

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

CA28 – CSL2 CANTIERE OPERATIVO DI CRAVASCO RELAZIONE GEOTECNICA

| | |
|--|----------------------|
| GENERAL CONTRACTOR | DIRETTORE DEI LAVORI |
| Consorzio Cociv Ing.P.P.Marcheselli | |

COMMESSA: I G 5 1 LOTTO: 0 0 FASE: E ENTE: C V TIPO DOC.: R B OPERA/DISCIPLINA: C A 2 8 0 1 PROGR.: 0 0 1 REV.: A

| Progettazione : | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------|------------|------------|-------------|------------|-------------------------|------------|----------------|
| Rev | Descrizione | Redatto | Data | Verificato | Data | Progettista Integratore | Data | IL PROGETTISTA |
| A00 | PRIMA EMISSIONE | Nascimbene | 20.06.2013 | G. Marchesi | 20.06.2013 | A. Palomba | 20.06.2013 | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

n. Elab.: _____ File: IG51-00-E-CV-RB-CA-28-0-1-001-A00.DOC

CUP: F81H9200000008

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-00-E-CV-RB-CA-28-0-1-001-A00 Relazione geotecnica |
| | Foglio 3 di 30 |

INDICE

| | | |
|---|--|----|
| INDICE..... | | 3 |
| 1. INTRODUZIONE..... | | 4 |
| 2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI | | 5 |
| 2.1. Normativa Sismica | | 7 |
| 2.2. Opere di contenimento degli scavi | | 9 |
| 2.2.1. Quadro geologico-geomorfologico | | 10 |
| 2.2.2. Quadro geotecnico..... | | 14 |
| 2.3. Caratterizzazione geomeccanica | | 19 |
| 2.4. Caratterizzazione geomeccanica del materiale roccia | | 19 |
| 2.5. Caratterizzazione geomeccanica delle discontinuità | | 20 |
| 2.6. Caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso | | 23 |
| 3. INQUADRAMENTO DELL'OPERA E PROPOSTA DI INTERVENTO | | 25 |
| 3.1.1. Parete laterale (tratto "A") | | 27 |
| 3.1.2. Parete laterale (tratto "B") | | 28 |
| 3.1.3. Parete laterale (tratto "C")..... | | 28 |
| 4. PRESCRIZIONI | | 29 |
| 5. CONCLUSIONI | | 30 |

| | | |
|---|--|-------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | |
| | IG51-00-E-CV-RB-CA-28-0-1-001-A00 Relazione geotecnica | Foglio 4 di 30 |

1. INTRODUZIONE

Oggetto della presente relazione è il cantiere industriale CA28 - CSL2 – CRAVASCO, con annesso impianto di betonaggio da realizzarsi nell'ambito delle infrastrutture di servizio necessarie per la costruzione del cunicolo esplorativo della linea A.C. Milano-Genova.

Il Progetto Definitivo, approvato dal CIPE con delibera 80/2006, prevede la sistemazione di un'area da adibire a Cantiere Industriale, denominato CSL2; l'area si ubica nel territorio del comune di Campomorone, nei pressi della frazione Cravasco all'interno di una cava dismessa,.

Il cantiere, posto alla quota di circa 289.s.l.m., è suddiviso in due parti:

- Una zona relativa all'accesso in galleria
- Una zona dedicata all'impianto di betonaggio.

L'accesso al cantiere avviene attraverso la strada esistente opportunamente ammodernata.

Il cantiere viene realizzato mediante asportazione sia di parte del cumolo di materiale inerte presente, sia di materiale delle pareti della cava

Nei capitoli che seguono, dopo un breve richiamo della situazione idrogeologica, geomorfologica e geotecnica, vengono fornite le principali indicazioni inerenti le fasi costruttive necessarie per la realizzazione del suddetto cantiere.

Le opere oggetto di verifica ricadono in zona sismica classificata come "zona 4". Nel seguito la progettazione è conforme a quanto previsto dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/2003.

| | | |
|---|--|---------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  | |
| | <p>IG51-00-E-CV-RB-CA-28-0-1-001-A00 Relazione geotecnica</p> | <p>Foglio 5 di 30</p> |

2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI

Per il calcolo e per le verifiche delle opere strutturali si è fatto riferimento alle seguenti norme:

- Legge 5/11/1971 n. 1086

Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.

- Legge n° 64 del 2 febbraio 1974

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 11951 del 14/2/1974

Legge 5 novembre 1971, n. 1086. Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica. Istruzioni per l'applicazione.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 20049 del 9/1/1980

Legge 5 novembre 1971 n. 1086 - Istruzioni relative ai controlli sul conglomerato cementizio adoperato per le strutture in cemento armato.

- Istruzioni C.N.R. 10012-81

Azioni sulle costruzioni.

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 11/3/1988

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici n. 30483 del 24/9/1988

Legge 2 febbraio 1974 art. 1-D.M. 11 marzo 1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione.

- Nota Ministero Lavori Pubblici n. 183 del 13/4/1989

D.M. 11.3.88. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, la progettazione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 14/02/1992

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

| | |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  |
| | IG51-00-E-CV-RB-CA-28-0-1-001-A00 Relazione geotecnica |
| | Foglio 6 di 30 |

- Circolare Ministero Lavori Pubblici 24/06/1993 n. 406/STC

Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al D. M. 14/02/1992.

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 9/01/1996

Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 16/01/1996

Norme tecniche relative ai "Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi".

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 16/01/1996

Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero Lavori Pubblici 15/10/1996 n. 252

Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al D. M. 9/01/96.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici 4/07/1996 n. 156AA.GG/STC

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi" di cui al decreto ministeriale 16 gennaio 1996.

- Circolare Ministero Lavori Pubblici 10/04/1997 n. 65/AA./GG.

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche" di cui al D. M. 16/01/96.

