

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:



MANDANTI:



IL DIRETTORE DELLA  
PROGETTAZIONE:  
Ing. Paolo Cucino

ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA PROV. DI TRENTO  
Responsabile integrazione fra le varie  
prestazioni specialistiche  
Dot. Ing. PAOLO CUCINO  
ISCRIZIONE ALBO N° 2216

## PROGETTO ESECUTIVO

**PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL  
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA  
TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"**

RELAZIONE

11 - OPERE CIVILI

B2-PIAZZALI AGLI IMBOCCHI DELLE GALLERIE E VIABILITA' DI ACCESSO

VIABILITA' ACCESSO IMBOCCO GARDENA NORD - 1° TRATTO

Pareti chiodate con reti - Relazione di calcolo

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO  Ing. Pietro Gianvecchio		-

COMMESSA    LOTTO    FASE    ENTE    TIPO DOC.    OPERA/DISCIPLINA    Progr.    REV.

I B O U    1 B    E    Z Z    C L    N V 0 6 2 0    0 0 3    A

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione	M. Inganni	28/09/2021	A. Argoni	29/09/2021	D. Buttafoco (Dolomiti)	30/09/2021	 IL PROGETTISTA A Polli 01/10/2021

File: IB0U1BEZZCLNV0620003A.docx

n. Elab.: X

APPALTATORE:	 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 1 di 117

## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>3</b>
<b>2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>4</b>
<b>3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO</b> .....	<b>4</b>
<b>4. SOFTWARE</b> .....	<b>4</b>
<b>5. DESCRIZIONE DELL’OPERA</b> .....	<b>4</b>
<b>6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b> .....	<b>5</b>
6.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE .....	5
6.2 INQUADRAMENTO STRUTTURALE .....	6
6.2.1 L’evento deformativo D1 .....	6
6.2.2 L’evento deformativo D2 .....	6
6.2.3 Deformazione fragile.....	6
<b>7. ASSETTO GEOLOGICO STRATIGRAFICO DELL’AREA D’INTERVENTO</b> .....	<b>7</b>
7.1 PORFIROIDI.....	7
7.2 DEPOSITI COLLUVIALI .....	7
<b>8. MODELLO GEOLOGICO DI DETTAGLIO</b> .....	<b>7</b>
8.1 TRATTA PK 0+212 – 0+336.700 .....	7
<b>9. CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI</b> .....	<b>8</b>
9.1 PREMESSE.....	8
9.2 ASSETTO GEOSTRUTTURALE, GRADO DI FRATTURAZIONE E DI ALTERAZIONE DELLE DISCONTINUITÀ .....	11
9.3 METODI DI CLASSIFICAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI .....	11
9.4 RESISTENZA AL TAGLIO DELL’AMMASSO. MODELLO COSTITUTIVO DI HOEK-BROWN .....	14
9.5 DEFORMABILITÀ DELL’AMMASSO ROCCIOSO .....	16
9.6 RESISTENZA AL TAGLIO LUNGO I GIUNTI .....	16
<b>10. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E GEOMECCANICHE</b> .....	<b>17</b>
10.1 RILIEVO GEOMECCANICI PE.....	17
10.1.1ST03.....	17
10.1.2ST04.....	19
10.2 PORFIROIDI.....	20
<b>11. MODELLI GEOTECNICI</b> .....	<b>23</b>

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 2 di 117

<b>12. CRITERI DI VERIFICA DELLE OPERE .....</b>	<b>25</b>
12.1 ANALISI DI STABILITÀ DEI VERSANTI E DEGLI SCAVI IN ROCCIA.....	25
12.2 ANALISI CINEMATICHE DEI BLOCCHI .....	26
12.2.1Scivolamento planare.....	28
12.2.2Scivolamento a cuneo .....	29
12.2.3Ribaltamento.....	31
12.3 ANALISI DI STABILITÀ CON I METEODI DELL'EQUILIBRIO LIMITE .....	33
12.3.1Scivolamento planare.....	34
12.3.2Scivolamento tridimensionale a cuneo.....	35
12.3.3Ribaltamento diretto.....	38
12.3.4Ribaltamento flessurale .....	40
12.3.5Verifiche allo SLU.....	41
12.4 RAFFORZAMENTI CORTICALI.....	41
12.4.1Dimensionamento degli ancoraggi.....	41
12.4.2Dimensionamento della rete.....	46
<b>13. VERIFICA DELLE OPERE DA PK 0+212 A PK 0+336.700 .....</b>	<b>48</b>
13.1 ANALISI DI STABILITÀ DEI VERSANTI ROCCIOSI.....	48
13.1.1Analisi dei possibili cinatismi.....	48
13.1.2Analisi cinatismi sezione 17 .....	56
13.1.3Analisi cinatismi sezione 20 .....	69
13.1.4Analisi cinatismi sezione 22 .....	79
13.2 DIMENSIONAMENTO DEI RAFFORZAMENTI CORTICALI .....	89
<b>14. CONFRONTO PD – PE .....</b>	<b>93</b>
14.1.1Analisi cinatismi sezione 17 .....	103
14.1.2Analisi cinatismi sezione 20 .....	108
14.1.3Analisi cinatismi sezione 22 .....	112
<b>15. CONCLUSIONI.....</b>	<b>114</b>

APPALTATORE: <b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IB0U</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>3 di 117</b>

## 1. PREMESSA

Il presente rapporto riguarda la realizzazione dell'opera identificata dal codice WBS NV062, una parte prioritaria della viabilità di accesso all'imbocco della galleria Gardena N, ubicato nel comune di Funes (BZ). L'intervento si inserisce nel quadro delle opere complementari previste dal Progetto Esecutivo del Lotto 1 del quadruplicamento della linea ferroviaria Fortezza-Verona, tratta "Fortezza – Ponte Gardena". Questo rapporto descrive l'assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico l'intervento che prevede la riprofilatura, chiodatura e messa in sicurezza del versante oggetto del presente rapporto che risulta posizionato dalla pk. 0+212.000 alla pk 0+336.700.

All'interno del presente documento sono state effettuate:

- Analisi di stabilità globale
- Analisi dei cinematismi locali quali:
  - o Scivolamento planare
  - o Scivolamento a cuneo
  - o Ribaltamento flessurale
  - o Ribaltamento diretto
- Verifiche rete in aderenza

Le verifiche, in condizione statica e sismica, sono state effettuate sulla base dei rilievi geostrutturali di Progetto Definitivo ed Esecutivo riportati nei documenti di riferimento. I parametri desunti sono le famiglie delle fratture rilevate, le caratteristiche dell'ammasso roccioso intatto e le caratteristiche dei giunti. La normativa di riferimento per le verifiche effettuate risulta essere la NTC2008.

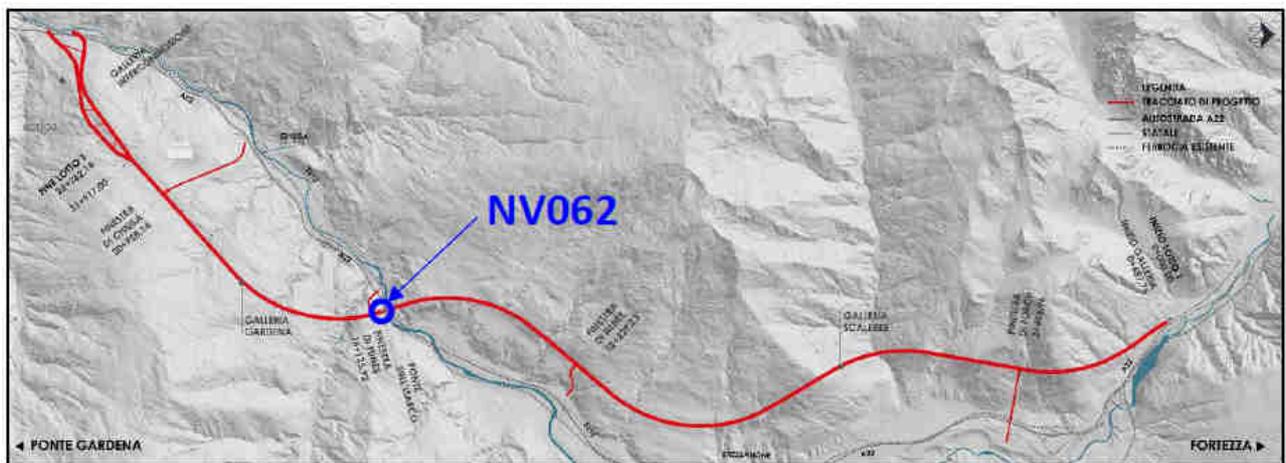


Fig. 1 – Planimetria intervento

APPALTATORE:	 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	<b>IB0U</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>NV0620003</b>	<b>A</b>	<b>4 di 117</b>

## 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Decreto Ministeriale del 14 Gennaio 2008: “Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, G.U. N.29 Del 04.2.2008, Supplemento Ordinario N.30.
- Circolare 2 Febbraio 2009, N. 617 - Istruzioni per l’applicazione delle “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui Al D.M. 14 Gennaio 2008.
- RRFI Dtc Inc Cs Sp Ifs 001 A Del 21.12.2011 - “Specifica per la Progettazione Geotecnica delle Opere Civili Ferroviarie”.
- RFI Dtc Sics Sp Ifs 001 A Del 30.06.2014 - Capitolato Generale Tecnico di Appalto delle Opere Civili – Parte LI – Sezione 5 – “Opere in Terra e Scavi” – Rfi.
- Uni En 1997-1: Eurocodice 7 – Progettazione Geotecnica – Parte 1: Regole Generali
- Uni En 1998-5: Eurocodice 8 – Progettazione delle Strutture per la Resistenza Sismica – Parte 5: Fondazioni, Strutture di Contenimento ed Aspetti Geotecnici.
- IFFI – Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia – Servizio WMS (<https://www.progettoiffi.isprambiente.it/cartografia-on-line/>).
- Geoportale dell’Alto Adige – Rete Civica dell’Alto Adige – Hazard Browser (<https://maps.civis.bz.it/>)

## 3. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- IB0U1AEZZRHGE0000002A RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA, GEOMORFOLOGICA
- IB0U1BEZZRGMD0000001A RELAZIONE GEOTECNICA DI CARATTERIZZAZIONE

## 4. SOFTWARE

- RocLab – Rocscience
- Dips – Rocscience
- Slide – Rocscience
- RocPlane – Rocscience
- Swedge – Rocscience
- RocTopple – Rocscience
- Macro – Maccaferri

## 5. DESCRIZIONE DELL’OPERA

L’intervento tra la pk 0+212.000 e la pk. 0+336.700 viene effettuato al fine di mettere in sicurezza la parete rocciosa esistente e di rirprofilare parte della stessa al fine di aumentare la larghezza della viabilità esistente.

APPALTATORE: <b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>5 di 117</b>

L'intervento prevede anche la sostituzione di parte delle reti esistenti e il posizionamento di nuove reti paramassi in aderenza. Le reti saranno fissate al versante attraverso un sistema di chiodi passivi che ne garantiranno l'aderenza alla parete oltre che garantire la stabilità locale e globale dell'opera.

## 6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

### 6.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

L'area oggetto di studio si colloca all'interno del dominio Sudalpino a S della linea Insubrica, un importante sistema di faglie, con orientazione E-W, che separa le Alpi Settentrionali da quelle Meridionali.

L'intero settore interessato dall'opera in progetto è costituito prevalentemente dal basamento metamorfico di età ercinica formato per la maggior parte da rocce filladiche e quarzo/filladiche appartenenti al Gruppo di Bressanone, associato in determinate porzioni a lenti ricche in grafite ed intercalazioni di porfiroidi appartenenti alle unità meta-vulcaniche acide. Queste hanno raggiunto il picco metamorfico durante le fasi compressive dell'orogenesi Ercinica nel Carbonifero mentre, nel tardo Cenozoico, l'orogenesi Alpina non ha portato ad eventi di metamorfismo regionale, ma esclusivamente associati a circolazione di fluidi idrotermali.

Durante il Permiano la messa in posto di estesi corpi intrusivi (Dioriti di Chiusa e Granito di Bressanone) ha portato ad una fase di metamorfismo termico che ha interessato le rocce incassanti nelle aree di contatto, trasformando le filladi in cornubianiti a cordierite, biotite statica e andalusite. La mancanza di alcuna evidenza di strutture metamorfiche nel fabric delle rocce intrusive, sottolinea come queste non siano state coinvolte nei processi tettonici legati all'orogenesi Ercinica e come l'evento Alpino non abbia raggiunto le condizioni P-T necessarie allo sviluppo di facies metamorfiche.

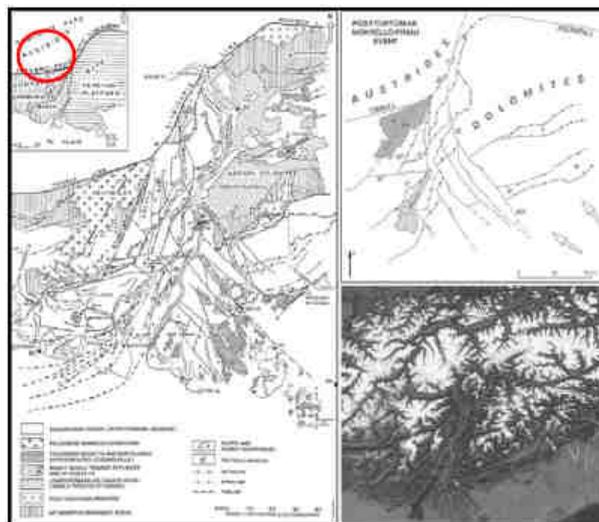


Fig. 2 - carta strutturale dei settori centro-orientali del dominio Sudalpino (a sinistra) da Castellarin et al., 2006; schema tettonico delle maggiori strutture attive a partire dal Messiniano (in alto a destra) da Castellarin et al., 2006; immagine satellitare Alpi centro-orientali (in basso a destra).

APPALTATORE:	 		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>			
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 6 di 117

In tutto il settore interessato i depositi Quaternari relativi al Pleistocene medio – Olocene, coprono vaste aree con depositi alluvionali all'interno dei fondovalle delle principali aste vallive come la Val di Isarco e la Val di Funes, depositi colluviali situati alla base e lungo i versanti, depositi glaciali/fluvio-glaciali e depositi lacustri riconducibili alle fasi glaciali-interglaciali susseguites a partire dal Pleistocene medio.

## 6.2 INQUADRAMENTO STRUTTURALE

L'area oggetto di studio si colloca all'interno del dominio Sudalpino caratterizzato da una evoluzione tettonica complessa che vede la sovrapposizione di più eventi deformativi che hanno interessato le litologie coinvolte. Attraverso l'analisi e studio di carattere strutturale delle rocce costituenti il basamento metamorfico sono stati individuate, da parte di alcuni autori (Ring e Richter, 1994; Benciolini et al. 2006) diversi elementi strutturali come foliazioni, pieghe, zone di taglio duttili, fragili-duttili e fragili, i quali hanno permesso di distinguere fino a tre eventi deformativi (D1, D2, D3) relativi all'orogenesi Ercinica.

Strutture duttili e fragili-duttili riscontrate dai rilevamenti sul terreno sono state associate ai primi due eventi deformativi D1 e D2 mentre non sono state distinte quelle relative al terzo stage deformativo in quanto questo risulta essere parallelo e con stessa associazione mineralogica di D2 (Benciolini et al., 2016). Secondo Ring e Richter (1994) D3 piuttosto che essere considerato come una fase distinta corrisponde ad una evoluzione dell'evento deformativo precedente D2. Vengono riscontrate strutture successive di tipo fragile legate alle distensioni permo-mesozoiche e mesozoiche e alle deformazioni attribuibili all'orogenesi Alpina.

### 6.2.1 L'evento deformativo D1

Il primo set deformativo presenta una scistosità "S1" la quale spesso risulta di difficile differenziazione a causa dell'obliterazione di quest'ultimo dalla scistosità più recente (S2) legata all'evento deformativo D2. D1 è caratterizzato da dei piani SC con vergenza verso E-SE, mentre gli assi di piega P1 mostrano una direzione circa N-S (180°-220°) evidenziando come il trasporto tettonico durante tale evento fosse orientato circa E-W.

### 6.2.2 L'evento deformativo D2

Il secondo evento deformativo presenta una scistosità "S2" con la presenza di piani SC e una direzione di massima immersione di circa 220° la quale risulta in linea con l'orientazione degli assi di piega riconducibili a tale evento, compresa tra i 90° e i 140°. Le superfici di tipo C, in cui si localizza il piano di taglio, sono caratterizzate da fillosilicati mentre, le superfici S, vengono evidenziate dalla presenza di minerali allungati secondo un'orientazione preferenziale. L'elongazione coinvolge minerali quali: muscovite, biotite e quarzo

### 6.2.3 Deformazione fragile

Durante i rilievi di terreno sono state osservate diverse strutture di tipo fragile, generate da singole fasi deformative o impostate su piani di taglio ereditati da eventi tettonici precedenti poi riattivati. All'interno di queste zone di faglia si rinvencono damage zones più o meno estese e core zone lungo i piani di taglio. La

APPALTATORE:	 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	<b>IB0U</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>NV0620003</b>	<b>A</b>	<b>7 di 117</b>

maggior parte delle strutture fragili sono riconducibili alla deformazione Alpina dove le rocce del basamento, costituite prevalentemente da filladi e filladi quarzitiche, hanno subito un tilting tettonico e una riattivazione fragile dei piani di scistosità principali (S2) e dei piani di clivaggio, ereditati dall'orogenesi Ercinica (Doglioni e Bosellini, 1987). La vergenza del trasporto tettonico verso N, opposta alla tipica vergenza verso S del dominio Sudalpino, probabilmente è riconducibile alle strutture tettoniche più importanti come ad esempio la linea della Val di Funes, considerata come un backthrust della Linea della Valsugana (Chanell & Doglioni, 1994).

## 7. ASSETTO GEOLOGICO STRATIGRAFICO DELL'AREA D'INTERVENTO

Nel presente capitolo verranno descritte le diverse associazioni litologiche, a partire dal basamento roccioso pre-quadernario fino ai depositi superficiali più recenti, che rappresentano la sequenza stratigrafica dell'area in cui si colloca l'opera in esame.

### 7.1 PORFIROIDI

*p – Porfiroidi:* metavulcaniti e metavulcanoclastiti acide, derivanti probabilmente da protoliti riolitici o riodacitici, caratterizzati generalmente da una struttura massiva anche se a luoghi possono presentare una marcata scistosità. L'aspetto è solitamente gneissico con una colore variabile dal verde al rossastro. La composizione mineralogica che caratterizza i porfiroidi è data da feldspati alcalini (microclini, sanidini, ortoclasio), plagioclasti, mica, clorite, epidoto e quarzo.

### 7.2 DEPOSITI COLLUVIALI

*c – Depositi colluviali:* depositi eluviali e colluviali costituiti da materiale a granulometria medio-fine, derivante da alterazione del substrato roccioso. Questi occupano le zone a bassa pendenza alla base e lungo i versanti. Non oggetto di consolidamento attraverso le reti di protezione

## 8. MODELLO GEOLOGICO DI DETTAGLIO

### 8.1 TRATTA PK 0+212 – 0+336.700

Nella tratta in oggetto la strada, sempre in adiacenza verso sud alla ferrovia, si sviluppa lungo la probabile piattaforma rocciosa derivante dallo sbancamento del rilievo eseguito in occasione della costruzione della ferrovia.

Lungo l'asse stradale, al di sotto della pavimentazione stradale e della sua fondazione, qui realizzate in tout-venant ghiaioso e il cui spessore è ipotizzato di alcuni decimetri è presente direttamente l'ammasso roccioso costituito dai porfiroidi (p) facenti parte della Formazione della Fillade di Bressanone.

La roccia affiora lungo tutto il tratto in un'alta scarpata subverticale a monte della strada. La scarpata rocciosa ha una inclinazione variabile tra 60° e 87° dall'orizzontale. Si tratta di un ammasso roccioso

APPALTATORE:  		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO				
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 8 di 117

prevalentemente massivo ma con una evidente foliazione che in questa tratta presenta giacitura a reggipoggio rispetto alla parete, con inclinazione di poco meno di 30°.

Lungo questa parete sono state realizzate 4 stazioni di misura geostrutturali delle discontinuità per la caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso, di cui due nella fase di PD e due nell'attuale fase di progettazione esecutiva (IBOU1AEZZRHGE000002A).

La qualità dell'ammasso è mediamente buona, in considerazione del fatto che si tratta di una scarpata artificiale di sbancamento, lungo la quale durante le operazioni di scavo è stato asportato il volume roccioso più corticale che molto probabilmente presentava un maggior grado di fratturazione / alterazione.

La parete è attualmente protetta da una rete metallica a doppia torsione aderente fissata da bulloni. Si osservano solo localmente limitati blocchi staccati di dimensioni decimetriche trattenuti alla base della rete, a riprova della buona qualità dell'ammasso. La rete attualmente presente verrà interamente rimossa e sostituita dall'intervento previsto in progetto.

## 9. CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

### 9.1 PREMESSE

Come è noto, per la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi vengono seguiti criteri e approcci diversi da quelli tipici della meccanica delle terre, a causa della forte disomogeneità e, spesso, anisotropia degli ammassi rocciosi. questi sono infatti strutture composte da una matrice rocciosa intatta (o più o meno alterata) separata da giunti di discontinuità (primarie e secondarie, cioè giunti di strato o di origine tettonica), serrate o più o meno aperte, a volte riempite da materiale di origine secondaria. le discontinuità hanno pertanto una fondamentale importanza nel comportamento meccanico dell'ammasso roccioso che, dal punto di vista ingegneristico, viene assimilato ad un aggregato di blocchi, più o meno giustapposti.

Caratteristica comune dei giunti di discontinuità è una trascurabile resistenza alla trazione e valori di resistenza a taglio sensibilmente inferiori a quelli della roccia intatta. le caratteristiche meccaniche alla scala dell'ammasso roccioso, quindi, dipendono in gran parte dalle resistenze disponibili lungo i piani di discontinuità e dall'orientazione di queste nello spazio.

Il passo principale e propedeutico per una caratterizzazione dell'ammasso roccioso è rappresentato quindi dall'analisi della geometria dei vari sistemi di discontinuità in relazione alla situazione specifica da analizzare (orientazione del fronte di scavo, della galleria, ecc..). Da questa analisi preliminare si deve decidere se l'orientazione dei giunti condiziona o meno la stabilità (o più in generale il comportamento meccanico d'insieme dell'ammasso). nel primo caso l'ammasso va trattato come un mezzo anisotropo e le caratteristiche meccaniche del giunto (e la sua geometria) condizionano direttamente il comportamento d'insieme dell'ammasso (con la formazione di cunei e diedri di roccia). Nel secondo caso, l'ammasso roccioso può essere trattato come un mezzo "pseudo-omogeneo", in cui i giunti condizionano il comportamento di ammasso in termini di frequenza e caratteristiche, senza tuttavia condizionarne il cinematismo di rottura. il concetto è ben espresso dalla Figura seguente tratta dal testo di Catrin Edelbro (Evaluation of rock mass strength criteria). Si può quindi passare da un mezzo continuo, cioè roccia intatta

APPALTATORE: <b>webuild</b>   <b>Implenia</b>		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.		Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO		
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 9 di 117

(di fatto un caso mai applicabile nei contesti geologici italiani), a mezzi variamenti discontinui fino ad un "continuo equivalente", nel caso in cui il reticolo di discontinuità suddivide fittamente l'ammasso (con riferimento anche al volume del problema) senza orientazioni preferenziali (sempre rispetto al problema da trattare).

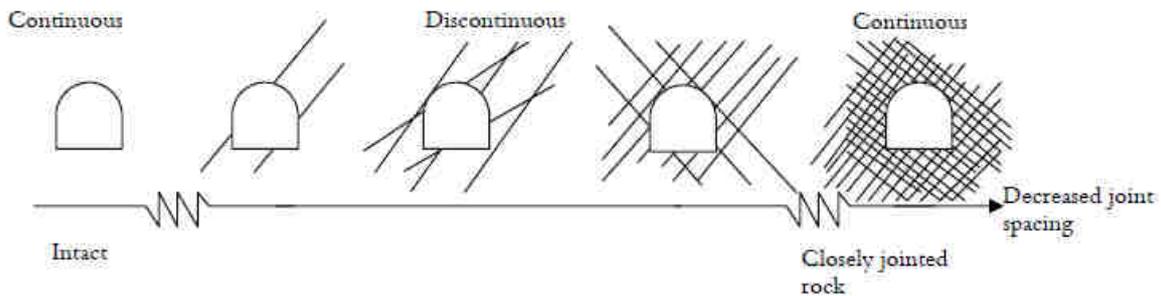


Fig. 3 - concetto del volume significativo (da Catrin Edelbro)

Il concetto è ben espresso da Hoek (vedi Figura seguente) riferendosi a uno dei metodi più noti e utilizzati nel campo della geomeccanica, che si basa su "indici" di ammasso (GSI) e su uno specifico modello costitutivo (Hoek-Brown).

La Figura individua vari casi in cui il metodo Hoek-Brown non è applicabile (roccia intatta o suddivisa da uno o due sistemi, o "famiglie", di giunti preferenziali) e i casi in cui il metodo è applicabile (ammasso suddiviso da molti giunti in relazione al volume del problema o ammasso fittamente suddiviso, tale da renderlo, appunto, "pseudo-omogeneo").

APPALTATORE:	 		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>			
PROGETTAZIONE:	Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 10 di 117

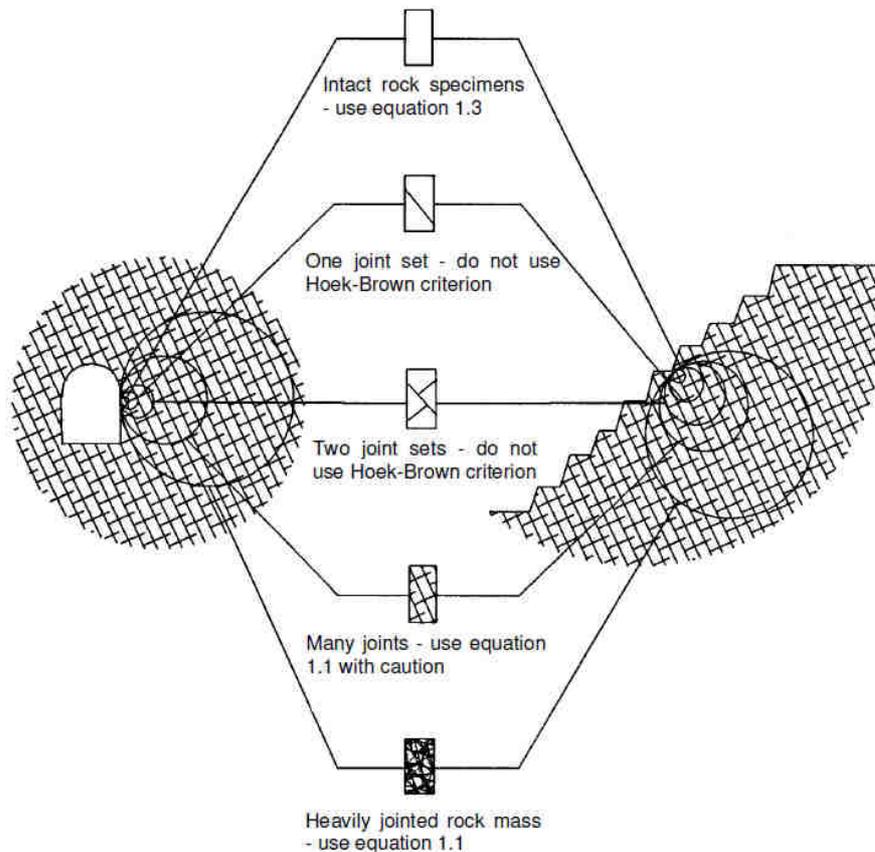


Fig. 4 - applicabilità del criterio Hoek-Brown (da Hoek)

Per mezzi discontinui, la caratterizzazione si basa sui parametri dei giunti e sulla definizione della loro geometria.

Nel caso di mezzi pseudo-omogenei la caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso consiste invece nella definizione dei parametri meccanici e geometrici più significativi della roccia intatta e dei giunti e quindi nell'individuazione di un modello che meglio approssimi il comportamento dell'ammasso, assimilandolo ad un mezzo "continuo" equivalente.

Gli usuali approcci in campo progettuale prevedono quindi l'utilizzo di "indici" di caratterizzazione e l'applicazione poi di uno specifico modello costitutivo.

Tra questi metodi, il primo in ordine cronologico è quello introdotto da Bieniawski (1973) noto come metodo RMR, la cui naturale evoluzione può essere considerato il metodo di Hoek-Brown (noto come metodo GSI, Global Strength Index). Altri metodi molto usati in campo applicativo sono il metodo "Q" di Barton e il metodo RMI di Palmstrom. In questa sede si farà un diretto utilizzo del metodo GSI.

Prima della descrizione dei metodi di caratterizzazione è però necessario richiamare i criteri utilizzati per la descrizione quantitativa dei sistemi di discontinuità degli ammassi rocciosi.

APPALTATORE:  		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO				
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 11 di 117

In considerazione della complessità dei problemi e dei numerosissimi riferimenti di letteratura, nei paragrafi seguenti vengono ovviamente riportati solo alcuni elementi sintetici, rimandando ai testi e agli articoli scientifici specifici per una trattazione di maggiore dettaglio.

## 9.2 ASSETTO GEOSTRUTTURALE, GRADO DI FRATTURAZIONE E DI ALTERAZIONE DELLE DISCONTINUITÀ

Per la definizione delle caratteristiche delle discontinuità viene seguito il criterio ISRM 1988 (Suggested Methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses) da applicare su stazioni di misure. In tali stazioni vengono analizzate le caratteristiche strutturali della roccia in corrispondenza di allineamenti (traverse); le traverse sono rappresentate da ideali linee sull'affioramento, posizionate a discrezione dal rilevatore in modo che esse intercettino in maniera significativa le discontinuità che intersecano l'ammasso. Per le discontinuità intercettate vengono rilevati i seguenti dati:

- distanza dal punto di inizio della traversa;
- giacitura del piano di discontinuità (immersione e inclinazione);
- lunghezza visibile della frattura;
- apertura/larghezza della frattura;
- rugosità della superficie di frattura;
- tipo di riempimento (se presente).

I dati di giacitura delle discontinuità sono elaborati e rappresentati graficamente con i metodi di proiezione stereografica.

I dati delle discontinuità così rappresentati sono poi elaborati statisticamente e rappresentati graficamente sempre sulle proiezioni stereografiche con una rappresentazione delle isodense (linee di uguale densità dei punti rappresentativi delle discontinuità).

Per maggiori informazioni si rimanda alla relazione geologica dove si commentano i rilievi eseguiti sul campo.

Ulteriori rilievi geomeccanici possono essere effettuati sulle carote dei sondaggi riferendosi quantomeno agli indici TCR (total core recovery), scr (standard core recovery) e RQD (Rock Quality Designation), che forniscono indicazioni sullo stato di fratturazione della roccia.

Per la definizione del grado di alterazione della roccia ci si è analogamente riferiti alla metodologia proposta dall'ISRM.

## 9.3 METODI DI CLASSIFICAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

Il metodo di Hoek-Brown GSI (Geological Strength Index) è nato negli anni '80 per un ammasso roccioso generico ed è poi stato ampliato, dettagliato e integrato anche da altri autori per renderlo applicabile a vari tipi di ammasso e per superare l'approccio strettamente qualitativo originario.

Nella Figura seguente si riporta lo schema base del criterio GSI che viene utilizzato per la determinazione del valore indice di riferimento in relazione al grado di fatturazione e alle condizioni dei giunti.

APPALTATORE: <b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 12 di 117

Il giudizio si basa sostanzialmente sulla struttura dell'ammasso, intensità della fratturazione e caratteristiche delle superfici dei giunti trascurando la resistenza del materiale roccioso.

Questo schema è poi stato modificato, integrato e adattato anche per altre tipologie di ammassi rocciosi (flysch, rocce scistose, ecc..) rimanendo però invariato l'approccio di base.

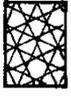
GEOLOGICAL STRENGTH INDEX		DISCONTINUITY SURFACE CONDITION					
According to geological conditions, pick the appropriate box in this chart. Estimate the average value of the Geological Strength Index GSI from the contours		VERY GOOD Very rough, unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered or altered surfaces	POOR Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings containing angular rock fragments	VERY POOR Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings	
STRUCTURE		80	70	60	50	40	30
	BLOCKY - very well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three orthogonal discontinuity sets						
	VERY BLOCKY - interlocked, partially distributed rock mass with multifaceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets						
	BLOCKY/FOLDED - folded and faulted with many intersecting discontinuities forming angular blocks						
	CRUSHED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture of angular and rounded blocks						

Fig. 5 - schema base del metodo GSI (da Hoek)

L'apparente semplicità del metodo GSI ha portato ad un uso intensivo (e spesso non consono alle effettive intenzioni degli autori) di questo criterio. l'applicazione corretta di questo metodo presuppone la realizzazione di approfonditi studi e rilevamenti geomeccanici sul campo, con la disponibilità di affioramenti e fronti di scavo di dimensioni e qualità tali da garantire una significatività statistica dei dati di acquisizione oltre che una affidabilità degli stessi. La "sensibilità" ed esperienza del geologo che effettua questa caratterizzazione sono stati evidenziati dallo stesso Hoek come elemento imprescindibile per l'affidabilità del metodo.

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 13 di 117

Molto spesso gli affioramenti sono limitati, di ridotte dimensioni e disturbati da fenomeni di alterazione dell'ammasso. I dati principali circa lo stato di fratturazione della roccia derivano spesso dai soli dati di carotaggio (RQD ed esame delle condizioni delle superfici di discontinuità sulle carote).

Tali circostanze hanno indotto Hoek ed altri autori a proporre un metodo "quantitativo" del GSI ("Quantification of the Geological Strength Index chart" – Hoek, Carter, Diederichs – 2013) che prevede l'utilizzo dei soli dati RQD e j (condizioni delle discontinuità, già impiegate da Bieniawski con la sigla Jcond89, ad indicare "Joint Condition" secondo il sistema di Bieniawski del 1989).

Il sistema proposto è illustrato nella scheda seguente ed è rappresentabile dalla formula:

$$GSI = 1.5 Jcond_{89} + RQD/2$$

La metodologia di calcolo del Jcond89 è riportata nella Tabella seguente (ripresa dalla pubblicazione citata).

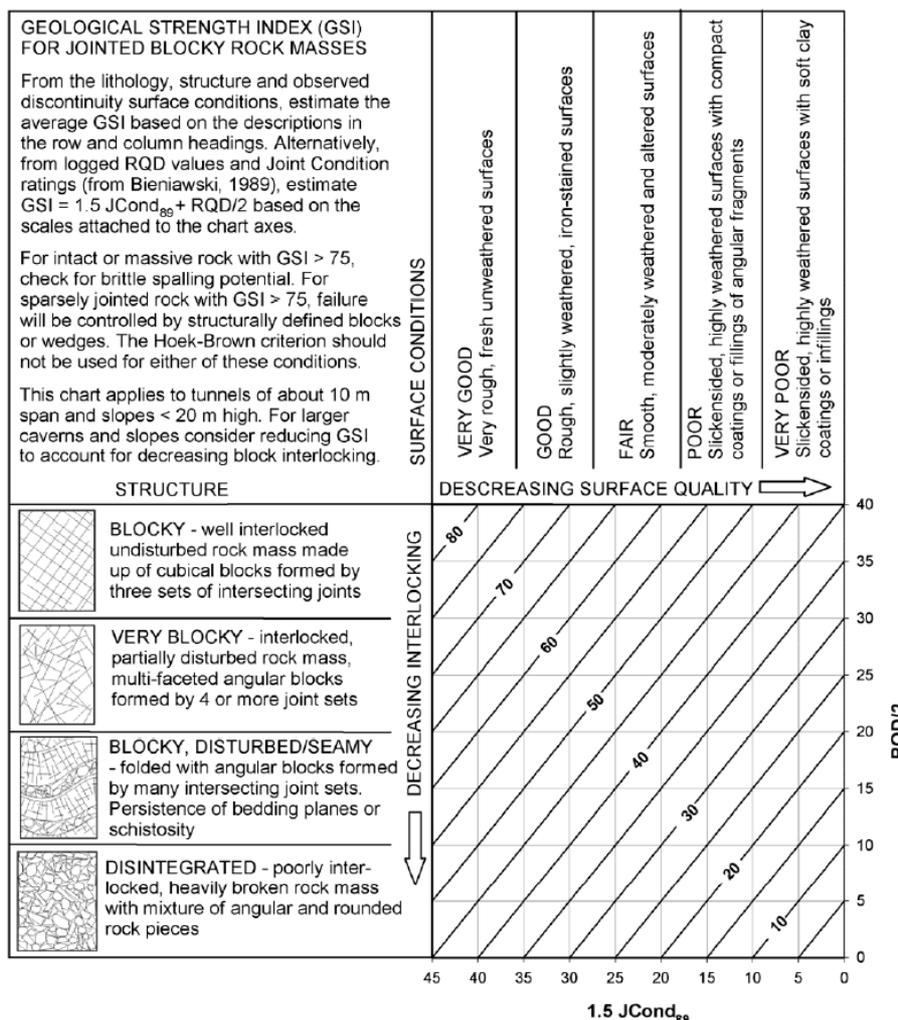


Fig. 6 - metodo GSI quantitativo (da Hoek)

APPALTATORE: <b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>14 di 117</b>

Table 1: Definition of  $J_{cond_{89}}$ , after Bieniawski (1989) [5].

Condition of discontinuities	Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1 – 5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous
Rating	30	25	20	10	0

Guidelines for classification of discontinuity conditions

Discontinuity length (persistence)	< 1 m	1 to 3 m	3 to 10 m	10 to 20 m	More than 20 m
Rating	6	4	2	1	0
Separation (aperture)	None	< 0.1 mm	0.1 – 1.0 mm	1 – 5 mm	More than 5 mm
Rating	6	5	4	1	0
Roughness	Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Slickensided
Rating	6	5	3	1	0
Infilling (gouge)	None	Hard infilling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft infilling < 5 mm	Soft infilling > 5 mm
Rating	6	4	2	2	0
Weathering	Unweathered	Slightly weathered	Moderate weathering	Highly weathered	Decomposed
Rating	6	5	3	1	0

Fig. 7 - determinazione del  $J_{cond_{89}}$  (da Hoek)

#### 9.4 RESISTENZA AL TAGLIO DELL'AMMASSO. MODELLO COSTITUTIVO DI HOEK-BROWN

Il comportamento meccanico dell'ammasso roccioso è descritto dal criterio di resistenza non lineare di Hoek e Brown (1980). questo criterio di resistenza è contraddistinto, nel piano di Mohr, da una marcata curvatura con concavità verso il basso; ciò comporta che, a modeste pressioni di confinamento, la superficie di rottura tende a seguire piani di discontinuità con giacitura prossima a quella di rottura, mentre ad elevate sollecitazioni la rottura interessa più estese porzioni di roccia integra.

In termini di sollecitazioni principali efficaci  $\sigma'_1$  e  $\sigma'_3$  il criterio di resistenza è espresso dalle relazioni:

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \left\{ m_i \sigma_c \sigma'_3 + s_i \sigma_c^2 \right\}^{1/2} \quad \text{materialeroccioso}$$

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \left\{ m_a \sigma_c \sigma'_3 + s_a \sigma_c^2 \right\}^{1/2} \quad \text{ammassoroccioso}$$

in cui  $\sigma_c$  è la resistenza a compressione uniassiale del materiale roccioso e  $m$  ed  $s$  sono due parametri legati alla resistenza, rispettivamente di tipo attritivo e di tipo coesivo.

Per il materiale roccioso viene usualmente assunto  $m_i = 1$ .

La resistenza a compressione uniassiale  $\sigma_{ca}$  e a trazione  $\sigma_{ta}$  dell'ammasso risultano rispettivamente pari a:

$$\sigma_{ca} = \sqrt{s_a} \sigma_c$$

$$\sigma_{ta} = \frac{\sigma_c}{2} \left( m_a - \sqrt{m_a^2 + 4s_a} \right)$$

Il criterio, parte dalle caratteristiche meccaniche della roccia intatta, per poi introdurre dei coefficienti correttivi per tenere conto delle caratteristiche dei giunti dell'ammasso.

Per tenere conto di effetti di disturbo dell'ammasso, Hoek ha introdotto un criterio di rottura modificato e successivamente "generalizzato" in cui nell'equazione sopra riportata è stato introdotto un coefficiente "a" per adattare meglio la forma della curva nel piano di Mohr.

In tal modo l'equazione sopra riportata diventa:

APPALTATORE:  		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO				
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 15 di 117

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \left\{ m_i \sigma_c \sigma'_3 + s_i \sigma_c^2 \right\}^a \quad \text{materialeroccioso}$$

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \left\{ m_a \sigma_c \sigma'_3 + s_a \sigma_c^2 \right\}^a \quad \text{ammassoroccioso}$$

Hoek e Brown (1980), per stimare i valori di  $m_a$  e  $s_a$  dell'ammasso roccioso a partire dall'indice GSI, hanno proposto le seguenti relazioni:

$$m_b = m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI-100}{28}\right) \quad s_b = s_i \cdot \exp\left(\frac{GSI-100}{9}\right)$$

Successivamente, alcuni autori (Hoek, Carranza-Torres and Corkum, 2002), al fine di tenere conto di effetti di disturbo o allentamento dell'ammasso, i valori di  $m_b$ ,  $s$  e  $a$  sono stati ricavati dalle seguenti espressioni:

$$m_b = m_i \cdot \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right) \quad s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right) \quad a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

$m_i$  costante adimensionale dipendente dal tipo litologico.

$D$  coefficiente che tiene conto dell'effetto di disturbo per l'abbattimento della roccia con esplosivo.

Ai fini delle verifiche di stabilità, il criterio di Hoek e Brown viene più convenientemente espresso in termini di curva intrinseca  $t-\sigma'_n$  anziché in termini di sforzi principali, correlando in base a relazioni geometriche, lo sforzo di taglio in funzione della sollecitazione normale.

Lo sforzo normale e di taglio sono correlate agli sforzi principali dalle relazioni (Balmer, 1952):

$$\sigma'_n = \frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} - \frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \cdot \frac{d\sigma'_1/d\sigma'_3 - 1}{d\sigma'_1/d\sigma'_3 + 1}$$

$$\tau = (\sigma'_1 - \sigma'_3) \cdot \frac{\sqrt{d\sigma'_1/d\sigma'_3}}{d\sigma'_1/d\sigma'_3 + 1}$$

dove

$$d\sigma'_1/d\sigma'_3 = 1 + am_b(m_b\sigma'_3/\sigma_c + s)^{a-1}$$

Per il calcolo dei parametri di resistenza espressi in termini di coesione ed angolo di attrito efficaci lo stesso Hoek (1980) ha proposto la seguente procedura di calcolo:

$$\varphi' = \arcsen \left[ \frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right]$$

$$c' = \frac{\sigma_c [(1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n}](s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a)\sqrt{1 + (6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1})/(1+a)(2+a)}}$$

dove

$$\sigma'_{3n} = \sigma'_{3max} / \sigma_c$$

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 16 di 117

Il valore di  $\sigma'_{3max}$  è il limite superiore della tensione di confinamento per il quale viene considerata la correlazione tra il criterio di Hoek-Brown e di Mohr-Coulomb.

## 9.5 DEFORMABILITÀ DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Anche in questo caso, come per la resistenza, anche per la deformabilità vanno distinte le caratteristiche a livello di campione intatto da quelle dell'ammasso, dove in quest'ultimo ovviamente influiscono la frequenza, l'apertura e le altre condizioni dei giunti di discontinuità.

Esistono in letteratura numerosissime relazioni proposte da vari autori (a iniziare da Bieniawski, Hoek, Serafim e Pereira, Barton e altri).

Hoek and Diederichs (2005) hanno riesaminato vari metodi empirici per stimare il modulo di deformabilità dell'ammasso roccioso ed hanno proposto la seguente relazione che verrà proposta in questa sede.

$$E_d (MPa) = 100000 \left( \frac{1 - D/2}{1 + e^{((75+25D-GSI)/11)}} \right)$$

## 9.6 RESISTENZA AL TAGLIO LUNGO I GIUNTI

Per i motivi prima descritti, quando le condizioni geostrukturali dell'ammasso rapportate all'interazione con l'opera in progetto (anche nel caso di scavi in roccia non sostenuti) non consentono l'applicazione del metodo di Hoek-Brown per ammassi pseudo-omogenei, le verifiche vanno condotte con riferimento allo scorrimento di cunei e diedri di roccia (che si formano dalla combinazione dei giunti di discontinuità, della superficie topografica e di quella di scavo). La geometria dei blocchi instabili deriva dalle effettive condizioni geostrukturali, ricostruite con le stazioni di rilievo commentate nella relazione geologica.

