COMMITTENTE:

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

ALTA SORVEGLIANZA:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

:

GENERAL CONTRACTOR:

Consorzio Collegamenti Integrati Veloci

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

TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI
PROGETTO DEFINITIVO
CAVA VECCHIE FORNACI (EX CAVA BUZZI) RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE
RELAZIONE GEOTECNICA E DI CALCOLO GALLERIA E OPERE DI IMBOCCO

GENERAL CONTRACTOR	ITALFERR S.p.A.	
Consorzio Cociv Project Manager (Ing. Guagnozzi) Data: 07/06/2012		

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
A301	00	D	CV	RB	AD9100	001	F

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
E00	Adeguamento terre e rocce da scavo	Ing. M. Frandino	16/03/2012	Ing.D. Spoglianti	20/03/2012	Ing. E. Pagani	23/03/2012	Ing. E. Ghislandi ORDINE DEGLI INGEGNERI DELLA PROVINCIA DI MILANO DOTT. ING. GHISLANDI ENRICO Sez. A Settori: a) civile e ambientale b) industriale c) dell'informazione n° A 16993 Data: 07/06/2012
F00	A30100D07ISAD9100001 A del 18/05/2012	Ing. M. Frandino	04/06/2012	Ing.D. Spoglianti	06/06/2012	Ing. E. Pagani	07/06/2012	

	n. Elab.:	File: A301-00-D-CV-RB-AD91-00-001-F00.DOC

CUP: F81H92000000008

INDICE

INDICE 2
1. INTRODUZIONE 3
1.1 INQUADRAMENTO DELL'AREA 4
2. NORMATIVE E RACCOMANDAZIONI 5
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO 8
4. VERIFICHE DELLE OPERE DI IMBOCCO 10
4.1 SOFTWARE UTILIZZATI 10
4.2 ANALISI E VERIFICHE DELLE PARETI DI SBANCAMENTO E DELLE CHIODATURE 10
4.2.1 Verifiche grafiche di stabilità degli sbancamenti 11
4.2.2 Imbocco lato Savona 12
4.2.3 Imbocco lato Borzoli 16
4.2.4 Verifiche allo scivolamento dei cunei rocciosi 21
4.2.5 Verifiche delle chiodature 22
4.2.6 Imbocco lato Savona 22
4.2.7 Imbocco lato Borzoli 26
5. VERIFICHE GALLERIA NATURALE 30
5.1 IMPORTANZA DEL FRONTE DI SCAVO 31
5.1.1 Gallerie a fronte stabile (CASO A) 31
5.1.2 Gallerie a fronte stabile a breve termine (CASO B) 32
5.1.3 Gallerie a fronte instabile (CASO C) 32
5.2 CALCOLO DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO ALLO SCAVO 32
5.2.1 Linee caratteristiche della cavità 33
5.2.2 Diagnosi: determinazione delle categorie di comportamento 34
6. FASE DI TERAPIA 35
6.1 CATEGORIE DI COMPORTAMENTO 35
6.2 SEZIONI TIPO APPLICATE 37
6.2.1 Sezione tipo 1 37
6.2.2 Sezione tipo 2 38
6.2.3 Sezione tipo 3 38
6.3 ANALISI DELLA GALLERIA MEDIANTE MODELLI DISCONTINUI 39
6.3.1 VERIFICA DI STABILITÀ DEI CUNEI ROCCIOSI 42
7. CONCLUSIONI 48

1. INTRODUZIONE

Nella presente relazione si analizzano le problematiche progettuali connesse alla realizzazione delle opere di imbocco e della galleria di servizio nell'ambito della riqualificazione ambientale dell'area della cava Vecchie Fornaci (ex Cava Buzzi).

Si prevede la realizzazione di una galleria policentrica di area di scavo pari a circa 32m2 nella sezione corrente e pari a 53m2 circa nella sezione allargata, prevista lungo lo sviluppo per consentire l'incrocio dei mezzi.

La galleria in oggetto si sviluppa per una lunghezza complessiva di 867m circa comprensivi delle 5 sezioni allargate previste.

Le coperture massime risultano superiori ai 200m e l'opera ricade nella formazione delle Dolomie del Monte Gazzo.

Di seguito, dopo aver esaminato il quadro geologico-geotecnico sino ad oggi noto (FASE CONOSCITIVA), sulla base dei dati e delle considerazioni già svolte nel corso degli studi precedenti (dal 1992 ad oggi), verrà individuato il più probabile comportamento che l'ammasso manifesterà a seguito del proseguimento degli scavi (FASE DI DIAGNOSI).

In base a ciò verranno quindi stabilite le principali tipologie di intervento che si ritengono necessarie a garantire la stabilità globale della cavità (FASE DI TERAPIA).

La sequenza delle varie fasi progettuali può essere di seguito riassunta nelle quattro seguenti tappe fondamentali:

- Fase conoscitiva che consente, attraverso una analisi dettagliata ed un esame critico dei dati disponibili, una preliminare caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso interessato dallo scavo;
- Fase di diagnosi nella quale, utilizzando il metodo delle "linee caratteristiche", analizzando i differenti gruppi geomeccanici individuati nella fase conoscitiva ed in base ai differenti valori di copertura, si individuano delle classi di comportamento, considerando quale elemento centrale per l'analisi la stabilità del fronte di scavo (sistema ADECO-RS):
    - caso "A", fronte stabile,
    - caso "B" fronte stabile a breve termine,
    - caso "C" fronte instabile;
- Fase di terapia che consente, successivamente all'individuazione delle categorie di comportamento, la definizione degli interventi progettuali più idonei da mettere in atto, per la realizzazione delle gallerie.

All'interno del presente documento saranno inoltre dimensionate le opera di imbocco della galleria di servizio. In considerazione della natura degli ammassi da scavare, si sono previsti imbocchi

diretti, mediante sbancamento (ove necessario) della roccia in posto e chiodatura delle pareti di scavo, mediante barre tipo “gewi” e rete metallica esagonale a doppia torsione.

1.1 INQUADRAMENTO DELL’AREA

Le opere in oggetto ricadono nell’area del Monte Gazzo. Di seguito si riporta l’inquadramento dell’area oggetto delle opere.



Figura 1 – Area Imbocco lato Borzoli



Figura 2 – Area del tracciato



Figura 3 – Area Imbocco lato Savona

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.

- 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

- Decreto Ministeriale 14/09/2005

Norme Tecniche per le Costruzioni (ex "Testo Unico" delle Norme Tecniche per le Costruzioni).

- Ordinanza Ministeriale 3274

Norme Tecniche per le Costruzioni (ex "Testo Unico" delle Norme Tecniche per le Costruzioni).

RACCOMANDAZIONI

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

Ancoraggi nei terreni e nelle rocce – Raccomandazioni

- Eurocodice 1 UNI-EN-1991

Criteri 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

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO

Dal punto di vista geologico – stratigrafico, l'area in esame rientra nella cosiddetta "Zona Sestri-Voltaggio" che comprende alcune unità strutturali mostranti tra loro complessi rapporti tettonici, limitate ad ovest dalle unità di metaofioliti del "Gruppo di Voltri" e ad est dall'Unità dei Flysch ad Helmintoidi del M.Antola.

Il tracciato della galleria incontra una unica formazione:

- Formazione delle "Dolomie del Monte Gazzo" (Carnico sup.-Norico) dell'Unità tettonometamorfica "Gazzo-Isoverde": metadolomie e subordinati metacalcari dolomitici con frequenti brecce intraclastiche sinsedimentarie.

All'interno dell'area interessata dalla galleria, l'assetto della formazione si mantiene coerente: *la stratificazione*, quando visibile, si mantiene sub-verticale con una immergenza media circa verso est; gli strati sono in genere da metrici a plurimetrici.

Rispetto alla galleria la stratificazione risulta quindi sempre da molto inclinata a verticalizzata con direzione degli strati variabile, da circa diagonale nel primo tratto rettilineo a circa parallelo all'asse della galleria nel secondo tratto rettilineo sotto alla parete est della cava.

Rispetto alle pareti della cava la stratificazione è sulla parete ovest di ugual direzione ma con maggiore inclinazione, a traverpoggio molto inclinato sulla parete nord-est e a reggipoggio molto inclinato sulla parete est.

Altro aspetto geologico importante caratterizzante lo stato di fratturazione e conservazione degli ammassi rocciosi nell'area di affioramento delle dolomie è la presenza di tre settori più o meno tettonizzati a cavallo di altrettante *linee di faglia sub-verticali orientate circa E-W*; le due più importanti saranno chiamate, in base alla loro posizione, "faglia nord" e "faglia sud" mentre quella centrale, caratterizzata da un settore più limitato di risentimento tettonico, sarà chiamata "faglia intermedia".

Le caratteristiche in sito che hanno guidato il riconoscimento e la delimitazione di questi settori di faglia, sono stati:

- l'evidenza di superfici di scorrimento, in genere ripetute più volte all'interno del settore di faglia; queste superfici, con aspetto levigato e traslucido e caratterizzate dalla presenza delle tipiche striature da scorrimento e frizionamento (cfr. "Relazione geologica"), un "pacchetto" di dolomie molto brecciate (queste superfici di scorrimento sono a volte riconoscibili anche sulle superfici della stratificazione e sono riconducibili ai movimenti tettonici alpini della faglia Sestri-Voltaggio)
- la tessitura da brecciata a molto brecciata, spesso riorientata, della dolomia
- la colorazione color ruggine per alterazione della roccia che arriva ad essere marrone nei settori di maggiore presenza d'acqua.

Si segnala infine la presenza di forme carsiche ipogee all'interno della formazione della "Dolomia del Monte Gazzo". Su questo argomento si veda quanto descritto e riportato nella "Relazione geologica".

In galleria si potranno, pertanto, incontrare strutture di strato e faglia, verticalizzate e diversamente orientate, con tessiture di ammasso da molto fratturato a cataclasato, talora più massivo, oppure brecciato; la tessitura brecciata è apparsa in genere discretamente cementata con possibilità comunque di volumi meno coesivi specie nei settori di maggiore alterazione come le faglie.

I piani o le fasce di possibile maggiore debolezza, tutti verticalizzati, potrebbero essere rappresentati dalla superfici levigate e striate di scorrimento e dai setti verticali poco sopra descritti.

Dal punto di vista geotecnico, non avendo a disposizione prove realizzate in corrispondenza dell'area in esame, i valori descritti nel profilo geomeccanico si riferiscono a studi pregressi eseguiti in quest'area e, in particolare, su questo stesso ammasso roccioso, nell'ambito delle studi ed indagini eseguiti per la progettazione definitiva del Terzo Valico.

Di seguito si riportano i valori medi assunti per i principali parametri geomeccanici:

- peso di volume: $\gamma = 26 – 27$ kN/m^3
- coesione drenata: c = 0.30 – 1.00 MPa
- angolo d'attrito: $\phi = 35° - 40°$
- modulo di deformabilità: E = 5 – 10 GPa
- coefficiente di poisson: $\nu = 0.25 – 0.30$
- RMRbase: 45 – 55
- GSI: 40 – 50.

4. VERIFICHE DELLE OPERE DI IMBOCCO

Nel seguito si descrivono in dettaglio le verifiche di stabilità degli scavi per la realizzazione degli imbocchi di tipo diretto della galleria in esame, lato Savona e lato Borzoli.

L'area in esame è classificata in zona sismica di IV categoria.

Le analisi numeriche sono state condotte in assenza di spinta idrostatica, dato che il livello piezometrico si trova al di sotto del piano di scavo.

Per entrambi gli imbocchi della galleria, in considerazione della presenza della formazione rocciosa denominata "Dolomia 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, reti metalliche di contenimento e spritz-beton. Si sono adottate chiodature disposte a maglia quinconcia 2.0 m $\times$ 2.0 m, della lunghezza di 6 m, ancorate per l'intera lunghezza, con una inclinazione di circa 5° - 15° ed ortogonali rispetto alla parete di scavo. Si adotteranno barre in acciaio tipo "GEWI", di diametro ϕ 25 mm.

Gli sbancamenti sono stati impostati con pendenze di scavo pari a 5 (verticale) su 1 (orizzontale), ovvero circa 78 - 79°, in corrispondenza della pare te d'attacco (frontale). Lo scavo verrà condotto con demolitore meccanico e/o microcariche di esplosivo, 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.