- Decreto Ministero Lavori Pubblici 5/08/1999

Modificazioni al decreto ministeriale 9 gennaio 1996 contenente norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- D.P.R. 6 Giugno 2001, n°380

Testo unico delle disposizioni legislative e regolamenti in materia edilizia

RACCOMANDAZIONI

- A.I.C.A.P. 1993

Ancoraggi nei terreni e nelle rocce – Raccomandazioni

- Eurocodice 1 UNI-EN-1991

| | |
|---|--|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  |
| | IG51-00-E-CV-RB-CA-28-0-1-001-A00 Relazione geotecnica |
| | Foglio 7 di 30 |

Criteria generali di progettazione strutturale

- **Eurocodice 2 UNI-EN-1992**

Progettazione delle strutture in calcestruzzo

- **Eurocodice 3 UNI-EN-1993**

Progettazione delle strutture in acciaio

- **Eurocodice 4 UNI-EN-1994**

Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo

- **Eurocodice 7 UNI-EN-1997**

Progettazione Geotecnica

- **Eurocodice 8 UNI-EN-1998**

Progettazione delle strutture per la resistenza sismica

2.1. Normativa Sismica

Per quanto riguarda l'analisi delle opere in progetto in condizioni sismiche, il calcolo viene svolto con il procedimento pseudo-statico, in cui l'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali e verticali date dal prodotto delle forze di gravità per un coefficiente sismico, come previsto dall'Ordinanza Ministeriale n°3274.

Per quanto riguarda le analisi delle opere temporanee in condizioni sismiche, considerando il carattere provvisorio dell'opera, l'accelerazione di progetto a_g (riferita ad un tempo di ritorno di 475 anni) deve essere scalata in funzione del tempo di costruzione dell'opera. (cfr. *Eurocodice 8 – Appendice A*). Il periodo di ritorno T_r di un evento sismico si può stimare in funzione del tempo di costruzione t_c attraverso la seguente espressione:

$$T_r = \frac{t_c}{p}$$

dove p è la probabilità che l'azione sismica ammessa sia superata.

L'accelerazione di progetto sarà quindi data dalla seguente formula:

$$a_{\max} = a_g \cdot \left(\frac{T_r}{475} \right)^{0.45}$$

Sarà quindi possibile calcolare i coefficienti sismici orizzontali e verticali, necessari per il calcolo dei coefficienti di spinta attiva e passiva in condizioni sismiche secondo le indicazioni di Mononobe-Okabe, attraverso le seguenti espressioni:

| | | |
|---|--|---------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  | |
| | <p>IG51-00-E-CV-RB-CA-28-0-1-001-A00 Relazione geotecnica</p> | <p>Foglio 8 di 30</p> |

$$K_h = \frac{S \cdot a_{\max}}{r}$$

$$K_v = 0.5 \cdot K_h$$

Per quanto riguarda le opere a carattere definitivo, invece, l'azione sismica verrà considerata nel calcolo inserendo i coefficienti sismici orizzontale e verticale senza effettuare alcuna riduzione data la non provvisorialità delle opere stesse che risulteranno quindi pari a

$$K_h = \frac{S \cdot a_g}{r}$$

$$K_v = 0.5 \cdot K_h$$

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-00-E-CV-RB-CA-28-0-1-001-A00 Relazione geotecnica |
| | Foglio 9 di 30 |

MATERIALI IMPIEGATI

2.2. Opere di contenimento degli scavi

| | |
|--|---|
| Acciaio barre di ancoraggio | FeB44k |
| Piastre ed accessori barre di ancoraggio | Fe430 |
| Rete elettrosaldata | FeB44k saldabile |
| Barre di ancoraggio sommità/piede | FeB44k saldabile |
| Magrone di pulizia | $R_m > 15 \text{ MPa}$ - Tipo CEM I-V - Esposizione X0 |
| Calcestruzzo per fosso di guardia | C25/30 - Tipo CEM III-V - Classe S3 - Esposizione XC1 |
| Miscela per ancoraggio barre | Tipo A: Ritiro compensato $R_m (28\text{gg}) \geq 25\text{MPa}$ $a/c \leq 0.5$ Additivi fluidificanti |
| Spritz-Beton | Resistenza media su carota - $f_m (48\text{h}) \geq 13\text{MPa}$ - $f_m (28\text{gg}) \geq 20\text{MPa}$ |
| Rete metallica esagonale a doppia torsione | Tessitura - Trafilato di ferro galvanizzato con lega di zinco $\geq 245\text{gr/mq}$ Ancoraggi e funi di fissaggio - B450C Funi di contenimento o maglia romboidale - Resistenza fili elementari $\geq 1770\text{MPa}$ - Carico di rottura fili elementari $\geq 84.1\text{kN}$ |

Le verifiche strutturali sono condotte mediante il metodo delle tensioni ammissibili; nel seguito si indicano i valori di resistenza di progetto per i vari materiali.

| | |
|-----------------------------|--------------------------------------|
| Acciaio Fe 430 | $\sigma_{amm} = 190 \text{ MPa}$ |
| Acciaio per armatura Feb44k | $\sigma_{amm} = 160 \text{ MPa (*)}$ |

(*) In condizioni sismiche o in condizioni di esercizio con verifica a fessurazione $\sigma_{amm} = 255 \text{ Mpa}$

2.2.1. Quadro geologico-geomorfologico

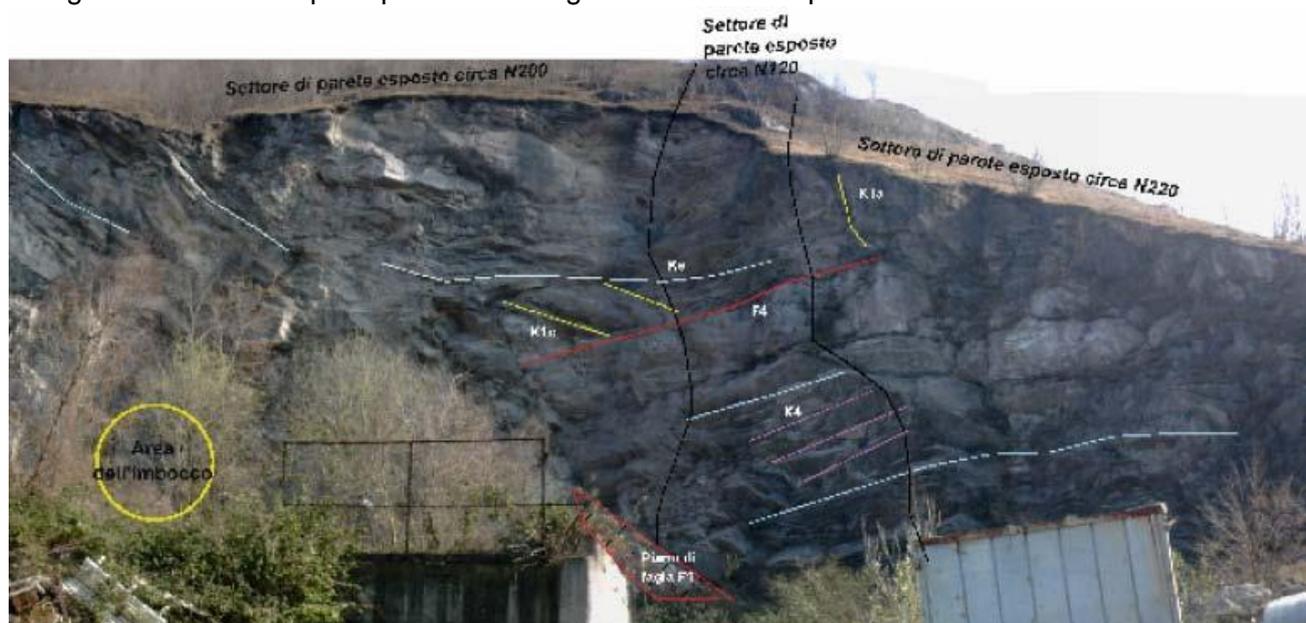
L'analisi del quadro geologico-geomorfologico si è basata, sui dati di letteratura relativi a studi esistenti e sui dati raccolti sul terreno tramite il rilevamento geologico-tecnico di superficie realizzato a supporto del progetto relativo alle opere provvisorie di imbocco della Finestra Cravasco (Vd. Rel. geologica – rel. geotecnica)

