passerella in ferro, raggiungendo l'ampiezza di circa 65 metri.

Il Rio Traversa incide i suoi stessi depositi, generando scarpate discontinue su entrambe le sponde, di altezza media di circa 1,5-2 metri. L'attività erosiva laterale, tendenzialmente più marcata sulla destra idrografica, non genera nel tratto esaminato fenomeni di erosione di sponda significativi.

Lungo il versante sinistro della valle sono presenti alcuni corsi d'acqua minori, che spesso alla base del versante hanno generato piccoli apparati di conoide.

Dal punto di vista della stabilità dei versanti, nell'area adiacente alla zona dell'imbocco è stato osservato un piccolo crollo in roccia, non cartografabile. In generale su tutta la parete dell'ex-cava sono possibili crolli puntuali, la cui pericolosità è mitigata da una rete paramassi.

Sullo stesso versante dell'imbocco, ma più ad est, sono state riconosciute due piccole frane per colamento, coinvolgenti la coltre superficiale: questi fenomeni, quiescenti, non presentano evidenze di possibili riattivazioni od espansioni.

Sul versante sinistro, pressappoco di fronte all'imbocco della finestra, sono stati osservati due fenomeni franosi quiescenti, a valle della Strada Provinciale n. 163: si tratta di due movimenti per colamento lento, coinvolgenti la coltre pluvio – colluviale ed evidenziati da deboli contropendenze e blandi rigonfiamenti. Sullo stesso versante, molto più ad ovest, le foto aeree hanno permesso di individuare due frane per colamento veloce, coinvolgenti la coltre pluvio – colluviale, riconducibili ad un evento pluviometrico di particolare intensità avvenuto nei mesi precedenti al volo aereo (effettuato nell'aprile–maggio 2000).

L'area di imbocco della nuova opera è situata sempre in corrispondenza dello stesso fronte di cava abbandonata, di metabasalti.

Gli estesi affioramenti presenti nella parte alta del versante sono costituiti da metabasalti e subordinate breccie ofiolitiche; lungo la strada che costeggia il Rio Traversa affiorano invece argilloscisti di colore grigio (Argille a Palombini), molto alterati e fratturati.

Il fondovalle è costituito da depositi alluvionali terrazzati, sopraelevati di circa 1,5-2 m rispetto all'alveo attuale del Rio Traversa. I depositi presenti in alveo sono costituiti da ciottoli di dimensioni decimetrico-metriche.

La potenza della coltre eluvio-colluviale è generalmente inferiore al metro.

Lo studio geomeccanico è stato realizzato sulle rocce affioranti nella zona di imbocco della finestra (metabasalti), che interessano pure l'area del nuovo imbocco: i dati strutturali, rilevati a quota 440 m s.l.m., all'estremità occidentale della parete della cava (cfr. foto 2), sono riportati nella Fig. 1.



Foto 2: Affioramento di metabasalti in corrispondenza dell'area di imbocco.