Le analisi possono essere condotte con i classici sistemi all'equilibrio e/o con le analisi cinematiche su proiezioni stereografiche.

Per i criteri applicati nel caso in esame si rimanda alle relazioni di calcolo.

Nei riguardi della stima delle resistenze a scorrimento lungo le discontinuità può farsi riferimento al noto schema di Barton, tradotto in una relazione che esprime la resistenza a taglio solo in termini attritivi

$$\tau_{lim} = \sigma \times \tan \varphi^*$$

$$\varphi^* = \left( \varphi + JRC \cdot \log_{10} \frac{\sigma_j}{\sigma} \right)$$

- $\sigma$  : pressione efficace normale al giunto
- $\varphi$  : angolo di attrito base (giunto piano, liscio)
- JRC : indice di scabrezza di Barton
- $\sigma_j$  : resistenza a compressione della roccia adiacente il giunto
- $\varphi^*$  : angolo di attrito apparente in relazione con  $\varphi$  e l'indice di scabrezza

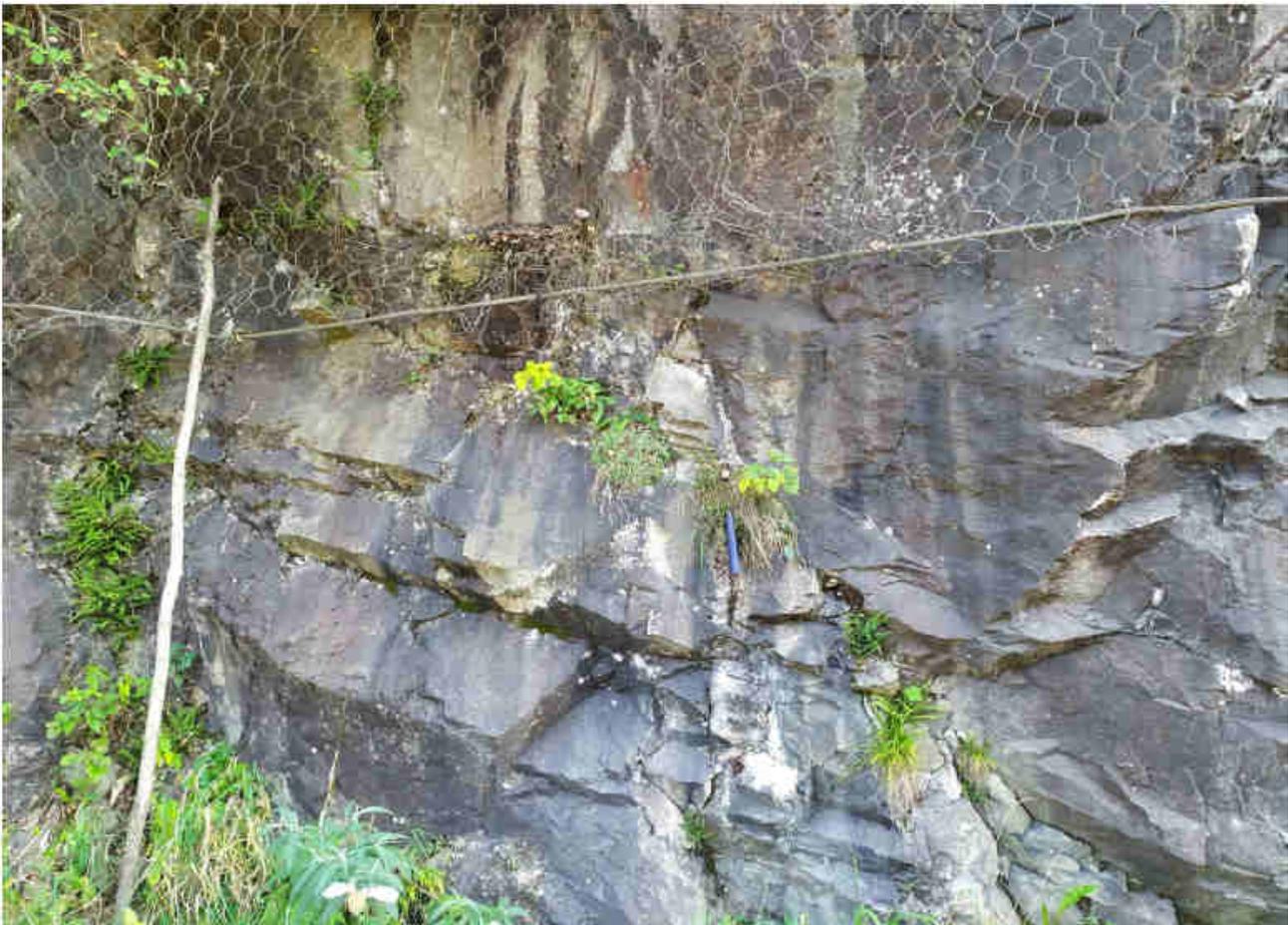
APPALTATORE:	<b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	<b>SWS Engineering S.p.A.</b>	Mandanti:	<b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>			
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	<b>IB0U</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>NV0620003</b>	<b>A</b>	<b>17 di 117</b>

## 10. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E GEOMECCANICHE

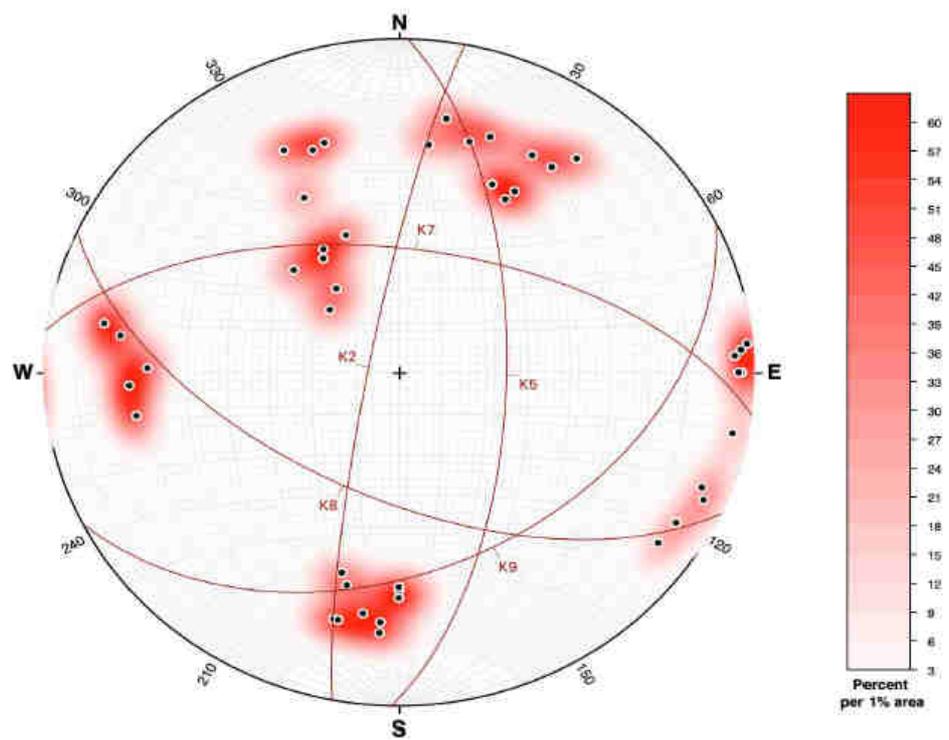
### 10.1 RILIEVO GEOMECCANICI PE

Di seguito si riportano il riassunto dei risultati dei rilievi geomeccanici di PE eseguiti e presi in considerazione per le verifiche dei capitoli seguenti. Per il dettaglio si fa riferimento alla Relazione Geologica, Idrogeologica, Geomorfologica (IB0U1AEZZRHGE000002A) e Relazione Geotecnica di caratterizzazione (IB0U1BEZZAXGE000001A).

#### 10.1.1 ST03



APPALTATORE: <b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IBOU</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>NV0620003</td> <td>A</td> <td>18 di 117</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IBOU	1BEZZ	CL	NV0620003	A	18 di 117
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IBOU	1BEZZ	CL	NV0620003	A	18 di 117								

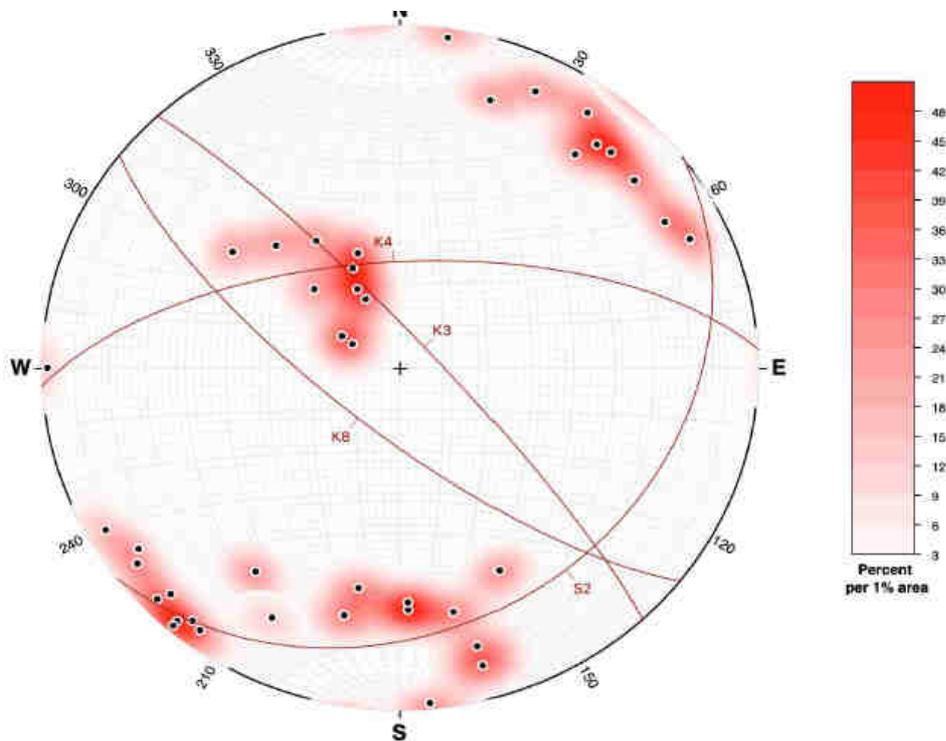


APPALTATORE: <b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> <b>SWS Engineering S.p.A.</b> <u>Mandanti:</u> <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IB0U</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGGIO. <b>19 di 117</b>

### 10.1.2 ST04



APPALTATORE:	<b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandataria:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	<b>IBOU</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>NV0620003</b>	<b>A</b>	<b>20 di 117</b>



## 10.2PORFIROIDI

Per quanto riguarda le zone con rocce affioranti, i problemi progettuali riguardano sostanzialmente il consolidamento dei fronti rocciosi.

In questo caso hanno primaria importanza: la geometria del sistema delle discontinuità che attraversano l'ammasso e i relativi parametri di resistenza a taglio lungo i giunti.

Per la geometria delle discontinuità si può fare riferimento ai risultati delle stazioni geostrukturali condotte nei siti e riportati nella documentazione geologica.

Nella stessa documentazione vengono forniti i parametri di resistenza dei giunti in termini di JRC (oltre che di resistenza, apertura, riempimento).

Per una valutazione in termini di angolo di attrito si può fare riferimento alla relazione di Barton riportata nella relazione precedente, assumendo un valore medio di  $\phi_b = 30^\circ$ . Le schede di rilievo geomeccanico indicano valori di JRC variabili ma con i più frequenti tra 6 e 10. in questa sede si è fatto riferimento ad un valore medio JRC = 8 ricavando i valori di angolo di attrito per uno stato tensionale corrispondente alle porzioni più superficiali ( $\sigma_n = 100 \text{ kN/m}^2$ ) con resistenze sul giunto di 20 MPa.

Con tali assunzioni si ricava un valore di angolo di attrito sul giunto di  $48^\circ$ . Si specifica che questi sono parametri di resistenza "puramente attritivi" e non considerano la presenza di "ponti" di roccia.

Dai rilievi geomeccanici risulta che la persistenza delle famiglie risulta essere da decimetrica a metrica. A favore di sicurezza si è assunta per le famiglie una persistenza pari a 3m. La famiglia K7 a differenza delle

APPALTATORE:	 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	IB0U	1BEZZ	CL	NV0620003	A	21 di 117

altre presenta una persistenza tra 3 e 10m e a favore di sicurezza nei calcoli si è considerata una persistenza pari a 10m.

Di seguito si riportano le famiglie di discontinuità rilevate dal rilievo geomeccanico ST03:

SET	DIPDIR	DIP
K2	280	83
K5	91	65
K7	7	60
K8	205	59
K9	153	41

APPALTATORE:		 		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>			
PROGETTAZIONE:		Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4		COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 22 di 117

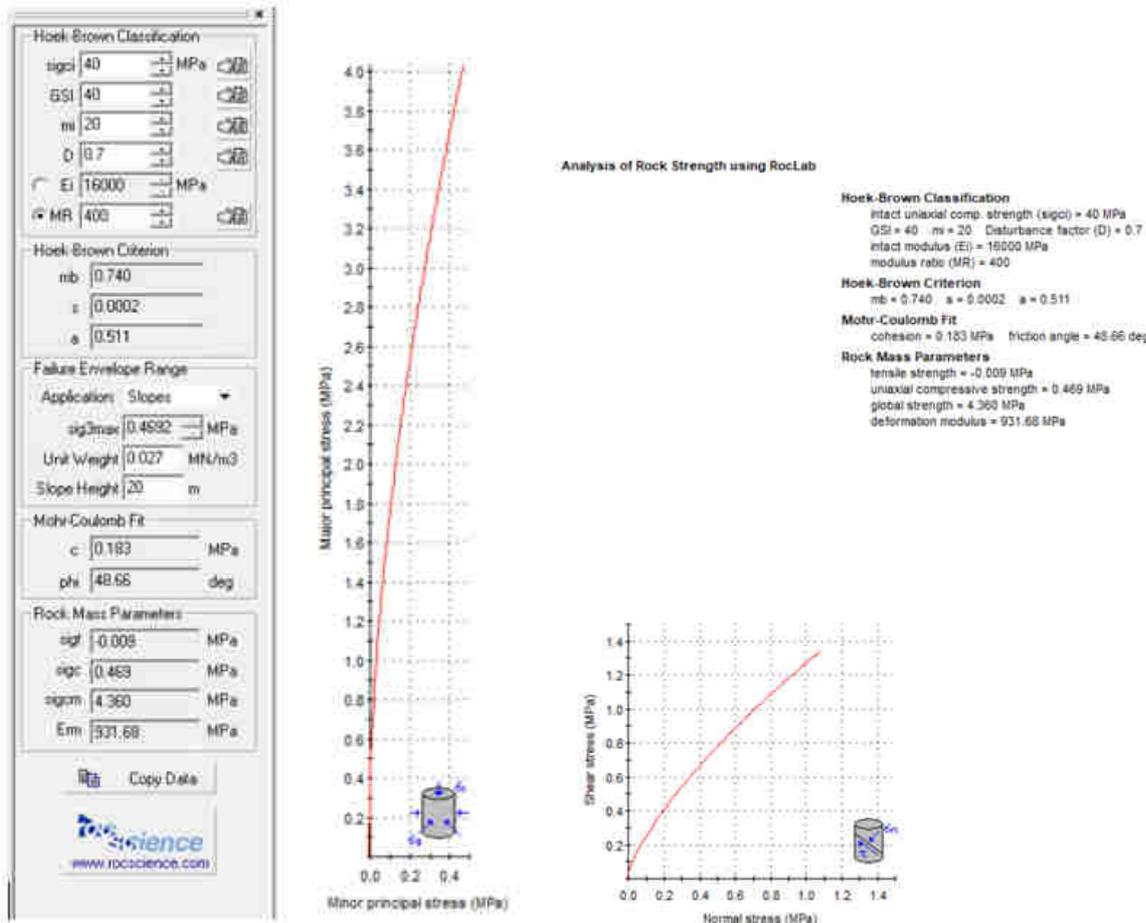


Fig. 8 - SCHEDA DI CALCOLO PER PORFIROIDI (PORZIONE ALTERATA)

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria							
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4		COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 23 di 117

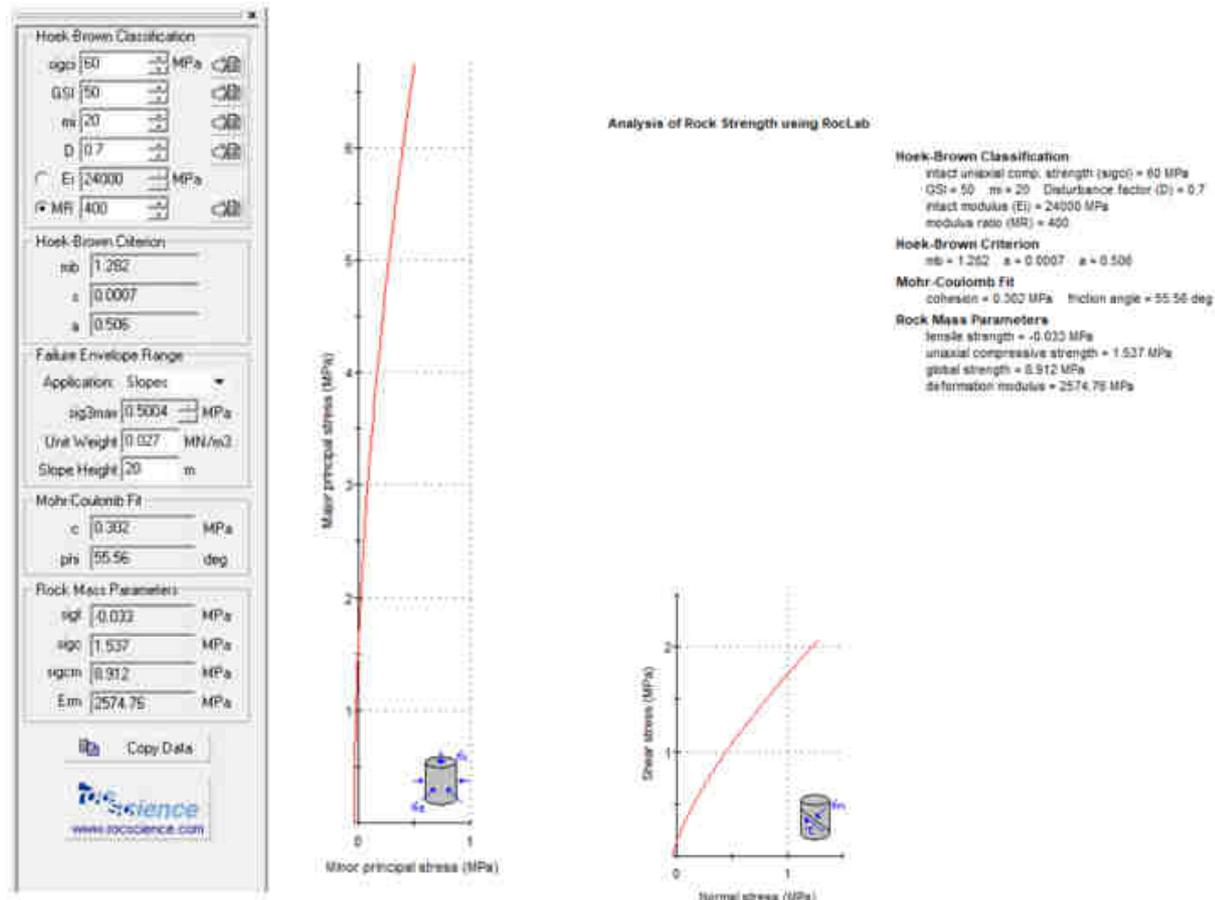


Fig. 9 - SCHEDA DI CALCOLO PER PORFIROIDI (PORZIONE INTEGRA)

## 11. MODELLI GEOTECNICI

Di seguito si riportano il modello geotecnico utilizzato per il calcolo

- **PORFIROIDI PORZIONE ALTERATA**

### PARAMETRI DI AMMASSO

peso di volume                       $\gamma = 27 \text{ kN/m}^3$   
 coesione efficace                     $c' = 180 \text{ kPa}$   
 angolo di attrito                       $\phi = 48^\circ$   
 modulo di deformabilità             $e = 900 \text{ MPa}$

### PARAMETRI DI RESISTENZA LUNGO I GIUNTI

angolo di attrito                       $\phi = 48^\circ$

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI          REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA          LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA          TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IB0U</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>NV0620003</td> <td>A</td> <td>24 di 117</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IB0U	1BEZZ	CL	NV0620003	A	24 di 117
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IB0U	1BEZZ	CL	NV0620003	A	24 di 117								

- **PORFIROIDI**

PARAMETRI DI AMMASSO

peso di volume  $\gamma = 27 \text{ kN/m}^3$   
 coesione efficace  $c' = 300 \text{ kPa}$   
 angolo di attrito  $\phi = 55^\circ$   
 modulo di deformabilità  $E = 2.500 \text{ MPa}$

PARAMETRI DI RESISTENZA LUNGO I GIUNTI

angolo di attrito  $\phi = 48^\circ$

APPALTATORE:	 		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>			
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 25 di 117

## >10.0 m PORFIROIDI PORZIONE INTEGRA

### PARAMETRI DI AMMASSO

peso di volume	$\gamma = 27 \text{ kN/m}^3$
coesione efficace	$c' = 300 \text{ kPa}$
angolo di attrito	$\varphi = 55^\circ$
modulo di deformabilità	$e = 2.500 \text{ MPa}$

### PARAMETRI DI RESISTENZA LUNGO I GIUNTI

angolo di attrito	$\varphi = 48^\circ$
-------------------	----------------------

## 12. CRITERI DI VERIFICA DELLE OPERE

Le verifiche sono state condotte in accordo con le prescrizioni e le indicazioni del D.M. 14/01/2008 e della Circolare 2/02/2009 n.7 C.S.LL.PP.

### 12.1 ANALISI DI STABILITÀ DEI VERSANTI E DEGLI SCAVI IN ROCCIA

La possibilità che si manifestino fenomeni di instabilità in versanti rocciosi necessita che le discontinuità presenti isolino dei blocchi finiti e rimovibili e che tali blocchi possano subire movimenti di scivolamento e/o ribaltamento lungo le discontinuità stesse. Le procedure di analisi che possono essere condotte per definire la propensione di un versante roccioso al distacco ed alla mobilitazione di blocchi prevedono quindi una prima fase di analisi cinematica del fenomeno ed una seconda fase di verifiche di stabilità.

Le analisi cinematiche studiano la possibilità geometrica di moto di un blocco senza tener conto delle forze che ne determinerebbero il movimento. Attraverso, quindi, un'analisi comparata della giacitura dei sistemi di discontinuità presenti nell'ammasso e dell'orientazione del versante, permettono di identificare i movimenti che possono manifestarsi (cinematismi possibili) e distinguerli da quelli che non si possono manifestare (cinematismi impossibili). A seconda, quindi, delle caratteristiche geometriche si possono individuare possibili movimenti blocchi identificabili come:

- Scivolamento planare
- Scivolamento tridimensionale (o a cuneo)
- Ribaltamento a blocchi
- Ribaltamento flessionale.

Nella figura seguente vengono rappresentati i meccanismi di rottura sopra elencati.

APPALTATORE: <b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>26 di 117</b>

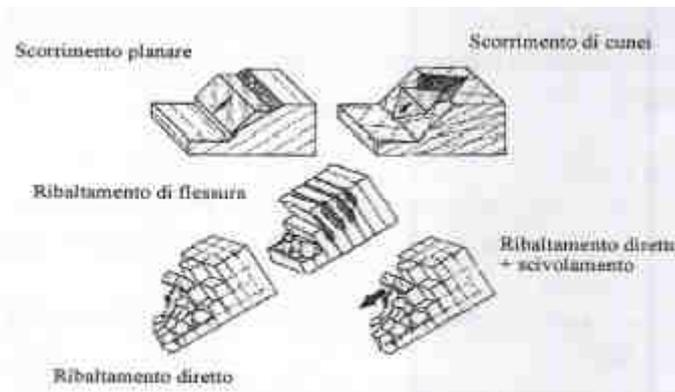


Fig. 10 - Meccanismi di rottura di versanti in roccia

Le analisi cinematiche sono state eseguite applicando il test di Markland che consiste nell'utilizzo di un reticolo stereografico su cui vengono rappresentati il fronte, le famiglie di discontinuità ed i relativi poli. L'analisi comparata delle orientazioni dei piani rilevati consente di definire cinematismi possibili e quelli non verificabili.

Individuati i possibili cinematismi e per ciascuno di essi è possibile quindi analizzare le condizioni di stabilità considerando le forze che provocherebbero la mobilitazione del blocco. Le verifiche di stabilità vengono quindi condotte applicando, per ciascun cinematismo individuato come possibile, il metodo dell'equilibrio limite (LEM) considerando, quindi, le componenti delle forze in gioco che tendono a mobilitare il blocco e quelle resistenti che si oppongono a tale mobilitazione. Il risultato di tali analisi è espresso attraverso un fattore di sicurezza che quantifica la propensione alla mobilitazione del possibile cinematismo.

Nel seguito, quindi, le condizioni di stabilità del versante e degli scavi sono esaminate facendo ricorso a due tipologie differenti di analisi:

- Una prima verifica grafica di tipo qualitativa a identificare le possibili tipologie di movimento ed i possibili cinematismi che possono instaurare condizioni di instabilità;
- Una verifica analitica sulle condizioni critiche per definire gli eventuali deficit e dimensionare gli eventuali interventi necessari.

## 12.2 ANALISI CINEMATICHE DEI BLOCCHI

La stabilità dei blocchi secondo cui è suddiviso l'ammasso roccioso è controllata essenzialmente dalle proprietà geometriche e geomeccaniche delle discontinuità. Con il termine "analisi cinematica" si intende l'analisi del comportamento di blocchi di roccia sotto il proprio peso e con resistenza allo scorrimento puramente attrittiva sulle superfici di discontinuità. Le assunzioni di base per l'analisi cinematica sono, infatti:

- L'ammasso roccioso è suddiviso in blocchi da discontinuità piane e infinitamente persistenti;
- La resistenza al taglio lungo i piani di discontinuità è puramente attrittiva;
- Il sistema di blocchi è soggetto alla sola forza peso.

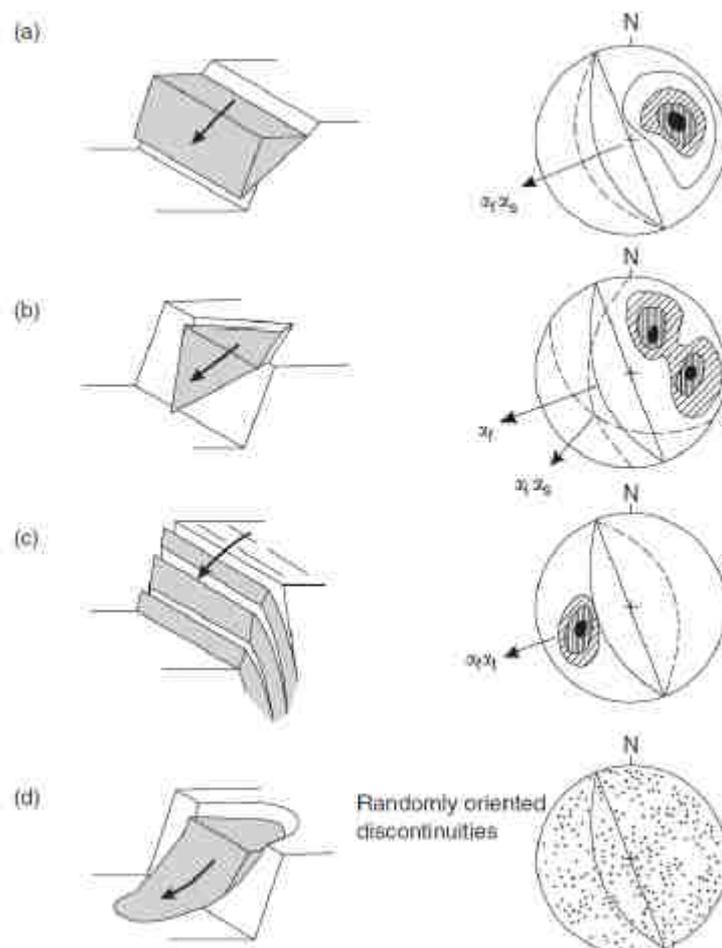
APPALTATORE: <b>webuild</b>   <b>Implenia</b>		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria							
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>		COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>27 di 117</b>

La verifica di stabilità dei versanti in roccia e dei fronti di scavo viene effettuata sulla base dei risultati ottenuti dai rilievi geo-strutturali. Le giaciture dei piani di giunto vengono proiettate sui diagrammi stereografici e verificate in relazione al piano di versante/di scavo. Il software usato per questo tipo di analisi è DIPS v.8.0 della Rocscience.

La seguente figura mostra l'utilizzo delle proiezioni stereografiche per l'analisi grafica della possibilità che si formino solidi instabili lungo le pareti di scavo (Hoek e Bray, 1981). Le superfici che delimitano i blocchi rocciosi potenzialmente instabili sono costituite dai piani di discontinuità e dalla parete rocciosa.

Dai limiti derivati dalle semplificazioni adottate si utilizza tale analisi esclusivamente per valutare l'ammissibilità cinematica del movimento e non per giungere a valutazioni delle condizioni di stabilità le quali vengono affrontate mediante i metodi dell'equilibrio limite.

Mediante la rappresentazione dell'angolo di attrito si possono, ridurre i cinematismi che possono rappresentare una condizione di instabilità. Per valutare con completezza le possibilità di scivolamento o ribaltamento vengono considerate nelle verifiche grafiche tutte le giaciture medie del rilievo geo-meccanico.



APPALTATORE:	<b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	<b>IBOU</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>NV0620003</b>	<b>A</b>	<b>28 di 117</b>

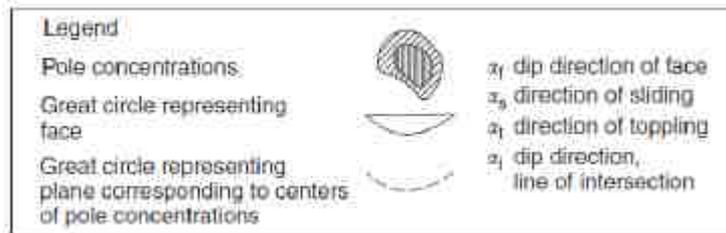


Fig. 11 - Rappresentazione grafica in proiezione stereografica delle condizioni di stabilità

### 12.2.1 Scivolamento planare

Lo scivolamento planare è un fenomeno di instabilità che si manifesta con lo slittamento di blocchi di roccia lungo singoli piani di discontinuità: tale cinematismo è possibile laddove l'ammasso roccioso è interessato da un sistema di discontinuità con direzione di immersione simile a quella del versante ed inclinazione minore.

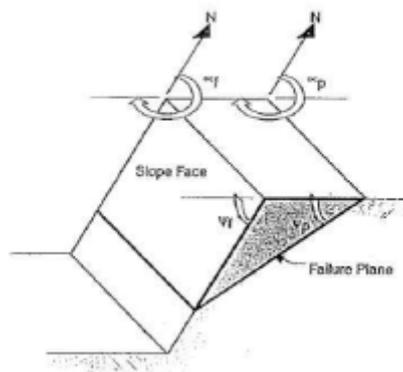


Fig. 12 - meccanismo di scivolamento planare

Le condizioni cinematiche che devono verificarsi affinché si possa manifestare uno scivolamento planare sono quindi riassunte come segue:

- il potenziale piano di scivolamento deve emergere sul fronte di scavo a sul versante;
- la direzione di immersione del piano di discontinuità ( $\alpha_D$ ) deve risultare poco differente da quella del piano del fronte ( $\alpha_F$ ):

$$\alpha_D = \alpha_F \pm 20^\circ$$

- l'inclinazione del piano di discontinuità ( $\psi_D$ ) deve essere superiore a quella del fronte ( $\psi_F$ ):

$$\psi_D > \psi_F$$

- l'inclinazione del piano di discontinuità deve essere tale da raggiungere la resistenza offerta dalla discontinuità.

APPALTATORE: <b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IB0U</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>29 di 117</b>

Volendo rappresentare i vincoli geometrici attraverso una rappresentazione stereografica dei piani di discontinuità e del fronte di scavo e possibile rifarsi a quanto illustrato nella seguente figura. Data la direzione di immersione (dip direction) e l'inclinazione (dip) del fronte e l'angolo di resistenza del piano di discontinuità si delimita un'area (avente un'ampiezza angolare di  $\pm 20^\circ$  rispetto alla dip direction del fronte) entro la quale cadono i poli dei piani lungo i quali potenzialmente può manifestarsi scivolamento planare. Se i piani di discontinuità hanno poli (rette normali al piano) che cadono all'esterno di tale regione il cinematismo non è possibile.

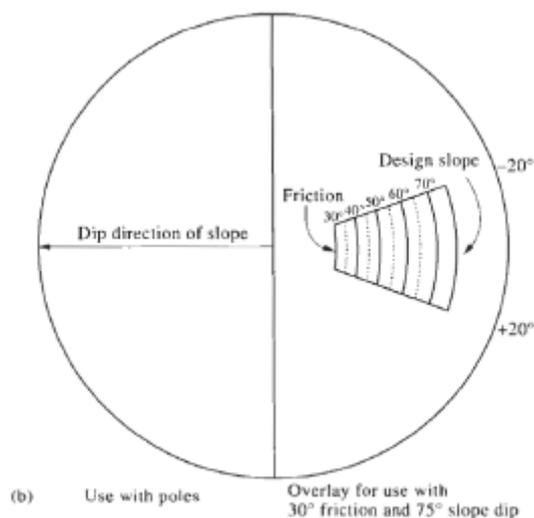


Fig. 13 - Identificazione del cinetismo di scivolamento planare attraverso le proiezioni stereografiche (da Hudson e Harrison, 1997)

### 12.2.2 Scivolamento a cuneo

Lo scivolamento tridimensionale, o a cuneo, si manifesta con lo slittamento di blocchi di roccia lungo l'intersezione di due piani di discontinuità: tale cinetismo è possibile laddove l'ammasso roccioso è interessato da almeno due sistemi che si intersecano lungo rette aventi direzione di immersione simile a quella del versante ed inclinazione minore.

APPALTATORE: <b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IB0U</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>30 di 117</b>

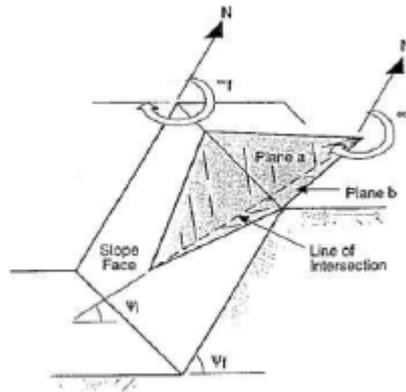


Fig. 14 - Meccanismo di scivolamento a cuneo

Le condizioni cinematiche che devono verificarsi affinché si possa manifestare uno scivolamento a cuneo sono quindi riassunte come segue:

- la retta di intersezione dei due piani di discontinuità associati al potenziale cuneo instabile deve emergere sul fronte di scavo a sul versante;
- l'inclinazione della retta d'intersezione dei due piani di discontinuità ( $\psi_D$ ) deve essere superiore a quella del fronte ( $\psi_F$ )

$$\psi_D < \psi_F$$

- l'inclinazione della retta d'intersezione dei due piani di discontinuità deve essere tale che la resistenza offerta lungo le due discontinuità sia raggiunta.

Definendo i vincoli geometrici attraverso una rappresentazione stereografica dei piani di discontinuità (nonchè della loro di intersezione) e del fronte di scavo è possibile rifarsi a quanto illustrato nella figura seguente. Data la direzione di immersione (dip direction) e l'inclinazione (dip) del fronte e l'angolo di resistenza dei piani di discontinuità si delimita un'area (evidenziata in grigio in figura) entro la quale, affinché il cinematismo analizzato sia possibile deve cadere la retta di intersezione dei due piani di discontinuità.

APPALTATORE:	<b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>31 di 117</b>

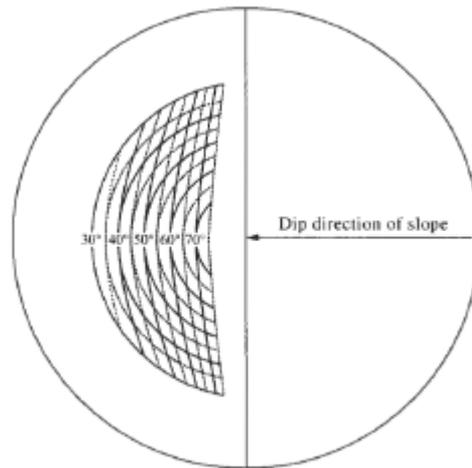


Fig. 15 - Identificazione del cinematismo di scivolamento tridimensionale attraverso le proiezioni stereografiche (da Hudson e Harrison, 1997)

### 12.2.3 Ribaltamento

Il ribaltamento, invece, è un fenomeno di instabilità che si manifesta con la rotazione rigida (ribaltamento diretto o a blocchi) ovvero l'inflessione verso valle (ribaltamento flessionale) di blocchi o lastre di roccia delimitati da giunti sub-paralleli al fronte, immergenti verso monte ovvero sub-verticali.

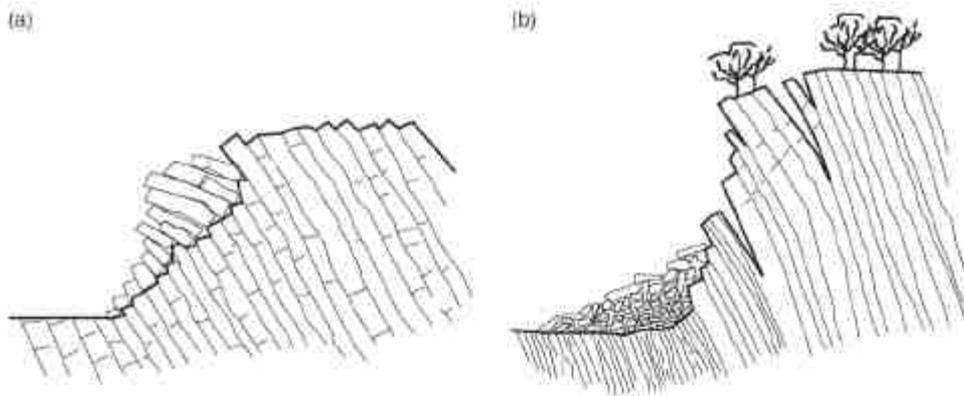


Fig. 16 - Ribaltamento diretto o a blocchi (A) e ribaltamento flessionale (B)

#### Ribaltamento diretto

Il ribaltamento a blocchi si può manifestare qualora l'ammasso roccioso sia interessato da due sistemi di discontinuità: uno, sub-verticale, che immerge verso l'ammasso roccioso (reggipoggio), che consente la formazione di elementi colonnari, ed uno emergente dall'ammasso (franapoggio), che origina la superficie basale del ribaltamento. Un terzo sistema di discontinuità, sub-verticale e con direzione di immersione pressochè perpendicolare a quella del fronte deve essere presente in modo da liberare il blocco anche lateralmente. I blocchi, sulla sommità, tendono a ribaltare ruotando attorno ad un punto fisso mentre alla base, essendo più tozzi, tendono a scivolare.

APPALTATORE:	<b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandataria:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	<b>IBOU</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>NV0620003</b>	<b>A</b>	<b>32 di 117</b>

Le condizioni cinematiche che devono verificarsi affinché si possa manifestare un ribaltamento a blocchi sono

quindi riassunte come segue:

- devono esserci due sistemi di discontinuità i cui piani rappresentativi hanno una retta di intersezione che immerge nel versante;
- esiste anche un sistema di discontinuità che forma la base dei blocchi ribaltabili ed il cinematismo è più probabile qualora la direzione di immersione del piano di base ( $\alpha_B$ ) risulti poco differente da quella del piano del fronte ( $\alpha_F$ ) (a meno che il versante non sia estremamente pendente per il quale la condizione può essere allargata)

$$\alpha_D = \alpha_F \pm 20^\circ$$

- l'inclinazione della retta d'intersezione dei due piani di discontinuità ( $\psi_R$ ) deve essere superiore a quella del fronte ( $\psi_F$ ).

Definendo attraverso una rappresentazione stereografica tali vincoli geometrici è possibile rifarsi a quanto illustrato nella figura seguente. A tal fine è necessario considerare sia i poli dei piani che potenzialmente possono rappresentare il piano di base (che ha come limite minore il valore  $0^\circ$  e come limite superiore l'angolo d'attrito  $\phi$  ovvero l'inclinazione del versante  $\psi_F$ ), sia le rette di intersezione tra piani che devono ricadere nella lunetta colorata di grigio.

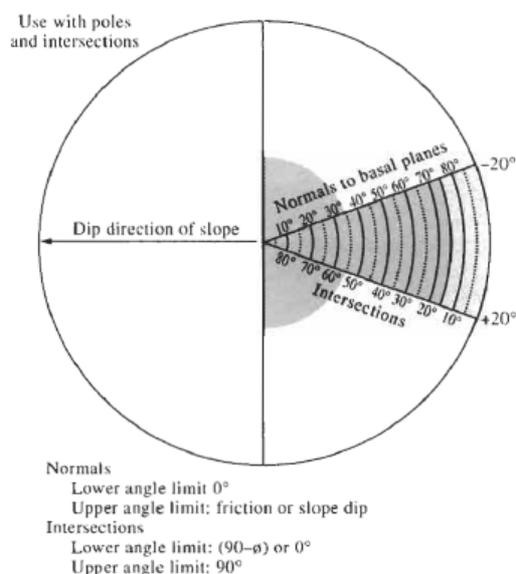


Fig. 17 - Identificazione del cinematismo di ribaltamento a blocchi attraverso le proiezioni stereografiche (da Hudson e Harrison, 1997)

## Ribaltamento flessionale

APPALTATORE:	<b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandataria:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	<b>IBOU</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>NV0620003</b>	<b>A</b>	<b>33 di 117</b>

Il ribaltamento flessionale è caratteristico di un ammasso roccioso interessato da un sistema di discontinuità subverticale immergente verso il versante (reggipoggio): gli strati vengono liberati al piede e hanno una rigidità flessionale modesta; essi si comportano come mensole incastrate.

Le condizioni cinematiche che devono verificarsi affinché si possa manifestare un ribaltamento flessionale sono quindi riassunte come segue:

- devono esserci un sistema di discontinuità molto pendente ed immergente verso il pendio in modo da generare un interpiano di scorrimento fra le lastre che si costituiscono:

$$\varphi + (90^\circ + \psi_F) < \psi_S < 90^\circ$$

- la direzione di immersione del piano di scivolamento ( $\alpha_P$ ) dovrebbe risulti poco differente da quella del piano del fronte ( $\alpha_F$ ) ma con direzione opposta:

$$\alpha_P \pm 180^\circ = (\alpha_F \pm 20^\circ)$$

Definendo attraverso una rappresentazione stereografica tali vincoli geometrici è possibile rifarsi a quanto illustrato nella figura seguente.

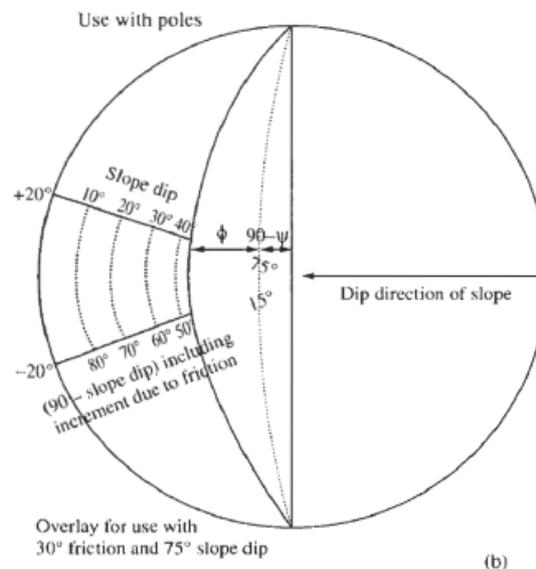


Fig. 18 - Identificazione del cinematismo di ribaltamento flessionale attraverso le proiezioni stereografiche ( da Hudson e Harrison, 1997)

### 12.3 ANALISI DI STABILITÀ CON I METODI DELL'EQUILIBRIO LIMITE

La stabilità del versante nei confronti dei cinematismi individuati viene nel seguito analizzata schematizzando l'ammasso come un mezzo discontinuo ed applicando il metodo dell'equilibrio limite.

Tale metodo presuppone che la roccia sia idealizzata come un materiale perfettamente rigido, che le superfici di rottura possibili siano coincidenti con le superfici di discontinuità esistenti e che esse offrano

APPALTATORE:	 		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>			
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 34 di 117

solamente resistenza nei confronti di sollecitazioni a taglio. Per quanto riguarda le forze di massa esse sono passanti per il baricentro del blocco potenzialmente instabile. Si considera, inoltre, che la roccia sia impermeabile ed il flusso, e le conseguenti sottospinte idrauliche, siano concentrate lungo il piano di scivolamento.