Per entrambi gli imbocchi, preliminarmente all'operazione di riprofilatura tramite gli sbancamenti, sarà realizzata una pulizia del versante mediante bonifica della coltre superficiale.

Per i dettagli costruttivi ed esecutivi, si rimanda agli elaborati grafici di progetto.

4.1 SOFTWARE UTILIZZATI

- DIPS edito dalla Rockscience di Toronto, Canada.
- SWEDGE (Analysis of the geometry and stability of surfaces wedges) edito da Rock Engineering Group dell'Università di Toronto

4.2 ANALISI E VERIFICHE DELLE PARETI DI SBANCAMENTO E DELLE CHIODATURE

Sono state eseguite due tipologie differenti di analisi:

- una prima verifica grafica di tipo qualitativo (test di Markland) finalizzata a definire i possibili movimenti di versante;
- una analisi deterministica, con la definizione di un fattore di sicurezza, per lo scivolamento di cunei rocciosi, per verificare anche la corretta azione degli interventi di chiodatura.

4.2.1 Verifiche grafiche di stabilità degli sbancamenti

Sulla base delle condizioni geostrutturali e geomeccaniche rilevate, le scarpate derivanti dagli scavi di imbocco risultano instabili a causa della presenza di giunti di fratturazione e di stratificazione. Si rende quindi necessario procedere a verifiche di stabilità volte ad individuare i possibili cinematismi ed i necessari interventi di stabilizzazione.

L'analisi di tipo grafico, tramite il test di Markland eseguita col programma DIPS, è progettualmente molto utile, in quanto individua i potenziali "meccanismi di movimento" sui piani di scavo, valutando se tali meccanismi siano possibili dal punto di vista puramente geometrico (condizioni geometriche).

Questi movimenti possono in realtà effettivamente verificarsi solo se gli sforzi di taglio indotti dalla gravità superano la "resistenza al taglio" disponibile lungo le discontinuità interessate (condizioni meccaniche).

In considerazione delle condizioni geomeccaniche riscontrate e della durata a lungo termine prevista per parte dell'intervento di consolidamento, viene utilizzato a favore di sicurezza, nelle verifiche di tipo grafico, un angolo di attrito pari a 30°.

Per quanto concerne i possibili movimenti di blocchi rocciosi, i cinematismi che devono essere presi in considerazione sono i seguenti:

- Scivolamento planare lungo una discontinuità (planar sliding);
- Scivolamento di cunei lungo la linea di intersezione tra due discontinuità (swedge sliding);
- Ribaltamento di blocchi (toppling).

Per i primi due meccanismi la condizione geometrica necessaria è che il piano e la linea di scivolamento abbiano direzione di immersione circa coincidente a quella del fronte di scavo (con uno scarto di circa ± 30°) ed inclinazione inferiore.

Per il terzo meccanismo la condizione geometrica necessaria è che il piano di scivolamento abbia una immersione pari a circa 180° da quella del fronte di scavo (con uno scarto di circa ± 30°) ed inclinazione subverticale.

Tali condizioni geometriche possono essere analizzate attraverso l'utilizzo delle proiezioni stereografiche riportate nel seguito per la parete di scavo dell'imbocco, ossia la parete d'attacco frontale.

Per le analisi sono stati utilizzati i dati dei rilievi geostrutturali eseguiti in corrispondenza delle due zone di imbocco. I giunti utilizzati per le verifiche rappresentano dei valori di giacitura media dei principali sistemi di discontinuità rilevati, sistemi sempre presenti e/o maggiormente ricorrenti, non sono stati considerati i sistemi di discontinuità occasionali.

4.2.2 **Imbocco lato Savona**

L'imbocco della galleria lato Savona si trova all'interno della "Cava Vecchie Fornaci" o anche ex Cava Buzzi, attualmente non produttiva. La parete d'attacco della galleria si trova nell'area prospiciente i fabbricati, ormai in disuso, precedentemente adibiti alla lavorazione della pieta cavata, come da figura 3.1.

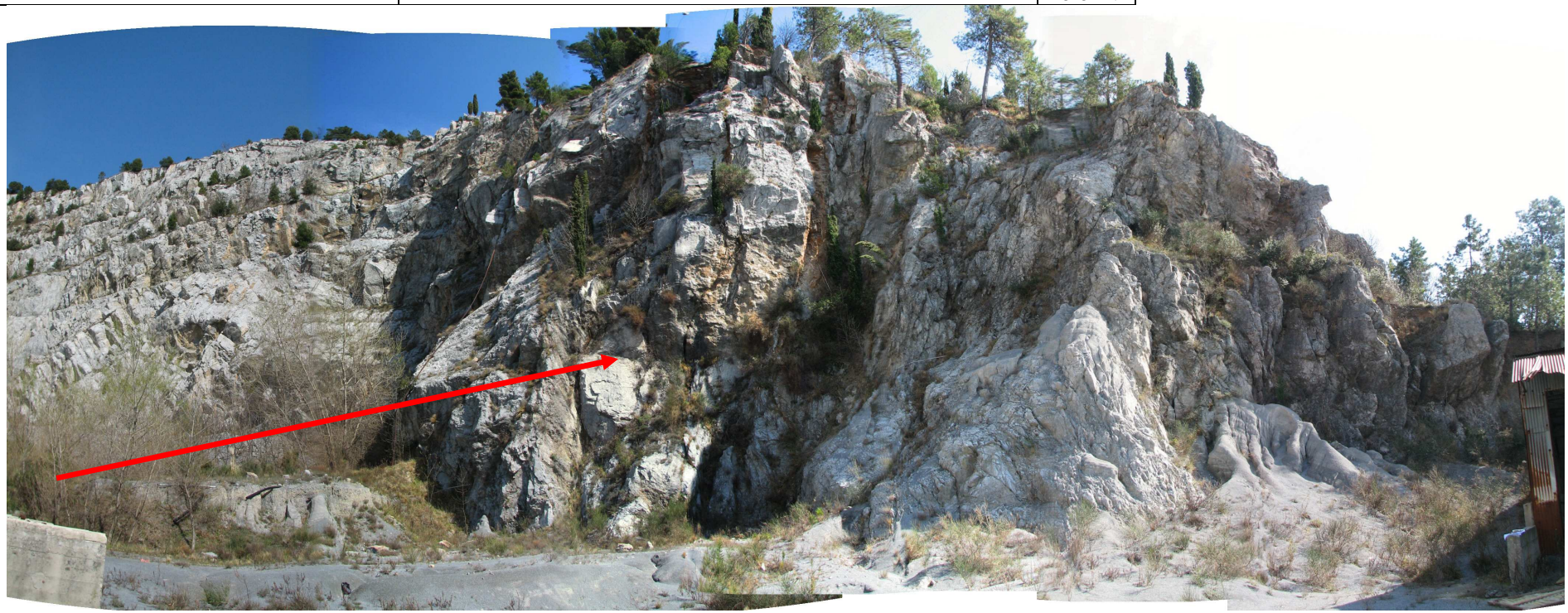


Figura 4.1 – Area Imbocco lato Savona

La verifica strutturale è stata condotta sulla parete frontale:

- parete d'attacco con giacitura 278/78 ed altezza di 12.00 m.

Di seguito si riportano i sistemi di giunti utilizzati nelle verifiche, ottenuti dal rilievo geostrutturale eseguito in corrispondenza dell'area di imbocco.

Famiglie di discontinuità

Tipo discontinuità	Immersione / inclinazione
Giunto di Stratificazione St	080/75
Giunto di fratturazione K2	190/75
Giunto di fratturazione K3	280/70

Scivolamento planare

Lo stereogramma riportato in fig. 3.2, evidenzia che solo i poli del sistema K3 (e solo quelli meno inclinati), ricadono nella regione di potenziale scivolamento planare. Pertanto, questo tipo di movimento è cinematicamente possibile.

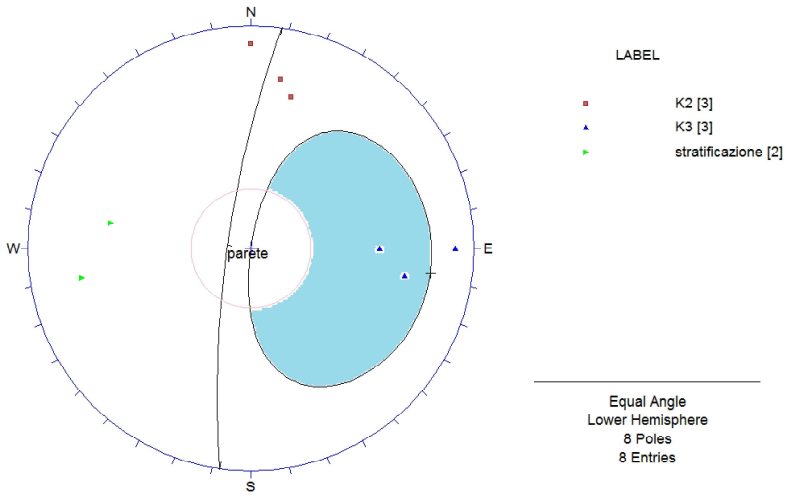


Figura 3.5

Scivolamento dei cunei

Il meccanismo di scivolamento dei cunei risulta cinematicamente possibile lungo le intersezioni delle famiglie delle discontinuità K2/K3 e K3/giunti di strato; il fattore di sicurezza ed il rischio che il fenomeno accada viene analizzato nella verifica quantitativa di scivolamento cunei nel successivo capitolo.

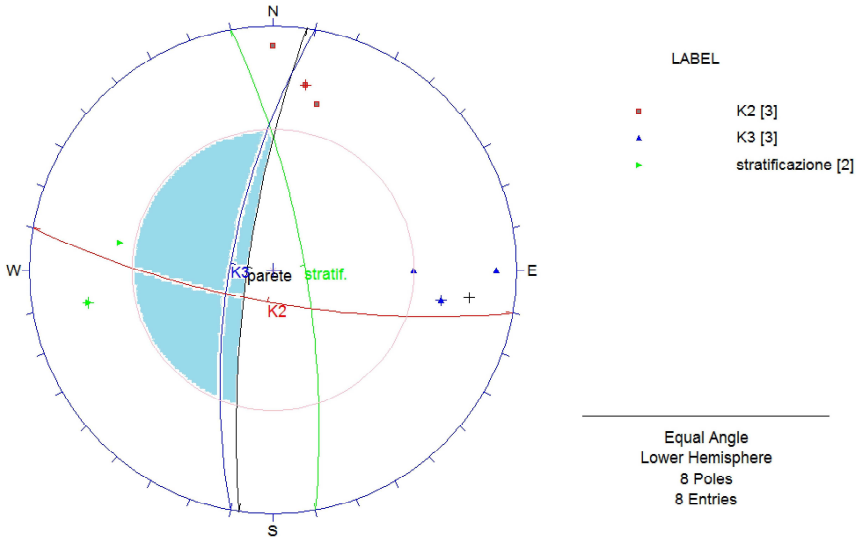


Figura 3.6

Ribaltamento

Dall'analisi dello stereogramma di fig. 34, si vede che i poli dei giunti di strato ricadono nell'area soggetta a ribaltamento, si ritiene pertanto cinematicamente possibile questo fenomeno.

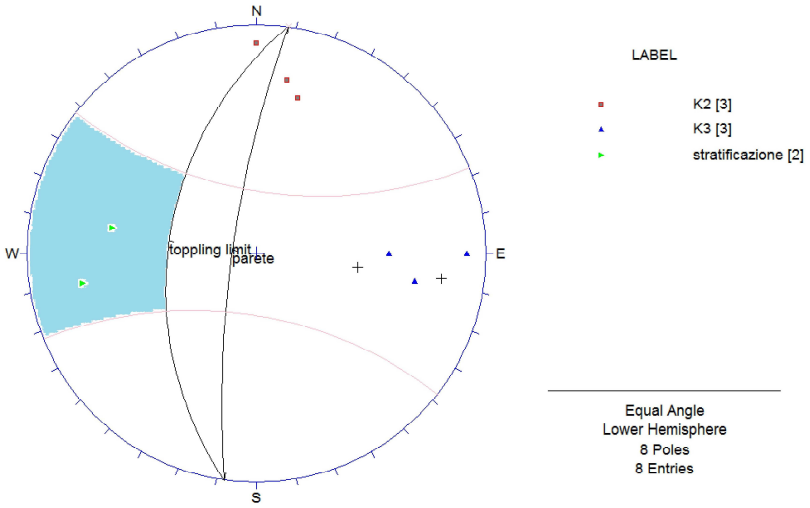


Figura 3.7

4.2.3 **Imbocco lato Borzoli**

L'imbocco della galleria lato Savona si trova all'interno della Cava Unicalce, attualmente produttiva. La parete d'attacco della galleria si trova a monte degli impianti di frantumazione, come da figura 3.5.