Il cantiere di servizio è previsto all'interno del piazzale di una ex cava di dolomie e calcari dolomitici della formazione delle "Dolomie di Monte Gazzo (Unità del Monte Gazzo-Isoverde).

Si tratta di dolomie e calcari dolomitici grigi, da microcristallini a saccaroidi, ben stratificati, talora con giunti pelitici centimetrati di colore giallo – verde; possono essere presenti livelli di breccie intraformazionali e rari strati marnosi verso l'alto. E' una formazione a comportamento fragile in cui gli eventi deformativi hanno provocato una intensa fratturazione che in alcuni casi può obliterare la stratificazione.

Negli affioramenti esaminati a supporto del progetto relativo alle opere provvisorie di imbocco della Finestra Cravasco è ben visibile la stratificazione, caratterizzata da inclinazione variabile tra 40° e 70° diretta verso sud-est (crf. Fig. 1). La presenza di un elevato numero di fratture e di faglie testimonia il comportamento fragile di queste rocce.

In Fig. 1 sono indicati i principali sistemi di giunti rilevati nella parete sud della cava.



| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-00-E-CV-RB-CA-28-0-1-001-A00 Relazione geotecnica |
| | Foglio 11 di 30 |

Durante il rilevamento sono stati individuati quattro sistemi di giunti i cui dati, riportati in Fig. 3, hanno permesso la classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso. Il rilevamento ha portato inoltre al riconoscimento di un sistema di faglie sub-verticali ad andamento circa Nord-Sud (indicate con F1, F2 e F3 in Fig. 3); a queste faglie è associato un sistema di giunti sub-paralleli, indicato con K1 (K1a, K1b e K1c).



Fig. 2: superficie di faglia affiorante in corrispondenza di un piccolo conoide formato da un accumulo di un fenomeno di crollo.

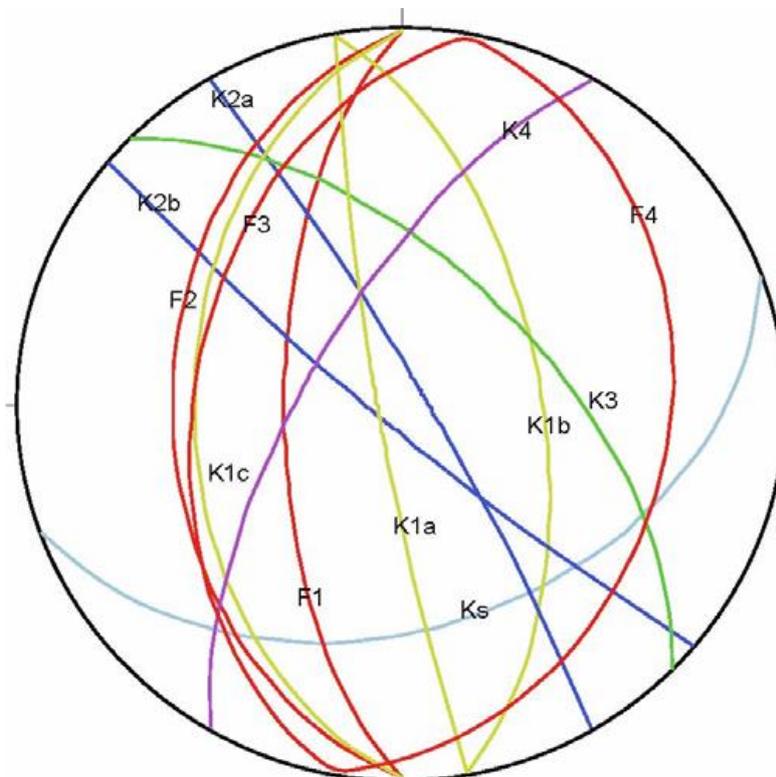


Fig. 3: Proiezione stereografica (Reticolo di Schmidt, emisfero inferiore) dei dati strutturali rilevati nelle Dolomie del Monte Gazzo in corrispondenza dell'imbocco della Finestra Cravasco

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-00-E-CV-RB-CA-28-0-1-001-A00 Relazione geotecnica |
| | Foglio 13 di 30 |

Il nuovo imbocco della Finestra Cravasco è ubicato in corrispondenza di una cava abbandonata il cui fronte, sub-verticale, è alto circa 50 m per una larghezza complessiva di circa 250 m . Al piede del fronte di cava è presente un accumulo di materiale di riporto, disposto in un terrazzo che separa il piazzale di cava su due livelli. La scarpata del terrazzo è parzialmente occupata, nel settore più meridionale della cava, da rada vegetazione arbustiva ed arborea. Lungo il ciglio del fronte di cava, a sud della zona dell'imbocco, è riconoscibile una nicchia di distacco di un crollo recente, il cui accumulo ha formato un piccolo conoide di detrito ai piedi del fronte di cava. Sono visibili altre due nicchie riconducibili a fenomeni di crollo: si tratta di due crolli meno recenti e di dimensioni decisamente inferiori rispetto al primo, i cui accumuli sono stati asportati.