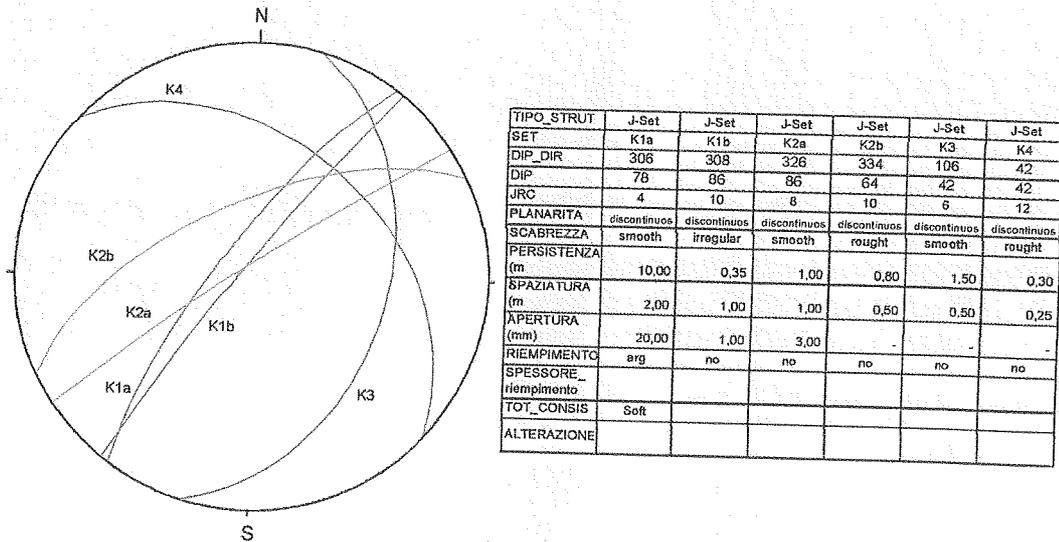


Figura 1: Proiezione stereografica e tabella dei dati strutturali rilevati nei metabasalti

I dati rilevati hanno permesso di valutare le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso così come riportati in tabella.

	RMR - BIENIAWSKI				Q SYSTEM BARTON		
	RMR corretto	Direzione di scavo	Classe	Descrizione	Q	Classe	Descrizione
Metabasalti	64	N206E	II	Buona	42.85	III	Very good

2.1.1 Caratterizzazione geomeccanica

La caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso è finalizzata alla comprensione dei cinematismi di rottura che possono avvenire all'interno dell'ammasso, ed alla quantificazione dei parametri che governano tali cinematismi, cioè le caratteristiche di resistenza e deformabilità del materiale roccia, dei giunti e dell'ammasso roccioso.

Le proprietà meccaniche del materiale intatto che normalmente sono definite direttamente tramite prove di laboratorio, per questo caso specifico sono state ricavate sia da prove eseguite nel corso della realizzazione delle opere di imbocco del

Cunicolo Esplorativo Castagnola, sia da dati ottenuti dalle esperienze maturate sugli stessi litotipi.

Le proprietà meccaniche delle discontinuità, in assenza di prove di taglio, possono essere ricavate indirettamente, tramite il rilievo in sito dalle caratteristiche geometriche e di resistenza delle superfici e la successiva applicazione di criteri empirici di rottura. Il rilievo geostrutturale dà inoltre informazioni essenziali per comprendere i meccanismi di scivolamento e ribaltamento di blocchi e cunei, che nel caso di scavi in roccia superficiali rappresentano la tipologia classica di dissesto.

La caratterizzazione d'ammasso costituisce la sintesi dei passi precedenti. La resistenza del materiale roccia e la classificazione geomeccanica dell'ammasso concorrono nel definire le caratteristiche di resistenza e deformabilità d'ammasso, calcolate in base sia alle correlazioni proposte in letteratura, sia in base alle prove eseguite.

Come già accennato, la parete rocciosa in corrispondenza della zona di imbocco è costituita da metabasalti.

Le caratteristiche geomeccaniche dei litotipi sono state studiate in fase previsionale sia attraverso prove in situ, sia attraverso prove geomeccaniche di laboratorio, rilievi geostrutturali in corrispondenza della parete di imbocco, rilievi geologici – geomorfologici nell'area interessata dall'imbocco della finestra.

Lo studio e l'interpretazione di questi dati hanno consentito di definire la caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso interessato dagli scavi. La caratterizzazione geomeccanica è stata eseguita con la metodologia Geomechanics Classification – Geological Strength Index correlando il valore atteso dell'indice RMR con l'indice GSI. La caratterizzazione della resistenza è stata effettuata sulla base dei risultati delle prove eseguite in situ ed in laboratorio; i risultati ottenuti sono stati interpretati secondo il criterio di rottura di Hoek & Brown e l'utilizzo di correlazioni empiriche.

Di seguito si riportano, sinteticamente, i risultati ottenuti in termini di parametrizzazione geomeccanica sulla base dell'interpretazione delle analisi svolte.