Figura 3.5

La verifica strutturale è stata condotta sulla parete frontale:

- parete d'attacco con giacitura 305/88 ed altezza di 17.00 m.

Di seguito si riportano i sistemi di giunti utilizzati nelle verifiche, ottenuti dal rilievo geostrutturale eseguito in corrispondenza dell'area di imbocco.

Famiglie di discontinuità

Tipo discontinuità	Immersione / inclinazione
Giunto di Stratificazione St	095/80
Giunto di fratturazione K2	180/85
Giunto di fratturazione K3	310/75
Giunto di fratturazione K4	010/35

Scivolamento planare

Lo stereogramma riportato in fig. 3.6, evidenzia che i poli del sistema K4 ed alcuni poli del sistema K3 (solo quelli meno inclinati), ricadono nella regione di potenziale scivolamento planare. Pertanto, questo tipo di movimento è cinematicamente possibile.

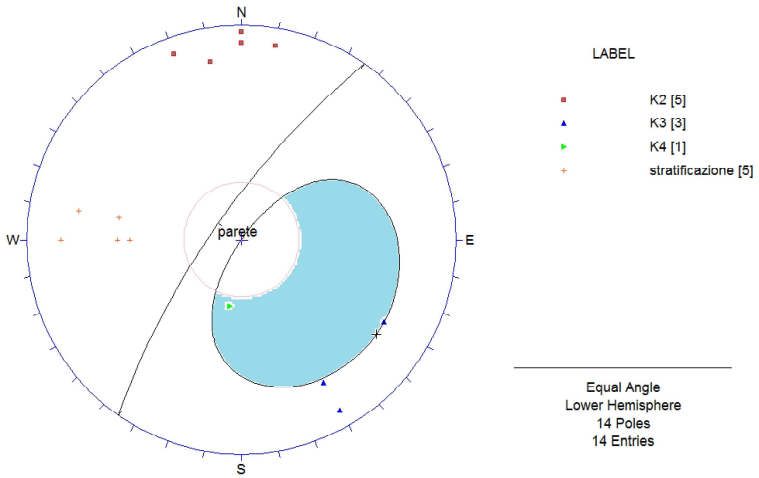


Figura 3.6

Scivolamento dei cunei

Il meccanismo di scivolamento dei cunei risulta cinematicamente possibile lungo le intersezioni delle famiglie delle discontinuità K2/K3, K3/giunti di strato, K4/giunti di strato e K3/K4; il fattore di sicurezza ed il rischio che il fenomeno accada viene analizzato nella verifica quantitativa di scivolamento cunei nel successivo capitolo.

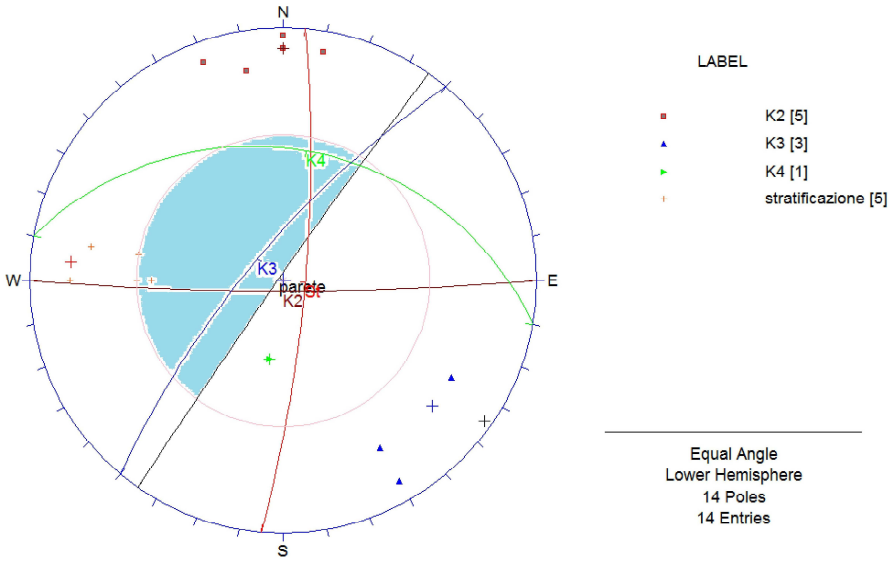


Figura 3.7

Ribaltamento

Dall'analisi dello stereogramma di fig. 3.8, si vede che i poli dei giunti di strato ricadono nell'area soggetta a ribaltamento, si ritiene pertanto cinematicamente possibile questo fenomeno.

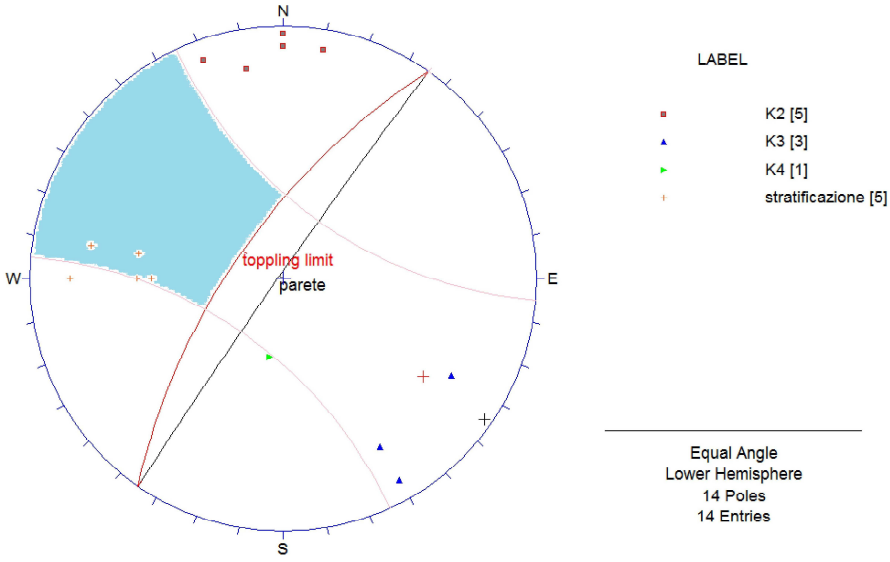


Figura 3.8

4.2.4 Verifiche allo scivolamento dei cunei rocciosi

Tramite un'analisi geometrica tridimensionale, si è proceduto ad individuare i cunei di roccia potenzialmente instabili; successivamente si è determinato il valore dei carichi gravitativi che è necessario sostenere tramite un adeguato intervento di bullonatura e sono state effettuate le relative verifiche statiche.

L'analisi è stata effettuata tramite il programma di calcolo SWEDGE (Analysis of the geometry and stability of surfaces wedges), che permette di identificare i cunei di roccia di primo ordine prodotti dall'intersezione dei diversi piani di discontinuità con la superficie di sbancamento.

Sono stati utilizzati gli stessi dati geostrutturali delle verifiche grafiche, ottenuti dal rilievo geostrutturale eseguito in corrispondenza della parete d'attacco dell'imbocco.

Anche le giaciture delle pareti interessate dall'analisi sono le stesse, ed anche in questo caso sono state condotte 3 verifiche, sulla base delle combinazioni strutturali possibili.

I dati d'ingresso riguardanti le proprietà geomeccaniche dei giunti (inclinazione, immersione, coesione, angolo d'attrito e densità della roccia) sono inseriti manualmente nel programma, il quale, esaminando le intersezioni tra i giunti e la superficie del pendio, isola i cunei di possibile distacco ed individua quelli cinematicamente instabili.

Per la suddetta analisi sono stati considerati i seguenti parametri:

peso di volume γ = 26 kN/m3

coesione c' = 0 kPa

angolo d'attrito ϕ' = 30°

Il programma calcola automaticamente le dimensioni dei cunei che si formano al fronte dello sbancamento fornendone una rappresentazione tridimensionale e il relativo fattore di sicurezza.

Una volta individuata la geometria e la massa del cuneo di distacco, è possibile inserire i vettori che simulano l'azione della forza sismica. Nel caso in esame la forza sismica non è stata inserita, l'area infatti ricade nella zona di minimo rischio sismico (classe 4).

Deve essere precisato che il programma è in grado di elaborare soltanto due famiglie di giunti per volta, quindi, per l'imbocco lato Savona, con tre sistemi di giunti, il numero di combinazioni strutturali possibili è uguale a 3; per l'imbocco lato Borzoli, con quattro sistemi di giunti, il numero di combinazioni strutturali possibili è uguale a 6.

L'ultimo step di calcolo prevede di inserire i supporti previsti, ovvero bulloni ad ancoraggio continuo, così da poter ottenere il coefficiente di sicurezza totale.

Nel paragrafo successivo si analizzano le caratteristiche dei bulloni utilizzati.

4.2.5 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 "GEWI", di diametro ϕ 25 mm e lunghezza 6 m, messe in opera ortogonalmente alla parete di scavo.

La resistenza a rottura delle suddette barre è pari a

$$Fy = 24.6 \text{ tonn}$$

La resistenza allo sfilamento è pari a:

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

dove:

τ tensione tangenziale limite d'aderenza malta - terreno

ϕ diametro del foro

L lunghezza bullone esterno al cuneo

Letteratura e prove sperimentali forniscono, per la roccia in esame, un valore di tensione tangenziale limite compreso nel range 1.9 – 1.7 MPa.

Nelle analisi effettuate si considera τ = 1.7 MPa e ϕ = 48 mm.

Pertanto si ottiene una tenuta a sfilamento per metro di bullone pari a:

$$F = 26.14 \text{ t/m}$$

La resistenza del bullone si ottiene moltiplicando la forza unitaria per ogni metro lineare di bullone esterno al cuneo, ancorato nell'ammasso, e comunque non superiore al valore di resistenza a rottura del bullone (24.6 tonn).

I bulloni sono disposti a maglia quinconcia 2.0 x 2.0 m, ovvero con una densità di 0.125 bulloni al m^2. 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.

4.2.6 Imbocco lato Savona

I quattro sistemi di discontinuità principali rilevati hanno evidenziato che, tra le tre combinazioni strutturali possibili, quelle che generano cunei potenzialmente instabili sono le combinazioni K3 – giunti di strato e K2 - K3. Di seguito si inseriscono le figure tridimensionali dei cunei generati, le tabelle con le caratteristiche geometriche ed il relativo fattore di sicurezza.