Il metodo dell'equilibrio limite individua, come indice del grado di stabilità del versante, un fattore di sicurezza  $F_s$ , dato dal rapporto tra la resistenza al taglio offerta e la resistenza al taglio mobilitata. Valori di  $F_s$  pari all'unità individuano condizioni di equilibrio limite, valori superiori all'unità condizioni di stabilità e valori inferiori, condizioni di instabilità.

Nel seguito sono illustrati nel dettaglio gli sviluppi analitici del metodo dell'equilibrio limite applicato per i quattro cinematismi analizzati.

### 12.3.1 Scivolamento planare

La stabilità di un volume di roccia lungo un piano di discontinuità viene definita attraverso il calcolo del fattore di sicurezza dato dal rapporto tra la resistenza massima offerta dal piano di scivolamento (calcolata considerando il criterio di Mohr-Coulomb) e quella mobilitata. Lo schema geometrico di riferimento è quello riportato nella figura seguente.

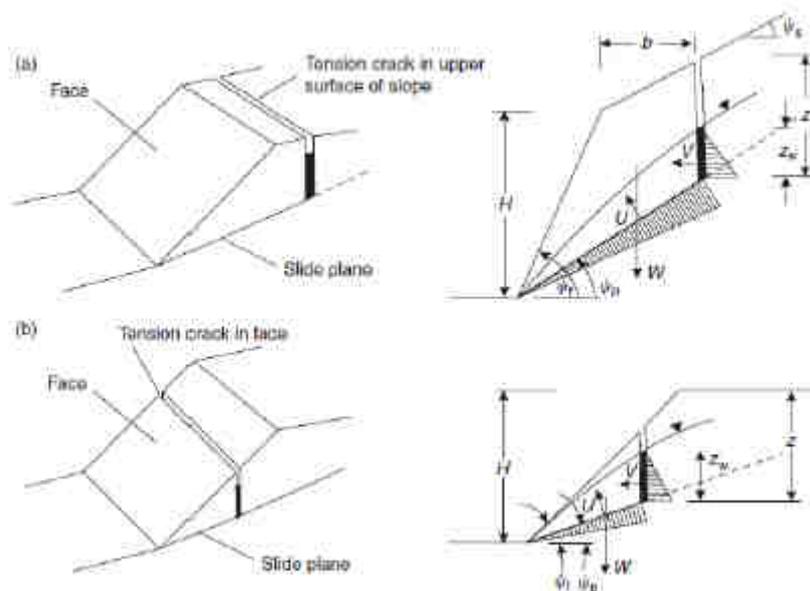


Fig. 19 - Condizioni geometriche per il calcolo del coefficiente di sicurezza nel caso di scivolamento planare

L'espressione analitica si determina considerando semplicemente le componenti delle forze applicate al blocco potenzialmente instabile nelle direzioni del piano di scivolamento ed in quella ad esso normale. Le forze di massa agenti sono: peso proprio del blocco, spinta idrostatica dell'acqua eventualmente presente nella discontinuità (lungo cui si deve ipotizzare nota la distribuzione delle pressioni idrostatiche). La resistenza a taglio della discontinuità, espressa attraverso il criterio di Mohr-Coulomb, è caratterizzata

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 – OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
TITOLO 4	IB0U	1BEZZ	CL	NV0620003	A	35 di 117

dall'angolo di resistenza al taglio  $\varphi$  e dalla coesione  $c$ , per tener conto degli eventuali ponti di roccia presenti.

Sotto le condizioni precedentemente espresse il fattore di sicurezza allo scivolamento planare è espresso come:

$$F_s = \frac{c \frac{(H - z)}{\sin\psi_p} + (W \cos\psi_p - U - V \sin\psi_p) \operatorname{tg}\varphi}{W \sin\psi_p + V \cos\psi_p}$$

dove  $c$  e  $\varphi$  rappresentano i parametri di resistenza della discontinuità,  $H$  l'altezza del versante,  $z$  l'altezza dell'eventuale piano di trazione a monte (tension crack),  $\psi_p$  l'inclinazione del piano di scivolamento,  $W$  il peso del blocco instabile,  $U$  e  $V$  le sottospinte idrauliche lungo il piano di scivolamento e il tension crack, rispettivamente.

Nel caso in cui non si consideri il tension crack e si ipotizzi l'assenza di acqua, il fattore di sicurezza  $F_s$ , risultante, nel caso di assenza di acqua lungo le discontinuità, è espresso dalla

$$F_s = \frac{\frac{cH}{\sin\psi_p} + W \cos\alpha_t \operatorname{tg}\varphi}{W \sin\alpha}$$

### 12.3.2 Scivolamento tridimensionale a cuneo

Nel caso di scivolamento tridimensionale, lo schema geometrico considerato è quello riportato nella figura seguente. Tale schema si riferisce ad un approccio semplificato che considera uno scivolamento simultaneo lungo entrambi i piani di discontinuità, aventi i medesimi valori di resistenza (angolo d'attrito  $\varphi$ ) in assenza di sottospinte idrauliche.

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.		Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO		
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4		COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A FOGLIO. 36 di 117

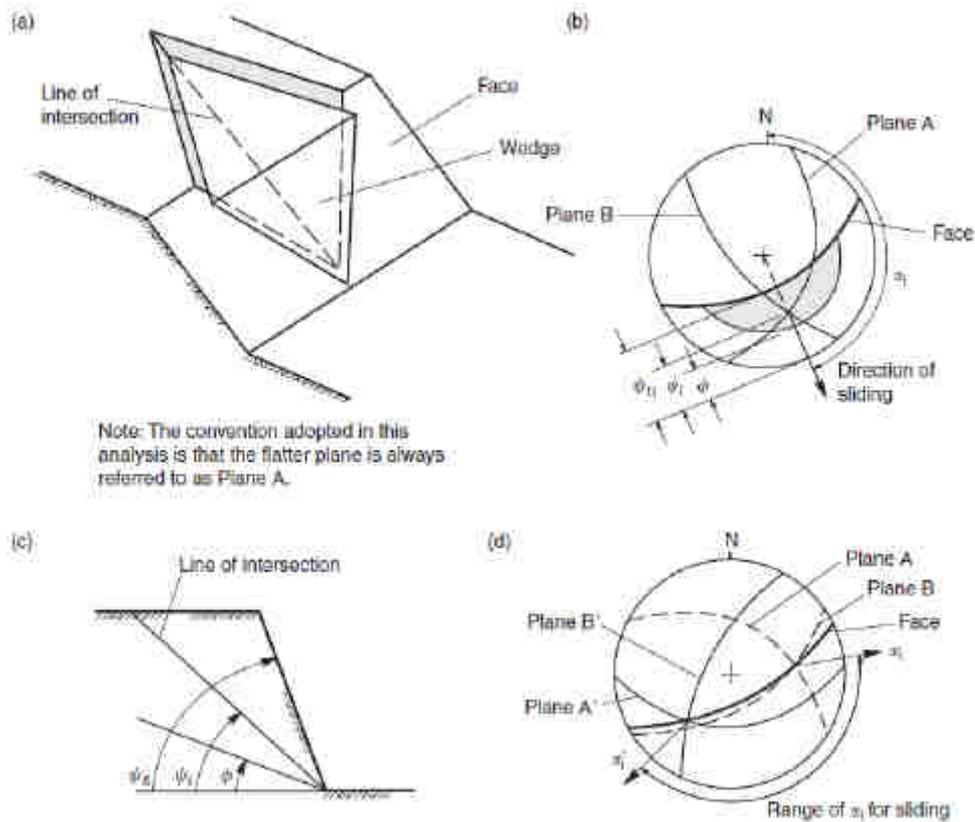


Fig. 20 - Condizioni geometriche per il calcolo del coefficiente di sicurezza nel caso di scivolamento a cuneo

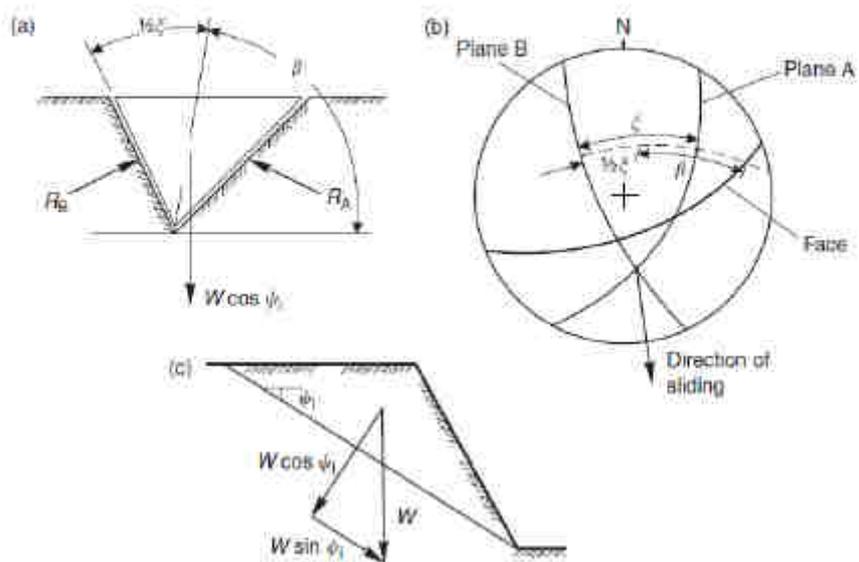


Fig. 21 - Sistema di forze agenti sul cuneo

APPALTATORE:	 		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>			
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 37 di 117

Sotto queste ipotesi ed assumendo che la direzione di scivolamento sia parallela alla linea di intersezione dei due piani di discontinuità, il fattore di sicurezza è espresso dalla relazione seguente:

$$F_S = \frac{(R_A + R_B) \operatorname{tg} \varphi}{W \sin \psi_R}$$

dove  $\varphi$  è l'angolo di resistenza dei due piani di discontinuità,  $\psi_R$  è l'inclinazione della loro retta di intersezione,  $W$  è il peso del cuneo mobilitabile,  $R_A$  e  $R_B$  sono le reazioni normali ai piani A e B, i cui valori vengono ricavati scrivendo le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale sul piano ortogonale alla direzione della linea di intersezione:

$$\begin{cases} R_A \sin\left(\beta - \frac{1}{2}\delta\right) = R_B \sin\left(\beta + \frac{1}{2}\delta\right) \\ R_A \cos\left(\beta - \frac{1}{2}\delta\right) - R_B \cos\left(\beta + \frac{1}{2}\delta\right) = W \cos \psi_R \end{cases}$$

Esplicitando e sommando, si ottiene:

$$R_A + R_B = \frac{W \cos \psi_R \sin \beta}{\sin\left(\frac{1}{2}\delta\right)}$$

Pertanto, il fattore di sicurezza diventa:

$$F_S = \frac{\sin \beta}{\sin\left(\frac{1}{2}\delta\right)} \operatorname{tg} \varphi$$

in cui  $\delta$  è l'angolo tra i due piani di discontinuità,  $\beta$  l'angolo tra la bisettrice dell'angolo tra i due piani e l'orizzontale.

Nel caso in cui si voglia considerare la presenza delle sottospinte idrauliche, di differenti valori di resistenza lungo i due piani di discontinuità o nel caso in cui il cuneo sia individuato da più piani, come illustrato nella figura seguente, si ricorre a formulazioni più complesse come quelle proposte da Hoek e Bray (1981) ed implementate nel codice di calcolo SWEDGE della Rocscience.

Questo software consente di valutare la stabilità dei cunei in roccia tridimensionali generati dall'intersezione tra due piani di discontinuità, il fronte di roccia, il piano campagna ed un eventuale giunto di trazione. La figura seguente mostra la geometria tipica di un cuneo sottoposto a potenziale scivolamento in cui:

- 1,2 = i piani di discontinuità che si intersecano;
- 3 = superficie del piano campagna;
- 4 = fronte del versante;
- 5 = giunto di trazione;
- H1 = altezza del versante;
- L = distanza del giunto di trazione dalla cresta del versante, misurata lungo la traccia del piano di discontinuità 1.

APPALTATORE:	<b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandataria:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	IBOU	1BEZZ	CL	NV0620003	A	38 di 117

Il tipo di cinematismo studiato dal software è di scivolamento traslazionale lungo la direzione della retta di intersezione tra i due piani di discontinuità, trascurando gli eventuali movimenti rotazionali e di ribaltamento.

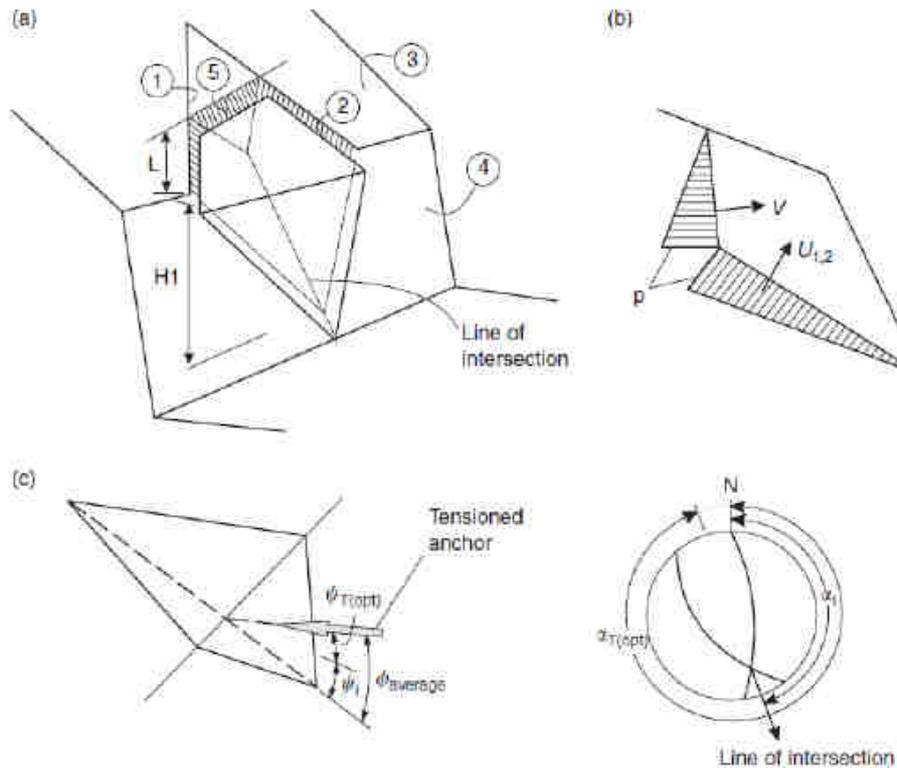


Fig. 22 - Geometria tipica di un cuneo tridimensionale in presenza di giunto di trazione

Per la modellazione è necessario introdurre all'interno del modello di calcolo i seguenti parametri:

- Geometrici (giacitura in termini di DIP e DIP DIRECTION del fronte di scavo, dei due dei piani di discontinuità e se è presente del giunto di trazione; l'altezza del versante; l'inclinazione del piano campagna, misurato rispetto la direzione orizzontale; la persistenza dei piani di discontinuità);
- Idrici (se è presente il livello di falda e la conducibilità idraulica del mezzo);
- Sismici (il coefficiente sismico orizzontale);
- Fisici e meccanici (il peso specifico della roccia intatta; l'angolo di attrito lungo il piano di discontinuità; la coesione, lungo i piani di discontinuità).

Una volta inseriti i dati di input, il software calcola il fattore di sicurezza del cuneo.

### 12.3.3 Ribaltamento diretto

Per quanto riguarda il ribaltamento diretto è necessario considerare due condizioni differenti: il ribaltamento di un singolo blocco ovvero il fenomeno di ribaltamento a blocchi che può interessare l'intero versante.

APPALTATORE: <b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 39 di 117

Nel primo caso la possibilità che avvenga il fenomeno di ribaltamento si riduce ad una valutazione di condizioni puramente geometriche che sono descritte dalla carta di stabilità (Hoek e Baray, 1977) riportata in figura sottostante: il fenomeno di ribaltamento dipende dalla snellezza del blocco (rapporto  $\Delta x/y$ ) e dall'angolo di inclinazione del piano di base  $\psi_p$ .

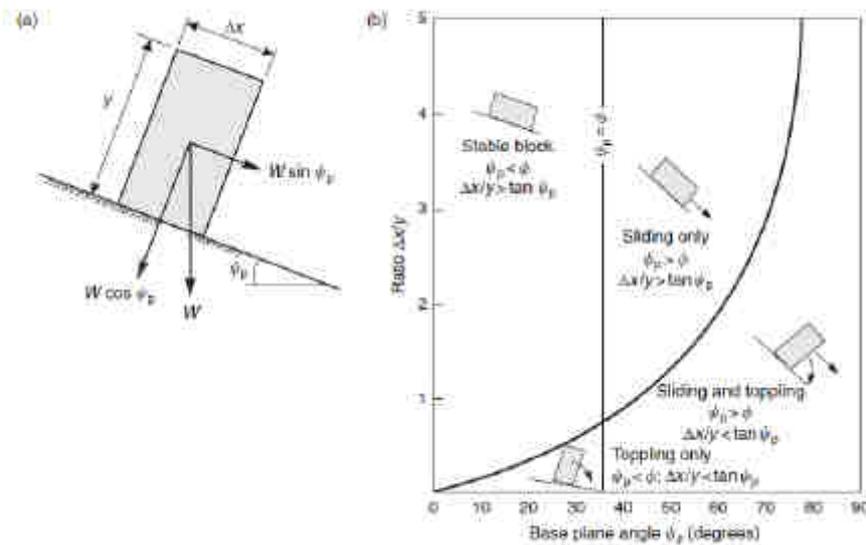


Fig. 23 - condizioni di scorrimento e ribaltamento di un blocco su un piano inclinato

Per quanto riguarda, invece, il ribaltamento a blocchi che interessa serie di blocchi interagenti poggianti su base a gradini è necessario applicare un metodo che converge per approssimazioni successive e che permette di determinare le condizioni di stabilità dei blocchi analizzati (Hoek e Bray, 1977).

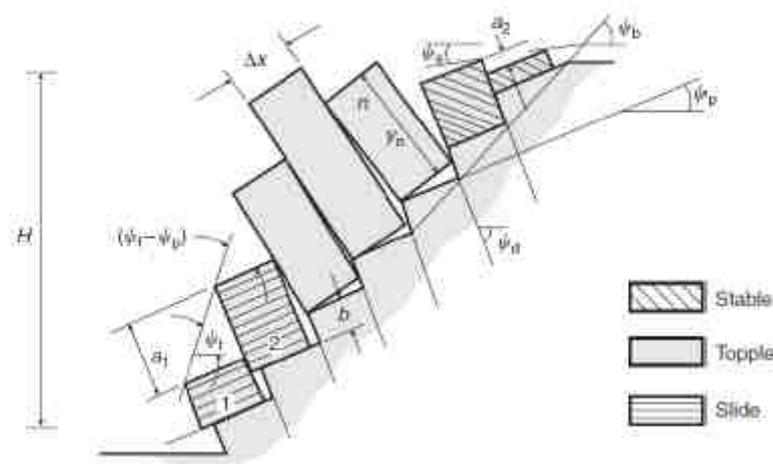


Fig. 24 - Analisi di equilibrio limite al ribaltamento di serie di blocchi su una base a gradini (da Goodman e Bray, 1976)

APPALTATORE: <b>webuild</b>   <b>Implenia</b>		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.		<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO		
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4		COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A FOGLIO. 40 di 117

### 12.3.4 Ribaltamento flessurale

Le condizioni di stabilità di un versante interessato da fenomeni di ribaltamento flessionale di lastre dotate di una

certa deformabilità, sono valutate in via preliminare seguendo il metodo proposto da Goodman e Bray (1976) che evidenziano come condizione cinematica necessaria lo scorrimento lungo i giunti che delimitano le lastre. A questo fine è possibile determinare un fattore di sicurezza  $F_s$  definito sull'ipotesi delle condizioni geometriche, illustrate in figura:

- inclinazione media del versante, rispetto all'orizzontale, pari a  $\psi_F$ ;
- inclinazione dei giunti, rispetto all'orizzontale, pari a  $\psi_d$ ;
- tensione principale massima  $\sigma_1$  parallela all'immersione media del versante.

Sotto tali ipotesi lo scorrimento relativo tra le lastre può avvenire solo se la componente della tensione principale parallela alla direzione dei giunti ( $\tau_n$ ) supera la resistenza al taglio ( $\tau_R$ ) del giunto stesso. Trascurando la componente coesiva di resistenza (offerta ad esempio da ponti di roccia), il fattore di sicurezza può essere espresso come rapporto tra la resistenza al taglio delle discontinuità ( $\tau_R$ ) e la componente tangenziale delle tensioni ( $\tau_n$ ).

Il fattore di sicurezza  $F_S$  può quindi essere calcolato con la seguente formula in cui  $\phi$  rappresenta l'angolo d'attrito della discontinuità,  $\psi_F$  e  $\psi_d$  sono gli angoli di inclinazione del versante e del piano di discontinuità.

$$F_S = \frac{tg\phi}{tg(\psi_F + \psi_d - 90)}$$

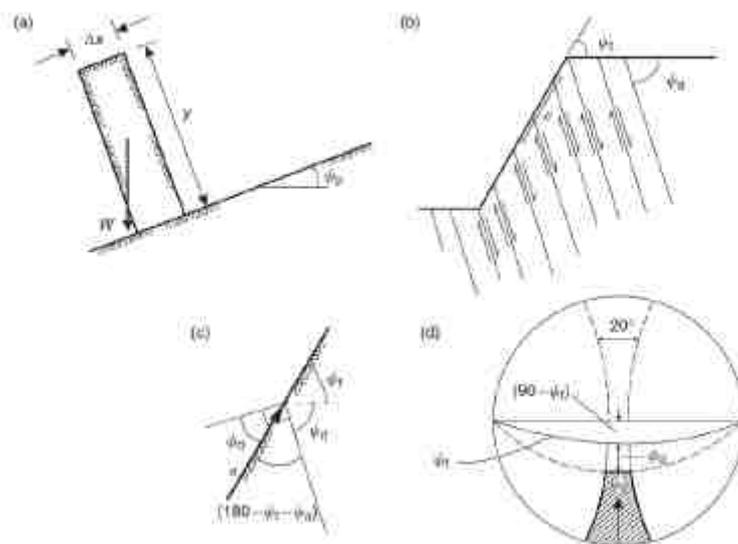


Fig. 25 - Verifica preliminare al ribaltamento flessionale (da Goodman e Bray, 1976)

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 – OPERE CIVILI	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
TITOLO 4	IBOU	1BEZZ	CL	NV0620003	A	41 di 117

### 12.3.5 Verifiche allo SLU

Secondo le NTC 2008, la verifica di stabilità del versante deve essere condotta allo SLU nella condizione A2+M2+R2. Pertanto, il coefficiente di sicurezza nei confronti dei diversi cinematismi analizzati deve essere valutato utilizzando i parametri caratteristici dei giunti opportunamente ridotti attraverso i coefficienti parziali ed applicando il coefficiente  $\gamma_R$  sulle resistenze:

$$E_d \leq R_d$$

- $\tan \phi_{d,M2} = \tan \phi_k / 1.25$ ;
- $c_{d,M2} = c_d / 1.25$ ;
- $\gamma_R = 1.4$  in ragione delle incertezze sia sulle effettive geometrie del blocco sia sugli eventuali effetti di rinforzo.

La condizione sismica viene affrontata secondo il metodo pseudostatico determinando la forza inerziale con i coefficienti  $k_h$  e  $k_v$  come da normativa.

$F_h = k_h * W_d$  e  $F_v = k_v * W_d$ , con  $K_h$  e  $K_v$  = coefficienti sismici orizzontali e verticali

$$K_h = \beta_s * a_{max} / g$$

$$K_v = \pm 0.5 * k_h$$

Con:

- $\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (da tabella di normativa NTC 08)
- $a_{max} = S_s * S_T * a_g$  (valori definiti nel capitolo dedicato alla caratterizzazione sismica dei terreni).

### 12.4RAFFORZAMENTI CORTICALI

Il dimensionamento dell'intervento è stato effettuato in accordo con la metodologia semplificata proposta da Grimod e Giacchetti (2014) basata sulle seguenti ipotesi:

- 1) la rete è modellata come una struttura deformabile e flessibile che non è in grado di trasmettere alcuno sforzo alla roccia ed entra in funzione soltanto se il carico dovuto all'accumulo di materiale disgregato inizia a premere su di essa;
- 2) la rete è sollecitata prevalentemente in direzione longitudinale;
- 3) considerato che i dissesti superficiali hanno spessori generalmente non superiori a circa 1.0 m, l'approccio considera uno schema di pendio indefinito inclinato di un angolo  $\beta$  e caratterizzato da uno spessore costante  $s$  dello strato instabile;
- 4) il calcolo considera l'equilibrio limite dei blocchi instabili individuati dalle famiglie di giunti, analizzandone la configurazione più critica caratterizzata dal giunto inclinato di un angolo  $\alpha$ .

#### 12.4.1 Dimensionamento degli ancoraggi

Il dimensionamento delle chiodature dipende dalle dimensioni dei blocchi da sostenere. E' necessario verificare sia che tali masse non superino con il loro peso la resistenza al taglio del chiodo (verifica al taglio

APPALTATORE:	 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	<b>IB0U</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>NV0620003</b>	<b>A</b>	<b>42 di 117</b>

del materiale costituente il chiodo), sia che il tratto di chiodo ancorato ( $L_c$ ) sia tale da impedire lo sfilamento del chiodo stesso (verifica allo sfilamento all'interfaccia elemento di rinforzo-roccia).

Il diametro minimo della barra da utilizzare per contrastare lo sforzo di taglio indotto dal blocco instabile lungo il piano di scorrimento può essere valutato attraverso le seguenti espressioni:

$$A_{eff} = \pi (\phi - 2 t_c)^2 / 4$$

$$\varepsilon = 90 - \beta - \theta_0$$

$$\sigma_{adm} = \sigma_{st} / \gamma_{st}$$

In cui:

$A_{eff}$ : area della sezione della barra in acciaio;

$\phi$ : diametro della barra;

$t_c$ : eventuale spessore di corrosione;

$\varepsilon$ : inclinazione del chiodo rispetto all'orizzontale;

$\beta$ : inclinazione media del pendio;

$\theta_0$ : inclinazione della barra rispetto alla perpendicolare al piano di scorrimento;

$\sigma_{adm}$ : tensione di snervamento di progetto dell'acciaio dell'ancoraggio;

$\sigma_{st}$ : tensione di snervamento dell'acciaio dell'ancoraggio;

$\gamma_{st}$ : coefficiente parziale sull'acciaio;

In accordo con Pellet et al. (1995), Ferrero et al. (1997) e Goodman (1989), il contributo stabilizzante del chiodo R può essere espresso come:

$$R = A_{eff} \sigma_{adm} \sqrt{\frac{1 + tg^{-2}(\varepsilon + \delta)}{\frac{16}{1 + tg^{-2}(\varepsilon + \delta)}} \frac{1}{4}}$$

dove  $\delta$  è la dilatanza lungo il giunto critico calcolata in accordo con il criterio di Barton e Bandis come:

$$\delta = \frac{JRC}{3} \log\left(\frac{JCS}{\sigma_{plan}}\right)$$

In cui

$$JCS = JCS_0 \left(\frac{L_G}{L_0}\right)^{-0.03JRC_0}$$

$$JRC = JRC_0 \left(\frac{L_G}{L_0}\right)^{-0.02JRC_0}$$

dove:

JRC: rugosità del giunto;

APPALTATORE:  		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO				
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 43 di 117

JCS: resistenza a compressione monoassiale del giunto,

$\sigma_{plan}$ : tensione sul piano di scivolamento;

JRC<sub>0</sub>: rugosità del giunto alla scala del campione;

JCS<sub>0</sub>: resistenza a compressione monoassiale del giunto alla scala del campione;

L<sub>0</sub>: lunghezza del giunto alla scala del campione (assunta pari a 0.1 m in assenza di dati);

L<sub>G</sub>: lunghezza del piano di scivolamento (assunta pari alla spaziatura verticale dei chiodi);

Le formule precedenti tengono conto dello scenario peggiore, in quanto considerano la massima dimensione potenziale del blocco che è definita dalla distanza tra i chiodi.

La tensione normale agente sulla superficie media di scorrimento vale:

$$\sigma_{plan} = \frac{W}{i_x i_y} \cos\alpha$$

dove  $i_x$  ed  $i_y$  sono la distanza orizzontale e verticale tra i chiodi e  $W$  è il peso del blocco instabile sostenuto da un solo ancoraggio:

$$W = i_x i_y s \gamma$$

L'equazione dell'equilibrio limite può essere scritta come:

$$W \cdot (\sin\beta - c \cdot \tan\phi) + R \geq W \cdot (\sin\beta + c \cdot \cos\beta)$$

In cui  $\phi$  è l'angolo di attrito residuo del giunto. Tale valore è molto difficile da definire attraverso le indagini in sito, specialmente nel caso di ammasso roccioso alterato superficialmente. Pertanto, per semplificare la procedura di calcolo, gli autori suggeriscono di assumere come valore dell'angolo di attrito residuo del giunto  $45^\circ$ , in modo tale che la  $\tan\phi$  possa essere trascurata ( $\tan\phi = \tan 45^\circ = 1$ ).

Introducendo i coefficienti parziali e i coefficienti sui carichi, l'equazione precedente diventa:

$$W \cdot \sin\beta \cdot (1 - c) / \gamma_{RW} + R \geq W \cdot (\sin\beta + c \cdot \cos\beta) \cdot \gamma_{DW}$$

In cui i due coefficienti valgono rispettivamente:

$$\gamma_{RW} = \gamma_T \cdot \gamma_W \cdot \gamma_B$$

$$\gamma_{DW} = \gamma_{MO} \cdot \gamma_{OL}$$

Nelle espressioni precedenti i tre termini  $\gamma_T$ ,  $\gamma_W$  e  $\gamma_B$  sono i coefficienti parziali che tengono conto delle incertezze connesse alla definizione dello spessore dello strato instabile ( $\gamma_T = 1.20 \div 1.30$ ), del peso dell'unità di volume della roccia ( $\gamma_W = 1.00 \div 1.05$ ) e del comportamento della roccia ( $\gamma_B = 1.00 \div 1.05$ ), mentre i due termini  $\gamma_{MO}$  e  $\gamma_{OL}$  sono i coefficienti parziali sulle azioni che tengono conto rispettivamente delle incertezze sulla morfologia del pendio ( $\gamma_{MO} = 1.10 \div 1.30$ ) e sul possibile carico esterno, come neve o ghiaccio o la vegetazione che cresce sulla scarpata ( $\gamma_{OL} = 1.00 \div 1.20$ ).

La tabella successive fornisce alcune indicazioni in merito alla scelta dei vari coefficienti:

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 44 di 117

Partial Load factor:	Description	Value
γ <sub>1</sub>	If the superficial instability thickness is defined by:	
	- geomechanical survey; - rough/visual estimation:	1.20 1.30
γ <sub>2</sub>	If the rock unit weight is:	
	- homogeneous; - not-homogeneous (i.e. flysh):	1.00 1.05
γ <sub>3</sub>	If the rock:	
	- does not present any anomalous behavior (i.e. compact rock); - is subjected to erosion and/or environmental condition that can create weakness of the rock mass (i.e. weathering rock):	1.00 1.05
γ <sub>4</sub>	If the morphology of the rock is:	
	- regular (the mesh lies in better contact with the slope, thus the rock movement are limited); - rough (the mesh cannot be in adherence with the slope, thus the unstable block can easily move):	1.10 1.30
γ <sub>5</sub>	If there are/are not external loads acting on the system:	
	- not significant loads are applied; - additional external loads are applied (i.e. snow, ice, vegetation, etc.):	1.00 1.20

Tabella 1 - Coefficienti parziali e coefficienti sui carichi

Il coefficiente di sicurezza del chiodo è definito come:

$$FS_{nail} = \frac{FS_{SLP}}{FS_{SLR}} \geq 1.0$$

In cui  $FS_{SLP}$  è la forza stabilizzante totale agente sul sistema e  $FS_{SLR}$  è la forza instabilizzante totale agente sul piano di scorrimento:

$$FS_{SLP} = W \sin \beta \frac{1 - c}{\gamma_{RW}} + R$$

$$FS_{SLP} = W (\sin \beta + c \cos \beta) \gamma_{DW}$$

La seconda parte del dimensionamento del chiodo riguarda la minima lunghezza dell'ancoraggio, che è definita come:

$$L_{tot} = L_S + L_I + L_P$$

dove:

$L_S$ : minima lunghezza della barra nella porzione di roccia stabile;

$L_I$ : minima lunghezza della barra nella porzione di roccia instabile;

$L_P$ : lunghezza della parte plasticizzata dell'ammasso roccioso instabile.

APPALTATORE:	<b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 45 di 117

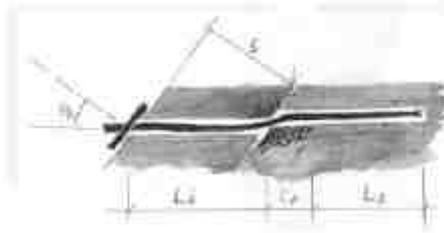


Fig. 26 - Definizione delle lunghezze per il dimensionamento del chiodo

Il primo termine è calcolato con la formula di Bustamante e Doix (1985):

$$L_s = \frac{P}{\pi \phi_{drill} \tau_{lim} / \gamma_{GT}}$$

in cui:

$\phi_{drill}$ : diametro della perforazione;

P: massima forza di trazione agente sull'ancoraggio, definita come il massimo tra la forza trasmessa al chiodo dalla rete ( $P_{mesh}$ ) e quella dovuta all'instabilità del blocco ( $P_{rock}$ );

$\tau_{lim}$ : tensione tangenziale limite all'interfaccia tra la malta e la roccia;

$\gamma_{GT}$ : coefficiente di sicurezza sull'adesione malta-roccia.

$$P = \max\{P_{mesh}; P_{rock}\}$$

$$P_{mesh} = (M_{B_{driv}} - M_{B_{stab}}) \cos(\alpha + \theta_0) i_x$$

$$P_{rock} = (FS_{SLP} + R - FD_{SLP}) \cos(\beta + \theta_0)$$

In cui  $M_{B_{driv}}$  e  $M_{B_{stab}}$  sono rispettivamente le forze instabilizzanti e stabilizzanti agenti sul piano di scorrimento.

La massima lunghezza nella parte instabile  $L_l$  è valutata come:

$$L_l = \frac{S}{\cos \theta_0} \gamma_{DW}$$

La parte plasticizzata è generalmente assunta pari a 10-50 cm a seconda delle caratteristiche dell'ammasso roccioso. I valori suggeriti sono i seguenti: 0.15-0.25 per rocce tenere, 0.25-0.45 per rocce molto tenere 0.25-0.50 per rocce molto fratturate.

APPALTATORE:	 		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>			
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 46 di 117

### 12.4.2 Dimensionamento della rete

La rete deve essere in grado di contenere il distacco di blocchi instabili secondari tra i chiodi. Si ipotizza che le instabilità locali avvengano lungo il giunto critico inclinato di un angolo  $\alpha$ , inferiore all'inclinazione  $\beta$  del versante, e spingano sulla rete con una certa forza  $F$  che può essere scomposta in un'azione tangenziale  $T$  e un'azione normale  $M$  alla rete stessa.

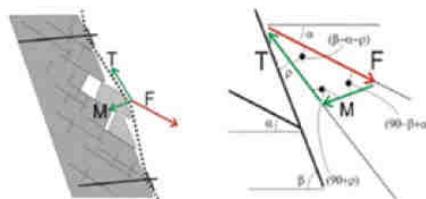


Fig. 27 - Schema delle forze agenti sulla rete

Il massimo volume del blocco di roccia che può distaccarsi tra gli ancoraggi e premere sulla rete si valuta attraverso le seguenti espressioni, in base alle caratteristiche geometriche del blocco (triangolare o trapezoidale) come illustrato nelle figure seguenti:

$$V = V_A + V_B + V_C$$

$$V_A = \frac{1}{2} i_y^2 \operatorname{tg}(\beta - \alpha)$$

per  $\beta > \alpha$  o per  $\beta > \alpha - \tan^{-1}(s / i_y)$

$$V_B = s \left[ i_y - \frac{s}{\operatorname{tg}(\beta - \alpha)} \right]$$

per  $\beta < \alpha - \tan^{-1}(s / i_y)$

$$V_C = \frac{1}{2} s^2 / \operatorname{tg}(\beta - \alpha)$$

per  $\beta < \alpha - \tan^{-1}(s / i_y)$

APPALTATORE:	<b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>47 di 117</b>

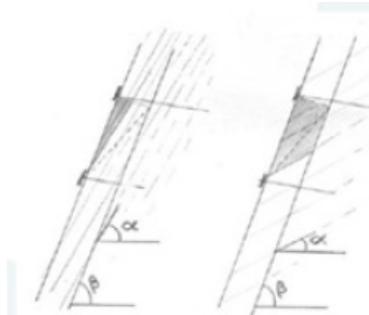


Fig. 28 - forme dei volumi di roccia che si possono muovere tra gli ancoraggi: triangolare (sinistra) e trapezio (destra)



Fig. 29 - Geometria del volume di roccia tra gli ancoraggi

Una volta noto  $V$ , si può calcolare il peso del blocco che può scorrere tra gli ancoraggi  $M_B$  e la massima azione di punzonamento sulla rete  $M$ :

$$M_B = V \gamma$$

$$M = (M_{B_{driv}} - M_{B_{stab}}) \sin(\beta - \alpha) i_x$$

$$M_{B_{driv}} = M_B (\sin \alpha + c \cos \alpha) \gamma_{DW}$$

$$M_{B_{stab}} = M_B \sin \alpha (1 - c) / \gamma_{RW}$$

L'angolo di deformazione della rete rispetto alla superficie di scorrimento vale:

$$\rho_P \cong tg^{-1}(2 Z_{bulg}/i)$$

dove  $Z_{bulg}$  è lo spostamento della rete dovuto all'azione di punzonamento e  $i$  è spaziatura media tra gli ancoraggi ( $i_x \cdot i_y$ )<sup>0.5</sup>.

Allo stato limite ultimo la rete è verificata, se risulta soddisfatta la seguente condizione:

$$FS_{mesh\_ULS} = \frac{T_{adm}}{T} \geq 1.0$$

dove:

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 48 di 117

$T_{adm}$ : resistenza a trazione di progetto della rete pari al rapporto tra la resistenza ultima e un coefficiente parziale  $T_m/\gamma_m$

T: massima trazione esercitata dai blocchi secondari sulla rete.

$$T_{adm} = T_m / \gamma_m$$

$$T = M \sin \beta \quad \text{quando} \quad \left( \frac{M}{i_x \sin (\beta - \alpha - \rho_p)} \right) \geq M \sin \beta$$

$$T = \left( \frac{M}{i_x \sin (\beta - \alpha - \rho_p)} \right) \quad \text{quando} \quad \left( \frac{M}{i_x \sin (\beta - \alpha - \rho_p)} \right) < M \sin \beta$$

### 13. VERIFICA DELLE OPERE DA PK 0+212 A PK 0+336.700

#### 13.1 ANALISI DI STABILITÀ DEI VERSANTI ROCCIOSI

Le analisi hanno come obiettivo la valutazione delle condizioni di stabilità del versante esistente.

Si prevede come intervento di protezione del versante un rafforzamento corticale del versante esistente con rete in aderenza e chiodature;

Per le opere definitive di protezione, l'azione sismica è stata calcolata con  $V_N=75$  anni, da cui derivano i coefficienti per la verifica pseudostatica  $k_h$  e  $k_v$  pari a:

$$k_h = 0.0804 \times 0.20 = 0.0161 \text{ e } k_v = +/- 0.0080$$

##### 13.1.1 Analisi dei possibili cinematismi

Le analisi cinematiche sono state eseguite utilizzando il programma di calcolo DIPs v 8.0, basandosi sui dati delle discontinuità ottenuti dal rilievo ST03.