In generale lungo tutto il fronte di cava sono osservabili alcuni massi instabili, di dimensione media intorno ai 3-5 m³.

La morfologia è nel complesso sub-pianeggiante in corrispondenza al piazzale di cava che è invece circondato dalle pareti gradonate sub-verticali di coltivazione della cava secondo una forma globale ad anfiteatro; sia sul piazzale sia, evidentemente, sui gradoni di cava risulta affiorante la formazione rocciosa.

Si segnala comunque, contro il gradone più basso nel settore sud del piazzale, la presenza di un grosso corpo in terra di riporto antropico (probabilmente materiale di scarto che derivava dalle operazioni di scavo nella ex cava di dolomie e calcari-Fig.4).



Fig. 4: deposito di materiale di riporto antropico

Le osservazioni sul terreno non evidenziano problematiche geologico-tecniche nell'area del piazzale; altrettanto non si può dire per le pareti gradonate al contorno che, come meglio descritto nel paragrafo successivo, evidenziano invece situazioni abbastanza diffuse di criticità geomeccanica con fenomeni di dissesti in roccia.

Anche il corpo in terra è interessato da fenomeni di dissesto superficiali delle scarpate causati dalla elevata pendenza e dall'assenza di regimazione delle acque.

Nell'area di cava e nel versante immediatamente a monte della stessa non sono stati osservati impluvi che possano concentrare le acque di ruscellamento del versante verso il ciglio della cava: tuttavia si consiglia di realizzare interventi di regimazione che allontanino dall'area dell'imbocco e dal cantiere le acque provenienti dal versante durante gli eventi pluviometrici.

2.2.2. Quadro geotecnico

Il cantiere di servizio, come già precisato, è previsto all'interno del piazzale di una ex cava di dolomie e calcari dolomitici.

La formazione geologica cavata, poiché rientrante in una fascia di notevole disturbo tettonico (faglia Sestri-Voltaggio) è caratterizzata da una fratturazione pervasiva dell'ammasso roccioso.

Il rilievo strutturale eseguito nella zona di imbocco ha consentito di definire le caratteristiche geomeccaniche dei litotipi affioranti nell'area di imbocco. I risultati sono riportati in tabella.

| SET | DIP_DIR. | DIP |
|-----|----------|-----|
| K1a | 260 | 85 |
| K1b | 80 | 60 |
| K1c | 270 | 45 |
| K2a | 60 | 85 |
| K2b | 220 | 85 |
| K3 | 45 | 60 |
| K4 | 300 | 70 |
| K5 | 160 | 40 |
| F1 | 270 | 65 |
| F2 | 270 | 40 |
| F3 | 280 | 45 |

I risultati del rilievo geomeccanico redatto per il progetto definitivo riportavano le seguenti caratteristiche geomeccaniche nei singoli settori (Vd. fig.6):

◆ Settore 1(settore nord)

stratificazione 80/30

k1 220/60

k2 320/70

k3 50/70

fronte di cava 270/80

◆ Settore 2(settore centrale)

stratificazione 110/80

k1 270/70

k2 90/80

k3 200/70

fronte di cava 270/85

◆ Settore 3(settore sud – zona imbocco)