2.1.2 Caratterizzazione geomeccanica del materiale roccia

Campioni di roccia estratti dai carotaggi eseguiti per il Progetto del cunicolo esplorativo sono stati prelevati e sottoposti ad una serie di prove meccaniche di laboratorio al fine di determinare i parametri geomeccanici del materiale integro.

Di seguito viene riportata una sintesi dei dati:

Valori medi e deviazione standard dei risultati di laboratorio.

	P. di Vol roccia (kN/m ³)	Vel. Son. Vp (m/s)	Vel. Son. Vs (m/s)	M. Young tangente (GPa)	M. Young secante (GPa)	Poisson -	σ picco (MPa)	σ trazione (MPa)
Media	27.34	5518	3384	63.82	69.66	0.29	68.84	10.06
St. dev	1.0	493	356	5.0	5.0	0.0	14.0	2.0

Le prove di compressione monoassiale hanno dato valori medi pari a 69 MPa. In base a questi valori le rocce si collocano nel campo delle rocce a media resistenza (Deere & Miller, 1966).

Le prove di trazione indiretta hanno fornito valori medi pari a circa 10.0 MPa.

2.1.3 Caratterizzazione geomeccanica delle discontinuità

Il rilievo geostrutturale eseguito ha rilevato un elevato grado di fratturazione dell'ammasso roccioso, con la presenza di quattro differenti sistemi di giunti: K1 (a e b), K2 (a e b), K3, e K4.

Di seguito si riportano gli stereogrammi rappresentanti la dispersione spaziale dell'orientazione delle quattro famiglie principali identificate (K1, K2, K3, e K4).

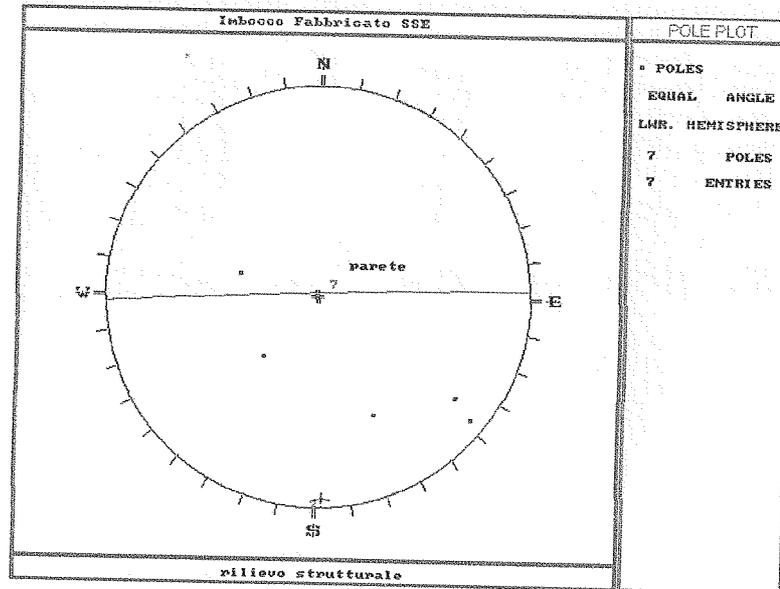


Figura 2: Proiezione stereografica dei poli delle discontinuità e della parete di imbocco