I risultati sono riassunti nella seguente tabella e nelle seguenti immagini:

Sezione	Cinematismo	Rilievo ST03
17	Scivolamento planare	K7 (60/7)
	Scivolamento a cuneo	K2 (83/280) - K7 (60/7) ; K5 (65/91) - K7 (60/7) ;
	Ribaltamento flessurale	-
	Ribaltamento diretto	K7 (60/7)
20	Scivolamento planare	K7 (60/7)
	Scivolamento a cuneo	K2 (83/280) - K7 (60/7) ; K5 (65/91) - K7 (60/7) ;
	Ribaltamento flessurale	-

APPALTATORE:	<b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>49 di 117</b>

22	Ribaltamento diretto	K7 (60/7)
	Scivolamento planare	K7 (60/7)
	Scivolamento a cuneo	K2 (83/280) - K7 (60/7) ; K5 (65/91) - K7 (60/7) ;
	Ribaltamento flessurale	-
	Ribaltamento diretto	K7 (60/7)

Tabella 2 - Sintesi dei risultati analisi cinematiche per il versante

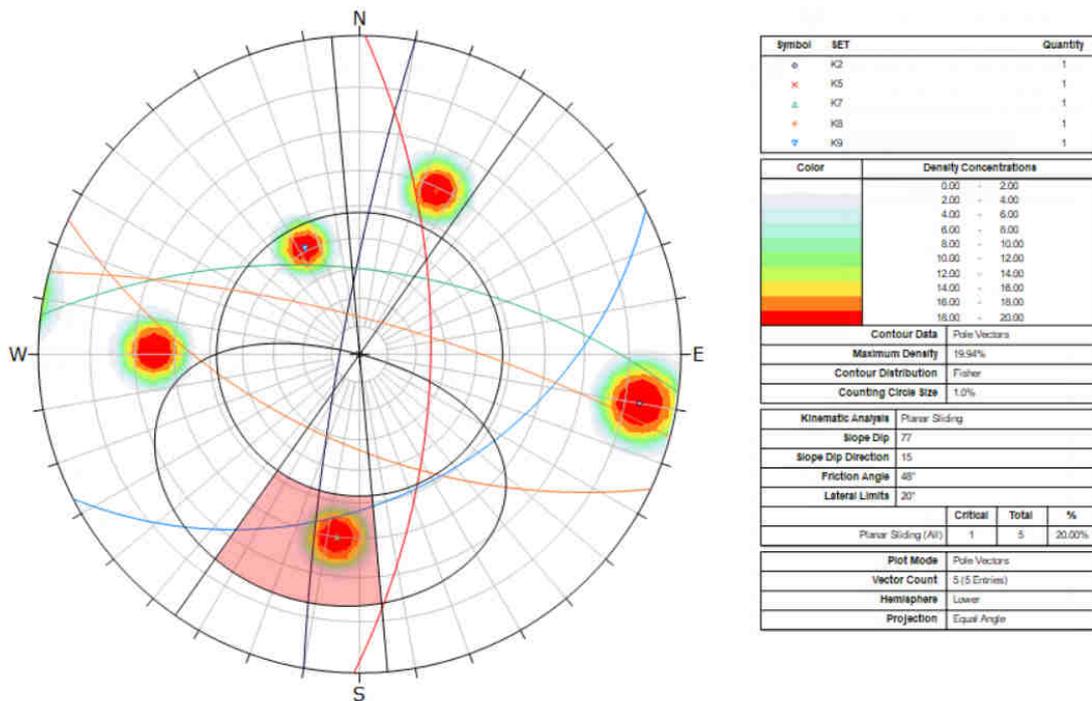


Fig. 30 – Analisi cinematica – scivolamento planare – Sezione 17

APPALTATORE: <b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>50 di 117</b>

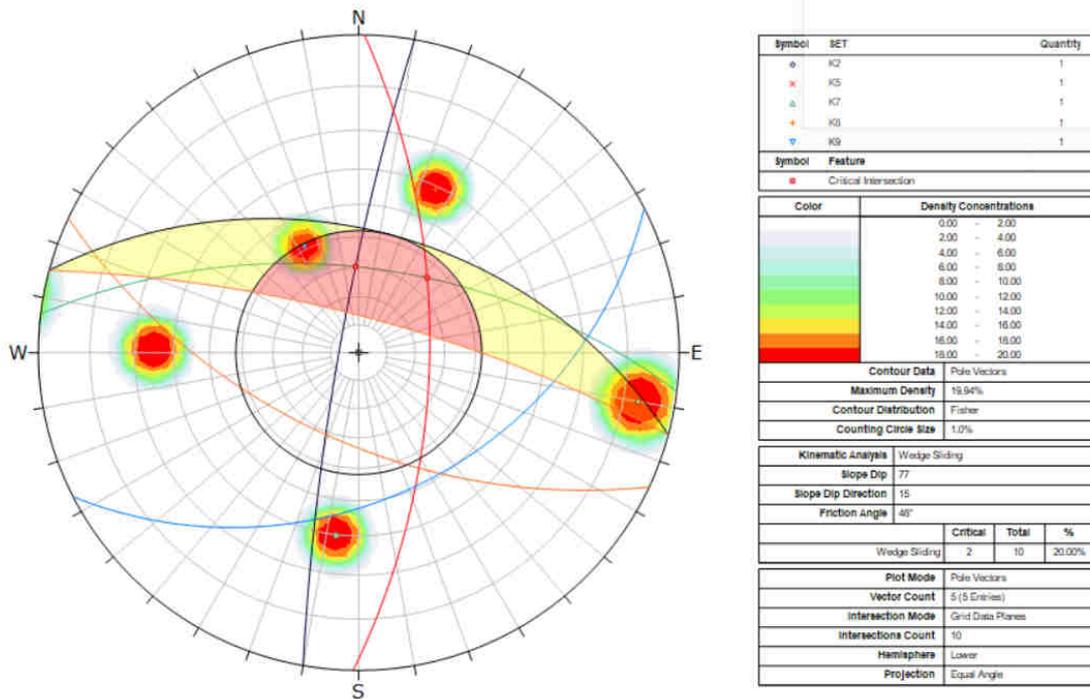


Fig. 31 – Analisi cinematica – scivolamento a cunei – Sezione 17

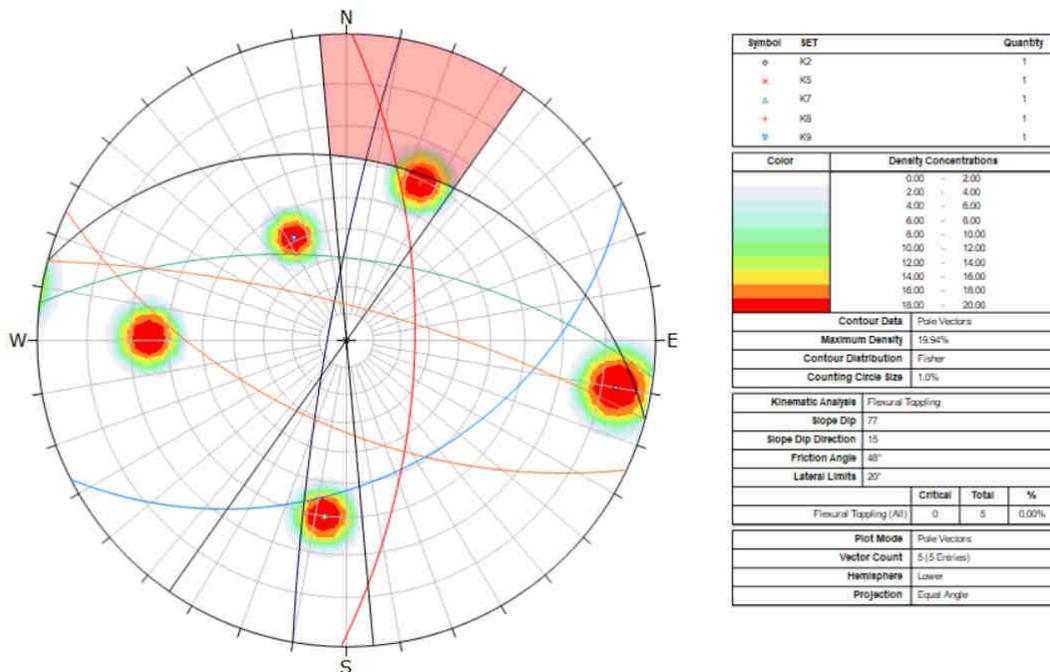


Fig. 32 – Analisi cinematica – ribaltamento flessurale – Sezione 17

APPALTATORE:	<b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	<b>SWS Engineering S.p.A.</b>	Mandanti:	<b>PINI ITALIA</b>	<b>GDP GEOMIN</b>	<b>SIFEL SIST</b>	
			<b>M Ingegneria</b>			
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	<b>IBOU</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>NV0620003</b>	<b>A</b>	<b>51 di 117</b>

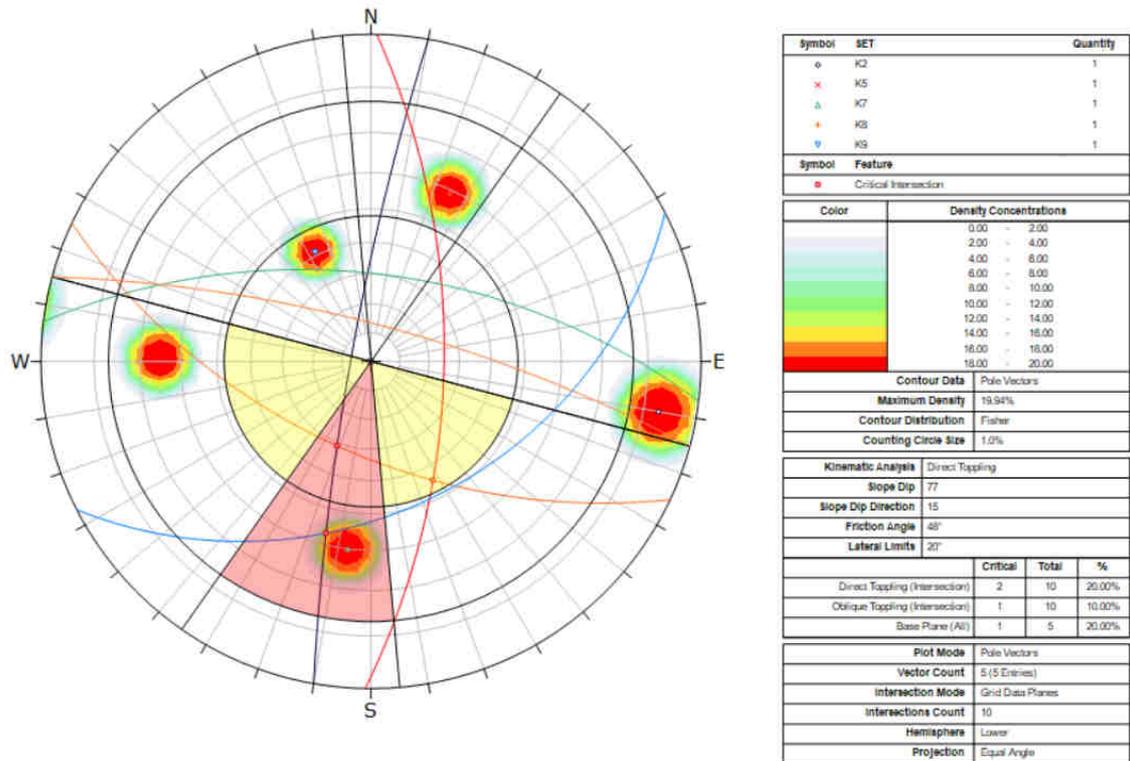


Fig. 33 – Analisi cinematica – ribaltamento diretto – Sezione 17

APPALDATTORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 52 di 117

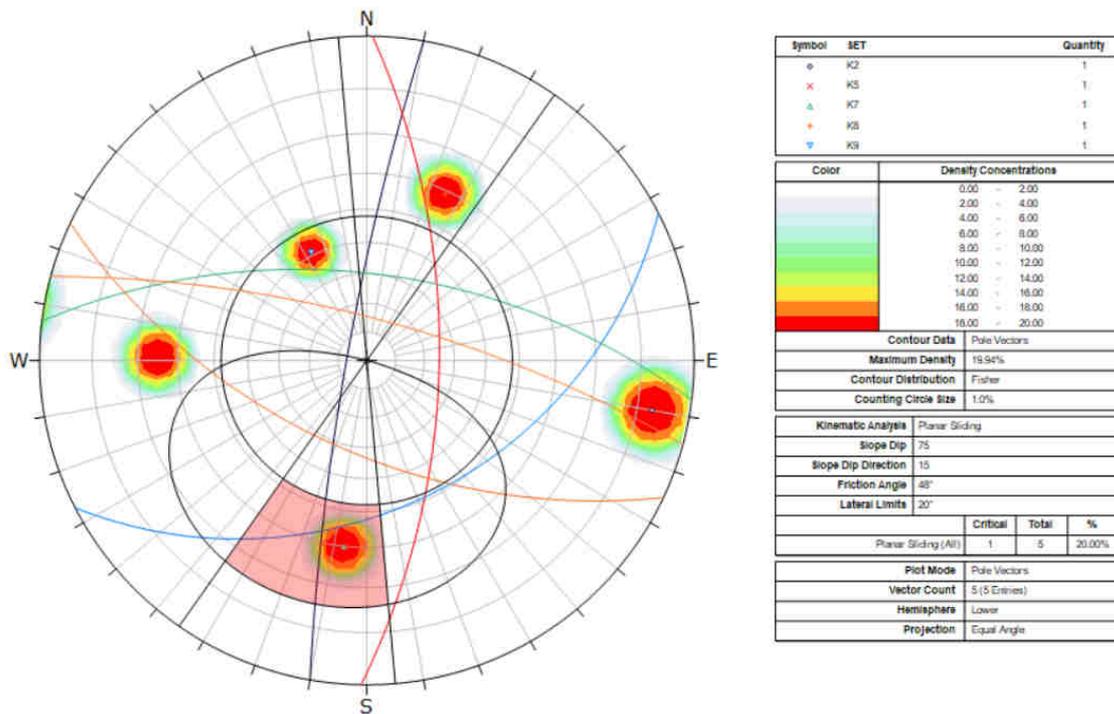


Fig. 34 – Analisi cinematica – scivolamento planare – Sezione 20

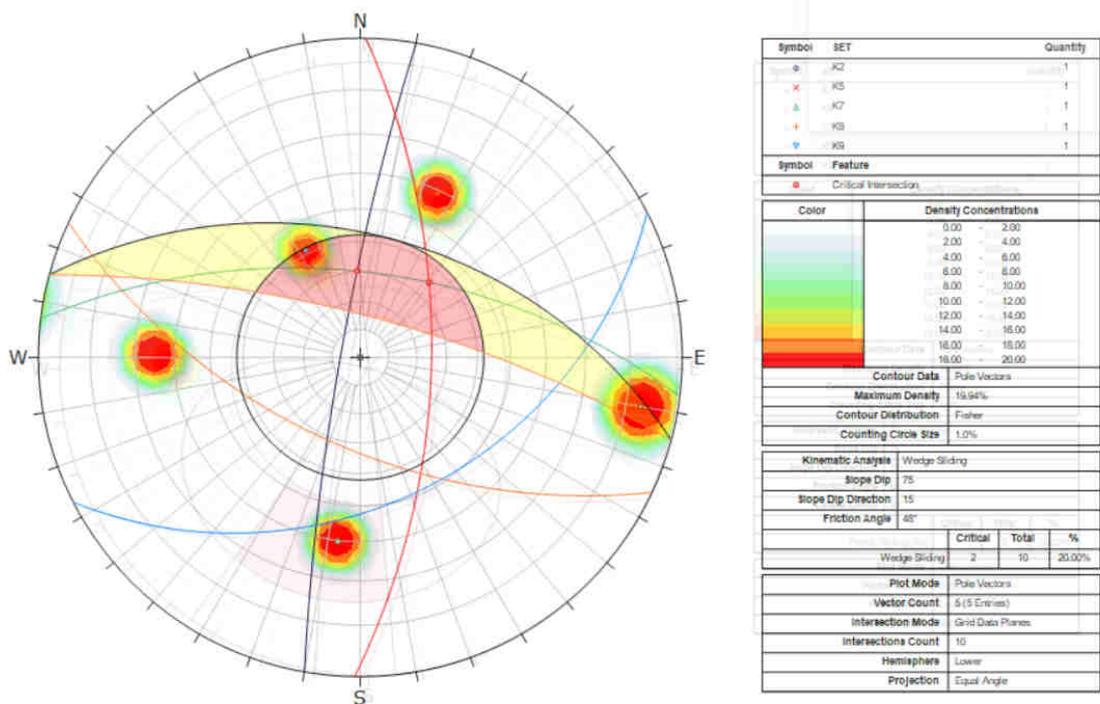


Fig. 35 – Analisi cinematica – scivolamento a cunei – Sezione 20

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandatario: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>53 di 117</b>

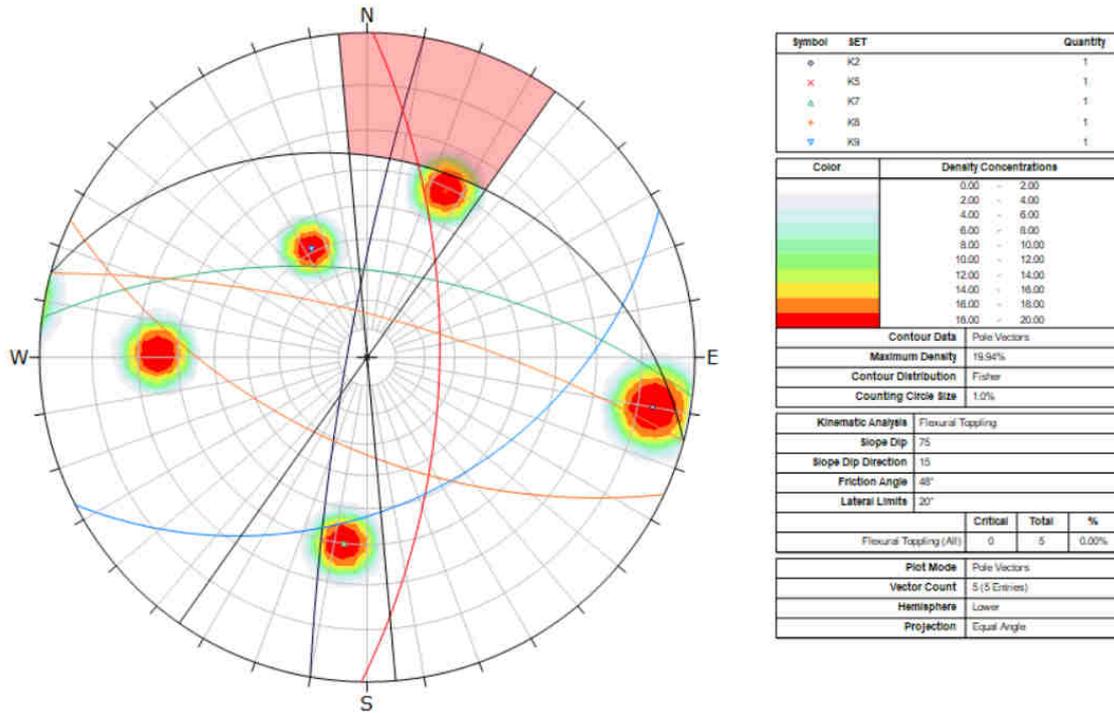


Fig. 36 – Analisi cinematica – ribaltamento flessurale – Sezione 20

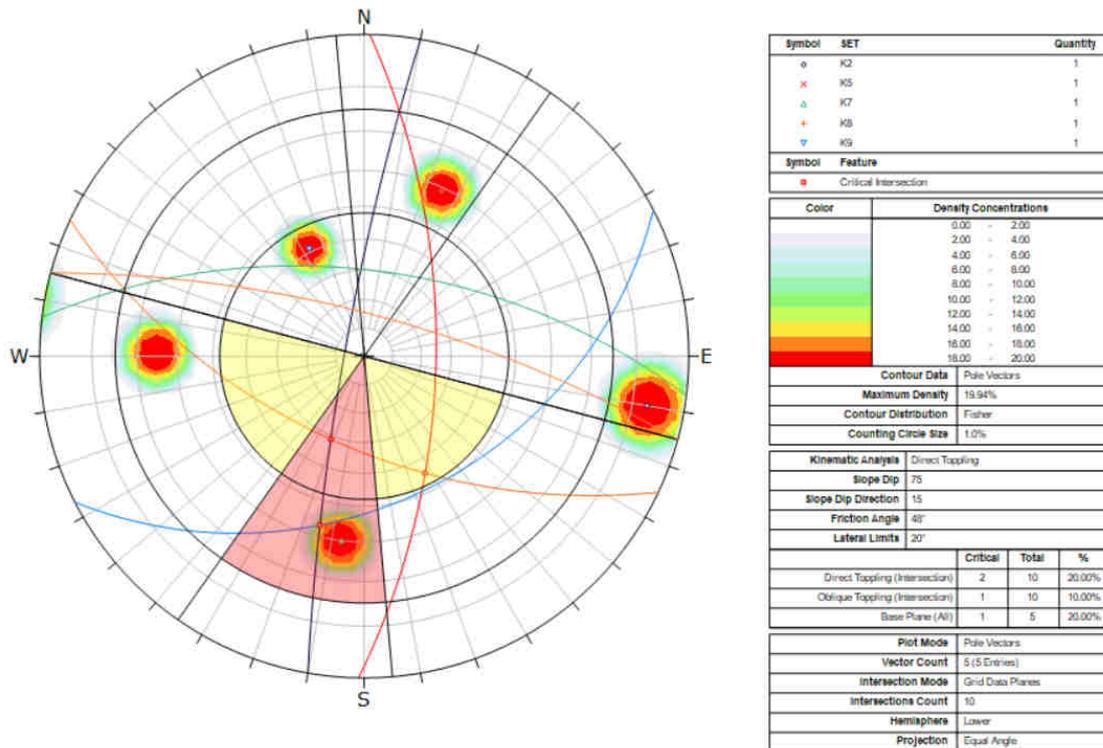
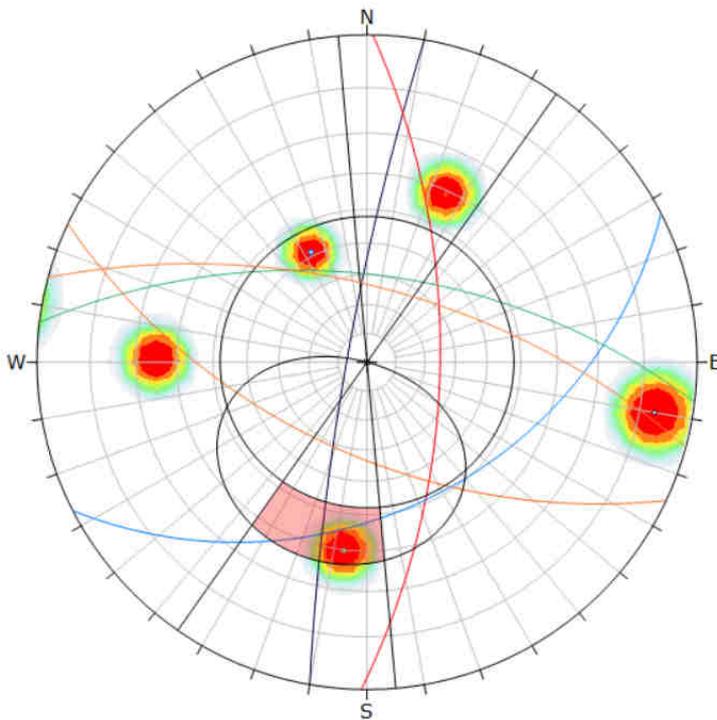


Fig. 37 – Analisi cinematica – ribaltamento diretto – Sezione 20

APPALDATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>		COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>54 di 117</b>



Symbol	SET	Quantity
o	K2	1
x	K5	1
Δ	K7	1
+	K8	1
v	K9	1

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.00
	2.00 - 4.00
	4.00 - 6.00
	6.00 - 8.00
	8.00 - 10.00
	10.00 - 12.00
	12.00 - 14.00
	14.00 - 16.00
	16.00 - 18.00
	18.00 - 20.00

Contour Data	
Maximum Density	19.94%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	
Planar Sliding	
Slope Dip	64
Slope Dip Direction	15
Friction Angle	48°
Lateral Limits	20°

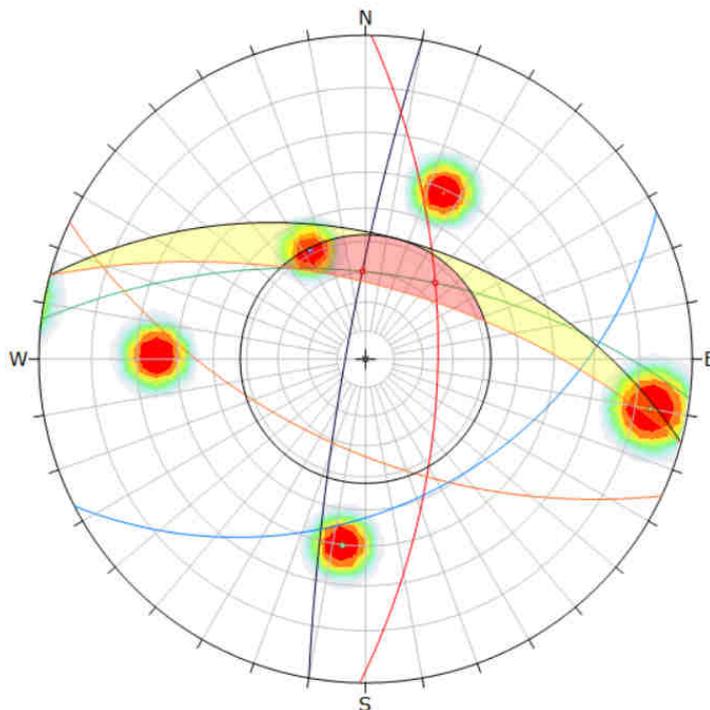
  

	Critical	Total	%
Planar Sliding (A0)	1	5	20.00%

Plot Mode	
Pole Vectors	
Vector Count	5 (5 Entries)
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Fig. 38 – Analisi cinematica – scivolamento planare – Sezione 22



Symbol	SET	Quantity
o	K2	1
x	K5	1
Δ	K7	1
+	K8	1
v	K9	1

Symbol	Feature
+	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.00
	2.00 - 4.00
	4.00 - 6.00
	6.00 - 8.00
	8.00 - 10.00
	10.00 - 12.00
	12.00 - 14.00
	14.00 - 16.00
	16.00 - 18.00
	18.00 - 20.00

Contour Data	
Maximum Density	19.94%
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	
Wedge Sliding	
Slope Dip	64
Slope Dip Direction	15
Friction Angle	48°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	2	10	20.00%

Plot Mode	
Pole Vectors	
Vector Count	5 (5 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	10
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

Fig. 39 – Analisi cinematica – scivolamento a cunei – Sezione 22

APPALTATORE:	<b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	IBOU	1BEZZ	CL	NV0620003	A	55 di 117

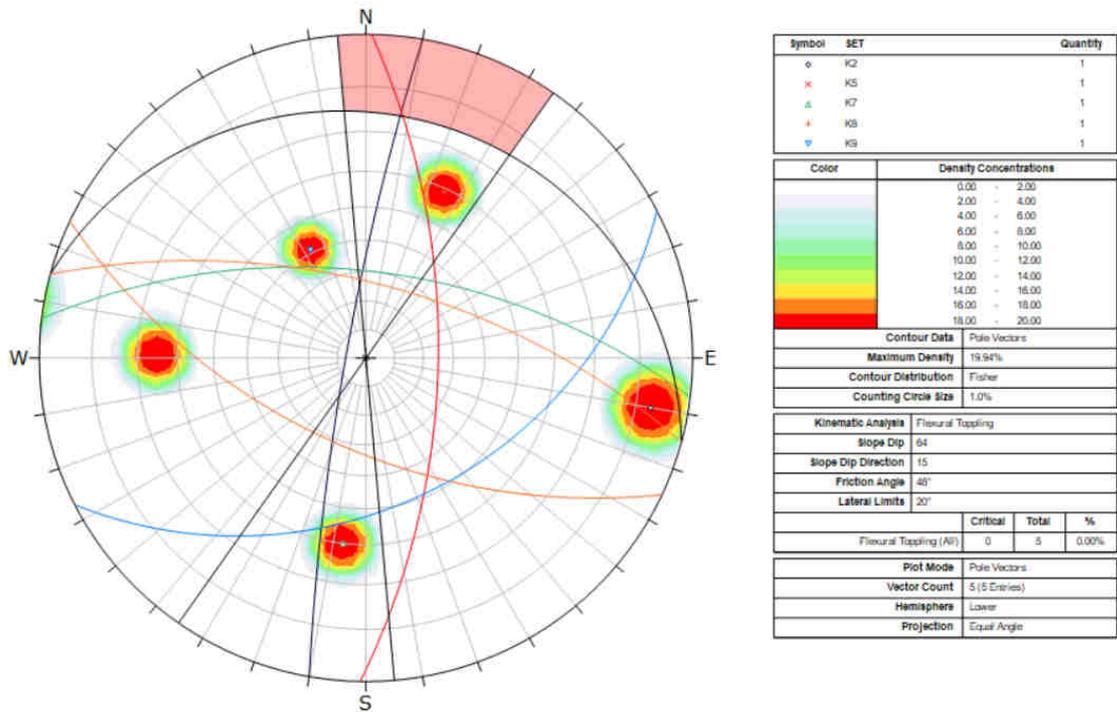


Fig. 40 – Analisi cinematica – ribaltamento flessurale – Sezione 22

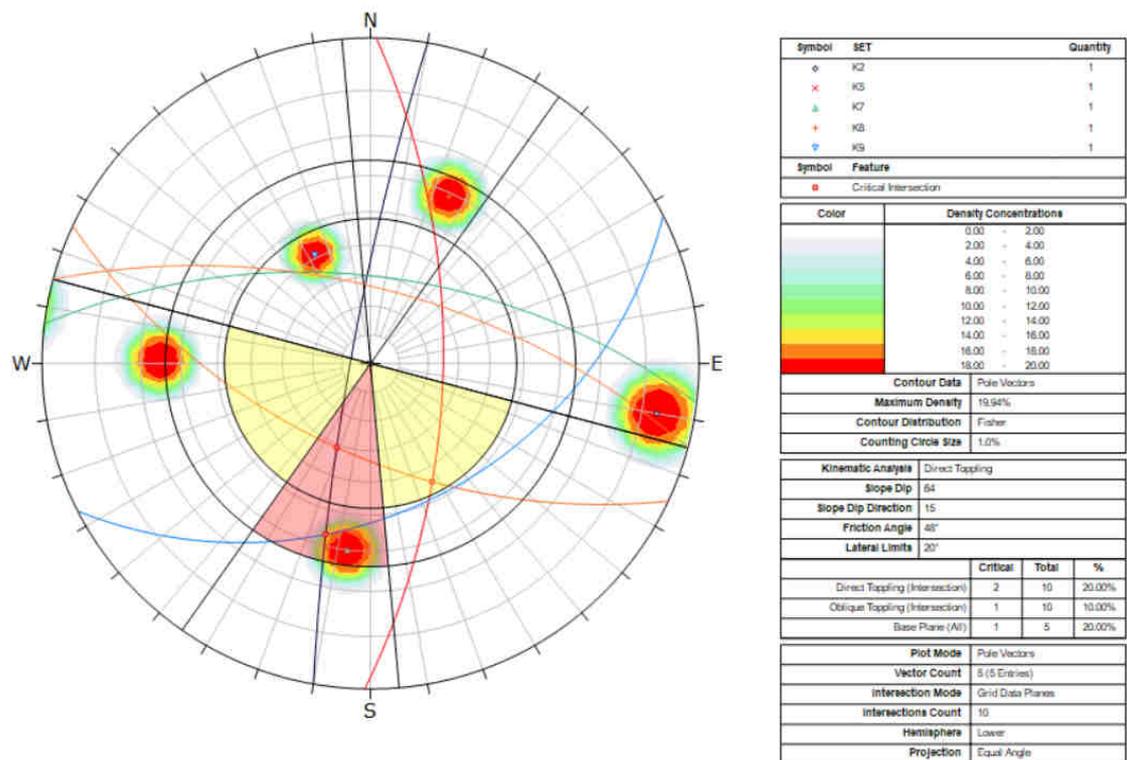


Fig. 41 – Analisi cinematica – ribaltamento diretto – Sezione 22

APPALTATORE:	 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	<b>IB0U</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>NV0620003</b>	<b>A</b>	<b>56 di 117</b>

### 13.1.2 Analisi cinematicismi sezione 17

Nel presente capitolo sono riportate le verifiche di stabilità per la sezione di progetto n. 17. Sulla base delle discontinuità rilevate mediante il rilievo ST03, possono verificarsi i seguenti cinematicismi:

<b>Cinematismo</b>	<b>Rilievo ST03</b>
Scivolamento planare	K7 (60/7)
Scivolamento a cuneo	K2 (83/280) - K7 (60/7) ; K5 (65/91) - K7 (60/7) ;
Ribaltamento flessurale	-
Ribaltamento diretto	K7 (60/7)

#### 13.1.2.1. Verifiche di stabilità

Nella seguente immagine viene riportata la sezione di progetto utilizzata per le analisi di stabilità.

APPALTATORE:	<b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IB0U</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>57 di 117</b>

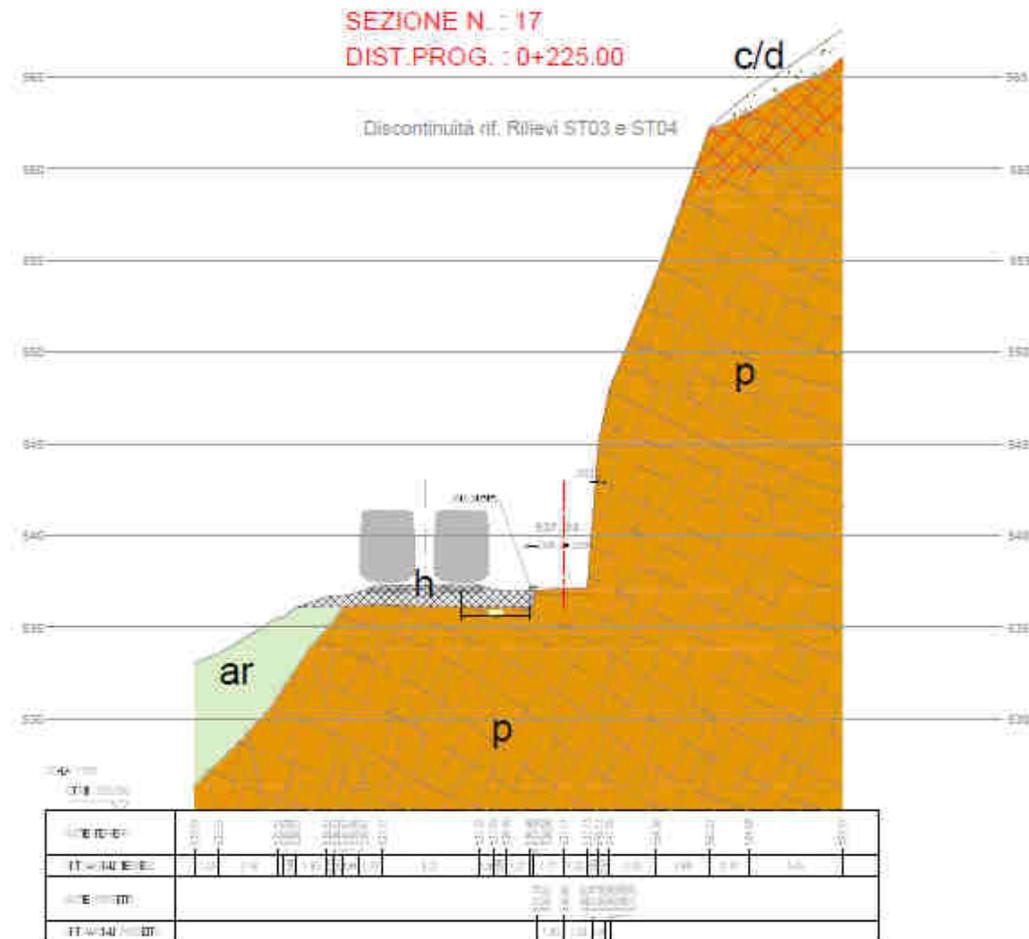


Fig. 42 – Sezione 17

I parametri geotecnici adottati per la verifica globale per la parete rocciosa sono i seguenti:

Porfiroidi alterate:

- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Coesione lungo i giunti: 180 kPa (con coefficiente di riduzione pari a 1.25 = 144 kPa da NTC2008);
- Angolo di attrito: 48° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)

Porfiroidi:

- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Coesione lungo i giunti: 300 kPa (con coefficiente di riduzione pari a 1.25 = 240 kPa da NTC 2008);
- Angolo di attrito: 55° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 48.8°, da NTC2008)

APPALTATORE:		 				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
Mandataria:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandanti:		<b>COMMESSA</b> <b>LOTTO</b> <b>CODIFICA</b> <b>DOCUMENTO</b> <b>REV.</b> <b>FOGLIO.</b>				
SWS Engineering S.p.A.		<b>IBOU</b> <b>1BEZZ</b> <b>CL</b> <b>NV0620003</b> <b>A</b> <b>58 di 117</b>				
PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
11 – OPERE CIVILI						
TITOLO 4						

Nelle immagini seguenti vengono riportati i risultati delle analisi di stabilità della sezione 17 rappresentati come superfici critiche di scivolamento, le verifiche risultano soddisfatte in quanto i coefficienti di sicurezza ottenuti dalle verifiche sono superiori al valore limite di 1.4.

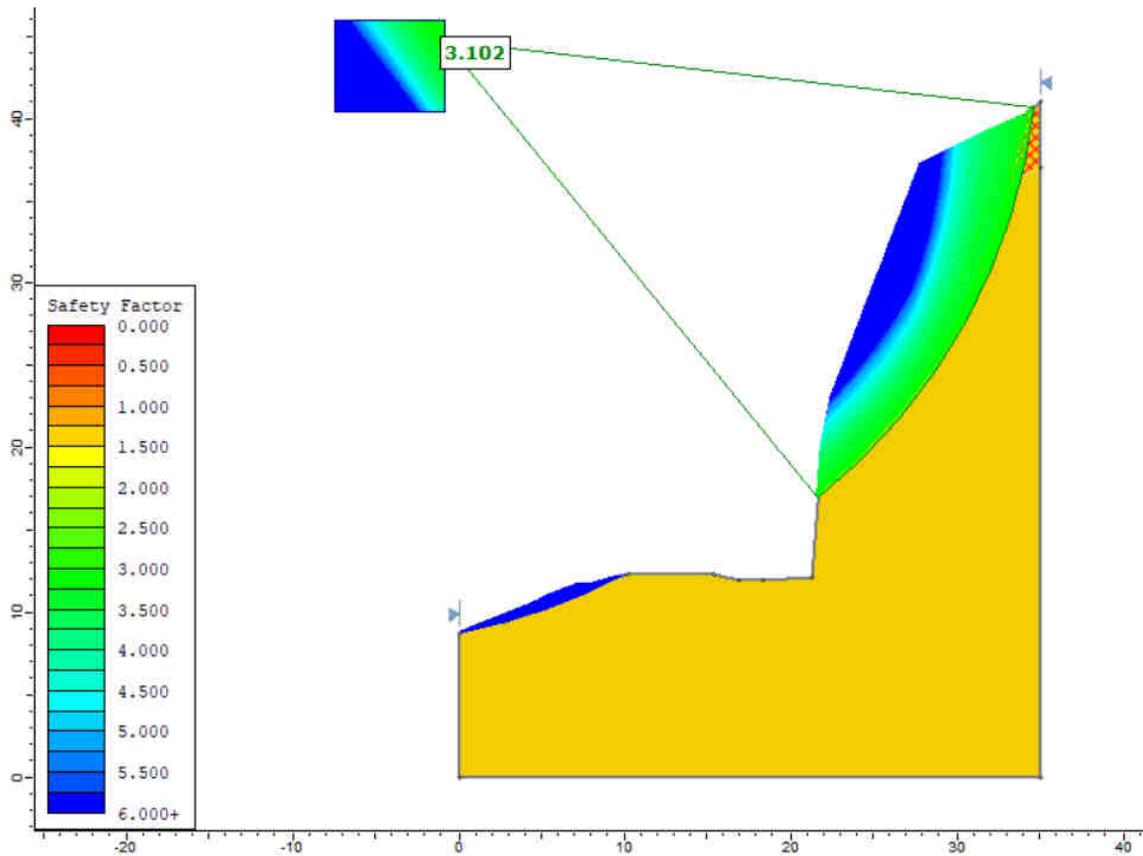


Fig. 43 – Verifica stabilità – Condizione statica – sezione 17

APPALTATORE:	<b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"  PROGETTO ESECUTIVO
PROGETTAZIONE:		
Mandataria:	Mandanti:	COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO. IBOU        1BEZZ        CL            NV0620003    A        59 di 117
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA   GDP GEOMIN   SIFEL SIST M Ingegneria	
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4		

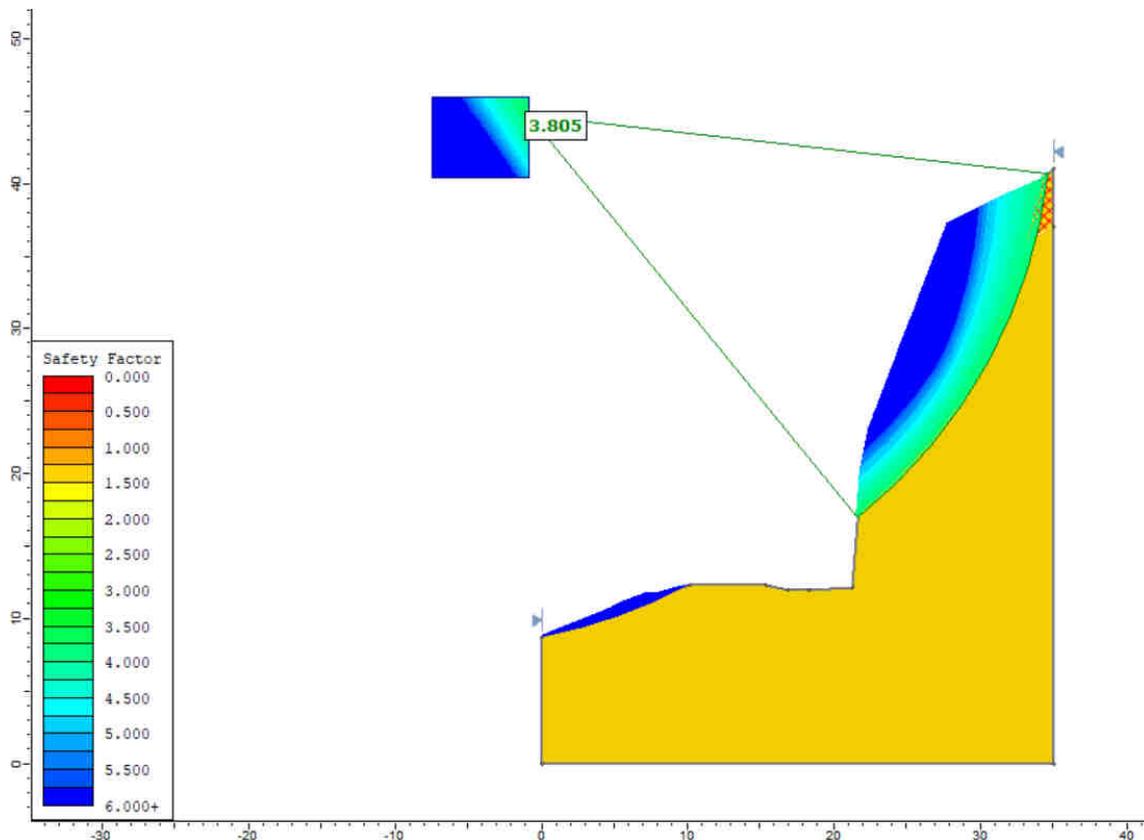


Fig. 44 – Verifica stabilità – Condizione sismica – sezione 17

### 13.1.2.2. Analisi di equilibrio limite di scivolamento planare

Le verifiche sono state condotte sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, utilizzando il codice di calcolo RocPlane della Rocscience.

#### Input di calcolo delle analisi:

- Fronte di scavo: 86°/15°
- Piano di scivolamento: K7 (60/7)
- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza alla compressione monoassiale del giunto JCS: 20 MPa
- Scabrezza del giunto JRC: 8
- Angolo di attrito dei giunti: 48° (con riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)
- Spinta dell'acqua: 25% di riempimento

#### Caratteristiche chiodature:

- Lunghezza: 2m
- Resistenza a trazione: 207.8 kN

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>60 di 117</b>

- Resistenza a taglio: 103.9 kN

**Risultati delle analisi:**

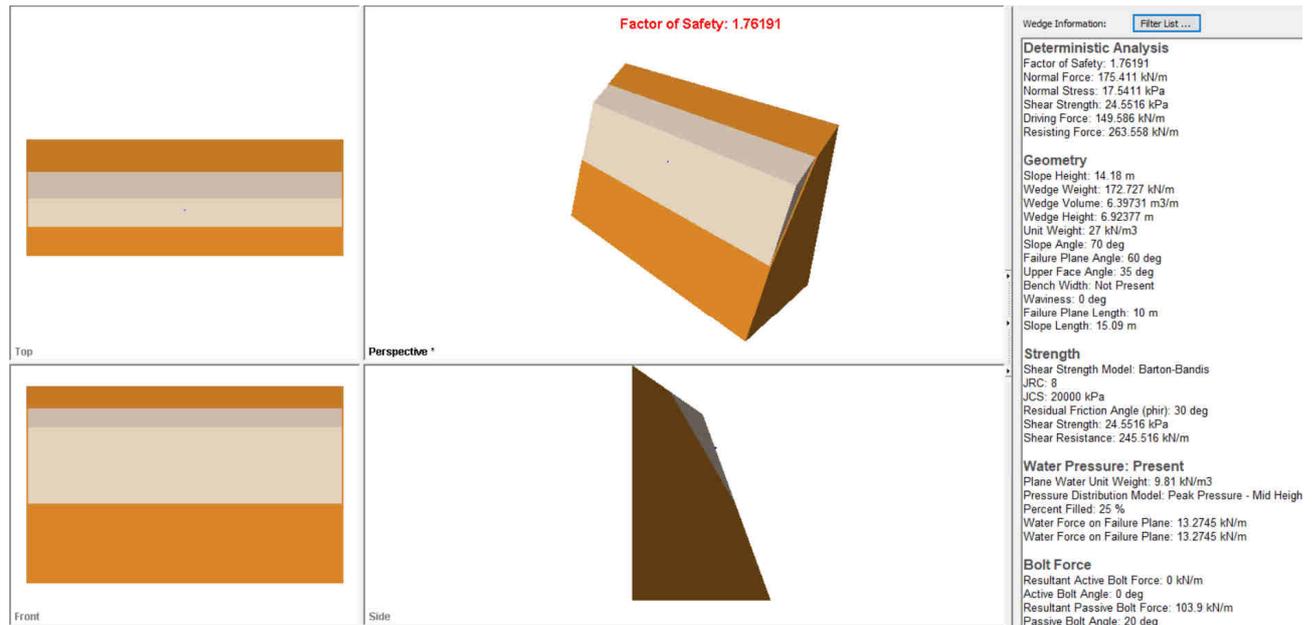


Fig. 45 – Analisi scivolamento planare – sezione 17 – Condizione statica

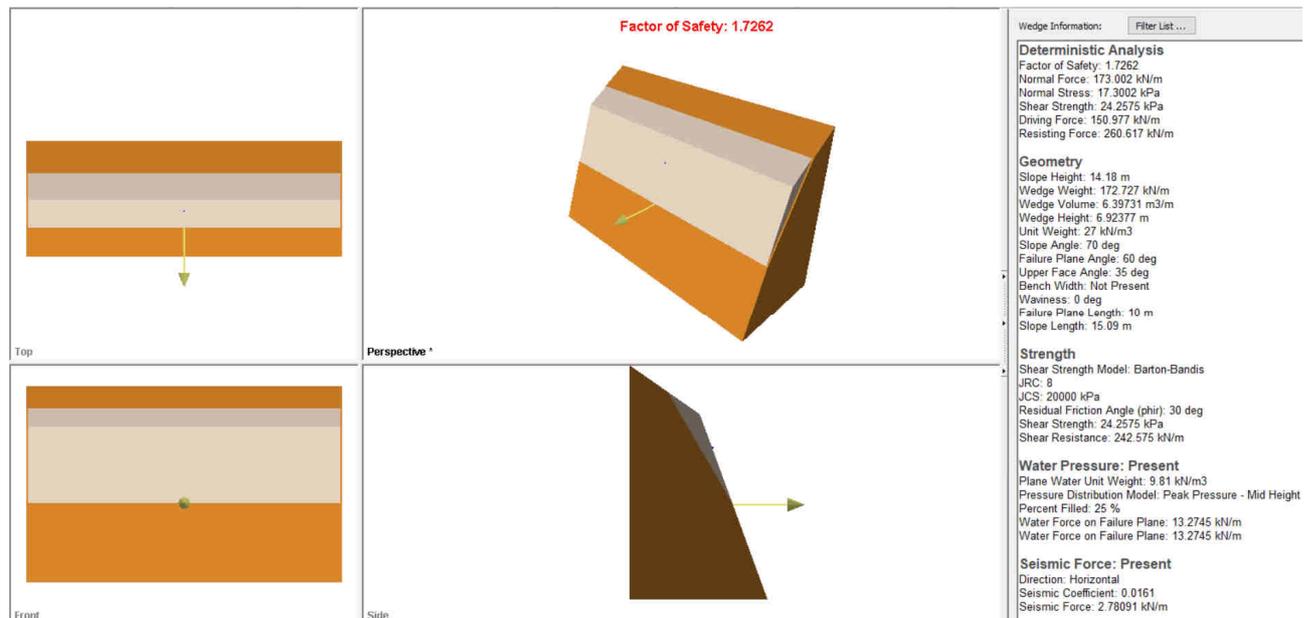


Fig. 46 – Analisi scivolamento planare – sezione 17 – Condizione sismica

APPALTATORE:	<b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	IBOU	1BEZZ	CL	NV0620003	A	61 di 117

La seguente tabella sintetizza i valori dei coefficienti di sicurezza ottenuti dalla analisi dell'equilibrio limite condotte con RocPlane:

Sezione	FS statico	FS sismico
17	1.76	1.73

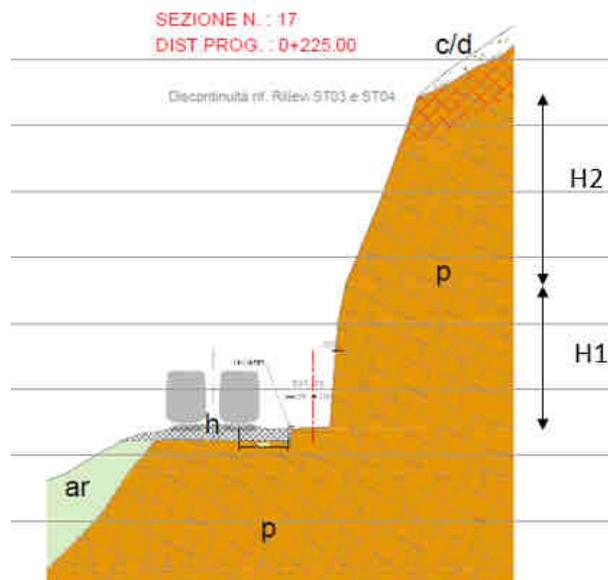
Tabella 3 – sintesi delle analisi senza interventi

### 13.1.2.3. Analisi di equilibrio limite dei cunei potenzialmente instabili

Le verifiche sono state condotte sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, utilizzando il codice di calcolo Swedge della Rocscience.

