

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
Dott. 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"

08 - GALLERIE

D - GALLERIA SCALERES

Imbocco Sud (Ponte sull'Isarco)

Relazione geotecnica e di calcolo delle opere di imbocco Sud B.P. e B.D

APPALTATORE		SCALA:
IL DIRETTORE TECNICO Ing. Pietro Granvecchio		-

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

I	B	O	U	1	B	E	Z	Z	C	L	G	A	0	1	0	0	0	0	2	C
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione approvazione	S. Spinello	gg/mm/aaaa	A. Valente	gg/mm/aaaa	D. Buttafoco (Dolomiti)	gg/mm/aaaa	IL PROGETTISTA 09/03/2023
B	Emissione a seguito di istruttorie e interlocuzioni	B. Fiorentino	01/12/2022	M. Iacorossi	02/12/2022	D. Buttafoco (Dolomiti)	05/12/2022	
C	Emissione a seguito di istruttorie e interlocuzioni	B. Fiorentino	25/02/2023	P. Fontana	26/02/2023	D. Buttafoco	27/02/2023	

File: IB0U1BEZZCLGA0100002C.docx

n. Elab.:

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 2 di 127

SOMMARIO

1. PREMESSA	4
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	6
4. DESCRIZIONE DELL'OPERA	10
4.1 IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO	10
4.2 INTERFERENZE LUNGO IL TRACCIATO.....	10
5. FASE CONOSCITIVA	11
5.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO	11
5.2 INDAGINI GEOTECNICHE	11
5.2.1 Rilievi geologici strutturali.....	12
5.3 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA.....	23
5.3.1 Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici dell'ammasso	23
5.3.2 Il regime idraulico	24
5.3.3 Caratterizzazione delle discontinuità.....	24
5.4 CARATTERISTICHE DEL SITO E DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA	32
6. SOLUZIONI PROGETTUALI	35
6.1 IMBOCCO SCALERES SUD	35
6.1.1 Stato di fatto.....	35
6.1.2 Intervento di protezione del versante roccioso lato BD	35
6.1.3 Intervento di rinforzo degli scavi	36
6.1.4 Dime d'attacco e portali.....	37
6.1.5 Fasi esecutive.....	38
7. CRITERI DI VERIFICA DELLE OPERE	41
7.1 ANALISI DI STABILITÀ DEI VERSANTI E DEGLI SCAVI IN ROCCIA	41
7.1.1 Analisi cinematiche dei blocchi.....	42
7.1.2 Analisi di stabilità con i metodi dell'equilibrio limite.....	49
7.1.3 Rafforzamenti corticali.....	59
8. VERIFICA DELLE OPERE DELL'IMBOCCO SUD	68
8.1 ANALISI DI STABILITÀ DEI VERSANTI ROCCIOSI E DEI FRONTI DI SCAVO	68
8.1.1 Analisi dei possibili cinematismi	68

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				
<u>Mandatario:</u>	<u>Mandanti:</u>					
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	3 di 127

8.1.2	Analisi di equilibrio limite dei cunei potenzialmente instabili.....	78
8.1.3	Dimensionamento degli interventi di rinforzo con chiodature passive.....	87
8.1.4	Dimensionamento dei rafforzamenti corticali	93
9.	VERIFICHE STRUTTURALI	106
9.1	VERIFICA PRESOSTEGNO	106
9.2	VERIFICHE DI RESISTENZA DEI RIVESTIMENTI PROVVISORI	107
9.3	VERIFICHE DI RESISTENZA DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI	114
9.3.1	SOLLECITAZIONI.....	118
9.3.2	VERIFICHE SLU E SLE	120

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: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo		IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	4 di 127

1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione sono lo studio delle problematiche progettuali e il dimensionamento e la verifica degli interventi necessari all'esecuzione delle opere di imbocco Sud della galleria naturale Scaleres, nell'ambito del progetto della linea Fortezza – Ponte Gardena Lotto 1 Quadruplicamento della Linea Fortezza – Verona.

IBOU1BEZZCLGA010002A

Le opere previste per l'esecuzione dell'imbocco sono le seguenti:

- 1) Intervento di protezione del versante roccioso d'imbocco mediante rete metallica in aderenza e chiodature;
- 2) Intervento di consolidamento degli sbancamenti in roccia necessari per l'esecuzione delle dime d'attacco delle gallerie naturali Binario Pari e Binario Dispari, mediante rinforzo della parete rocciosa con chiodature, spritz beton e rete elettrosaldata;
- 3) Dime d'attacco delle gallerie naturali Binario Pari e Binario Dispari munite di veletta rivestita in pietra naturale su entrambe le canne;
- 4) Portali rovesci in c.a. Binario Pari e Binario Dispari, gettati contro dima.
- 5) Sistemazione superficiale con ritombamento a tergo delle velette.

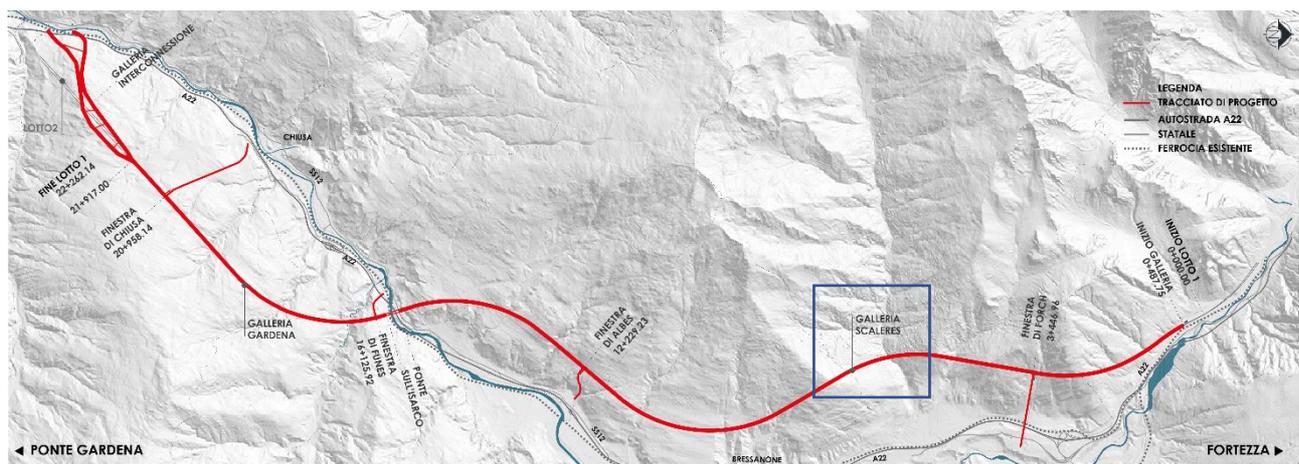


Figura 1-1 Inquadramento dell'opera

APPALTATORE: 	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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 5 di 127

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Decreto Ministero delle Infrastrutture e Trasporti 14/01/2008, "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni";
- C.S.LL.PP., Circolare n°617 del 02/02/2009, "Istruzioni per l'applicazione delle "nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 14/01/2008".
- UNI EN 1992 1-2: 2005 – Eurocodice 2 - Progettazione delle strutture di calcestruzzo - Parte 1-2: Regole generali - Progettazione strutturale contro l'incendio;
- Servizio Tecnico Centrale del Ministero dei Lavori Pubblici - Linee Guida sul calcestruzzo strutturale Dicembre 1996;
- UNI 11104:2016 - Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità - Specificazioni complementari per l'applicazione della EN 206;
- EN 206:2014 - Calcestruzzo - Specificazione, prestazione, produzione e conformità.

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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 6 di 127

3. CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Con riferimento ai materiali utilizzati nell'ambito del progetto, si riportano nel seguito le principali caratteristiche utilizzate nel dimensionamento strutturale.

▪ **Calcestruzzo**

Calcestruzzo magro

Tipo:	C12/15
Modulo di deformazione:	$E_c=27000$ MPa
Resistenza caratteristica cubica:	$R_{ck}=15$ MPa
Resistenza caratteristica cilindrica:	$f_{ck}=12$ MPa
Peso per unità di volume:	$\gamma=25$ KN/m ³

Calcestruzzo utilizzato per rivestimento di prima fase galleria

CLS PROIETTATO

Tipo:	C25/30
Resistenza media su carote $h/\phi=1$ (a 48h):	≥ 15 MPa
Contenuto minimo di cemento:	300kg/mc
Dosaggio di fibre:	>30 kg/mc

Calcestruzzo utilizzato per rivestimento definitivo galleria

Tipo:	C25/30
Classe di resistenza al fuoco:	REI 120
Modulo di deformazione:	$E_c=31000$ MPa
Resistenza caratteristica cubica:	$R_{ck}=30$ MPa
Resistenza caratteristica cilindrica:	$f_{ck}=25$ MPa
Diametro massimo degli inerti:	$\phi=25$ mm
Peso per unità di volume:	$\gamma=25$ KN/m ³
Classe di Esposizione	XC2 –rivestimento definitivo galleria
Consistenza	S3

▪ **Copriferro**

$c = 5.0$ cm	Rivestimento definitivo galleria
--------------	----------------------------------

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						
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo		IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	7 di 127

▪ Acciaio di armatura

Tipo:	B450C
Modulo di deformazione:	$E_c=210000$ MPa
Resistenza a snervamento caratteristica:	$f_{ck}=450$ MPa
Resistenza a snervamento di progetto:	$f_{cd}=391.3$ MPa
Peso per unità di volume:	$\gamma=75$ KN/m ³

▪ Profilati e piastre per centine

ACCIAIO S275

- Tensione caratteristica di snervamento, f_{yk} : 275MPa

▪ Saldature

Le saldature dovranno essere tutte di **classe 1** e dovranno essere realizzate, come da disegno, a completa penetrazione o a cordoni esterni; in questo caso l'altezza di gola non potrà essere inferiore di almeno 0.7 dello spessore minimo da saldare. Valgono in ogni caso le prescrizioni contenute all'interno del progetto. La procedura di saldatura è sotto gas protettore (MAG) con elettrodi tipo E44/CL3, UNI 5132/74.

Rinforzo dei fronti rocciosi

▪ Acciaio chiodature

Tipo	B 450 C
Resistenza di progetto	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 450/1.15 = 391.3$ MPa
Tensione massima in condizioni di esercizio slim = 0.80	$f_{yk} = 360$ Mpa

▪ Calcestruzzo proiettato

Classe di resistenza	C25/30
Resistenza di progetto a compressione a 28 giorni	$f_{cd} = f_{ck}/1.25 = 24.90$ MPa
Modulo elastico a 28 giorni	$E_{cm} = 22000 (f_{cm}/10)^{0.3}$ MPa
Resistenza di progetto a compressione a 48 ore	$f_{ck}(48 h) \geq 13.00$ MPa

Rafforzamenti corticali

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						
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo		IB0U	1BEZZ	CL	GA01002	C	8 di 127

- **Bulloni in acciaio**

Tipo	B450C
Tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} \geq 450 \text{ MPa}$
Resistenza a taglio:	$F_{yk} \geq 203 \text{ kN}$
Diametro barra	f24 mm
Maglia	2.5 m x 2.5 m

- **Bulloni autoproforanti in acciaio R51N Tipo R51N**

Carico caratteristico di rottura	$(f_{tk} \cdot A_s) F_{tk} \geq 800 \text{ kN}$
Carico caratteristico di snervamento	$(f_{yk} \cdot A_s) F_{yk} \geq 630 \text{ kN}$
Diametro esterno	51 mm
Diametro interno	33 mm
Diametro di perforazione	>100 mm

- **Boiaccia di intasamento barre di ancoraggio**

Resistenza a compressione a 28gg	$R_{ck} \geq 25 \text{ MPa}$
Dosaggio	600kg/m ³ d'impasto

- **Funi a 19 fili (UNI7690)**

Zincatura forte	UNI 10264/04
Classe di resistenza	1570 N/mm ² (160kg/cm ²)
Carico a rottura minimo (funi F12mm)	120kN

- **Reti a doppia torsione**

Maglia tipo	8x10 cm
Diametro filo rete	3.0 mm
Diametro filo bordatura	3.9 mm
Zincatura	UNI 8018

- **Golfari femmina (DIN582) ad occhio circolare**

Acciaio	C 15 E
---------	--------

APPALTATORE: 	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> <u>Mandanti:</u> SWS Engineering S.p.A. PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 9 di 127

Zincatura elettrolitica

Portata nominale M24 $\geq 18\text{kN}$

Zincatura UNI 8018

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	PROGETTO ESECUTIVO					
SWS Engineering S.p.A.	Mandanti:					
PINI ITALIA	GDP	GEOMIN	SIFEL	SIST		
M Ingegneria						
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	10 di 127

4. DESCRIZIONE DELL'OPERA

4.1 IL TRACCIATO E LE OPERE IN SOTTERRANEO

La galleria Scaleres ricade nei territori comunali di Fortezza, Varna, Bressanone, Velturmo, l'imbocco sud è situato nella Valle dell'Isarco sul versante sud in sponda destra del Fiume.

Di seguito sono elencate le progressive di riferimento dell'opera d'imbocco:

- Binario Pari: da pk 15+874.65 a pk 15+880.30 (L=12.0 m) portale
- Binario Dispari da pk 15+859.60 a pk 15+865.55 (L=12.0 m) portale

La galleria naturale lunga L=15338.3 è realizzata con scavo tradizionale nelle zone di estremità, e con scavo meccanizzato nella zona centrale. Presenta coperture generalmente elevate con valori massimi superiori ai 600 m, ed un andamento altimetrico in salita con pendenza costante pari al 11.32%.

4.2 INTERFERENZE LUNGO IL TRACCIATO

Non sono presenti interferenze con le opere di imbocco.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA		GDP GEOMIN			SIFEL SIST
	M Ingegneria					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	11 di 127

5. FASE CONOSCITIVA

Nella fase conoscitiva si acquisiscono gli elementi necessari alla caratterizzazione e modellazione geologica del sito e alla caratterizzazione e modellazione geotecnica del volume significativo del mezzo interessato dall'opera. Nel seguito si riporta un breve inquadramento geologico e la sintesi della caratterizzazione e modellazione geotecnica con specifico riferimento al volume significativo interessato dalle opere di imbocco sud della galleria Scaleres.

5.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'imbocco Sud della Galleria Scaleres è situato nella Valle d'Isarco sul versante sud in sponda destra del Fiume. Il pendio con vergenza verso SSE è costituito interamente da roccia affiorante, tipo diorite nella porzione SO, tipo fillade nella porzione NE. Le suddette formazioni interessano le opere di imbocco e determinano l'accentuata acclività del versante (mediamente 70-80°). Al piede del pendio sono presenti depositi di materiale sciolto, ghiaia, ciottoli e trovanti eterometrici e poligenici con presenza di livelli sabbiosi talvolta anche limosi associabili a depositi alluvionali terrazzati antichi e recenti di spessore variabile.

5.2 INDAGINI GEOTECNICHE

Ai fini della caratterizzazione geotecnica e geomeccanica delle unità geotecniche interessate dalle opere di imbocco sono stati utilizzati i dati provenienti dalle campagne d'indagine di Progetto Preliminare e Definitivo.

In particolare, per la zona di interesse dell'imbocco sud della galleria Scaleres sono disponibili diversi rilievi geo- strutturali, mirati alla definizione delle caratteristiche dell'ammasso roccioso, come illustrato nella seguente figura:



Figura 5-1 Ubicazione delle geo-strutturali nella zona di interesse dell'imbocco.

Gli imbocchi BP e BD interessano principalmente l'unità delle Dioriti affioranti, oggetto in passato di attività estrattiva, come emerge dalla presenza di un fronte di cava posto poco ad ovest della zona di interesse. L'ammasso si presenta localmente molto fratturato con illustrato nella seguente figura:

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	PROGETTO ESECUTIVO					
Mandanti:						
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
M Ingegneria						
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	12 di 127

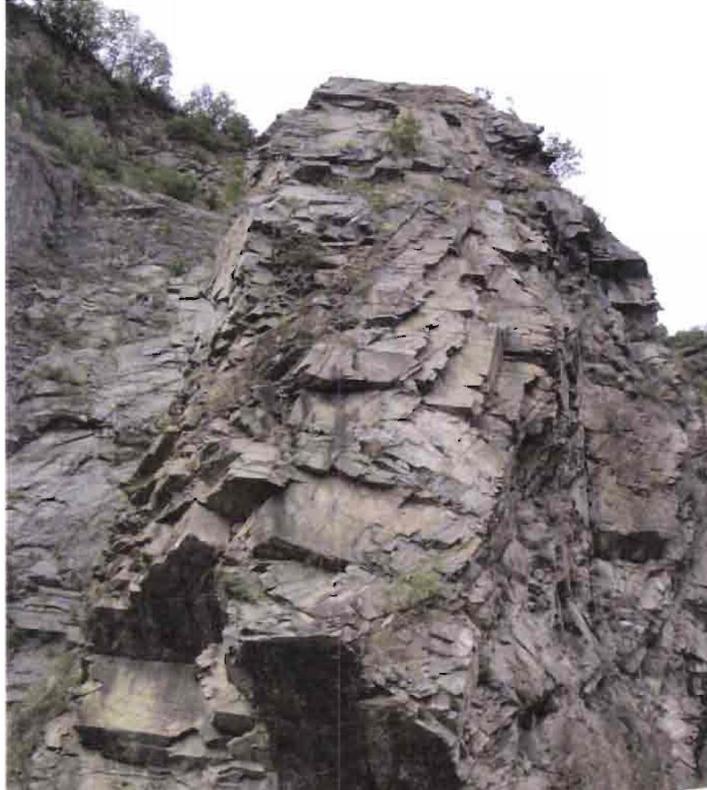


Figura 5-2 Parete di cava nelle Dioriti di Bressanone intensamente fratturate

Gli stendimenti geo-meccanici effettuati nelle Dioriti sono i seguenti:

- rilievo geologico-strutturale BR29;
- rilievo geologico-strutturale BR20a;

5.2.1 Rilievi geologici strutturali

La definizione delle caratteristiche dell'ammasso roccioso è stata effettuata attraverso la valutazione dei valori di:

- spazatura delle superfici di discontinuità;
- frequenza delle discontinuità J_v e RQD%;
- apertura delle discontinuità;
- lunghezza delle discontinuità;
- persistenza delle discontinuità;
- regolarità e continuità delle discontinuità;
- presenza di acqua nelle fratture;
- presenza di riempimento nelle fratture;

APPALTATORE: 	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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 13 di 127

- grado di alterazione;
- inclinazione e immersione delle superfici di discontinuità;
- volume roccioso unitario;
- carico di rottura a compressione semplice attraverso prova sclerometrica.

Il rilievo geologico-strutturale denominato BR29 è stato eseguito su un ammasso roccioso affiorante di Diorite nella zona del fronte di cava posto ad W dell'imbocco.

Le informazioni raccolte vengono di seguito riassunte.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	14 di 127

Località: Chiusa

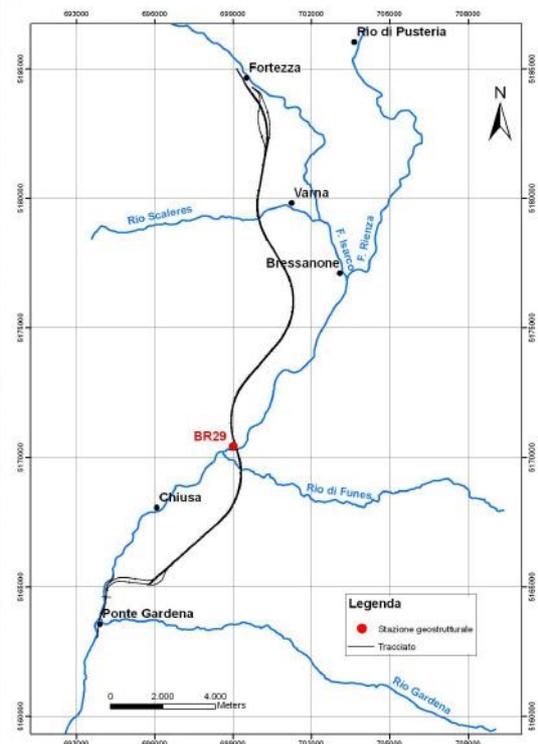
Data: 31/05/2012

Coordinate UTM ETRS 89 (fuso32 N):

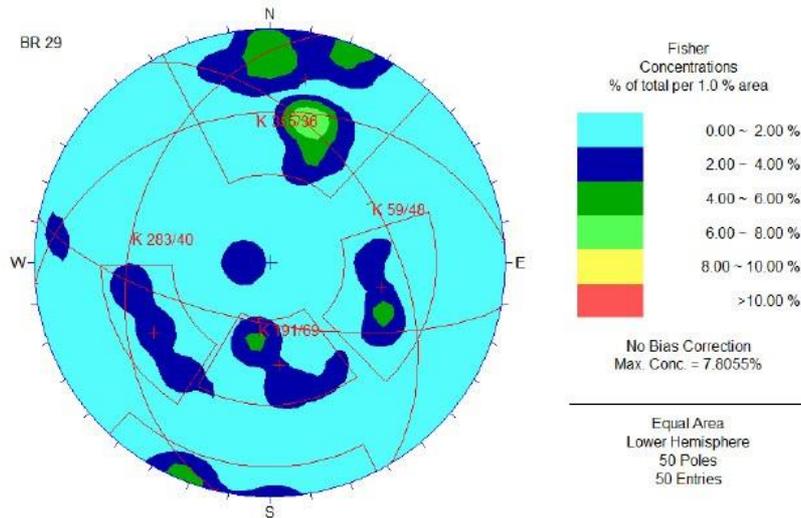
X	Y	
699016,29617	5170436,37034	Inizio stendimento
698981,83006	5170409,56337	Fine

Formazione: Dioriti di Bressanone

Litotipo: Dioriti



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:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	15 di 127
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo							



Giacitura	K _{191/69}	K _{283/40}	K _{355/36}	K _{59/48}
	191 / 69	283 / 40	355 / 36	59/48

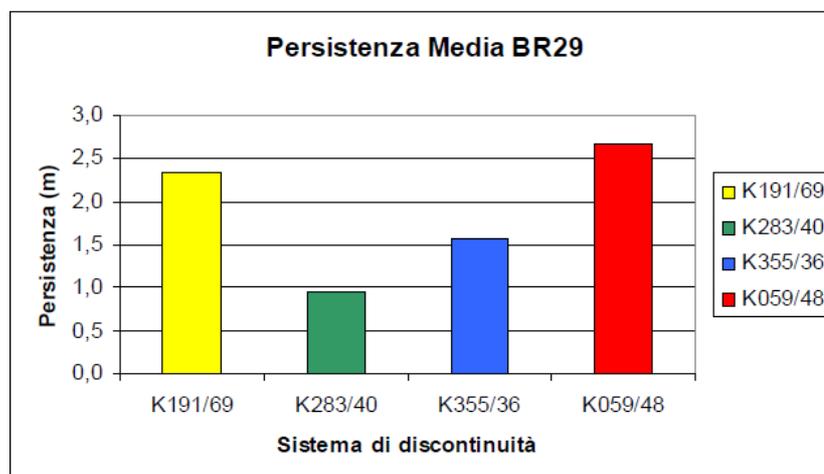
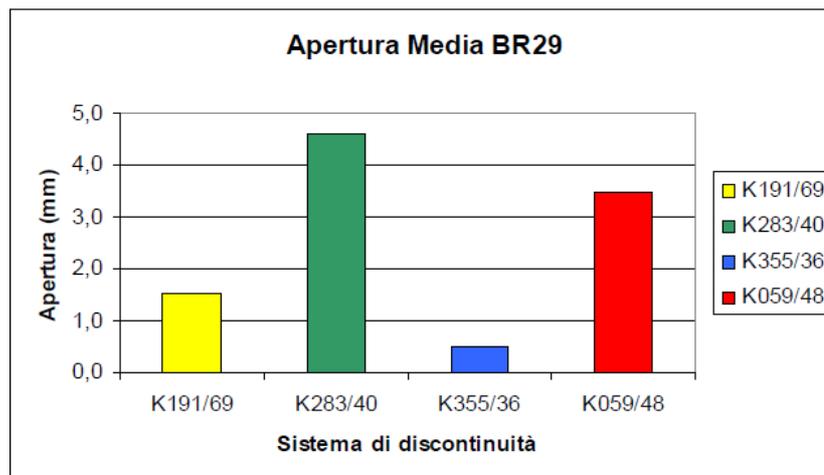
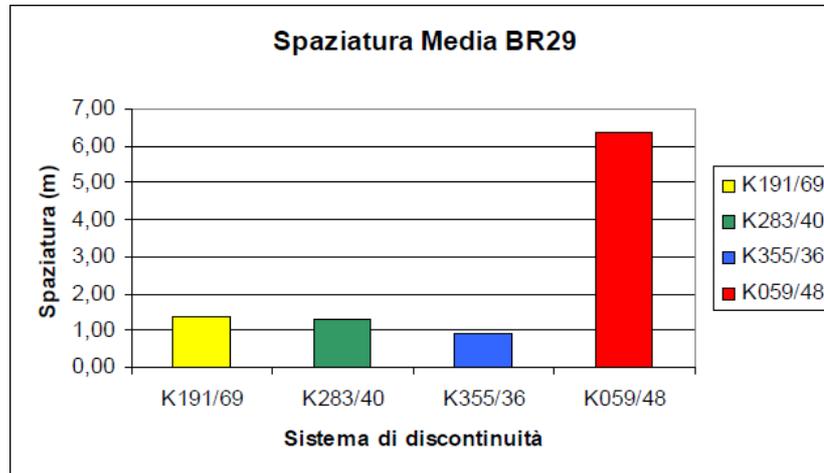
RIEPILOGO PARAMETRI MORFOLOGICI DELLE FAMIGLIE DEI GIUNTI

Lunghezza stendimento: 40 m

Strike stendimento: 50° N

		K _{191/69}	K _{283/40}	K _{355/36}	K _{59/48}
n° dati		22	5	6	6
Spaziatura (m)	media	1,39	1,29	0,9	6,3
	Frequenza Jv	0,7	0,8	1,1	0,2
Apertura (mm)	media	1,5	4,6	0,5	3,5
	dev. st.	2,5	8,6	0,8	8,1
Lunghezza (cm)	media	230,0	94,0	156,7	266,7
	dev. st.	158,0	69,1	69,8	136,6
Persistenza (m)		2,3	0,9	1,6	2,7
Scabrezza (JRC)		0 - 2	0 - 2	0 - 2	0 - 2
Presenza d'acqua		A	A	A	A
Riempimento		A	A	A	A
Alterazione		A	A	A	A

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				
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 16 di 127



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:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	17 di 127
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo							

VOLUME ROCCIOSO UNITARIO

Famiglie considerate	VRU m ³
K _{191/69} K _{283/40} K _{355/36}	2,5
K _{283/40} K _{355/36} K _{59/48}	16,1
K _{191/69} K _{283/40} K _{59/48}	12,2
K _{191/69} K _{355/36} K _{59/48}	12,3

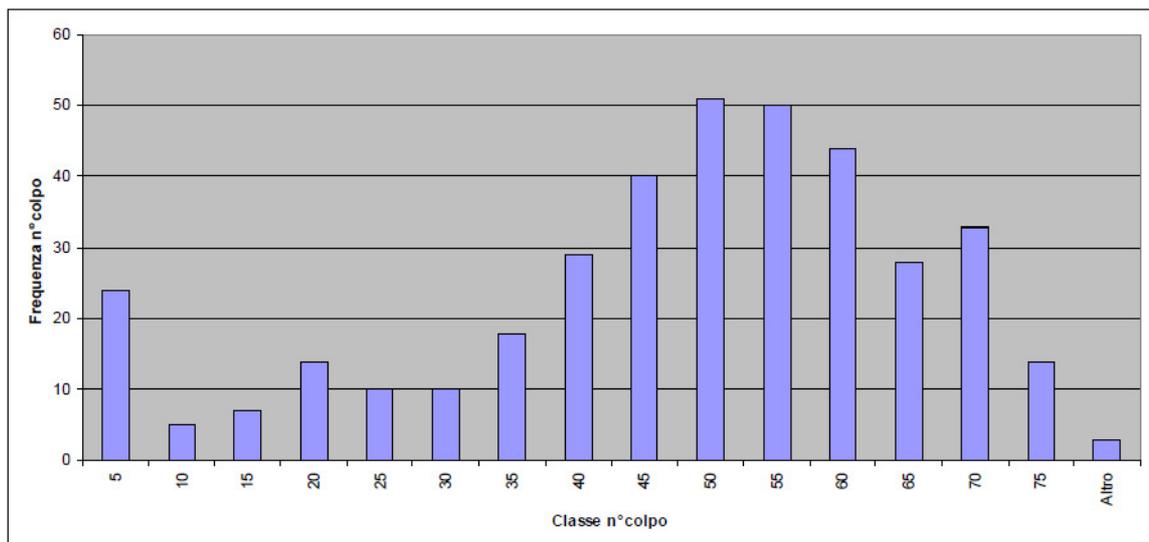
RIMBALZI MEDI MARTELLO DI SCHMIDT

	media	dev. st.
K _{191/69}	47	10
K _{283/40}	41	13
K _{355/36}	47	10
K _{59/48}	39	18

RIMBALZO MARTELLO DI SCHMIDT ROCCIA INTATTA

(III Quartile distribuzione n° colpo discontinuità)

R = 62



APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
<u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A.	<u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO				
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 18 di 127



Figura 5-3 Panoramica stazione geo-strutturale BR29

Il rilievo geologico-strutturale denominato BR20a è stato eseguito su un ammasso roccioso affiorante di Diorite nella zona del fronte di cava posto ad E dell'imbocco.

Le informazioni raccolte vengono di seguito riassunte.

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 19 di 127

Località: Bivio per la val di Funes – Nord di Chiusa

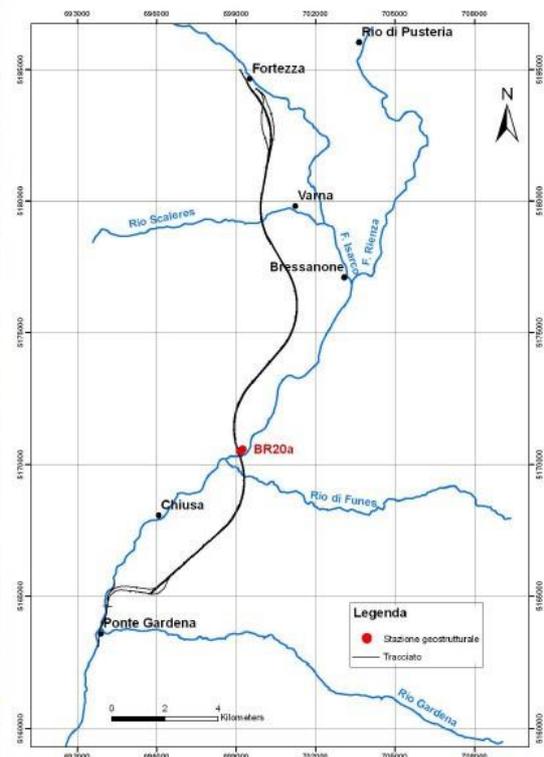
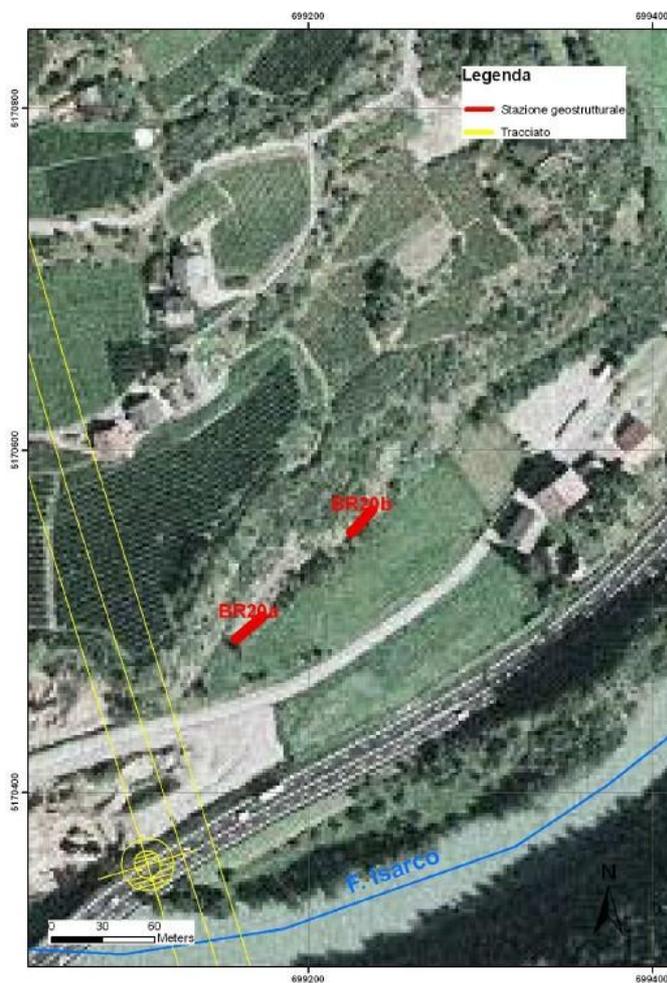
Data: 29/05/2012

Coordinate UTM ETRS 89 (fuso 32N) – Coordinate Gauss-Boaga ROMA40 (fuso 32N):

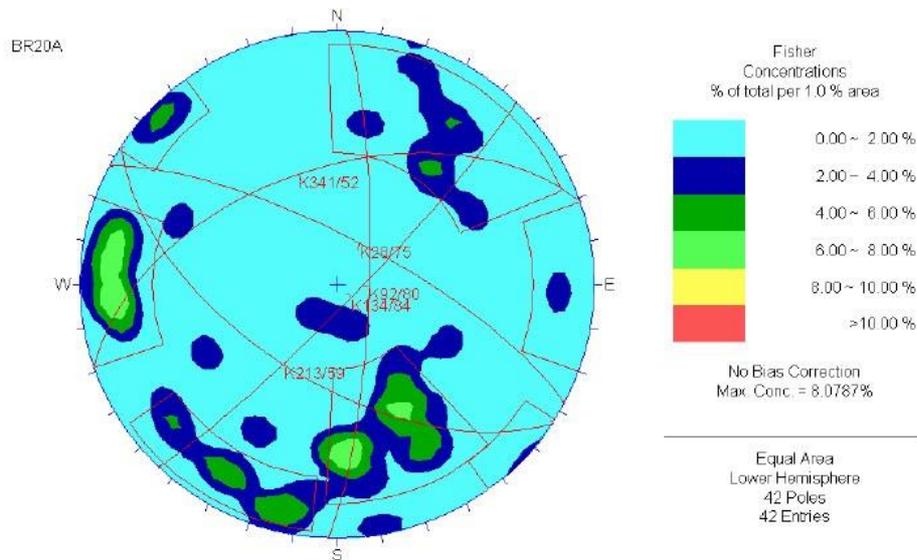
X	Y	X	Y	
699157,873214	5170489,89902	1699189,90265	5170511,71745	Inizio stendimento
699173,006436	5170502,51004	1699205,03621	5170524,32864	Fine

Formazione: Dioriti del Gruppo di Chiusa

Litotipo: Diorite



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					
Mandataria:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	20 di 127
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo							



Giacitura	K _{341/52}	K _{213/59}	K _{092/80}	K _{028/75}	K _{134/84}
	341 / 52	213 / 59	092 / 80	028 / 75	134 / 84

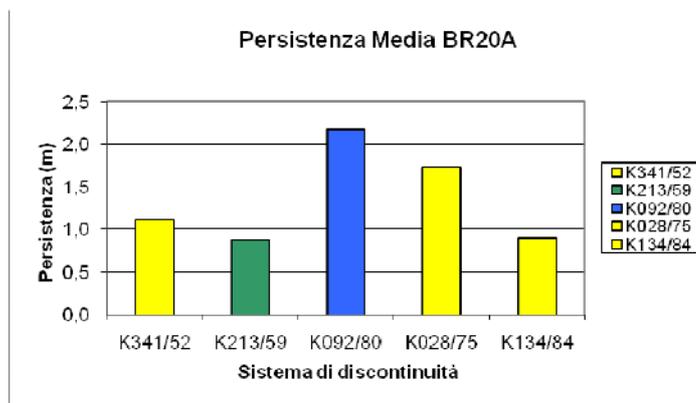
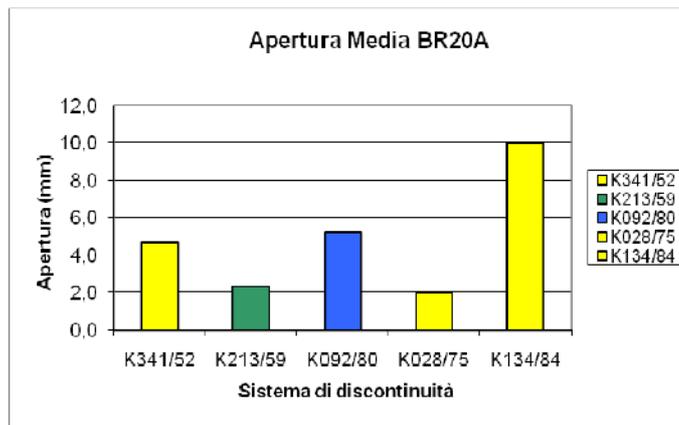
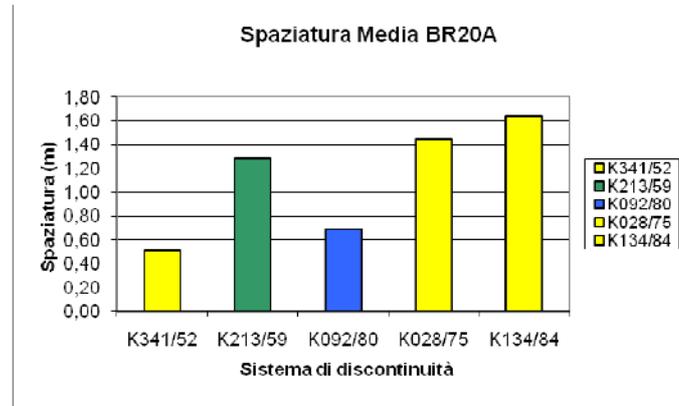
Lunghezza dello stendimento: 14 m;

Strike: 30° N

RIEPILOGO PARAMETRI MORFOLOGICI DELLE FAMIGLIE DEI GIUNTI

		K _{341/52}	K _{213/59}	K _{092/80}	K _{028/75}	K _{134/84}
n° dati		11	7	8	7	2
Spaziatura (m)	media	0,51	1,28	0,7	1,4	1,6
Frequenza Jv	media	2,0	0,8	1,5	0,7	0,6
Apertura (mm)	media	4,7	2,3	5,3	2,0	10,0
	dev. st.	3,9	2,9	3,9	1,4	14,1
Lunghezza (cm)	media	110,9	90,0	225,0	173,6	90,0
	dev. st.	88,8	128,1	100,0	144,5	28,3
Persistenza (m)		1,1	0,9	2,2	1,7	0,9
Scabrezza (JRC)		2 - 4	4 - 6	4 - 6	2 - 4	4 - 6
Presenza d'acqua		A	A	A	A	A
Riempimento		A	A	A	A	A
Alterazione		B	C	A	A	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:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	21 di 127
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo							



APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 22 di 127

VOLUME ROCCIOSO UNITARIO

Famiglie considerate	VRU m ³
K _{341/52} K _{213/59} K _{092/80}	0,49
K _{341/52} K _{213/59} K _{028/75}	1,82
K _{341/52} K _{213/59} K _{134/84}	1,43
K _{213/59} K _{092/80} K _{028/75}	2,14
K _{213/59} K _{028/75} K _{134/84}	4,49
K _{092/80} K _{028/75} K _{134/84}	180,45
K _{341/52} K _{028/75} K _{134/84}	2,20
K _{213/59} K _{092/80} K _{134/84}	2,37
K _{341/52} K _{092/80} K _{028/75}	0,80
K _{341/52} K _{092/80} K _{134/84}	1,12

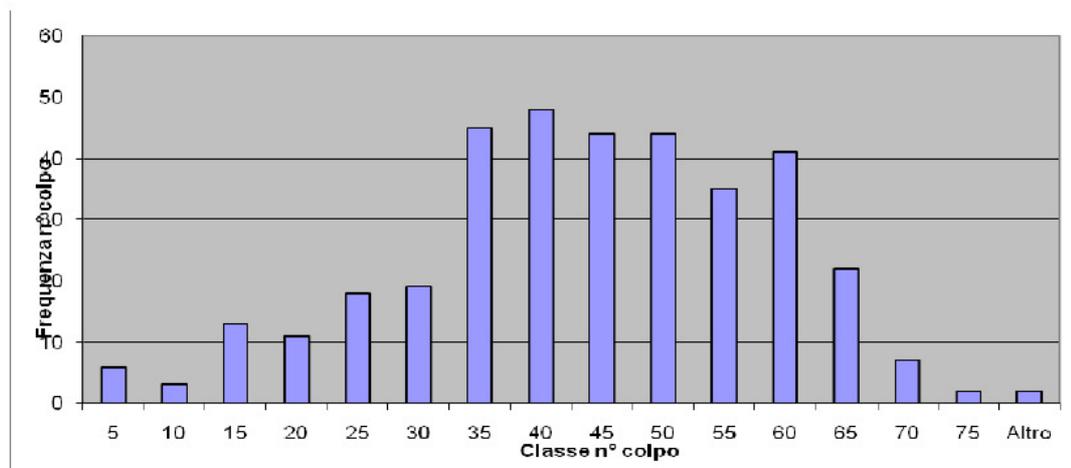
RIMBALZI MEDI MARTELLO DI SCHMIDT

	media	dev. st.
K _{341/52}	30	11
K _{213/59}	43	13
K _{092/80}	46	7
K _{028/75}	39	10
K _{134/84}	41	3

RIMBALZO MARTELLO DI SCHMIDT ROCCIA INTATTA

(III Quartile distribuzione n° colpo discontinuità)

R = 55



APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	PROGETTO ESECUTIVO					
Mandanti:	SWS Engineering S.p.A. PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	23 di 127



Figura 5-4 Panoramica stazione geo-strutturale BR20a

5.3 CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA

I risultati delle indagini geotecniche, in sito e di laboratorio, hanno permesso di definire il modello geotecnico, rappresentativo delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni/rocce interessati dalle opere di imbocco

5.3.1 Definizione dei valori caratteristici dei parametri geotecnici dell'ammasso

Considerato che il versante a tergo dell'imbocco è caratterizzato dalle *Dioriti quarzifere di Chiusa* (δ), mentre la zona a valle vede la presenza di una faglia tra la formazione dell'*Aureola di Contatto/Cornubianiti* (MPC) e le stesse Dioriti, si riportano nella tabella seguente i parametri geotecnici caratteristici:

Tabella 5-1 Valori caratteristici dei parametri geotecnici utilizzati nelle analisi per l'imbocco

Unità	GSI	γ (kN/m ³)	σ_{ci} (MPa)	E_i (GPa)	c (kPa)	ϕ (°)	E (GPa)
δ	40-55	27	140-220	42-49	925-1095	50-56	2,4-6,2
δ / MPC	35	26	70	30	185	50	1,2

APPALTATORE: 	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
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 24 di 127

5.3.2 Il regime idraulico

Il livello della falda di riferimento è tale da non interessare le opere di imbocco oggetto di questa relazione.