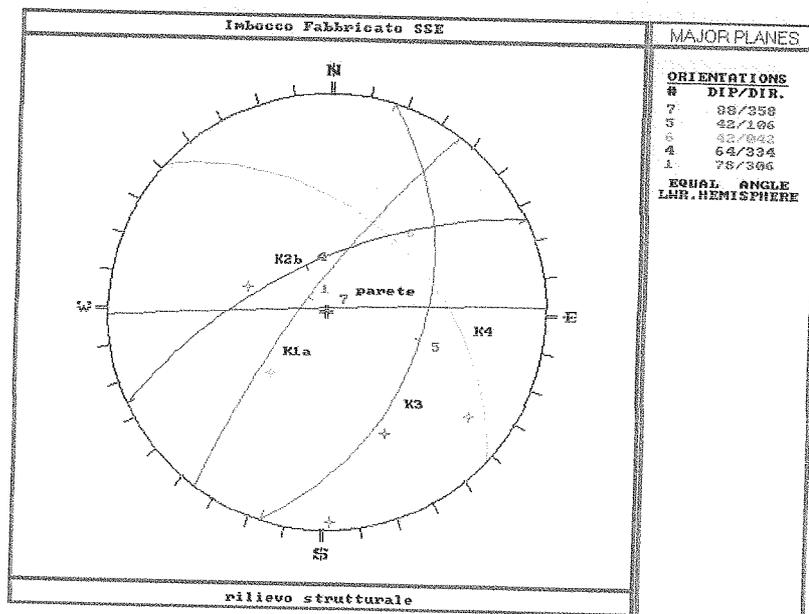


Figura 3: Proiezione dei principali piani di discontinuità e della parete di imbocco

La tabella riporta i valori medi delle caratteristiche principali delle discontinuità (dipdir, dip, spaziatura, scabrezza, apertura, riempimento ed alterazione). Le discontinuità osservate presentano valori di spaziatura medi di circa 0.50 – 1.00 m e

sono caratterizzate da una buona persistenza lineare. In relazione al detensionamento superficiale dell'ammasso, le discontinuità si presentano generalmente chiuse od aperte (3 ÷ 20 mm), prive di materiale di riempimento e non alterate. Le superfici di discontinuità sono prevalentemente planari o poco ondulate, localmente rugose e/o segmentate.

SET	DIP DIR	DIP	JRC	SPAZIATURA (m)	APERTURA (mm)	RIEMPIMENTO	ALTERAZIONE
K1a	306	78	4	2.00	20	argilla	no
K1b	308	86	10	1.00	1	no	no
K2a	326	86	8	1.00	3	no	no
K2b	334	64	10	0.50	-	no	no
K3	106	42	6	0.50	-	no	no
K4	042	42	12	0.25	-	no	no

I dati rilevati indicano sistemi di disgiunzione con una buona persistenza lineare, in grado di isolare elementi lapidei con volumi rocciosi unitari ridotti, mediamente pari a $\sim 60 \text{ dm}^3$.

Per lo studio geomeccanico di un ammasso roccioso caratterizzato da uno o più sistemi di discontinuità, assume fondamentale importanza la conoscenza delle proprietà geomeccaniche intrinseche dei giunti presenti ed i possibili meccanismi che possono innescarsi a seguito dello scavo. Le proprietà micromeccaniche delle superfici dei giunti, secondo le ricerche eseguite e disponibili in letteratura, dipendono dalle diverse caratteristiche fisiche delle superfici di discontinuità, quali scabrezza, resistenza a compressione della parete del giunto, estensione della superficie di discontinuità. La conoscenza di questi parametri permette di valutare l'andamento della curva sforzi-spostamenti tangenziali e sforzi-spostamenti normali.

La determinazione delle caratteristiche meccaniche delle varie famiglie di discontinuità è stata ottenuta considerando il criterio di rottura di Barton in base al quale è possibile ricavare l'angolo di attrito del giunto secondo la seguente relazione:

$$\phi = \left[\phi_b + JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right]$$

dove:

ϕ_b = angolo di attrito di base del giunto

JRC = coefficiente di scabrezza del giunto

JCS = resistenza a compressione del giunto

σ_n = tensione efficace normale al giunto

Per il calcolo delle resistenze al taglio di picco, è stato predisposto un foglio di calcolo che implementa l'equazione proposta a vari livelli di sollecitazione normale al giunto. Introducendo i valori delle caratteristiche del giunto (angolo di attrito di base, resistenza a compressione e rugosità), e il valore dello sforzo efficace normale ad esso, si ottiene la curva limite di rottura nel piano σ - τ . E' possibile ricavare la resistenza al taglio in termini di coesione istantanea ed angolo d'attrito istantaneo secondo il criterio di rottura di Mohr-Coulomb, tracciando la tangente alla curva in corrispondenza della tensione normale di interesse. Quest'ultima è stata ricavata in base al carico litostatico ed all'inclinazione del giunto considerando la geometria della verifica di stabilità impostata: il valore inserito è stato calcolato considerando la tensione normale prodotta da un carico litostatico di circa 20 metri (altezza massima della parte superiore della parete rocciosa) con un peso di volume pari a 27 - 28 kN/m³. In funzione dell'orientazione spaziale delle discontinuità, si stima una σ_n pari a circa 0.56 MPa per la superficie di discontinuità K3 e K4, all'incirca suborizzontale, e di circa 0.3 MPa per i sistemi di discontinuità subverticali.