stratificazione 140/50

k1 270/85

k2 300/50

fronte di cava 295/85



Fig.5 : settore 1

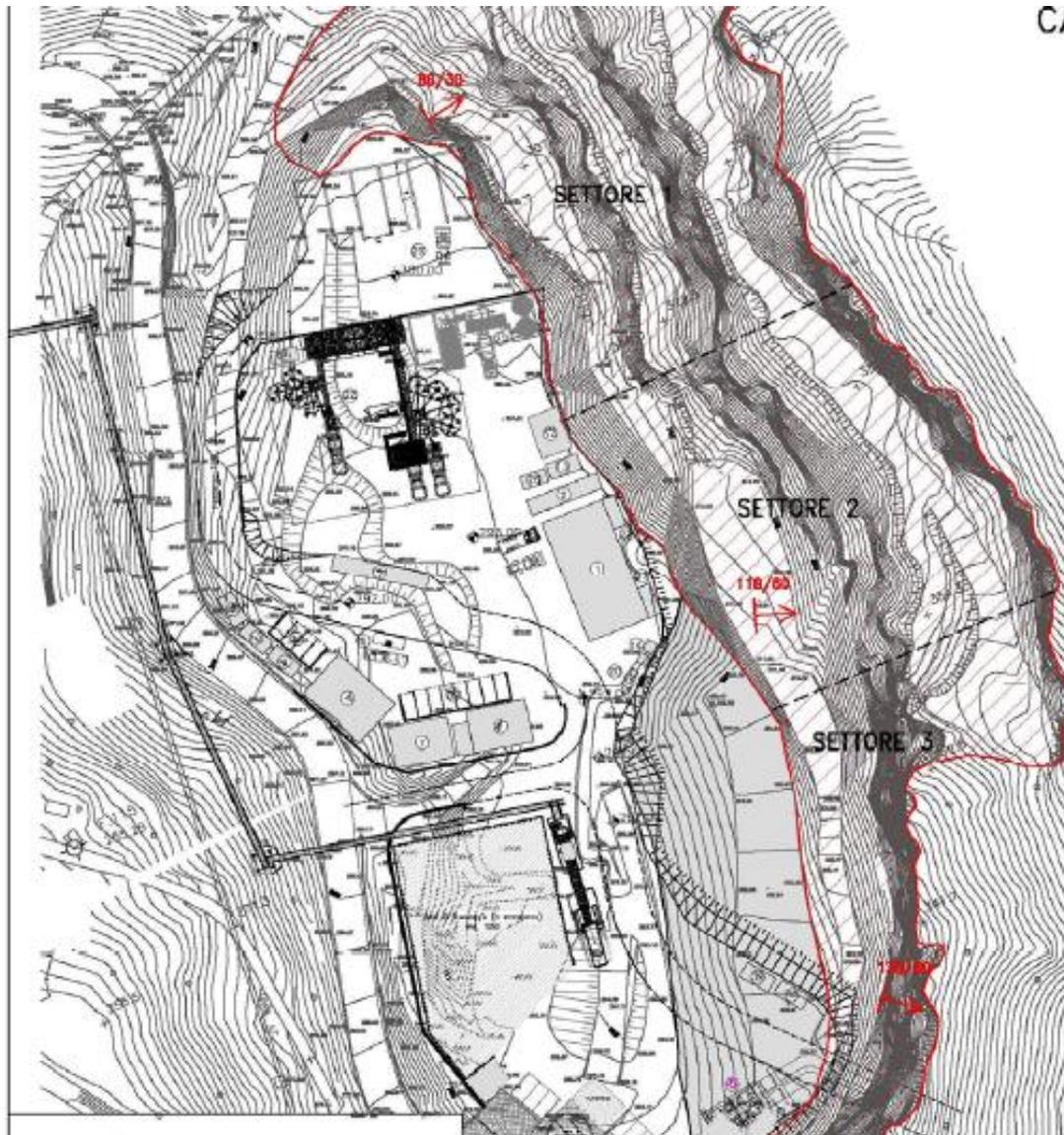


Fig.6 : carta delle criticità allegata alla relazione tecnica del progetto definitivo



Fig.6 : settore 2



Fig. 7 : settore 3

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-00-E-CV-RB-CA-28-0-1-001-A00 Relazione geotecnica |
| | Foglio 18 di 30 |

I dati strutturali rilevati in particolare nella zona di imbocco hanno evidenziato che le discontinuità hanno spaziatura comprese tra 50 a 120 cm, L'RQD è pertanto molto variabile, da scadente ad eccellente.

Questa condizione geostrutturale, che è risultata favorevole dal punto di vista dell'abbattibilità dei materiali durante la coltivazione della cava, è causata ad oggi, insieme alla mancata regimentazione delle acque, di fenomeni diffusi di franamento di blocchi rocciosi dai diversi fronti di cava che contornano il piazzale.

Le tipologie di distacco sono diverse (scivolamenti, ribaltamenti, ecc) e di diverso grado di importanza nell'ambito dell'anfiteatro di cava (vedi foto sotto riportate).

Il sopralluogo in cava ha evidenziato che le traiettorie ed i percorsi con probabili rimbalzi dei blocchi rocciosi possono potenzialmente portare gli stessi a raggiungere il piazzale; l'analisi visiva delle pareti ha evidenziato numerose situazioni che potenzialmente potrebbero avere questo sviluppo ed evoluzione.



Fig. 8: Area interessata da fenomeni di dissesto in roccia

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-00-E-CV-RB-CA-28-0-1-001-A00 Relazione geotecnica |
| | Foglio 19 di 30 |

2.3. 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 dalle prove eseguite nel corso di due sondaggi eseguiti per il Progetto, da dati di letteratura e dati ottenuti dalle esperienze maturate sugli stessi litotipi.

Le proprietà meccaniche delle discontinuità, in assenza di prove di taglio, vengono 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 alle correlazioni proposte in letteratura.

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.

2.4. Caratterizzazione geomeccanica del materiale roccia

Campioni di roccia estratti dal carotaggio eseguito per il Progetto Preliminare 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.

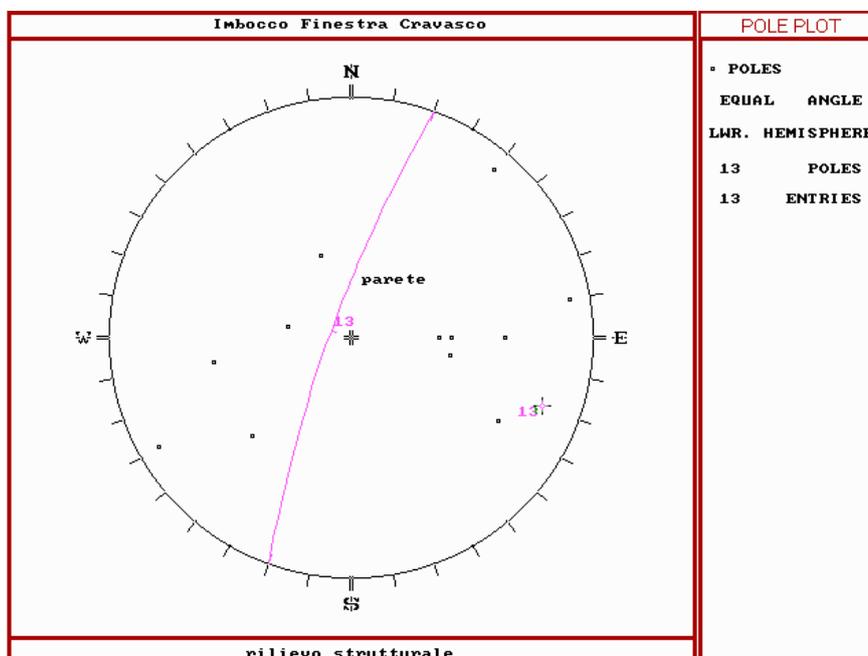
| | P. di vol. roccia (kN/m3) | Velocità soniche (m/s) | M.Young tangente (MPa) | spicco (MPa) | strazione (MPa) |
|----------|---------------------------|------------------------|------------------------|--------------|-----------------|
| Media | 27.33 | 4306 | - | 53.70 | - |
| St. Dev. | 0.46 | 719 | - | 12.30 | - |