5.3.3 Caratterizzazione delle discontinuità

Per la definizione delle caratteristiche di resistenza dei giunti rocciosi, e quindi delle superfici di scorrimento di eventuali blocchi rocciosi, vengono di seguito analizzati i dati provenienti dai 2 rilievi geo-meccanici disponibili (BR20a e BR29). La seguente figura mostra in rappresentazione stereografica le famiglie di giunti individuate nei due rilievi eseguiti nei pressi dell'imbocco Scaleres Sud (blu=BR29; rosso=BR20a) e sintetizzate in Tabella 8-2.

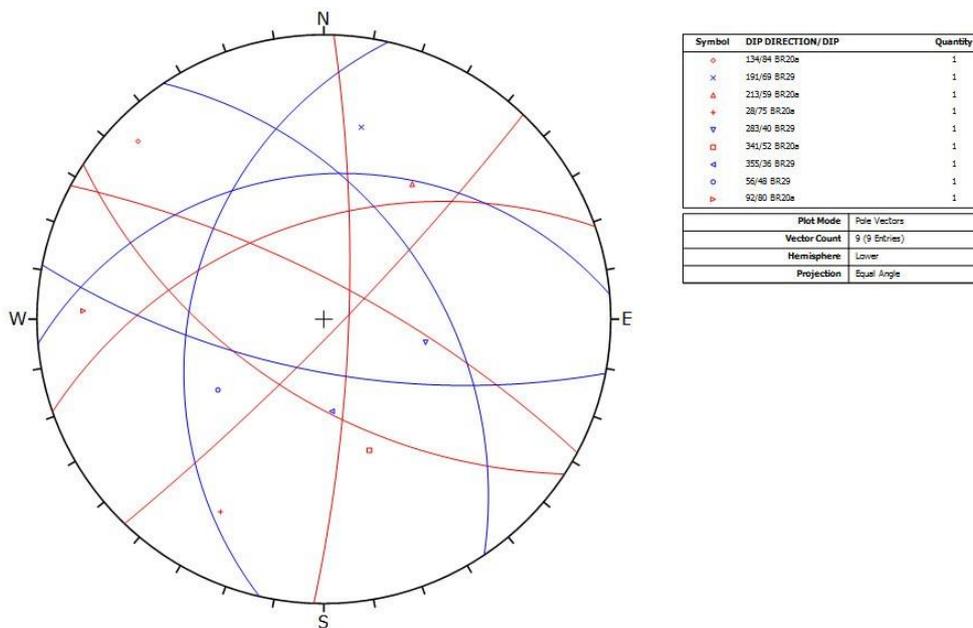


Figura 5-5 Rappresentazione mediante ciclografiche dei giunti riconosciuti nei rilievi geo-strutturali BR29 e BR20a

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				
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 25 di 127	

Tabella 5-2 Famiglie di discontinuità ottenute dai due rilievi disponibili

Rilievo geo-strutturale BR20a				Rilievo Geo-strutturale BR29			
Famiglia	Inclinazione (°)	Immersione (°)	Spaziatura (cm)	Famiglia	Inclinazione (°)	Immersione (°)	Spaziatura (cm)
BR20a-K1	52	341	51	BR29-K1	69	191	139
BR20a -K2	59	213	128	BR29-K2	40	283	129
BR20a -K3	80	092	70	BR29-K3	36	355	90
BR20a -K4	75	028	140	BR29-K3	48	059	630
BR20a -K5	84	134	160				

Dal confronto tra i due rilievi, si nota come due delle famiglie identificate nel rilievo BR20a (K1 e K2) abbiano una buona corrispondenza con 2 delle famiglie rilevate nel corso del rilievo BR29 (K3 e K1). Si tratta di famiglie di piani ben visibili in affioramento e identificabili con le direzioni dei principali allineamenti osservabili. Le rimanenti famiglie non sono invece correlate tra loro, ad indicare una distribuzione prevalentemente random delle famiglie.

Nei due rilievi geo-meccanici eseguiti la spaziatura delle famiglie varia notevolmente, fatto legato al differente grado di fratturazione dell'ammasso, con fasce più tettonizzate e zone di alterazione superficiale in cui le linee di debolezza dell'ammasso tendono a perdere coesione. Poiché i valori di spaziatura sono inferiori nel BR20a nel seguito si è preso a riferimento questo rilievo per la caratterizzazione delle discontinuità.

La definizione del comportamento meccanico dell'ammasso discontinuo richiede la valutazione del Volume Roccioso Unitario (VRU), cioè del volume statisticamente rappresentativo del blocco roccioso isolato dalle rispettive orientazioni delle superfici di discontinuità.

In presenza di tre famiglie di discontinuità, il VRU può essere valutato facendo ricorso alle seguenti espressioni:

$$VRU^{(0)} = S_m^3$$

$$VRU^{(1)} = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3$$

$$VRU^{(2)} = \frac{S_1 \cdot S_2 \cdot S_3}{\sin \gamma_1 \cdot \sin \gamma_2 \cdot \sin \gamma_3}$$

In cui:

$$S_m = (S_1 + S_2 + S_3) / 3$$

spaziatura media delle tre discontinuità;

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 26 di 127

S_1, S_2, S_3

spaziature medie delle famiglie di discontinuità;

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$,

angoli convessi formati reciprocamente dai piani delle discontinuità.

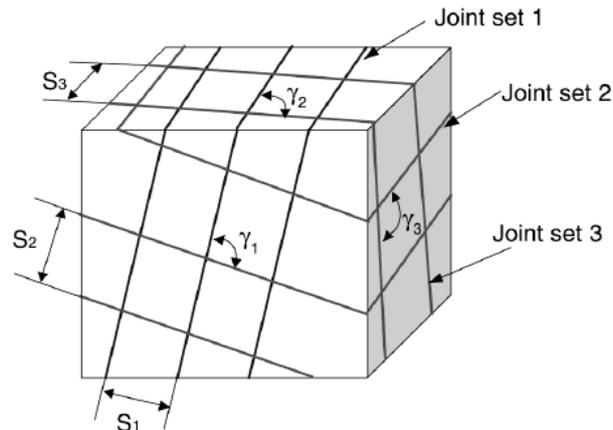


Figura 5-6 Rappresentazione dei parametri di spaziatura e di angolo tra le discontinuità

Si è inoltre valutato il Volumetric Joint Count (J_v) definito come il numero di fratture che intersecano un volume pari a 1 m^3 (Palmstrom, 1996), attraverso la seguente espressione:

$$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3}$$

La tabella seguente sintetizza i valori del VRU e del J_v ottenuti per le diverse combinazioni delle famiglie di discontinuità del rilievo BR20a, prese a tre a tre:

LINEA FORTEZZA - PONTE GARDENA - GALLERIA SCALERES											
CALCOLO DEL VOLUME ROCCIOSO UNITARIO											
$VRU^{(0)} = S_m^3$		$VRU^{(1)} = S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot \dots \cdot S_i$			$VRU^{(2)} = \frac{S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot \dots \cdot S_i}{\sin \gamma_1 \cdot \sin \gamma_2 \cdot \sin \gamma_3 \cdot \dots \cdot \sin \gamma_i}$				$J_v = \frac{1}{S_1} + \frac{1}{S_2} + \frac{1}{S_3}$		
Rilievo	Famiglia discontinuità	Spaziatura			Angolo relativo			$VRU^{(0)}$	$VRU^{(1)}$	$VRU^{(2)}$	J_v
		[m]			[°]			[m^3]	[m^3]	[m^3]	[J/m^3]
BR20a	K1-K2-K3	0,51	1,28	0,70	84	70	80	0,572	0,457	0,50	4,17
	K1-K2-K4	0,51	1,28	1,40	84	46	47	1,202	0,914	1,73	3,46
	K1-K3-K4	0,51	0,70	1,40	80	62	47	0,659	0,500	0,78	4,10
	K2-K3-K4	1,28	0,70	1,40	70	62	46	1,430	1,254	2,09	2,92
	K1-K2-K5	0,51	1,28	1,60	84	78	51	1,443	1,044	1,39	3,37
	K2-K4-K5	1,28	1,40	1,60	46	76	78	2,904	2,867	4,19	2,12
	K3-K4-K5	0,70	1,40	1,60	62	76	42	1,876	1,568	2,73	2,77
	K1-K3-K5	0,51	0,70	1,60	80	42	51	0,822	0,571	1,13	4,01
	K2-K3-K5	1,28	0,70	1,60	70	42	78	1,699	1,434	2,35	2,83
	K1-K4-K5	0,51	1,40	1,60	47	76	51	1,602	1,142	2,07	3,30
								1,42	1,18	1,89	3,31

Tabella 8-3 - Valutazione del VRU per le diverse famiglie di discontinuità del rilievo BR20a

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	27 di 127

Gli angoli relativi $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ sono stati misurati direttamente sugli stereogrammi utilizzando il programma di calcolo DIPs v.7.0 della Rocscience, come illustrato nell'esempio seguente per le coppie di famiglie K1-K2, K2-K3, K1- K3:

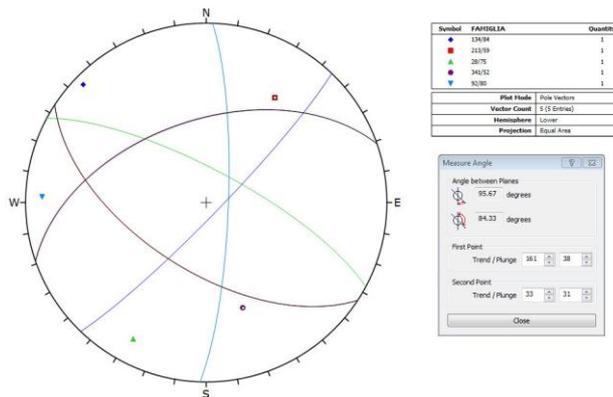


Figura 5-7 Determinazione dell'angolo relativi tra le famiglie di discontinuità K1 e K2 del rilievo BR20a

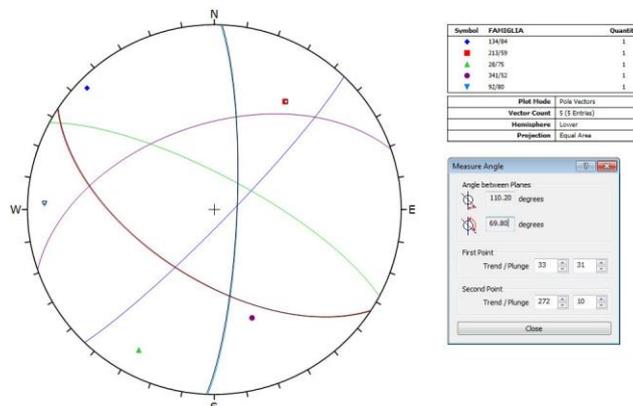


Figura 5-8 Determinazione dell'angolo relativi tra le famiglie di discontinuità K2 e K3 del rilievo BR20a

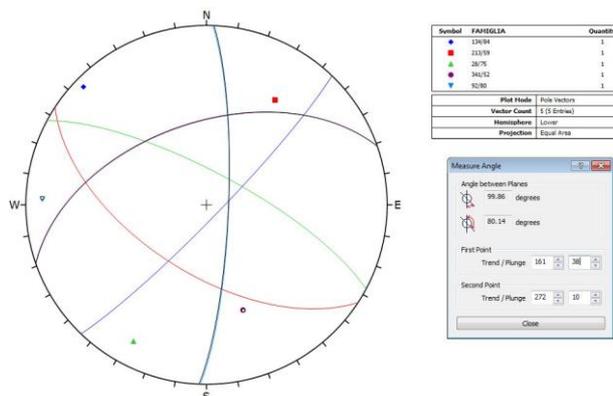


Figura 5-9 Determinazione dell'angolo relativi tra le famiglie di discontinuità K1 e K3 del rilievo BR20a

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	PROGETTO ESECUTIVO					
SWS Engineering S.p.A.	Mandanti:					
	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IB0U	1BEZZ	CL	GA01002	C	28 di 127

Il volume roccioso unitario ottenuto con l'espressione VRU(2), che tiene conto della correzione degli angoli relativi tra le famiglie, è variabile tra circa 0.5 ÷ 4.2 m³ con valore medio dell'ordine di 1.9 m³ circa.

Il Volumetric Joint Count Jv è variabile tra 2.1 ÷ 4.2 j/m³ con valor medio dell'ordine di 3.3, corrispondente ad un grado di fratturazione moderato secondo la classificazione di Palmstrom (2005).

Dai rilievi strutturali è possibile ottenere la resistenza al taglio dei giunti superficiali mediante l'equazione di Barton e Choubey (1977). L'equazione riguarda giunti scabri non cementati ed è espressa come:

$$\tau_n = \sigma_n \tan \left(\varphi_b + JRC \log \frac{JCS}{\sigma_n} \right)$$

dove:

- σ_n = tensione normale alla superficie di giunto;
- φ_b = angolo di attrito di base;
- JRC = parametro relativo alla scabrezza dei giunti;
- JCS = resistenza a compressione uniassiale sulla superficie del giunto determinata con sclerometro.

L'angolo di attrito di base φ_b viene posto = 29° per la diorite, coerentemente con i dati disponibili in letteratura.

Per la definizione del valore resistenza alla compressione mono-assiale del giunto (Joint Compressive Strength - JCS) è stata utilizzata la correlazione di Miller (1966)

$$\sigma_c (\text{apparente}) = 10^{0.00088\gamma * R + 0.01}$$

con R = rimbalzo dello sclerometro (spostamento del cursore su scala graduata) e γ = peso di volume del materiale roccia.

La resistenza alla compressione dei giunti rocciosi JCS, misurata con sclerometro, ha fornito, per tutte le famiglie di discontinuità, i seguenti risultati:

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 29 di 127

LINEA FORTEZZA - PONTE GARDENA - GALLERIA SCALERES

CALCOLO DELLA RESISTENZA A COMPRESSIONE GIUNTO

Martello Schmidt - Correlazione Miller (1966)

$$JCS = 10^{0,00088 \cdot \gamma \cdot R + 1,01}$$

Rilievo	Famiglia discontinuità	Peso di volume [kN/m ³]	Rimbalzo sclerometro [N.]	JCS [MPa]
BR20a	K1	27	30,0	53
BR20a	K2	27	43,0	108
BR20a	K3	27	46,0	127
BR20a	K4	27	39,0	86
BR20a	K2	27	41,0	96
		27	40	90

Tabella 8-4 - Valutazione del JCS per le diverse famiglie di discontinuità del rilievo BR20a

Pertanto, si considera un valor medio di JCS=90 MPa.

La rugosità dei giunti del rilievo BR20a può essere considerata simile per tutte le famiglie e viene assunta cautelativamente pari JRC=3.

Tenendo conto che le misure sperimentali investigano una parte limitata dell'intera lunghezza dei giunti di discontinuità è necessario correggere i risultati di JSC e JRC, che riguardano una lunghezza L_0 di solito pari a 10- 20 cm, estendendone la validità alla lunghezza reale L_n . Le correzioni dei valori sperimentali JSC_0 e JRC_0 alla lunghezza di persistenza dei giunti di discontinuità, JRC_n e JSC_n , sono date dalle espressioni:

$$JRC_n = JRC_0 \left(\frac{L_n}{L_0} \right)^{-0,02 JRC_0}$$

$$JSC_n = JSC_0 \left(\frac{L_n}{L_0} \right)^{-0,03 JRC_0}$$

In cui si è assunto $L_0 = 10$ cm e $L_n = 14$ m, pari alla lunghezza dello stendimento.

Volendo correlare il criterio di rottura Barton-Choubey al criterio di rottura lineare Mohr-Coulomb devono essere ricercati i valori di φ_j e c_j (angolo di attrito e coesione del giunto) che meglio approssimino l'andamento della curva di resistenza curvilinea. I valori di φ_j e c_j , validi localmente in funzione dell'intervallo di variazione della tensione normale alla superficie di giunto σ_n , possono essere ottenuti per differenziazione dell'espressione del criterio Barton-Choubey:

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 30 di 127

$$\frac{\partial \tau_s}{\partial \sigma_n} = \tan \left[JRC_n \cdot \log \left(\frac{JCS_n}{\sigma_n} \right) + \phi_b \right] - \frac{JRC_n}{\ln 10} \left[1 + \tan \left(JRC_n \cdot \log \left(\frac{JCS_n}{\sigma_n} \right) + \phi_b \right) \right]$$

$$\varphi_j = \arctan \left(\frac{\partial \tau_s}{\partial \sigma_n} \right)$$

$$c_j = \tau_s - \sigma_n \cdot \tan \varphi_j$$

Occorre, dunque, fissare l'intervallo di variazione della tensione normale alla superficie di giunto, σ_n .

Considerato che il fenomeno del distacco di blocchi dalla parete rocciosa interessa gli strati più superficiali dell'ammasso, per la valutazione del valore della tensione normale al giunto si è assunta una profondità di 3.0 m corrispondente al seguente valore di σ_n :

$$\sigma_n = 27 \cdot 3.0 = 81 \text{ KPa} = 0.08 \text{ MPa}$$

Con questo limite superiore al campo di variabilità della tensione normale σ_n , quando il limite inferiore è pari a 0.00 MPa, attraverso la differenziazione dell'espressione del criterio di rottura Barton-Choubey, si ricavano i valori di angolo d'attrito e di coesione lungo il giunto di discontinuità:

$$\varphi_j = 34^\circ$$

$$c_j = 0.200 \text{ MPa} = 200.00 \text{ kPa}$$

I calcoli effettuati sono sintetizzati nelle seguenti tabelle e figure.

LINEA FORTEZZA - PONTE GARDENA - GALLERIA SCALERES
RESISTENZA A TAGLIO DEI GIUNTI
Criterio di resistenza di Barton Choubey (1977)
<i>Dati di input</i>

$$\tau_n = \sigma_n \tan \left(\varphi_r + JRC \cdot \log \frac{JCS}{\sigma_n} \right)$$

angolo di attrito di base	ϕ_b	29,0	[°]
resistenza a compressione del giunto misurata	JCS_0	90,0	[MPa]
rugosità del giunto misurata	JRC_0	3,0	[-]
lunghezza giunto	L_0	10	[cm]
lunghezza stendimento	L_n	14	[m]
resistenza a compressione del giunto corretta	JCS_n	58	[MPa]
rugosità del giunto corretta	JRC_n	2	[-]

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 31 di 127

Tabella 8-5 – Dati di input per la valutazione del criterio di resistenza di Barton e Choubey (1977)

LINEA FORTEZZA - PONTE GARDENA - GALLERIA SCALERES
RESISTENZA A TAGLIO DEI GIUNTI
Criterio di resistenza di Barton Choubey (1977)
Criterio di resistenza

$$\phi_i = \arctan\left(\frac{\delta\tau}{\delta\sigma_n}\right)$$

$$\frac{\delta\tau}{\delta\sigma_n} = \tan\left(JRC \log_{10} \frac{JCS}{\sigma_n} + \phi_r\right) - \frac{\pi JRC}{180 \ln 10} \left[\tan^2\left(JRC \log_{10} \frac{JCS}{\sigma_n} + \phi_r\right) + 1 \right]$$

σ_n	BC		$\delta\tau_n/\delta\sigma_n$	ϕ_i	c_i	MC	
	τ_n	τ_n				τ_n	τ_n
[MPa]	[MPa]	[MPa]	[-]	[°]	[MPa]	[MPa]	[MPa]
0,00	0,00	0,00	2,603	69	0,000	0,00	0,00
0,08	0,06	0,06	0,684	34	0,002	0,06	0,06
0,10	0,07	0,07	0,679	34	0,003	0,07	0,07
0,20	0,14	0,14	0,662	34	0,005	0,14	0,14
0,30	0,20	0,20	0,652	33	0,007	0,20	0,20
0,40	0,27	0,27	0,645	33	0,010	0,27	0,27
0,50	0,33	0,33	0,640	33	0,012	0,34	0,34
0,60	0,40	0,40	0,636	32	0,015	0,41	0,41
0,70	0,46	0,46	0,632	32	0,017	0,47	0,47
0,80	0,52	0,52	0,629	32	0,019	0,54	0,54
0,90	0,59	0,59	0,626	32	0,022	0,61	0,61
1,00	0,65	0,65	0,624	32	0,024	0,68	0,68
1,10	0,71	0,71	0,621	32	0,026	0,74	0,74
1,20	0,77	0,77	0,619	32	0,029	0,81	0,81
1,30	0,83	0,83	0,617	32	0,031	0,88	0,88
1,40	0,90	0,90	0,616	32	0,033	0,95	0,95
1,50	0,96	0,96	0,614	32	0,036	1,01	1,01
1,60	1,02	1,02	0,613	31	0,038	1,08	1,08
1,70	1,08	1,08	0,611	31	0,040	1,15	1,15
1,80	1,14	1,14	0,610	31	0,043	1,22	1,22
1,90	1,20	1,20	0,609	31	0,045	1,28	1,28
2,00	1,26	1,26	0,607	31	0,047	1,35	1,35
2,10	1,32	1,32	0,606	31	0,050	1,42	1,42
2,20	1,38	1,38	0,605	31	0,052	1,49	1,49
2,30	1,44	1,44	0,604	31	0,054	1,55	1,55
2,40	1,50	1,50	0,603	31	0,057	1,62	1,62
2,50	1,56	1,56	0,602	31	0,059	1,69	1,69
2,60	1,62	1,62	0,601	31	0,061	1,76	1,76
2,70	1,68	1,68	0,601	31	0,063	1,82	1,82
2,80	1,74	1,74	0,600	31	0,066	1,89	1,89
2,90	1,80	1,80	0,599	31	0,068	1,96	1,96
3,00	1,86	1,86	0,598	31	0,070	2,03	2,03

Tabella 8-6 - Criterio di resistenza di Barton e Choubey e linearizzazione di Mohr Coulomb

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:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	32 di 127
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo							

LINEA FORTEZZA - PONTE GARDENA - GALLERIA SCALERES

RESISTENZA A TAGLIO DEI GIUNTI

Parametri di Mohr Coulomb

Linearizzazione del criterio di resistenza

angolo di attrito MC	ϕ_i	34,0	[°]
coesione MC	c_i	0,002	[MPa]

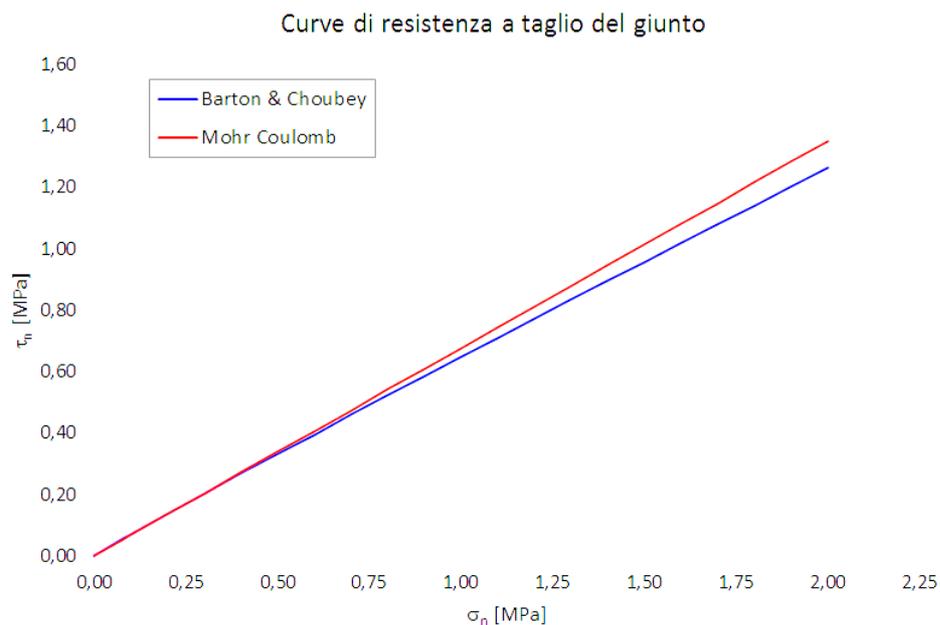


Figura 5-10 Curve di resistenza a taglio del giunto

5.4 CARATTERISTICHE DEL SITO E DEFINIZIONE DELL’AZIONE SISMICA

Le opere in progetto per l’imbocco sud della galleria Scaleres si trovano nel comune di Velturino in un sito con le seguenti coordinate geografiche: Latitudine 46.658156, Longitudine 11.602401.

Alle opere provvisorie, si attribuisce una vita nominale VN di 35 anni e una classe d’uso III a cui corrisponde il coefficiente Cu pari a 1.5 (§ 2.4.2, DM 14/01/2008). Di conseguenza, il periodo di riferimento per la definizione dell’azione sismica, VR, si assume pari a 52.5 anni (DM 14/01/2008).

Alle opere definitive, si attribuisce una vita nominale una vita nominale VN pari a 75 anni e una classe

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	PROGETTO ESECUTIVO					
SWS Engineering S.p.A.	Mandanti:					
	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	33 di 127

d'uso III a cui corrisponde il coefficiente C_u pari a 1.5 (§ 2.4.2, DM 14/01/2008). Di conseguenza il periodo di riferimento per la definizione dell'azione sismica risulta pari a $V_R = V_N \cdot C_u = 112.5$.

Con riferimento alla probabilità di superamento dell'azione sismica, P_{VR} , attribuita allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV), nel periodo V_R dell'opera in progetto, si determina il periodo di ritorno T_R del sisma di progetto. Sulla base delle coordinate geografiche del sito e del tempo di ritorno del sisma di progetto, T_R , sopra definito, si ricavano i parametri che caratterizzano il sisma di progetto relativo al sito di riferimento, rigido ed orizzontale (Tabella 1 dell'allegato B del D.M. 14/01/2008):

- a_g : accelerazione orizzontale massima
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T^*_C : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per le opere provvisorie di imbocco il periodo di ritorno si determina con l'espressione:

$$T_R = \frac{-V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Per tenere conto dei fattori locali del sito, l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito è valutata con la relazione (DM 14/01/2008):

$$a_{max} = S_S \cdot S_T \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)$$

dove:

a_g è l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

S_S è il fattore di amplificazione stratigrafica del terreno, funzione della categoria del sottosuolo di fondazione e dei parametri sismici F_0 e a_g/g (Tabella 3.2.V del D.M. 14/01/2008);

S_T è il fattore di amplificazione che tiene conto delle condizioni topografiche, il cui valore dipende dalla categoria topografica e dall'ubicazione dell'opera (Tabella 3.2.VI del D.M. 14/01/2008).

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 34 di 127

Sulla base evidenze riscontrate in sito, versante con roccia affiorante, si assegna una categoria di sottosuolo A.

I valori delle grandezze necessarie per la definizione dell'azione sismica per le opere d'imbotto sono riassunti nella seguente tabella:

Tabella 5-3 Parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto.

	Opere provvisorie	Opere definitive
Coord. geografiche	Lat. 46.658156 Long. 11.602401	Lat. 46.658156 Long. 11.602401
TR	498	1068
ag/g	0.053	0.065
F0	2.553	2.661
Categoria sottosuolo	A	A
SS	1.0	1.0
Categoria topografica	T2	T2
ST	1.2	1.2
amax/g	0.0636	0.078

Nel caso di verifiche di stabilità di pendii, il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito, beta s è pari a 0.20.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	PROGETTO ESECUTIVO					
SWS Engineering S.p.A.	Mandanti:					
	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	35 di 127

6. SOLUZIONI PROGETTUALI

6.1 IMBOCCO SCALERES SUD

6.1.1 Stato di fatto

Il versante roccioso in corrispondenza dell'imbocco galleria BP risulta attualmente protetto da un intervento con rete metallica in aderenza e chiodature, come illustrato nella seguente immagine:

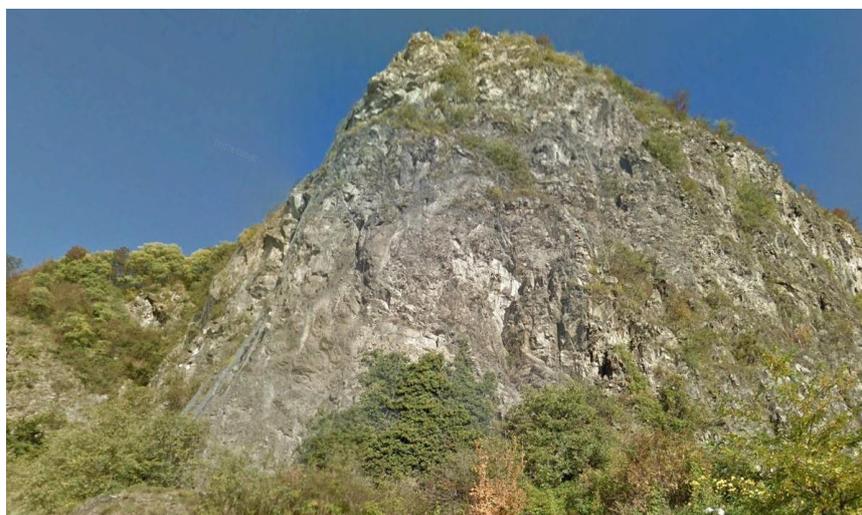


Figura 6-1 Rete metallica di protezione del versante BP esistente

Prima dell'esecuzione delle opere dell'imbocco Sud della galleria Scaleres sarà necessario rilevare la geometria esatta e lo stato di consistenza della rete metallica esistente.

Nel caso in cui le caratteristiche della rete fossero più scadenti di quelle previste in progetto, bisognerà provvedere all'adeguamento dell'intervento esistente.

6.1.2 Intervento di protezione del versante roccioso lato BD

Il versante in roccia in corrispondenza del BD sarà rivestito con rete metallica a doppia torsione, maglia 8x10 cm di fili di diametro 3 mm, fissata mediante chiodi di ancoraggio ad aderenza continua cementati per tutta la lunghezza, di diametro $\varnothing = 24$ mm e lunghezza 3.0 m e maglia 2.5 m x 2.5 m. La rete sarà rinforzata con reticolo di contenimento a doppia orditura di funi in acciaio.

L'intervento interessa l'intera altezza del versante dell'ordine degli 85 m in corrispondenza dell'imbocco BD e prosegue a protezione delle trincee per la viabilità di accesso al piazzale di emergenza. Esso dovrà raccordarsi all'intervento esistente sul BP.

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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	36 di 127

6.1.3 Intervento di rinforzo degli scavi

Localmente in corrispondenza degli imbocchi BP e BD si provvederà ad eseguire degli sbancamenti di versante che consentano di realizzare la dima d'attacco della galleria naturale. In tali zone, si dovrà provvedere a rimuovere parzialmente la rete in aderenza precedentemente installata.

Gli scavi laterali avranno pendenza H:V=1:7 in corrispondenza dell'imbocco BP e H:V=1:6 in corrispondenza dell'imbocco BD, mentre la parete frontale degli entrambi imbocchi avranno una pendenza H:V 1:10. Sulle pareti di scavo è previsto un intervento di rinforzo con chiodature passive, spritz beton e rete elettrosaldata. Si prevede l'impiego di chiodi di ancoraggio ad aderenza continua cementati per tutta la lunghezza, di diametro $\varnothing = 24$ mm e lunghezza 6.0 m e maglia 2.5 m x 2.5 m.

Nella parte che verrà in contatto con la dima si utilizza uno spessore di spritz beton da 15 cm armato con rete elettro-saldata $\varnothing 6$ maglia 15 x15, mentre nella restante parte che resterà in vista nella sistemazione finale del versante si prevede uno spessore di spritz da 15 cm + 15 cm.