Sulla base delle analisi cinematiche svolte, esistono due intersezioni critiche che possono portare allo scivolamento di cunei critici individuate dalle famiglie di discontinuità K2-K7 e K5-K7.

Considerando lo sviluppo verticale della sezione caratterizzato da due strati di altezza superiore ai 10m e di pendenza elevata, le verifiche sono state svolte su entrambe gli strati identificandoli con H1 lo strato inferiore con pendenza 86° e H2 lo strato superiore con pendenza pari a 70°, come rappresentato nella figura sottostante.



#### Input di calcolo delle analisi:

H1 – intersezione critica K2-K7

- Fronte di scavo: 86°/15°
- Piano di scivolamento: K7 (60/7)

APPALTATORE:  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>		COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>62 di 117</b>

- Piano di scivolamento: K2 (83/280)
- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza alla compressione monoassiale del giunto JCS: 20 MPa
- Scabrezza del giunto JRC: 8
- Angolo di attrito dei giunti : 48° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)
- Spinta dell'acqua: 25% di riempimento

#### H2 – intersezione critica K2-K7

- Fronte di scavo: 70°/15°
- Piano di scivolamento: K7 (60/7)
- Piano di scivolamento: K2 (83/280)
- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza alla compressione monoassiale del giunto JCS: 20 MPa
- Scabrezza del giunto JRC: 8
- Angolo di attrito dei giunti : 48° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)
- Spinta dell'acqua: 25% di riempimento

#### H1 – intersezione critica K5-K7

- Fronte di scavo: 86°/15°
- Piano di scivolamento: K7 (60/7)
- Piano di scivolamento: K5 (65/91)
- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza alla compressione monoassiale del giunto JCS: 20 MPa
- Scabrezza del giunto JRC: 8
- Angolo di attrito dei giunti : 48° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)
- Spinta dell'acqua: 25% di riempimento

#### H2 – intersezione critica K5-K7

- Fronte di scavo: 70°/15°
- Piano di scivolamento: K7 (60/7)
- Piano di scivolamento: K5 (65/91)
- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza alla compressione monoassiale del giunto JCS: 20 MPa
- Scabrezza del giunto JRC: 8

APPALTATORE: <b>webuild</b>   <b>Implenia</b>		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 63 di 117

- Angolo di attrito dei giunti : 48° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)
- Spinta dell'acqua: 25% di riempimento

#### Caratteristiche chiodature:

- Lunghezza: 2m
- Resistenza a trazione: 207.8 kN
- Resistenza a taglio: 103.9 kN

#### Risultati delle analisi:



Fig. 47 – Analisi scivolamento cunei – sezione 17 H1 – intersezione critica K2-K7 condizione statica

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>64 di 117</b>

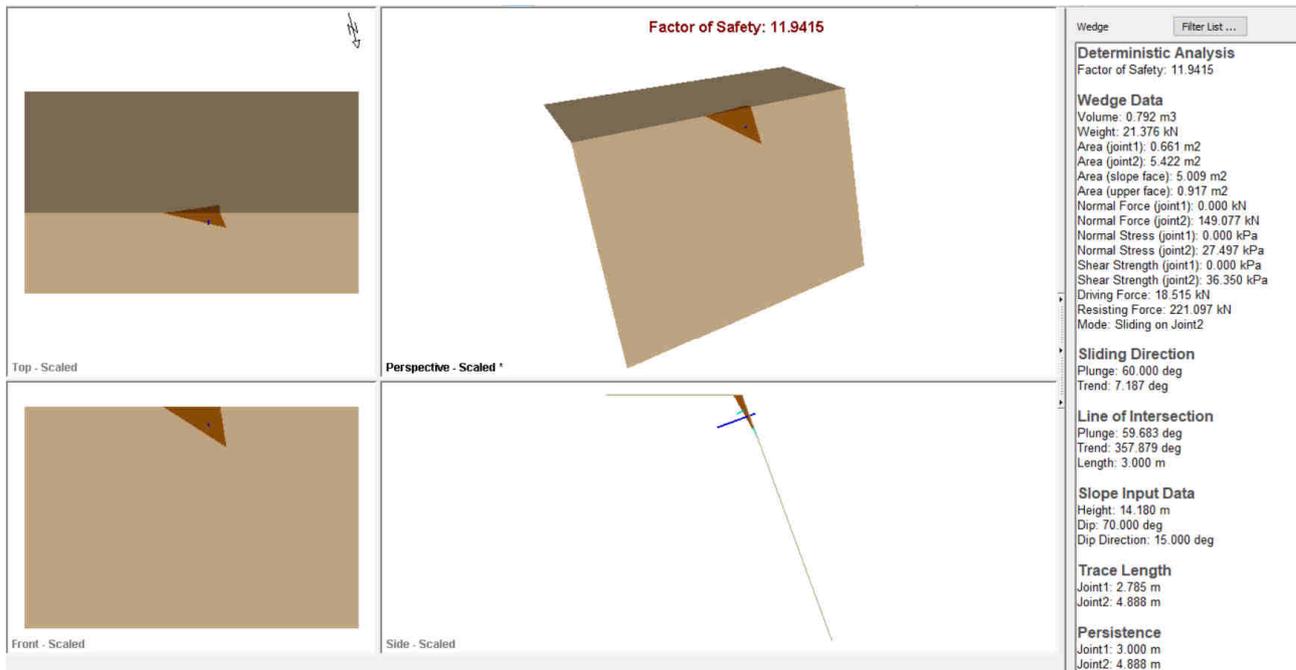


Fig. 48 – Analisi scivolamento cunei – sezione 17 H2 – intersezione critica K2-K7 condizione statica



Fig. 49 – Analisi scivolamento cunei – sezione 17 H1 – intersezione critica K5-K7 condizione statica

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI          REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA          LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA          TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"          PROGETTO ESECUTIVO</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>						
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>65 di 117</b>

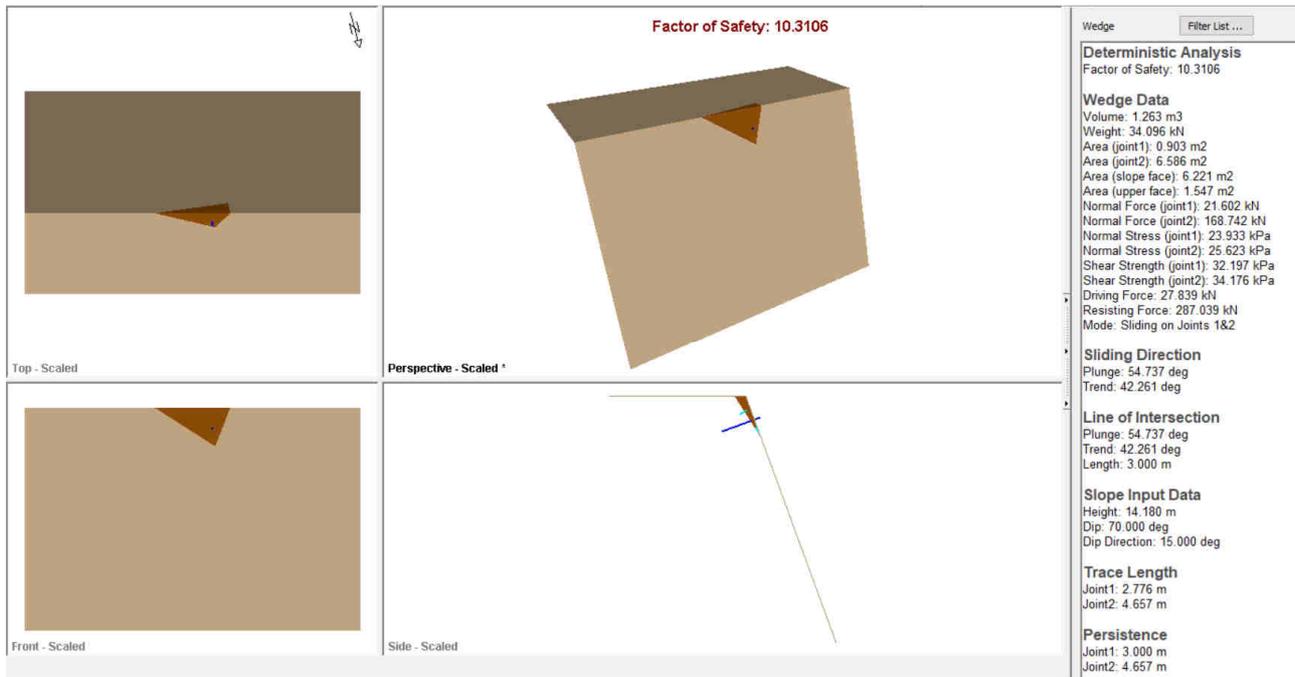


Fig. 50 – Analisi scivolamento cunei – sezione 17 H2 – intersezione critica K5-K7 condizione statica



Fig. 51 – Analisi scivolamento cunei – sezione 17 H1 – intersezione critica K2-K7 condizione sismica

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>66 di 117</b>



Fig. 52 – Analisi scivolamento cunei – sezione 17 H2 – intersezione critica K2-K7 condizione sismica

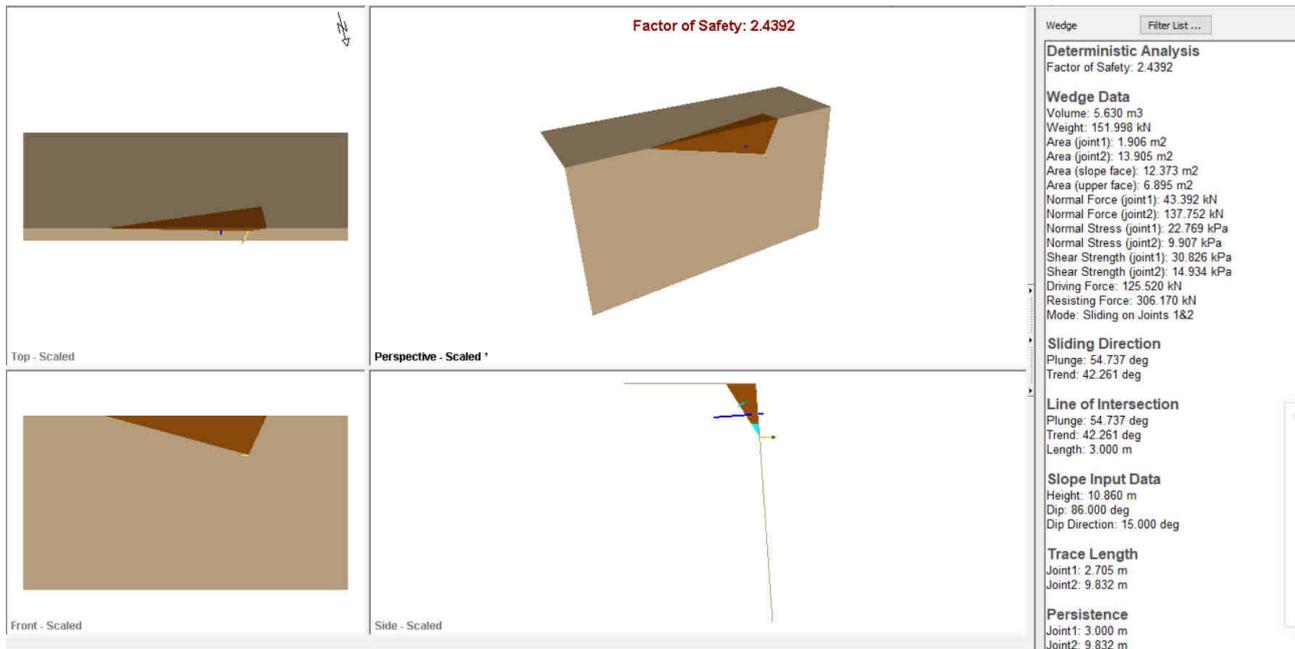


Fig. 53 – Analisi scivolamento cunei – sezione 17 H1 – intersezione critica K5-K7 condizione sismica

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>67 di 117</b>



Fig. 54 – Analisi scivolamento cunei – sezione 17 H2 – intersezione critica K5-K7 condizione sismica

Sezione	Intersezione critica	FS statico	FS sismico
17 – H1	K2-K7	3.52	3.48
17 – H2	K2-K7	11.94	11.282
17 – H1	K5-K7	2.49	2.44
17 – H2	K5-K7	10.31	10.17

#### 13.1.2.4. Analisi di equilibrio limite ribaltamento diretto

Le verifiche sono state condotte sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, utilizzando il codice di calcolo RocTopples della Rocscience.

Sulla base delle analisi cinematiche svolte, la famiglia di discontinuità che può provocare il fenomeno del ribaltamento diretto è la famiglia K7.

##### Input di calcolo delle analisi:

- Fronte di scavo: 86°/15°
- Piano di scivolamento: K7 (60/7)
- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>

APPALTATORE: <b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: <b>SWS Engineering S.p.A.</b>	Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>					<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>68 di 117</b>

- Resistenza alla compressione monoassiale del giunto JCS: 20 MPa
- Scabrezza del giunto JRC: 8
- Angolo di attrito dei giunti : 48° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)
- Spinta dell'acqua: 25% di riempimento

Caratteristiche chiodature:

- Lunghezza: 2m
- Resistenza a trazione: 207.8 kN
- Resistenza a taglio: 103.9 kN

Risultati delle analisi:

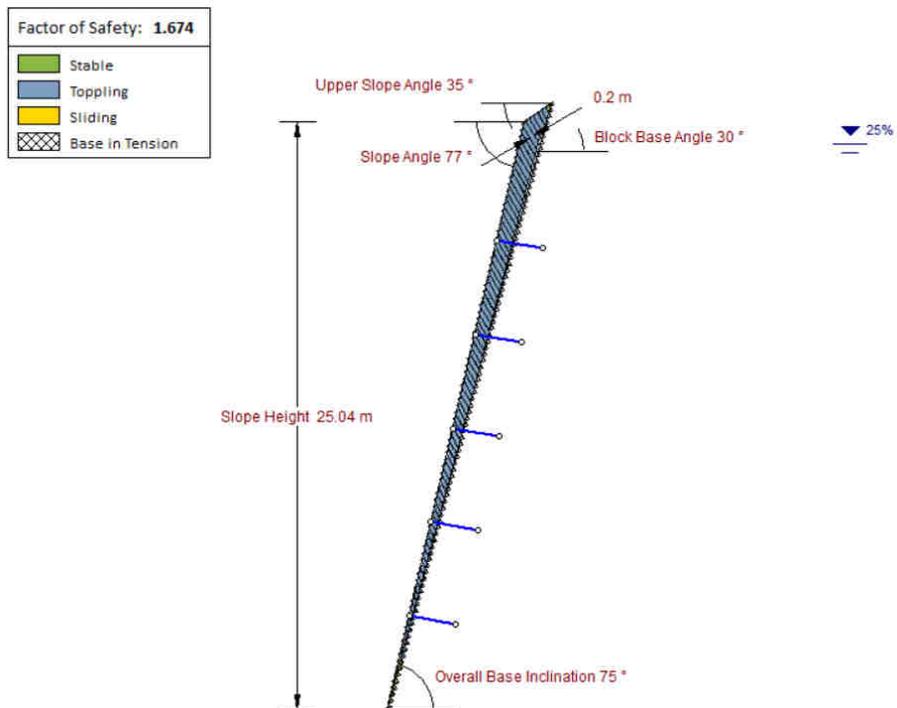


Fig. 55 – Analisi ribaltamento diretto – sezione 17 – condizione statica

APPALTATORE:	<b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 69 di 117

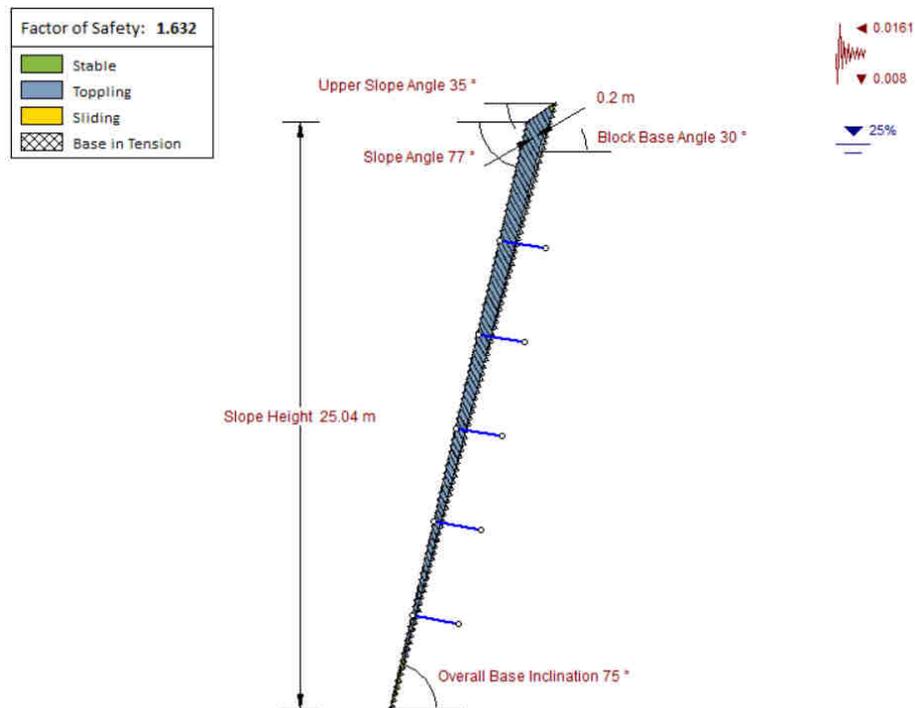


Fig. 56 – Analisi ribaltamento diretto – sezione 17 – condizione sismica

### 13.1.3 Analisi cinematici sezione 20

Nel presente capitolo sono riportate le verifiche di stabilità per la sezione di progetto n. 20. Sulla base delle discontinuità rilevate mediante il rilievo ST03, possono verificarsi i seguenti cinematici:

Cinematismo	Rilievo ST03
Scivolamento planare	K7 (60/7)
Scivolamento a cuneo	K2 (83/280) - K7 (60/7) ; K5 (65/91) - K7 (60/7) ;
Ribaltamento flessurale	-
Ribaltamento diretto	K7 (60/7)

#### 13.1.3.1. Verifiche di stabilità

Nella seguente immagine viene riportata la sezione di progetto utilizzata per le analisi di stabilità.

APPALTATORE:	<b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>
PROGETTAZIONE:		
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA    LOTTO    CODIFICA    DOCUMENTO    REV.    FOGLIO. <b>IBOU        1BEZZ        CL        NV0620003    A        70 di 117</b>
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA    GDP GEOMIN    SIFEL SIST M Ingegneria	
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4		

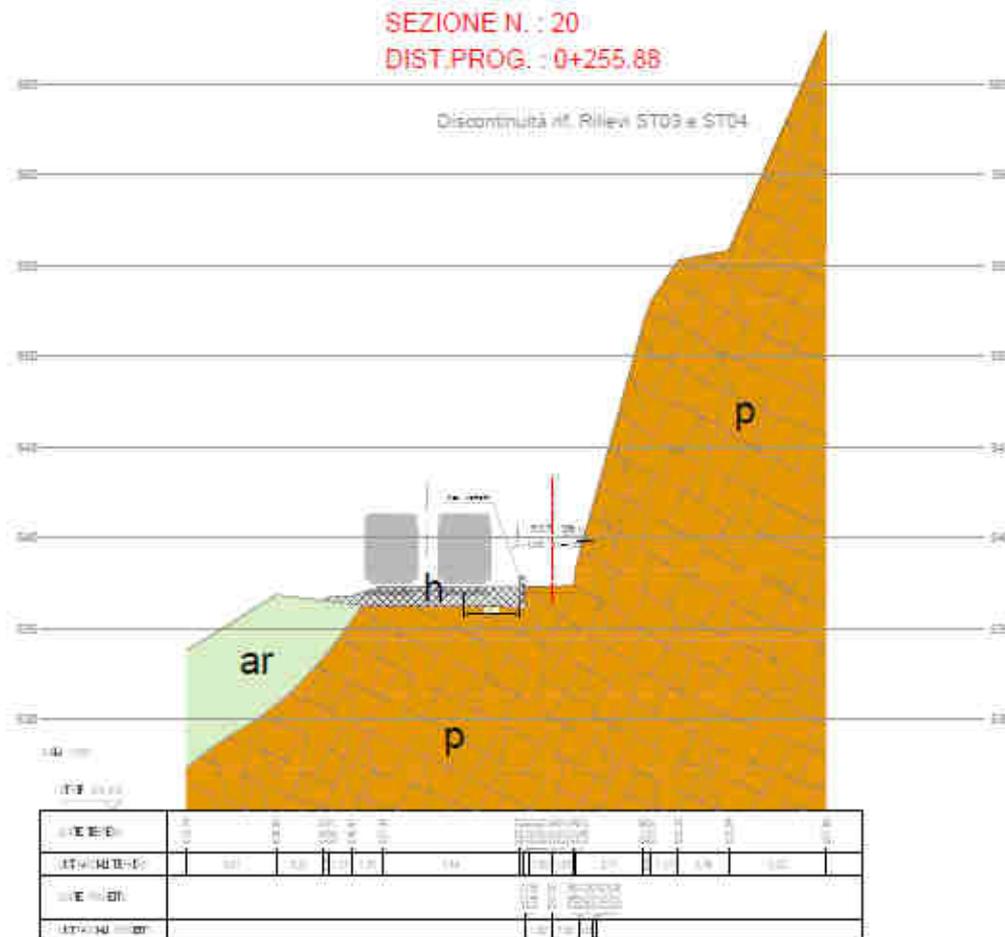


Fig. 57 – Sezione 20

I parametri geotecnici adottati per la verifica globale per la parete rocciosa sono i seguenti:

Porfiroidi:

- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Coesione lungo i giunti: 300 kPa (con coefficiente di riduzione pari a 1.25 = 240 kPa da NTC 2008);
- Angolo di attrito: 55° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 48.8°, da NTC2008)

Nelle immagini seguenti vengono riportati i risultati delle analisi di stabilità della sezione 20 rappresentati come superfici critiche di scivolamento, le verifiche risultano soddisfatte in quanto i coefficienti di sicurezza ottenuti dalle verifiche sono superiori al valore limite di 1.4.

APPALTATORE: <b>webuild</b>   <b>Implenia</b>		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>		COMMESSA <b>IB0U</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>71 di 117</b>

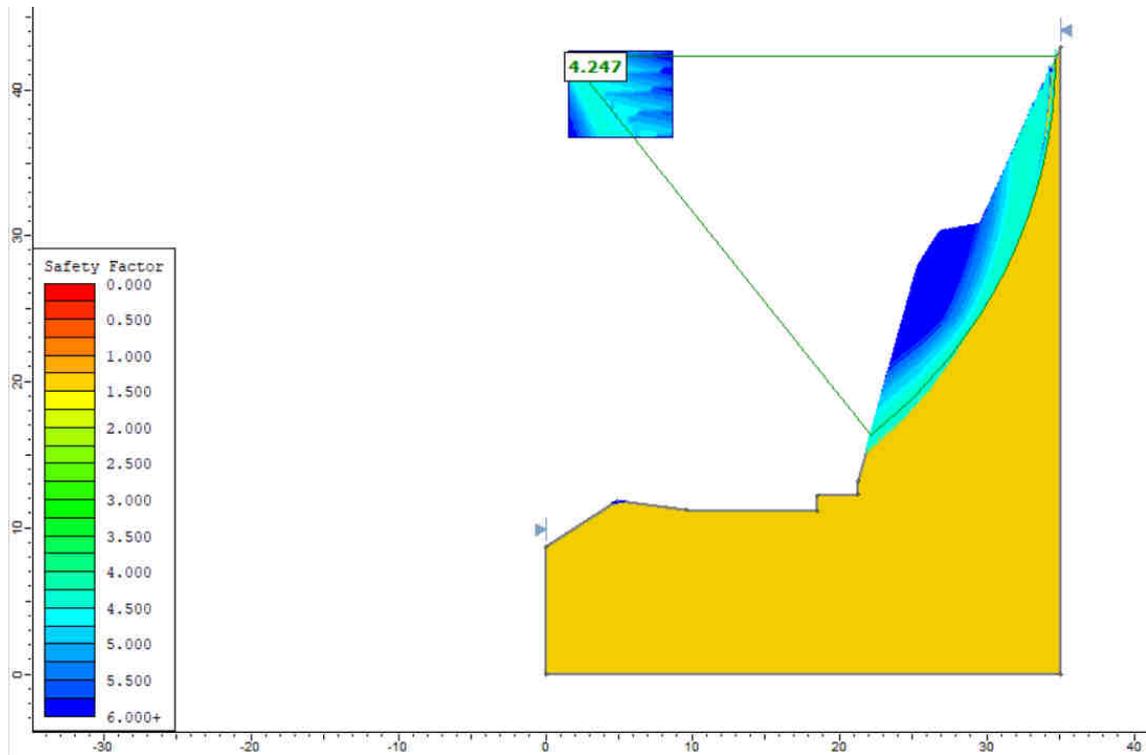


Fig. 58 – Verifica stabilità – Condizione statica – sezione 20

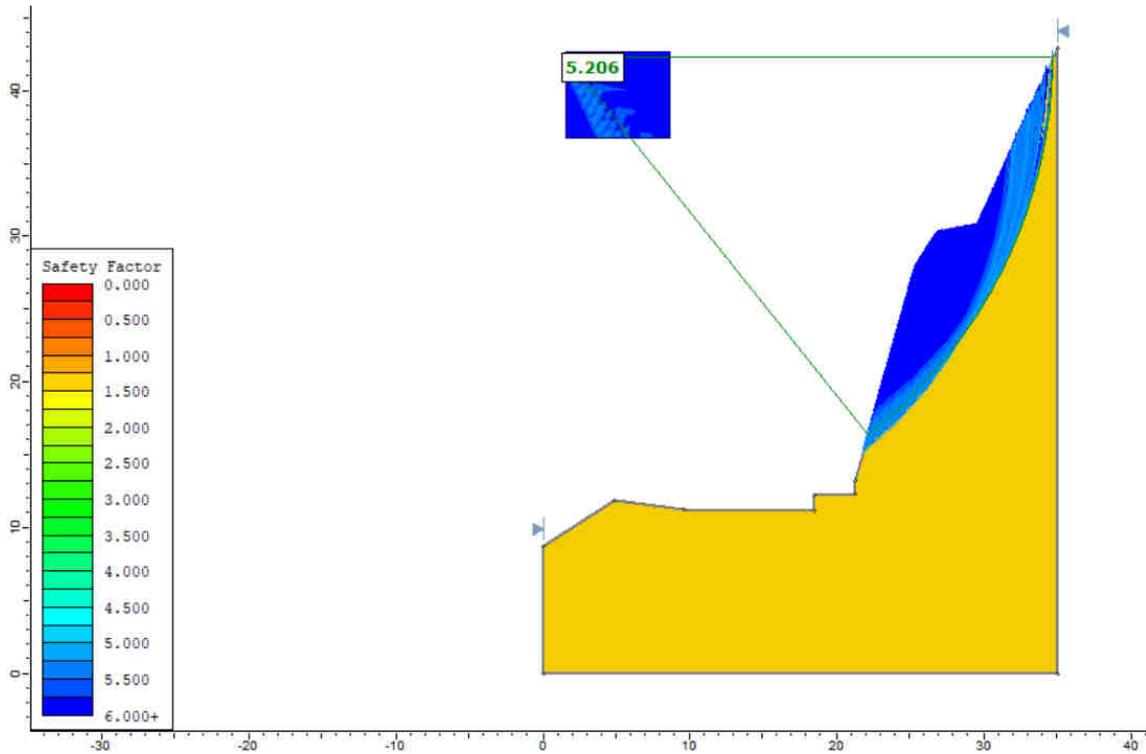


Fig. 59 – Verifica stabilità – Condizione sismica – sezione 20

APPALTATORE: <b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>72 di 117</b>

### 13.1.3.2. Analisi di equilibrio limite di scivolamento planare

Le verifiche sono state condotte sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, utilizzando il codice di calcolo RocPlane della Rocscience.

#### Input di calcolo delle analisi:

- Fronte di scavo: 75°/15°
- Piano di scivolamento: K7 (60/7)
- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza alla compressione monoassiale del giunto JCS: 20 MPa
- Scabrezza del giunto JRC: 8
- Angolo di attrito dei giunti : 48° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)
- Spinta dell'acqua: 25% di riempimento

#### Caratteristiche chiodature:

- Lunghezza: 2m
- Resistenza a trazione: 207.8 kN
- Resistenza a taglio: 103.9 kN

#### Risultati delle analisi:

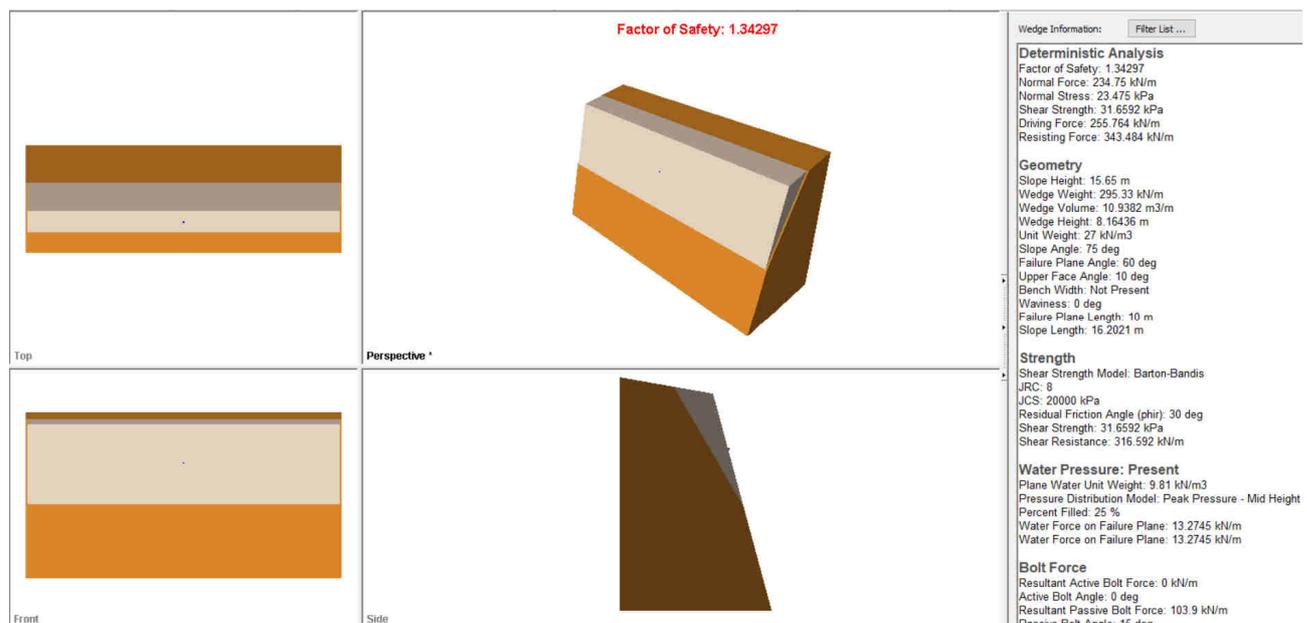


Fig. 60 – Analisi scivolamento planare – sezione 20 – Condizione statica

APPALTATORE: <b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>73 di 117</b>

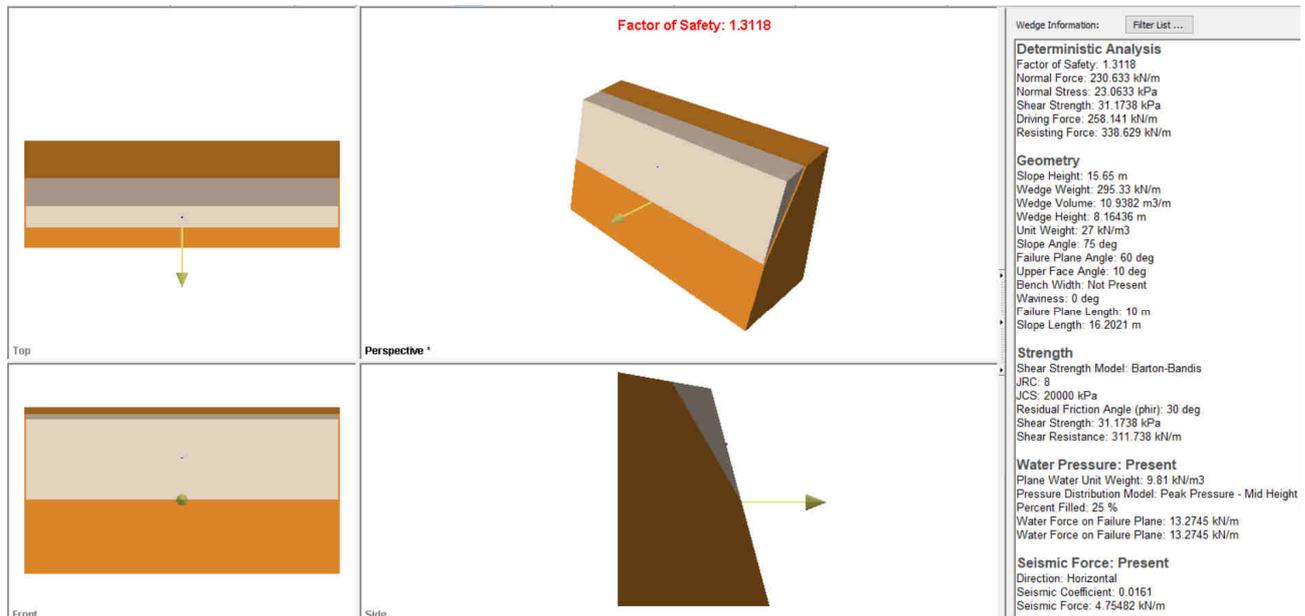


Fig. 61 – Analisi scivolamento planare – sezione 20 – Condizione sismica

La seguente tabella sintetizza i valori dei coefficienti di sicurezza ottenuti dalla analisi dell'equilibrio limite condotte con RocPlane:

Sezione	FS statico	FS sismico
20	1.34	1.31

Tabella 4 – sintesi delle analisi senza interventi

### 13.1.3.3. Analisi di equilibrio limite dei cunei potenzialmente instabili

Le verifiche sono state condotte sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, utilizzando il codice di calcolo Swedge della Rocscience.

Sulla base delle analisi cinematiche svolte, esistono due intersezioni critiche che possono portare allo scivolamento di cunei critici individuate dalle famiglie di discontinuità K2-K7 e K5-K7.

#### Input di calcolo delle analisi:

##### Intersezione critica K2-K7

- Fronte di scavo: 75°/15°
- Piano di scivolamento: K7 (60/7)
- Piano di scivolamento: K2 (83/280)
- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza alla compressione monoassiale del giunto JCS: 20 MPa
- Scabrezza del giunto JRC: 8

APPALTATORE:  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0U</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>NV0620003</td> <td>A</td> <td>74 di 117</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IB0U	1BEZZ	CL	NV0620003	A	74 di 117
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IB0U	1BEZZ	CL	NV0620003	A	74 di 117								

- Angolo di attrito dei giunti : 48° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)
- Spinta dell'acqua: 25% di riempimento

#### Intersezione critica K5-K7

- Fronte di scavo: 75°/15°
- Piano di scivolamento: K7 (60/7)
- Piano di scivolamento: K5 (65/91)
- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza alla compressione monoassiale del giunto JCS: 20 MPa
- Scabrezza del giunto JRC: 8
- Angolo di attrito dei giunti : 48° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)
- Spinta dell'acqua: 25% di riempimento

#### Caratteristiche chiodature:

- Lunghezza: 2m
- Resistenza a trazione: 207.8 kN
- Resistenza a taglio: 103.9 kN

#### Risultati delle analisi:

APPALTATORE: <b>webuild</b>  <b>Implenia</b> 		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>75 di 117</b>

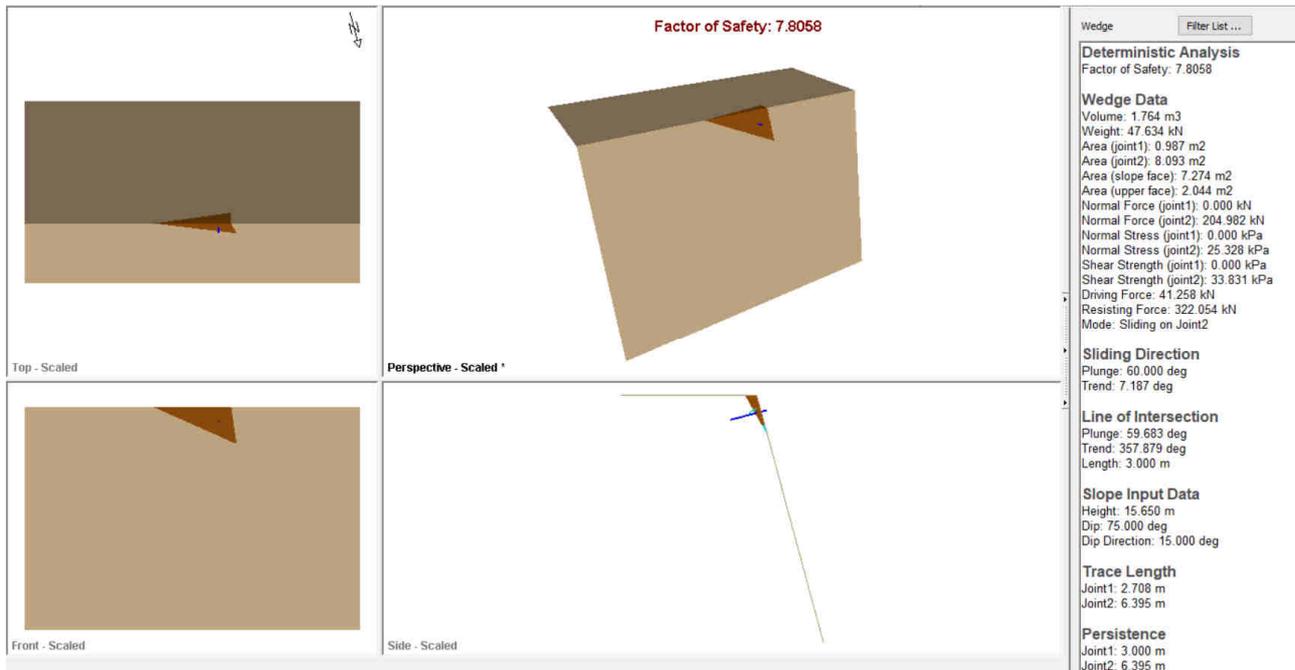


Fig. 62 – Analisi scivolamento cunei – sezione 20 – intersezione critica K2-K7 condizione statica

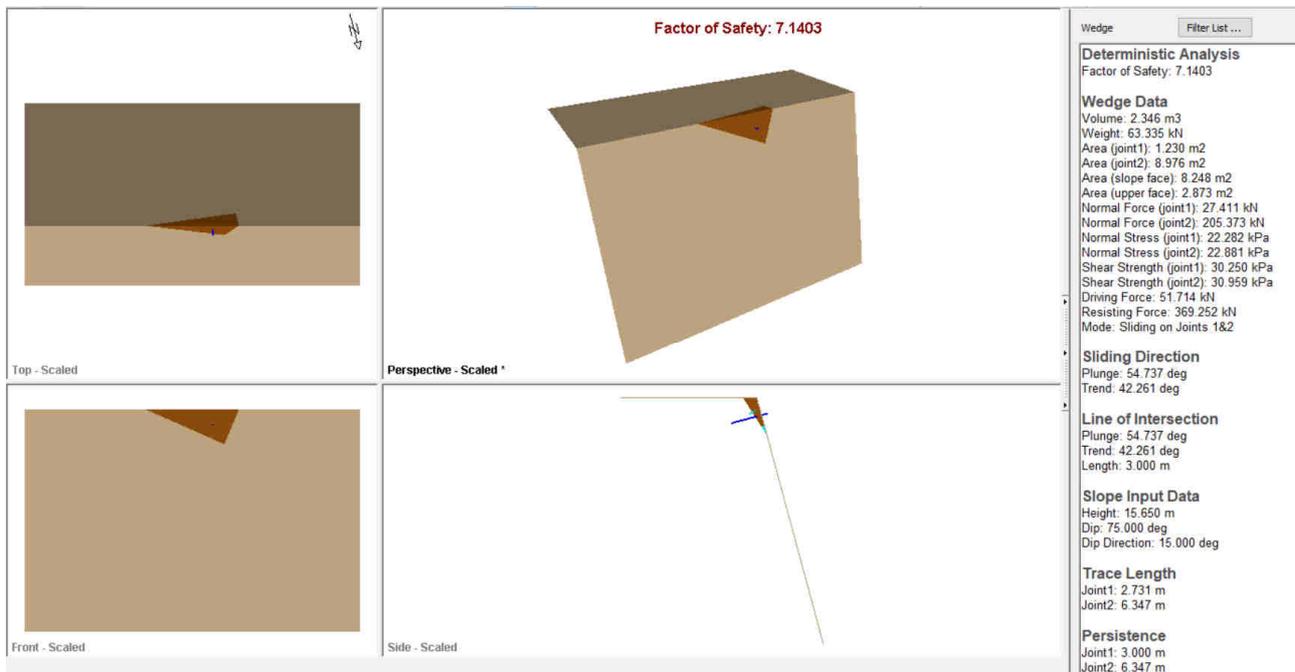


Fig. 63 – Analisi scivolamento cunei – sezione 20 – intersezione critica K5-K7 condizione statica

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandatario: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>76 di 117</b>

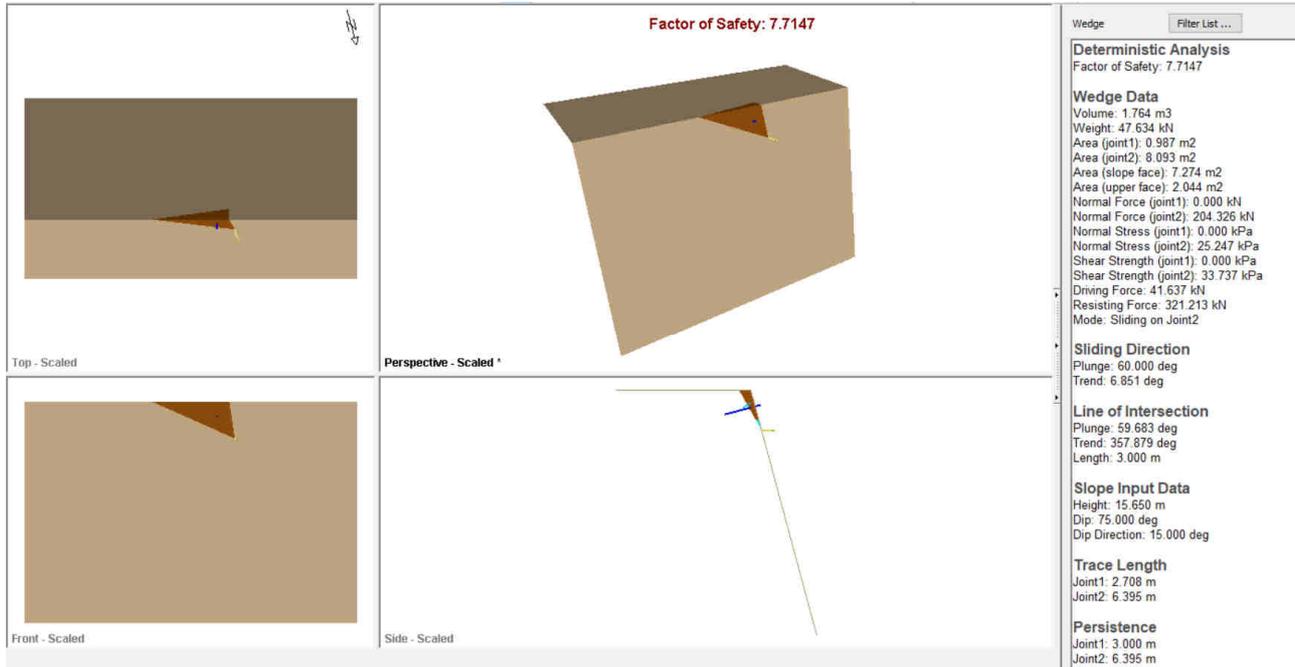


Fig. 64 – Analisi scivolamento cunei – sezione 20 – intersezione critica K2-K7 condizione sismica

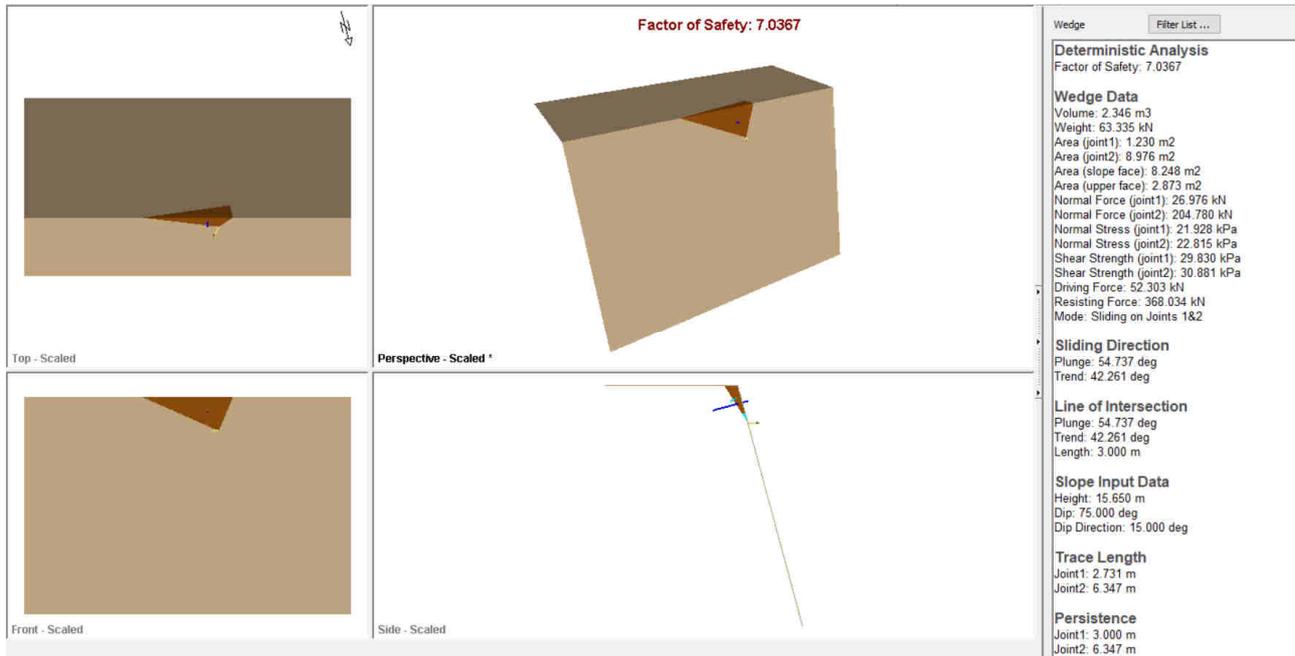


Fig. 65 – Analisi scivolamento cunei – sezione 20 – intersezione critica K5-K7 condizione sismica

APPALTATORE:	 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 77 di 117

Sezione	Intersezione critica	FS statico	FS sismico
20	K2-K7	7.81	7.71
20	K5-K7	7.14	7.04

#### 13.1.3.4. Analisi di equilibrio limite ribaltamento diretto

Le verifiche sono state condotte sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, utilizzando il codice di calcolo RocTople della Rocscience.