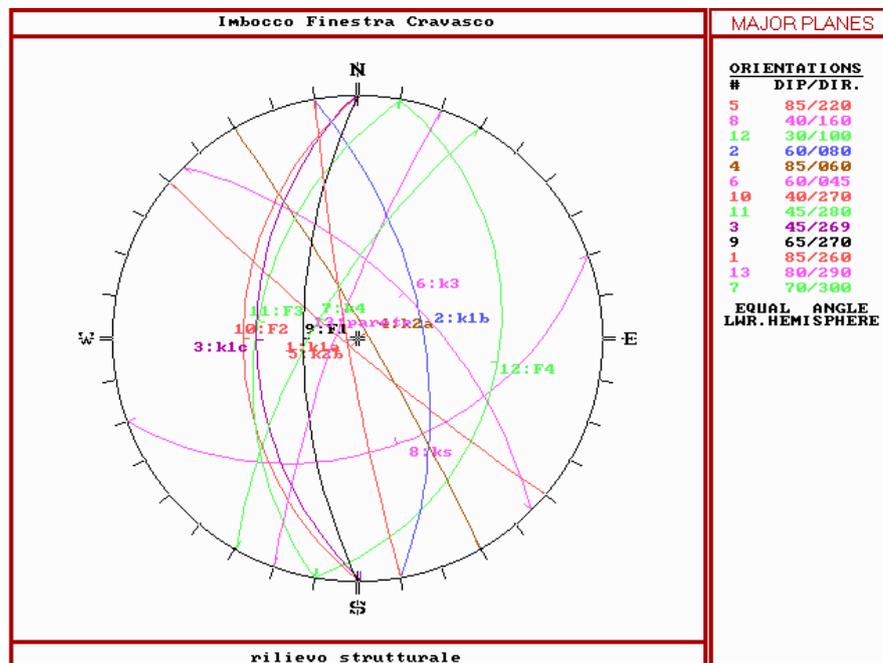
Le prove di compressione monoassiale hanno dato valori medi pari a 53 - 54 MPa. In base a questi valori le rocce si collocano al limite tra il campo delle rocce a bassa ed a media resistenza (Deere & Miller, 1966).

2.5. Caratterizzazione geomeccanica delle discontinuità

Il rilievo geostrutturale eseguito a supporto del progetto relativo alle opere provvisorie di imbocco della Finestra Cravasco ha rilevato un elevato grado di fratturazione dell'ammasso roccioso, con la presenza di quattro sistemi principali di giunti, oltre alla superficie di stratificazione: K1 (a, b e c), K2 (a e b), K3, K4, KS.

Di seguito si riportano gli stereogrammi rappresentanti la dispersione spaziale dell'orientazione delle cinque famiglie principali identificate oltre a quattro faglie principali (K1, K2, K3, K4 e KS, F1, F2, F3, F4).





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 0.70 – 0.80 m e sono caratterizzate da una buona persistenza lineare. In relazione al detensionamento superficiale dell'ammasso, le discontinuità si presentano generalmente chiuse od aperte (0 ÷ 0.5 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 | 260 | 85 | 8 | 5.00 | 10 | breccia | no |
| K1b | 80 | 60 | 6 | 0.30 | 0.10 | no | no |
| K1c | 270 | 45 | 10 | 0.30 | - | no | no |
| K2a | 60 | 85 | 10 | 7.00 | 0.10 | breccia | no |
| K2b | 220 | 85 | 10 | 7.00 | 0.10 | breccia | no |
| K3 | 45 | 60 | 7 | 10.0 | - | breccia | no |
| K4 | 300 | 70 | 14 | 0.40 | 1.0 | no | no |
| K5 | 160 | 40 | 10 | 0.50 | 0.20 | no | no |
| F1 | 270 | 65 | 8 | 6.00 | 0.10 | breccia | no |
| F2 | 270 | 40 | 7 | 12.00 | - | breccia | no |
| F3 | 280 | 45 | 6 | 5.00 | 15.0 | breccia | no |

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:

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

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 50 metri (altezza massima della parte superiore della parete rocciosa) con un peso di volume pari a 27 kN/m³. In funzione dell'orientazione spaziale delle discontinuità, si ottiene una σ_n pari a circa 1.35 MPa per le superfici di discontinuità KS e K3, all'incirca suborizzontali, e di circa 0.6 – 0.7 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.

| Parametro | K1 | K2 | K3 | K4 | KS |
|-----------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Giacitura | 45-85/080-270 | 85/060-220 | 45/060 | 70/300 | 40/160 |
| Spaziatura media (cm) | 50 | 700 | 1000 | 40 | 50 |
| JCS (MPa) | 24 (stimato) | 24 (stimato) | 24 (stimato) | 24 (stimato) | 24 (stimato) |

| | | | | | |
|------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| JRC | 8 | 10 | 7 | 14 | 10 |
| φ_b (°) | 23 (stimato) |
| σ_n (MPa) | 0.7 | 0.7 | 1.35 | 0.7 | 1.35 |

Barton

| | | | | | |
|-----------------------|----------|----------|-------------|----------|-------------|
| φ_{picco} (°) | Circa 35 | Circa 38 | Circa 31-32 | Circa 44 | Circa 35-36 |
|-----------------------|----------|----------|-------------|----------|-------------|

Mohr-Coulomb

| | | | | | |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| φ_{picco} (°) | Circa 31-32 | Circa 33-34 | Circa 28-29 | Circa 37-38 | Circa 30-31 |
| coesione di picco (kPa) | Circa 64 | Circa 86 | Circa 99 | Circa 146 | Circa 156 |

2.6. 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: 37 ÷ 56.

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

$$m_i = 8.4 \text{ (da letteratura)}$$

$$\sigma_c = 53.7 \pm \text{MPa}$$

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

| Litotipo | Peso di volume γ (kN/m ³) | Coesione c' (MPa) | Angolo di attrito φ (°) | Modulo def. E (GPa) | ν - |
|-------------------------------|---|------------------------|------------------------------------|------------------------|------------|
| Dolomia massiva | 27 | 0.53-1.45 | 38-46 | 9.0-11.3 | 0.25 |
| Dolomia mediamente fratturata | 27 | 0.3-1.24 | 35-45 | 4.9-6.0 | 0.25-0.30 |

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-00-E-CV-RB-CA-28-0-1-001-A00 Relazione geotecnica |
| | Foglio 24 di 30 |

| | | | | | |
|--------------------------|----|----------|-------|---------|------|
| Dolomia molto fratturata | 27 | 0.23-1.0 | 33-42 | 3.1-3.9 | 0.30 |
|--------------------------|----|----------|-------|---------|------|

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.