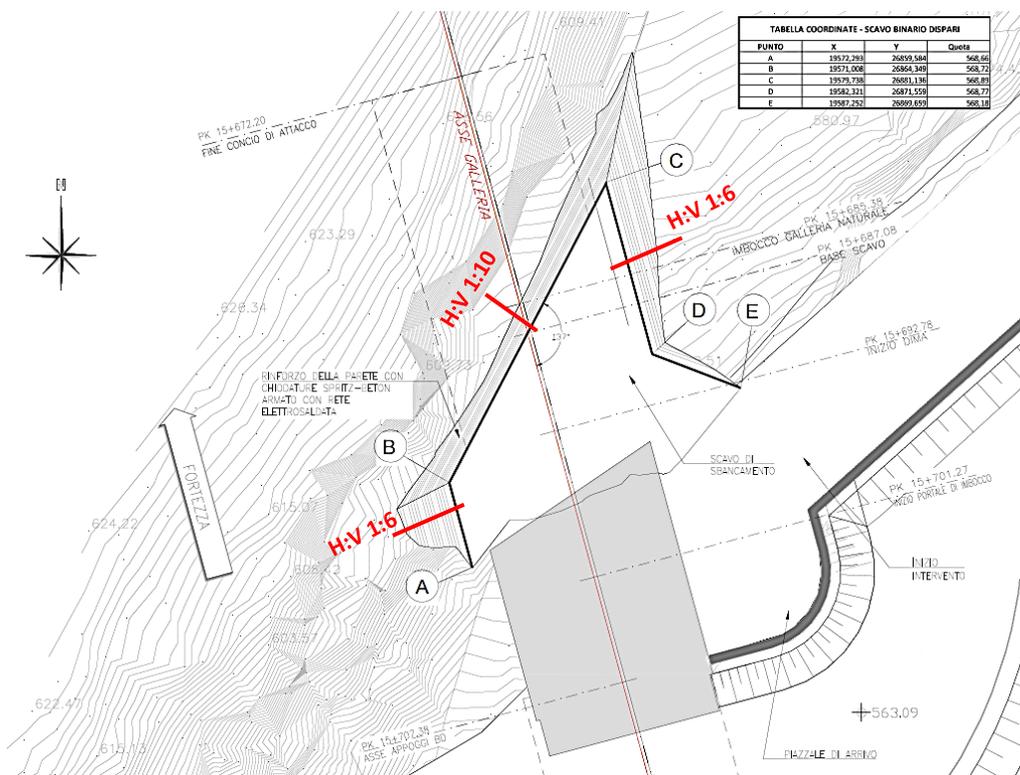


Figura 6-2 Scavi di sbancamento in corrispondenza del binario dispari

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 37 di 127

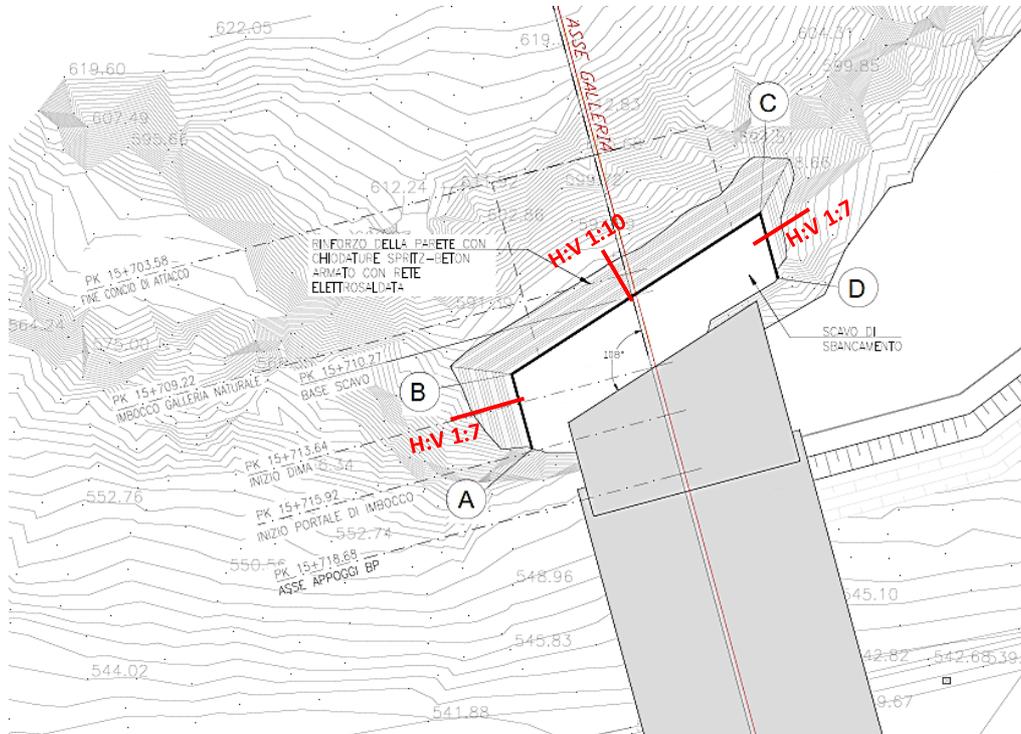


Figura 6-3 Scavi di sbancavento in corrispondenza del binario pari

6.1.4 Dime d'attacco e portali

Lo scavo delle gallerie naturali è eseguito previa realizzazione delle dime d'attacco su entrambe le canne BP e BD. Le dime sono parzialmente incassate negli scavi in roccia e provviste di velette di chiusura contro il versante esistente. Le velette sono gettate contestualmente alle dime ma hanno la funzione di opere definitive, pertanto si prevede un rivestimento in pietra naturale e ritombamento a tergo con terreno.

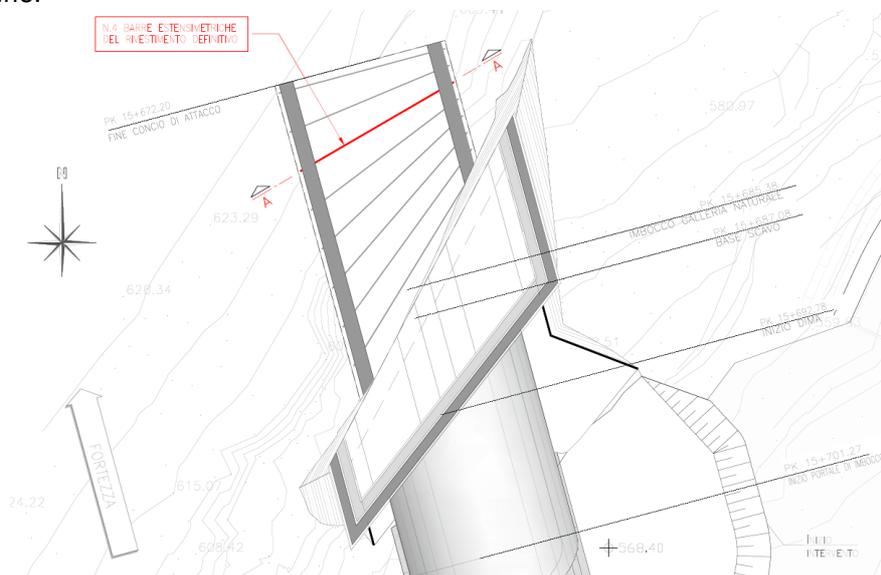


Figura 6-4 Sistemazione finale dell'imbocco Scaleres Sud – Binario Dispari

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 38 di 127

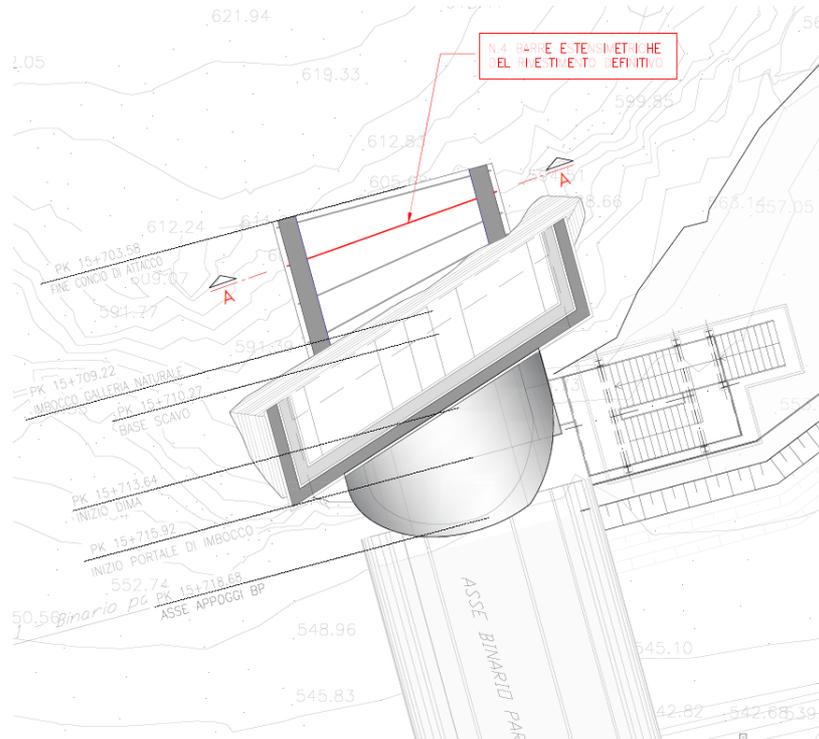


Figura 6-5 Sistemazione finale dell'imbocco Scaleres Sud- Binario Pari

I portali rovesci sono gettati contro dima, secondo le geometrie di progetto. Il portale BP Pari a differenza di quello BD è concepito asimmetrico per consentire l'installazione delle scale di accesso al piazzale di emergenza.

Le figure seguenti illustrano la vista tridimensionale del portale con la dima, la veletta ed il concio di attacco per le due canne.

6.1.5 Fasi esecutive

Le fasi esecutive per la realizzazione delle opere sono di seguito descritte in dettaglio:

FASE 0: Stato di fatto

Il versante roccioso lato BP risulta attualmente protetto da un intervento con rete metallica in aderenza e chiodature.

Prima dell'esecuzione delle opere dell'imbocco Sud della galleria Scaleres sarà necessario rilevare la geometria esatta e lo stato di consistenza della rete metallica esistente.

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													
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	PROGETTO ESECUTIVO												
	<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>GA01002</td> <td>C</td> <td>39 di 127</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.	IB0U	1BEZZ	CL	GA01002	C	39 di 127
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.								
IB0U	1BEZZ	CL	GA01002	C	39 di 127								

FASE 1: Intervento di protezione del versante lato BD

Disboscamento dell'area d'intervento ed eventuale disaggio di blocchi potenzialmente instabili.

Consolidamento del versante lato Binario Dispari con chiodature e rete metallica in aderenza secondo le geometrie di progetto, in aggiunta e continuità con l'intervento esistente sul versante del Binario Pari.

FASE 2: Esecuzione delle spalle del viadotto

Esecuzione delle spalle del viadotto Binario Pari e Binario Dispari.

FASE 3: Esecuzione degli accessi agli imbocchi BP e BD

Realizzazione del futuro Piazzale di Emergenza e della viabilità di accesso al piazzale di imbocco Binario Dispari mediante l'esecuzione di rilevati in terra armata.

Varo dell'impalcato Binario Pari per accedere all'imbocco Binario Pari.

FASE 4: Esecuzione degli scavi BP e BD

Scavo di sbancamento dell'affioramento roccioso con pendenza H:V=1:6 sul Binario Dispari e H:V=1:7 sul Binario Pari sui versanti laterali, mentre sulle pareti frontali di entrambi gli imbocchi con pendenza H:V 1:10, previa rimozione della rete in aderenza esistente.

Esecuzione dell'intervento di consolidamento con chiodatura, rete elettrosaldata e spritz beton sui fronti di scavo del versante, procedendo progressivamente dall'alto verso il basso.

FASE 5: Esecuzione dei consolidamenti del concio d'attacco e delle dime BP e BD

Esecuzione dei consolidamenti per il concio d'attacco delle due canne, secondo le geometrie di progetto.

Esecuzione degli eventuali drenaggi al contorno.

Realizzazione della dima d'attacco e della veletta della dima, su entrambe le canne.

Scavo della galleria naturale.

APPALTATORE: 	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: <u>Mandatario:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria						
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 40 di 127

FASE 6: Esecuzione dei portali d'imbocco BP e BD

Esecuzione dei portali d'imbocco BP e BD secondo le geometrie di progetto e contestuale getto del rivestimento definitivo del concio d'attacco della galleria.

FASE 7: Sistemazione finale

Rivestimento in pietra naturale della veletta della dima BP e BD. Ritombamento con terreno a tergo della veletta.

Realizzazione della canaletta di raccolta acque.

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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 41 di 127

7. CRITERI DI VERIFICA DELLE OPERE

Le verifiche sono state condotte in accordo con le prescrizioni e le indicazioni del DM 14/01/2008 e della Circolare n.617/09.

7.1 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.

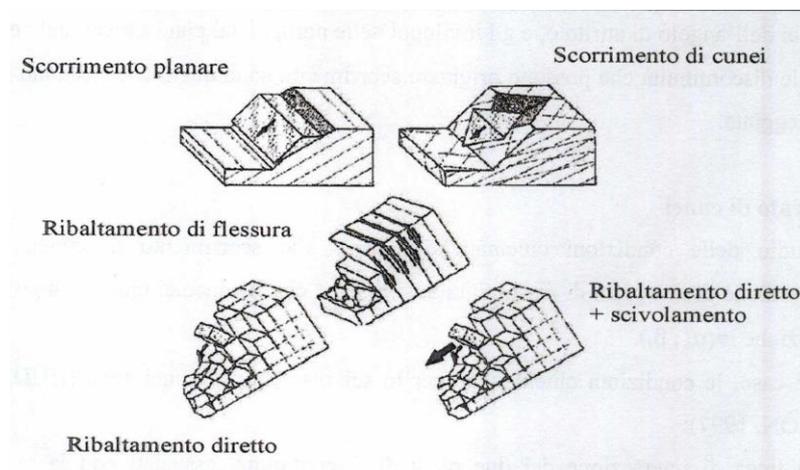


Figura 7-1 Meccanismi di rottura di versanti in roccia

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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	42 di 127

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 qualitativo finalizzata 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.

7.1.1 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 attritiva 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 attritiva;
- il sistema di blocchi è soggetto alla sola forza peso.

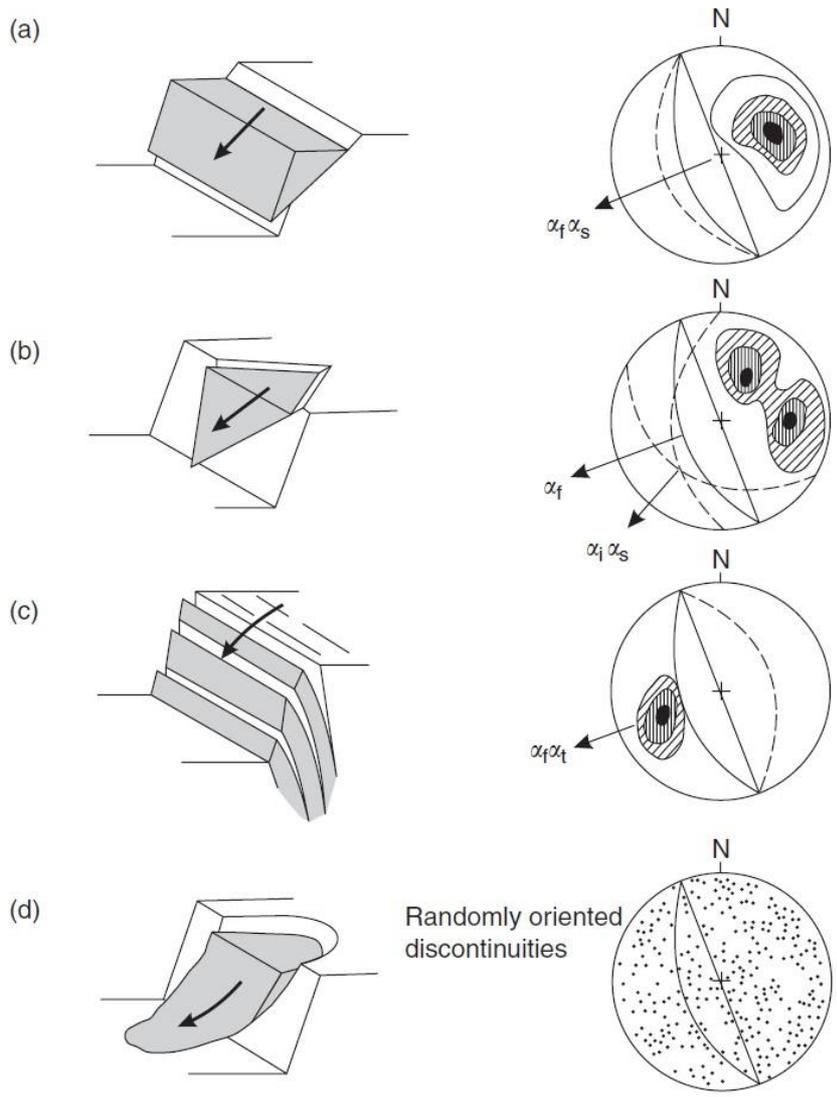
La verifica di stabilità dei versanti in roccia e dei fronti di scavo viene effettuata sulla base dei risultati ottenuti dai rilievi geo-strutturali. Le giaciture dei piani di giunto vengono proiettate sui diagrammi stereografici e verificate in relazione al piano di versante/di scavo. Il software usato per questo tipo di analisi è DIPS v.7.0 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.

APPALTATORE: 	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
PROGETTAZIONE: <u>Mandataria:</u> SWS Engineering S.p.A. <u>Mandanti:</u> PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	PROGETTO ESECUTIVO					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 43 di 127

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.



Legend		
Pole concentrations		α_f dip direction of face
Great circle representing face		α_s direction of sliding
Great circle representing plane corresponding to centers of pole concentrations		α_t direction of toppling
		α_i dip direction, line of intersection

Figura 7-2 Rappresentazione grafica in proiezione stereografica delle condizioni di stabilità

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA		GDP GEOMIN	SIFEL SIST		
	M Ingegneria					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	44 di 127

7.1.1.1. 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 cinematico 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.

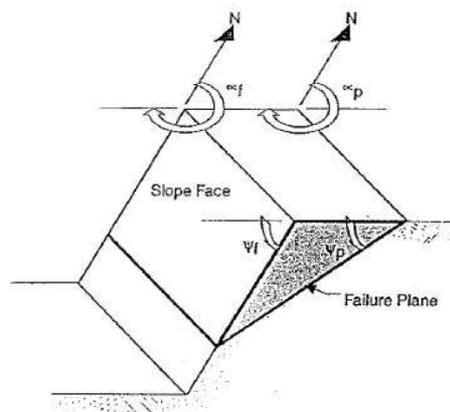


Figura 7-3 Meccanismo di scivolamento planare

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 (α_D) deve risultare poco differente da quella del piano del fronte (α_F):

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

- l'inclinazione del piano di discontinuità (ψ_D) deve essere superiore a quella del fronte (ψ_F):

$$\psi_D > \psi_F$$

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

Volendo rappresentare i vincoli geometrici attraverso una rappresentazione stereografica dei piani di discontinuità e del fronte di scavo è 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 cinematico non è possibile.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	PROGETTO ESECUTIVO					
SWS Engineering S.p.A.	Mandanti:					
PINI ITALIA	GDP	GEOMIN	SIFEL	SIST		
M Ingegneria						
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	45 di 127

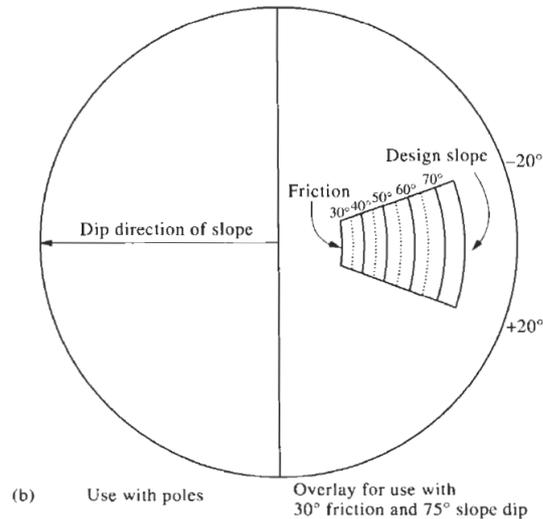


Figura 7-4 Identificazione del cinematiso di scivolamento planare attraverso le proiezioni stereografiche (da Hudson e Harrison, 1997).

7.1.1.2. 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 cinematiso 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.

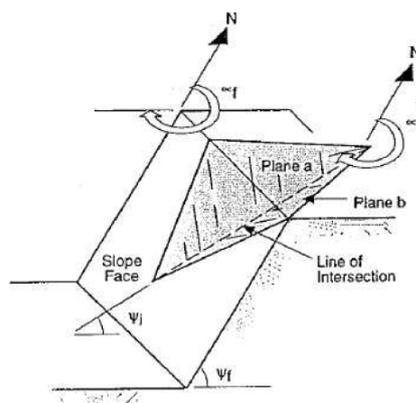


Figura 7-5 Meccanismo di scivolamento a cuneo

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

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	46 di 127

- 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 (ψ_R) deve essere superiore a quella del fronte (ψ_F)

$$\psi_R < \psi_F$$

- 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 (nonché 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 cinematiso analizzato sia possibile deve cadere la retta di intersezione dei due piani di discontinuità.

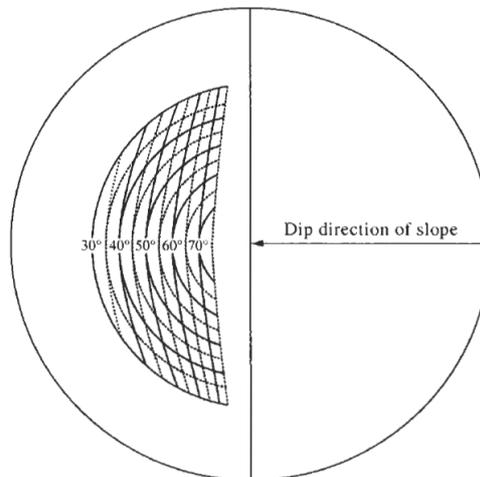


Figura 7-6 Identificazione del cinematiso di scivolamento tridimensionale attraverso le proiezioni stereografiche (da Hudson e Harrison, 1997).

7.1.1.3. 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.

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		
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	47 di 127

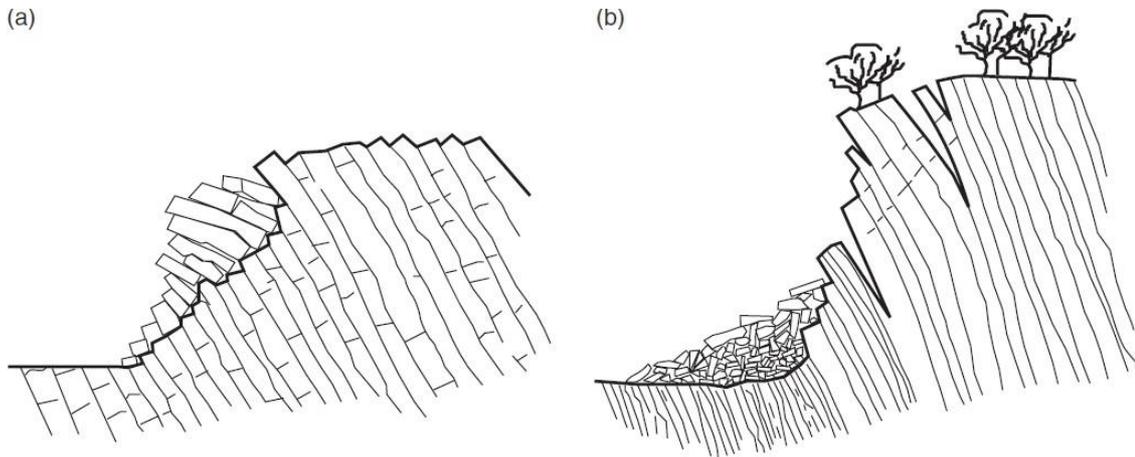


Figura 7-7 Ribaltamento diretto o a blocchi (A) e ribaltamento flessionale (B)

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 pressoché 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.

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 (α_B) risulti poco differente da quella del piano del fronte (α_F) (a meno che il versante non sia estremamente pendente per il quale la condizione può essere allargata)

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

- l'inclinazione della retta d'intersezione dei due piani di discontinuità (ψ_R) deve essere superiore a quella del fronte (ψ_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

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	48 di 127

possono rappresentare il piano di base (che ha come limite minore il valore 0° e come limite superiore l'angolo d'attrito φ ovvero l'inclinazione del versante ψ_F), sia le rette di intersezione tra piani che devono ricadere nella lunetta colorata di grigio.

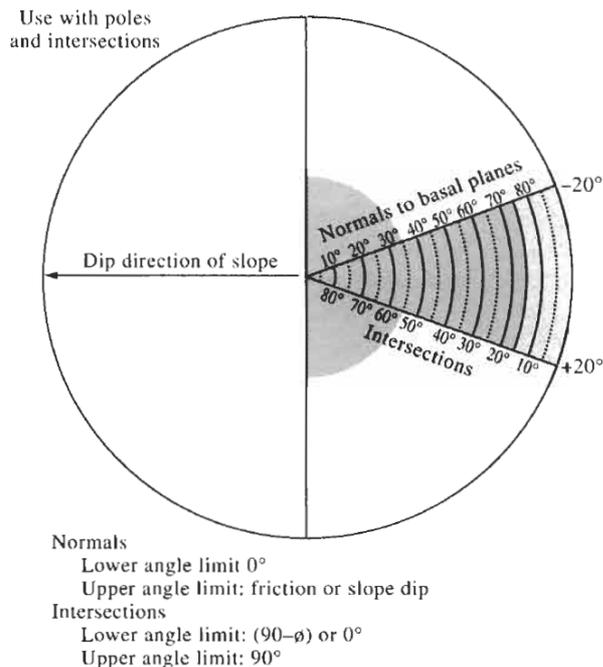


Figura 7-8 Identificazione del cinematiso di ribaltamento a blocchi attraverso le proiezioni stereografiche (da Hudson e Harrison, 1997).

Ribaltamento flessionale

Il ribaltamento flessionale è caratteristico di un ammasso roccioso interessato da un sistema di discontinuità sub-verticale 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 (α_P) dovrebbe risulti poco differente da quella del piano del fronte (α_F) ma con direzione opposta:

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

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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	49 di 127

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

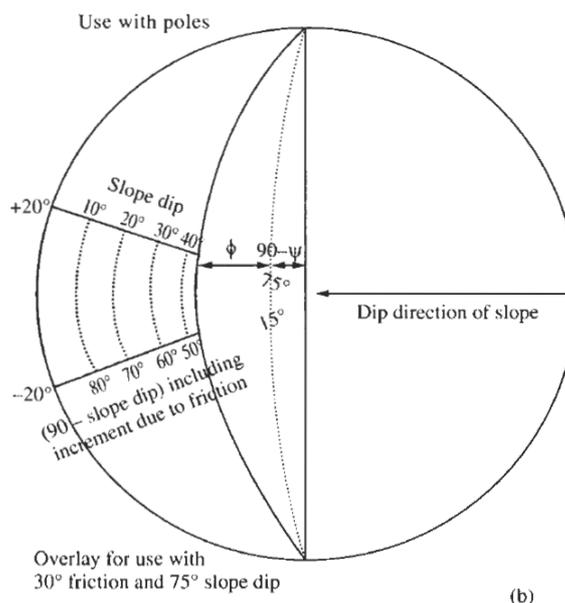


Figura 7-9 Identificazione del cinematismo di ribaltamento flessionale attraverso le proiezioni stereografiche (da Hudson e Harrison, 1997).

7.1.2 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 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.

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	PROGETTO ESECUTIVO					
SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	50 di 127

7.1.2.1. 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 mobilizzata. Lo schema geometrico di riferimento è quello riportato nella figura seguente.

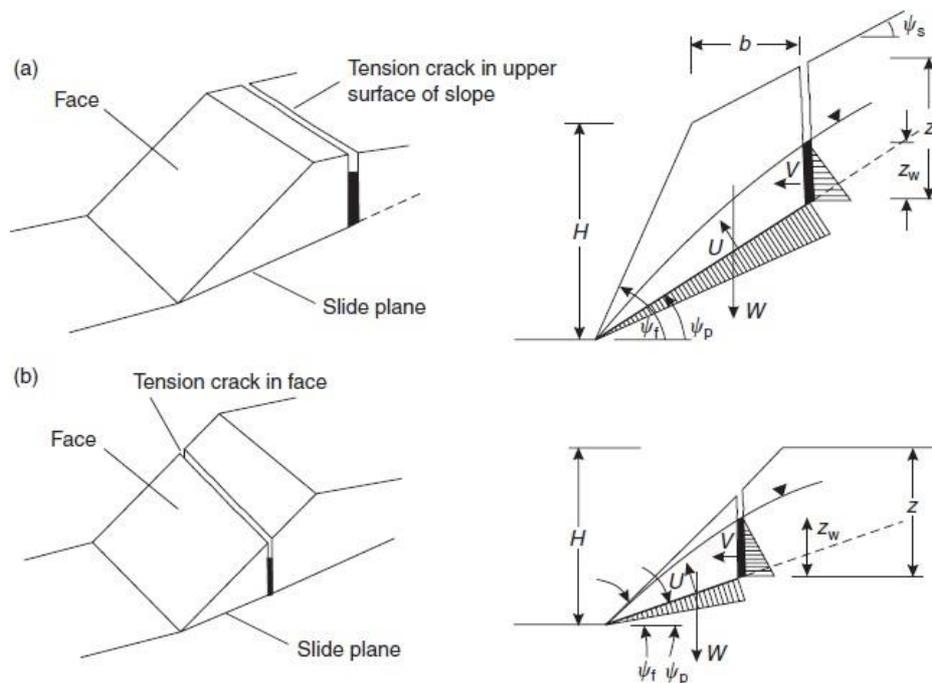


Figura 7-10 Condizioni geometriche per il calcolo del coefficiente di sicurezza nel caso di scivolamento planare

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 dall'angolo di resistenza al taglio φ 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:

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

dove c e φ rappresentano i parametri di resistenza della discontinuità, H l'altezza del versante, z l'altezza

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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 51 di 127

dell'eventuale piano di trazione a monte (tension crack), ψ_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

$$F_s = \frac{cH / \sin \psi_P + W \cos \alpha g \phi}{W \sin \alpha}$$

7.1.2.2. 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 ϕ) in assenza di sottospinte idrauliche.

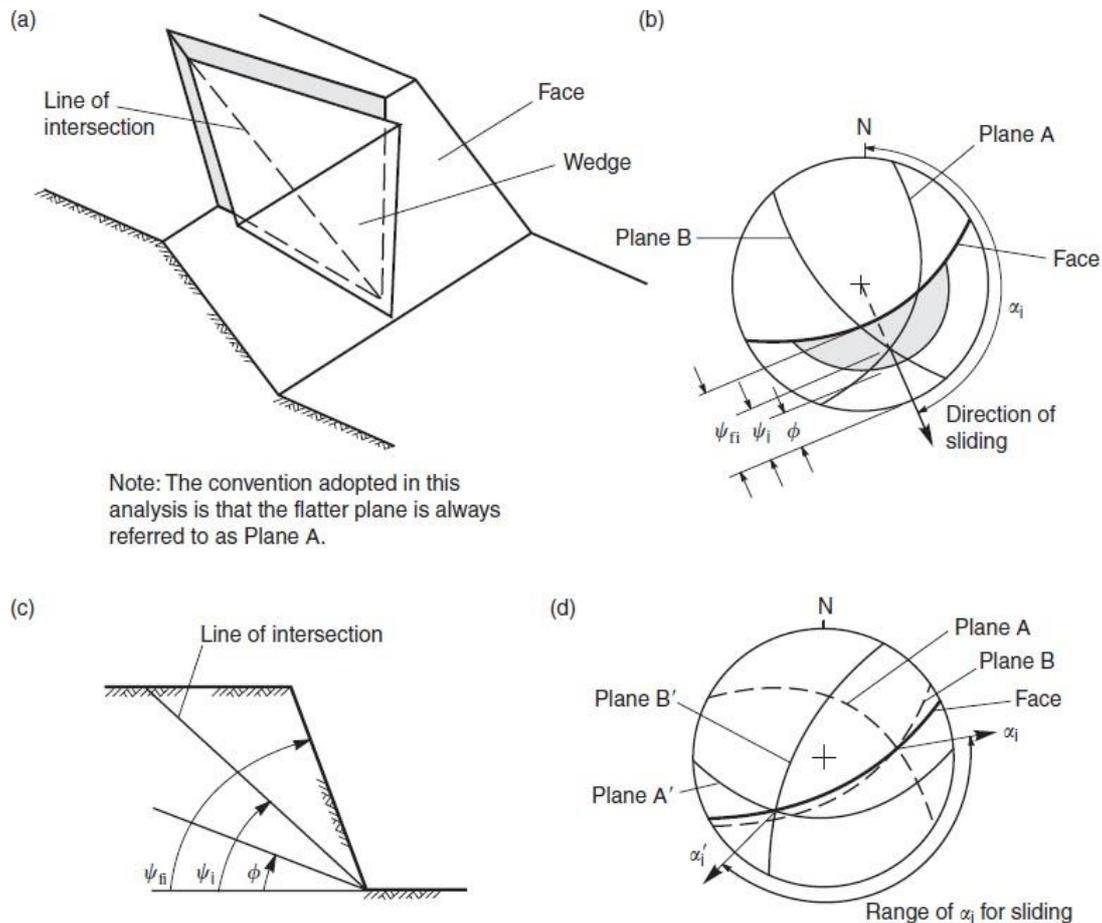


Figura 7-11 Condizioni geometriche per il calcolo del coefficiente di sicurezza nel caso di scivolamento a cuneo

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	PROGETTO ESECUTIVO					
SWS Engineering S.p.A.	Mandanti:					
PINI ITALIA	GDP	GEOMIN	SIFEL	SIST		
M Ingegneria						
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	52 di 127

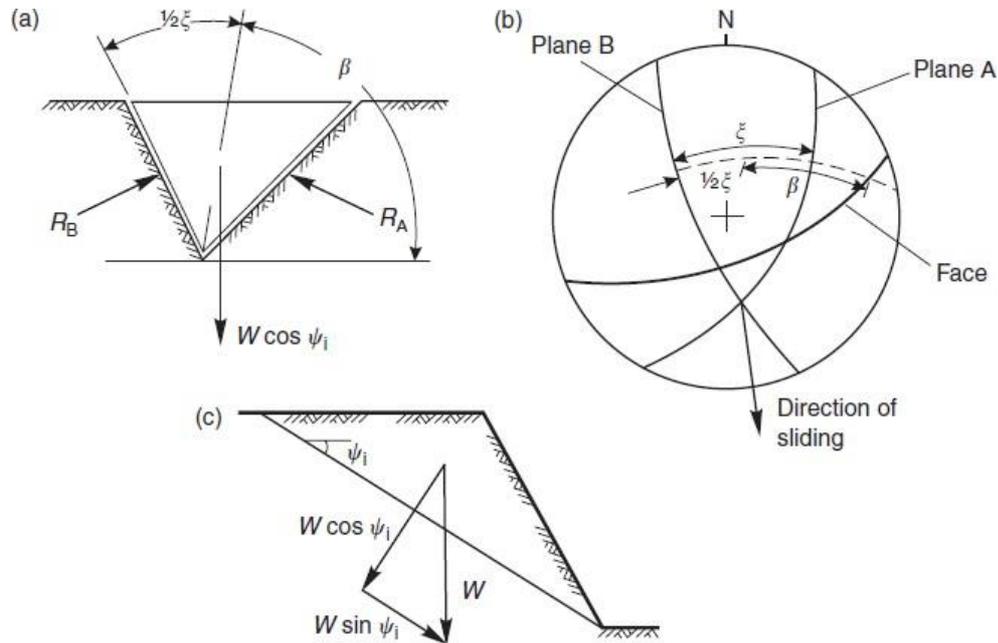


Figura 7-12 Sistema di forze agenti sul cuneo

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:

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

dove φ è l'angolo di resistenza dei due piani di discontinuità, ψ_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:

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

Esplicitando e sommando, si ottiene:

APPALTATORE: 	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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 53 di 127

$$R_A + R_B = \frac{W \cos \psi_R \cdot \text{sen} \beta}{\text{sen} \frac{1}{2} \delta}$$

Pertanto, il fattore di sicurezza diventa:

$$F_s = \frac{\text{sen} \beta}{\text{sen} \left(\frac{1}{2} \delta \right)} \cdot \frac{\text{tg} \phi}{\text{tg} \psi_R}$$

in cui δ è l'angolo tra i due piani di discontinuità, β 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 11-13 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.

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.

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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	54 di 127

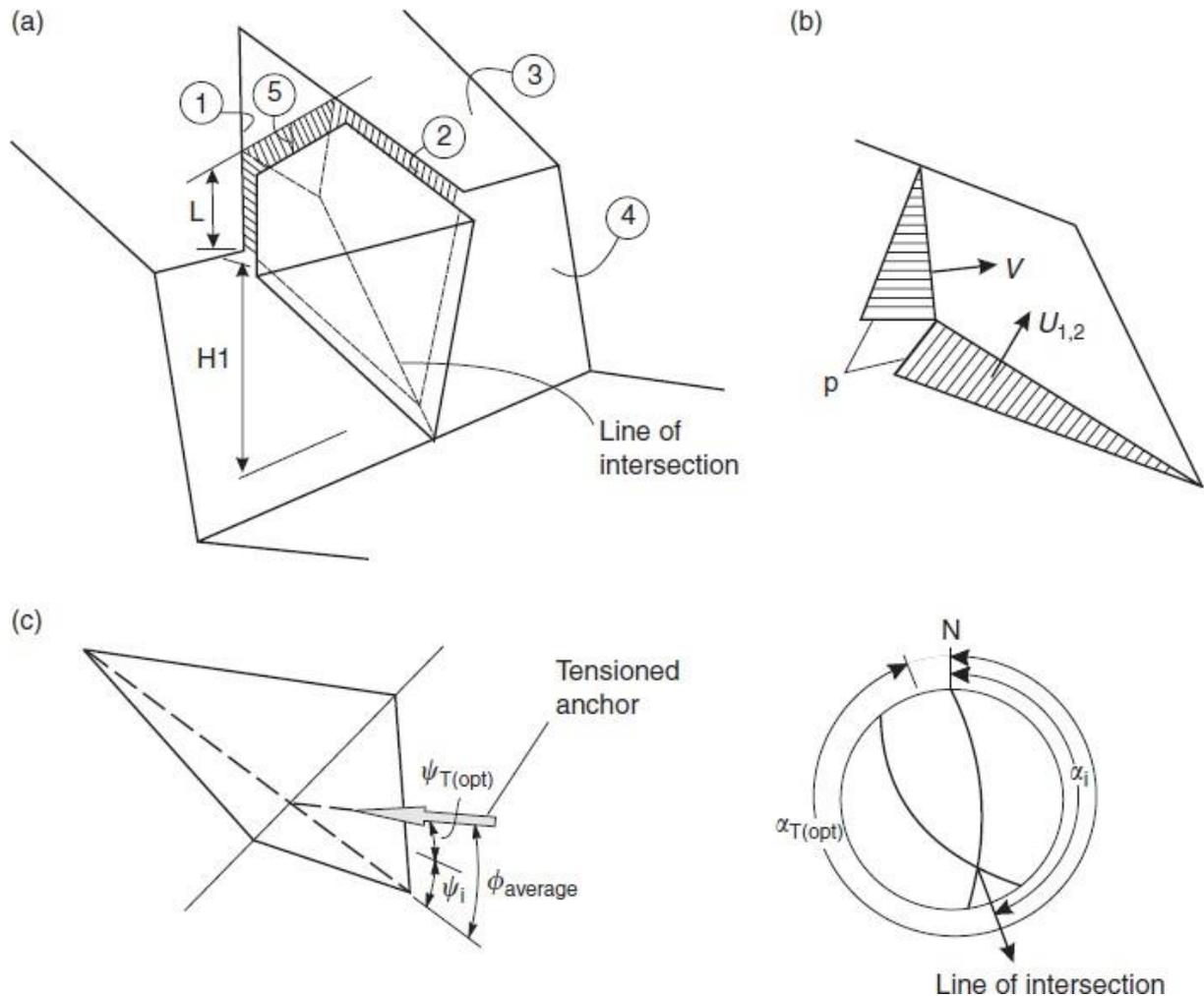


Figura 7-13 Geometria tipica di un cuneo tridimensionale in presenza di giunto di trazione

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).