Stratificazione – K3

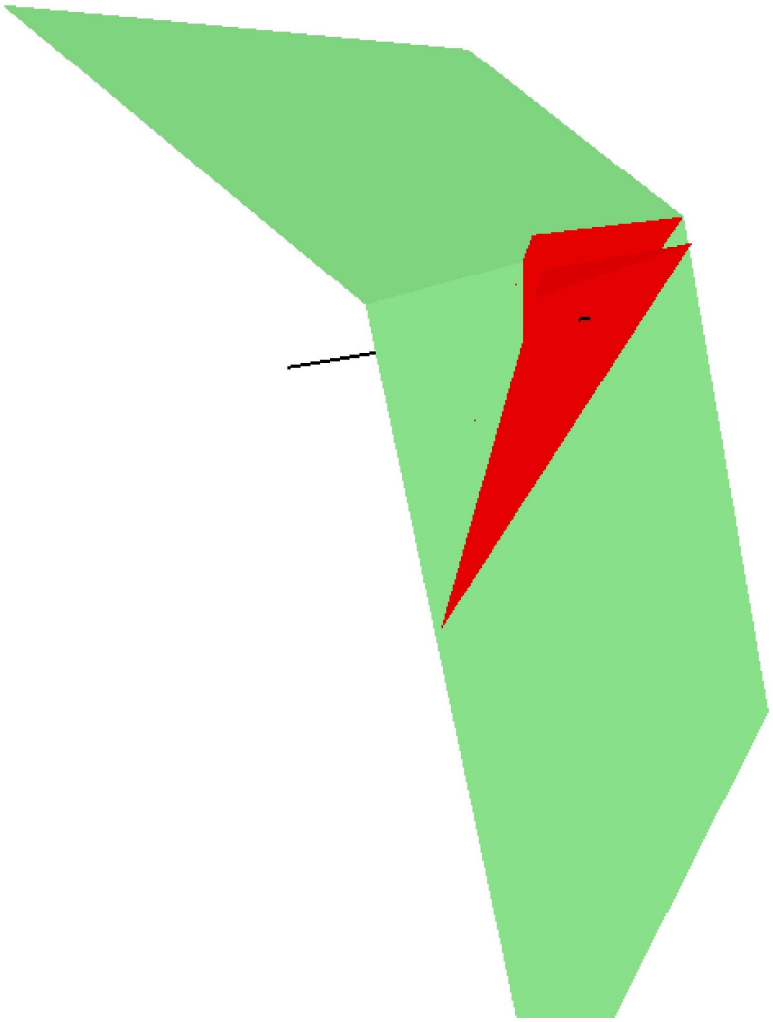


Figura 3.9

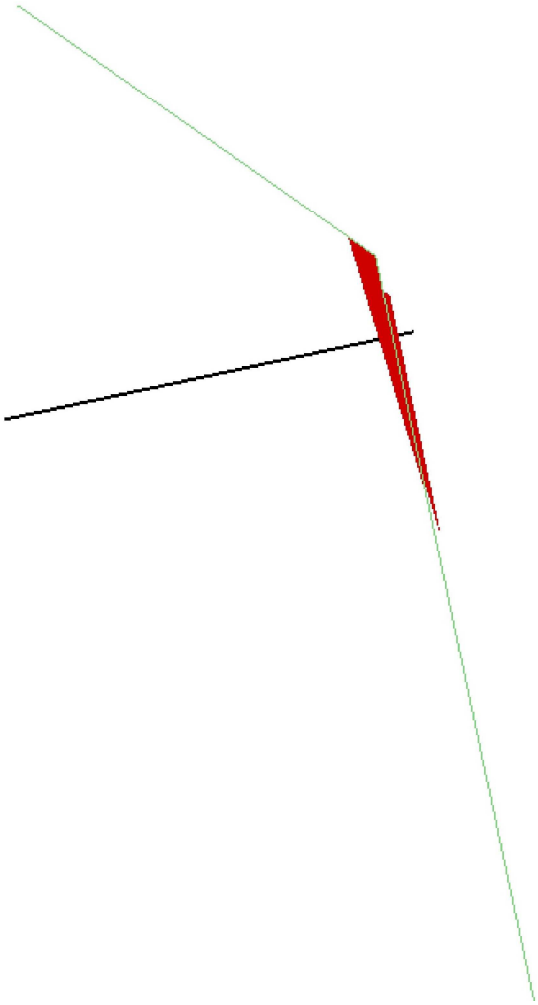


Figura 3.10

Combinazione	Peso (t)	Volume (m^3)	Area (m^2)	F.S.
St – K3	5.87	2.257	19.58	20.82

K2 – K3

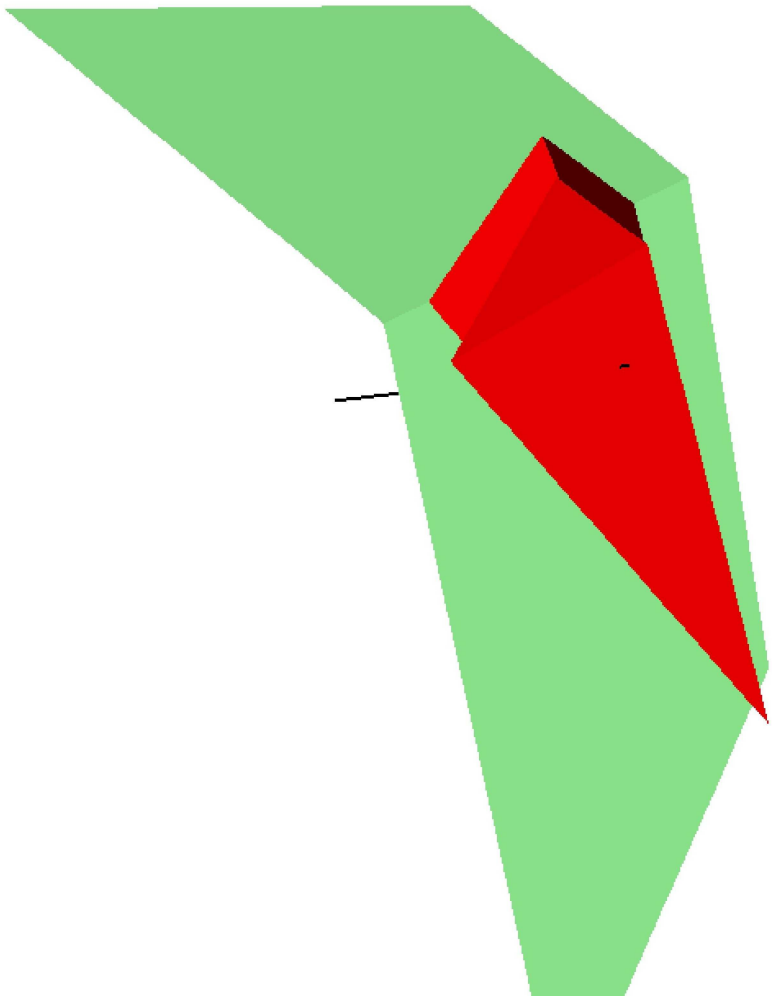


Figura 3.11

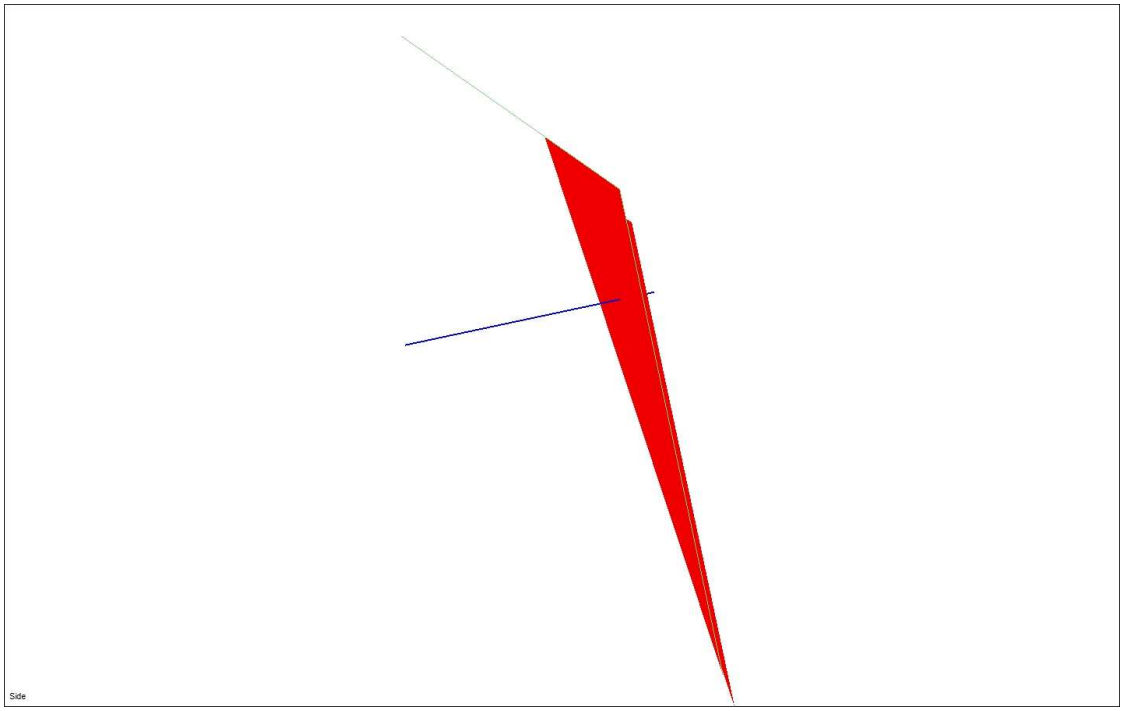


Figura 3.12

Combinazione	Peso (t)	Volume (m^3)	Area (m^2)	F.S.
K2 – K3	83.13	31.974	61.99	5.135

4.2.7 **Imbocco lato Borzoli**

I tre sistemi di discontinuità principali rilevati hanno evidenziato che, tra le sei combinazioni strutturali possibili, quelle che generano cunei potenzialmente instabili sono le combinazioni K2 – K3 e K4 – giunti di strato. Di seguito si inseriscono le figure tridimensionali dei cunei generati, le tabelle con le caratteristiche geometriche ed il relativo fattore di sicurezza.

Come dedotto anche dalle verifiche grafiche, anche le combinazioni K3/K4 e la K3 e K3/giunti di strato, possono generare cunei potenzialmente instabili, ma come dedotto anche dalle verifiche grafiche, le probabilità che il fenomeno avvenga sono ridotte, poiché l'intersezione delle discontinuità sopraccitate ricadono lungo il perimetro dell'area a rischio.

K2 – K3

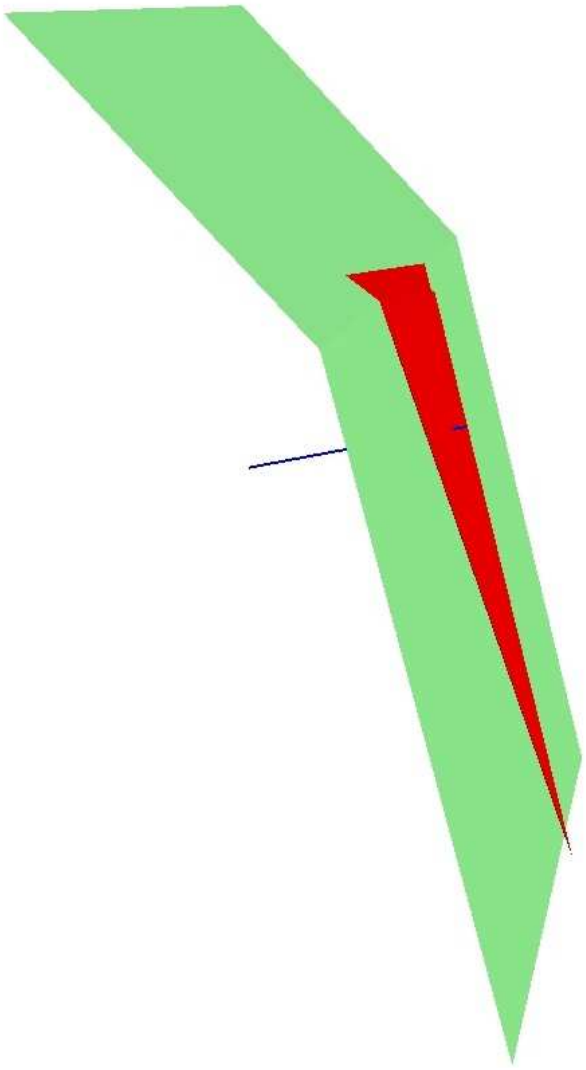


Figura 3.13

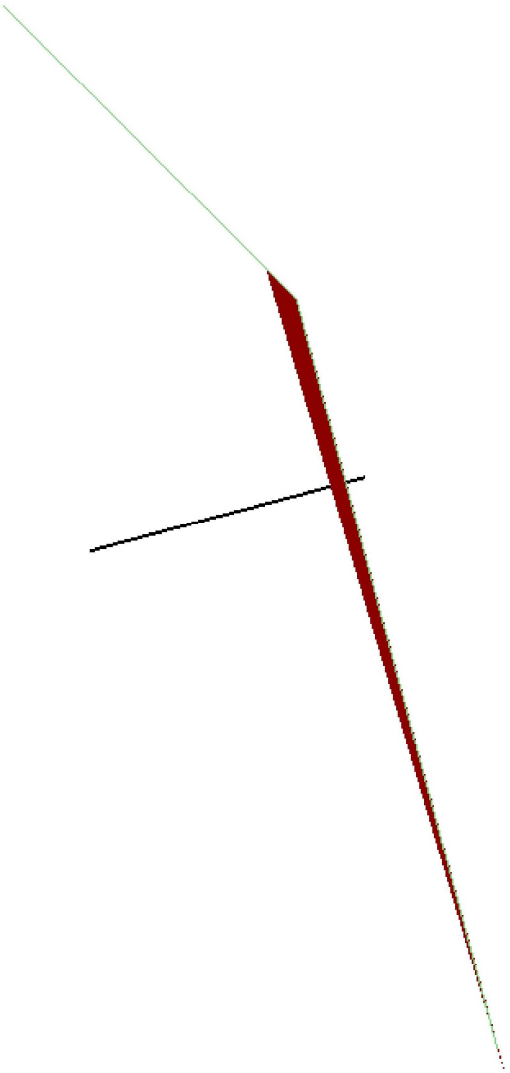


Figura 3.14

Combinazione	Peso (t)	Volume (m^3)	Area (m^2)	F.S.
K2 – K3	19.35	7.441	45.80	17.56