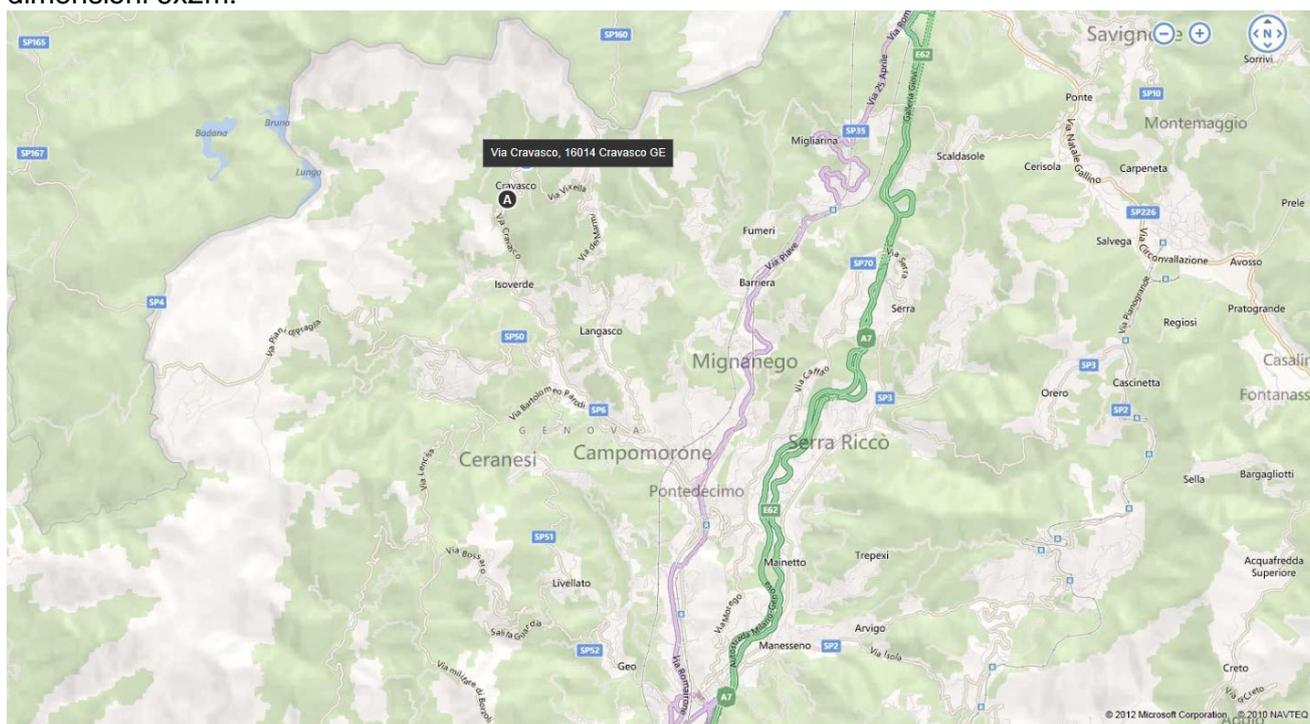
3. INQUADRAMENTO DELL'OPERA E PROPOSTA DI INTERVENTO

Il Progetto Definitivo, approvato dal CIPE con delibera 80/2006, prevede la sistemazione di un'area da adibire a Cantiere Industriale, denominato CSL2; l'area si ubica nel territorio del comune di Campomorone, nei pressi della frazione Cravasco all'interno di una cava dismessa.

L'area su cui viene realizzato il cantiere CSL2 è ottenuta in generale mediante scavo e regolarizzazione del terreno, con eventuale riporto nelle zone più depresse.

Altimetricamente il cantiere si articola su un unico piazzale alla quota di 289 m.s.l.m., tranne per l'area di stoccaggio inerti; quest'ultima si trova alla quota di 296 m.s.l.m., ed è collegata al piazzale del cantiere tramite una pista del 9% circa di pendenza.

Come ingresso principale si mantiene quello esistente, che garantisce un'ottima gestione del flusso veicolare in arrivo-uscita al cantiere. All'ingresso del campo sarà installato un cancello a due ante di dimensioni 6x2m.



Per quanto riguarda la sismicità dell'area in base all'ordinanza n°3274 si è considerata la zona sismica 4, riferita al comune di Campomorone nel quale ricade l'opera; si sono inoltre verificati i valori riferiti alla zona limitrofa alla zona di imbocco, riportanti tutti la medesima zona sismica.

| Località | Zona Sismica |
|-------------|--------------|
| Campomorone | 4 |

| | | |
|--|--|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE | |
| | IG51-00-E-CV-RB-CA-28-0-1-001-A00 Relazione geotecnica | Foglio 26 di 30 |

| | |
|-------------|---|
| Ceranoesi | 4 |
| Mignanego | 4 |
| Serra Riccò | 4 |
| Genova | 4 |



Per la realizzazione degli scavi e delle rispettive scarpate definitive in considerazione della presenza di pareti rocciose molto inclinate (fino a 60° - 70°), costituite da dolomie e calcari dolomitici grigi appartenenti alla formazione del Monte Gazzo, con buone proprietà geomeccaniche, si è previsto un attacco di tipo diretto, effettuando sbancamenti in roccia e provvedendo alla stabilizzazione delle pareti mediante la messa in opera di chiodature e reti metalliche di contenimento .

Verifiche delle chiodature

E' possibile analizzare l'effetto prodotto da un intervento di bullonatura sulla stabilità del singolo blocco inserendo i parametri tecnici specifici dell'intervento e la lunghezza dei bulloni.

Le chiodature previste sono barre in acciaio tipo FEb44K, di diametro ϕ 24 mm e lunghezza 6 m, messe in opera ortogonalmente alla parete di scavo.

La resistenza di calcolo utilizzata per le suddette barre è pari a

$$F_{yd} = f_{yd} \cdot A = 373.9 \text{MPa} \cdot 4.52 \text{cm}^2 = 16.9 \text{ t}$$

| | |
|--|--|
| GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci | ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE |
| | IG51-00-E-CV-RB-CA-28-0-1-001-A00 Relazione geotecnica |
| | Foglio 27 di 30 |

I bulloni sono disposti a maglia quinconcia 3.0 x 3.0 m, ovvero con una densità di 0.111 bulloni al m². Questo dato è importante poiché nel programma di calcolo, una volta determinata la geometria del cuneo, quindi anche l'area della superficie lungo il pendio, si ottiene il numero totale dei chiodi interessati, così da poter calcolare la capacità portante totale ed il relativo coefficiente di sicurezza.

Si sono adottate chiodature disposte a maglia quinconcia 3.0 m × 3.0 m, della lunghezza di 6 m, ancorate per l'intera lunghezza, inclinate di 5° - 15° rispetto alla parete di scavo. Si adotteranno barre in acciaio FeB44k, di diametro ϕ 24 mm, con un diametro di perforazione di 48 mm.