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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IB0U 1BEZZ CL GA01002 C 55 di 127					

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

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.

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 11-14: il fenomeno di ribaltamento dipende dalla snellezza del blocco (rapporto $\Delta x/y$) e dall'angolo di inclinazione del piano di base ψ_p .

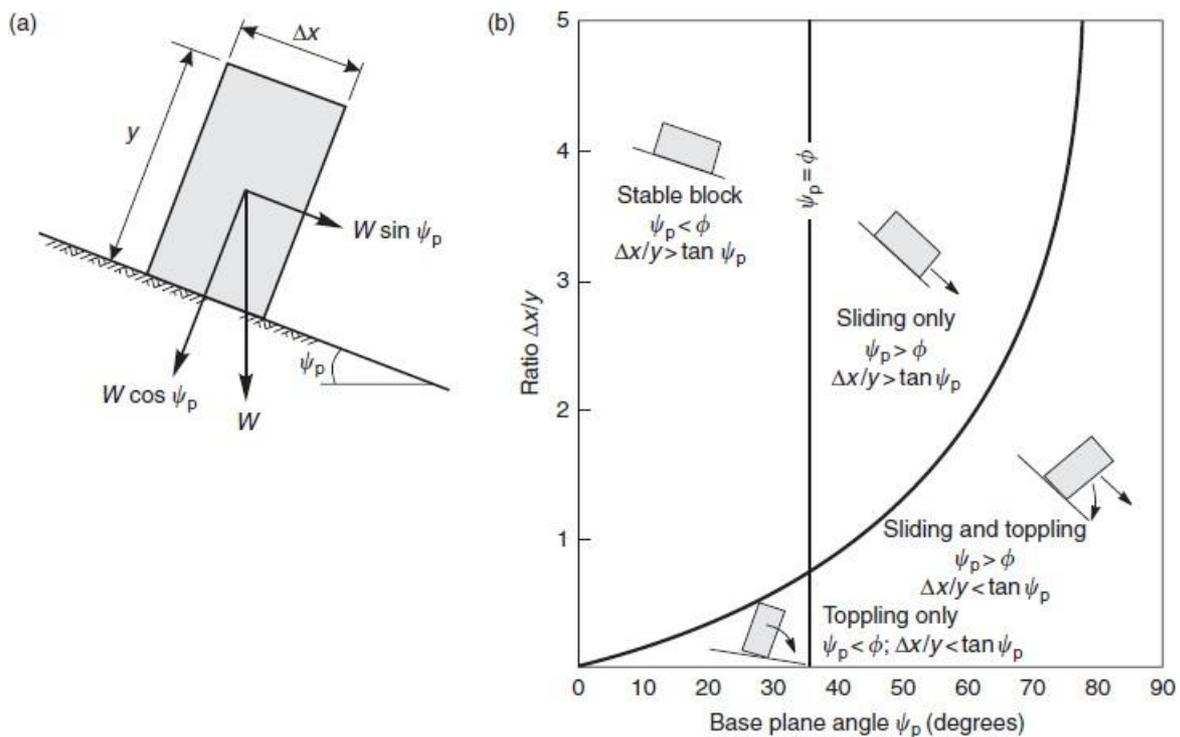


Figura 7-14 Condizioni di scorrimento e ribaltamento di un blocco su un piano inclinato.

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).

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: SWS Engineering S.p.A.	Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	56 di 127	

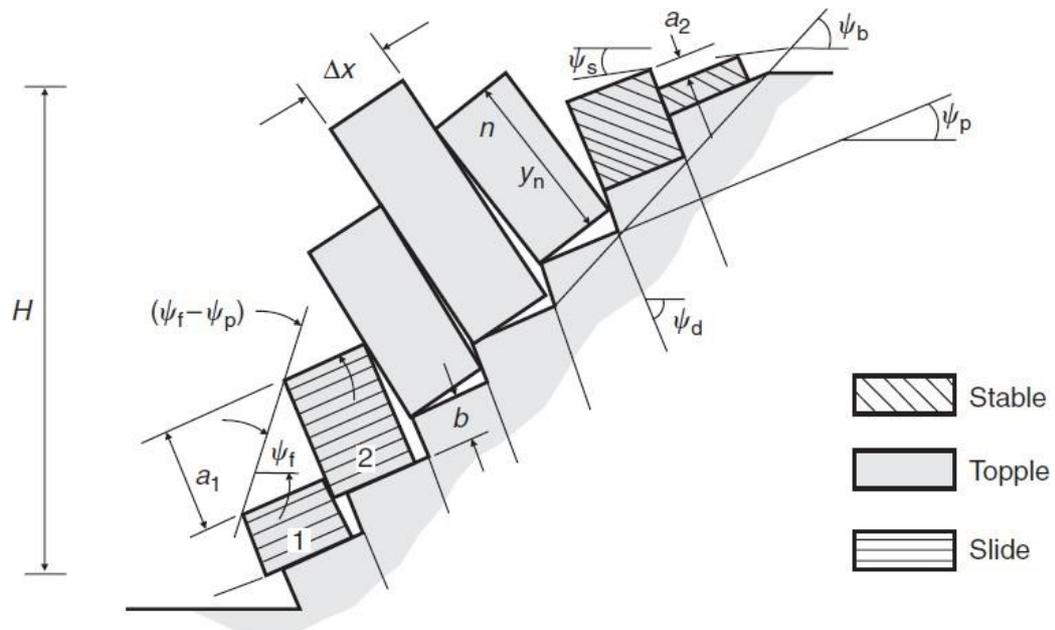


Figura 7-15 Analisi di equilibrio limite al ribaltamento di serie di blocchi su una base a gradini (da Goodman e Bray, 1976)

7.1.2.3. Ribaltamento flessionale

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 33:

- inclinazione media del versante, rispetto all'orizzontale, pari a ψ_F ;
- inclinazione dei giunti, rispetto all'orizzontale, pari a ψ_d ;
- tensione principale massima σ_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 (τ_n) supera la resistenza al taglio (τ_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 (τ_R) e la componente tangenziale delle tensioni (τ_n).

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

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	PROGETTO ESECUTIVO					
SWS Engineering S.p.A.	Mandanti:					
	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST					
	M Ingegneria					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	57 di 127

$$FS = \frac{\tan \phi}{\tan(\psi_F + \psi_d - 90)}$$

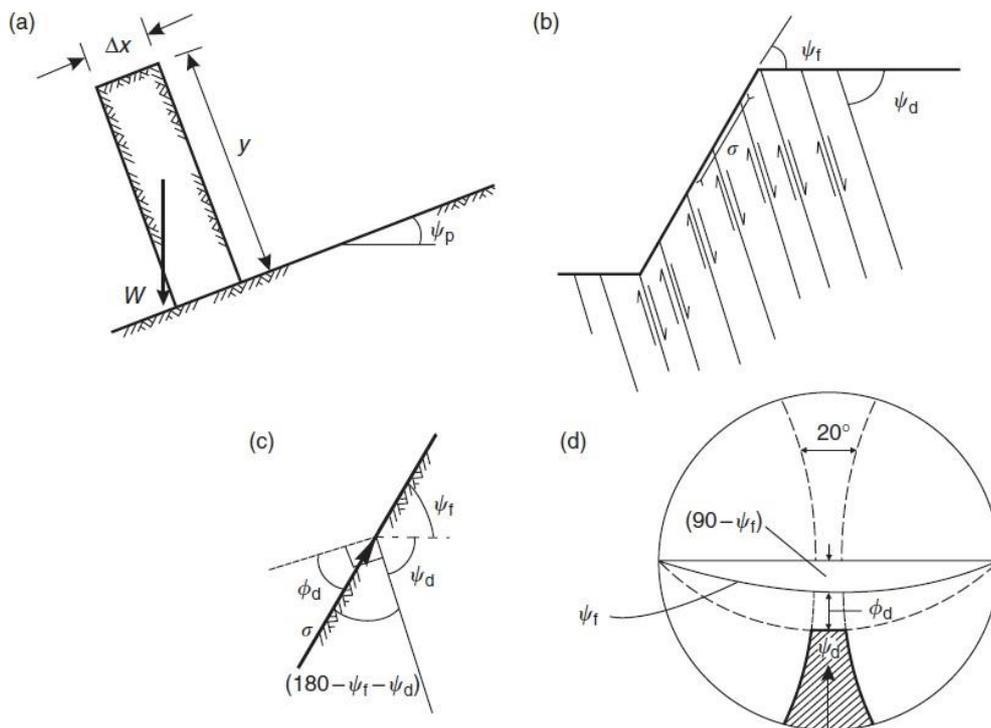


Figura 7-16 Verifica preliminare al ribaltamento flessionale (da Goodman e Bray, 1976)

7.1.2.4. Verifiche allo SLU

Secondo le NTC 2008, la verifica di stabilità del versante deve essere condotta allo SLU nella condizione A2+M2+R2 (§ 6.8.2). 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 γ_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

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						
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo		IB0U	1BEZZ	CL	GA01002	C	58 di 127

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).

7.1.2.5. Interventi di rinforzo del versante – Chiodature

Nel caso le analisi di equilibrio limite forniscano valori dei coefficienti di sicurezza inferiori ai limiti di normativa, è necessario prevedere appositi interventi di consolidamento, come chiodature e calcestruzzo proiettato.

La funzione degli interventi è quella di incrementare il coefficiente di sicurezza. A seconda che l'intervento previsto sia attivo o passivo, l'effetto che esso produce sul coefficiente di sicurezza è differente:

- un intervento di tipo attivo (tiranti pre-tesi) comporta un incremento delle forze resistenti e una riduzione delle azioni mobilitanti:

$$F = \frac{\text{forze resistenti} + T_N \tan \varphi}{\text{forze mobilitanti} - T_S}$$

- un intervento di tipo passivo (chiodature passive cementate), invece, comporta solo un incremento delle forze resistenti.

$$F = \frac{\text{forze resistenti} + T_N \tan \varphi + T_S}{\text{forze mobilitanti}}$$

In cui:

$T_N =$ componente normale della forza applicata alla roccia dal supporto;

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
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 59 di 127

T_s = componente di taglio della forza applicata alla roccia dal supporto.

Il contributo resistente di eventuali consolidamenti mediante chiodature passive viene valutato con l'assunto del massimo lavoro plastico della barra (Panet, 1987, ripreso da AICAP, Ancoraggi nei terreni e nelle rocce – Raccomandazioni 1993).

Si assume che la barra abbia un dominio di resistenza a sforzo normale e taglio ellittico con i semiassi pari rispettivamente allo sforzo massimo di trazione di progetto, N_{yd} e lo sforzo massimo di taglio $0.5N_{yd}$.

Nella figura successiva viene presentato come determinare graficamente la reazione R della barra.

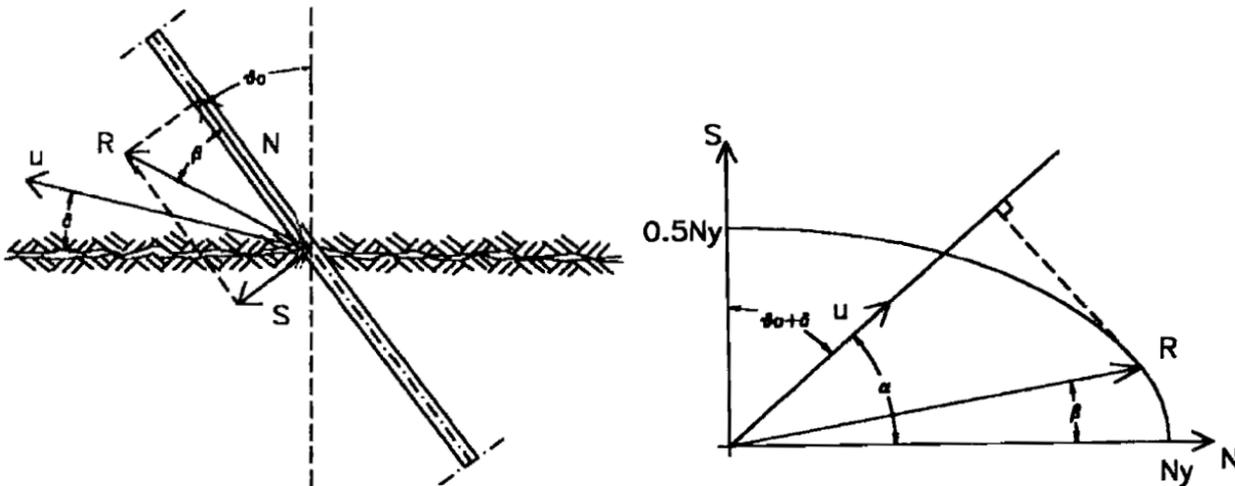


Figura 7-17 Schema dell'interazione barra/giunto e della valutazione della resistenza R sul piano N, S e associato di spostamento.

Il contributo resistente, o contributo al taglio, lungo la superficie di scivolamento viene determinato proiettando la forza resistente limite R sul piano di scivolamento:

$$C_b = R * \cos (\vartheta_0 + \beta) * \operatorname{tg} \varphi + R * \operatorname{sen} (\vartheta_0 + \beta)$$

7.1.3 Rafforzamenti 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;

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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 60 di 127

- 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 β 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 α .

7.1.3.1. 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 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;

ϕ : diametro della barra;

t_c : eventuale spessore di corrosione;

ε : inclinazione del chiodo rispetto all'orizzontale;

β : inclinazione media del pendio;

θ_0 : inclinazione della barra rispetto alla perpendicolare al piano di scorrimento;

σ_{adm} : tensione di snervamento di progetto dell'acciaio dell'ancoraggio;

σ_{st} : tensione di snervamento dell'acciaio dell'ancoraggio;

γ_{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:

APPALTATORE: 	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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 61 di 127

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

dove δ 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:

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

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

dove:

JRC: rugosità del giunto;

JCS: resistenza a compressione monoassiale del giunto;

σ_{plan} : tensione sul piano di scivolamento;

JRC₀: rugosità del giunto alla scala del campione;

JCS₀: resistenza a compressione monoassiale del giunto alla scala del campione;

L₀: lunghezza del giunto alla scala del campione (assunta pari a 0.1 m in assenza di dati);

L_G: 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:

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

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:

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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	62 di 127

$$W = i_x \cdot i_v \cdot s \cdot \gamma$$

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

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

In cui ϕ 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° , 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 γ_T , γ_W e γ_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 γ_{MO} e γ_{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:		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				
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 63 di 127	

Tabella 7-1 Coefficienti parziali e coefficienti sui carichi

Partial/Load factor	Description	Value
γ_T	If the superficial instability thickness is defined by:	
	- geomechanical survey: - rough/visual estimation:	1.20 1.30
γ_W	If the rock unit weight is:	
	- homogeneous: - not-homogeneous (i.e. flysh):	1.00 1.05
γ_R	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_{top}	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_{ol}	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

Il coefficiente di sicurezza del chiodo è definito come:

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

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

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

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

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

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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 64 di 127

porzione di roccia instabile;

L_p : lunghezza della parte plasticizzata dell'ammasso roccioso instabile.

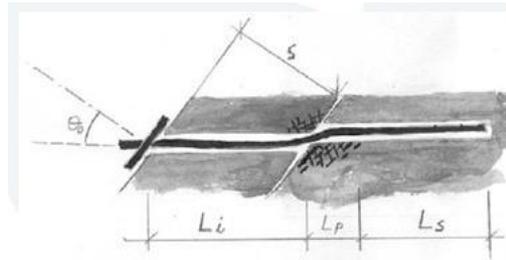


Figura 7-18 Definizione delle lunghezze per il dimensionamento del chiodo.

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

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

in cui:

ϕ_{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});

τ_{lim} : tensione tangenziale limite all'interfaccia tra la malta e la roccia; γ_{GT} : coefficiente di sicurezza sull'adesione malta-roccia.

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

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

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

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_I è valutata come:

$$L_I = \frac{S}{\cos\theta_n} \cdot \gamma_{DW}$$

La parte plasticizzata è generalmente assunta pari a 10-50 cm a seconda delle caratteristiche dell'ammasso

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	PROGETTO ESECUTIVO					
SWS Engineering S.p.A.	Mandanti:					
PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL	SIST			
M Ingegneria						
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	65 di 127

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.

7.1.3.2. 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 α , inferiore all'inclinazione β 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.

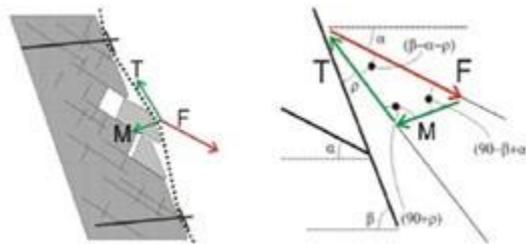


Figura 7-19 Schema delle forze agenti sulla rete.

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:

$$V = V_A + V_B + V_C$$

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

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

$$V_B = s \cdot [i_y - s / \tan(\beta - \alpha)]$$

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

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

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

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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 66 di 127

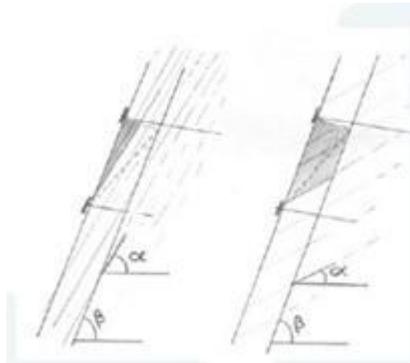


Figura 7-20 Forme dei volumi di roccia che si possono muovere tra gli ancoraggi: triangolare (sinistra) e trapezio (destra).



Figura 7-21 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 MB e la massima azione di punzonamento sulla rete M:

$$M_B = V \cdot \gamma$$

$$M = (M_{B_driv} - M_{B_stab}) \cdot \text{sen}(\beta - \alpha) \cdot i_x$$

$$M_{B_driv} = M_B \cdot (\text{sen}\alpha + c \cdot \text{cos}\alpha) \cdot \gamma_{DW}$$

$$M_{B_stab} = M_B \cdot \text{sen}\alpha \cdot (1 - c) / \gamma_{RW}$$

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

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

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

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 67 di 127

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:

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

T : massima trazione esercitata dai blocchi secondari sulla rete.

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

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

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

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	PROGETTO ESECUTIVO					
SWS Engineering S.p.A.	Mandanti:					
	PINI ITALIA	GDP GEOMIN	SIFEL SIST			
	M Ingegneria					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	68 di 127

8. VERIFICA DELLE OPERE DELL'IMBOCCO SUD

8.1 ANALISI DI STABILITÀ DEI VERSANTI ROCCIOSI E DEI FRONTI DI SCAVO

Le analisi hanno come obiettivo la valutazione delle condizioni di stabilità del versante esistente nonché dei fronti di scavo previsti per la realizzazione degli imbocchi delle gallerie.

Sono previsti due tipi di interventi:

- 1) Rafforzamenti corticali del versante esistente con rete in aderenza e chiodature;
- 2) Rinforzi con chiodature passive e spritz beton dei fronti di scavo.

La prima tipologia di interventi è di tipo definitivo, mentre la seconda è provvisoria essendo propedeutica alla realizzazione delle opere di imbocco della galleria.

L'azione sismica per le opere provvisorie è stata calcolata con $V_N=35$ anni, da cui derivano i coefficienti per la verifica pseudostatica k_h e k_v pari a:

$$k_h = 0.0636 \times 0.20 = 0.01272 \text{ e } k_v = +/- 0.00636$$

Mentre 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:

$$k_h = 0.078 \times 0.20 = 0.0156 \text{ e } k_v = +/- 0.0078$$

Le analisi sono state condotte differenziando il Binario Dispari e Binario Pari, visto che i versanti sono caratterizzati da pendenze ed immersioni diverse.

Le giaciture dei due versanti sono così definite:

- Binario Dispari: giacitura del versante pari a $135^\circ/65^\circ$;
- Binario Pari: giacitura del versante pari a $145^\circ/72^\circ$.

Sono stati verificati i due imbocchi con uno scavo del versante pari a 1:10 per entrambi i binari con le seguenti giaciture ritenendo che per sviluppo e pendenza rappresentino le condizioni peggiori:

- Binario Dispari: giacitura dello scavo pari a $117^\circ/84^\circ$;
- Binario Pari: giacitura dello scavo pari a $147^\circ/84^\circ$.

8.1.1 Analisi dei possibili cinematismi

Le analisi cinematiche sono state eseguite utilizzando il programma di calcolo DIPs v. 7.0, basandosi sui dati delle discontinuità ottenuti dal rilievo BR20a più prossimo all'area di imbocco.

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 69 di 127

I risultati delle analisi sono riassunti nella seguente tabella e nelle seguenti immagini. Si osserva che:

- lato Binario Dispari, gli unici cinematismi possibili sia per il versante esistente sia per gli scavi, sono quelli di "scivolamento a cuneo" che coinvolgono le famiglie di discontinuità K 92/80, K 213/59, K 341/52, K 134/84 e K 28/75. Queste ultime due famiglie, tuttavia, generano cunei molto corticali (i punti di intersezione sono prossimi alla superficie di scavo);
- lato Binario Pari, sono possibili cinematismi di "scivolamento a cuneo" e di "ribaltamento flessurale". Sul versante esistente il possibile cuneo è individuato dalla medesima combinazione di famiglie di discontinuità presenti sul Binario Dispari. Sul profilo di scavo oltre alla precedente si evidenzia una seconda combinazione K 134/84, K 213/59 e K 341/52 che può dar luogo alla formazione di cunei instabili.

In merito al cinematismo di ribaltamento flessurale si evidenzia che tale meccanismo non è compatibile con le osservazioni di campagna e quindi non viene preso in considerazione nelle successive analisi di equilibrio limite, che riguardano esclusivamente i cinematismi di scivolamento a cuneo.

Tabella 8-1 Sintesi dei risultati analisi cinematiche per il versante e gli scavi

Binario	Rilievo	Rilievo Geomeccanico BR20a	
	Profilo	Versante esistente	Scavo di Sbanco
	Cinematismi	Famiglie	Famiglie
Dispari	scivolamento planare	-	-
	scivolamento a cuneo	K _{92/80} -K _{213/59} -K _{341/52}	K _{92/80} -K _{213/59} -K _{341/52} K _{92/80} -K _{134/84} -K _{213/59} K _{28/75} -K _{134/84} -K _{92/80}
	ribaltamento flessurale	-	-
	ribaltamento diretto	-	-
	scivolamento planare	-	-
Pari	scivolamento a cuneo	K _{92/80} -K _{213/59} -K _{341/52}	K _{92/80} -K _{213/59} -K _{341/52} K _{134/84} -K _{213/59} -K _{341/52}
	ribaltamento flessurale	K _{341/52}	K _{341/52}
	ribaltamento diretto	-	-
	scivolamento planare	-	-

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				
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C FOGLIO. 70 di 127

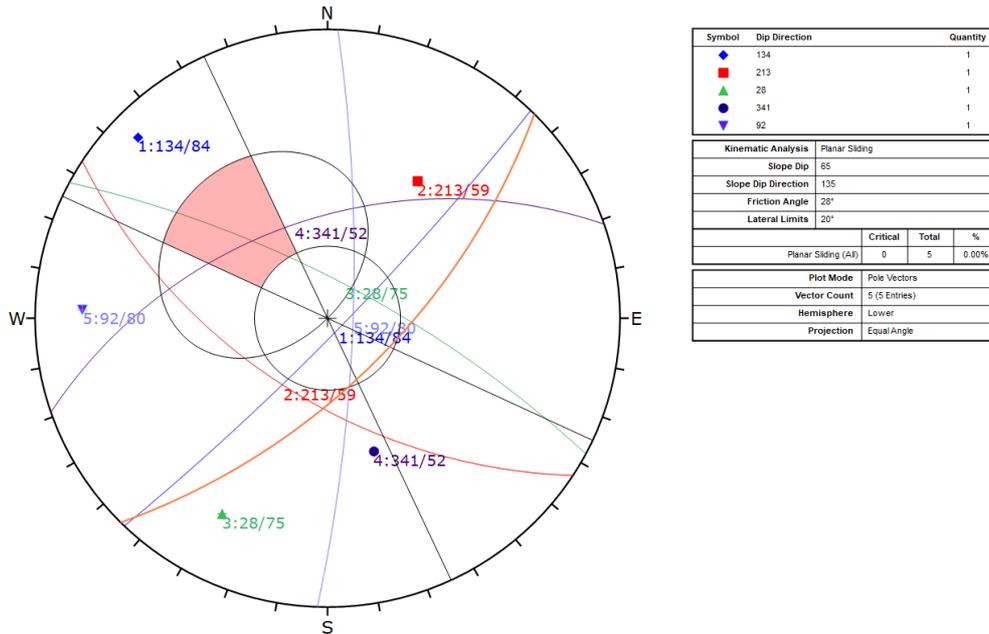


Figura 8-1 Analisi cinematica – scivolamento planare – Binario Dispari – Versante esistente

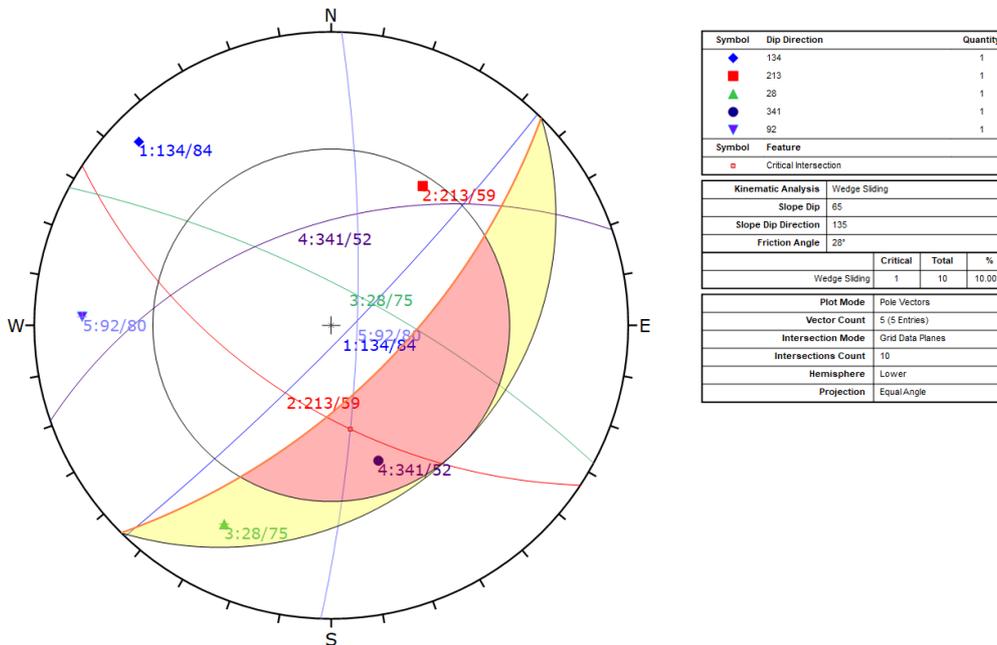
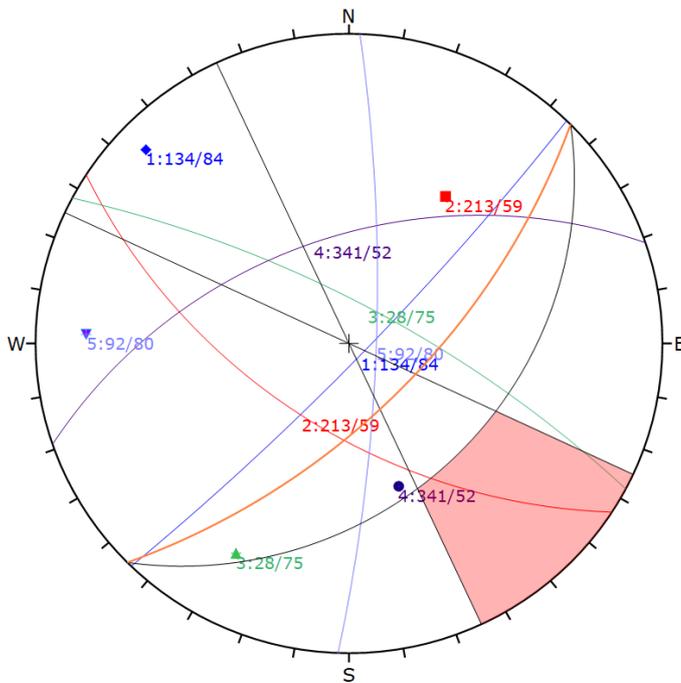


Figura 8-2 Analisi cinematica – scivolamento a cuneo – Binario Dispari – Versante esistente

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 71 di 127

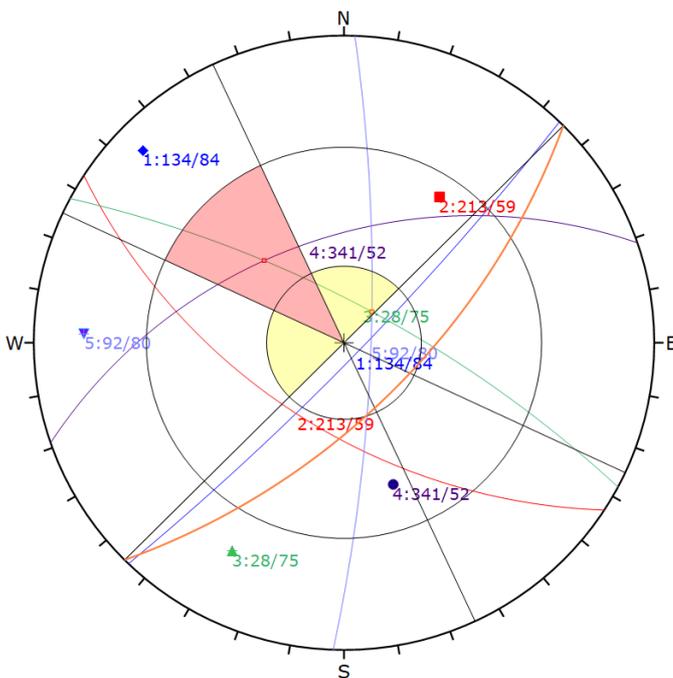


Symbol	Dip Direction	Quantity
◆	134	1
■	213	1
▲	28	1
●	341	1
▼	92	1

Kinematic Analysis		Flexural Toppling		
Slope Dip	65			
Slope Dip Direction	135			
Friction Angle	28°			
Lateral Limits	20°			
		Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	0	5	0.00%	

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

Figura 8-3 Analisi cinematica – ribaltamento flessurale – Binario Dispari – Versante esistente



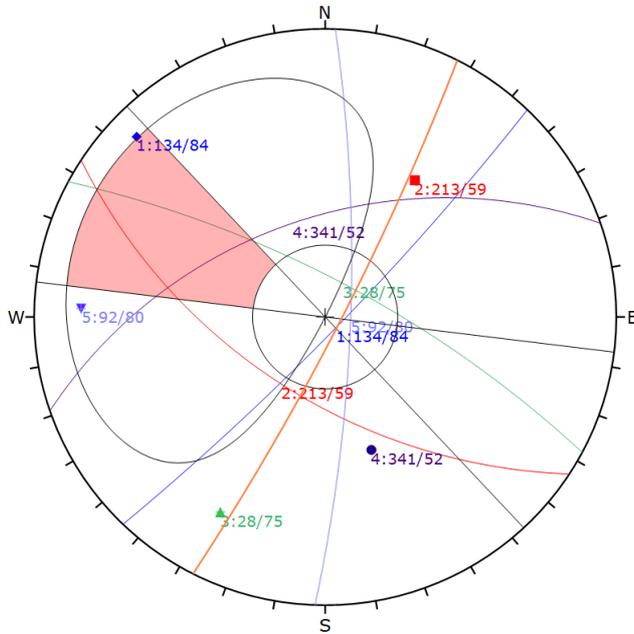
Symbol	Dip Direction	Quantity
◆	134	1
■	213	1
▲	28	1
●	341	1
▼	92	1

Kinematic Analysis		Direct Toppling		
Slope Dip	65			
Slope Dip Direction	135			
Friction Angle	28°			
Lateral Limits	20°			
		Critical	Total	%
Direct Toppling (Intersection)	1	10	10.00%	
Oblique Toppling (Intersection)	1	10	10.00%	
Base Plane (All)	0	5	0.00%	

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

Figura 8-4 Analisi cinematica – ribaltamento diretto – Binario Dispari – Versante esistente

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 72 di 127

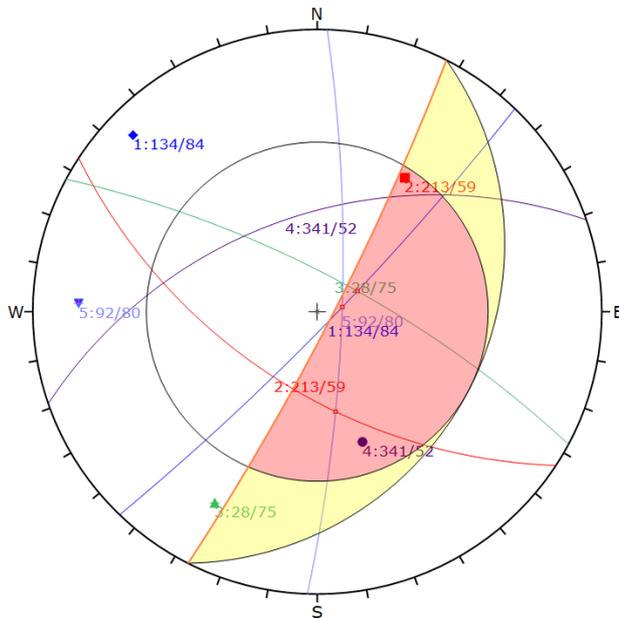


Symbol	Dip Direction	Quantity
◆	134	1
■	213	1
▲	28	1
●	341	1
▼	92	1

Kinematic Analysis		Planar Sliding	
Slope Dip	84		
Slope Dip Direction	117		
Friction Angle	28°		
Lateral Limits	20°		
		Critical	Total
Planar Sliding (All)	0	5	0.00%

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

Figura 8-5 Analisi cinematica – scivolamento planare – Binario Dispari – Profilo di scavo 1/10



Symbol	Dip Direction	Quantity
◆	134	1
■	213	5
▲	28	1
●	341	1
▼	92	1

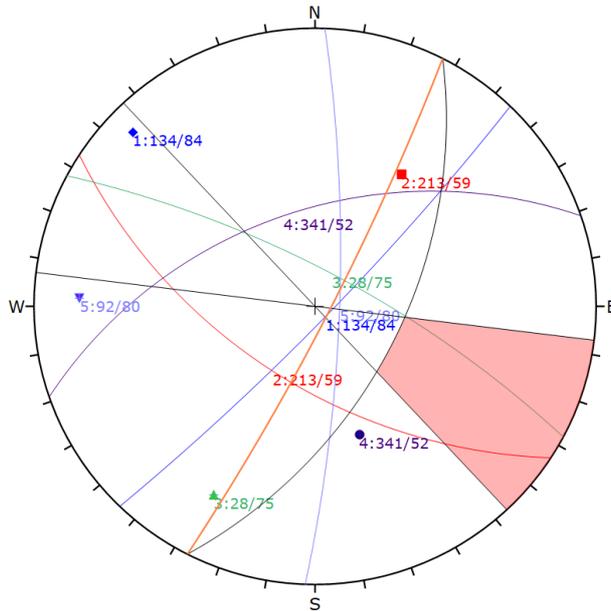
Symbol	Feature
■	Critical Intersection

Kinematic Analysis		Wedge Sliding	
Slope Dip	84		
Slope Dip Direction	117		
Friction Angle	28°		
		Critical	Total
Wedge Sliding	3	10	30.00%

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

Figura 8-6 Analisi cinematica – scivolamento a cuneo – Binario Dispari – Profilo di scavo 1/10

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 73 di 127

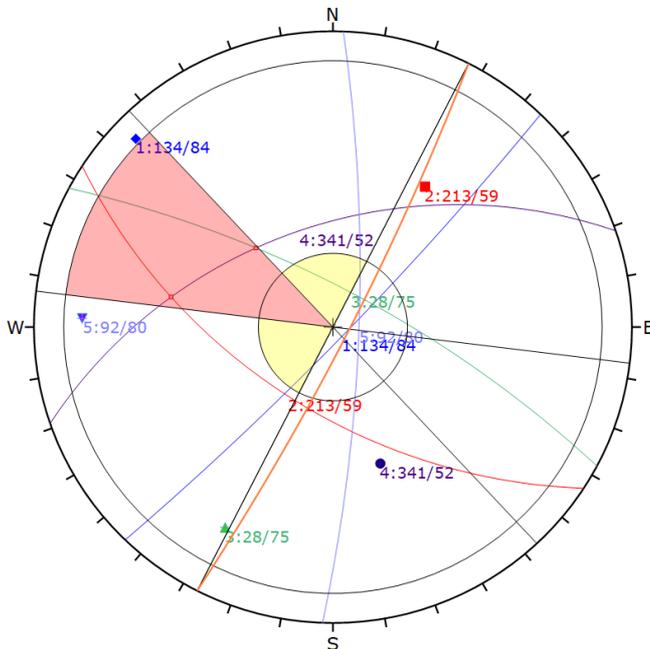


Symbol	Dip Direction	Quantity
◆	134	1
■	213	1
▲	28	1
●	341	1
▼	92	1

Kinematic Analysis		Flexural Topping		
Slope Dip	84			
Slope Dip Direction	117			
Friction Angle	28°			
Lateral Limits	20°			
		Critical	Total	%
Flexural Topping (All)	0	5	0.00%	