St – K4

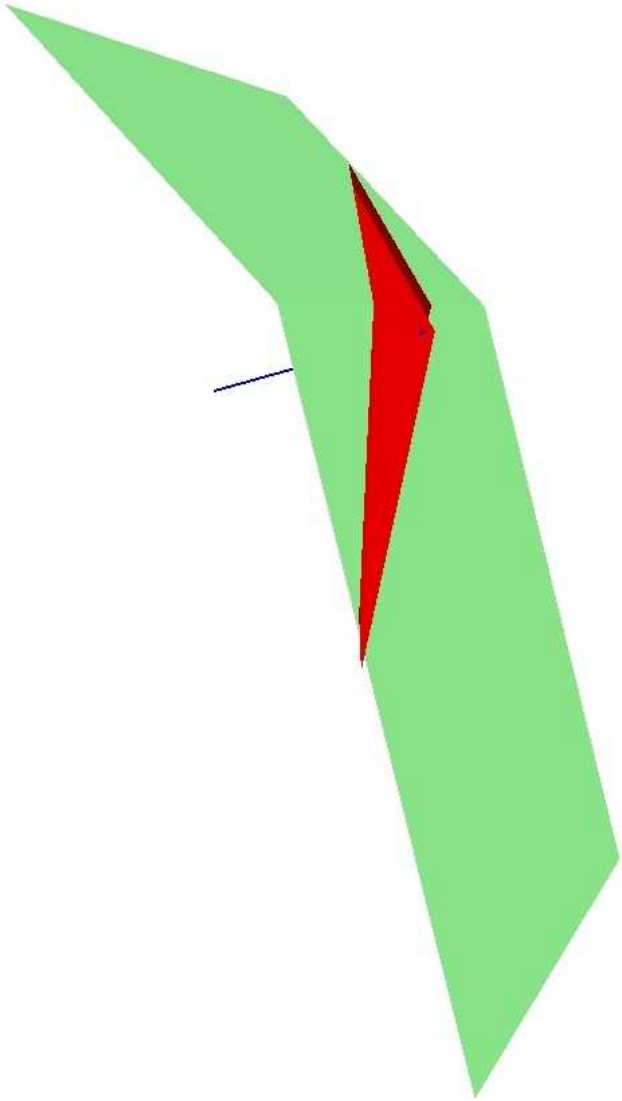


Figura 3.14

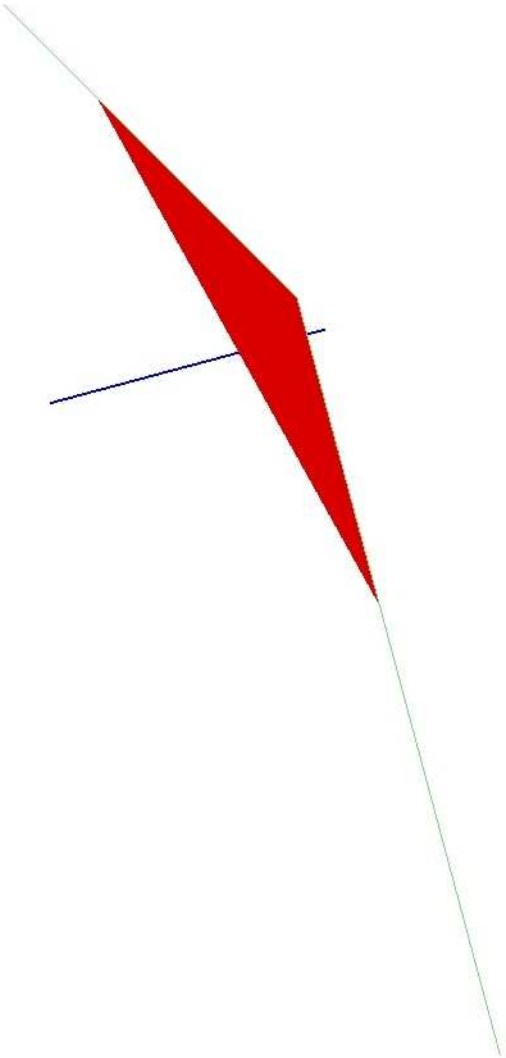


Figura 3.15

Combinazione	Peso (t)	Volume (m^3)	Area (m^2)	F.S.
St – K4	43.06	16.563	15.65	4.452

5. VERIFICHE GALLERIA NATURALE

L'apertura di una cavità in un materiale caratterizzato da un campo di tensioni naturali preesistente indisturbato, dovuto essenzialmente a carichi litostatici e a sforzi tettonici, porta ad una generale ridistribuzione degli sforzi, sia in direzione trasversale che longitudinale, con conseguente incremento delle tensioni al contorno della galleria e già oltre il fronte di scavo.

Si genera così un nuovo campo tensionale che tende a far evolvere l'ammasso intorno al cavo verso una nuova situazione di equilibrio diversa da quella naturale, dando luogo a fenomeni deformativi.

Sulla base delle conoscenze dei terreni interessati dalle gallerie, è possibile, elaborando anche le esperienze maturate in lavori analoghi, svolgere delle previsioni sul comportamento dei terreni allo scavo, necessarie alla definizione degli interventi di stabilizzazione e degli schemi di avanzamento.

Queste previsioni sono strettamente connesse con lo studio dello stato tenso-deformativo instauratosi nell'ammasso al contorno della galleria e indotto dalle operazioni di scavo.

5.1 IMPORTANZA DEL FRONTE DI SCAVO

La valutazione di come si evolve lo stato tensionale a seguito dell'apertura di una galleria è possibile solo attraverso l'attenta analisi dei fenomeni deformativi in quanto essi ci possono dare indicazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine.

In particolare, l'elemento centrale per l'analisi dell'evoluzione dei fenomeni deformativi al contorno del cavo, attraverso la quale è possibile valutare la stabilità della galleria, è il comportamento del fronte di scavo.

Tale comportamento è condizionato da:

- le caratteristiche di resistenza e deformabilità dell'ammasso connesse con le varie strutture geologiche che interessano le gallerie;
- i carichi litostatici corrispondenti alle coperture in gioco;
- la forma e le dimensioni della sezione di scavo;
- lo schema di avanzamento.

Il comportamento del fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente di tre tipi: stabile, stabile a breve termine e instabile.

5.1.1 Gallerie a fronte stabile (CASO A)

Se il fronte di scavo è stabile, ciò significa che lo stato tensionale al contorno della cavità si mantiene in campo elastico e i fenomeni deformativi osservabili sono di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente.

In questo caso anche il comportamento del cavo sarà stabile (rimanendo in campo elastico) e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di consolidamento, se non localizzati e in misura molto ridotta; il rivestimento definitivo costituirà allora il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

5.1.2 Gallerie a fronte stabile a breve termine (CASO B)

Questa condizione si verifica quando lo stato tensionale indotto dall'apertura della cavità supera le caratteristiche di resistenza meccanica del materiale al fronte, che in tal modo non può più avere un comportamento di tipo elastico, ed assume un comportamento di tipo elasto- plastico.

I fenomeni deformativi connessi con tale ridistribuzione delle tensioni sono più accentuati che nel caso precedente e producono nell'ammasso roccioso al fronte una decompressione che porta ad una riduzione della resistenza interna causata dal fatto che localmente viene superata la resistenza di picco.

Questa decompressione può essere opportunamente controllata e regimata con adeguati interventi di preconsolidamento al fronte e/o di consolidamento al contorno del cavo. In tal caso verrà fornito l'opportuno contenimento all'ammasso che potrà così essere condotto verso la stabilità, ed il rivestimento definitivo costituirà il margine di sicurezza a lungo termine.

In caso contrario lo stato tenso-deformativo potrà evolvere verso situazioni d'instabilità del cavo.

5.1.3 Gallerie a fronte instabile (CASO C)

L'instabilità progressiva del fronte di scavo è attribuibile ad una accentuazione dei fenomeni deformativi nel campo plastico, che risultano immediati e più rilevanti manifestandosi già prima ancora che avvenga lo scavo, oltre il fronte stesso. Di conseguenza tali deformazioni producono una decompressione più spinta nell'ammasso roccioso al fronte e portano ad un decadimento rapido e progressivo delle caratteristiche meccaniche d'ammasso, provocando in tal modo la mobilizzazione della resistenza di fasce di terreno concentriche alla galleria e sempre più esterne, a scapito di ulteriori deformazioni inducendo quindi forme di instabilità irreversibili fino a causare il crollo della galleria.

Questo tipo di decompressione più accentuata deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo e richiede pertanto interventi di preconsolidamento sistematici in avanzamento che consentiranno di creare artificialmente quell'effetto arco capace di evolvere la situazione verso configurazioni di equilibrio stabile.

5.2 CALCOLO DELLE CATEGORIE DI COMPORTAMENTO ALLO SCAVO

Si vuole adesso determinare il comportamento dell'ammasso allo scavo per ognuno dei gruppi a caratteristiche geomeccaniche omogenee precedentemente individuati, ed in funzione anche dei carichi litostatici dovuti alle differenti coperture riscontrate lungo il tracciato.

Si è quindi considerato opportuno in questa fase di diagnosi prescindere dalla geologia locale per impostare un discorso di tipo parametrico che consenta una più agile previsione di comportamento dell'ammasso allo scavo. Per ogni singolo gruppo sarà quindi possibile ottenere diverse classi di comportamento allo scavo in funzione delle diverse coperture in gioco. Nella successiva fase di terapia, in cui si definiranno gli interventi necessari per l'avanzamento nelle diverse classi di comportamento, non si potrà evitare di considerare le condizioni geologiche puntuali: quindi ad una

stessa classe di comportamento corrispondono diverse sezioni tipo, adeguate alle caratteristiche geologiche e fisiche di ogni formazione.

Per la determinazione del comportamento dell'ammasso allo scavo si può utilizzare il "metodo delle linee caratteristiche".

5.2.1 Linee caratteristiche della cavità

Per linee caratteristiche di una cavità si intendono delle curve che legano le pressioni di contenimento, esercitate in senso radiale sul bordo della galleria dalle opere di stabilizzazione e di rivestimento, agli spostamenti radiali al suo contorno (convergenze).

Esse possono quindi essere utilizzate, oltre che per valutare il comportamento dell'ammasso allo scavo, anche per determinare lo stato di sollecitazione sui diversi interventi costituenti la galleria, mediante la sovrapposizione degli effetti delle linee caratteristiche della cavità e dei singoli interventi che la costituiscono.

Per ogni galleria è possibile costruire due linee caratteristiche principali:

- quella valida presso il fronte di scavo, detta linea caratteristica del fronte, che tiene conto dell'effetto tridimensionale delle tensioni vicino ad esso e che permette di risalire, mediante considerazioni sulla resistenza del nucleo, all'entità della convergenza già subita dalla galleria nella sezione in corrispondenza al fronte di scavo,
- quella valida per qualsiasi sezione sufficientemente lontana dal fronte, detta linea caratteristica della cavità, per la quale lo stato di tensione può considerarsi piano.