Sulla base delle analisi cinematiche svolte, la famiglia di discontinuità che può provocare il fenomeno del ribaltamento diretto è la famiglia K7.

##### Input di calcolo delle analisi:

- Fronte di scavo: 73°/15°
- Piano di scivolamento: K7 (60/7)
- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza alla compressione monoassiale del giunto JCS: 20 MPa
- Scabrezza del giunto JRC: 8
- Angolo di attrito dei giunti : 48° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)
- Spinta dell'acqua: 25% di riempimento

##### Caratteristiche chiodature:

- Lunghezza: 2m
- Resistenza a trazione: 207.8 kN
- Resistenza a taglio: 103.9 kN

##### Risultati delle analisi:

APPALTATORE:  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>78 di 117</b>

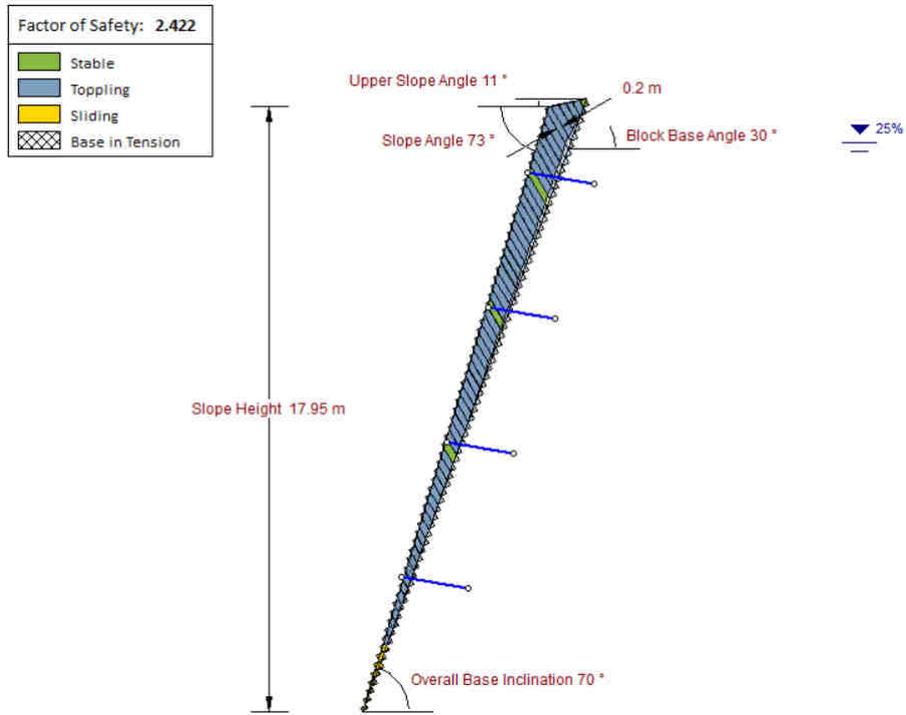


Fig. 66 – Analisi ribaltamento diretto – sezione 20 – condizione statica

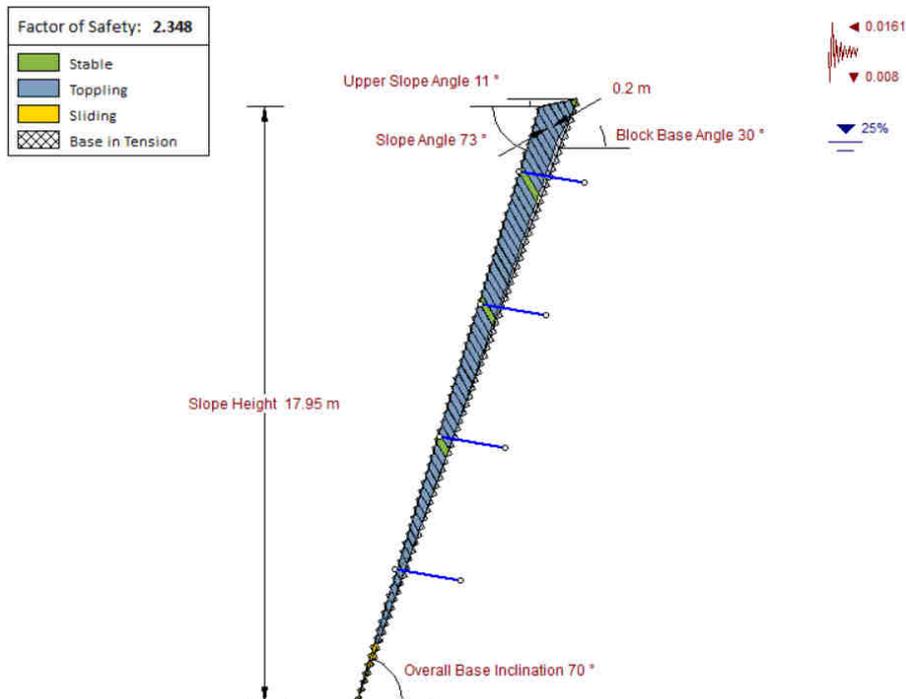


Fig. 67 – Analisi ribaltamento diretto – sezione 20 – condizione sismica

APPALTATORE:	 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>  <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>												
PROGETTAZIONE:														
Mandatario:	Mandanti:													
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria													
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO.</td> </tr> <tr> <td>IB0U</td> <td>1BEZZ</td> <td>CL</td> <td>NV0620003</td> <td>A</td> <td>79 di 117</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IB0U	1BEZZ	CL	NV0620003	A	79 di 117	
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.									
IB0U	1BEZZ	CL	NV0620003	A	79 di 117									

#### 13.1.4 Analisi cinematicismi sezione 22

Nel presente capitolo sono riportate le verifiche di stabilità per la sezione di progetto n. 22. Sulla base delle discontinuità rilevate mediante il rilievo ST03, possono verificarsi i seguenti cinematicismi:

Cinematismo	Rilievo ST03
Scivolamento planare	K7 (60/7)
Scivolamento a cuneo	K2 (83/280) - K7 (60/7) ; K5 (65/91) - K7 (60/7) ;
Ribaltamento flessurale	-
Ribaltamento diretto	K7 (60/7)

##### 13.1.4.1. Verifiche di stabilità

Nella seguente immagine viene riportata la sezione di progetto utilizzata per le analisi di stabilità.

APPALTATORE:	<b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA" <b>PROGETTO ESECUTIVO</b>
PROGETTAZIONE:		
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1BEZZ CL NV0620003 A 80 di 117
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4		

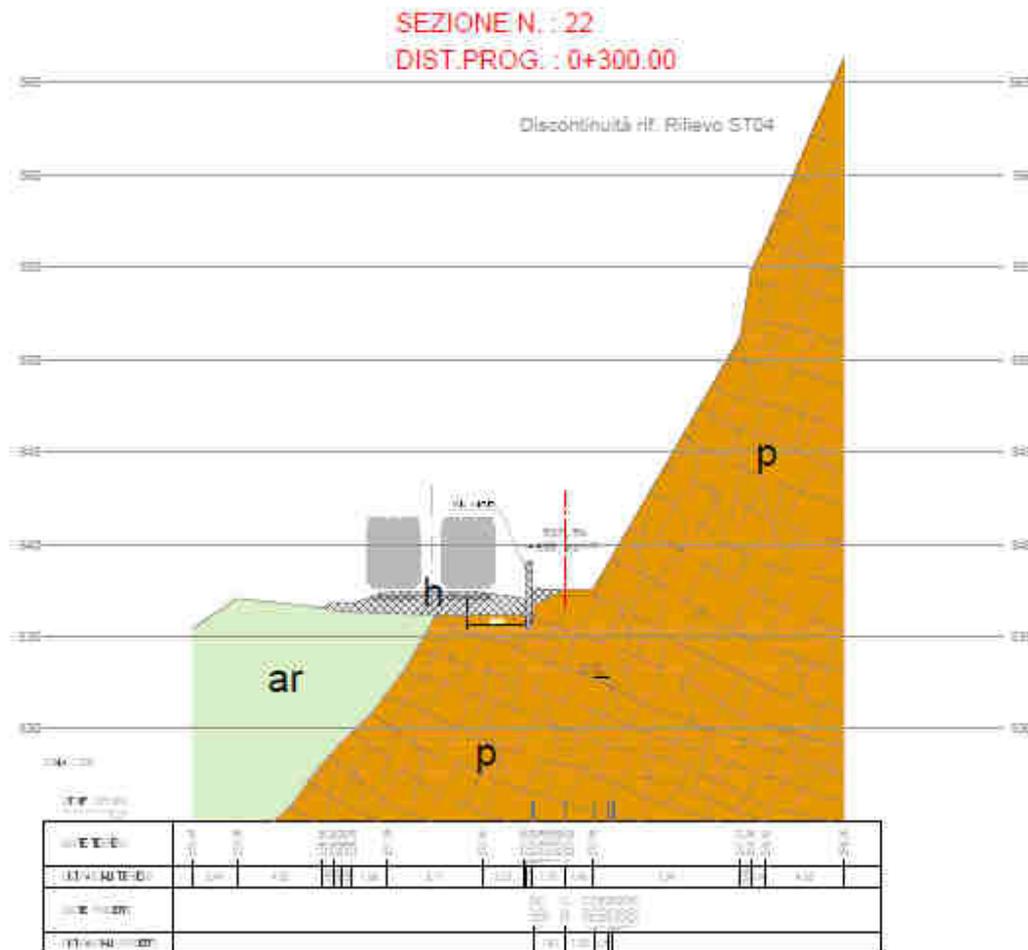


Fig. 68 – Sezione 22

I parametri geotecnici adottati per la verifica globale per la parete rocciosa sono i seguenti:

Porfiroidi:

- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Coesione lungo i giunti: 300 kPa (con coefficiente di riduzione pari a 1.25 = 240 kPa da NTC 2008);
- Angolo di attrito: 55° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 48.8°, da NTC2008)

Nelle immagini seguenti vengono riportati i risultati delle analisi di stabilità della sezione 22 rappresentati come superfici critiche di scivolamento, le verifiche risultano soddisfatte in quanto i coefficienti di sicurezza ottenuti dalle verifiche sono superiori al valore limite di 1.4.

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>					
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>		COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>81 di 117</b>

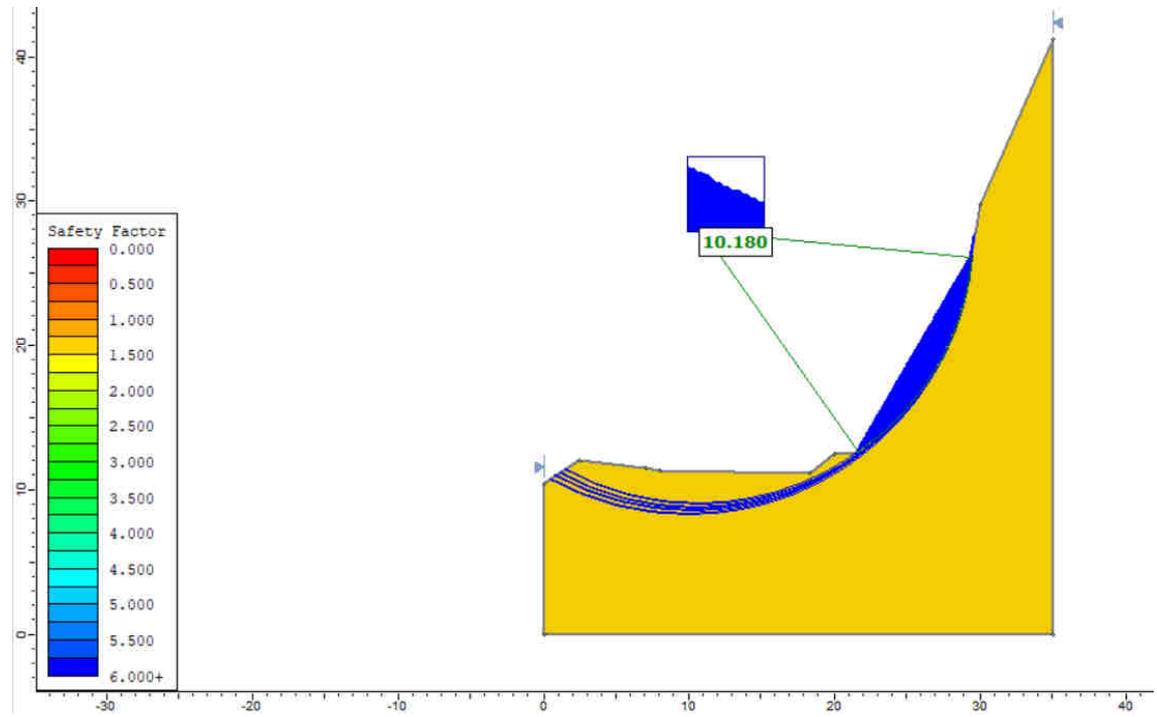


Fig. 69 – Verifica stabilità – Condizione statica – sezione 22

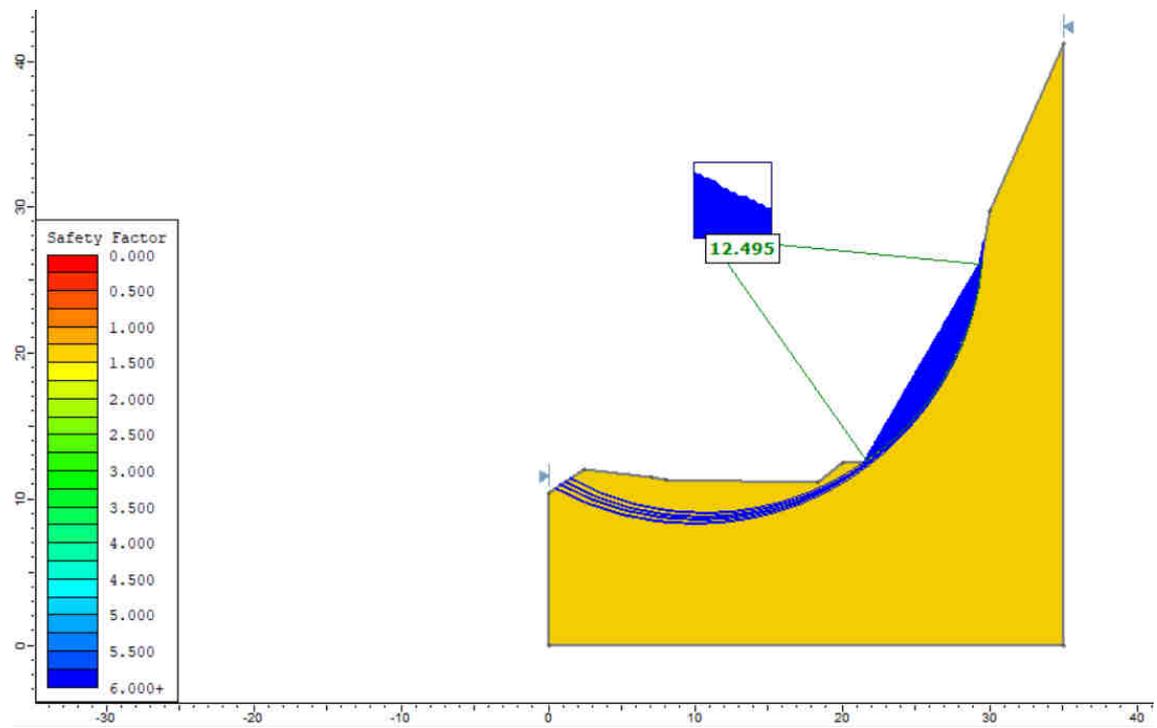


Fig. 70 – Verifica stabilità – Condizione sismica – sezione 22

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>82 di 117</b>

### 13.1.4.2. Analisi di equilibrio limite di scivolamento planare

Le verifiche sono state condotte sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, utilizzando il codice di calcolo RocPlane della Rocscience.

#### Input di calcolo delle analisi:

- Fronte di scavo: 64°/15°
- Piano di scivolamento: K7 (60/7)
- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza alla compressione monoassiale del giunto JCS: 20 MPa
- Scabrezza del giunto JRC: 8
- Angolo di attrito dei giunti : 48° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)
- Spinta dell'acqua: 25% di riempimento

#### Caratteristiche chiodature:

- Lunghezza: 2m
- Resistenza a trazione: 207.8 kN
- Resistenza a taglio: 103.9 kN

#### Risultati delle analisi:



Fig. 71 – Analisi scivolamento planare – sezione 22 – Condizione statica

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>83 di 117</b>

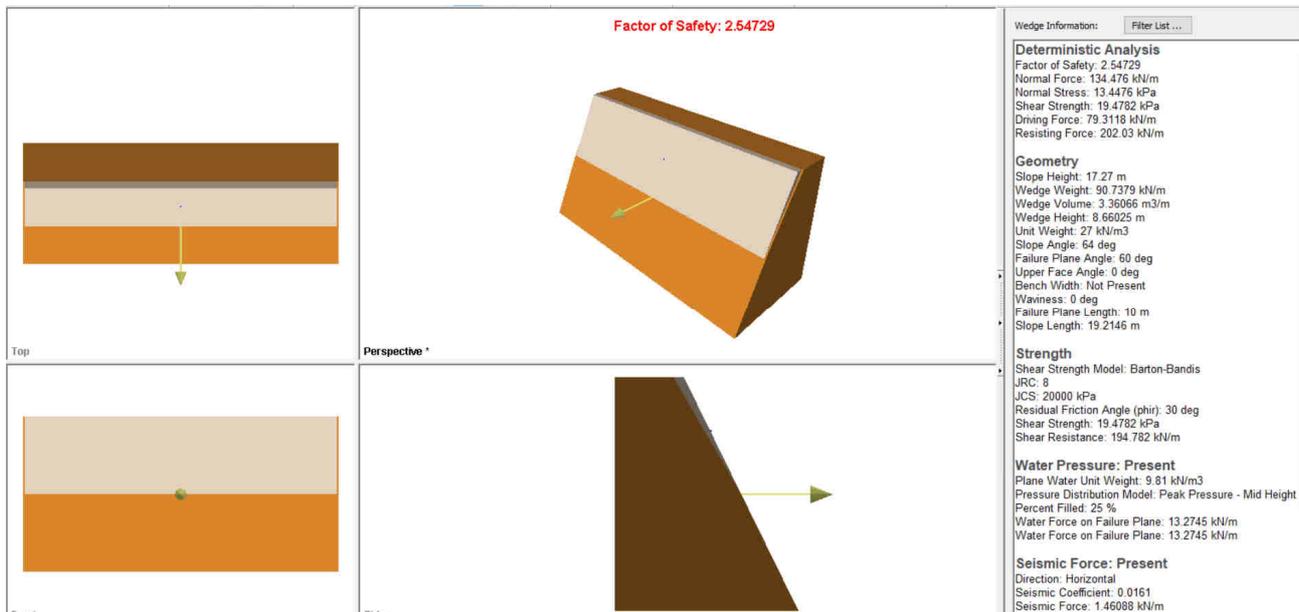


Fig. 72 – Analisi scivolamento planare – sezione 22 – Condizione sismica

La seguente tabella sintetizza i valori dei coefficienti di sicurezza ottenuti dalla analisi dell'equilibrio limite condotte con RocPlane:

Sezione	FS statico	FS sismico
20	2.59	2.55

Tabella 5 – sintesi delle analisi senza interventi

#### 13.1.4.3. Analisi di equilibrio limite dei cunei potenzialmente instabili

Le verifiche sono state condotte sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, utilizzando il codice di calcolo Swedge della Rocscience.

Sulla base delle analisi cinematiche svolte, esistono due intersezioni critiche che possono portare allo scivolamento di cunei critici individuate dalle famiglie di discontinuità K2-K7 e K5-K7.

#### Input di calcolo delle analisi:

Intersezione critica K2-K7

- Fronte di scavo: 64°/15°
- Piano di scivolamento: K7 (60/7)
- Piano di scivolamento: K2 (83/280)
- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza alla compressione monoassiale del giunto JCS: 20 MPa

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 84 di 117

- Scabrezza del giunto JRC: 8
- Angolo di attrito dei giunti : 48° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)
- Spinta dell'acqua: 25% di riempimento

#### Intersezione critica K5-K7

- Fronte di scavo: 64°/15°
- Piano di scivolamento: K7 (60/7)
- Piano di scivolamento: K5 (65/91)
- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza alla compressione monoassiale del giunto JCS: 20 MPa
- Scabrezza del giunto JRC: 8
- Angolo di attrito dei giunti : 48° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)
- Spinta dell'acqua: 25% di riempimento

#### Caratteristiche chiodature:

- Lunghezza: 2m
- Resistenza a trazione: 207.8 kN
- Resistenza a taglio: 103.9 kN

#### Risultati delle analisi:

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>85 di 117</b>

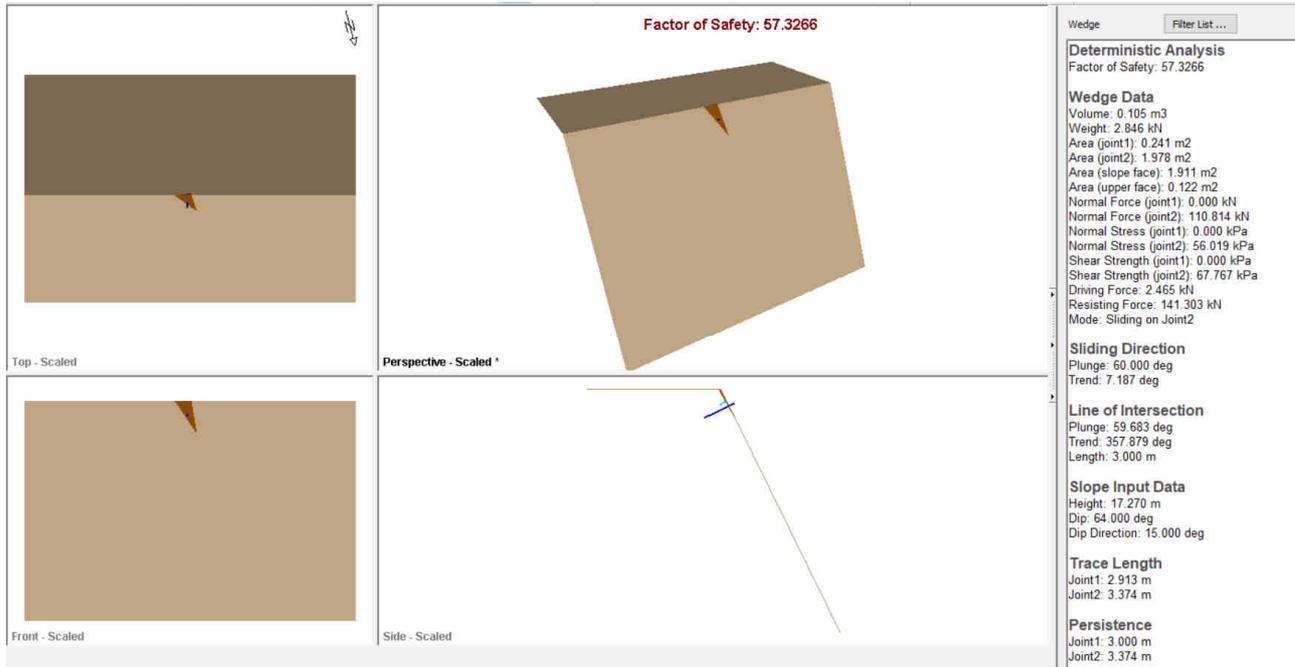


Fig. 73 – Analisi scivolamento cunei – sezione 22 – intersezione critica K2-K7 condizione statica

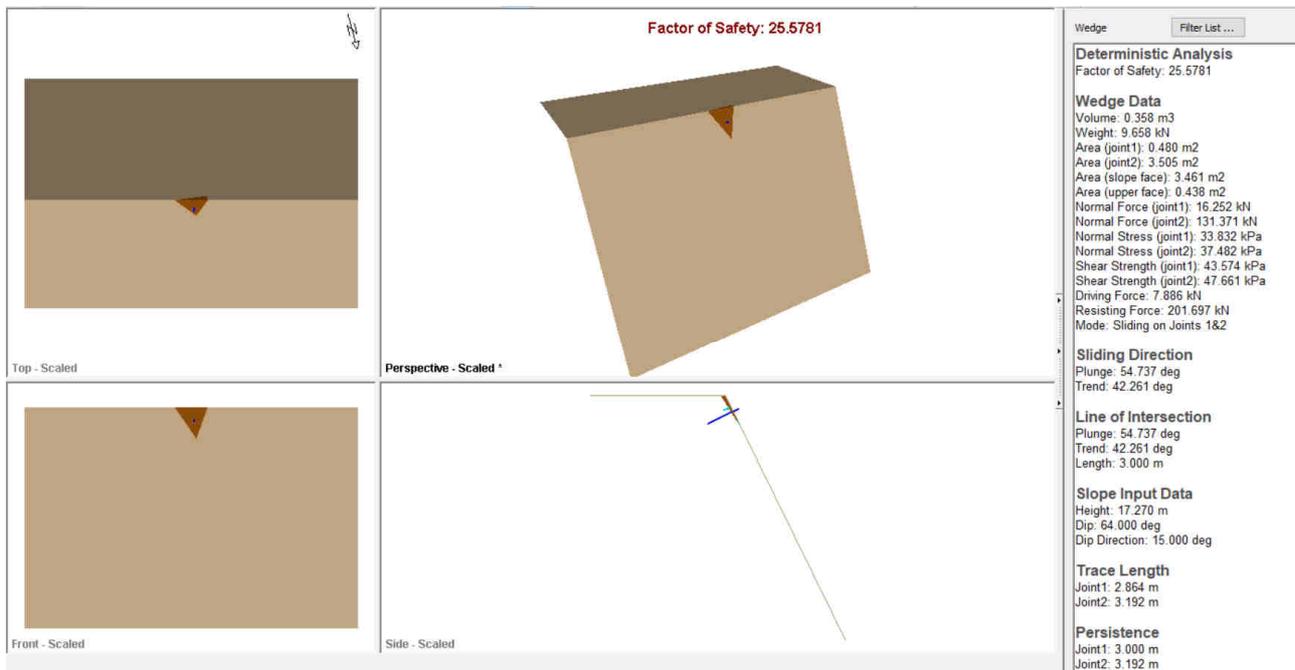


Fig. 74 – Analisi scivolamento cunei – sezione 22 – intersezione critica K5-K7 condizione statica

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>86 di 117</b>

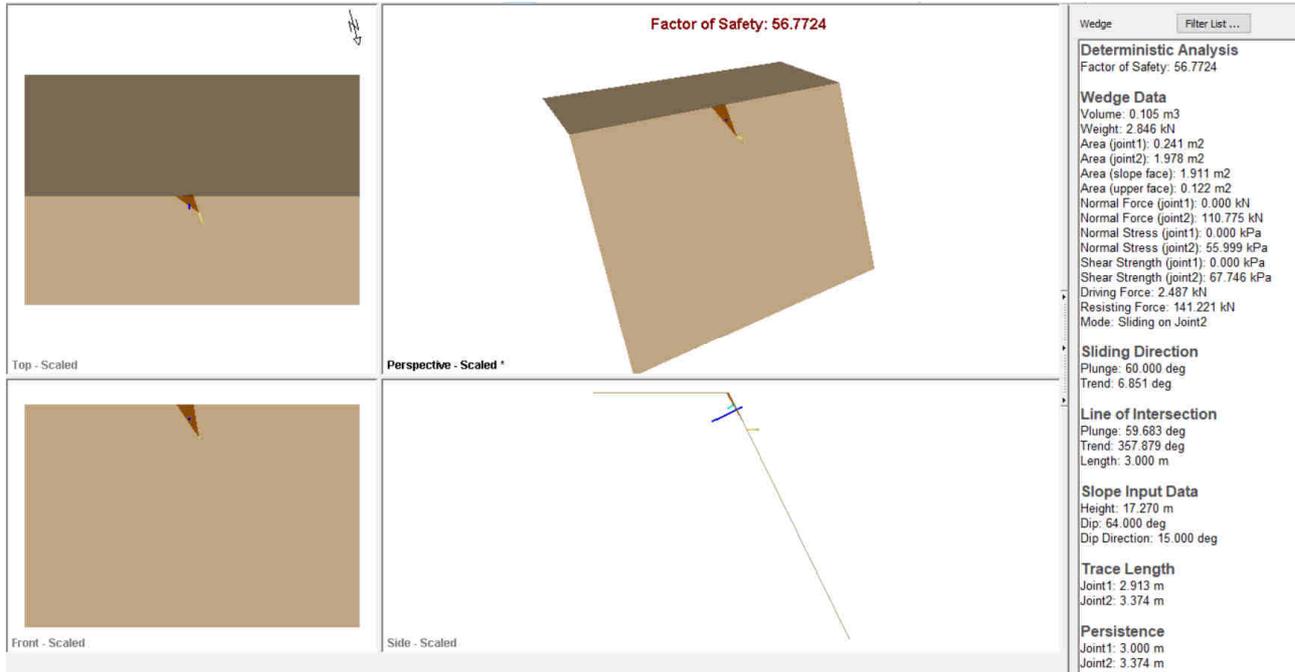


Fig. 75 – Analisi scivolamento cunei – sezione 22 – intersezione critica K2-K7 condizione sismica

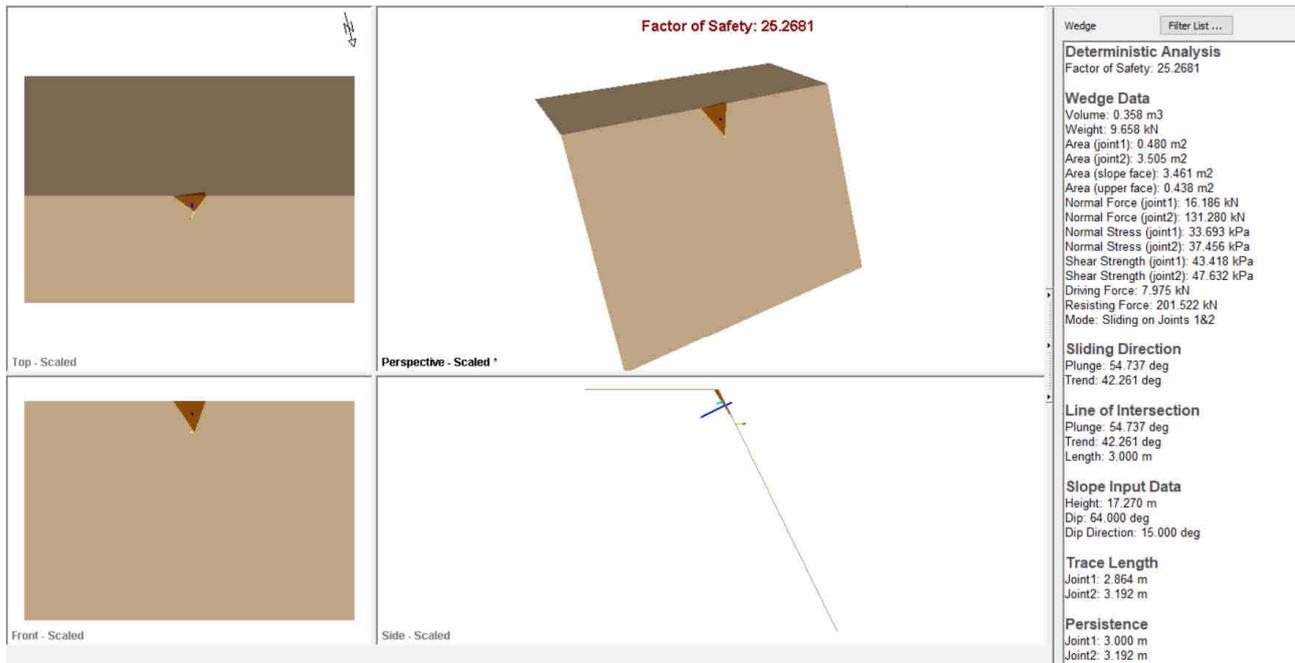


Fig. 76 – Analisi scivolamento cunei – sezione 22 – intersezione critica K5-K7 condizione sismica

APPALTATORE:	 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 87 di 117

Sezione	Intersezione critica	FS statico	FS sismico
22	K2-K7	57.32	56.77
22	K5-K7	25.58	25.27

#### 13.1.4.4. Analisi di equilibrio limite ribaltamento diretto

Le verifiche sono state condotte sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, utilizzando il codice di calcolo RocTople della Rocscience.

Sulla base delle analisi cinematiche svolte, la famiglia di discontinuità che può provocare il fenomeno del ribaltamento diretto è la famiglia K7.

##### Input di calcolo delle analisi:

- Fronte di scavo: 64°/15°
- Piano di scivolamento: K7 (60/7)
- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza alla compressione monoassiale del giunto JCS: 20 MPa
- Scabrezza del giunto JRC: 8
- Angolo di attrito dei giunti : 48° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)
- Spinta dell'acqua: 25% di riempimento

##### Caratteristiche chiodature:

- Lunghezza: 2m
- Resistenza a trazione: 207.8 kN
- Resistenza a taglio: 103.9 kN

##### Risultati delle analisi:

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGGIO. <b>88 di 117</b>

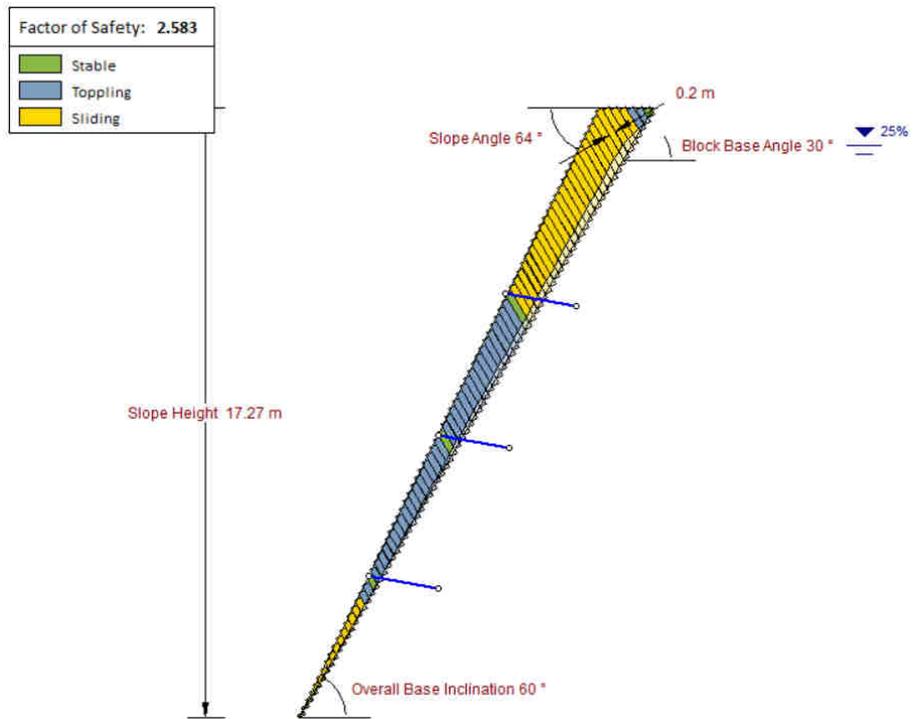


Fig. 77 – Analisi ribaltamento diretto – sezione 22– condizione statica

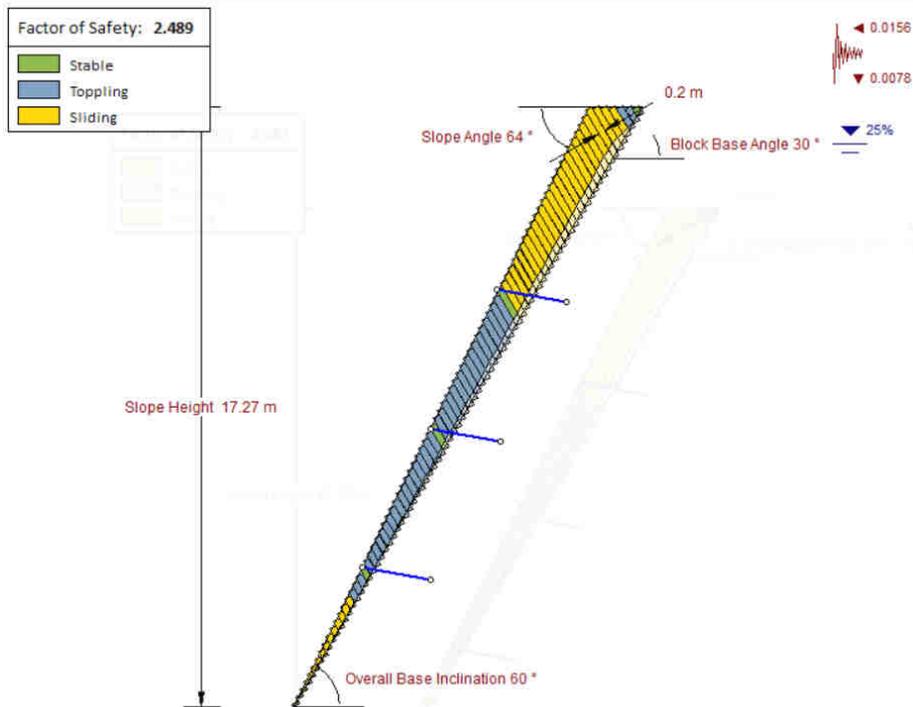


Fig. 78 – Analisi ribaltamento diretto – sezione 22 – condizione sismica

APPALTATORE: <b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>11 – OPERE CIVILI</b> TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 89 di 117

### 13.2 DIMENSIONAMENTO DEI RAFFORZAMENTI CORTICALI

L'intervento di protezione prevede l'impiego di una chiodatura con barre  $\Phi 24$  di lunghezza pari a 2.0 m disposte a maglia quadrata 4.00 x 4.00 m. Le verifiche dei rafforzamenti corticali sono state eseguite mediante il programma MACRO 2.0 della Maccaferri.

Nelle immagini seguenti sono riportati i calcoli di dimensionamento dell'intervento di rafforzamento corticale

condotti nelle seguenti ipotesi:

- Sezione 17

- 1) il versante ha pendenza di circa  $77^\circ$  ed interessa l'unità delle Porfiroidi;
- 2) la resistenza a compressione del giunto JCS = 20 MPa;
- 3) la scabrezza del giunto è stata ipotizzata pari a JRC = 8;
- 4) lo spessore medio della parte corticale allentata è stato assunto pari di 0.3 m;
- 5) il coefficiente sismico orizzontale è stato valutato in accordo con il par. 7.11.3.5.2 delle NTC2008, ( $k_h = 0.0804 \times 0.20 = 0.0161$ ).