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

Figura 8-7 Analisi cinematica – ribaltamento flessurale – Binario Dispari – Profilo di scavo 1/10



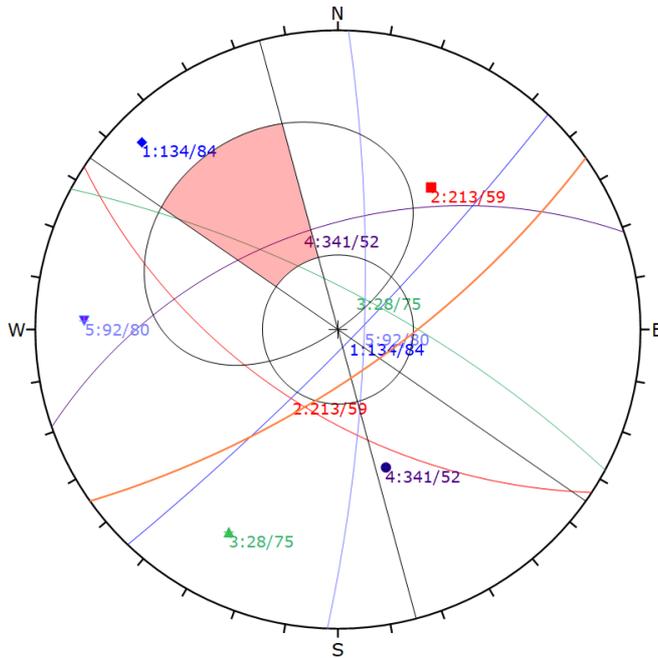
Symbol	Dip Direction	Quantity
◆	134	1
■	213	1
▲	28	1
●	341	1
▼	92	1

Kinematic Analysis		Direct Topping		
Slope Dip	84			
Slope Dip Direction	117			
Friction Angle	28°			
Lateral Limits	20°			
		Critical	Total	%
Direct Topping (Intersection)	2	10	20.00%	
Oblique Topping (Intersection)	0	10	0.00%	
Base Plane (All)	0	5	0.00%	

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

Figura 8-8 Analisi cinematica – ribaltamento diretto – Binario Dispari – Profilo di scavo 1/10

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 74 di 127



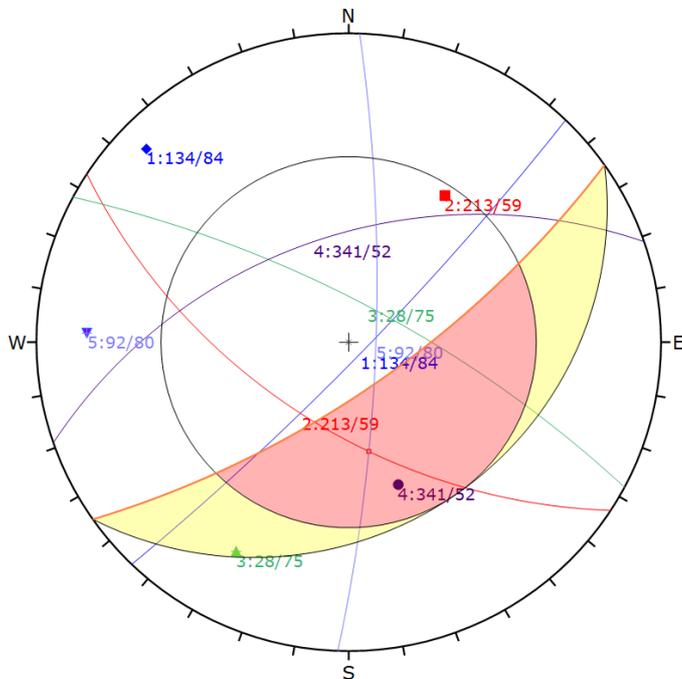
Symbol	Dip Direction	Quantity
◆	134	1
■	213	1
▲	28	1
●	341	1
▼	92	1

Kinematic Analysis		Planar Sliding
Slope Dip	72	
Slope Dip Direction	145	
Friction Angle	28°	
Lateral Limits	20°	

	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	0	5	0.00%

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

Figura 8-9 Analisi cinematica – scivolamento planare – Binario Pari – Versante esistente



Symbol	Dip Direction	Quantity
◆	134	1
■	213	1
▲	28	1
●	341	1
▼	92	1

Symbol	Feature
■	Critical Intersection

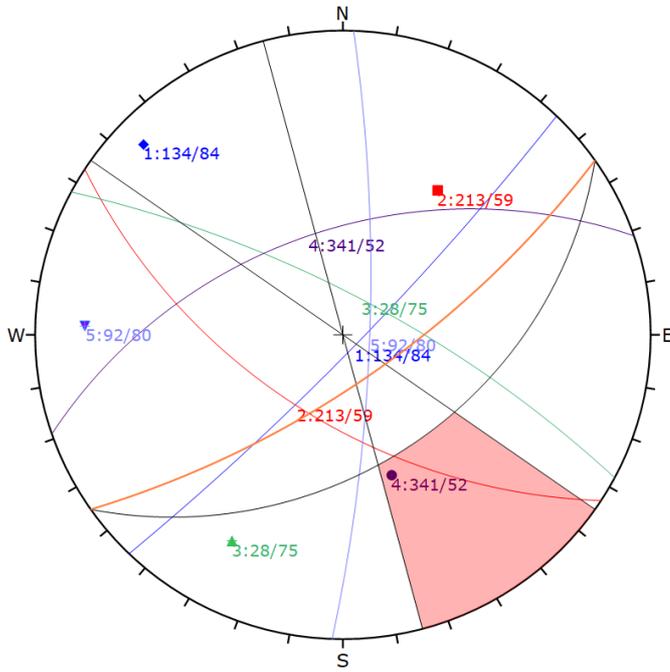
Kinematic Analysis		Wedge Sliding
Slope Dip	72	
Slope Dip Direction	145	
Friction Angle	28°	

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	1	10	10.00%

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

Figura 8-10 Analisi cinematica – scivolamento a cuneo – Binario Pari – Versante esistente

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C FOGLIO. 75 di 127	

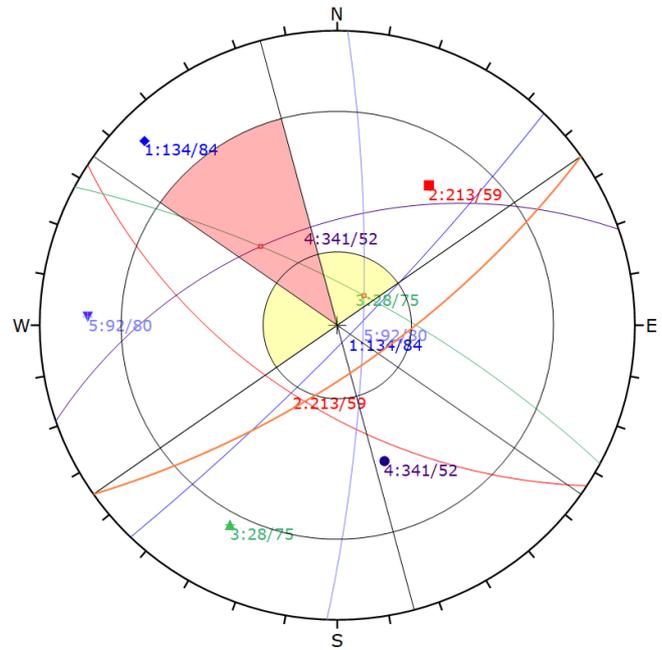


Symbol	Dip Direction	Quantity
◆	134	1
■	213	1
▲	28	1
●	341	1
▼	92	1

Kinematic Analysis		Flexural Topping		
Slope Dip	72			
Slope Dip Direction	145			
Friction Angle	28°			
Lateral Limits	20°			
		Critical	Total	%
Flexural Topping (All)		1	5	20.00%

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

Figura 8-11 Analisi cinematica – ribaltamento flessurale – Binario Pari – Versante esistente



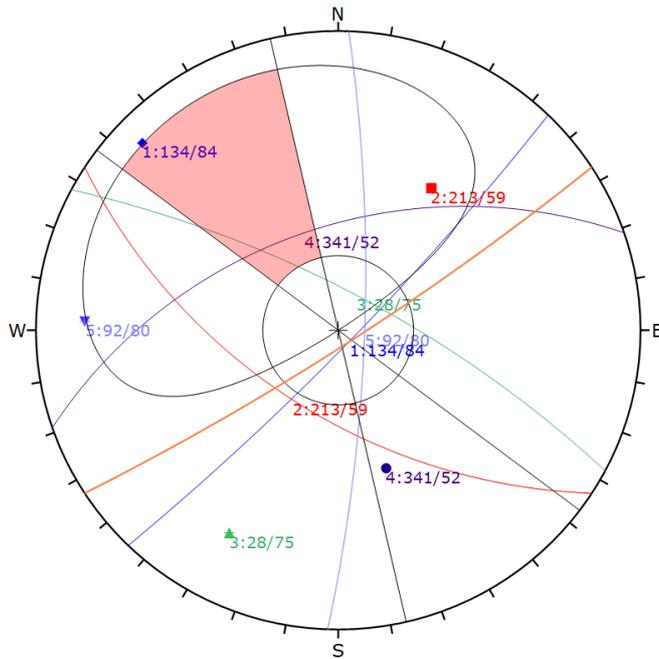
Symbol	Dip Direction	Quantity
◆	134	1
■	213	1
▲	28	1
●	341	1
▼	92	1

Kinematic Analysis		Direct Topping		
Slope Dip	72			
Slope Dip Direction	145			
Friction Angle	28°			
Lateral Limits	20°			
		Critical	Total	%
Direct Topping (Intersection)		1	10	10.00%
Oblique Topping (Intersection)		1	10	10.00%
Base Plane (All)		0	5	0.00%

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

Figura 8-12 Analisi cinematica – ribaltamento diretto – Binario Pari – Versante esistente

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 76 di 127

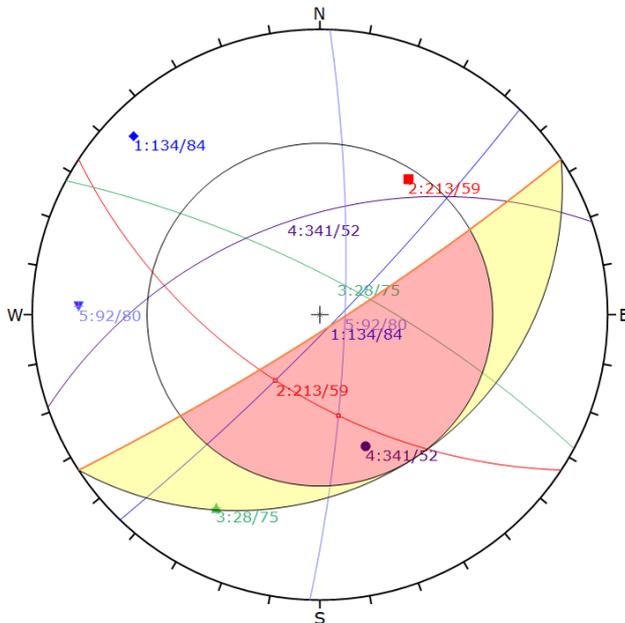


Symbol	Dip Direction	Quantity
◆	134	1
■	213	1
▲	28	1
●	341	1
▼	92	1

Kinematic Analysis		Planar Sliding		
Slope Dip		84		
Slope Dip Direction		147		
Friction Angle		28°		
Lateral Limits		20°		
Planar Sliding (All)		Critical	Total	%
		0	5	0.00%

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

Figura 8-13 Analisi cinematica – scivolamento planare – Binario Pari – Profilo di scavo 1/10



Symbol	Dip Direction	Quantity
◆	134	1
■	213	1
▲	28	1
●	341	1
▼	92	1

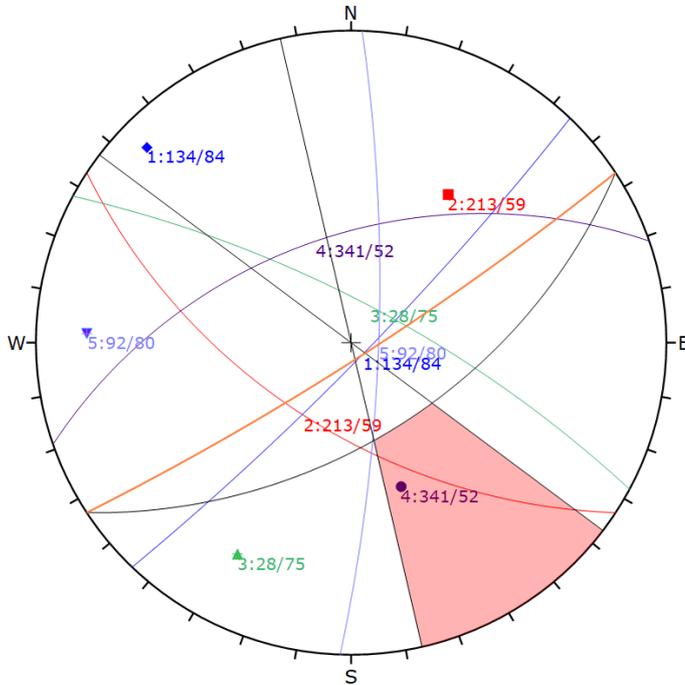
Symbol	Feature
■	Critical Intersection

Kinematic Analysis		Wedge Sliding		
Slope Dip		84		
Slope Dip Direction		147		
Friction Angle		28°		
Wedge Sliding		Critical	Total	%
		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	

Figura 8-14 Analisi cinematica – scivolamento a cuneo – Binario Pari – Profilo di scavo 1/10

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 77 di 127

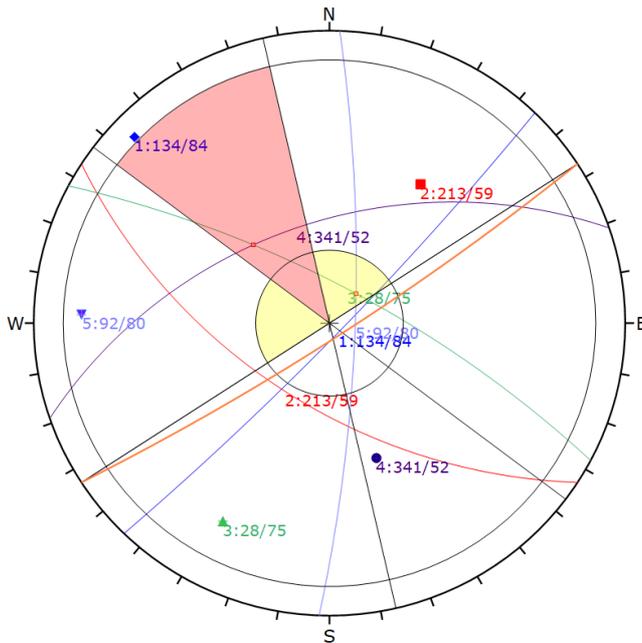


Symbol	Dip Direction	Quantity
◆	134	1
■	213	1
▲	28	1
●	341	1
▼	92	1

Kinematic Analysis		Flexural Toppling	
Slope Dip	84		
Slope Dip Direction	147		
Friction Angle	28°		
Lateral Limits	20°		
		Critical	Total
Flexural Toppling (All)		1	5
			%
			20.00%

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

Figura 8-15 Analisi cinematica – ribaltamento flessurale – Binario Pari – Profilo di scavo 1/10



Symbol	Dip Direction	Quantity
◆	134	1
■	213	1
▲	28	1
●	341	1
▼	92	1

Symbol	Feature
■	Critical Intersection

Kinematic Analysis		Direct Toppling	
Slope Dip	84		
Slope Dip Direction	147		
Friction Angle	28°		
Lateral Limits	20°		
		Critical	Total
Direct Toppling (Intersection)		1	10
			%
			10.00%
Oblique Toppling (Intersection)		1	10
			%
			10.00%
Base Plane (All)		0	5
			%
			0.00%

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

Figura 8-16 Analisi cinematica – ribaltamento diretto – Binario Pari – Profilo di scavo 1/10

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 78 di 127

8.1.2 Analisi di equilibrio limite dei cunei potenzialmente instabili

Le analisi di equilibrio limite sono state svolte con riferimento ai cinematismi di scivolamento a cuneo precedentemente identificati su BP e BD, con riferimento al versante esistente ed al profilo di scavo. Le verifiche sono state condotte sia in condizioni statiche che in condizioni sismiche, utilizzando il codice di calcolo Swedge della Rocscience.

Tenuto conto che il VRU ottenuto per il sistema di 3 famiglie costituito dalla discontinuità K 92/80, K 213/59 e K 341/52, che individuano il cuneo critico, è pari a circa 0.5 m³ (si veda Tabella 8-3), le analisi Swedge sono state condotte limitando l'altezza del versante a 3.0 m, in modo tale da ottenere valori del volume del cuneo coinvolto del medesimo ordine di grandezza.

Per le altre famiglie di giunti, si è considerata cautelativamente una altezza di scavo pari a 20 m.

Di seguito sono riportati i dati di input utilizzati e la sintesi dei fattori di sicurezza minimi per ciascuna analisi.

8.1.2.1. Input di calcolo delle analisi

- Fronte di scavo:

Binario Dispari: versante esistente (135°/65°);

scavo 1:10 (117°/84°);

Binario Pari: versante esistente (145°/72°);

scavo 1:10 (147°/84°);

- Cunei analizzati:

- K_{92/80}-K_{213/59}-K_{341/52} ;
- K_{134/84}-K_{213/59}-K_{341/52} ;
- K_{92/80}-K_{134/84}-K_{213/59}
- K_{28/75}-K_{134/84}

- Altezza scavo: 3 m (volume roccioso unitario VRU=0.5 m³) per K_{92/80}-K_{213/59}-K_{341/52} , 20 m per le altre famiglie;

- Peso di volume della roccia: 27 kN/m³;

- Coesione lungo il giunto: 2 kPa (con coefficiente di riduzione pari a 1.25 = 1.6 kPa da NTC 2008);

- Angolo di Attrito: 34° (con coefficiente di riduzione alla tangente dell'angolo di 1.25 = 28,35°, da NTC 2008)

- Spinta dell'acqua: con 25% di riempimento.

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 79 di 127

8.1.2.2. Risultati delle analisi

Nelle seguenti figure sono riportati i risultati del calcolo per le analisi effettuate in condizioni statiche e sismiche.

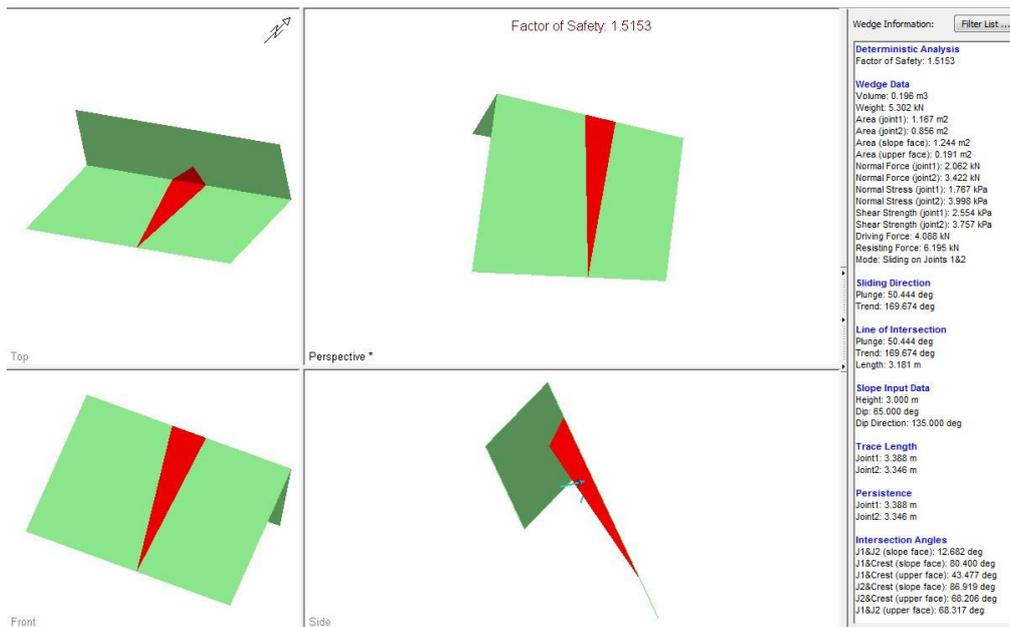


Figura 12-17 Analisi cuneo su profilo esistente – Binario Dispari – condizioni statiche ($K_{92/80}$ - $K_{213/59}$ - $K_{341/52}$)

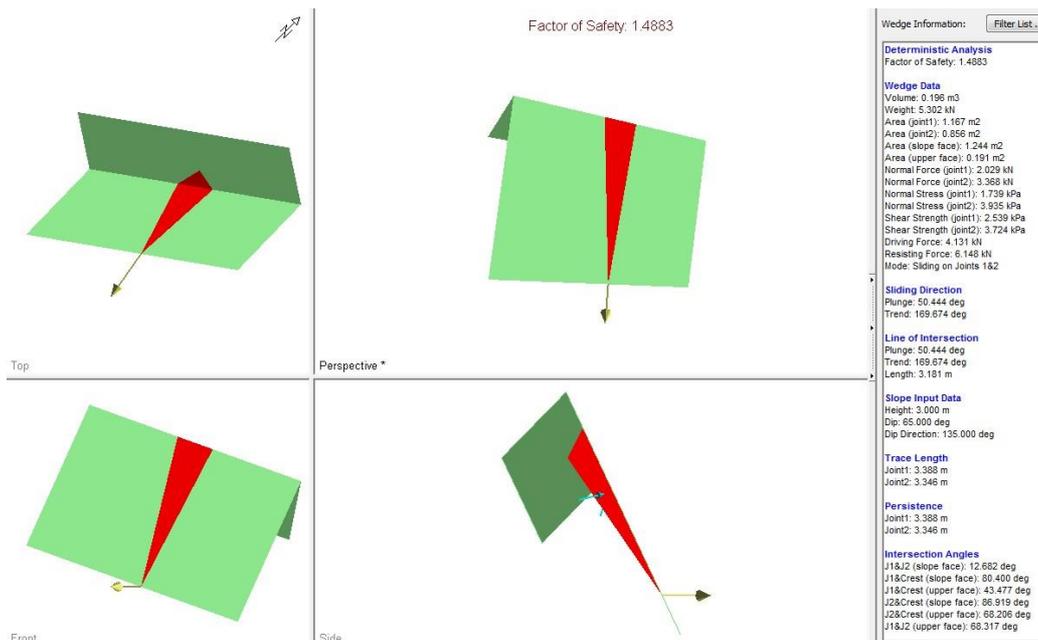


Figura 12-18 Analisi cuneo su profilo esistente – Binario Dispari – condizioni sismiche ($K_{92/80}$ - $K_{213/59}$ - $K_{341/52}$)

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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 80 di 127

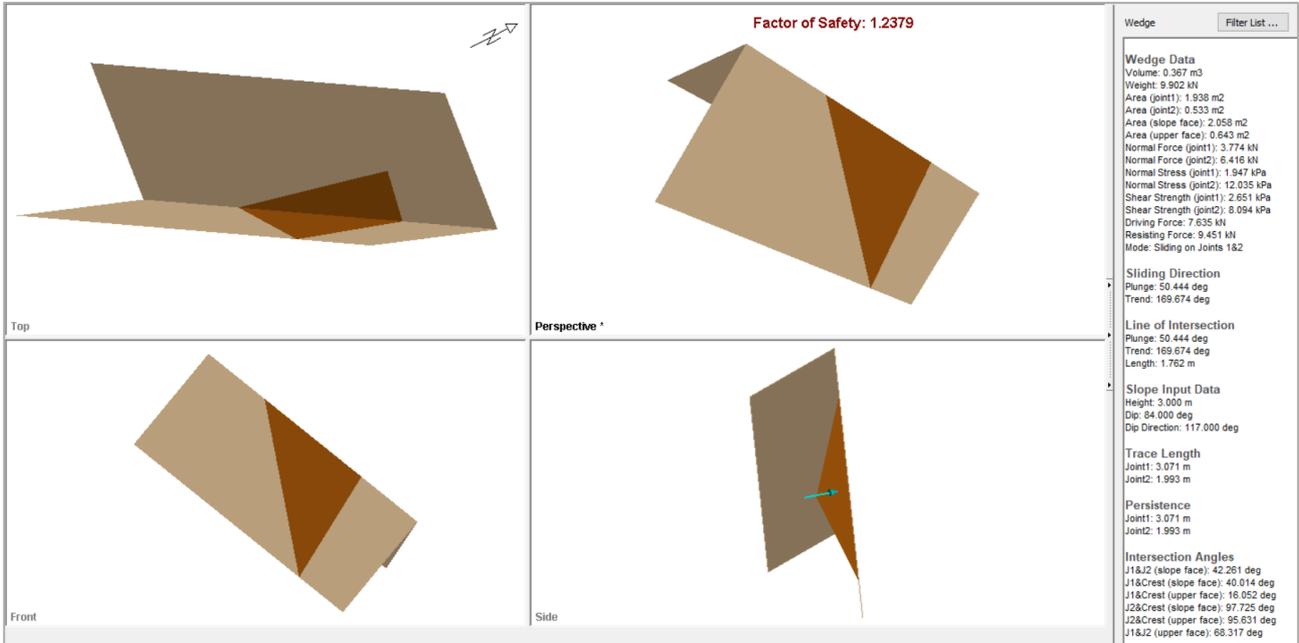


Figura 8-17 Analisi cuneo su profilo con scavo 1:10 – Binario Dispari – condizioni statiche ($K_{92/80}$ - $K_{213/59}$ - $K_{341/52}$)

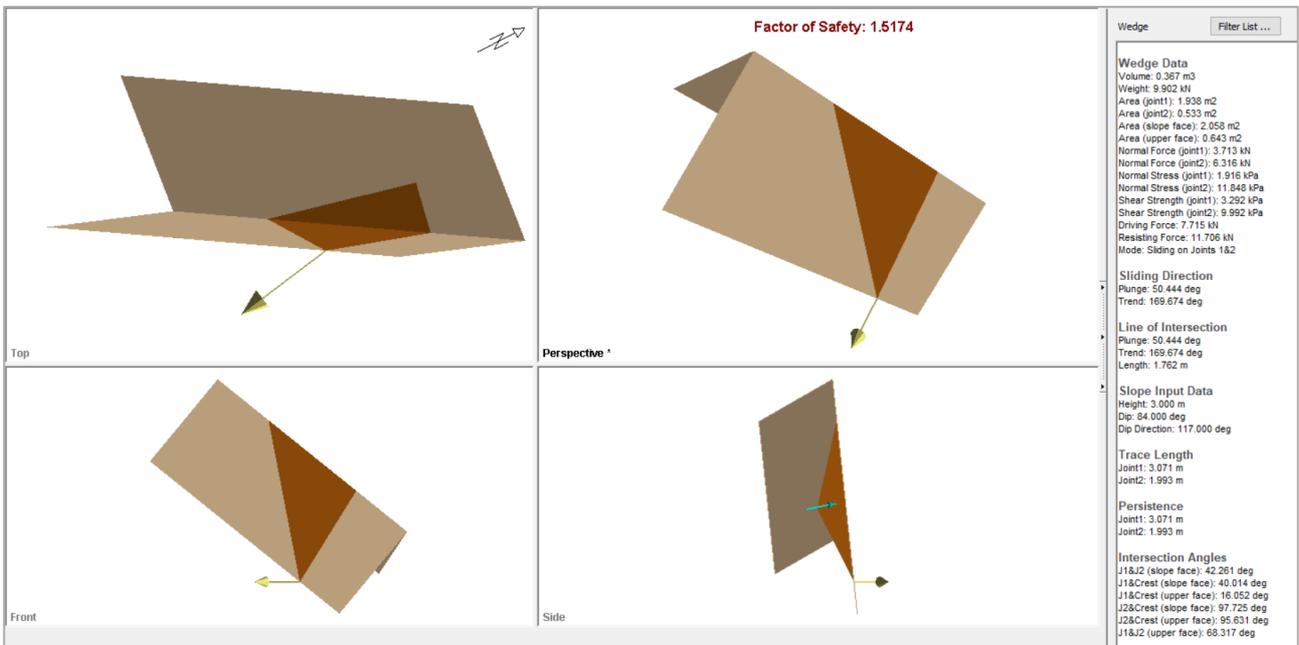


Figura 8-18 Analisi cuneo su profilo con scavo 1:10 – Binario Dispari – condizioni sismiche ($K_{92/80}$ - $K_{213/59}$ - $K_{341/52}$)

APPALTATORE:		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				
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 81 di 127	

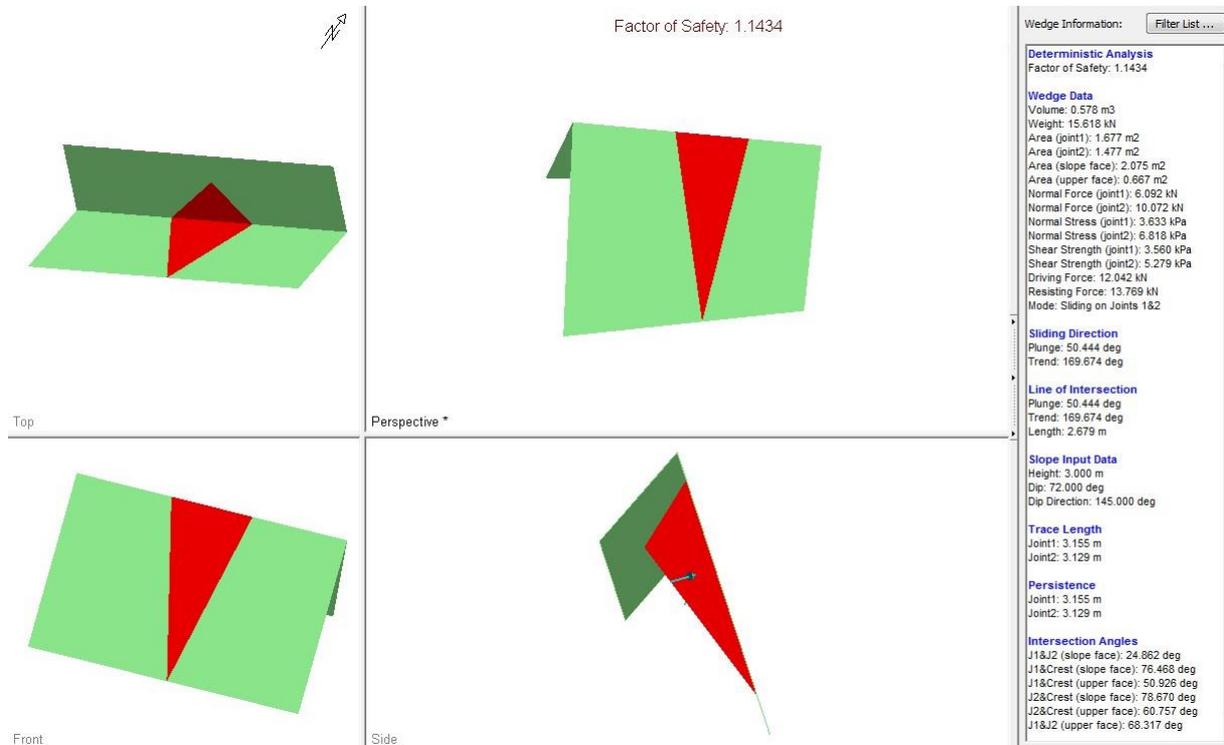


Figura 12-21 Analisi cuneo su profilo esistente – Binario Pari – condizioni statiche ($K_{92/80}$ - $K_{213/59}$ - $K_{341/52}$)

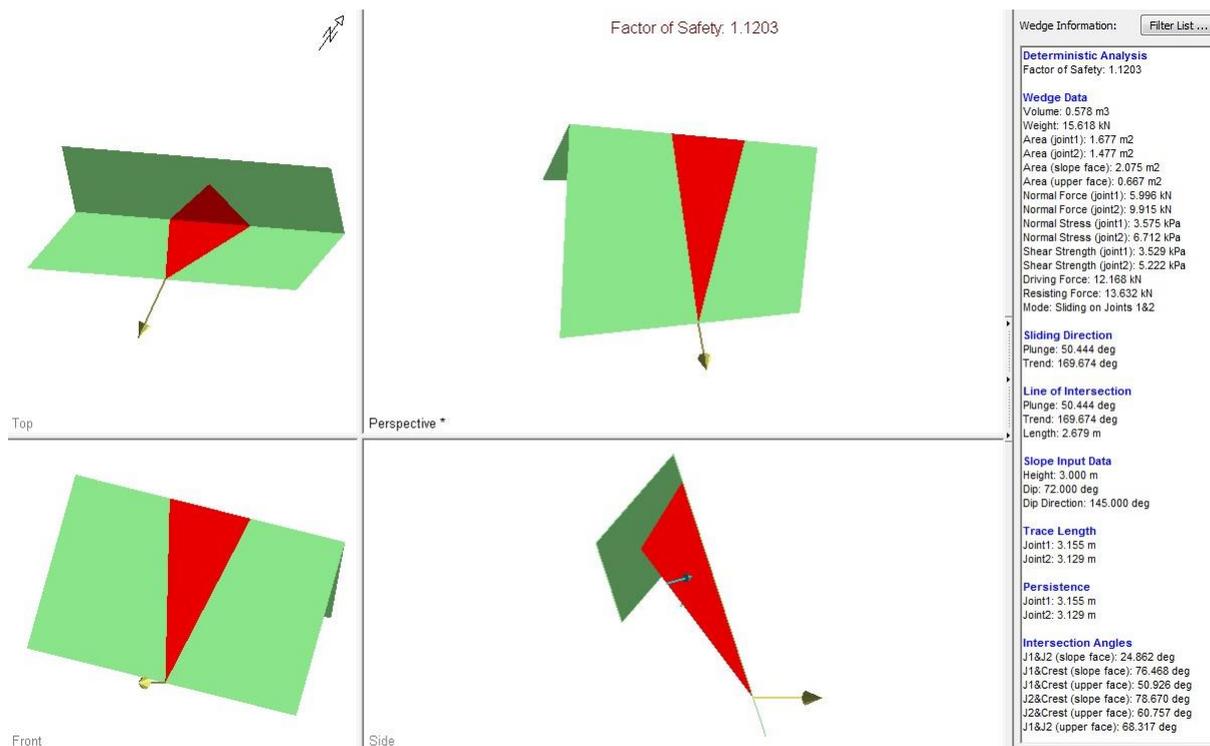


Figura 12-22 Analisi cuneo su profilo esistente – Binario Pari – condizioni sismiche ($K_{92/80}$ - $K_{213/59}$ - $K_{341/52}$)

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 82 di 127

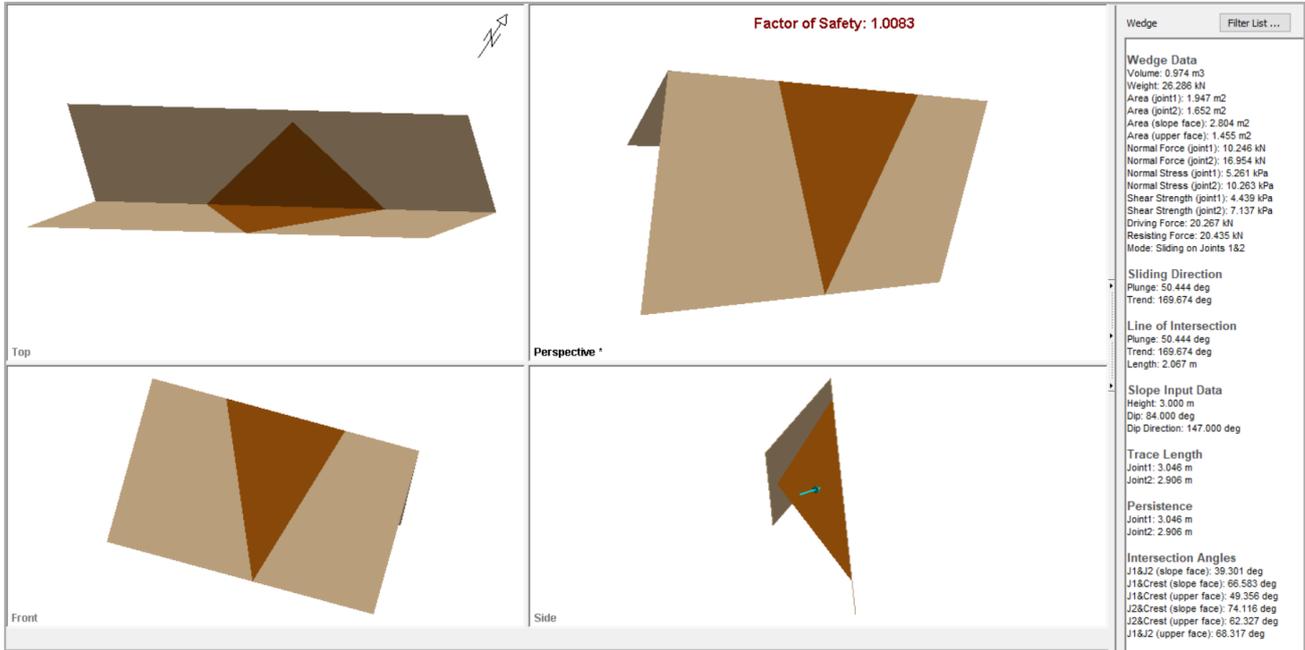


Figura 8-19 Analisi cuneo su profilo con scavo 1:10 – Binario Pari – condizioni statiche ($K_{92/80}$ - $K_{213/59}$ - $K_{341/52}$)