In generale, ove la linea caratteristica non intersechi in un valore finito l'asse delle deformazioni radiali, la galleria risulta instabile senza adeguati interventi di stabilizzazione.

In virtù dei sistemi di avanzamento proposti, volti a conservare le caratteristiche meccaniche del terreno indisturbato, limitando al minimo il rimaneggiamento e l'alterazione dello stesso conseguente alle operazioni si scavo, diviene estremamente importante sapere quanto il terreno è effettivamente in grado di incassare nelle sue condizioni naturali e indisturbate, prima di giungere alla rottura. La conoscenza delle caratteristiche di resistenza al taglio del terreno nelle sue condizioni naturali è indispensabile per determinare con discreta accuratezza il contributo al contenimento del cavo che i vari interventi adottati saranno in grado di fornire.

Il discorso così impostato sulla sensibilità del terreno dovrà essere poi allargato per mettere in conto anche l'eterogeneità strutturale dell'ammasso, che in rapporto alle coperture in gioco, è determinante nella parametrizzazione geotecnica dell'ammasso. Non essendo realmente praticabile l'ipotesi di una perfetta conoscenza delle condizioni del terreno ad ogni avanzamento sarà necessario individuare, anche facendo ipotesi di lavoro sulla base di esperienze maturate in casi analoghi, condizioni geotecniche standard in base alle quali svolgere i calcoli.

Si precisa inoltre che i calcoli svolti fanno riferimento a condizioni puramente statiche, considerando il consolidamento del fronte come un irrigidimento del nucleo e non come uno strumento di stabilizzazione del paramento, che pertanto rimane pur sempre una fonte di pericolo da tenere costantemente sotto controllo, evitando che le maestranze permangano entro il suo raggio di azione in particolare durante le operazioni di scavo.

5.2.2 **Diagnosi: determinazione delle categorie di comportamento**

Per determinare il comportamento dell'ammasso allo scavo, si sono valutate le linee caratteristiche per le possibili condizioni geomeccaniche riscontrabili durante gli scavi sotto le massime coperture presenti.

Le linee caratteristiche sono riportate nell'allegato 1; si sottolinea che le linee sono state calcolate direttamente per le massime coperture relative al campo d'applicazione di ogni sezione tipo. Le percentuali d'applicazione delle sezioni tipo sono riportate all'interno del profilo geomeccanico.

Nelle tabelle dell'allegato 1 si riportano, in base ai differenti contesti geomeccanici individuati, i parametri di resistenza e di deformabilità assunti per il calcolo delle linee caratteristiche, nonché i valori di copertura per i quali è stata effettuata la determinazione della categoria di comportamento allo scavo.

Il prerivestimento in spritz-beton è stato schematizzato come un materiale a comportamento elastico-lineare avente le seguenti caratteristiche:

fcm = 25 MPa $\sigma_{sb,amm}$= 19.2 MPa

Le centine sono costituite da acciaio tipo Fe430 con $\sigma_{steel,amm}$= 210 MPa

6. FASE DI TERAPIA

6.1 CATEGORIE DI COMPORTAMENTO

Nel presente capitolo verranno definiti gli interventi di preconsolidamento, consolidamento e supporto, nonché le relative fasi operative, da adottare durante la realizzazione delle gallerie e necessari a garantire la stabilità del cavo nel breve e nel lungo termine.

Gli interventi di stabilizzazione e di rivestimento di 1ª fase qui previsti verranno adeguati e tarati in corso d'opera sulla base dei rilievi geologico-geostrutturali del fronte di scavo e del comportamento deformativo del fronte (estrusioni) e del cavo (convergenze).

In allegato sono riportati i risultati delle analisi mediante linee caratteristiche.

Sono stati definiti tre tipi di comportamento dell'ammasso allo scavo, che prevedono l'impiego di opportuni interventi scelti in base alle caratteristiche geologiche e fisiche dei terreni interessati dagli scavi, determinando così la scelta delle sezioni tipo più adatte:

CASO A) fronte stabile:

I fenomeni deformativi avvengono in campo elastico; il materiale ha comportamento di tipo lapideo per cui si possono ipotizzare locali fenomeni di instabilità al contorno riconducibili per lo più al distacco gravitativo di blocchi o volumi rocciosi, individuati dall'intreccio di superfici di discontinuità preesistenti nell'ammasso oppure create dai fenomeni di distensione prodotti dalle modalità di scavo. Il probabile comportamento allo scavo tipo A, “a fronte stabile”, consente di prevedere, quali interventi di prima fase, interventi di solo contenimento del cavo, quale la realizzazione di uno strato di spritz-beton a seguito della messa in opera di bulloni radiali o centine, in funzione del grado di discontinuità dell’ammasso. I carichi gravanti sulla struttura in questi contesti geomeccanici sono prevalentemente di tipo gravitativo, funzione della frequenza dei giunti e delle fratture ed in particolare modo della resistenza al taglio delle superfici di discontinuità. Il rilascio di tali solidi di carico, in categorie di comportamento tipo A, non avviene generalmente all’apertura del cavo, bensì in un secondo tempo quale conseguenza del richiamo di umidità al contorno dello scavo, della circolazione d’acqua nelle fratture, dall’alterazione della roccia a contatto con gli agenti atmosferici, nonché dalle sollecitazioni dinamiche conseguenti alle vibrazioni prodotte durante le operazioni di scavo con esplosivo.

E’ pertanto opportuno stabilizzare i suddetti cunei mediante la messa in opera di bulloni metallici radiali di tipo passivo, ad ancoraggio puntuale in presenza di modesti gradi di separazione d’ammasso, o ad ancoraggio continuo per gradi di separazione maggiori, e realizzare un guscio di spritz-beton a protezione della superficie di scavo ed a contenimento del cavo.

CASO B) fronte stabile a breve termine:

Si possono ipotizzare fenomeni di instabilità più o meno diffusi al contorno del cavo, dovuti alla plasticizzazione dell'ammasso roccioso e conseguenti fenomeni deformativi (convergenze radiali) di ordine centimetrico.

Tali deformazioni, se non regimate mediante opportuni e tempestivi interventi di preconsolidamento e/o di consolidamento, possono innescare decompressioni progressivamente crescenti all'interno dell'ammasso roccioso, sviluppando di conseguenza carichi maggiori sia nel breve termine che nel lungo termine.

Come interventi di preconsolidamento si possono utilizzare:

- chiodi in vetroresina al fronte per aumentare le caratteristiche di resistenza del nucleo;
- drenaggi al contorno in caso di presenza d'acqua per lo scarico delle pressioni interstiziali.

Gli interventi di consolidamento lungo la cavità consistono principalmente in:

- prerivestimento costituito da spritz-beton;
- centine metalliche.

Questi interventi di preconsolidamento e consolidamento concorreranno a formare diverse sezioni tipo (descritte in seguito) che si differenziano tra di loro in funzione delle formazioni geologiche incontrate.

CASO C) fronte instabile:

I fenomeni deformativi, in assenza di interventi, sono di entità maggiore rispetto al caso precedente, fino ad arrivare alla rottura e al collasso del cavo, legato all'instabilità del fronte di scavo. Perché si possa realizzare l'avanzamento in galleria, senza innescare fenomeni deformativi incontrollabili, è indispensabile operare "preconsolidamenti" lanciati oltre il fronte di scavo, che garantiscano sia la tenuta del fronte stesso che quella della fascia di terreno perimetrale al cavo.

Questi preconsolidamenti possono essere di diversa natura, in funzione delle differenti caratteristiche geologiche delle formazioni attraversate lungo il tracciato:

- jet-grouting sub-orizzontale;
- anello consolidato da iniezioni cementizie;
- chiodi in vetroresina al fronte;
- drenaggi.

Sono inoltre necessari interventi di consolidamento al contorno del cavo in modo da fornire il necessario contenimento nel breve termine. Questi interventi possono essere il rivestimento di 1ª fase con spritz-beton e centine metalliche.

In previsione di un comportamento tipo C, al fine di effettuare un controllo dello stato deformativo al fronte, appare consigliabile l'esecuzione di un preconsolidamento sistematico del fronte mediante elementi strutturali o tubi in vetroresina ad aderenza migliorata, tali da irrigidire il nucleo di scavo e ridurre i valori di estrusione del fronte e conseguentemente di preconvergenza del cavo. Tale operazione consentirebbe di mantenere le proprietà del materiale prossime alle condizioni di picco, o al limite di ridurne il decadimento. Le deformazioni al fronte si traducono infatti in decompressione al contorno del cavo con decremento della resistenza d'ammasso e incremento delle spinte sui prerivestimenti.

Andrà inoltre prevista la realizzazione dei prerivestimenti a seguito di ogni singolo sfondo di avanzamento, mediante posa in opera di centine metalliche ed un congruo strato di spritz- beton. Sempre per la categoria di comportamento C occorre inoltre prevedere la possibilità di stabilizzare, a breve distanza dal fronte, il piede della centina, mediante il getto contemporaneo di arco rovescio e murette a 1-2 diametri dal fronte di scavo.

6.2 SEZIONI TIPO APPLICATE

6.2.1 Sezione tipo 1

La sezione Tipo 1, in fase costruttiva è costituita da:

- Prerivestimento composto da uno spessore di 20 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine costituite da profilato IPN140 passo p = 1.0 m, controventate tra loro;

Campo di applicazione

Formazione delle Dolomie del Monte Gazzo, zone fratturate e/o tettonizzate indipendentemente dalle coperture.

Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: scavo

Esecuzione scavo di avanzamento con sfondi di lunghezza massima pari a 4.20 m compreso il disgaggio, eseguendo lo scavo a piena sezione e sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale. Al termine dello sfondo e prima di porre in opera gli interventi di prima fase va eseguito un accurato disgaggio di tutti i blocchi instabili.

FASE 2: posa in opera delle centine e dello spritz-beton

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1a fase costituito da centine metalliche IPN140 passo 1.00m e da uno strato di spritz-beton di spessore 20 cm, armato con rete elettrosaldata (ø6 15x15) o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

6.2.2 **Sezione tipo 2**

La sezione Tipo 2, in fase costruttiva è costituita da:

- Prerivestimento composto da uno spessore di 15 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato e centine costituite da profilato IPN140 passo p = 1.6 m, controventate tra loro;

Campo di applicazione

Formazione delle Dolomie del Monte Gazzo, zone mediamente fratturate e/o tettonizzate indipendentemente dalle coperture.

Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: scavo

Esecuzione scavo di avanzamento con sfondi di lunghezza massima pari a 4.20 m compreso il disgaggio, eseguendo lo scavo a piena sezione e sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale. Al termine dello sfondo e prima di porre in opera gli interventi di prima fase va eseguito un accurato disgaggio di tutti i blocchi instabili.

FASE 2: posa in opera delle centine e dello spritz-beton

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1a fase costituito da centine metalliche IPN140 passo 1.60m e da uno strato di spritz-beton di spessore 15 cm, armato con rete elettrosaldata (ø6 15x15) o fibrorinforzato. Le centine appena posate dovranno essere collegate alle altre attraverso le apposite catene.

6.2.3 **Sezione tipo 3**

La sezione Tipo 3, in fase costruttiva è costituita da:

- Prerivestimento composto da uno spessore di 15 cm di spritz-beton armato con rete elettrosaldata o fibrorinforzato

- Eventuali bulloni radiali ad ancoraggio puntuale diametro 24mm e lunghezza minima 4m

Campo di applicazione

Formazione delle Dolomie del Monte Gazzo, zone poco fratturate e/o tettonizzate indipendentemente dalle coperture.

Fasi esecutive

Si possono considerare le seguenti fasi costruttive:

FASE 1: scavo

Esecuzione scavo di avanzamento con sfondi di lunghezza massima pari a 4.20 m compreso il disgaggio, eseguendo lo scavo a piena sezione e sagomando il fronte a forma concava anche ad ogni sfondo parziale. Al termine dello sfondo e prima di porre in opera gli interventi di prima fase va eseguito un accurato disgaggio di tutti i blocchi instabili.

FASE 2: posa in opera dello spritz-beton

Al termine di ogni singolo sfondo verrà messo in opera il rivestimento di 1a fase costituito da uno strato di spritz-beton di spessore 15 cm, armato con rete elettrosaldata (Ø6 15x15) o fibrorinforzato.