#### • Input

##### Rock Slope

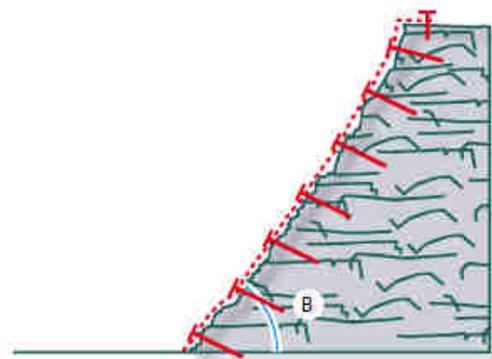
Slope inclination [°]	77
Thickness of the surficial instability [m]	0.30
Density of the rock mass [kN/m <sup>3</sup> ]	27.00
Assumed plasticization between rock and anchor [m]	0.10

##### Most Dangerous Joint

Inclination [°]	7
Compressive Strength JCS [MPa]	20.00
Roughness coefficient JRC	8.00

##### Seismic Acceleration

Horizontal seismic coefficient	0.02
--------------------------------	------



APPALTATORE: <b>webuild</b>   <b>Implenia</b>		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>90 di 117</b>

### Mesh

Mesh type	<b>Steelgrid HR 50</b>
Mesh ultimate tensile strength [kN/m]	122.00
Maximum design displacement [m]	0.30

### Anchor Bars

#### Geometry

Horizontal spacing between the anchors [m]	4.00
Vertical spacing between the anchors [m]	4.00
Inclination of bar to the horizontal [°]	10

#### Anchor Type

Bar type	<b>Steel bars B450C</b>
Bar internal diameter [mm]	0
Bar external diameter [mm]	24
Thickness of corrosion crown [mm]	0
Bar yield stress [MPa]	450.00
Rock-grout adhesion (Bond stress) [MPa]	3.00

### Safety Coefficients

Uncertainty of the thickness of surficial instability	1.20
Uncertainty of the rock mass unit weight	1.00
Uncertainty of rock behavior and weathering	1.00
<b>Safety coefficient to reduce stabilizing forces</b>	1.20
Slope surface morphology	1.10
External loads	1.02
<b>Safety coefficient to increase the driving forces</b>	1.10
<b>Global Safety Coefficient</b>	1.32
Coefficient for the mesh tensile resistance	1.30
Coefficient for the maximum mesh displacement	1.20
Coefficient for the steel bar yield stress	1.15
Coefficient for rock-grout adhesion (bond stress)	1.98

- Sezione 20

- 1) il versante ha pendenza di circa 73° ed interessa l'unità delle Porfiroidi;
- 2) la resistenza a compressione del giunto JCS = 20 MPa;
- 3) la scabrezza del giunto è stata ipotizzata pari a JRC = 8;
- 4) lo spessore medio della parte corticale allentata è stato assunto pari di 0.3 m;
- 5) il coefficiente sismico orizzontale è stato valutato in accordo con il par. 7.11.3.5.2 delle NTC2008, ( $k_h = 0.0804 \times 0.20 = 0.0161$ ).

### Input

#### Rock Slope

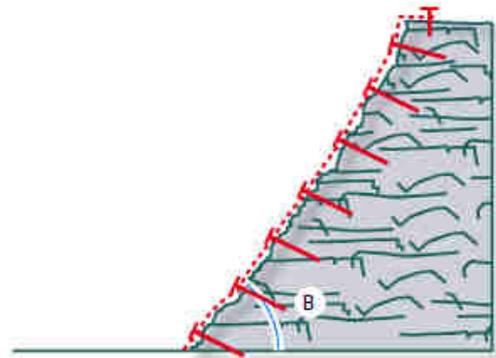
Slope inclination [°]	73
Thickness of the surficial instability [m]	0.30
Density of the rock mass [kN/m <sup>3</sup> ]	27.00
Assumed plasticization between rock and anchor [m]	0.10

#### Most Dangerous Joint

Inclination [°]	7
Compressive Strength JCS [MPa]	20.00
Roughness coefficient JRC	8.00

#### Seismic Acceleration

Horizontal seismic coefficient	0.02
--------------------------------	------



APPALTATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 91 di 117

### Mesh

Mesh type	<b>Steelgrid HR 50</b>
Mesh ultimate tensile strength [kN/m]	122.00
Maximum design displacement [m]	0.30

### Anchor Bars

#### Geometry

Horizontal spacing between the anchors [m]	4.00
Vertical spacing between the anchors [m]	4.00
Inclination of bar to the horizontal [°]	10

#### Anchor Type

Bar type	<b>Steel bars B450C</b>
Bar internal diameter [mm]	0
Bar external diameter [mm]	24
Thickness of corrosion crown [mm]	0
Bar yield stress [MPa]	450.00
Rock-grout adhesion (Bond stress) [MPa]	3.00

### Safety Coefficients

Uncertainty of the thickness of surficial instability	1.20
Uncertainty of the rock mass unit weight	1.00
Uncertainty of rock behavior and weathering	1.00
<b>Safety coefficient to reduce stabilizing forces</b>	1.20
Slope surface morphology	1.10
External loads	1.02
<b>Safety coefficient to increase the driving forces</b>	1.10
<b>Global Safety Coefficient</b>	1.32
Coefficient for the mesh tensile resistance	1.30
Coefficient for the maximum mesh displacement	1.20
Coefficient for the steel bar yield stress	1.15
Coefficient for rock-grout adhesion (bond stress)	1.98

- Sezione 22

- 1) il versante ha pendenza di circa 64° ed interessa l'unità delle Porfiroidi;
- 2) la resistenza a compressione del giunto JCS = 20 MPa;
- 3) la scabrezza del giunto è stata ipotizzata pari a JRC = 8;
- 4) lo spessore medio della parte corticale allentata è stato assunto pari di 0.3 m;
- 5) il coefficiente sismico orizzontale è stato valutato in accordo con il par. 7.11.3.5.2 delle NTC2008, ( $k_h = 0.0804 \times 0.20 = 0.0161$ ).

### • Input

#### Rock Slope

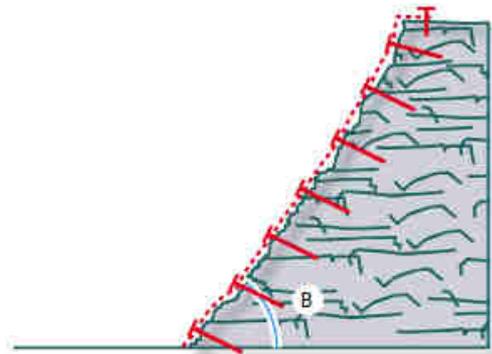
Slope inclination [°]	64
Thickness of the surficial instability [m]	0.30
Density of the rock mass [kN/m³]	27.00
Assumed plasticization between rock and anchor [m]	0.10

#### Most Dangerous Joint

Inclination [°]	7
Compressive Strength JCS [MPa]	20.00
Roughness coefficient JRC	8.00

#### Seismic Acceleration

Horizontal seismic coefficient	0.02
--------------------------------	------



APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:		PROGETTO ESECUTIVO				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 92 di 117

### Mesh

Mesh type	<b>Steelgrid HR 50</b>
Mesh ultimate tensile strength [kN/m]	122.00
Maximum design displacement [m]	0.30

### Anchor Bars

#### Geometry

Horizontal spacing between the anchors [m]	4.00
Vertical spacing between the anchors [m]	4.00
Inclination of bar to the horizontal [°]	10

#### Anchor Type

Bar type	<b>Steel bars B450C</b>
Bar internal diameter [mm]	0
Bar external diameter [mm]	24
Thickness of corrosion crown [mm]	0
Bar yield stress [MPa]	450.00
Rock-grout adhesion (Bond stress) [MPa]	3.00

### Safety Coefficients

Uncertainty of the thickness of surficial instability	1.20
Uncertainty of the rock mass unit weight	1.00
Uncertainty of rock behavior and weathering	1.00
<b>Safety coefficient to reduce stabilizing forces</b>	1.20
Slope surface morphology	1.10
External loads	1.02
<b>Safety coefficient to increase the driving forces</b>	1.10
<b>Global Safety Coefficient</b>	1.32
Coefficient for the mesh tensile resistance	1.30
Coefficient for the maximum mesh displacement	1.20
Coefficient for the steel bar yield stress	1.15
Coefficient for rock-grout adhesion (bond stress)	1.98

APPALTATORE:	<b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b> TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 93 di 117

## 14. CONFRONTO PD – PE

Nel seguente capitolo viene riportato il confronto tra l'analisi geomeccanica effettuata in fase di Progetto Definitivo e la successiva analisi geomeccanica eseguita in fase di Progetto Esecutivo.

Come riferimento al Progetto Definitivo, si sono considerate le stazioni geomeccaniche STOP 1138 e STOP 1154, le principali famiglie rilevate da ciascuna stazione sono le seguenti:

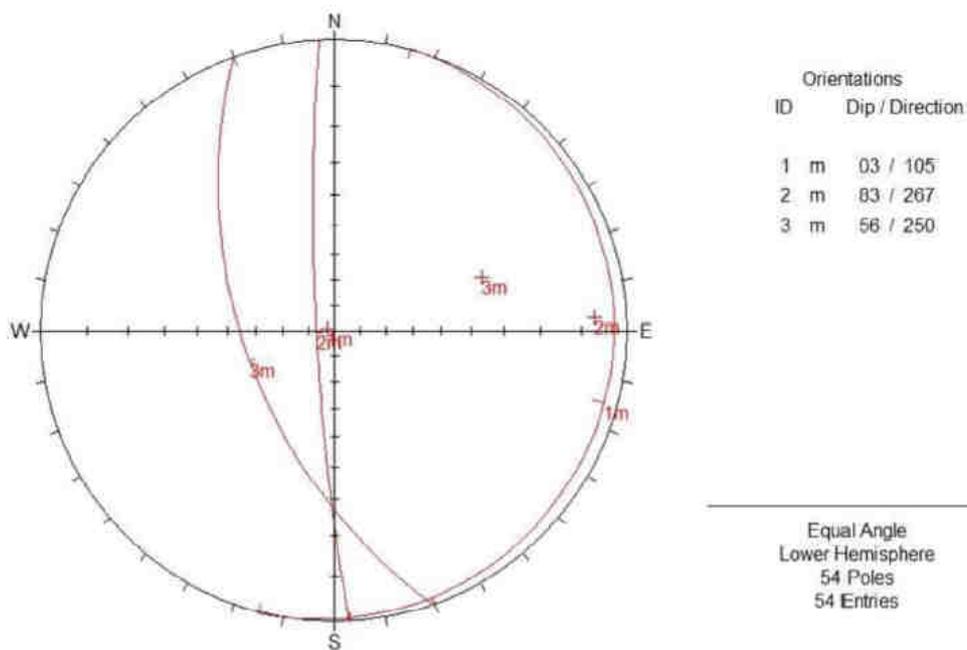


Fig. 79 – Famiglie principali STOP 1138

APPALTATORE:	<b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	IBOU	1BEZZ	CL	NV0620003	A	94 di 117

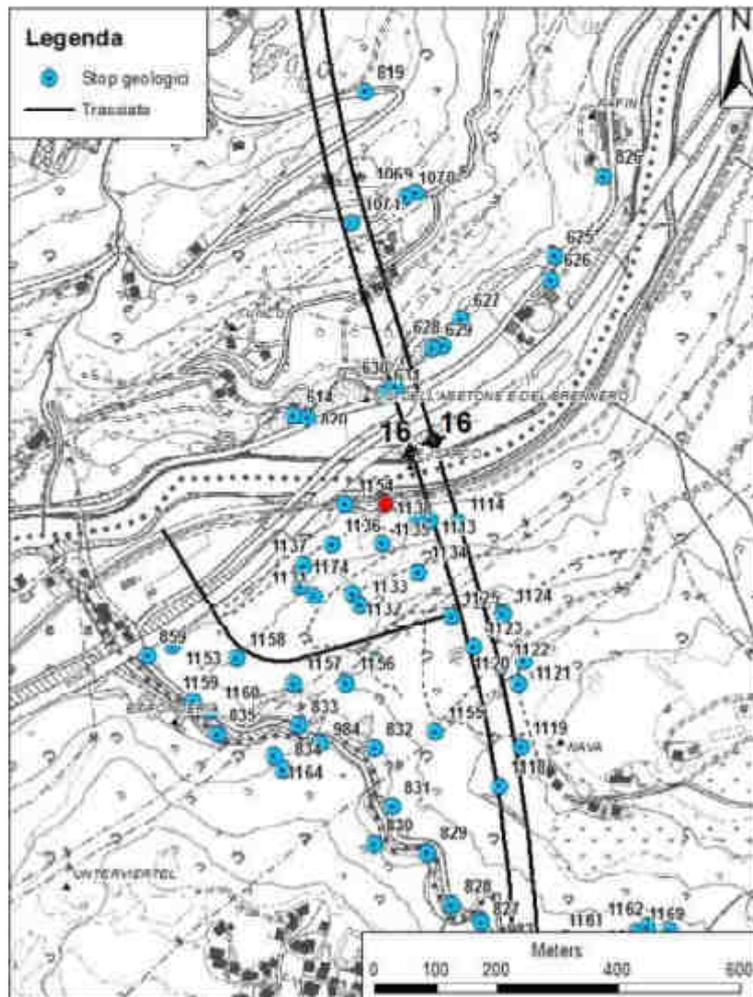


Fig. 80 – ubicazione stazione geomecnica STOP 1138

APPALTATORE:	<b>webuild</b>   <b>Implenia</b>	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 95 di 117

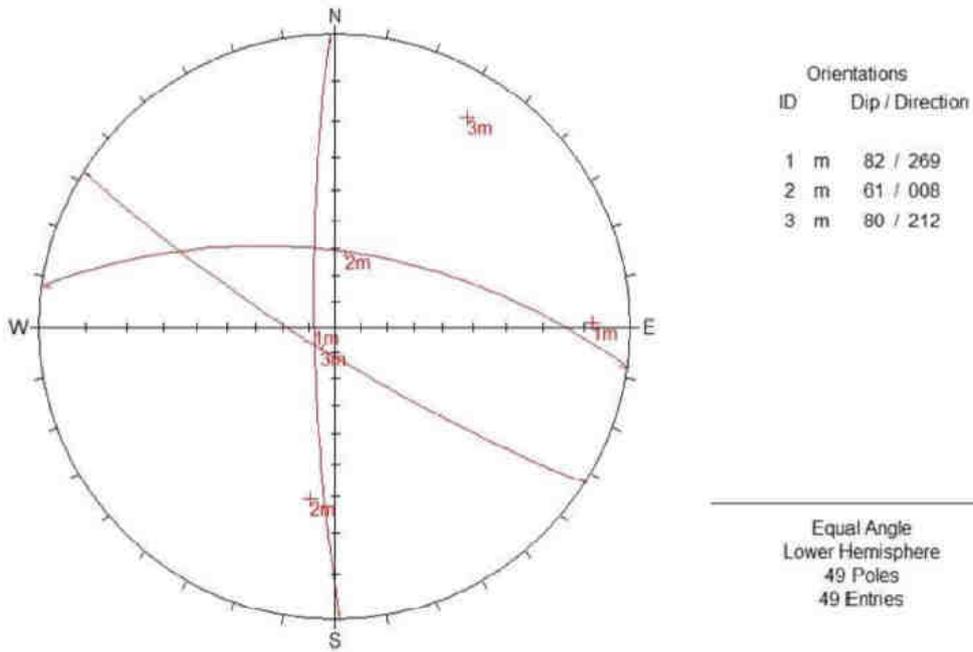


Fig. 81 – Famiglie principali STOP 1154

APPALTATORE:	<b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 96 di 117

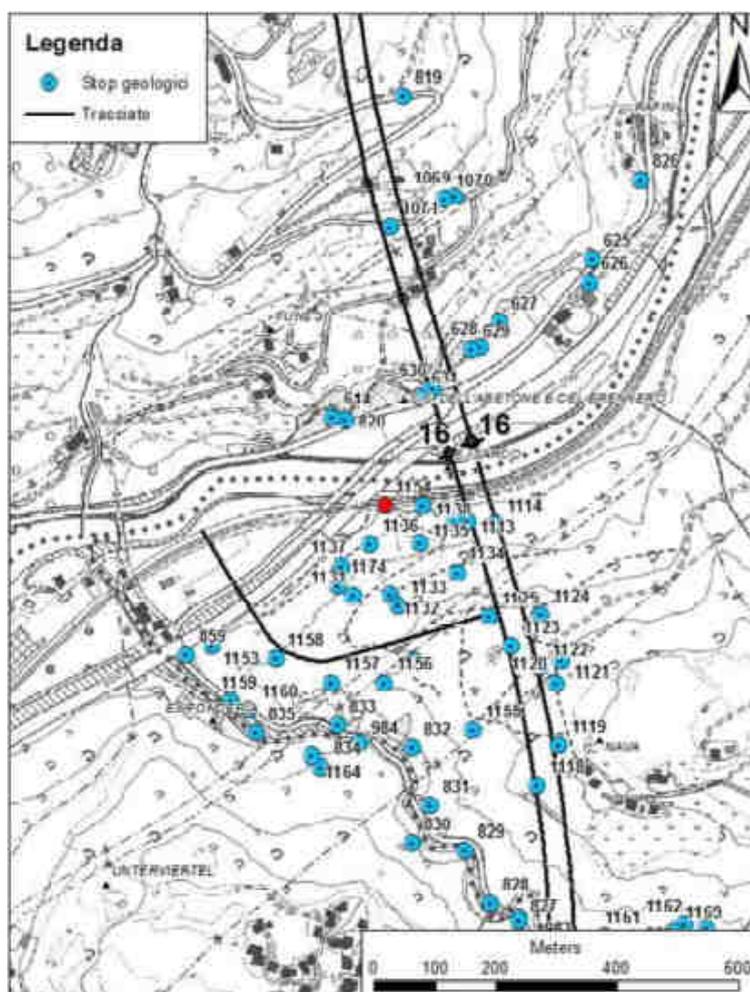


Fig. 82 – ubicazione stazione geomeccanica STOP 1154

Come si può osservare, la differenza tra le principali famiglie rilevate in fase definitiva e le principali famiglie rilevate in fase esecutiva, riportate nel capitolo precedente, è dell'ordine di qualche grado, questo permette di assumere come coincidenti le famiglie misurate. Invece le famiglie 03/105 del rilievo STOP 1138 e 80/212 del rilievo STOP 1154 non presentano riscontro con i risultati dei rilievi successivamente eseguiti, per questo motivo queste due famiglie sono state inserite nell'analisi cinematiche in aggiunta alle famiglie rilevate in fase esecutiva.

Di seguito si riportano i risultati delle analisi cinematiche aggiuntive dovute alla unione delle discontinuità rilevate nelle diverse fasi progettuali per ciascuna sezione di calcolo:

Sezione	Cinematismo	Confronto PD-PE
17	Scivolamento planare	-
	Scivolamento a cuneo	PD_1154 (80/212) - K7 (60/7)

APPALTATORE:	<b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:						
Mandataria:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	<b>IBOU</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>NV0620003</b>	<b>A</b>	<b>97 di 117</b>

	Ribaltamento flessurale	PD_1154 (80/212)
	Ribaltamento diretto	-
20	Scivolamento planare	-
	Scivolamento a cuneo	PD_1154 (80/212) - K7 (60/7)
	Ribaltamento flessurale	PD_1154 (80/212)
	Ribaltamento diretto	-
22	Scivolamento planare	-
	Scivolamento a cuneo	-
	Ribaltamento flessurale	PD_1154 (80/212)
	Ribaltamento diretto	-

Tabella 6 - Sintesi dei risultati analisi cinematiche confronto PD-PE per il versante

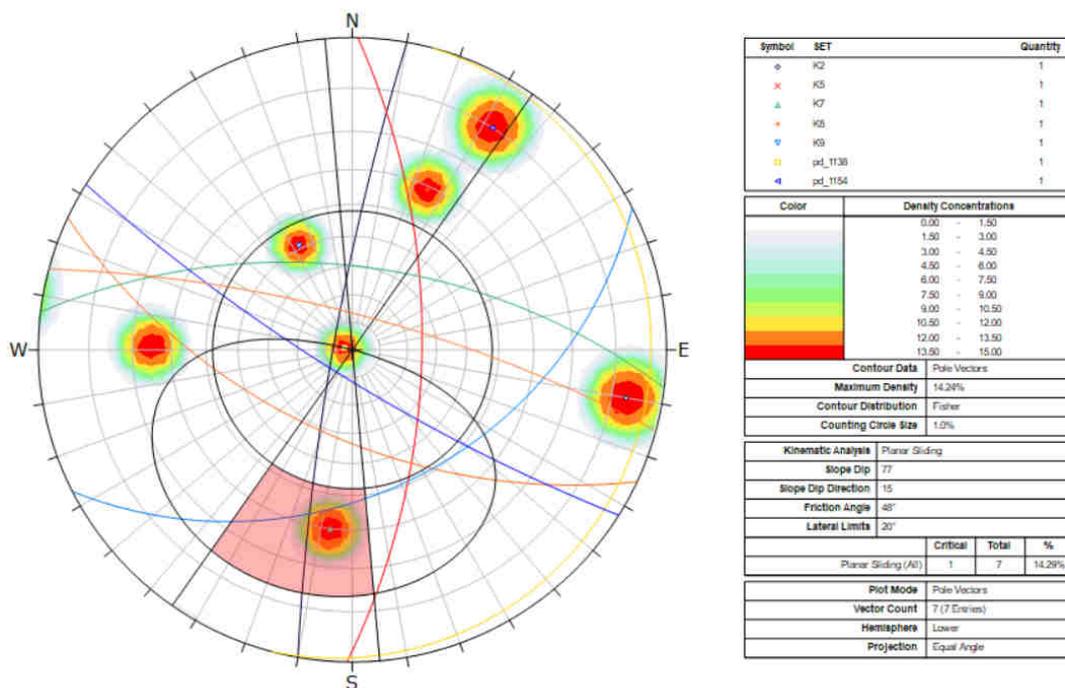


Fig. 83 – Analisi cinematica confronto PD-PE – scivolamento planare – Sezione 17

APPALTATORE:	<b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandataria:	<b>SWS Engineering S.p.A.</b>	Mandanti:	<b>PINI ITALIA</b>	<b>GDP GEOMIN</b>	<b>SIFEL SIST</b>	
			<b>M Ingegneria</b>			
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	<b>IBOU</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>NV0620003</b>	<b>A</b>	<b>98 di 117</b>

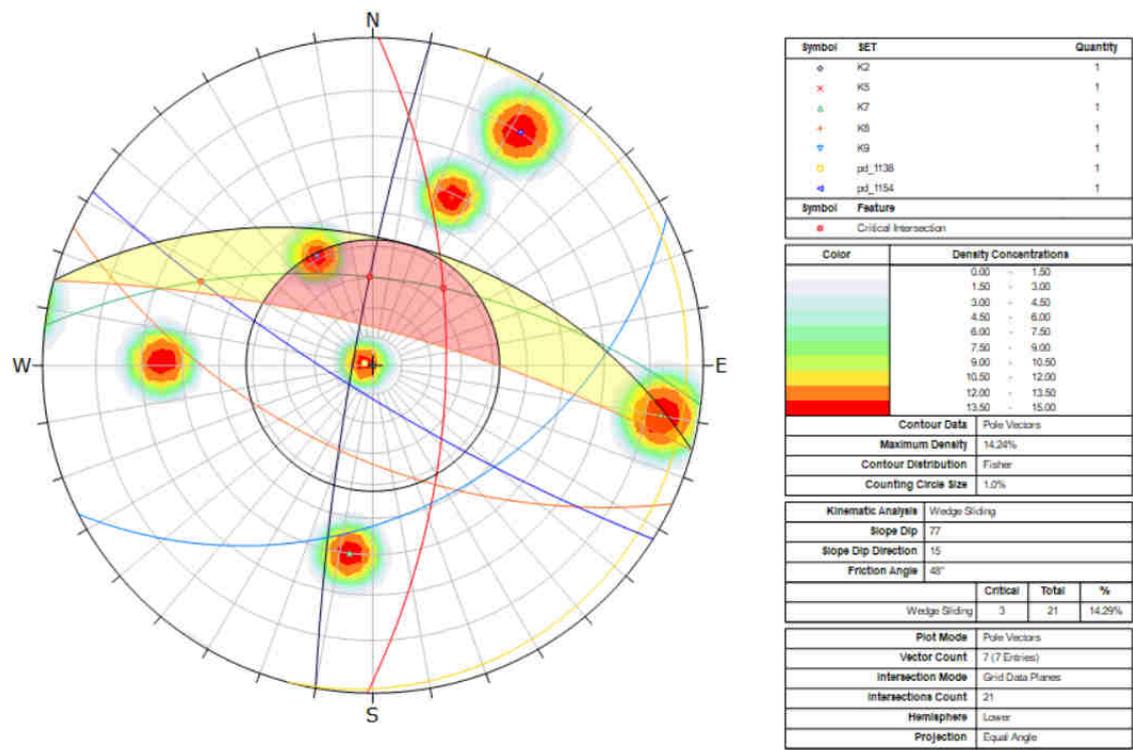


Fig. 84 – Analisi cinematica confronto PD-PE – scivolamento a cunei – Sezione 17

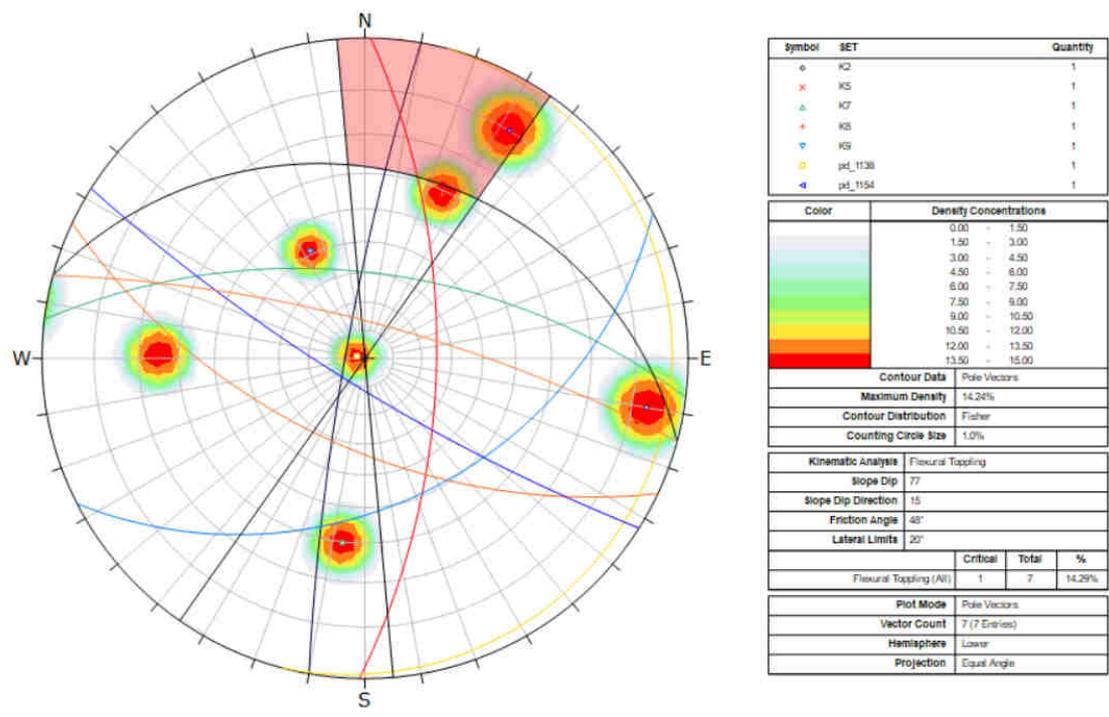


Fig. 85 -- Analisi cinematica confronto PD-PE – ribaltamento flessurale – Sezione 17

APPALTATORE:	<b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandataria:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	IBOU	1BEZZ	CL	NV0620003	A	99 di 117

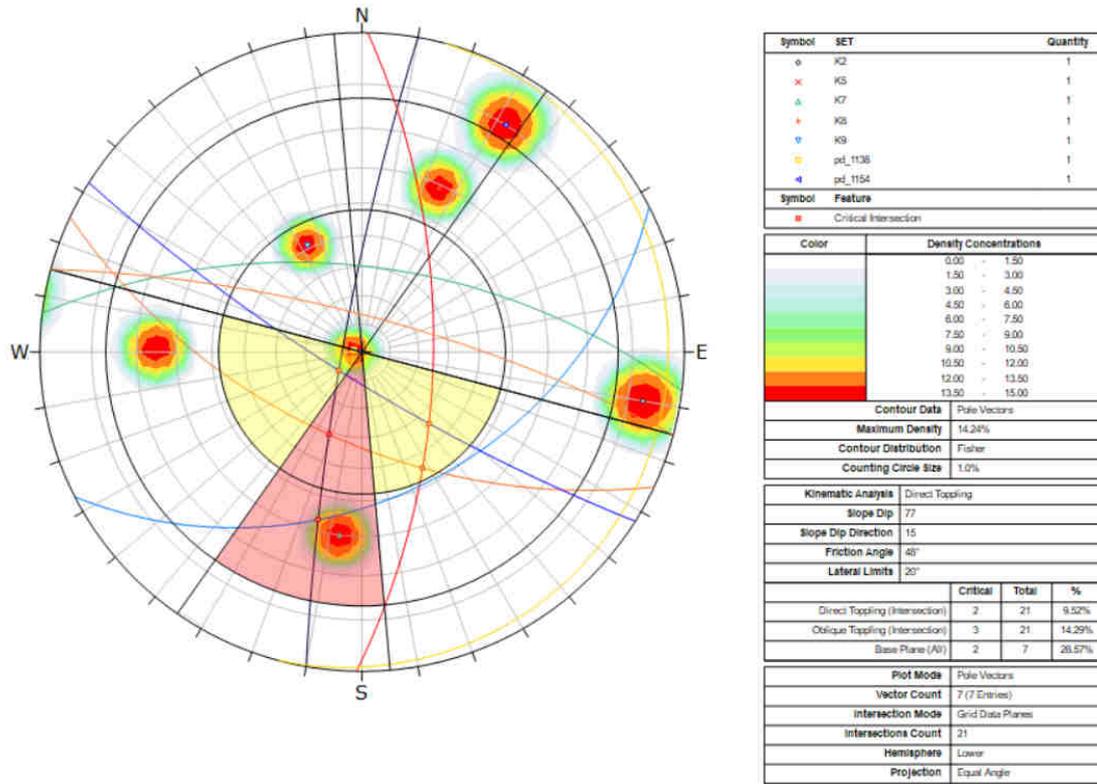


Fig. 86 – Analisi cinematica confronto PD-PE – ribaltamento diretto – Sezione 17

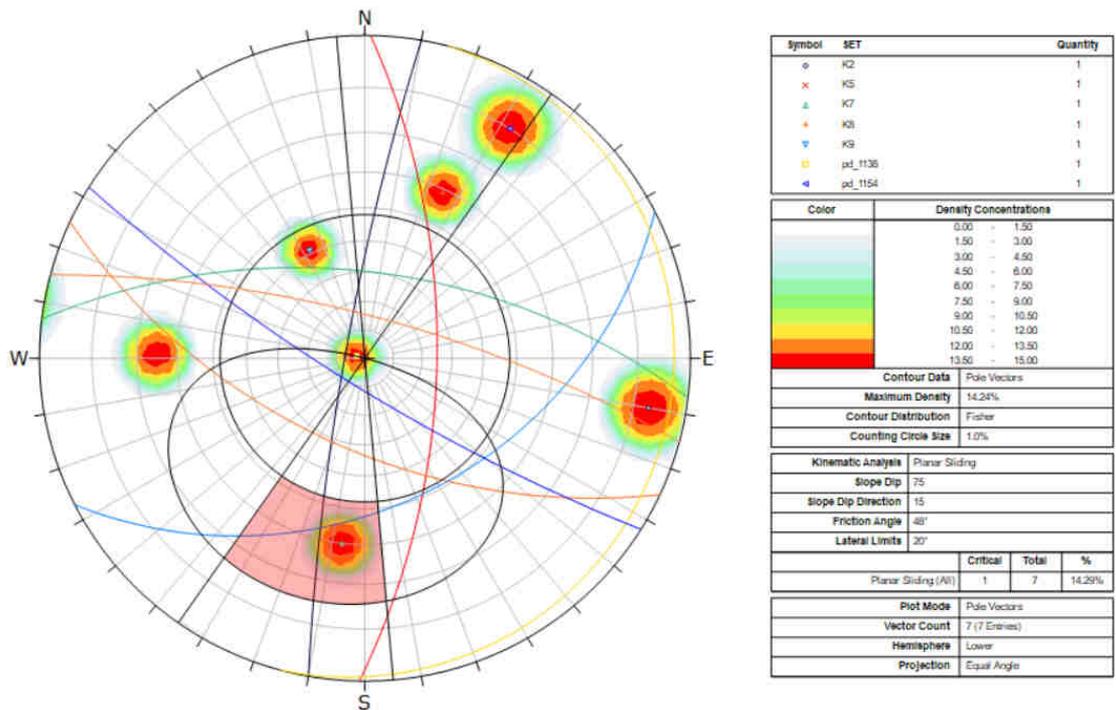


Fig. 87 – Analisi cinematica confronto PD-PE – scivolamento planare – Sezione 20

APPALTATORE:	<b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	<b>IBOU</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>NV0620003</b>	<b>A</b>	<b>100 di 117</b>

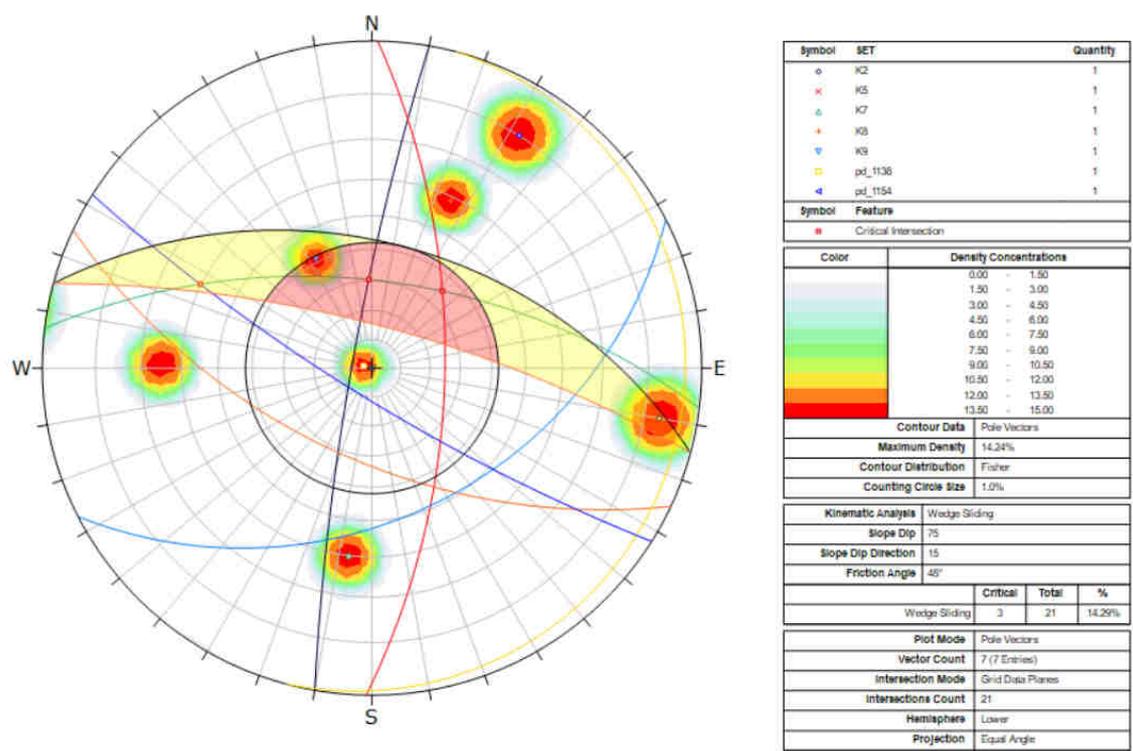


Fig. 88 – Analisi cinematica confronto PD-PE – scivolamento a cunei – Sezione 20

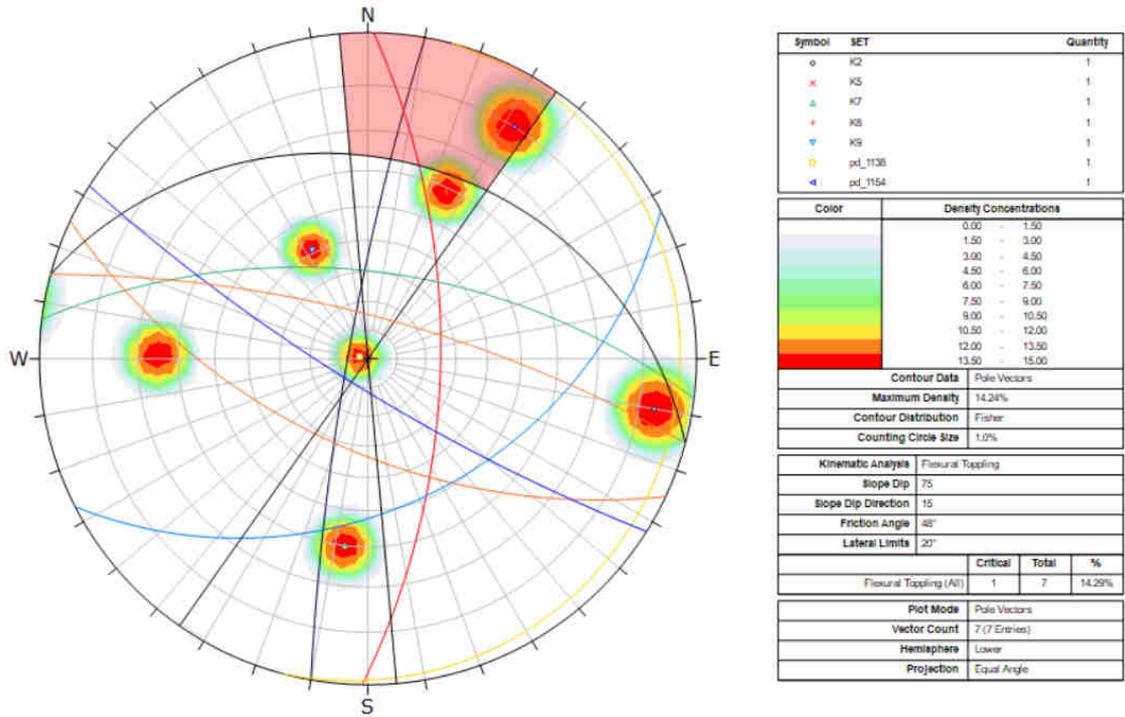


Fig. 89 – Analisi cinematica confronto PD-PE – ribaltamento flessurale – Sezione 20

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>101 di 117</b>

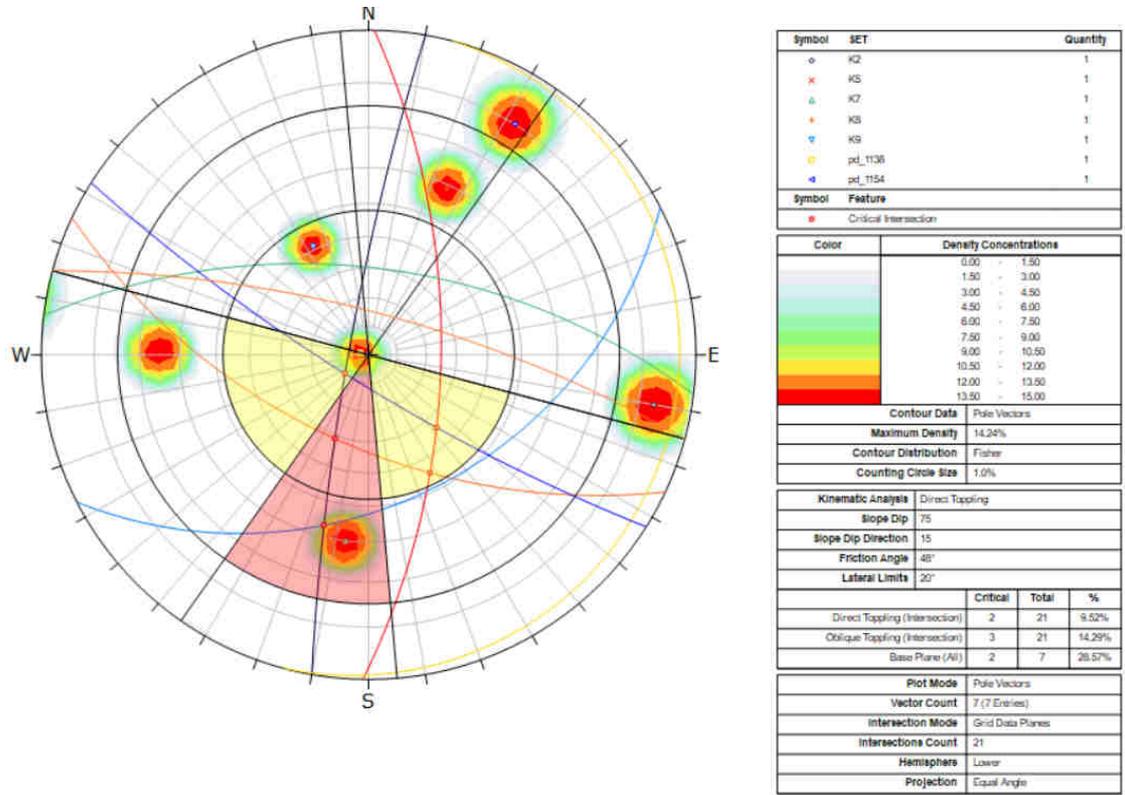


Fig. 90 – Analisi cinematica confronto PD-PE – ribaltamento diretto – Sezione 20

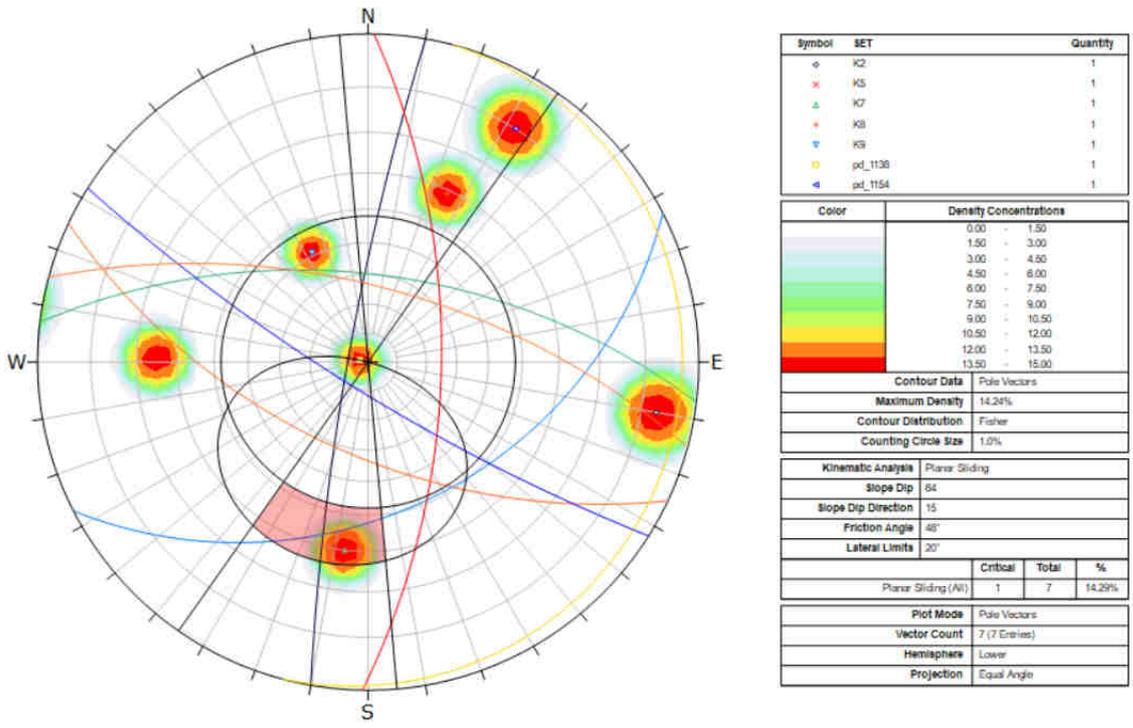


Fig. 91 – Analisi cinematica confronto PD-PE – scivolamento planare – Sezione 22

APPALTATORE:	<b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:	Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 102 di 117