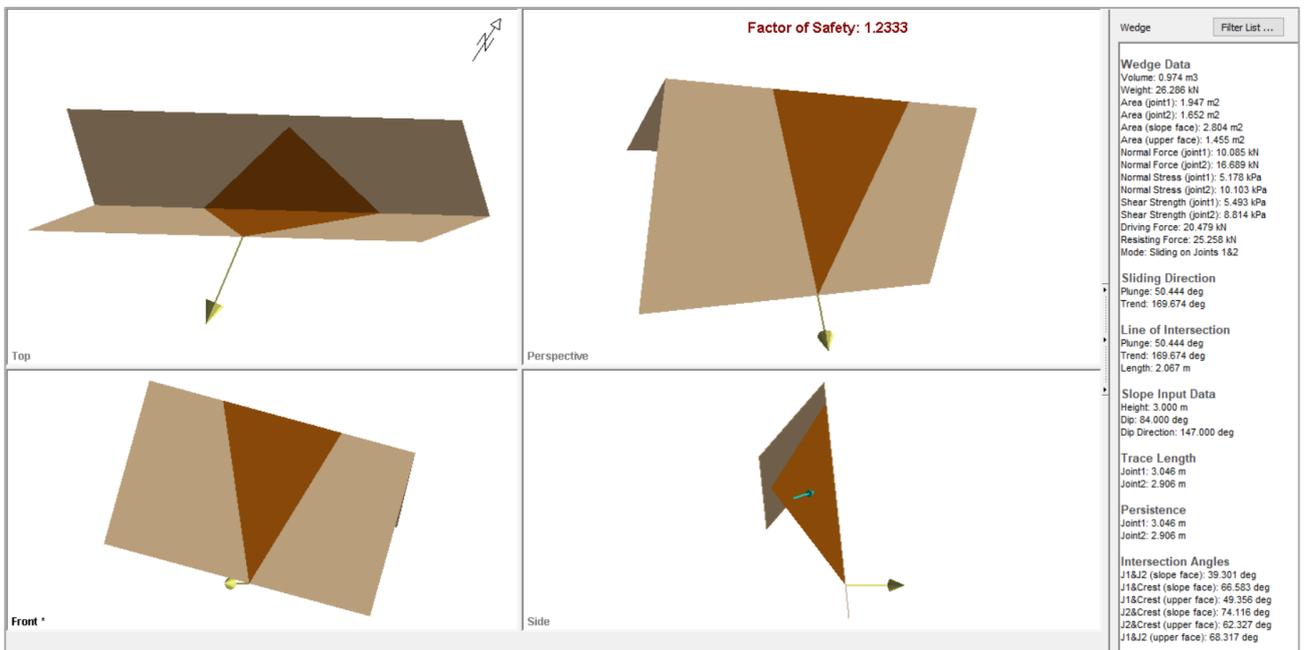


Figura 8-20 Analisi cuneo su profilo con scavo 1:10 – Binario Pari – condizioni sismiche ($K_{92/80}$ - $K_{213/59}$ - $K_{341/52}$)

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 83 di 127

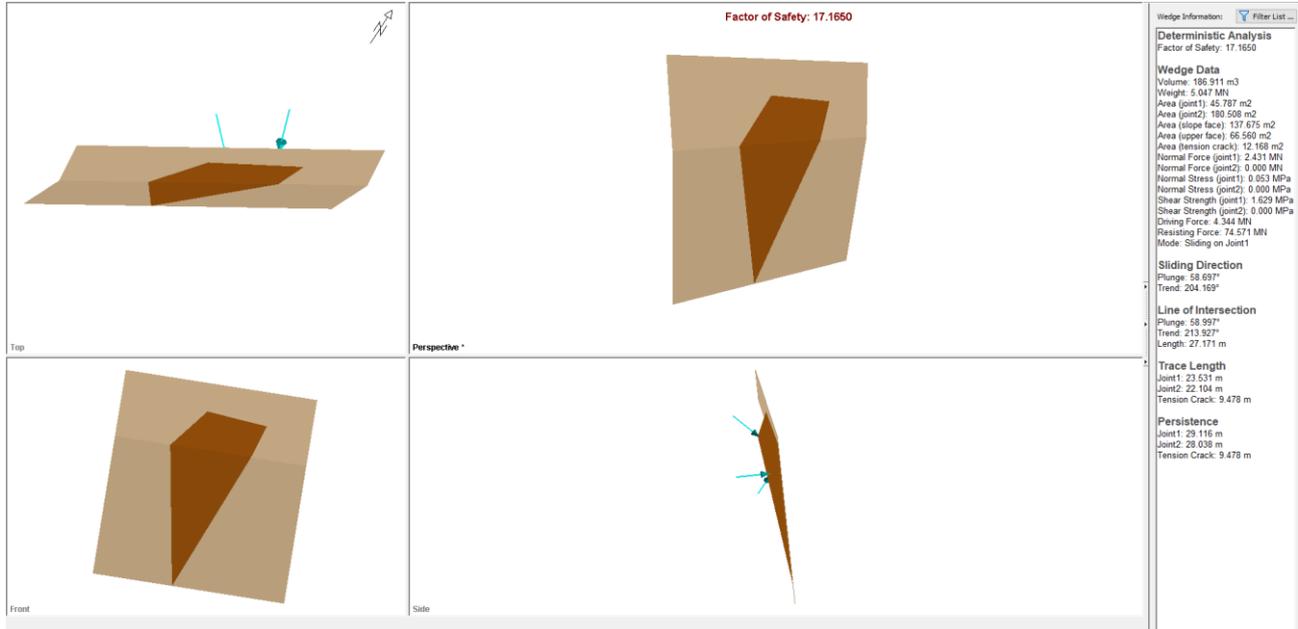


Figura 8-21 Analisi cuneo su profilo con scavo 1:10 – Binario Pari – condizioni statiche ($K_{134/84}$ - $K_{213/59}$ - $K_{341/52}$)

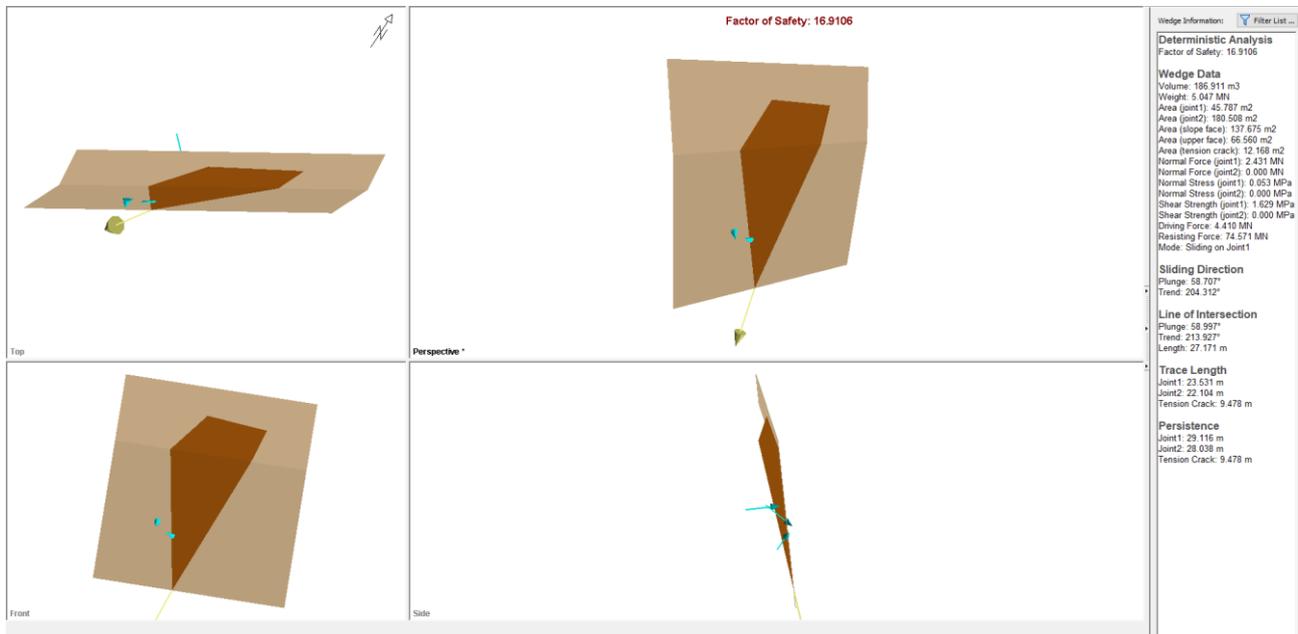


Figura 8-22 Analisi cuneo su profilo con scavo 1:10 – Binario Pari – condizioni sismiche ($K_{134/84}$ - $K_{213/59}$ - $K_{341/52}$)

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 84 di 127

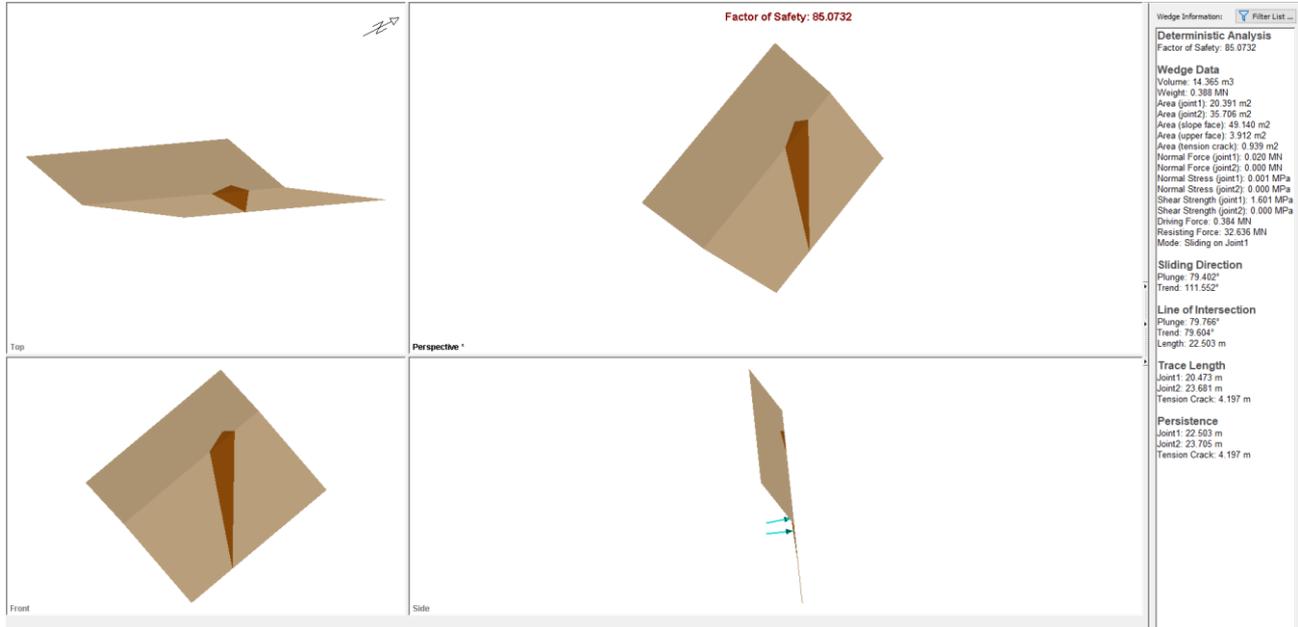


Figura 8-23 Analisi cuneo su profilo con scavo 1:10 – Binario Dispari – condizioni statiche ($K_{92/80}$ - $K_{134/84}$ - $K_{213/59}$)

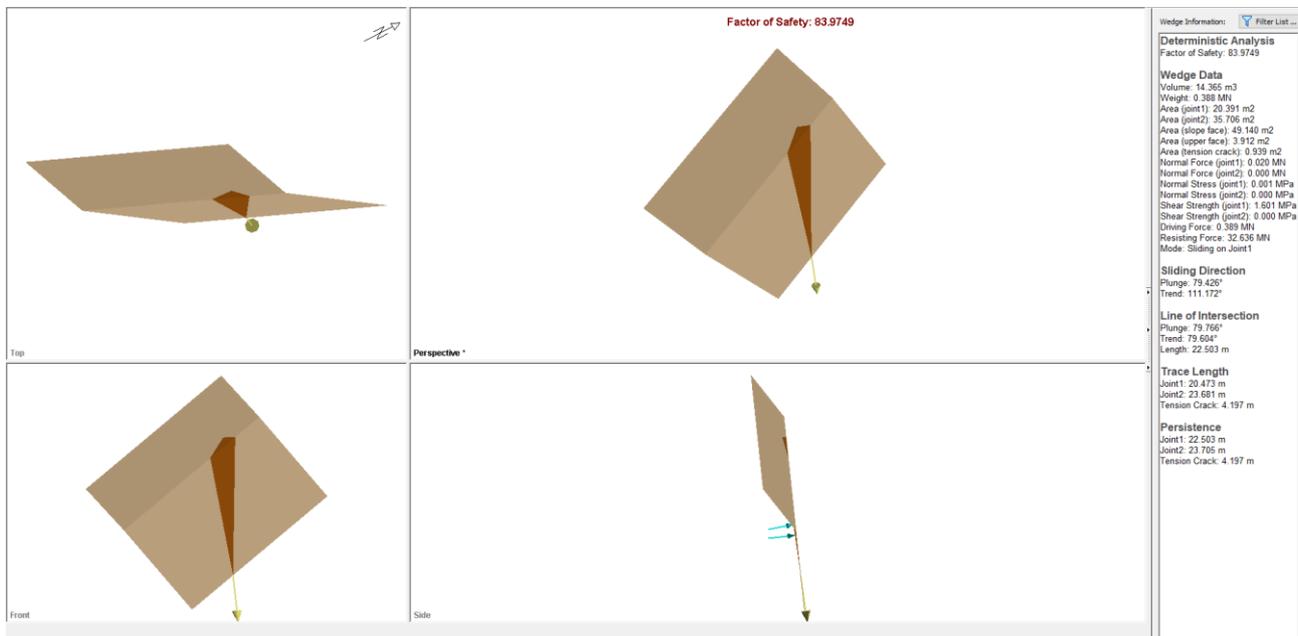


Figura 8-24 Analisi cuneo su profilo con scavo 1:10 – Binario Dispari – condizioni sismiche ($K_{92/80}$ - $K_{134/84}$ - $K_{213/59}$)

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 85 di 127

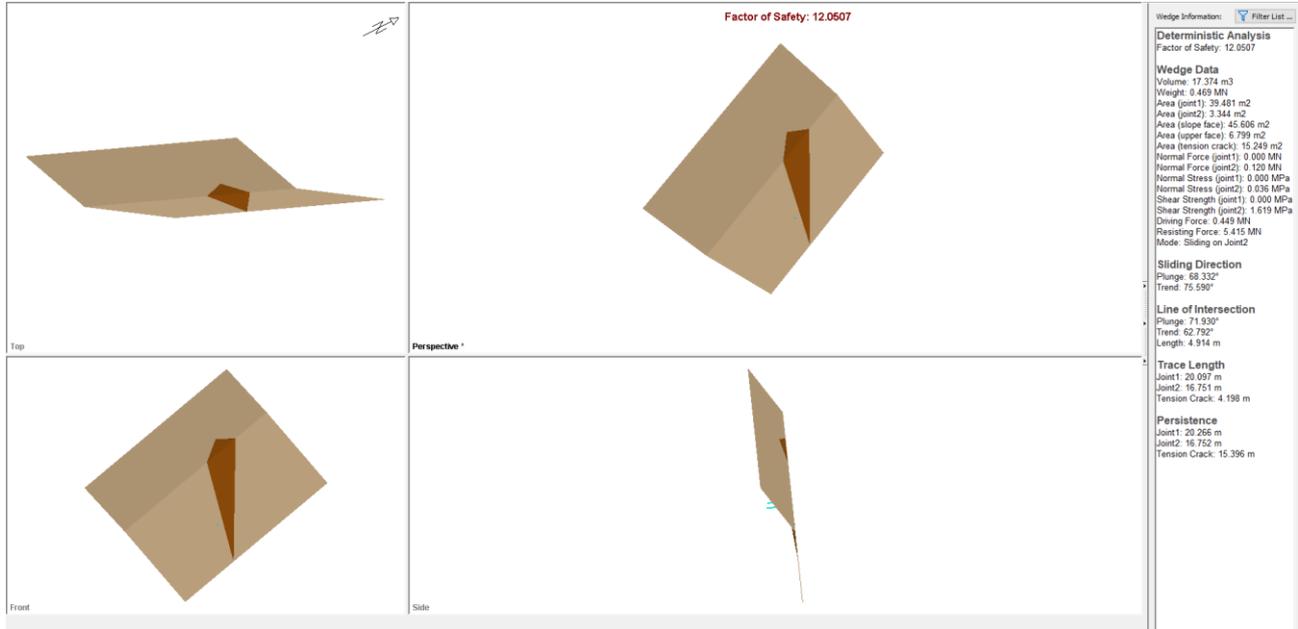


Figura 8-25 Analisi cuneo su profilo con scavo 1:10 – Binario Dispari – condizioni statiche ($K_{28/75}$ - $K_{134/84}$ - $K_{92/80}$)

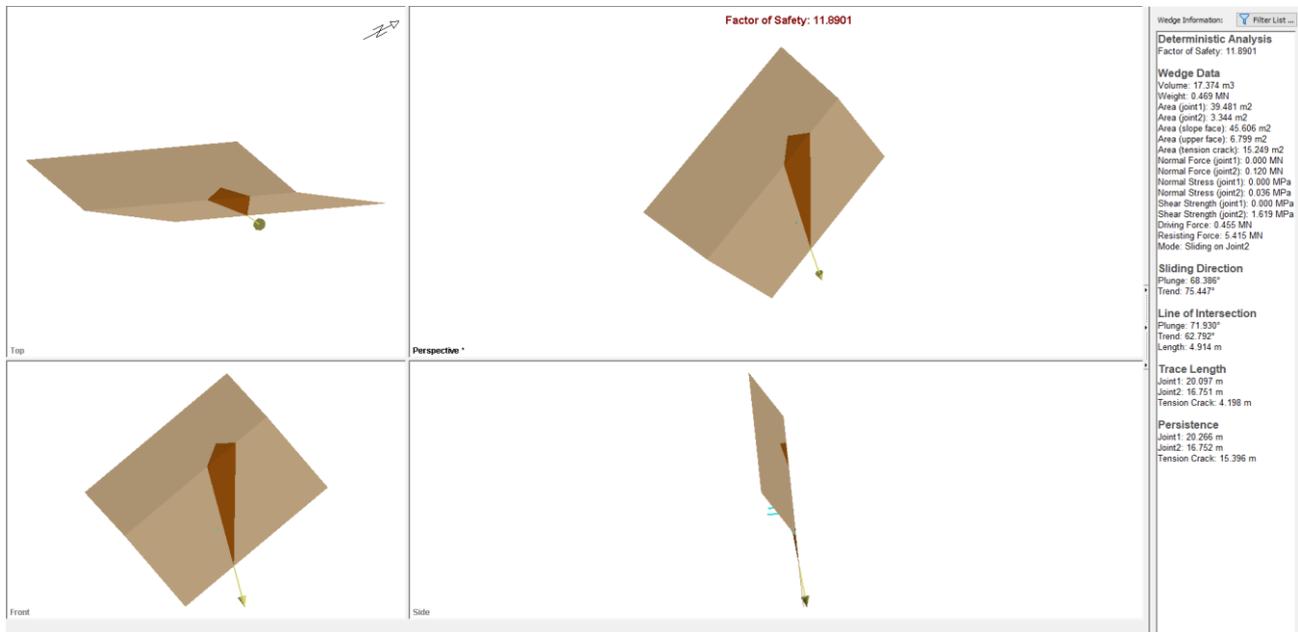


Figura 8-26 Analisi cuneo su profilo con scavo 1:10 – Binario Dispari – condizioni sismiche ($K_{28/75}$ - $K_{134/84}$ - $K_{92/80}$)

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 86 di 127

La seguenti tabelle sintetizzano i valori dei coefficienti di sicurezza ottenuti dalla analisi dell'equilibrio limite condotte con Swedge:

Tabella 8-2 Sintesi dei risultati delle analisi senza interventi ($K_{92/80}$ - $K_{213/59}$ - $K_{341/52}$)

Binario	analisi	Volume (m ³)	FS _{min} statico	FS _{min} sismico
Dispari	profilo esistente	0,196	1,515	1,488
	profilo con scavo	0,367	1,238	1,517
Pari	profilo esistente	0,578	1,143	1,120
	profilo con scavo	0,974	1,008	1,233

Tabella 8-3 Sintesi dei risultati delle analisi senza interventi ($K_{134/84}$ - $K_{213/59}$ - $K_{341/52}$)

Binario	analisi	FS _{min} statico	FS _{min} sismico
Pari	profilo con scavo	17,165	16,911

Tabella 8-4 Sintesi dei risultati delle analisi senza interventi ($K_{92/80}$ - $K_{134/84}$ - $K_{213/59}$)

Binario	analisi	FS _{min} statico	FS _{min} sismico
Pari	profilo con scavo	> 20	> 20

Tabella 8-5 Sintesi dei risultati delle analisi senza interventi ($K_{28/75}$ - $K_{134/84}$ - $K_{92/80}$)

Binario	analisi	FS _{min} statico	FS _{min} sismico
Pari	profilo con scavo	12,050	11,890

Si osserva che:

- 1) Ad eccezione del cuneo $K_{92/80}$ - $K_{213/59}$ - $K_{341/52}$, i cunei individuati dall'analisi cinematica hanno coefficienti di sicurezza molto elevati.
- 2) il volume del cuneo potenzialmente instabile nelle analisi varia da 0.20 m³ a 0.97 m³, con un volume medio di 0.5 m³;
- 3) per il Binario Dispari, i valori dei coefficienti di sicurezza sul versante esistente sono di poco

APPALTATORE:						
PROGETTAZIONE:	PROGETTAZIONE ESECUTIVA ED ESECUZIONE DEI LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL LOTTO 1 DEL QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA FORTEZZA-VERONA TRATTA "FORTEZZA – PONTE GARDENA"					
Mandatario:	Mandanti:		PROGETTO ESECUTIVO			
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	87 di 127

superiori al limite di 1.4.

- 4) per il Binario Dispari, i valori dei coefficienti di sicurezza sul profilo di scavo sono superiori all'unità in caso statico, mentre in caso sismico supera di molto il limite di 1.2.
- 5) per il Binario Pari, i valori dei coefficienti di sicurezza sul versante esistente sono di poco superiori ad 1.1.
- 6) per il Binario Pari, i valori dei coefficienti di sicurezza sul profilo di scavo sono di poco superiori all'unità in caso statico, in caso sismico supera di poco il limite di 1.2.

Conseguentemente, gli scavi di sbancamento previsti sia BP che su BD necessitano di interventi di rinforzo in grado di incrementare il coefficiente di sicurezza al di sopra del limite di 1.4.

Per quanto riguarda i versanti esistenti, si osserva che in ragione della maggior pendenza del versante di BP rispetto a quello di BD, i coefficienti di sicurezza BP sono minori e di poco superiori all'unità. Pertanto, per proteggere i versanti esistenti si prevede un intervento di rafforzamento corticale con rete in aderenza e chiodature passive, come descritto nel capitolo successivo.

8.1.3 Dimensionamento degli interventi di rinforzo con chiodature passive

Per dimensionare l'intervento di rinforzo sulle pareti di scavo, le analisi precedentemente svolte con Swedge sono state ripetute inserendo il contributo di una chiodatura passiva applicata come forza esterna. Si prevede l'impiego di chiodi di ancoraggio ad aderenza continua cementati per tutta la lunghezza, di diametro $\varnothing = 24$ mm, lunghezza 6.0 m e maglia 2.5 m x 2.5 m.

8.1.3.1. Caratteristiche chiodo

- Giacitura chiodo ortogonale al fronte di scavo (Binario Pari $327^\circ/6^\circ$ - Binario Dispari $297^\circ/6^\circ$)
- Lunghezza: 6 m;
- Resistenza a trazione: 177.02 kN

8.1.3.2. Risultati delle analisi

Nelle seguenti figure sono riportati i risultati del calcolo per le analisi effettuate in condizioni statiche e simiche.

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 88 di 127

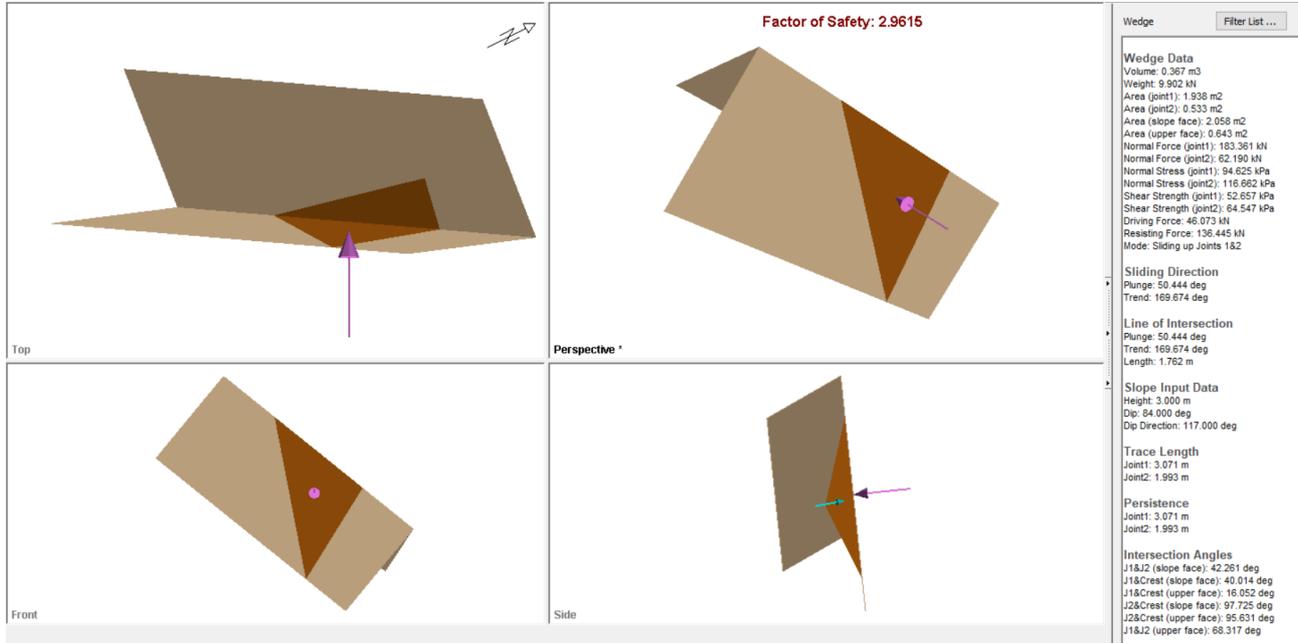


Figura 8-27 Analisi cuneo su profilo con scavo 1:10 con chiodatura – Binario Dispari – condizioni statiche

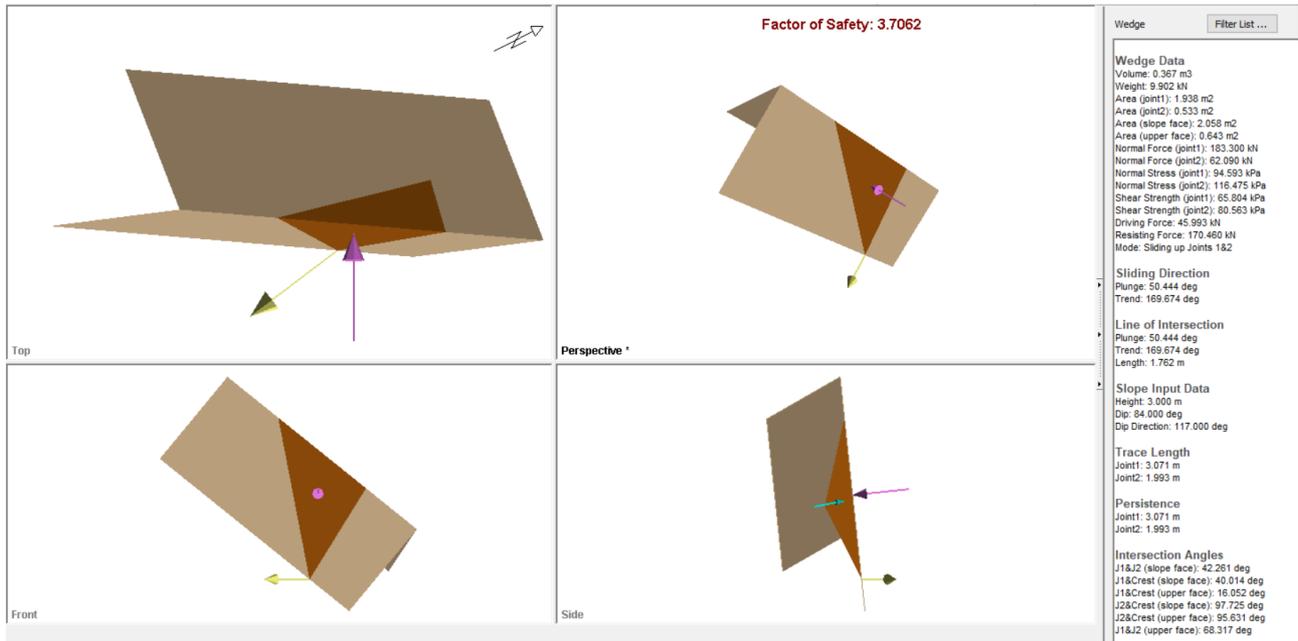


Figura 8-28 Analisi cuneo su profilo con scavo 1:10 con chiodatura – Binario Dispari – condizioni sismiche

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 89 di 127

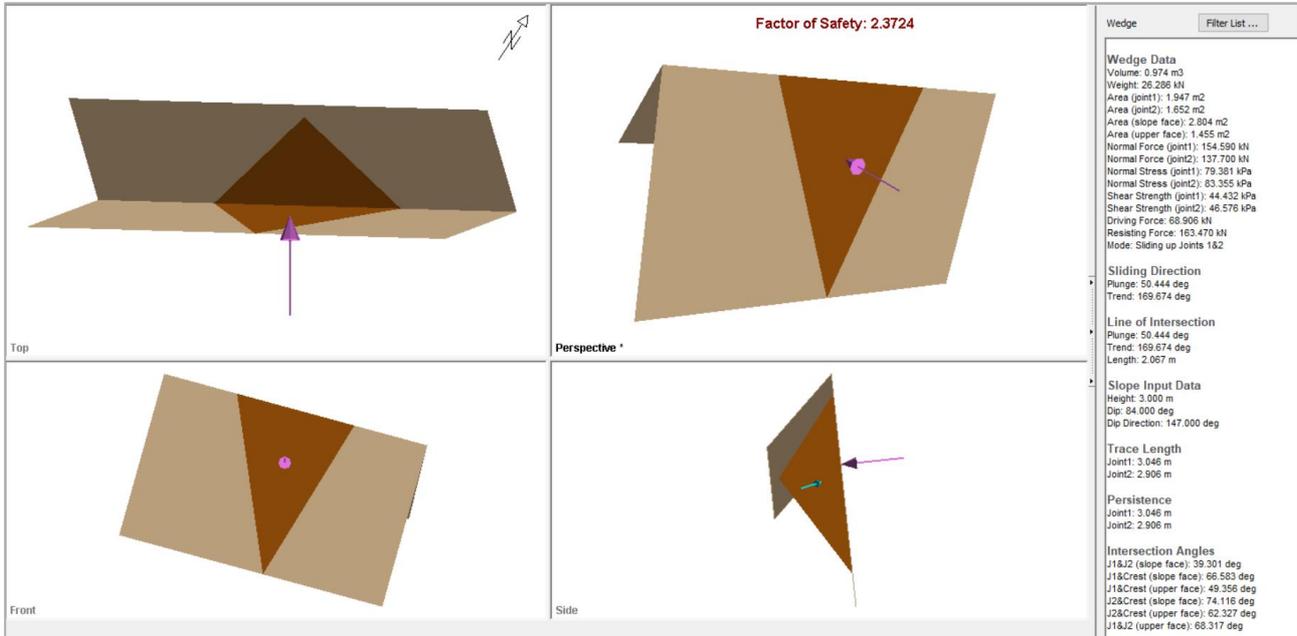


Figura 8-29 Analisi cuneo su profilo con scavo 1:10 con chiodatura – Binario pari – condizioni statiche

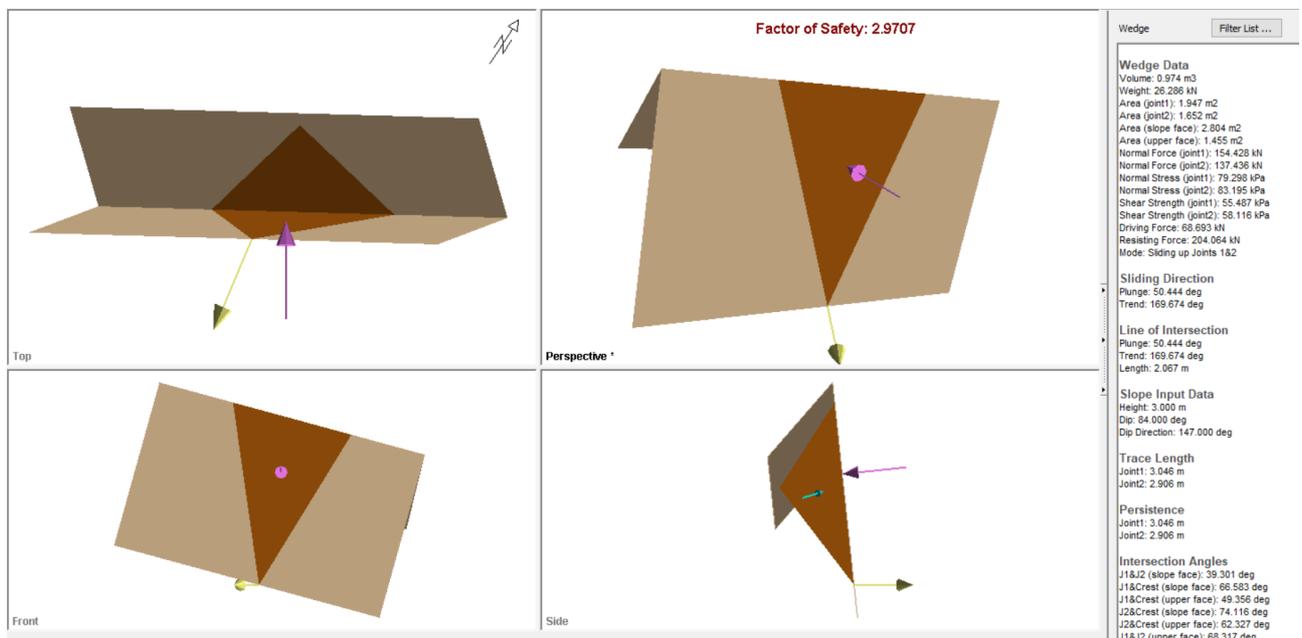


Figura 8-30 Analisi cuneo su profilo con scavo 1:10 con chiodatura – Binario pari – condizioni sismiche

I risultati ottenuti mostrano che l'intervento di rinforzo permette di incrementare il coefficiente di sicurezza a valori dell'ordine di 2.4 minimo, superando il limite di 1.4.

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 90 di 127

Tabella 8-6 Sintesi dei risultati delle analisi con interventi di chiodatura passiva

Binario	analisi	Volume (m ³)	FS _{min} statico	FS _{min} sismico
Dispari	profilo di scavo con chiodatura	0,367	2,962	3,706
Pari	profilo di scavo con chiodatura	0,974	2,372	2,971

8.1.3.3. Verifica a sfilamento delle chiodature

La resistenza caratteristica a sfilamento delle chiodature è stata valutata secondo le indicazioni di Bustamante e Doix '85 e Viggiani '99. Nello specifico, con riferimento alla formazione delle dioriti, per la resistenza a sfilamento dell'interfaccia bulbo di fondazione-terreno, τ_{ak} , viene assunto un valore caratteristico pari a 350 kPa.

La resistenza a sfilamento di progetto è determinata attraverso la seguente relazione:

$$N_{R,ad} = \frac{N_{R,ak}}{\gamma_{Ra,p}} = \frac{\pi \cdot \alpha \cdot D \cdot \tau_{ak} \cdot L}{\gamma_{Ra,p} \cdot \xi}$$

dove:

$N_{R,ad}$ è la resistenza a sfilamento di progetto dell'interfaccia bulbo di fondazione-terreno;

D_p è il diametro di perforazione della fondazione del chiodo;

α è un coefficiente correttivo che tiene conto della tecnologia realizzativa dell'ancoraggio e del contesto geotecnico, nel caso in esame assunto pari a 1.2 (Viggiani, '99);

τ_{ak} è la tensione resistente a sfilamento caratteristica dell'interfaccia bulbo di fondazione-terreno, assunta pari 350 kPa;

L_a è la lunghezza della fondazione della barra;

$\gamma_{Ra,p}$ è il coefficiente parziale per la resistenza degli ancoraggi permanenti pari a 1.2;

ξ è un fattore di correlazione che dipende dal numero di profili di indagine geotecnica disponibili per la determinazione della resistenza caratteristica (=1.7 per 3 profili di indagine).

La verifica viene condotta nel rispetto della seguente disuguaglianza:

$$N_{R,ad} > N_{S,d}$$

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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	91 di 127

Nelle tabelle che seguono è riassunto il calcolo per la determinazione di $N_{R,ad}$ da considerare come riferimento per le verifiche dei tiranti e l'esito della verifica.