La seguente tabella riassume le caratteristiche geometriche delle discontinuità e i parametri di resistenza al taglio di picco secondo Barton e Mohr-Coulomb per i set di discontinuità presenti.

3. VERIFICA DI STABILITA'

L'imbocco verrà realizzato tramite uno sbancamento secondo le geometrie indicate nelle tavole di progetto. Al fine di realizzare l'opera in sicurezza sono state eseguite una serie di verifiche per valutare le condizioni del fronte di scavo.

Le verifiche sono state distinte in funzione della orientazione dello sbancamento, la cui geometria e le relative sezioni sono riportate nelle tavole "Opere d'imbocco - Planimetria di intervento" e "Opere d'imbocco - Sviluppata, sezione e profilo di intervento":

- Sbancamento del fronte di attacco : esposizione a nord, altezza massima 21 m.

Essendo gli sbancamenti impostati interamente in roccia, ad esclusione di un sottile strato di terreno superficiale, le condizioni statiche dei versanti sono state valutate dapprima considerando scivolamenti planari o di cunei generati dai sistemi di discontinuità individuati nel precedente capitolo, nonché da possibili fenomeni di ribaltamento.

I parametri geomeccanici delle discontinuità utilizzati per la verifica della stabilità allo scivolamento planare e di cunei, ottenuti come indicato nel precedente capitolo, sono riportati nella tabella seguente; a favore di sicurezza è stata utilizzata una coesione nulla per tutte le famiglie di discontinuità.

PARAMETRI DISCONTINUITA'	K1, K2, K3, K4
Persistenza (m)	3 - 20 m
Angolo d'attrito (°)	31
Coesione (MPa)	0

3.1 Verifica stabilità fronte

3.1.1 Verifica allo scivolamento planare e di cunei

L'analisi dei cinematismi è stata condotta tramite il test di Markland (Hoek & Bray, 1981), valutando le caratteristiche geometriche dell'ammasso rispetto alla

Litotipo	γ	Coesione (c)	ϕ	E	ν
	KN/m ³	MPa	°	GPa	-
Metabasalti	27 ÷ 28	0.6 ÷ 1.4	37 ÷ 40	9.8 ÷ 22.1	0.25

I valori dei parametri tengono conto delle condizioni specifiche dell'ammasso in condizioni di roccia affiorante, in quanto il rilievo geostrutturale è stato eseguito in superficie, dove l'ammasso si presenta con fratture localmente aperte.

E' da notare che in corrispondenza della zona di imbocco è presente un ammasso soggetto alle azioni disgreganti dei processi di alterazione superficiale, per tenere conto di questo fenomeno si è prevista una diminuzione dei valori massimi corrispondenti a questo gruppo.

Per le verifiche di stabilità è stato sempre utilizzato, cautelativamente, il valore di angolo d'attrito di giunto pari a 31°.

PARAMETRO	K1	K2	K3	K4
Giacitura	78-86/306-308	64-86/326-334	42/106	42/042
Spaziatura media (cm)	100-200	50-100	50	250
JCS (MPa)	30 (stimato)	30 (stimato)	30 (stimato)	30 (stimato)
JRC	4	8	6	12
φ_b (°)	25	25	25	25
σ'_n (MPa)	0.3	0.3	0.56	0.56

BARTON

φ_{picco} (°)	33	41	35	45
-----------------------	----	----	----	----

MOHR-COULOMB

φ_{picco} (°)	31	37	33	40
Coesione picco (kPa)	13	32	38	105

2.1.4 Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso

Le caratteristiche meccaniche dell'ammasso sono state determinate applicando la classificazione geomeccanica di Bieniawski all'ammasso roccioso e correlando successivamente il valore RMR corretto con l'indice GSI; si determinano quindi i parametri di resistenza d'ammasso secondo i criteri di rottura di Hoek-Brown e Mohr-Coulomb e di deformabilità secondo Seraphim-Pereira.