Gli sbancamenti sono stati impostati con pendenze di scavo pari a 3,5 (verticale) su 1 (orizzontale), con una altezza di circa 5-15 m.

Lo scavo verrà condotto con demolitore meccanico, secondo modalità tipiche di sbancamenti in versanti rocciosi. I bulloni dovranno essere posti in opera a seguito delle successive fasi di ribasso, che saranno, al massimo 2,5 – 3,0 metri. Preliminarmente all'operazione di riprofilatura tramite gli sbancamenti, sarà realizzata una pulizia del versante mediante disboscamento e bonifica della coltre superficiale, laddove presente.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva contenente i coefficienti di sicurezza ottenuti dall'analisi geomeccanica redatta a supporto del progetto relativo alle opere provvisorie di imbocco della Finestra Cravasco :

| | FS (senza rinforzi) | FS (Chiodi) | FS (Spritz-beton) |
|--------|---------------------|-------------|-------------------|
| K1/Ks | 0.5409 | 3.04 | 83.73 |
| K1/K4 | 0.5296 | 2.267 | 1.467 |
| Ks/K4 | 2.01 | 10.819 | 2.642 |
| K3/K4 | 0.1918 | 7.677 | 15.176 |
| K2a/K4 | 0.1807 | 3.2843 | 5.186 |
| K2b/K4 | 0.1809 | 9.9462 | 3.494 |

3.1.1. Parete laterale (tratto "A")

| | FS (senza rinforzi) | FS (Chiodi) |
|---------|---------------------|-------------|
| K1/Ks | 0.5409 | 11.237 |
| K1/K4 | 1.766 | 5.630 |
| K1a/Ks | 0.613 | 2.430 |
| K1a/K2a | 2.5412 | 8.128 |
| K1a/K2b | 1.1145 | 4.4512 |
| Ks/K4 | 1.727 | 5.825 |

| | | |
|--------|--------|--------|
| Ks/K2a | 0.6116 | 2.2061 |
| Ks/K2b | 0.6169 | 2.4122 |

3.1.2. Parete laterale (tratto "B")

| | FS (senza rinforzi) | FS (Chiodi) |
|---------|---------------------|-------------|
| K1/Ks | 0.5409 | 11.237 |
| K1/K4 | 1.766 | 5.630 |
| K1a/Ks | 0.613 | 2.430 |
| K1a/K2a | 2.5412 | 8.128 |
| K1a/K2b | 1.1145 | 4.4512 |
| Ks/K4 | 1.727 | 5.825 |
| Ks/K2a | 0.6116 | 2.2061 |
| Ks/K2b | 0.6169 | 2.4122 |

3.1.3. Parete laterale (tratto "C")

Le verifiche in corrispondenza della parete laterale "C" hanno evidenziato la formazione di cunei con FS decisamente sempre molto superiori ad 1.3 (valori compresi tra 2 e 9). Si prevede comunque una chiodatura con identica maglia 3.0m * 3.0m come protezione della parete da eventuali distacchi accidentali.

| | | |
|---|--|----------------------------|
| <p>GENERAL CONTRACTOR</p>  | <p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  | |
| | <p>IG51-00-E-CV-RB-CA-28-0-1-001-A00 Relazione geotecnica</p> | <p>Foglio 29 di 30</p> |

4. PRESCRIZIONI

Fermo restando l'osservanza di tutte le prescrizioni e norme in materia di sicurezza con specifico riguardo anche all'idoneità del personale, all'idoneità e congruenza dei mezzi e delle attrezzature di lavoro, per l'esecuzione delle opere di cui al presente progetto si richiama l'esecutore al rispetto delle indicazioni contenute nei documenti progettuali (elaborati grafici, relazioni tecniche), in particolare per quanto attiene alle geometrie degli interventi di consolidamento e rivestimento, alle caratteristiche dei materiali da impiegare, alla sequenza ed alla successione delle fasi esecutive.

Si richiama l'attenzione da parte dell'esecutore sul fatto che il progetto garantisce la stabilità in condizioni statiche e pertanto, nelle fasi dinamiche di lavoro (scavo sterro e riporto, consolidamenti,...), si ritiene necessario ricordare quanto segue:

- utilizzare sempre mezzi di lavoro e macchinari non solo pienamente rispondenti alle norme di prevenzione, ma anche idonei ed adeguati allo specifico lavoro da effettuare in concreto;
- preallertare ed istruire le maestranze riguardo le norme di sicurezza da rispettare;
- istituire delle zone di rispetto al fine di mantenere il personale non indispensabile lontano dal fronte e comunque evitare che vi sosti per periodi di tempo eccessivamente lunghi;
- qualora le pareti di scavo presentino qualche fenomeno di instabilità con locali distacchi, si dovrà provvedere alla loro stabilizzazione immediata con tutti gli accorgimenti necessari atti ad evitare danni di qualsiasi natura.
- tenere sempre sotto controllo visivo diretto il fronte di scavo, prevedendo in tal senso la presenza di un responsabile durante la permanenza del personale presso il fronte stesso.

| | | |
|---|--|--------------------|
| GENERAL CONTRACTOR  | ALTA SORVEGLIANZA  | |
| | IG51-00-E-CV-RB-CA-28-0-1-001-A00 Relazione geotecnica | Foglio 30 di 30 |

5. CONCLUSIONI

Nella presente relazione è stato illustrato il progetto relativo al cantiere industriale CA28 - CSL2 – CRAVASCO, con annesso impianto di betonaggio da realizzarsi nell’ambito delle infrastrutture di servizio necessarie per la costruzione del cunicolo esplorativo della linea A.C. Milano-Genova.

Il Progetto Definitivo, approvato dal CIPE con delibera 80/2006, prevede la sistemazione di un’area da adibire a Cantiere Industriale, denominato CA28 - CSL2; l’area si ubica nel territorio del comune di Campomorone, nei pressi della frazione Cravasco all’interno di una cava dismessa.

Sono state verificate dal punto di vista statico sia le opere di contenimento delle terre a breve termine che quelle in fase definitiva; in particolare sono state progettate le chiodature per il sostegno degli scavi. Le verifiche sono effettuate secondo il metodo delle tensioni ammissibili seguendo le prescrizioni del D.M. 1996 e dell’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°3274 del 20/03/2003 per quanto concerne gli aspetti sismici. In base a quanto svolto, tutte le opere risultano soddisfare i requisiti richiesti dalle normative.