Ove necessario, al fine di contrastare eventuali e localizzati cunei instabili sarà possibile procedere con l'installazione di bulloni radiali ad ancoraggio puntuale, diametro 24mm e lunghezza minima 4m.

6.3 ANALISI DELLA GALLERIA MEDIANTE MODELLI DISCONTINUI

E' stata eseguita la valutazione della stabilità dei cunei di roccia che potrebbero formarsi intorno alla sagoma della galleria, prodotti dall'intersezione della stessa con l'ammasso roccioso ed i relativi piani di discontinuità principali.

L'analisi è stata eseguita con il programma di calcolo UNWEDGE (Analysis of wedge geometry and stability of underground excavations, edito da Rock Engineering Group dell'Università di Toronto), che permette:

- l'identificazione e la visualizzazione dei cunei rocciosi formatisi a seguito dello scavo,
- la determinazione tridimensionale delle geometrie dei cunei e la valutazione del coefficiente di sicurezza in base alle caratteristiche geomeccaniche dei giunti, inserite come dati di input.

L'analisi dei rilievi geostrutturali ha fornito i dati per eseguire, conformemente agli obiettivi del presente studio, verifiche strutturali sui cunei potenzialmente instabili.

Avendo a disposizione i rilievi in corrispondenza delle due zone di imbocco, l'analisi è stata condotta per due differenti tratte: la prima per la tratta rettilinea in corrispondenza della ex cava Buzzi e la seconda per la tratta rettilinea subito dopo l'imbocco lato Borzoli. Le verifiche sono state eseguite per le tratte in cui l'ammasso roccioso costituito dalla Dolomia del Monte Gazzo, può essere considerato rappresentativo delle tratte con comportamento di tipo "A".

L'analisi è stata eseguita nelle seguenti ipotesi:

- ubiquitarietà delle discontinuità;
- planarità e persistenza delle discontinuità;
- esame della stabilità di tetraedri rocciosi isolati dai tre sistemi di discontinuità considerati e sottoposti alla sola azione della gravità;
- analisi all'equilibrio limite dei tetraedri con parametri di resistenza al taglio secondo la teoria di Barton,

Il calcolo eseguito ha le seguenti caratteristiche:

- vengono individuate le geometrie e dei volumi principali di distacco dei tetraedri rocciosi all'interno del cavo;
- non viene preso in considerazione il regime tensionale al contorno della cavità; poiché questo esercita un'azione stabilizzante sui solidi particolarmente estesi in profondità rispetto alle pareti del cavo, attraverso azioni normali e conseguenti azioni tangenziali sulle facce del cuneo, tali solidi non sono stati considerati suscettibili a movimento;
- non sono prese in considerazione le pressioni idrauliche;
- viene individuata l'estensione della fascia al contorno del cavo interessata dai potenziali crolli gravitativi (questa analisi risulta particolarmente importante per il dimensionamento della lunghezza degli interventi di consolidamento).

Il programma di calcolo utilizzato individua tutti i cunei di roccia potenzialmente instabili per:

- scivolamento e rotazione lungo un piano o due piani di discontinuità;
- caduta.

Nel seguito si riportano i risultati delle verifiche eseguite per le condizioni che sono state individuate come soggette a potenziali distacchi.

I risultati ottenuti forniscono il coefficiente di sicurezza ed i parametri geometrici dei cunei di roccia maggiormente critici.

I dati caratteristici relativi ai singoli diedri instabili sono:

- volume del diedro roccioso (m3),
- peso (t),
- dimensione del diedro longitudinale alla cavità (m)
- altezza del diedro inteso come solido pseudopiramidale, con base coincidente con l'area di intersezione con la superficie della cavità (m),

Tra i parametri dimensionali riportati, l'altezza del cuneo, è indubbiamente quello maggiormente significativo ai fini di una valutazione, in prima approssimazione, dei volumi di roccia instabile ed il conseguente dimensionamento geometrico dell'intervento di bullonatura.

In assenza di prove dirette di taglio su giunto, ed avendo a disposizione, per ogni famiglia di discontinuità, i dati del coefficiente di rugosità del giunto (JRC) e del coefficiente di resistenza del giunto (JCS), si è ritenuto più opportuno utilizzare, per l'analisi all'equilibrio limite dei tetraedri, l'equazione di resistenza al taglio su giunto proposta da Barton. L'angolo di attrito di base (ϕb) è stato stimato basandosi su valori noti in letteratura

Errore. Non si possono creare oggetti dalla modifica di codici di campo.

Equazione di Barton

Resta comunque inteso che le indicazioni sopra riportate rappresentano un'analisi di stabilità geomeccanica di tipo strutturale e geometrico.

6.3.1 VERIFICA DI STABILITÀ DEI CUNEI ROCCIOSI

L'analisi viene eseguita tenendo conto anche dei dati geometrici della galleria, ovvero la sagoma di scavo e la direzione dell'asse della singola galleria:

- la tratta lato ex Cava Buzzi ha un asse con direzione N177°E
- la tratta lato imbocco Borzoli ha un asse con direzione N125°S.

La sagoma di scavo è la stessa per tutte le gallerie, ed è rappresentata nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**.

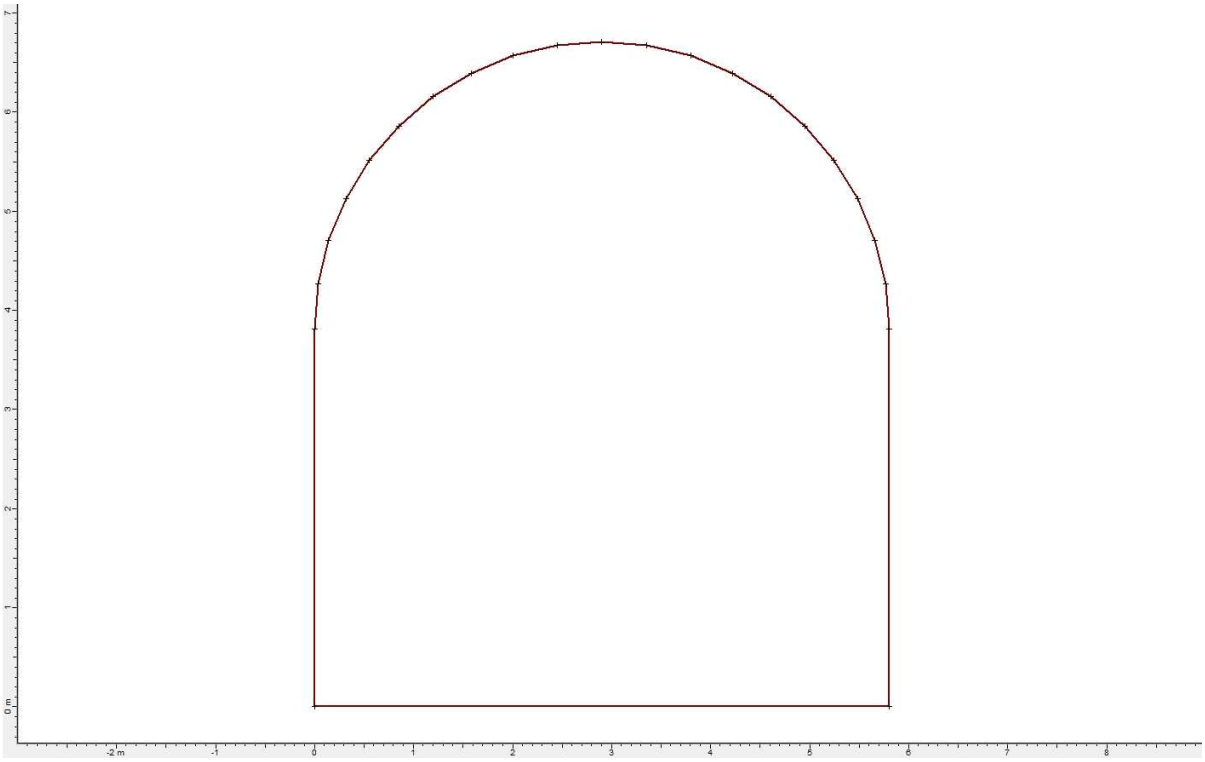


Figura 5.1

L'analisi è stata condotta introducendo i dati relativi all'intervento di chiodatura previsto per la sezione tipo "3". Tale intervento è costituito da una bullonatura radiale sistematica, mediante bulloni radiali puntuali in acciaio, di lunghezza pari a 4 m, disposti con una maglia 1*2m, a quinconcia. In questo modo risulta verificato l'incremento del fattore di sicurezza ed il raggiungimento del valore minimo di progetto pari a 1,3.

Le analisi eseguite hanno permesso di individuare i seguenti cinematismi e i relativi coefficienti di sicurezza.