Linea Fortezza - Ponte Gardena - Imbocco Scaleres Sud - Binario Dispari

CALCOLO DELLA CHIODATURA PASSIVA

Calcolo dello sforzo assiale nel chiodo

Combinazione A1+M1+R3

$$N_{Ed} = \gamma_F \cdot N_k$$

Sforzo normale caratteristico	N_k	177,0	[kN]
coefficiente parziale sulle azioni permanenti	γ_F	1	[-]
sforzo normale di progetto	N_{Ed}	177,0	[kN]

Caratteristiche dei materiali

Chiodatura

Barre dywag semplice cementazione			
diametro della barra	\emptyset	24	[mm]
area della barra	A	452,4	[mm ²]
tensione di snervamento	f_{yk}	450	[MPa]
diametro della perforazione	D	70	[mm]
lunghezza del tratto ancorato	L	5,2	[m]
tensione di aderenza malta roccia	τ_{ad}	0,35	[MPa]
coefficiente maggiorativo	α	1,2	[-]

Verifica a sfilamento

$$N_d \leq R_{ad} = \frac{\pi \cdot \alpha \cdot D \cdot \tau_{ad} \cdot L}{\gamma_{Rat} \cdot \xi_{a3}}$$

tipo tirante	permanente		
coefficiente parziale per le resistenze	γ_{Rat}	1,2	[-]
fattore di correlazione	ξ_{a3}	1,7	[-]
resistenza di progetto	R_{ad}	235,43	[kN]
verifica a sfilamento	OK		

Tabella 12-4 Verifica a sfilamento per le chiodature del Binario Dispari

APPALTATORE:		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.						
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 92 di 127

Linea Fortezza - Ponte Gardena - Imbocco Scaleres Sud - Binario Pari

CALCOLO DELLA CHIODATURA PASSIVA

Calcolo dello sforzo assiale nel chiodo

Combinazione A1+M1+R3

$$N_{Ed} = \gamma_F \cdot N_k$$

Sforzo normale caratteristico	N_k	177,0	[kN]
coefficiente parziale sulle azioni permanenti	γ_F	1	[-]
sforzo normale di progetto	N_{Ed}	177,0	[kN]

Caratteristiche dei materiali

Chiodatura

Barre dywag semplice cementazione			
diametro della barra	\varnothing	24	[mm]
area della barra	A	452,4	[mm ²]
tensione di snervamento	f_{yk}	450	[MPa]
diametro della perforazione	D	70	[mm]
lunghezza del tratto ancorato	L	5	[m]
tensione di aderenza malta roccia	τ_{ad}	0,35	[MPa]
coefficiente maggiorativo	α	1,2	[-]

Verifica a sfilamento

$$N_d \leq R_{ad} = \frac{\pi \cdot \alpha \cdot D \cdot \tau_{ad} \cdot L}{\gamma_{Rat} \cdot \xi_{a3}}$$

tipo tirante	permanente		
coefficiente parziale per le resistenze	γ_{Rat}	1,2	[-]
fattore di correlazione	ξ_{a3}	1,7	[-]
resistenza di progetto	R_{ad}	226,38	[kN]
verifica a sfilamento	OK		

Tabella 12-5 Verifica a sfilamento per chiodature del Binario Pari

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 93 di 127

8.1.4 Dimensionamento dei rafforzamenti corticali

L'intervento di protezione prevede l'impiego di una chiodatura con barre $\Phi 24$ di lunghezza pari a 3.0 m disposte a maglia quadrata 2.50 x 2.50 m che costituirà anche l'ancoraggio delle funi ($\Phi 12$ mm a 19 fili) dell'orditura principale e dell'orditura romboidale secondaria. Sulle funi dell'orditura principale verrà attaccata, mediante anelli di catena aperti (passo 50 cm), un telo continuo di rete in acciaio a maglia esagonale (8 x 10cm) a doppia torsione in filo da 3.0 mm (3.9 mm per il filo di bordatura).

Per i dettagli sulla geometria dell'intervento si rimanda agli elaborati specifici di progetto.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i calcoli di dimensionamento dell'intervento di rafforzamento corticale condotti nelle seguenti ipotesi:

- 1) il versante ha pendenza di circa 65° lato Binario Dispari e di circa 72° lato Binario Pari ed interessa l'unità delle dioriti;
- 2) la resistenza a compressione del giunto $JCS_0 = 90$ MPa (si veda § 8.3.3);
- 3) la scabrezza del giunto è stata ipotizzata pari a $JRC_0 = 3$ (si veda § 8.3.3);
- 4) lo spessore medio della parte corticale allentata è stato assunto pari di 1.6 m, ipotesi basata sulla spaziatura massima dei giunti subparalleli al versante;
- 5) il coefficiente sismico orizzontale è stato valutato in accordo con il par. 7.11.3.5.2 delle NTC2008, ($k_h = 0.078 \times 0.20 = 0.0156$).

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IB0U	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 94 di 127

8.1.4.1. Risultati Binario Dispari

LINEA FORTEZZA PONTE GARDENA - Galleria Gardena

DIMENSIONAMENTO DEL RAFFORZAMENTO CORTICALE

Dati di input

Geometria della scarpata

inclinazione media scarpata	β	65	[°]
spessore medio zona corticale	s	1,6	[m]
coefficiente parziale azioni - morfologia	γ_{Mo}	1,10	[-]
coefficiente parziale azioni - carico esterno	γ_{OL}	1,0	[-]
coefficiente parziale azioni	γ_{OW}	1,10	[-]

Maglia chiodi

interasse orizzontale	i_x	2,5	[m]
interasse verticale	i_y	2,5	[m]

Caratteristiche dell'ammasso roccioso

coefficiente sismico orizzontale	c	0,016	[-]
peso unità volume roccia	γ	27,0	[kN/m ³]
coefficiente parziale resistenze - spessore	γ_{Tt}	1,20	[-]
coefficiente parziale resistenze - peso	γ_{Wt}	1,00	[-]
coefficiente parziale resistenze - comportam	γ_{e}	1,00	[-]
coefficiente parziale resistenze	γ_{RW}	1,20	[-]

Caratteristiche del giunto critico

inclinazione del giunto	α	10	[°]
resistenza compressione monoassiale giunto	JCS_{σ}	90,0	[MPa]
rugosità giunto	JRC_{σ}	3,0	[-]
lunghezza giunto	L_0	0,10	[m]
lunghezza piano di scivolamento	L_G	2,50	[m]

Dati chiodo

inclinazione della perforazione rispetto all'orizzontale	θ_0	25	[°]
diametro nominale	ϕ	24,0	[mm]
spessore corrosione	t_c	0,00	[mm]
tensione snervamento dell'acciaio	σ_{st}	450,0	[N/mm ²]
coefficiente parziale acciaio	γ_{st}	1,15	[-]
adesione malta-roccia	τ_{lim}	0,30	[MPa]
coefficiente parziale per adesione malta-roccia	γ_{GT}	1,98	[-]
diametro della perforazione	ϕ_{drit}	39,0	[mm]

Dati rete

tipo di rete	esagonale doppia torsione maglia 8x10 cm		
resistenza a trazione ultima rete	T	122,0	[kN/m]
coefficiente parziale riduzione resistenza	γ_m	1,30	[-]
deformata da punzonamento	Z_{bulg}	0,30	[m]

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 95 di 127

LINEA FORTEZZA PONTE GARDENA - Galleria Gardena

DIMENSIONAMENTO DEL RAFFORZAMENTO CORTICALE

Dimensionamento chiodi

Calcolo del contributo stabilizzante chiodo

$$R = A_{eff} \cdot \sigma_{adm} \cdot \frac{1 + \tan^{-2}(\epsilon + \delta)}{1 + \frac{16}{\delta} \cdot \tan^{-2}(\epsilon + \delta)}$$

<i>volume blocco instabile</i>	V	10,0	[m ³]
<i>peso blocco instabile</i>	W	270	[kN]
<i>inclinazione del chiodo rispetto alla perpendicolare al giunto</i>	ϵ	0	[°]
<i>resistenza compressione monoassiale giunto</i>	JCS	67,4	[MPa]
<i>rugosità giunto</i>	JRC	2,47	[-]
<i>tensione media sulla superficie di scorrimento</i>	σ_{olan}	42,5	[kPa]
<i>dilatanza lungo il giunto critico</i>	δ	2,64	[°]
<i>area del chiodo</i>	A_{eff}	452,4	[mm ²]
<i>tensione snervamento progetto dell'acciaio</i>	σ_{adm}	391,3	[N/mm ²]
<i>contributo resistente chiodo</i>	R	89,62	[kN]

Verifica a taglio del chiodo

$$FS_{SLP} = W \cdot \sin\beta \cdot (1 - c) / \gamma_{RH} + R$$

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

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

<i>forza stabilizzante</i>	FS_{SLP}	290,36	[kN]
<i>forza instabilizzante</i>	FD_{SLP}	271,13	[kN]
<i>coefficiente sicurezza chiodo</i>	FS_{nail}	1,07	[kN]

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 96 di 127

LINEA FORTEZZA PONTE GARDENA - Galleria Gardena

DIMENSIONAMENTO DEL RAFFORZAMENTO CORTICALE

Dimensionamento rete

Calcolo del volume instabile tra i chiodi

$$V = V_A + V_B + V_C$$

$$V_A = \frac{1}{2} \cdot i_p^2 \cdot \tan(\beta - \alpha)$$

$$V_B = s \cdot [i_p - s / \tan(\beta - \alpha)]$$

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

volume blocco instabile	V _A	0,00	[m ³]
volume blocco instabile	V _B	2,21	[m ³]
volume blocco instabile	V _C	0,90	[m ³]
volume blocco instabile	V	3,10	[m ³]

Verifica a punzonamento della rete

$$M_B = V \cdot \gamma$$

$$M = (M_{B_driv} - M_{B_stab}) \cdot \sin(\beta - \alpha) \cdot i_p$$

$$M_{B_driv} = M_B \cdot (\sin\alpha + c \cdot \cos\alpha) \cdot \gamma_{DRIV}$$

$$M_{B_stab} = M_B \cdot \sin\alpha \cdot (1 - c) / \gamma_{STAB}$$

$$T = M \cdot \sin\beta$$

$$T = \left(\frac{M}{i_p \cdot \sin(\beta - \alpha - \rho_p)} \right)$$

peso blocco instabile	M _B	83,80	[kN]
risultante forze instabilizzanti rete	M _{B_driv}	17,42	[kN]
risultante forze stabilizzanti rete	M _{B_stab}	11,94	[kN]
massima forza di punzonamento	M	11,23	[kN]
spaziatura media della rete	i	2,5	[m]
angolo deformazione rete	ρ _p	13,50	[°]
resistenza a trazione di progetto	T _{adm}	93,85	[kN]
massima trazione sulla rete	T	6,78	[kN]
coefficiente sicurezza rete	FS _{mesh}	13,84	[-]

APPALTATORE:		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				
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 97 di 127	

LINEA FORTEZZA PONTE GARDENA - Galleria Gardena

DIMENSIONAMENTO DEL RAFFORZAMENTO CORTICALE

Lunghezza dell'ancoraggio

Verifica allo sfilamento del chiodo

$$L_s = \frac{P}{\pi \cdot \phi_{div} \cdot T_{lim} / \gamma_{DT}}$$

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

$$P_{mesh} = (M_{B_{div}} - M_{B_{stab}}) \cdot \cos(\alpha + \theta_0) \cdot t_0$$

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

$$L_i = \frac{s}{\cos \theta_0} \cdot \gamma_{DIV}$$

massima forza rete	P_{mesh}	11,2	[kN]
massima forza chiodo	P_{rock}	0,0	[kN]
massima forza sfilamento	P	11,23	[kN]
lunghezza tratto stabile	L_s	0,6	[m]
lunghezza tratto instabile	L_i	1,9	[m]
lunghezza tratto plasticizzato	L_p	0,4	[m]
lunghezza ancoraggio	L	2,9	[m]

Ai medesimi risultati si perviene utilizzando lo strumento di calcolo MACRO1 – Reinforced System della Maccaferri, come riportato nel tabulato di calcolo sottostante.

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 98 di 127

● Project Information

Title: Scaleres Sud - binario dispari

Description:

Number:

Client: ALPINA

Designer:

● Input

Rock Slope

Slope inclination [°]	65
Thickness of the surficial instability [m]	1.60
Density of the rock mass [kN/m ³]	27.00
Assumed plasticization between rock and anchor [m]	0.40

Most Dangerous Joint

Inclination [°]	10
Compressive Strength JCS [MPa]	90.00
Roughness coefficient JRC	3.00

Seismic Acceleration

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

Mesh

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

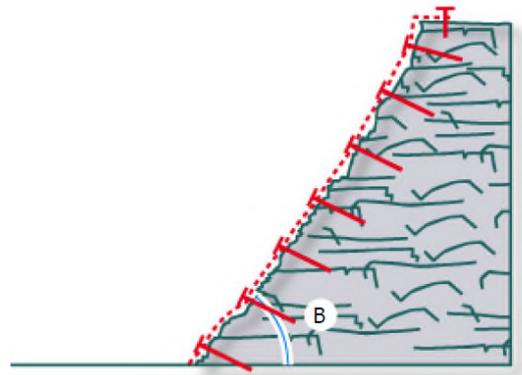
Anchor Bars

Geometry

Horizontal spacing between the anchors [m]	2.50
Vertical spacing between the anchors [m]	2.50
Inclination of bar to the horizontal [°]	25

Anchor Type

Bar type	Steel bars B450C
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]	0.35



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
Safety coefficient to reduce stabilizing forces	1.20
Slope surface morphology	1.10
External loads	1.00
Safety coefficient to increase the driving forces	1.10
Global Safety Coefficient	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: 	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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 99 di 127

● Results

Bar design check (Slope SF)

1.07 Satisfied

Mesh design check

14.12 Satisfied

Serviceability design check

1.19 Satisfied

Bar design

Stabilizing forces [kN]	289.46
Driving forces [kN]	271.68
Ratio Stabilizing/Driving forces	1.07
Angle between perpendicular to slope and bar axis [°]	0.00
Minimum acceptable steel yield stress [MPa]	391.30
Effective cross section of bar [mm ²]	452.39
Sliding plane stabilizing forces - per anchorage [kN]	89.62
Minimum drilling diameter (NOMINAL) [mm]	39.00
Anchor pull-out force from load on the mesh [kN]	12.16
Anchor pull-out force due to global instability [kN]	0.00
Maximum pull-out force (total) [kN]	12.16
Minimum bar length in the stable rock mass [m]	0.60
Minimum length (bar) in the unstable rock mass [m]	1.80
Minimum total bar length [m]	2.80

Mesh design

Admissible tensile stress of the mesh [kN/m]	93.85
Max. tensile stress within the mesh [kN/m]	6.65
Force-strength ratio	14.12
Potential unstable volume on joint - case A [m ³ /m]	0.00
Potential unstable volume on joint - case B [m ³ /m]	2.21
Potential unstable volume on joint - case C [m ³ /m]	0.90
Maximum rock volume that can slide between anchors [m ³ /m]	3.10
Maximum rock weight that can slide between anchors [kN/m]	83.80
Sum of driving forces acting on the sliding plane [kN/m]	17.82
Sum of stabilizing forces acting on the sliding plane [kN/m]	11.88
Punching forces acting on the mesh [kN]	12.16
Average angle between deformed mesh plane and rock surface [°]	7.94

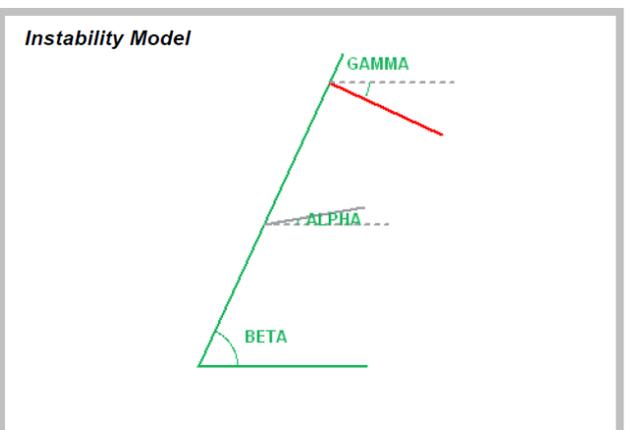
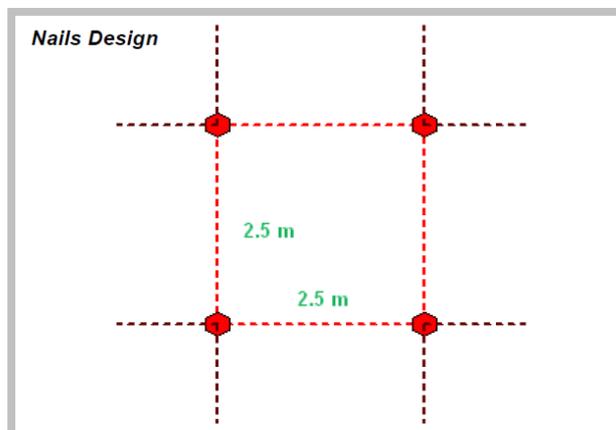
Serviceability

Maximum acceptable displacement [m]	0.25
Calculated mesh displacement [m]	0.21
Displacement Ratio	1.19

Features of the instability

Pressure on the average slip surface [MPa]	0.04
Initial dilatance of the most dangerous joint [°]	2.64
Total unstable volume controlled by each anchorage [m ³]	10.00
Total unstable weight controlled by each anchorage [kN]	270.00

Geometry



APPALTATORE:		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:							
Mandatario:	Mandanti:	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
SWS Engineering S.p.A.	PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	100 di 127
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo							

8.1.4.2. Risultati Binario Pari

LINEA FORTEZZA PONTE GARDENA - Galleria Gardena			
DIMENSIONAMENTO DEL RAFFORZAMENTO CORTICALE			
Dati di input			
Geometria della scarpata			
<i>inclinazione media scarpata</i>	β	72	[°]
<i>spessore medio zona corticale</i>	s	1,6	[m]
<i>coefficiente parziale azioni - morfologia</i>	γ_{MO}	1,10	[-]
<i>coefficiente parziale azioni - carico esterno</i>	γ_{OL}	1,0	[-]
<i>coefficiente parziale azioni</i>	γ_{DW}	1,10	[-]
Maglia chiodi			
<i>interasse orizzontale</i>	i_x	2,5	[m]
<i>interasse verticale</i>	i_y	2,5	[m]
Caratteristiche dell'ammasso roccioso			
<i>coefficiente sismico orizzontale</i>	c	0,016	[-]
<i>peso unità volume roccia</i>	γ	27,0	[kN/m ³]
<i>coefficiente parziale resistenze - spessore</i>	γ_T	1,20	[-]
<i>coefficiente parziale resistenze - peso</i>	γ_W	1,00	[-]
<i>coefficiente parziale resistenze - comportam</i>	γ_B	1,00	[-]
<i>coefficiente parziale resistenze</i>	γ_{RW}	1,20	[-]
Caratteristiche del giunto critico			
<i>inclinazione del giunto</i>	α	10	[°]
<i>resistenza compressione monoassiale giunto</i>	JCS_G	90,0	[MPa]
<i>rugosità giunto</i>	JRC_G	3,0	[-]
<i>lunghezza giunto</i>	L_G	0,10	[m]
<i>lunghezza piano di scivolamento</i>	L_G	2,50	[m]
Dati chiodo			
<i>inclinazione della perforazione rispetto all'orizzontale</i>	θ_0	18	[°]
<i>diametro nominale</i>	ϕ	24,0	[mm]
<i>spessore corrosione</i>	t_c	0,00	[mm]
<i>tensione snervamento dell'acciaio</i>	σ_{st}	450,0	[N/mm ²]
<i>coefficiente parziale acciaio</i>	γ_{st}	1,15	[-]
<i>adesione malta-roccia</i>	τ_{lim}	0,30	[MPa]
<i>coefficiente parziale per adesione malta-roccia</i>	γ_{GT}	1,98	[-]
<i>diametro della perforazione</i>	ϕ_{drill}	39,0	[mm]
Dati rete			
<i>tipo di rete</i>	esagonale doppia torsione maglia 8x10 cm		
<i>resistenza a trazione ultima rete</i>	T	122,0	[kN/m]
<i>coefficiente parziale riduzione resistenza</i>	γ_m	1,30	[-]
<i>deformata da punzonamento</i>	Z_{buil}	0,30	[m]

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 101 di 127

LINEA FORTEZZA PONTE GARDENA - Galleria Gardena

DIMENSIONAMENTO DEL RAFFORZAMENTO CORTICALE

Dimensionamento chiodi

Calcolo del contributo stabilizzante chiodo

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

volume blocco instabile	V	10,0	[m ³]
peso blocco instabile	W	270	[kN]
inclinazione del chiodo rispetto alla perpendicolare al giunto	ε	0	[°]
resistenza compressione monoassiale giunto	JCS	67,4	[MPa]
rugosità giunto	JRC	2,47	[-]
tensione media sulla superficie di scorrimento	σ_{plan}	42,5	[kPa]
dilatazione lungo il giunto critico	δ	2,64	[°]
area del chiodo	A_{eff}	452,4	[mm ²]
tensione snervamento progetto dell'acciaio	σ_{adm}	391,3	[N/mm ²]
contributo resistente chiodo	R	89,62	[kN]

Verifica a taglio del chiodo

$$FS_{SLP} = W \cdot \text{sen} \beta \cdot (1 - c) / \gamma_{RIV} + R$$

$$FS_{SLP} = W \cdot (\text{sen} \beta + c \cdot \text{cos} \beta) \cdot \gamma_{DIT}$$

$$FS_{nat} = \frac{FS_{SLP}}{FS_{SLP}} \geq 1.0$$

forza stabilizzante	FS_{SLP}	300,27	[kN]
forza instabilizzante	FD_{SLP}	283,90	[kN]
coefficiente sicurezza chiodo	FS_{nat}	1,06	[kN]

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				
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 102 di 127

LINEA FORTEZZA PONTE GARDENA - Galleria Gardena

DIMENSIONAMENTO DEL RAFFORZAMENTO CORTICALE

Dimensionamento rete

Calcolo del volume instabile tra i chiodi

$$V = V_A + V_B + V_C$$

$$V_A = \frac{1}{2} \cdot i_p^2 \cdot \tan(\beta - \alpha)$$

$$V_B = s \cdot [i_y - s / \tan(\beta - \alpha)]$$

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

volume blocco instabile	V_A	0,00	[m ³]
volume blocco instabile	V_B	2,64	[m ³]
volume blocco instabile	V_C	0,68	[m ³]
volume blocco instabile	V	3,32	[m ³]

Verifica a punzonamento della rete

$$M_B = V \cdot \gamma$$

$$M = (M_{B_driv} - M_{B_stab}) \cdot \sin(\beta - \alpha) \cdot i_x$$

$$M_{B_driv} = M_B \cdot (\sin\alpha + c \cdot \cos\alpha) \cdot \gamma_{DRIV}$$

$$M_{B_stab} = M_B \cdot \sin\alpha \cdot (1 - c) / \gamma_{STAB}$$

$$T = M \sin\beta$$

$$T = \left(\frac{M}{i_x \cdot \sin(\beta - \alpha - \rho_p)} \right)$$

peso blocco instabile	M_B	89,62	[kN]
risultante forze instabilizzanti rete	M_{B_driv}	18,63	[kN]
risultante forze stabilizzanti rete	M_{B_stab}	12,77	[kN]
massima forza di punzonamento	M	12,95	[kN]
spaziatura media della rete	i	2,5	[m]
angolo deformazione rete	ρ_p	13,50	[°]
resistenza a trazione di progetto	T_{adm}	93,85	[kN]
massima trazione sulla rete	T	6,92	[kN]
coefficiente sicurezza rete	FS_{mesh}	13,57	[-]

APPALTATORE:		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: SWS Engineering S.p.A. Mandanti: PINI ITALIA GDP GEOMIN SIFEL SIST M Ingegneria		
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMessa LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO. IBOU 1BEZZ CL GA01002 C 103 di 127	

LINEA FORTEZZA PONTE GARDENA - Galleria Gardena

DIMENSIONAMENTO DEL RAFFORZAMENTO CORTICALE

Lunghezza dell'ancoraggio

Verifica allo sfilamento del chiodo

$$L_s = \frac{P}{\pi \cdot \phi_{chiodo} \cdot f_{lim} / \gamma_{DT}}$$

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

$$P_{mesh} = (M_{B_{div}} - M_{B_{stab}}) \cdot \cos(\alpha + \theta_0) \cdot i_s$$

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

$$L_i = \frac{s}{\cos \theta_0} \cdot \gamma_{DIV}$$

massima forza rete	P_{mesh}	13,0	[kN]
massima forza chiodo	P_{rock}	0,0	[kN]
massima forza sfilamento	P	12,95	[kN]
lunghezza tratto stabile	L_s	0,7	[m]
lunghezza tratto instabile	L_i	1,9	[m]
lunghezza tratto plasticizzato	L_p	0,4	[m]
lunghezza ancoraggio	L	2,9	[m]

Ai medesimi risultati si perviene utilizzando lo strumento di calcolo MACRO1 – Reinforced System della Maccaferri, come riportato nel tabulato di calcolo sottostante.

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				
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 104 di 127

● Project Information

Title: Scaleres Sud - binario pari

Description:

Number:

Client: ALPINA

Designer:

● Input

Rock Slope

Slope inclination [°]	72
Thickness of the surficial instability [m]	1.60
Density of the rock mass [kN/m ³]	27.00
Assumed plasticization between rock and anchor [m]	0.40

Most Dangerous Joint

Inclination [°]	10
Compressive Strength JCS [MPa]	90.00
Roughness coefficient JRC	3.00

Seismic Acceleration

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

Mesh

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

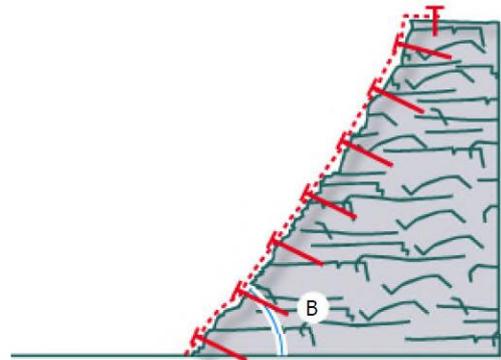
Anchor Bars

Geometry

Horizontal spacing between the anchors [m]	2.50
Vertical spacing between the anchors [m]	2.50
Inclination of bar to the horizontal [°]	18

Anchor Type

Bar type	Steel bars B450C
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]	0.35



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
Safety coefficient to reduce stabilizing forces	1.20
Slope surface morphology	1.10
External loads	1.00
Safety coefficient to increase the driving forces	1.10
Global Safety Coefficient	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:		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				
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 105 di 127

• Results

Bar design check (Slope SF)

1.05 Satisfied

Mesh design check

13.48 Satisfied

Serviceability design check

1.14 Satisfied

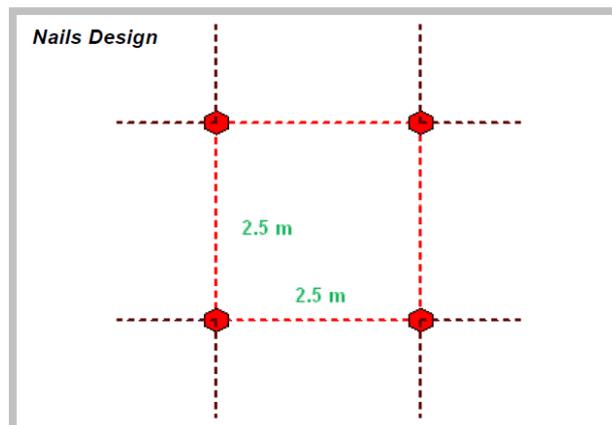
Bar design

Stabilizing forces [kN]	299.33
Driving forces [kN]	284.30
Ratio Stabilizing/Driving forces	1.05
Angle between perpendicular to slope and bar axis [°]	0.00
Minimum acceptable steel yield stress [MPa]	391.30
Effective cross section of bar [mm ²]	452.39
Sliding plane stabilizing forces - per anchorage [kN]	89.62
Minimum drilling diameter (NOMINAL) [mm]	39.00
Anchor pull-out force from load on the mesh [kN]	14.02
Anchor pull-out force due to global instability [kN]	0.00
Maximum pull-out force (total) [kN]	14.02
Minimum bar length in the stable rock mass [m]	0.70
Minimum length (bar) in the unstable rock mass [m]	1.80
Minimum total bar length [m]	2.90

Serviceability

Maximum acceptable displacement [m]	0.25
Calculated mesh displacement [m]	0.22
Displacement Ratio	1.14

Geometry

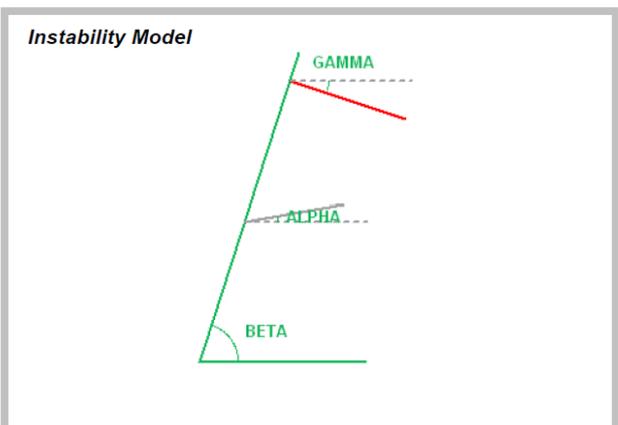


Mesh design

Admissible tensile stress of the mesh [kN/m]	93.85
Max. tensile stress within the mesh [kN/m]	6.96
Force-strength ratio	13.48
Potential unstable volume on joint - case A [m ³ /m]	0.00
Potential unstable volume on joint - case B [m ³ /m]	2.64
Potential unstable volume on joint - case C [m ³ /m]	0.68
Maximum rock volume that can slide between anchors [m ³ /m]	3.32
Maximum rock weight that can slide between anchors [kN/m]	89.62
Sum of driving forces acting on the sliding plane [kN/m]	19.06
Sum of stabilizing forces acting on the sliding plane [kN/m]	12.71
Punching forces acting on the mesh [kN]	14.02
Average angle between deformed mesh plane and rock surface [°]	8.33

Features of the instability

Pressure on the average slip surface [MPa]	0.04
Initial dilatance of the most dangerous joint [°]	2.64
Total unstable volume controlled by each anchorage [m ³]	10.00
Total unstable weight controlled by each anchorage [kN]	270.00



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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	106 di 127

9. VERIFICHE STRUTTURALI

Il presente paragrafo ha lo scopo di illustrare le verifiche di natura strutturale delle strutture d'imbotto galleria sia provvisorie che definitive.

9.1 VERIFICA PRESOSTEGNO

È prevista la verifica dell'intervento di presostegno, ove previsto, costituito da un ombrello di infilaggi metallici tramite i quali è possibile migliorare le condizioni di stabilità del cavo, in particolare nella fase maggiormente critica al termine dello sfondo, prima della messa in opera delle centine.

In condizioni di scarse coperture, infatti, l'effetto arco al di sopra della galleria non viene a generarsi in maniera completa e risulta necessario crearlo artificialmente mediante la realizzazione di interventi di presostegno al contorno.

Lo schema statico utilizzato per la verifica degli infilaggi prevede vincoli di incastro alle estremità rappresentati da un lato dall'ultima centina installata e dall'altro dal fronte stesso. La luce di calcolo è pari alla somma del passo delle centine (p), del tratto di galleria non sostenuta (a distanza tra la posizione della centina non ancora collocata ed il fronte di scavo) e di una distanza fittizia dell'appoggio oltre il fronte (λ usualmente pari a 0,5m), che tiene in conto del degradamento delle caratteristiche di resistenza del nucleo di scavo in prossimità del fronte, comportando l'arretramento del vincolo di incastro.

$$L = \delta + a + \lambda = 2.5 \text{ m}$$

dove:

δ = interasse centine;

a = distanza massima dell'ultima centina dal fronte di scavo;

λ = lunghezza fittizia per tener conto dell'effetto di appoggio "cedevole" al fronte (0,5 m).

Detta p_{vk} la pressione verticale caratteristica attesa in corrispondenza della calotta e i l'interasse, il carico da applicare su ogni singolo infilaggio è valutato come:

$$p = p_{vk} i$$

Determinato il carico p il momento flettente e l'azione di taglio di progetto agenti sul singolo elemento possono calcolarsi come:

$$M_{Ed} = \gamma_g \frac{pL^2}{12} = 6.7 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \gamma_g \frac{pL}{2} = 16.2 \text{ kN}$$

Dove L è la luce di calcolo.

Da progetto sono previsti infilaggi metallici le cui caratteristiche geometriche e i valori di resistenza sono sintetizzati nella tabella di seguito.

APPALTATORE:		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				
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 107 di 127	

ELEMENTO	Φ [mm]	spessore	i [m]	f _{yk} [MPa]	M _{rd} [kNm]	V _{rd} [kN]
Barre R51N	51	9 mm	0.20	670	7.2	278

Tabella 9-1. Sintesi caratteristiche infilaggi

Le verifiche possono ritenersi soddisfatte poiché risulta:

$$M_{Ek} \leq M_{Rd}$$

$$V_{Ek} \leq V_{Rd}$$

9.2 VERIFICHE DI RESISTENZA DEI RIVESTIMENTI PROVVISORI

Il rivestimento di prima fase della sezione analizzata è costituito da centine metalliche 2IPN180 a passo 1.0 m e da uno strato di spritz-beton avente spessore di 20cm.

Data la geometria dei portali, la cui predisposizione si colloca su un piano non verticale e non normale rispetto all'asse del binario, si è condotta un'analisi di resistenza delle cetine effettuando un'analisi su piano e considerando un raggio equivalente.

L'analisi condotta con il metodo delle linee caratteristiche consente di determinare il carico di prima fase agente sui sostegni valutando l'intersezione tra la curva caratteristica del sostegno e la curva caratteristica del cavo, rappresentativa della condizione di equilibrio.

Si riportano i valori di input ed il piano cartesiano relativo alle due curve caratteristiche del cavo e del sostegno. Per la definizione delle curve si è tenuto conto di una distanza di applicazione del sostegno dal fronte di 1,00m e di un gap da prevedere prima della messa in carico del sostegno nullo.

Si è arrivati a definire un valore di pressione equivalente di prima fase $p_{i,eq}=0,05$ MPa.

Partendo dal carico di pressione equivalente sopracitato, si procede alla verifica del rivestimento di prima fase con l'ausilio del software di calcolo FEM MidasGEN, le cui caratteristiche sono indicate nel paragrafo successivo. Il software permette di modellare una sezione mista acciaio-clc con presenza di profilo singolo, pertanto lo schema statico risolto è caratterizzato da due peculiarità: la prima è che il carico in testa alla calotta pari è pari alla metà della pressione equivalente individuata; la seconda è che il frame è risolto per profondità di 50cm. Per tale motivo, le sollecitazioni plottate in seguito sono relative ad una singola centina.

La verifica di cetine e spritz beton, condotta per mezzo di foglio di calcolo, è invece condotta sul doppio profilo e tiene pertanto conto di sollecitazioni "doppie" rispetto a quanto individuato dal software FEM.

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 108 di 127



Fig. 1 – 3D View – Prima Fase

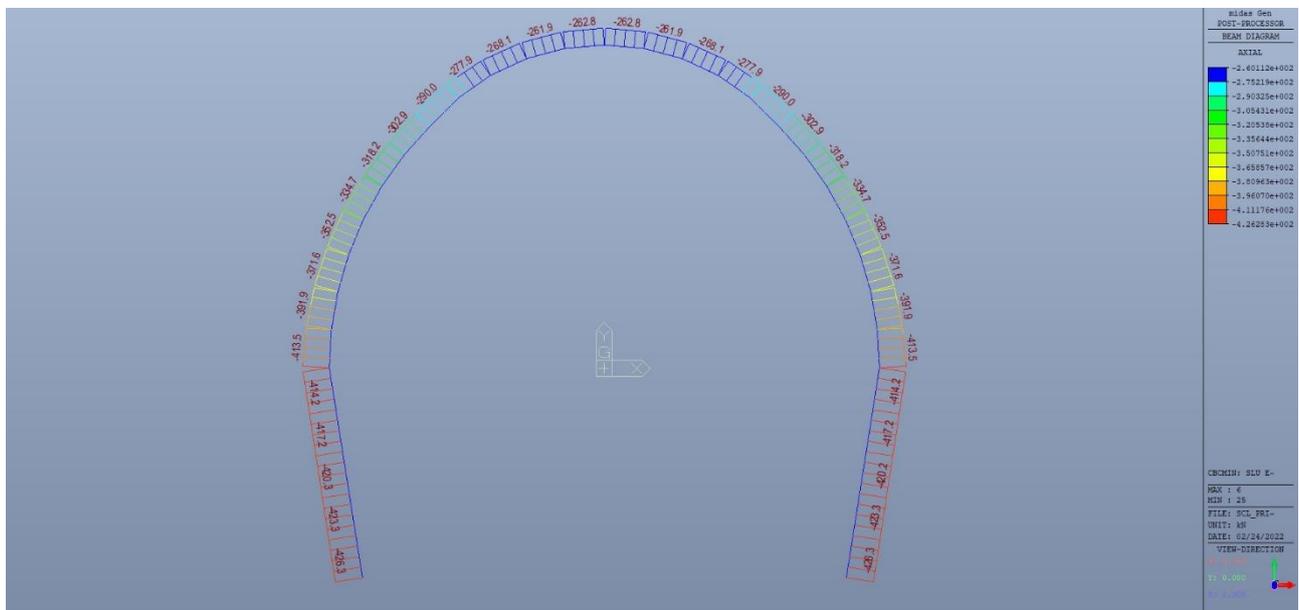


Fig. 2 – Envelope SLU Axial Force – Prima Fase

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 109 di 127

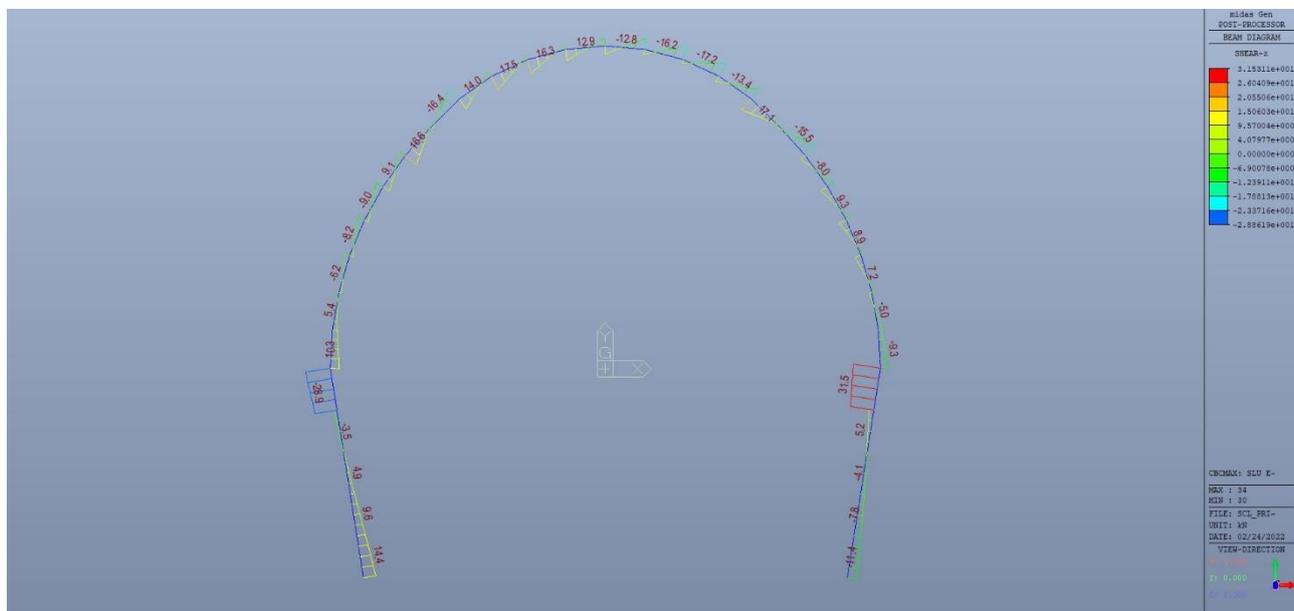


Fig. 3 – Envelope SLU Shear Force – Prima Fase



Fig. 4 – Envelope SLU Bending Moment – Prima Fase

Le massime sollecitazioni ottenute sono state ripartite tra le due tipologie di sostegni secondo i seguenti criteri:

- lo sforzo normale N_{tot} è stato ripartito in funzione del rapporto tra le rigidetnze assiali (EA) dei duesostegni;
- il momento flettente M_{tot} è stato attribuito interamente alle centine;

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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 110 di 127

- lo sforzo di taglio T_{tot} è stato attribuito interamente alle centine.
- p azioni di calcolo per le verifiche SLU sono state definite a partire dai valori delle caratteristiche della sollecitazione derivanti dall'analisi, moltiplicando queste ultime per il coefficiente amplificativo $\gamma_G=1.3$ (Combinazione A1+M1 della Normativa).