Il rilievo eseguito in corrispondenza della parete di imbocco ha permesso di definire la classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso secondo Bieniawski e la determinazione del seguente range di valori di GSI: 53 ÷ 67.

Per il materiale roccia sono stati introdotti i seguenti valori delle costanti m_i e σ_c :

$$m_i = 17 \text{ (da letteratura)}$$

$$\sigma_c = 69 \text{ MPa}$$

Di seguito si riportano i valori di resistenza e deformabilità ottenuti:

orientazione del fronte di scavo per mezzo del programma DIPS 4.1. Con questo metodo è possibile identificare eventuali porzioni lapidee instabili mettendo a confronto l'assetto giaciturale dei piani di fratturazione con l'angolo d'attrito dei giunti e con l'orientazione del versante. Il test consente di valutare se sussistono le condizioni geometriche per lo scivolamento planare su singoli piani, o di cunei rocciosi lungo la traccia di intersezione tra discontinuità appartenenti a famiglie diverse.

Il metodo consiste nel riportare in una proiezione stereografica equatoriale le ciclografiche rappresentanti le orientazioni dei sistemi di discontinuità dell'ammasso roccioso (K1, K2, K3 e K4) ed il cono corrispondente all'angolo di attrito delle discontinuità. Viene quindi rappresentato il grande cerchio corrispondente alla giacitura del fronte di scavo che, nella situazione in esame, ha un'orientazione verso N con una inclinazione di circa 88 gradi (fig. 4).

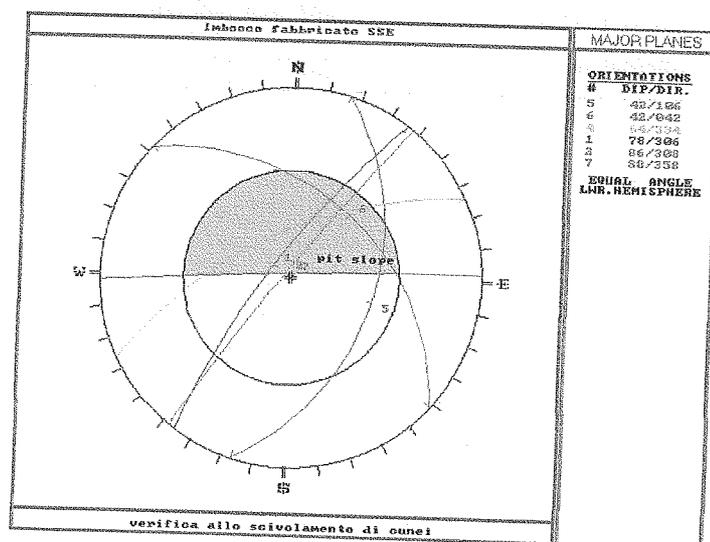


Figura 4: Test di Markland relativo allo sbancamento sinistro

Sono inoltre state eseguite le verifiche allo scivolamento planare ed al toppling:

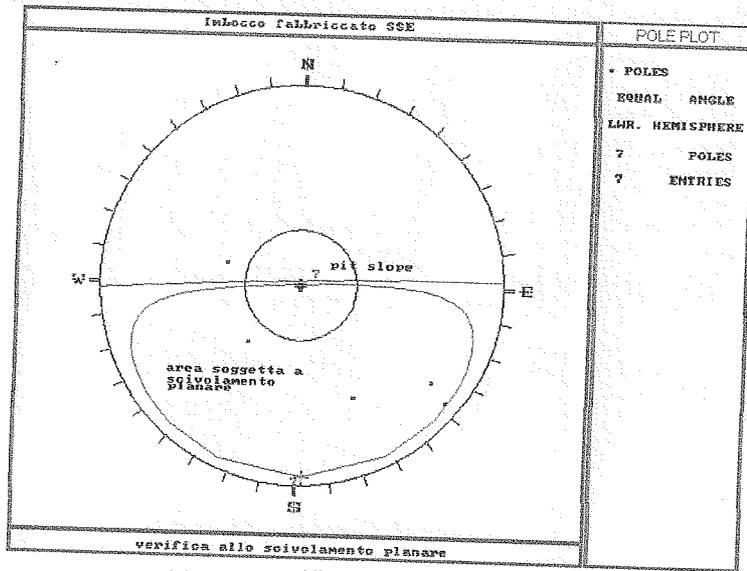


Figura 5: verifica allo scivolamento planare

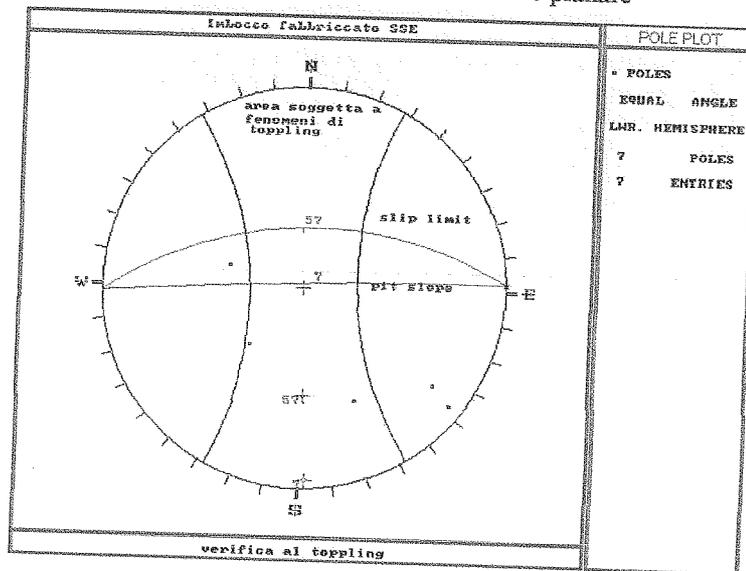


Figura 6: verifica ai fenomeni di toppling

4. INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DEL FRONTE

Le considerazioni esposte nel precedente paragrafo hanno evidenziato la necessità di prevedere la messa in opera di interventi di stabilizzazione superficiale del versante intagliato dagli scavi, da eseguirsi durante l'esecuzione degli sbancamenti.

Le verifiche proposte non tengono conto della presenza di pressioni idrauliche, il cui effetto sul meccanismo di scivolamento è di tipo destabilizzante sia per lo riduzione dello sforzo efficace lungo il giunto di base che, soprattutto, per lo sviluppo di una forza idraulica a tergo del blocco. La pendenza del versante e le condizioni delle fratture non favoriscono l'infiltrazione di acque, tuttavia, limitatamente alla presenza di eventuali blocchi superficiali isolati da fratture aperte, è possibile che tali condizioni sfavorevoli si instaurino in caso di eventi meteorici intensi.

In particolare è emersa la necessità di contenere possibili blocchi soggetti a fenomeni di scivolamento in occasione di eventi meteorici eccezionali.

Per questi motivi si ritiene opportuno mettere in sicurezza il versante con interventi preventivi, costituiti da una chiodatura ad elementi in acciaio di lunghezza 6 - 8 metri, diametro 24 mm e maglia 1.5*3.0 metri a quinconce, inclinati sull'orizzontale di circa 15° - 20°. I chiodi costituiscono un'opera di protezione passiva che agisce sulla stabilità del versante ed in particolare sui blocchi di maggiori dimensioni, assicurando una continuità di coesione nei primi metri superficiali dell'ammasso, che vengono in tal modo "collegati" all'ammasso profondo; la rete elettrosaldata ha invece la funzione di trattenere gli elementi di minori dimensioni che potranno essere smossi durante le operazioni di scavo.