Analisi 1 – tratta lato ex Cava Buzzi

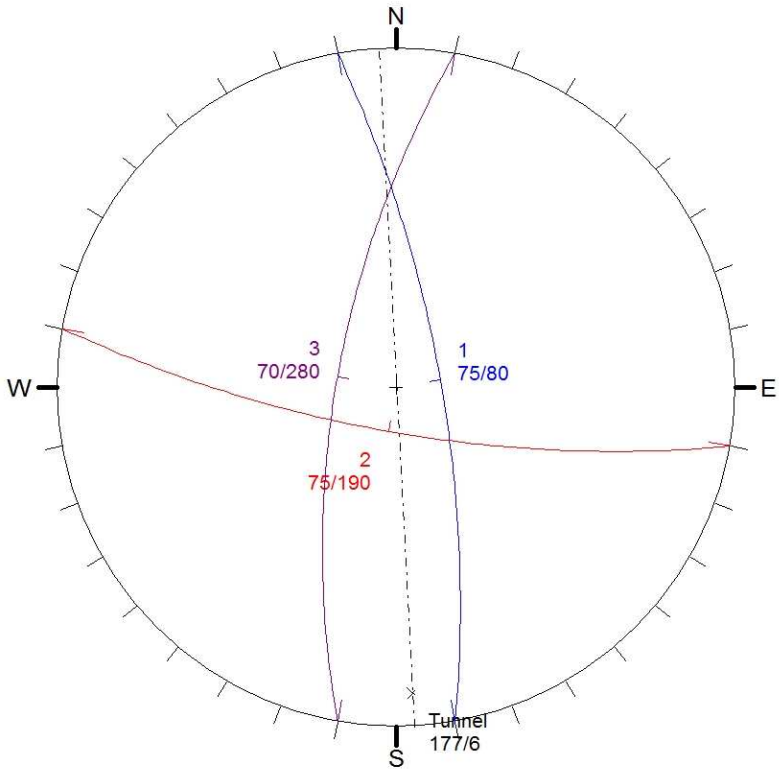


Fig. 5.1. Stereogramma delle discontinuità e dell'asse della galleria

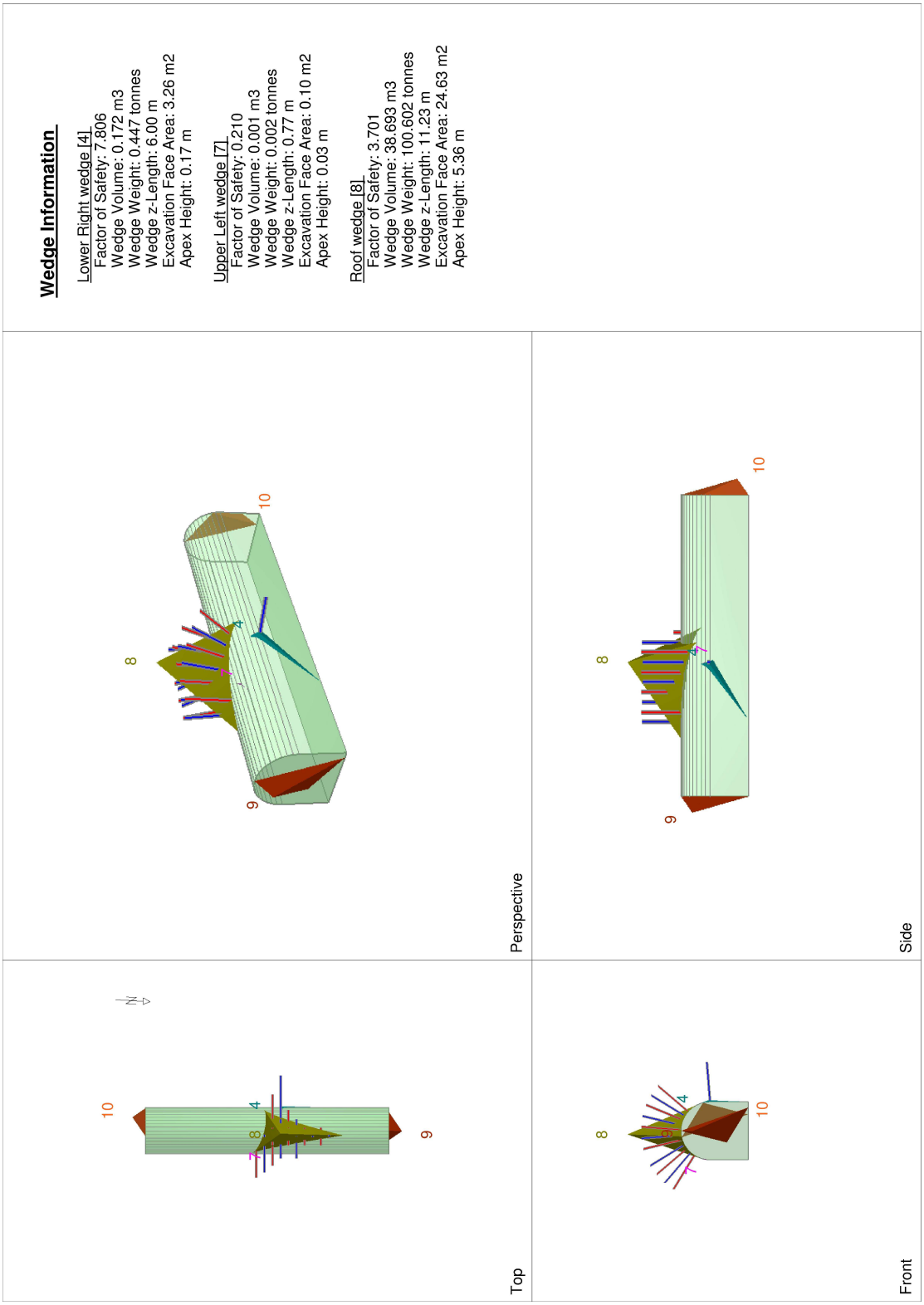


Fig. 5.2: Analisi tratta ex cava Buzzi

Cuneo	Fattore di sicurezza	Volume (m^3)	Peso (t)	Lunghezza longitudinale (m)	Altezza (m)
4	7.806	0.172	0.447	6.00	0.17
7	0.210	0.001	0.002	0.77	0.03
8	3.701	38.693	100.602	12.23	5.36

Cunei analizzati nell'analisi 1

Come si evince dalla **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**i cunei analizzati possiedono un fattore di sicurezza superiore al minimo progettuale di 1.3, l'unico cuneo che un fattore di sicurezza minimo, presenta volume e peso irrilevanti, quasi splaccaggi.

Analisi 2 – tratta lato Borzoli

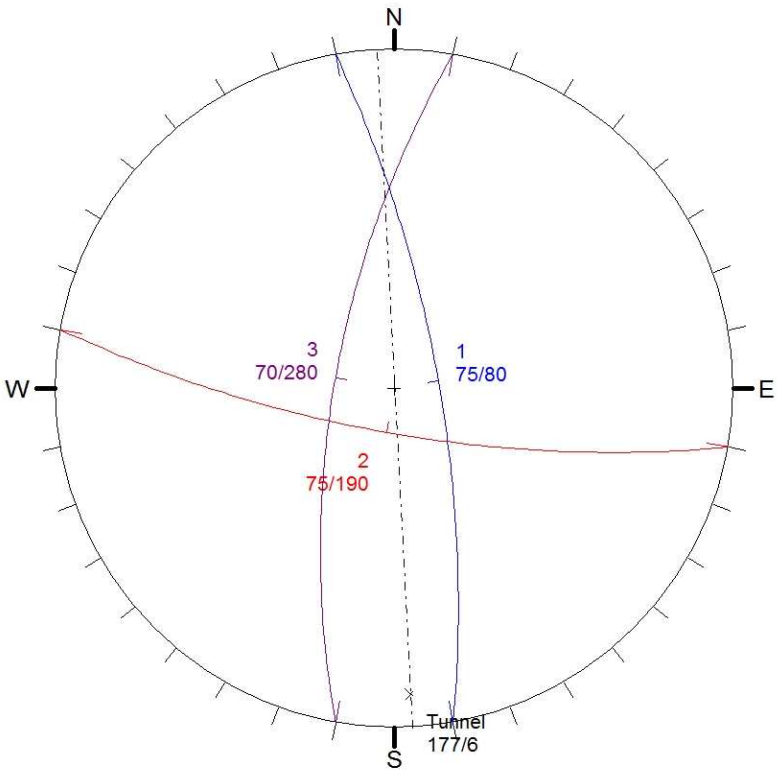


Fig. 5.4. Stereogramma delle discontinuità e dell'asse della galleria

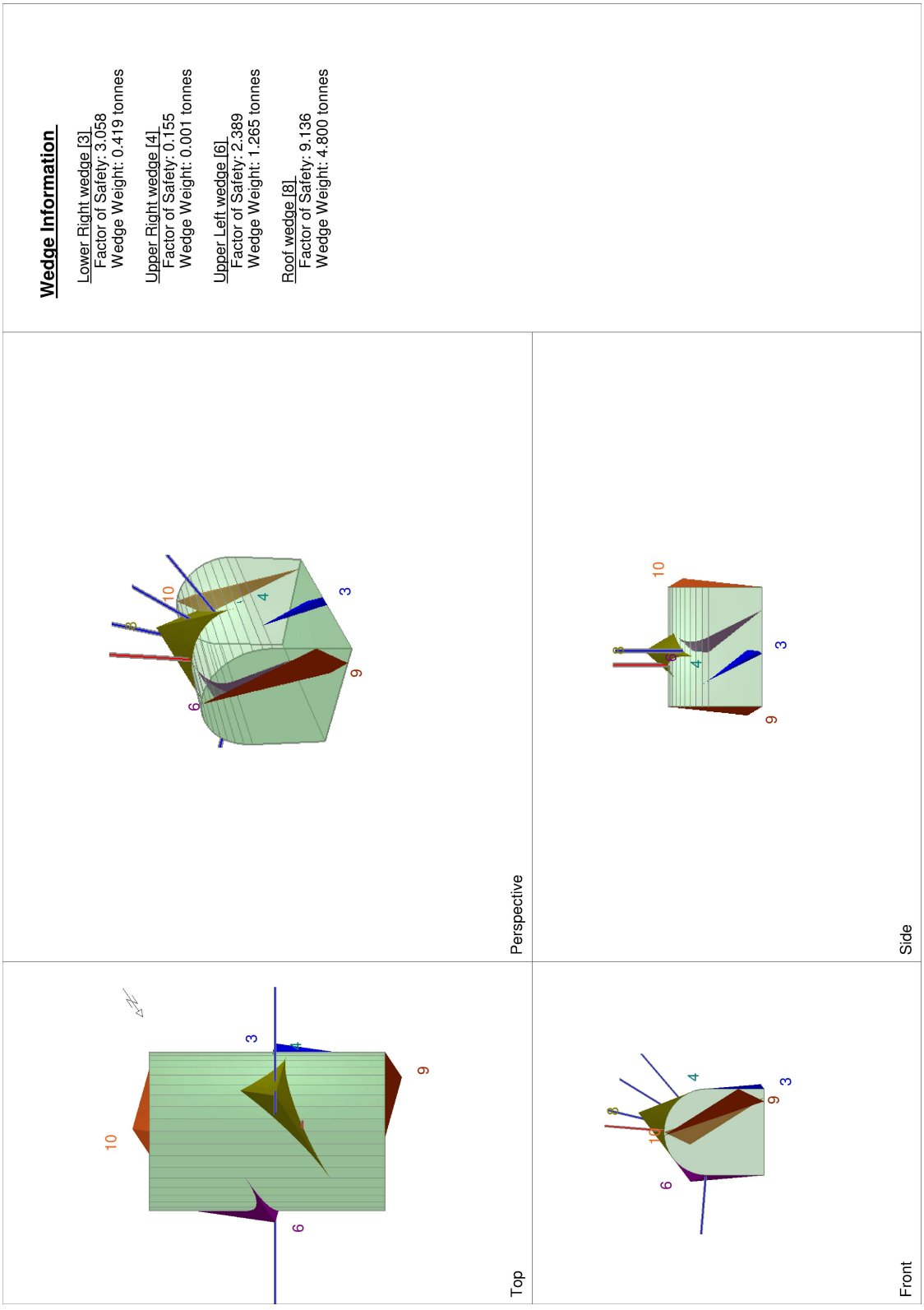


Fig. 3.5: Analisi tratta lato Borzoli

Cuneo	Fattore di sicurezza	Volume (m^3)	Peso (t)	Lunghezza longitudinale (m)	Altezza (m)
3	3.058	0.161	0.419	2.48	0.31
4	0.155	0.000	0.001	0.15	0.03
6	2.389	0.486	1.265	3.05	0.61
8	9.136	1.846	4.800	3.28	1.91

Cunei analizzati nell'analisi 2

Come si evince dalla **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**tutti i cunei analizzati possiedono un fattore di sicurezza superiore al minimo progettuale di 1.3, l'unico cuneo che un fattore di sicurezza minimo, presenta volume e peso irrilevanti, quasi splaccaggi.

7. CONCLUSIONI

In questa relazione sono state analizzate le problematiche progettuali connesse alla realizzazione delle opere di imbocco e della galleria di servizio nell'ambito della riqualificazione ambientale dell'area della cava Vecchie Fornaci (ex Cava Buzzi).

Si prevede la realizzazione di una galleria policentrica di area di scavo pari a circa 32m2 nella sezione corrente e pari a 53m2 circa nella sezione allargata, prevista lungo lo sviluppo per consentire l'incrocio dei mezzi.

La galleria in oggetto si sviluppa per una lunghezza complessiva di 867m circa comprensivi delle 5 sezioni allargate previste.

Le coperture massime risultano superiori ai 200m e l'opera ricade nella formazione delle Dolomie del Monte Gazzo.

Le fasi progettuali contenute nella presente relazione si articolano nei seguenti punti fondamentali:

FASE CONOSCITIVA, in cui viene esaminato il quadro geologico e geomeccanico relativo ai cunicoli sulla scorta degli studi e delle indagini intrapresi;

FASE DI DIAGNOSI, in cui viene individuato il probabile comportamento dell'ammasso allo scavo in funzione delle caratteristiche geomeccaniche e degli stati tensionali agenti;

FASE DI TERAPIA,in cui vengono stabilite le tipologie di intervento di preconsolidamento, consolidamento e rivestimento ritenute più idonee.

Le analisi hanno evidenziato che il fronte di scavo si presenta generalmente stabile o stabile a breve termine.

Sono stati eseguiti i calcoli necessari per la valutazione degli stati tensionali agenti sugli elementi strutturali che compongono le sezioni tipo e le verifiche di resistenza. L'esame dei dati raccolti conferma l'adeguatezza statica dell'intervento proposto da progetto.

Allegati :

1. Input/Output Linee caratteristiche galleria

ALLEGATO 1 – LINEE CARATTERISTICHE

GENERALE													
SEZIONE TIPO	Variabilità	centine	passo	spritz beton	γ	C_p	C_r	Φ_p	Φ_r	v	E	R eq	Copertura
	[-]	[-]	[m]	[cm]	[kN/m^3]	[Mpa]	[Mpa]	[°]	[°]	[-]	[Mpa]	[m]	[m]
TIPO1	Media	IPN 140	1	20	27	0.3	0.24	35	28	0.3	2500	5.3	H=250
TIPO2	Media	IPN 140	1.6	15	27	0.65	0.52	37	30	0.3	3750	5.3	H=250
TIPO3	Media	-	-	15	27	1	0.8	40	32	0.3	5000	5.5	H=250
ALLARGATA	Media	2xIPN140	1.4	15	27	0.65	0.52	37	30	0.3	3750	5.5	H=250