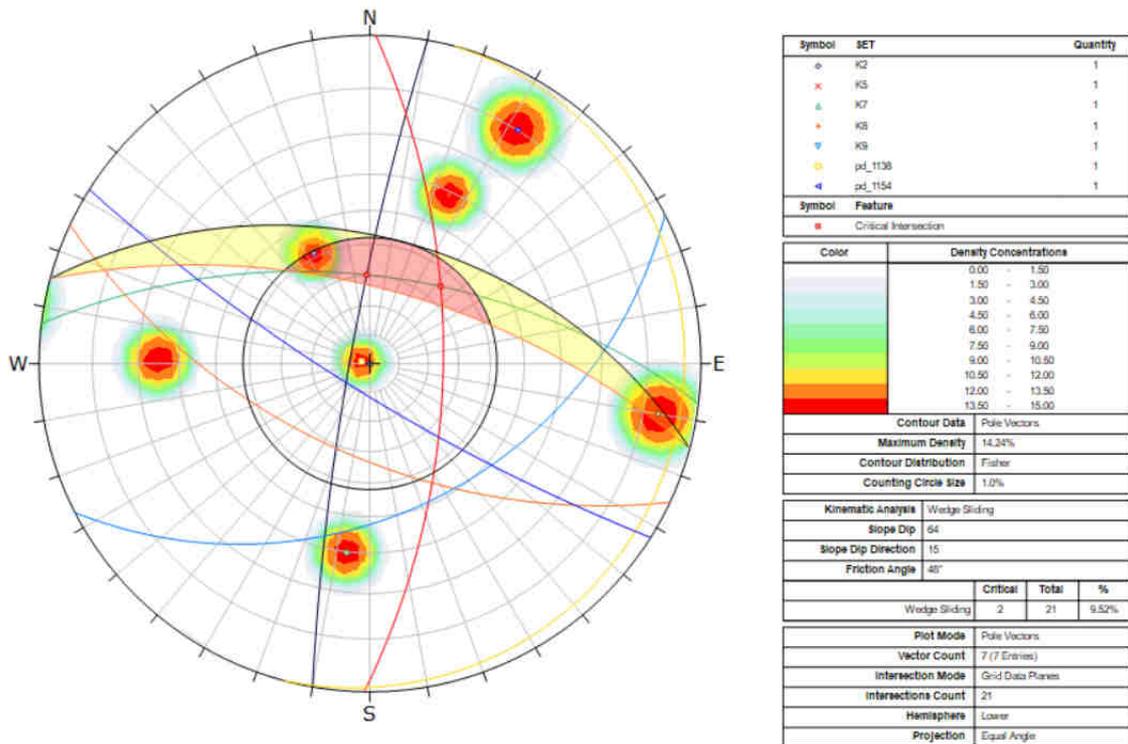


Fig. 92 – Analisi cinematica confronto PD-PE – scivolamento a cunei – Sezione 22

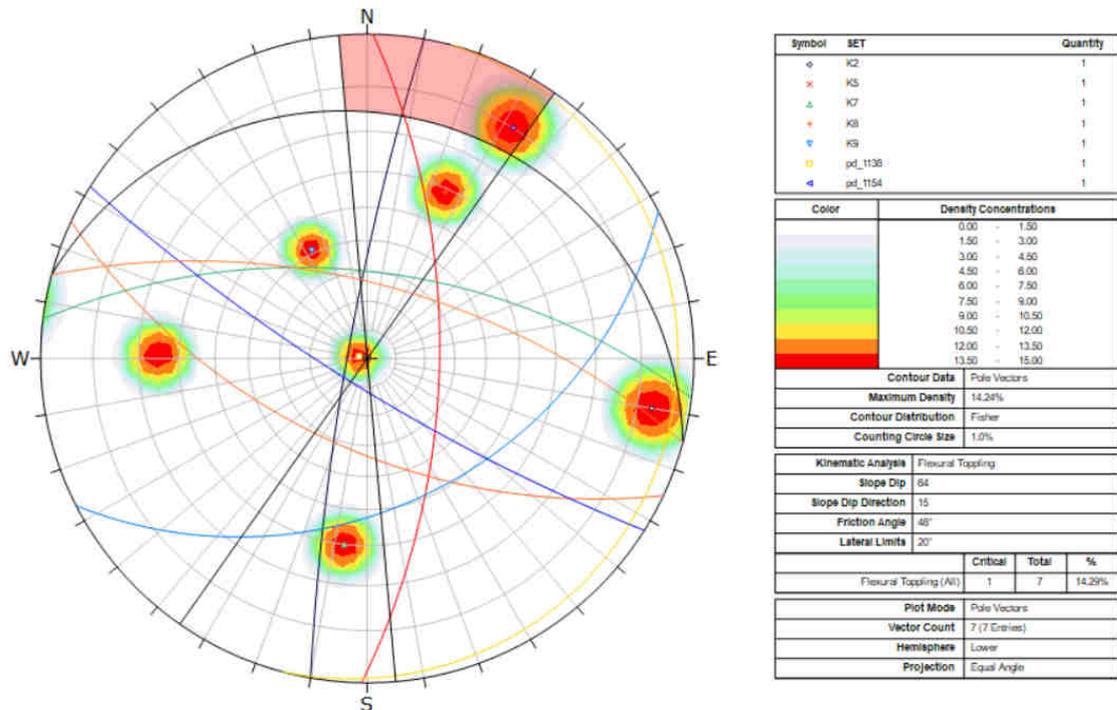


Fig. 93 – Analisi cinematica confronto PD-PE – ribaltamento flessurale – Sezione 22

APPALTATORE: <b>webuild</b>  	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandatari: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>			
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>103 di 117</b>

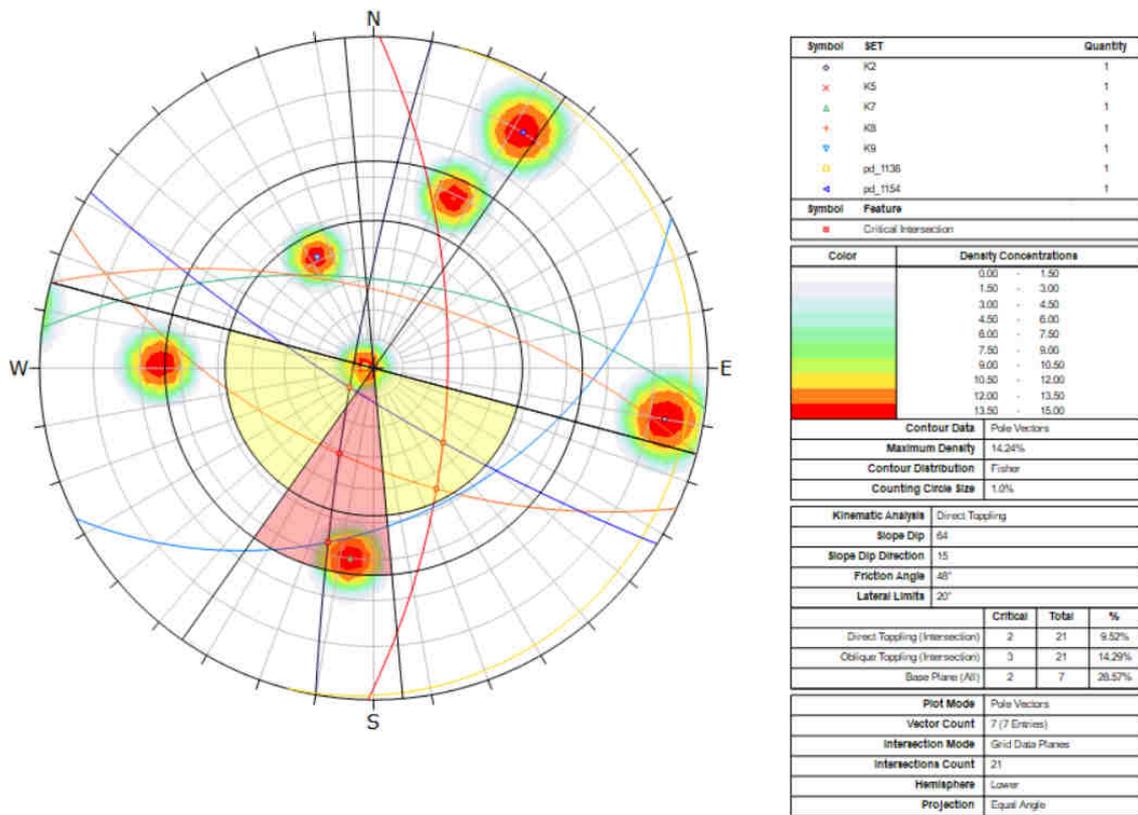


Fig. 94 – Analisi cinematica confronto PD-PE – ribaltamento diretto – Sezione 22

#### 14.1.1 Analisi cinematici sezione 17

Nel presente capitolo sono riportate le verifiche di stabilità per la sezione di progetto n. 17. Nel seguito si riportano le verifiche aggiuntive rispetto a quelle precedentemente riportate nel presente report, date dal confronto tra le discontinuità rilevate mediante il rilievo ST03 e le discontinuità rilevate dai rilievi geomeccanici effettuati in fase di Progetto Definitivo. Di seguito si riportano i cinematici aggiuntivi da considerare:

<b>Cinematismo</b>	<b>Confronto PD-PE</b>
Scivolamento planare	-
Scivolamento a cuneo	PD_1154 (80/212) - K7 (60/7)
Ribaltamento flessurale	PD_1154 (80/212)
Ribaltamento diretto	-

APPALTATORE:	 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	<b>IBOU</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>NV0620003</b>	<b>A</b>	<b>104 di 117</b>

#### 14.1.1.1. Analisi di equilibrio limite dei cunei potenzialmente instabili

Le verifiche sono state condotte sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, utilizzando il codice di calcolo Swedge della Rocscience.

Le verifiche sono state eseguite solo per lo strato inferiore con pendenza pari a 86°. Per lo strato superiore con pendenza pari a 70° le verifiche non vengono riportate in quanto dai calcoli risulta che non si formi alcun cuneo.

#### Input di calcolo delle analisi:

- Fronte di scavo: 86°/15°
- Piano di scivolamento: K7 (60/7)
- Piano di scivolamento: PD\_1154 (80/212)
- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza alla compressione monoassiale del giunto JCS: 20 MPa
- Scabrezza del giunto JRC: 8
- Angolo di attrito dei giunti : 48° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)
- Spinta dell'acqua: 25% di riempimento

#### Caratteristiche chiodature:

- Lunghezza: 2m
- Resistenza a trazione: 207.8 kN
- Resistenza a taglio: 103.9 kN

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandatario: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>105 di 117</b>

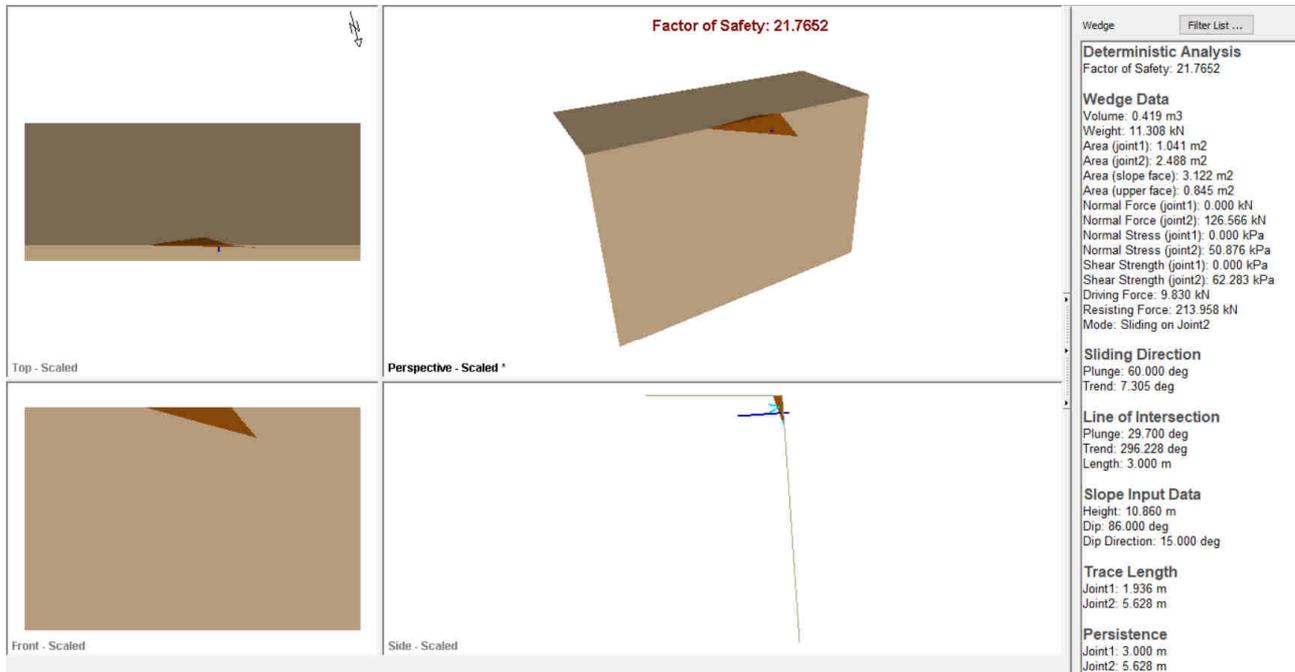


Fig. 95 – Analisi scivolamento cunei – sezione 17 – intersezione critica PD\_1154-K7 condizione statica

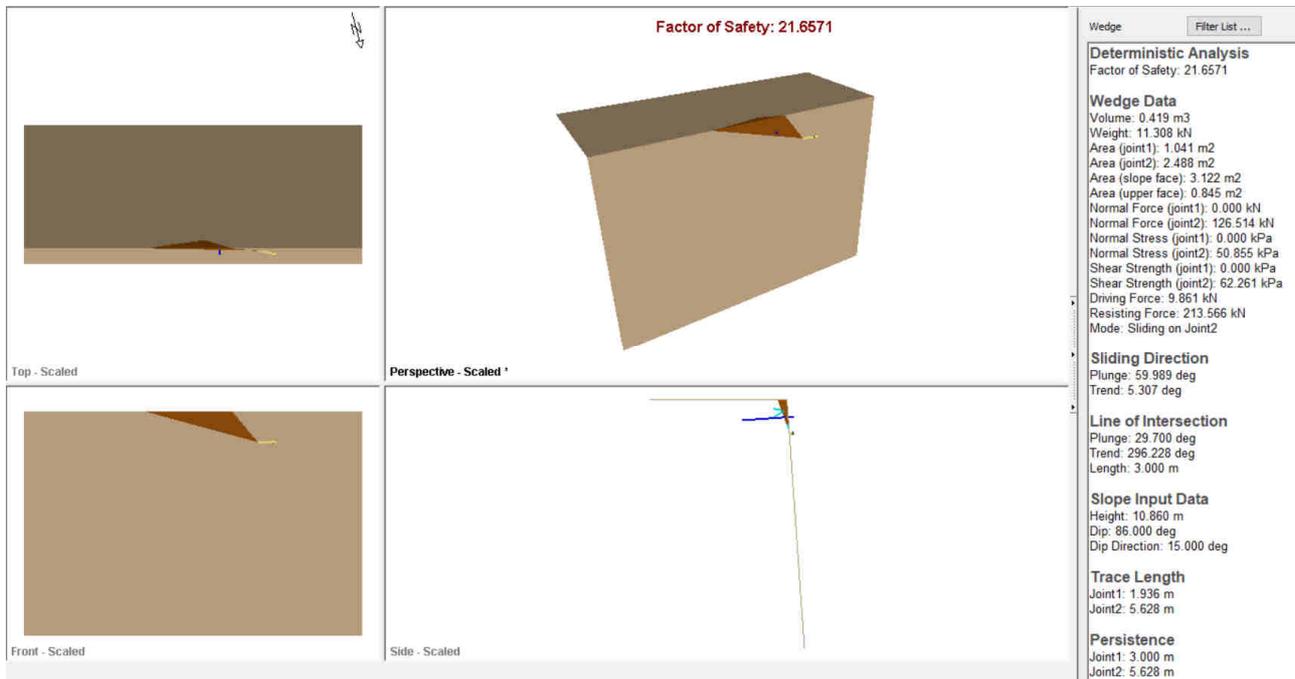


Fig. 96 – Analisi scivolamento cunei – sezione 17 – intersezione critica PD\_1154-K7 condizione sismica

APPALTATORE:	 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	PROGETTO ESECUTIVO				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 106 di 117

Sezione	Intersezione critica	FS statico	FS sismico
17	PD_1154-K7	21.77	21.56

#### 14.1.1.2. Analisi di equilibrio limite ribaltamento flessurale

Le verifiche sono state condotte sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, utilizzando il codice di calcolo RocTopple della Rocscience.

##### Input di calcolo delle analisi:

- Fronte di scavo: 86°/15°
- Piano di scivolamento: PD\_1154 (80/212)
- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza alla compressione monoassiale del giunto JCS: 20 MPa
- Scabrezza del giunto JRC: 8
- Angolo di attrito dei giunti : 48° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)
- Spinta dell'acqua: 25% di riempimento

##### Caratteristiche chiodature:

- Lunghezza: 2m
- Resistenza a trazione: 207.8 kN
- Resistenza a taglio: 103.9 kN

APPALTATORE: <b>webuild</b>   <b>Implenia</b>		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO				
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 107 di 117

Factor of Safety: <b>6.839</b>
 Stable
 Toppling
 Sliding

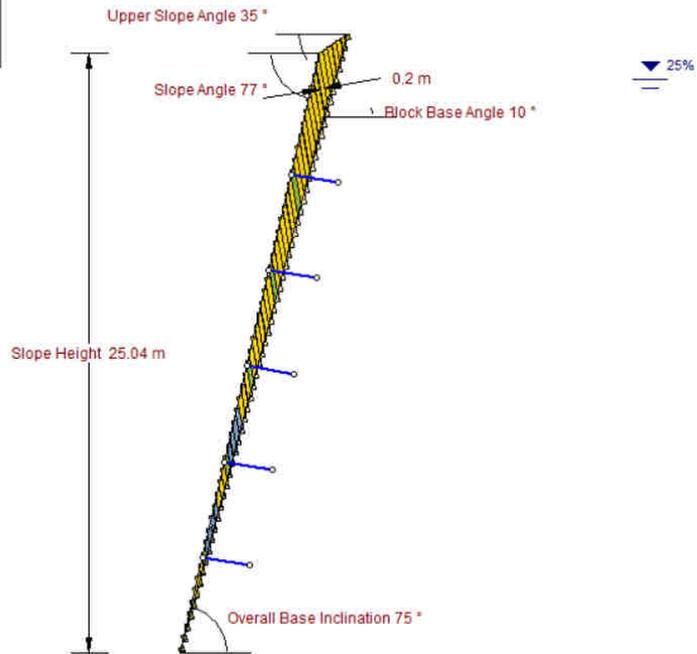


Fig. 97 – Analisi ribaltamento diretto – sezione 17 – condizione statica

Factor of Safety: <b>6.328</b>
 Stable
 Toppling
 Sliding

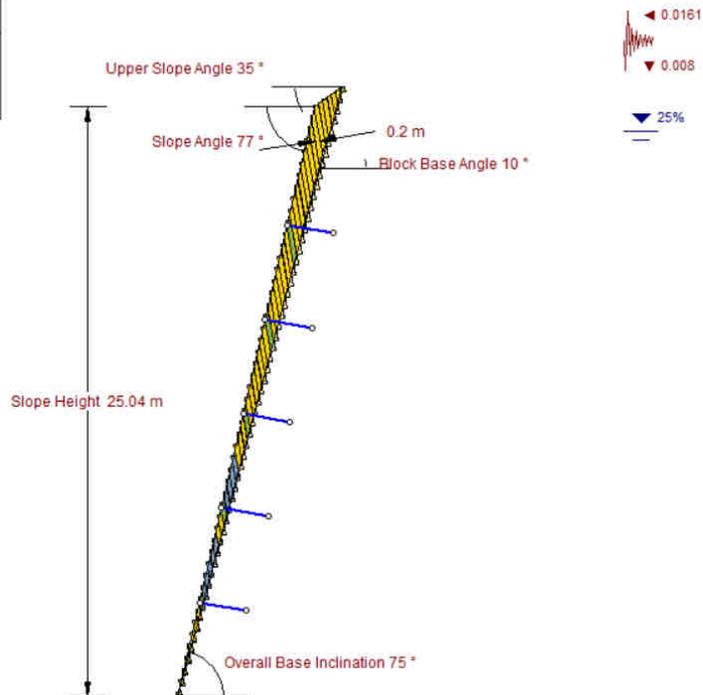


Fig. 98 – Analisi ribaltamento diretto – sezione 17 – condizione sismica

APPALTATORE:	 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	<b>IB0U</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>NV0620003</b>	<b>A</b>	<b>108 di 117</b>

#### 14.1.2 Analisi cinematici sezione 20

Nel presente capitolo sono riportate le verifiche di stabilità per la sezione di progetto n. 20. Nel seguito si riportano le verifiche aggiuntive rispetto a quelle precedentemente riportate nel presente report, date dal confronto tra le discontinuità rilevate mediante il rilievo ST03 e le discontinuità rilevate dai rilievi geomeccanici effettuati in fase di Progetto Definitivo. Di seguito si riportano i cinematici aggiuntivi da considerare:

<b>Cinematismo</b>	<b>Confronto PD-PE</b>
Scivolamento planare	-
Scivolamento a cuneo	PD_1154 (80/212) - K7 (60/7)
Ribaltamento flessurale	PD_1154 (80/212)
Ribaltamento diretto	-

##### 14.1.2.1. Analisi di equilibrio limite dei cunei potenzialmente instabili

Le verifiche sono state condotte sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, utilizzando il codice di calcolo Swedge della Rocscience.

##### Input di calcolo delle analisi:

- Fronte di scavo: 75°/15°
- Piano di scivolamento: K7 (60/7)
- Piano di scivolamento: PD\_1154 (80/212)
- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza alla compressione monoassiale del giunto JCS: 20 MPa
- Scabrezza del giunto JRC: 8
- Angolo di attrito dei giunti : 48° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)
- Spinta dell'acqua: 25% di riempimento

##### Caratteristiche chiodature:

- Lunghezza: 2m
- Resistenza a trazione: 207.8 kN
- Resistenza a taglio: 103.9 kN

APPALTATORE: <b>webuild</b>  		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>109 di 117</b>

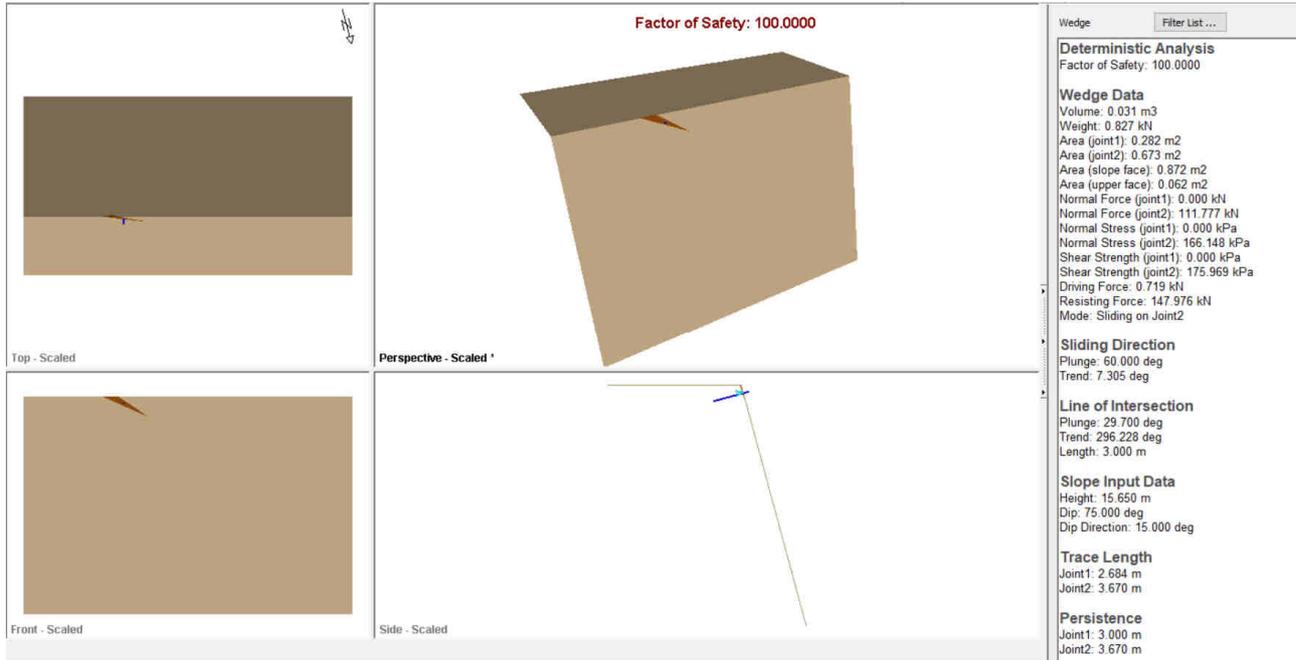


Fig. 99 – Analisi scivolamento cunei – sezione 20 – intersezione critica PD\_1154-K7 condizione statica

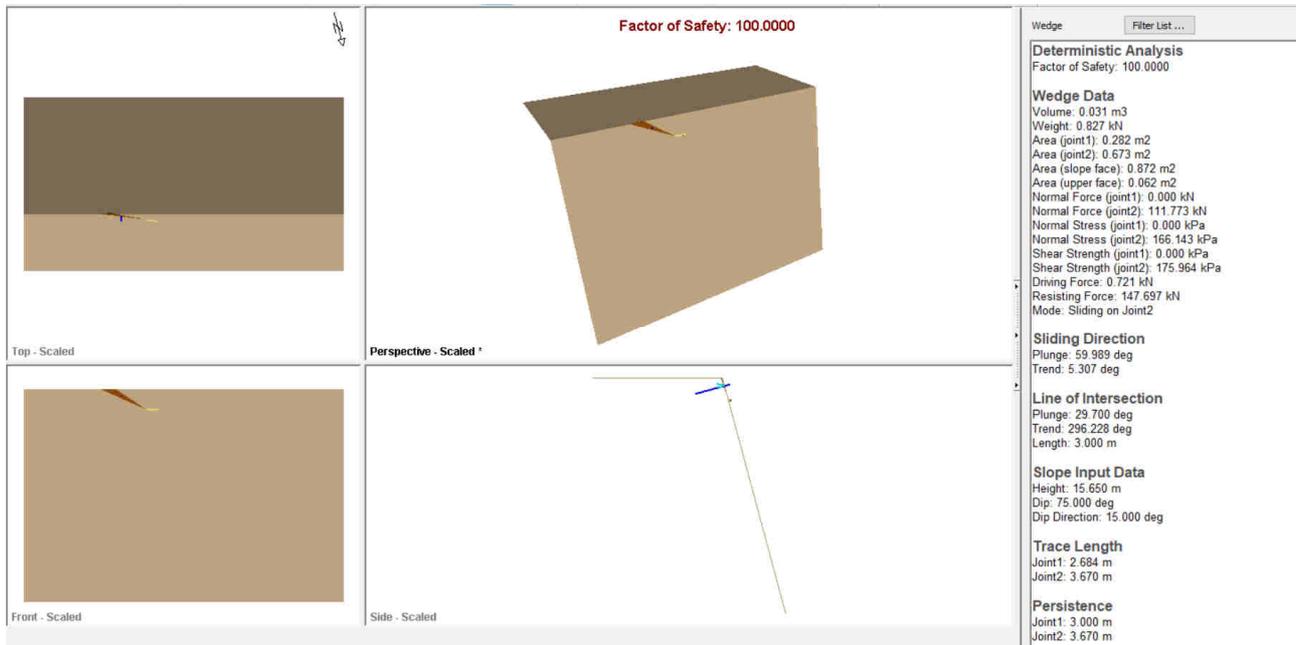


Fig. 100 – Analisi scivolamento cunei – sezione 20 – intersezione critica PD\_1154-K7 condizione sismica

APPALTATORE:  	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO			
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 110 di 117

Sezione	Intersezione critica	FS statico	FS sismico
20	PD_1154-K7	100	100

#### 14.1.2.2. Analisi di equilibrio limite ribaltamento flessurale

Le verifiche sono state condotte sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, utilizzando il codice di calcolo RocTopple della Rocscience.

##### Input di calcolo delle analisi:

- Fronte di scavo: 75°/15°
- Piano di scivolamento: PD\_1154 (80/212)
- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza alla compressione monoassiale del giunto JCS: 20 MPa
- Scabrezza del giunto JRC: 8
- Angolo di attrito dei giunti : 48° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)
- Spinta dell'acqua: 25% di riempimento

##### Caratteristiche chiodature:

- Lunghezza: 2m
- Resistenza a trazione: 207.8 kN
- Resistenza a taglio: 103.9 kN

APPALTATORE: <b>webuild</b>   <b>Implenia</b>		<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE: Mandataria: <b>SWS Engineering S.p.A.</b> Mandanti: <b>PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria</b>		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
<b>11 – OPERE CIVILI</b> <b>TITOLO 4</b>	COMMESSA <b>IBOU</b>	LOTTO <b>1BEZZ</b>	CODIFICA <b>CL</b>	DOCUMENTO <b>NV0620003</b>	REV. <b>A</b>	FOGLIO. <b>111 di 117</b>

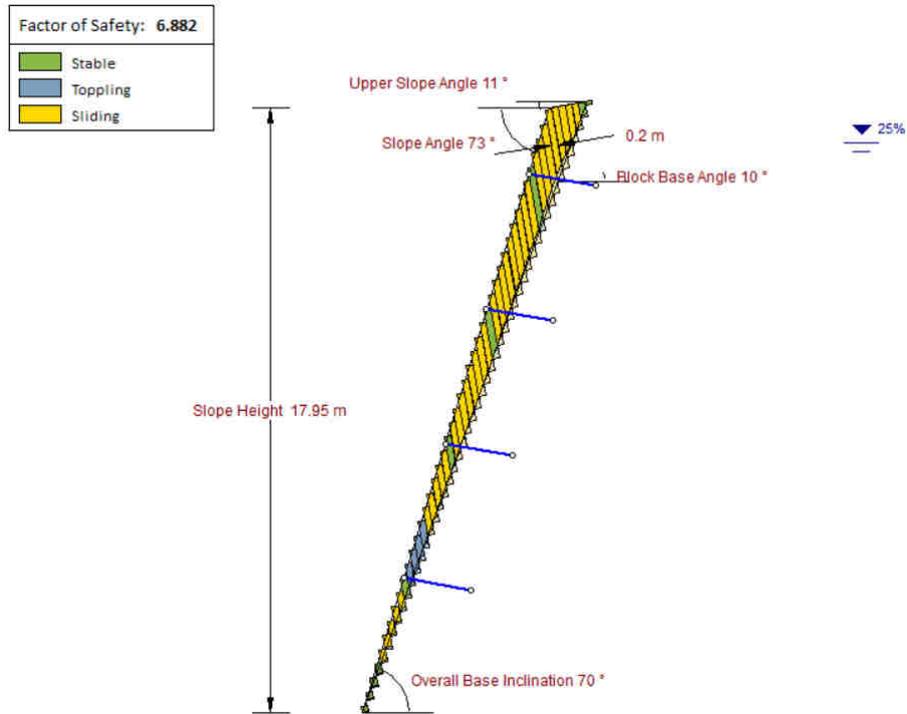


Fig. 101 – Analisi ribaltamento diretto – sezione 20 –condizione statica

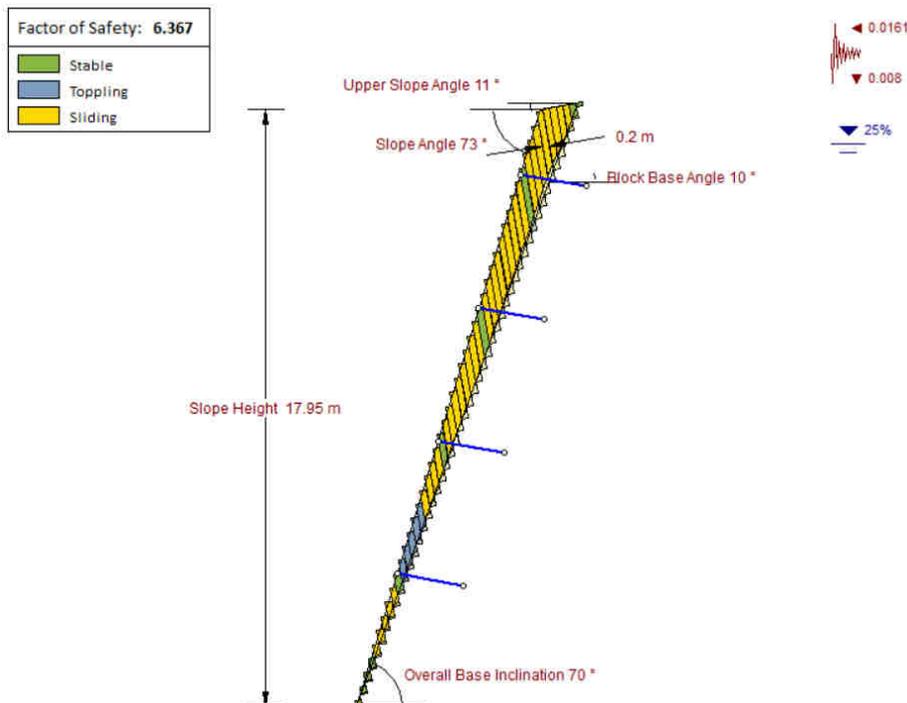


Fig. 102 – Analisi ribaltamento diretto – sezione 20 –condizione sismica

APPALTATORE:	 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	<b>IB0U</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>NV0620003</b>	<b>A</b>	<b>112 di 117</b>

### 14.1.3 Analisi cinematici sezione 22

Nel presente capitolo sono riportate le verifiche di stabilità per la sezione di progetto n. 22. Nel seguito si riportano le verifiche aggiuntive rispetto a quelle precedentemente riportate nel presente report, date dal confronto tra le discontinuità rilevate mediante il rilievo ST03 e le discontinuità rilevate dai rilievi geomeccanici effettuati in fase di Progetto Definitivo. Di seguito si riportano i cinematici aggiuntivi da considerare:

Cinematismo	Confronto PD-PE
Scivolamento planare	-
Scivolamento a cuneo	-
Ribaltamento flessurale	PD_1154 (80/212)
Ribaltamento diretto	-

#### 14.1.3.1. Analisi di equilibrio limite ribaltamento flessurale

Le verifiche sono state condotte sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, utilizzando il codice di calcolo RocToppo della Rocscience.

##### Input di calcolo delle analisi:

- Fronte di scavo: 64°/15°
- Piano di scivolamento: PD\_1154 (80/212)
- Peso per unità di volume: 27 kN/m<sup>3</sup>
- Resistenza alla compressione monoassiale del giunto JCS: 20 MPa
- Scabrezza del giunto JRC: 8
- Angolo di attrito dei giunti : 48° (con di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 41.6°, da NTC2008)
- Spinta dell'acqua: 25% di riempimento

##### Caratteristiche chiodature:

- Lunghezza: 2m
- Resistenza a trazione: 207.8 kN
- Resistenza a taglio: 103.9 kN

APPALTATORE: <b>webuild</b>   <b>Implenia</b>		PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"				
PROGETTAZIONE: Mandatario: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		PROGETTO ESECUTIVO				
11 – OPERE CIVILI TITOLO 4	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO NV0620003	REV. A	FOGLIO. 113 di 117

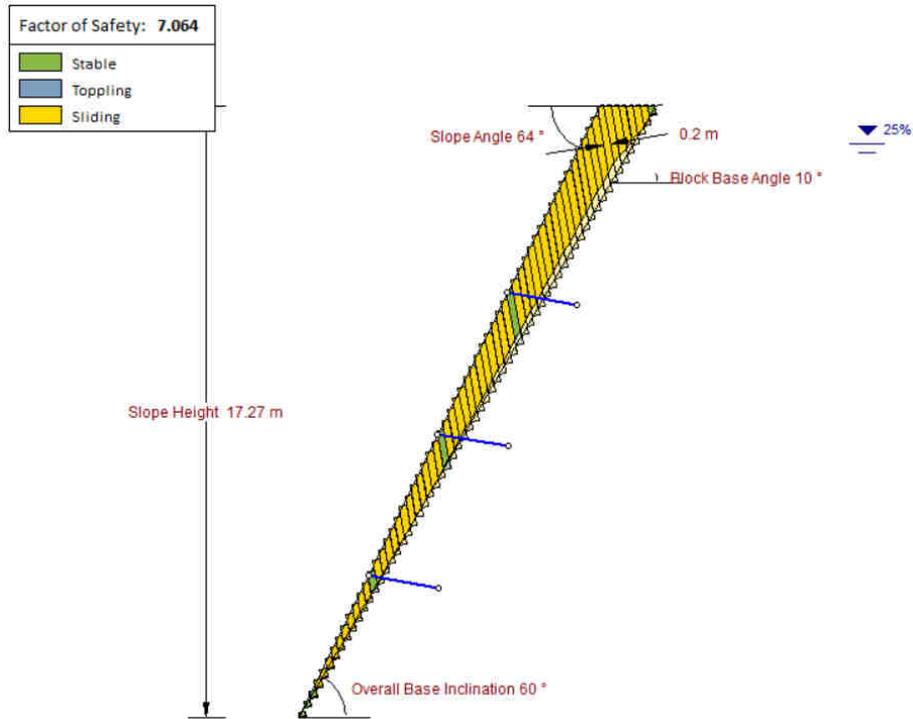


Fig. 103 – Analisi ribaltamento diretto – sezione 20 – condizione statica

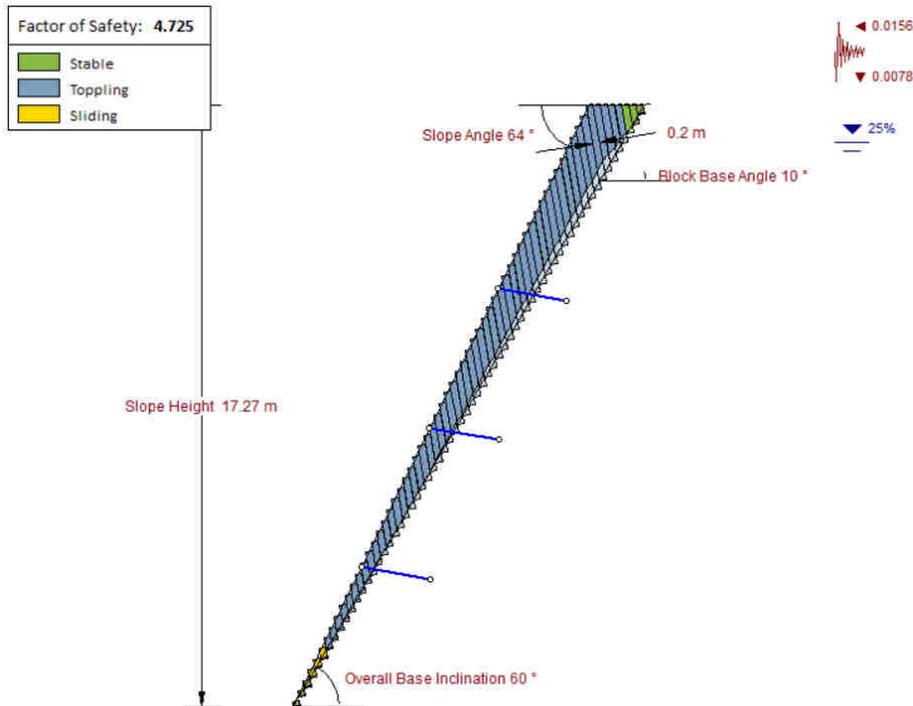


Fig. 104 – Analisi ribaltamento diretto – sezione 20 – condizione sismica

APPALTATORE:	 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	<b>IBOU</b>	<b>1BEZZ</b>	<b>CL</b>	<b>NV0620003</b>	<b>A</b>	<b>114 di 117</b>

## 15. CONCLUSIONI

Sulla base di quanto riportato nella seguente relazione di calcolo si può concludere quanto segue:

- La presente relazione è stata redatta al fine di verificare la stabilità locale e globale di un versante di materiale porfirioide afferente alla WBS NV062 tra le pk 0+212 e pk 0+336.700.
- Sono stati presi in considerazione i rilievi geomeccanici STOP1138 e STOP1154 di progetto definitivo e il rilievo ST03 e ST04 in fase di Progetto Esecutivo.
- Per le analisi è stato considerato il rilievo ST03 in quanto risulta più gravoso per le sezioni di progetto in esame.
- Si è eseguito un confronto tra il rilievo strutturale eseguito in fase di Progetto Definitivo (rilievo STOP 1138 e rilievo STOP 1154) e il rilievo strutturale eseguito in fase di Progetto Esecutivo (rilievo ST03).
- Dal confronto, alle analisi cinematiche eseguite sono state aggiunte due famiglie di discontinuità rilevate durante il rilievo eseguito in fase definitiva, in particolare si sono aggiunte la discontinuità 03/105 del rilievo STOP 1138 e la discontinuità 80/212 del rilievo STOP 1154.
- La sovrapposizione dei due rilievi ha portato la formazione di cinematismi aggiuntivi rispetto a quelli precedentemente osservati, in particolare si osserva che per le sezioni 17 e 20 la discontinuità 80/212 del rilievo STOP 1154 può portare al cinematismo di ribaltamento flessurante e al cinematismo di scivolamento a cuneo insieme alla famiglia K7 (60/7) del rilievo ST03, mentre per la sezione 22 la discontinuità 80/212 del rilievo STOP 1154 può portare al cinematismo di ribaltamento flessurale.
- Per l'analisi di stabilità locale si riportano di seguito i parametri utilizzati:
  - La parametrizzazione che fa riferimento ai giunti è stata effettuata utilizzando il metodo di Barton per l'angolo di attrito. L'angolo di attrito di base considerato è pari a 30°.
  - Il valore di JRC assunto è pari 8.
  - Il valore di JCS assunto è pari a 20MPa.
  - A seguito dei calcoli derivanti dalle analisi delle stazioni geomeccaniche l'angolo di attrito dei giunti risulta pari a 48°.
  - Il valore di persistenza assunto a favore di sicurezza per tutte le famiglie è pari a 3m, tranne che per la famiglia k7 la cui persistenza risulta pari a 10m.
  - Nelle analisi a favore di sicurezza si è considerato un grado di saturazione dei giunti pari al 25%.
- Per l'analisi di stabilità globale si riportano di seguito i parametri utilizzati:
  - Porfiroidi porzione alterata

PARAMETRI DI AMMASSO

peso di volume  $\gamma = 27 \text{ kN/m}^3$

APPALTATORE:	 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:		<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
Mandatario:	Mandanti:					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	IB0U	1BEZZ	CL	NV0620003	A	115 di 117

coesione efficace  $c' = 180 \text{ kPa}$

angolo di attrito  $\varphi = 48^\circ$

modulo di deformabilità  $e = 900 \text{ MPa}$

PARAMETRI DI RESISTENZA LUNGO I GIUNTI

angolo di attrito  $\varphi = 48^\circ$

○ Porfiroidi

PARAMETRI DI AMMASSO

peso di volume  $\gamma = 27 \text{ kN/m}^3$

coesione efficace  $c' = 300 \text{ kPa}$

angolo di attrito  $\varphi = 55^\circ$

modulo di deformabilità  $E = 2.500 \text{ MPa}$

PARAMETRI DI RESISTENZA LUNGO I GIUNTI

angolo di attrito  $\varphi = 48^\circ$

- Per ciascuna sezione sono state svolte le analisi di stabilità dei cinematismi globali e locali in condizione statica e sismica.
- Al fine di contenere eventuali distacchi di piccole porzioni di roccia, è stata prevista la messa in opera di un rafforzamento corticale con barre  $\Phi 24$  di lunghezza pari a 2.0 m disposte a maglia quadrata 4.00 x 4.00 m.
- I risultati delle analisi cinematiche del fronte stabilizzato attraverso la messa in opera della rete paramassi ancorata, prendendo in considerazione il rilievo ST03 (più gravoso) sono riassunti nella seguente tabella:

APPALTATORE:	 	<b>PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"</b>				
PROGETTAZIONE:						
Mandatario:	Mandanti:	<b>PROGETTO ESECUTIVO</b>				
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
<b>11 – OPERE CIVILI</b>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
<b>TITOLO 4</b>	IB0U	1BEZZ	CL	NV0620003	A	116 di 117

Sezione	Cinematismo	Rilievo ST03	FS statico	FS sismico
<b>17</b>	Scivolamento planare	K7 (60/7)	1.76	1.73
	Scivolamento a cuneo (H1=10.86)	K2 (83/280) - K7 (60/7)	3.52	3.48
		K5 (65/91) - K7 (60/7)	2.49	2.44
		PD_1154 (80/212) - K7 (60/7)	21.77	21.56
	Scivolamento a cuneo (H2=14.18)	K2 (83/280) - K7 (60/7)	11.94	11.28
		K5 (65/91) - K7 (60/7)	10.31	10.17
	Ribaltamento flessurale	-	-	-
	Ribaltamento diretto	K7 (60/7)	1.67	1.63
PD_1154 (80/212) - K7 (60/7)		6.84	6.33	
Verifica Globale			3.1	3.81
<b>20</b>	Scivolamento planare	K7 (60/7)	1.34	1.31
	Scivolamento a cuneo	K2 (83/280) - K7 (60/7)	7.81	7.71
		K5 (65/91) - K7 (60/7)	7.14	7.04
		PD_1154 (80/212) - K7 (60/7)	100	100
	Ribaltamento flessurale	-	-	-
	Ribaltamento diretto	K7 (60/7)	2.42	2.35
		PD_1154 (80/212) - K7 (60/7)	6.88	6.37
Verifica Globale			4.25	5.21
<b>22</b>	Scivolamento planare	K7 (60/7)	2.59	2.55
	Scivolamento a cuneo	K2 (83/280) - K7 (60/7)	57.32	56.77
		K5 (65/91) - K7 (60/7)	25.58	25.27
	Ribaltamento flessurale	-	-	-
	Ribaltamento diretto	K7 (60/7)	2.58	2.49
		PD_1154 (80/212) - K7 (60/7)	7.06	4.73
Verifica Globale			10.18	12.5

- Come evidenziato nella tabella sopra riportata il versante risulta comunque stabile nella sua globalità.