In ogni sezione di verifica sono state calcolate:

per l'acciaio da carpenteria:

- le tensioni normali ai lembi delle centine ($\sigma_{max,cent}$ e $\sigma_{min,cent}$);
- la tensione tangenziale agente sulla sola anima del profilato ($\tau_{max,cent}$);
- la tensione ideale massima agente nel

profilato ($\sigma_{id,cent}$), per il calcestruzzo proiettato:

- le tensioni normali ai lembi del calcestruzzo ($\sigma_{max,sb}$ e $\sigma_{min,sb}$)

Per ciascuna sezione si è verificato che la tensione in corrispondenza dei lembi maggiormente sollecitati risulti sempre al di sotto del rispettivo limite di resistenza per entrambi i materiali.

Nella seguente tabella sono sintetizzate le ipotesi assunte alla base del calcolo e le formule utilizzate per la ripartizione delle sollecitazioni e la determinazione delle tensioni nei due materiali.

Tabella 14 - Formule per la ripartizione delle sollecitazioni tra spritz e centine

Sollecitazioni		Ripartizione		Calcolo		
		centine	spritz	Centine	Spritz	
Sforzo normale	N_{tot}	X	X	$N_{cen} = \frac{E_{acc} \cdot A_{cen}}{E_{eq} \cdot s_{eq}} \cdot d \cdot N_{tot} \cdot d$	$N_{sb} = N_{tot} - \frac{N_{cen}}{d}$	
Momento flettente	M_{tot}	X		$M_{cen} = M_{tot} \cdot d$		
Sforzo di taglio	T_{tot}	X		$T_{cen} = T_{tot} \cdot d$		
Tensioni				$\sigma_{max,cent} = + \frac{N_{cen}}{A_{cen}} + \frac{M_{cen}}{W_{cent}}$ $\sigma_{min,cent} = + \frac{N_{cen}}{A_{cen}} - \frac{M_{cen}}{W_{cent}}$ $\tau_{min,cent} = \frac{T_{cen}}{h \cdot a}$ $\sigma_{id,cent} = \sigma_{max,cent}^2 + 3\tau_{max,cent}^2$	$\sigma_{max,sb} = \frac{N_{sb}}{s}$	
	E_{cls} s E_{acc} A_{cen} d a E_{eq}	modulo elastico del calcestruzzo proiettato spessore del calcestruzzo proiettato modulo elastico dell'acciaio area delle centine interasse tra le centine spessore dell'anima del profilato modulo elastico del rivestimento equivalente costituito da spritz e centine				

APPALTATORE:		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				
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 111 di 127	

S_{eq}	spessore del rivestimento equivalente costituito da spritz e
N_{tot}	centinesforzo normale agente sul rivestimento equivalente
N_{cent}	sforzo normale agente sulle centine
N_{sb}	sforzo normale agente sullo spritz beton
M_{tot}	momento flettente agente sul rivestimento
M_{cent}	equivalentemomento flettente agente sulle centine
T_{tot}	
T_{cent}	sforzo di taglio agente sul rivestimento equivalente
$\sigma_{max,cent}$	sforzo di taglio agente sulle centine
$\sigma_{min,cent}$	tensione massima nelle centine
$\tau_{max,cent}$	tensione minima nelle centine

Nella tabella seguente sono sintetizzati i valori delle caratteristiche della sollecitazione nelle sezioni di M_{max} , N_{max} , e T_{max} con riferimento ai risultati dell'analisi, moltiplicando le sollecitazioni derivanti dalle analisi numeriche per il coefficiente amplificativo $\gamma_G=1.3$.

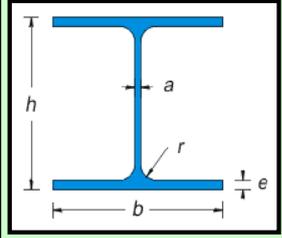
Nelle seguenti tabelle sono sintetizzati i risultati delle verifiche.

La centina risulta verificata.

E1 (MPa)	E2 (MPa)	p (m)	h2 (cm)	M (t×m)	N (t)	V (t/m)
200	30	1,00	20	2,4	84	2

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				
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 112 di 127

DATI DI INPUT SOSTEGNO DI 1^A FASE

Elemento 1					
CENTINE (c) <input checked="" type="checkbox"/>	<input type="text" value="IPN180"/>	h_1	180	mm	Altezza della centina
		b_1	82	mm	Larghezza ala
		a_1	6,9	mm	Larghezza anima
		e_1	10,4	mm	Spessore ala
		r	6,9	mm	
		A_1	0,00558	m ²	Area della centina
		I_1	0,000029	m ⁴	Momento di inerzia
		E_1	200	GPa	Modulo Young acciaio
Disposizioni costruttive centine					
Numero di profilati per centina <input type="radio"/> 1 <input checked="" type="radio"/> 2	p	1,00	m	Passo tra le centine	
	n	1,0	unità/m	Numero di Elementi al metro	

Elemento 2					
SPRITZ (s) <input checked="" type="checkbox"/>	h_2	200	mm	Spessore spritz	
	b_2	1000	mm	Larghezza unitaria	
	A_2	0,19442000	m ²	Area spritz tra 2 centine	
	I_2	0,000638	m ⁴	Momento di inerzia	
	E_2	30	GPa	Modulo Young spritz	

DATI INTERMEDI			
C_A	6948600	kN	
C_I	24930	kNm ²	

OUTPUT CARATTERISTICHE MECCANICHE			
Parametri della sezione equivalente			
h_{eq}	207	mm	
A_{eq}	0,207	m ²	
I_{eq}	0,00074	m ⁴	
E_{eq}	33,5	GPa	

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				
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 113 di 127

VERIFICA DEL SOSTEGNO DI 1^A FASE

Caratteristiche di sollecitazione per un metro di sostegno

N	840,0	Kn/m	Sforzo normale (+ se di compressione)
M	24,0	kN*m/m	Momento Flettente
V	20,0	kN/m	Sforzo Tagliante

Caratteristiche di sollecitazione allo SLU

Coefficiente

	1,3		
N_{SD}	1092	Kn/m	Sforzo normale di calcolo (+ se di compressione)
M_{SD}	31,2	kN*m/m	Momento Flettente di calcolo
V_{SD}	26	kN/m	Sforzo Tagliante di calcolo

Ridistribuzione delle caratteristiche di sollecitazione sugli elementi di sostegno

N₁	175,4	kN	Centina
N₂	916,6	kN	Spritz
M₁	31,2	kN*m	Centina
M₂	0,0	kN*m	Spritz
V₁	26,0	kN	Centina
V₂	0,0	kN	Spritz

Ipotesi di verifica: M e V assorbito dalle centine - N distribuito tra Centine e Spritz in funzione delle loro rigidzze.

VERIFICA ELEMENTO 1 - STATI LIMITE: CENTINE

Tensioni

σ_N	31,4	N/mm ²	Tensione di compressione
σ_M	85,6	N/mm ²	Tensione di compressione e di trazione
$\sigma_{(min)}$	-54,2	N/mm ²	Tensione di trazione
$\sigma_{(max)}$	117,1	N/mm ²	Tensione di compressione
τ	11,8	N/mm ²	Tensione tagliante

σ_{id}	118,9	N/mm ²	Tensione ideale
---------------	--------------	-------------------	-----------------

Acciaio Laminato

Spessore Profilato t<=40 mm

f_d	275	N/mm ²	Tensione limite
-------	------------	-------------------	-----------------

Verifica del profilato **Verifica OK**

VERIFICA ELEMENTO 2 - STATI LIMITE: SPRITZ

σ_N	4,7	N/mm ²	Tensione di compressione
------------	------------	-------------------	--------------------------

Classe di resistenza Calcestruzzo

R_{ck}	30	N/mm ²	Resistenza caratteristica cubica
f_{cd}	15,6	N/mm ²	Resistenza di calcolo cilindrica

Verifica dello spritz **Verifica OK**

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 114 di 127

9.3 VERIFICHE DI RESISTENZA DEI RIVESTIMENTI DEFINITIVI

La verifica delle sezioni degli elementi strutturali è condotta, in accordo con la vigente normativa, secondo il metodo degli stati limite, verificando la corrispondenza delle sezioni allo stato limite ultimo S.L.U.

La verifica è condotta con l'ausilio del software agli elementi finiti Midas GEN, le cui caratteristiche sono riportate nella tabella sottostante.

Informazioni sul codice di calcolo	
Titolo:	Midas GEN
Versione:	Gen 2021 (v2.1)
Produttore-Distributore:	MIDAS Information Technology Co.,Ltd - South Korea
Codice Licenza:	Licenza CFENGEN0002443

Si riporta immagine da modello di calcolo.

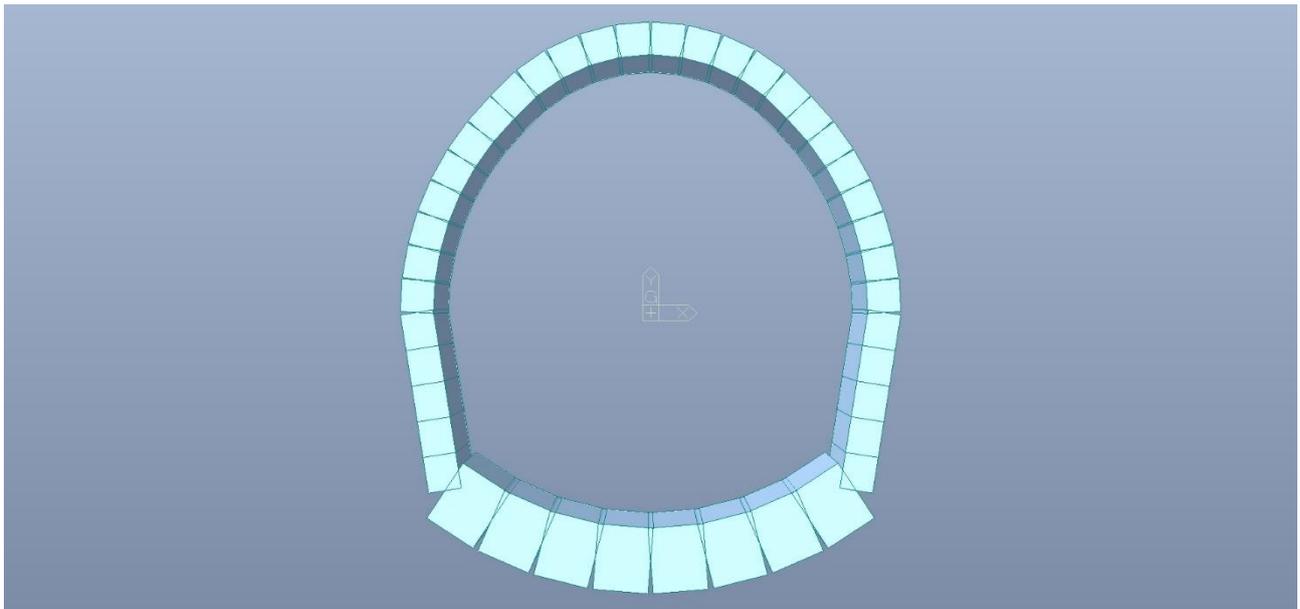


Fig. 5 – 3D view

La struttura piana analizzata è relativa alla sezione d'imbotto iniziale avente spessore minimo rispetto allo sviluppo dell'imbotto. In via cautelativa, la progettazione è stata condotta considerando carichi relativi alla sezione più interna, così da massimizzare le sollecitazioni di progetto.

Lo schema statico del problema è caratterizzato da un guscio di profondità unitaria, discretizzato per mezzo di elementi beam, ed vincolato con vincoli elastici di sola compressione, atti a simulare l'interazione tra struttura e terreno. Il valore della rigidità assiale dei vincoli "compression only" è calcolato con formulazione di Vesic per l'arco rovescio e formulazione di Galerkin per calotta e piedritti. Le formulazioni sono di seguito riportate:

$$k_n = E / [B \cdot (1 - \nu^2)] \quad \text{Vesic}$$

APPALTATORE:		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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 115 di 127

$$k_n = E / [R_{eq} \cdot (1 - \nu)] \quad \text{Galerkin}$$

Considerando un raggio equivalente della sezione analizzata pari a $R_{eq} = 5,00\text{m}$ e una lunghezza dell'arco rovescio $B = 8,10\text{ m}$, si arriva a definire una rigidezza del vincolo pari a:

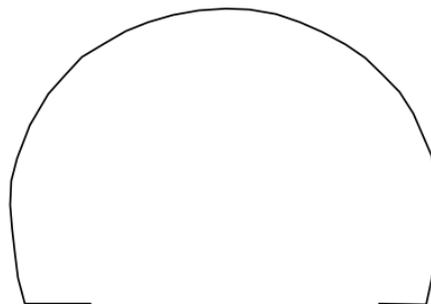
$$k_n = 325,60 \text{ MN}/\text{m}^3 \quad \text{Arco rovescio}$$

$$k_n = 369,23 \text{ MN}/\text{m}^3 \quad \text{Calotta e piedritti}$$

Lo schema di carico applicato nel modello al rivestimento definitivo è di seguito riassunto. Partendo da un valore di RMR dell'ammasso roccioso pari a 45, si arriva a definire una pressione massima del terreno pari a:

$$P_v = 80,93 \text{ KN}/\text{m}^2$$

che definisce il carico lineare per unità di profondità applicato in testa alla struttura in corrispondenza della sua proiezione.



$$P_v = \gamma \cdot D_{eq} \cdot ((100 - \text{RMR})/100)$$

Il valore di spinta statica laterale del terreno, assunta costante con la profondità per via della natura rocciosa del terreno, è calcolato per mezzo di $K_0 = 1 - \sin(\varphi) = 0,24$.

Si definisce un valore costante di:

$$P_h = K_0 \cdot P_v = 0,24 \cdot 80,93 \text{ KN}/\text{m}^2 = 18,95 \text{ KN}/\text{m}^2$$

Carichi sismici

Per la verifica agli stati limite in condizioni sismiche (SLV e SLD) si è adottato il metodo pseudostatico, calcolando i coefficienti sismici orizzontale e verticale in analogia con quanto indicato

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						
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD		COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
Relazione geotecnica e di calcolo		IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	116 di 127

dalla normativa (DM 14/1/2008) per i muri di sostegno. Data la natura dell'opera, in ottemperanza alle norme tecniche vigenti, si è trascurata la componente verticale del sisma.

L'accelerazione orizzontale massima attesa al suolo è definita nel paragrafo 8.4. In presenza di sisma è necessario considerare gli effetti inerziali indotti da entrambe le componenti del moto sismico sui carichi.

Pertanto, i carichi orizzontali di natura sismica valutati possono essere classificati in due categorie:

- ΔS_w - Carico sismico dinamico costituito dalla sovrappinta sismica del terreno in caso di evento sismico. Tale spinta è calcolata per mezzo di formulazione di Wood per via dell'ipotesi di struttura non deformabile assunta.
- F_{SI} - Carico sismico inerziale generato dall'accelerazione sismica sulla struttura.

In analogia all'approccio utilizzato per i carichi statici, data la geometria della struttura, anche i carichi sismici saranno applicati sottoforma di carichi lineari con modulo valutato per unità di profondità.

Di seguito le due formulazioni per il calcolo delle forze risultati dei carichi:

$$\text{Wood} \quad \Delta S_w = \left(\frac{a_g}{g}\right) \cdot S \cdot \gamma \cdot H \cdot H'$$

$$\text{Carico Inerziale} \quad F_{SI} = \beta_m \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right) \cdot S \cdot m$$

Dove:

$\beta_m = 1$ per strutture non in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno.

$H = 20,00 \text{ m}$ è l'altezza della copertura rispetto al piede della struttura;

$H' = 9,55 \text{ m}$ è l'altezza della struttura;

$m = 98475 \text{ Kg}$ è la massa media della struttura in cls valutata per unità di profondità.

Segue tabella riassuntiva dei valori caratteristici dei carichi permanenti. In riferimento allo schema statico risolto, i valori sono da intendersi lineari e ottenuti per altezza baricentrica struttura $H=9,55\text{m}$.

Carichi permanenti	[KN/m ²]
P_V	80,93
P_h	18,95
ΔS_w	42,12
F_{SI}	8,04

APPALTATORE: 	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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 117 di 127

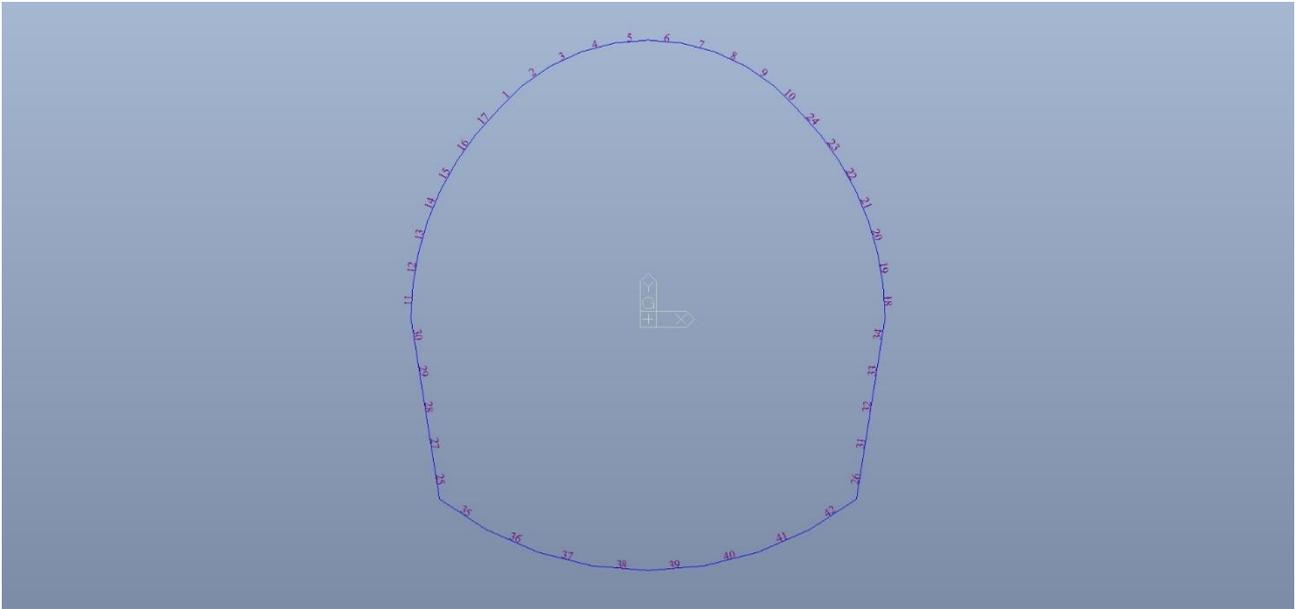
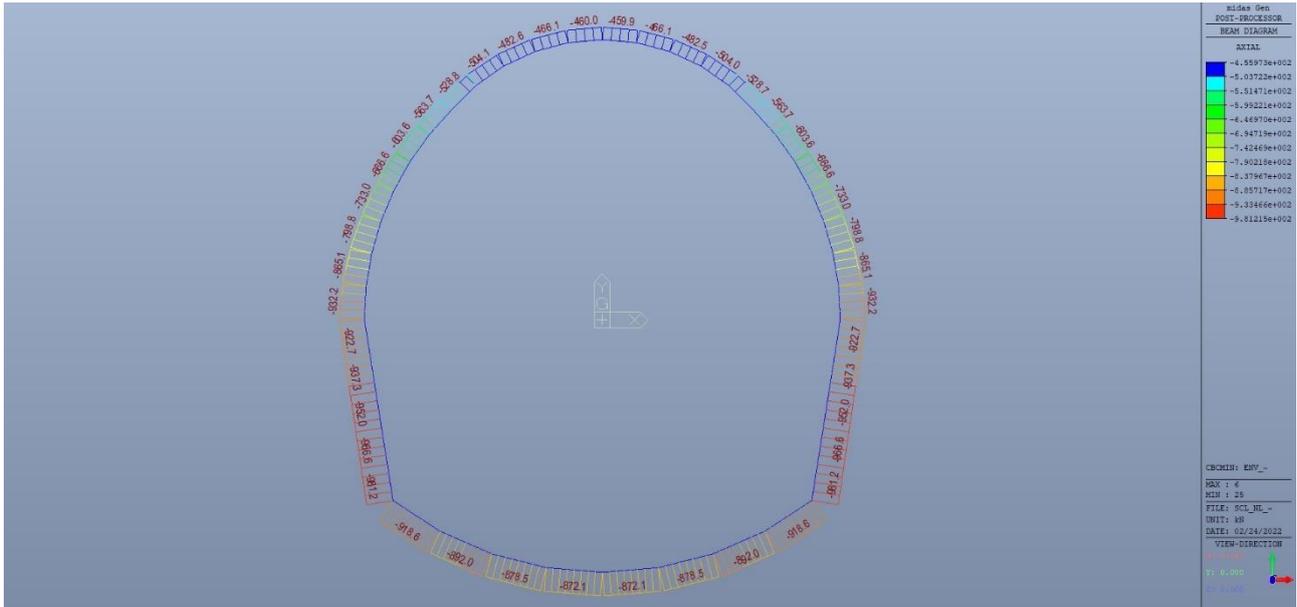


Fig. 6 – Number Element

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 118 di 127

9.3.1 SOLLECITAZIONI

Si riportano i risultati relativi all'unica combinazione SLU che tiene conto della spinta del terreno, unita al peso proprio del rivestimento defittivo.



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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 119 di 127

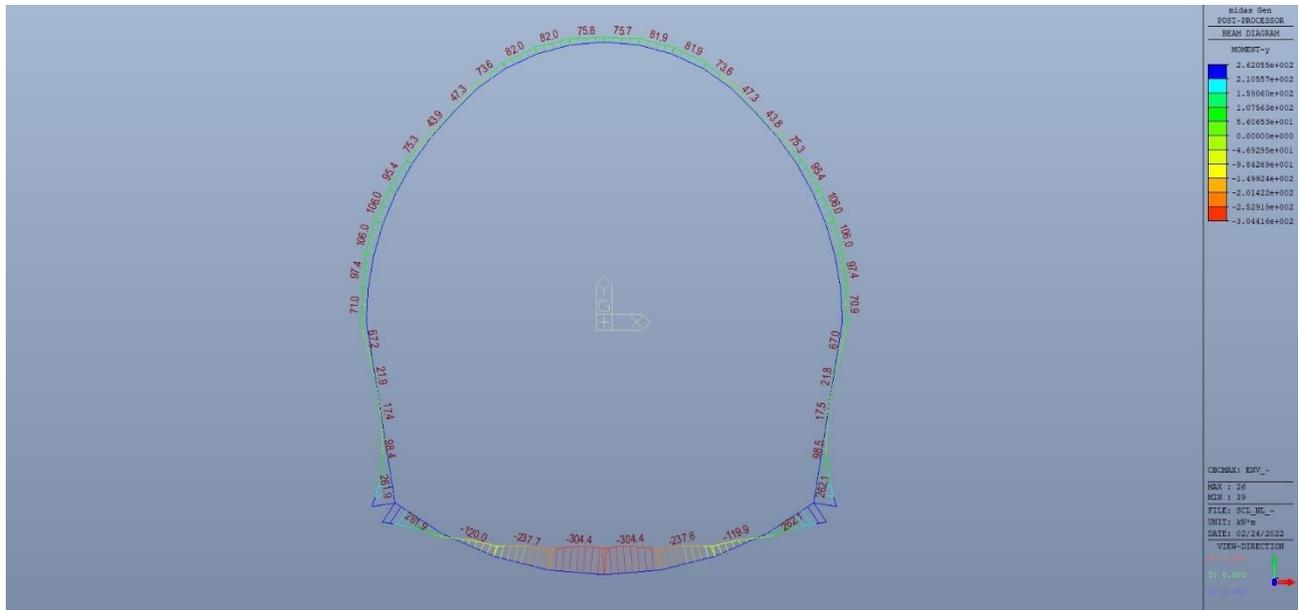


Fig. 9 – Involuppo Momento flettente

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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	120 di 127

9.3.2 VERIFICHE SLU E SLE

Le verifiche alle SLU condotte in ottemperanza alle norme tecniche vigenti, interessano la pressoflessione e il taglio delle sezioni.

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

Si riporta in seguito il dettaglio delle verifiche relative alla sezioni maggiormente sollecitate.

Nella fattispecie si riportano le verifiche di una sezione per ogni gruppo di elementi. I gruppi di elementi sono di seguito indicati:

- Appoggio arco rovescio
- Campata arco rovescio
- Base piedritti
- Testa piedritti
- Calotta.

Riassunto tabulare verifiche SLU:

MEM	SE	Section	fck	fyk	CH	LC	V-Rebar	N_Rdm	N_Ed	M_Edy	M_Edz	V_Rdc.en	V_Rds.en	V_Rdc.mi	V_Rds.mi	LC	V_Ed.en	Rat-V.en
SECT	L	Bc Hc	Height	fyw	K	B		ax	Rat-N	Rat-M	Rat-M	Rat-Vc.en	Rat-Vs.en	Rat-Vc.mi	Rat-Vs.mi	B	V_Ed.mi	Rat-V.mi
11	□	Sez 100x6	25000.0	450000	OK	3	10-2-P20	9684.82	932.223	187.265	18.6445	285.476	420.614	247.664	420.614	8	48.5240	0.170
1		1.000 0.600	14.444	450000					0.213	0.215	0.210	0.170	0.115	0.363	0.214	2	90.0148	0.363
25	□	Sez 100x6	25000.0	450000	OK	6	10-2-P20	9684.82	726.887	261.906	14.5377	329.316	420.614	323.531	420.614	2	318.340	0.967
1		1.000 0.600	1.9768	450000					0.346	0.348	0.345	0.967	0.757	0.785	0.603	3	253.820	0.785
29	□	Sez 100x6	25000.0	450000	OK	2	10-2-P20	9684.82	937.319	87.1264	18.7464	316.502	210.307	318.510	210.307	3	214.670	0.678
1		1.000 0.600	1.3178	450000					0.139	0.136	0.131	0.678	1.021	0.460	0.697	3	146.605	0.460
32	□	Sez 100x6	25000.0	450000	OK	9	10-2-P20	9684.82	726.814	262.055	14.5363	329.316	420.614	323.531	420.614	3	318.334	0.967
1		1.000 0.600	1.9759	450000					0.346	0.348	0.345	0.967	0.757	0.785	0.603	2	253.835	0.785
34	□	Sez 100x6	25000.0	450000	OK	3	10-2-P20	9684.82	937.347	87.0177	18.7469	316.508	210.307	318.515	210.307	2	214.403	0.677
1		1.000 0.600	1.3173	450000					0.139	0.136	0.131	0.677	1.019	0.460	0.696	2	146.421	0.460
35	□	Sez 100x1	25000.0	450000	OK	1	10-2-P20	18184.8	897.147	260.686	17.9429	431.806	898.584	441.820	898.584	4	395.632	0.916
2		1.000 1.200	1.0034	450000					0.089	0.088	0.085	0.916	0.440	0.972	0.478	9	429.433	0.972
41	□	Sez 100x1	25000.0	450000	OK	3	10-2-P20	18184.8	871.278	390.539	17.4256	457.497	898.584	435.644	898.584	3	336.222	0.735
2		1.000 1.200	6.0202	450000					0.129	0.127	0.127	0.735	0.374	0.271	0.131	9	118.105	0.271
42	□	Sez 100x1	25000.0	450000	OK	1	10-2-P20	18184.8	897.097	260.695	17.9419	431.800	898.584	441.818	898.584	5	395.677	0.916
2		1.000 1.200	1.0034	450000					0.089	0.088	0.085	0.916	0.440	0.972	0.478	8	429.429	0.972

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					
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO.
	IBOU	1BEZZ	CL	GA01002	C	121 di 127

Si effettuano le seguenti verifiche agli stati limite di esercizio:

- stato limite delle tensioni in esercizio;
- stato limite di fessurazione.

Nel primo caso, si esegue il controllo delle tensioni nei materiali supponendo una legge costitutiva tensioni-deformazioni di tipo lineare. In particolare si controlla la tensione massima di compressione del calcestruzzo e di trazione dell'acciaio, verificando che:

$$\sigma_c < 0.55f_{ck} \text{ per combinazione di carico caratteristica (rara);}$$

$$\sigma_c < 0.40f_{ck} \text{ per combinazione di carico quasi permanente;}$$

$$\sigma_s < 0.75f_{yk} \text{ per combinazione di carico caratteristica (rara).}$$

Nel secondo caso, si verifica che le aperture delle fessure siano inferiori al valore limite dell'apertura delle fessure nella combinazione caratteristica Rara. I valori limite di riferimento è:

$$w_2 = 0.2 \text{ mm}$$

Tutte le verifiche risultano soddisfatte.

Si riporta in seguito il dettaglio delle verifiche relative alla sezioni maggiormente sollecitate.

Nella fattispecie si riportano le verifiche di una sezione per ogni gruppo di elementi. I gruppi di elementi sono di seguito indicati:

- Appoggio arco rovescio
- Campata arco rovescio
- Base piedritti
- Testa piedritti
- Calotta.

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 123 di 127

Verifica appoggio arco rovescio

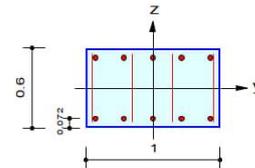
midas Gen

RC Column Checking Result

	Company	Project Title
	Author	File Name C:\...ASCL_NL_03.mgb

1. Design Condition

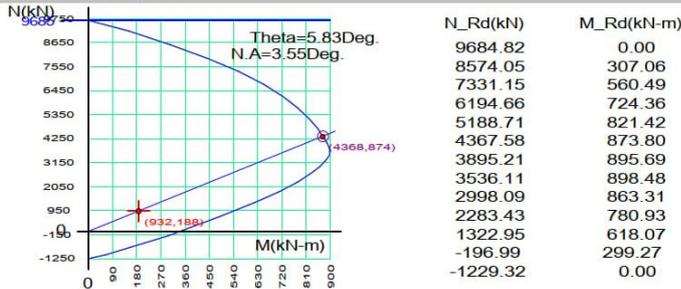
Design Code : Eurocode2:04 & NTC2018 UNIT SYSTEMkN, m
 Member Number: 11
 Material Data : fck = 25000, fyk = 450000, fyw = 450000 KPa
 Column Height : 14.4437 m
 Section Property: Sez 100x60 (No : 1)
 Rebar Pattern : 10 - 2 - P20 Ast = 0.0031416 m^2 (Rhost = 0.005)



2. Axial and Moments Capacity

Load Combination : 3 (Pos : J)
 Concentric Max. Axial Load N_Rdmax = 9684.82 kN
 Axial Load Ratio N_Ed / N_Rd = 932.223 / 4367.58 = 0.213 < 1.000 O.K
 Moment Ratio M_Ed / M_Rd = 188.191 / 873.801 = 0.215 < 1.000 O.K
 M_Edy / M_Rdy = 187.265 / 869.287 = 0.215 < 1.000 O.K
 M_Edz / M_Rdz = 18.6445 / 88.7037 = 0.210 < 1.000 O.K

M-N Interaction Diagram



3. Shear Capacity

[END]	y (LCB : , POS : I)	z (LCB : 8, POS : I)
Applied Shear Force (V_Ed)	0.00000 kN	48.5240 kN
V_Ed / V_Rdc	0.00000 / 0.00000 = 0.000	48.5240 / 285.476 = 0.170
V_Ed / V_Rds	0.00000 / 0.00000 = 0.000	48.5240 / 420.614 = 0.115
V_Ed / V_Rdmax	0.00000 / 0.00000 = 0.000	48.5240 / 1683.00 = 0.029
Shear Ratio	0.000 < 1.000 O.K	0.170 < 1.000 O.K
Asw-H_use	Not Use	0.00226 m^2/m, 4-P12 @200
[MIDDLE]	y (LCB : , POS : I)	z (LCB : 2, POS : 1/2)
Applied Shear Force (V_Ed)	0.00000 kN	90.0148 kN
V_Ed / V_Rdc	0.00000 / 0.00000 = 0.000	90.0148 / 247.664 = 0.363
V_Ed / V_Rds	0.00000 / 0.00000 = 0.000	90.0148 / 420.614 = 0.214
V_Ed / V_Rdmax	0.00000 / 0.00000 = 0.000	90.0148 / 1683.00 = 0.053
Shear Ratio	0.000 < 1.000 O.K	0.363 < 1.000 O.K
Asw-H_use	Not Use	0.00226 m^2/m, 4-P12 @200

4. Serviceability : Stress Limit Check

	Conc.(Tens.)	Conc.(Comp.)	Conc.(Comp.)(QP)	Rebar
Load Combination	12(C)	12(C)	14(Q)	12(C)
Stress(s)	0.00	1414.31	1414.31	2257.12
Allowable Stress(sa)	2564.96	13750.00	10000.00	33750.00
Stress Ratio(s/sa)	0.0000	0.1029	0.1414	0.0067
Check Linear Creep			Linear Creep	

5. Serviceability : Crack Limit Check

	y (LCB : 12, POS : I)	z (LCB : 12, POS : I)
Crack Width(w)	0.00000 m	0.00000 m
Allowable Crack Width(wa)	0.00000 m	0.00000 m
Check Ratio(w/wa)	0.000 < 1.000 O.K	0.000 < 1.000 O.K

Modeling, Integrated Design & Analysis Software
 http://www.MidasUser.com
 Gen 2022

Print Date/Time : 03/24/2023 13:22

Armatura longitudinale: 5+5 ø20mm – Staffe ø12mm/20cm – Incidenza armatura 80kg/mc

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 124 di 127

Verifica Campata arco rovescio

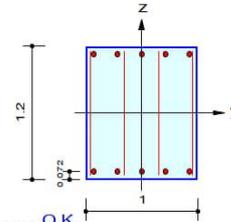
midas Gen

RC Column Checking Result

	Company	Project Title
	Author	File Name
		C:\...ASCL_NL_03.mgb

1. Design Condition

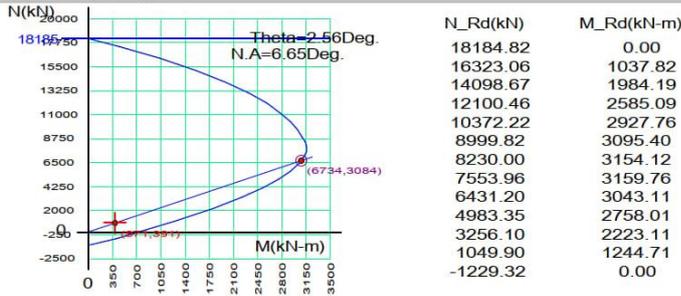
Design Code : Eurocode2:04 & NTC2018 UNIT SYSTEMkN, m
 Member Number: 41
 Material Data : fck = 25000, fyk = 450000, fyw = 450000 KPa
 Column Height : 6.02022 m
 Section Property: Sez 100x120 (No : 2)
 Rebar Pattern : 10 - 2 - P20 Ast = 0.0031416 m^2 (Rhost = 0.003)



2. Axial and Moments Capacity

Load Combination : 3 (Pos : 1/2)
 Concentric Max. Axial Load N_Rdmax = 18184.8 kN
 Axial Load Ratio N_Ed / N_Rd = 871.278 / 6734.29 = 0.129 < 1.000 O.K
 Moment Ratio M_Ed / M_Rd = 390.928 / 3084.09 = 0.127 < 1.000 O.K
 M_Edy / M_Rdy = 390.539 / 3081.01 = 0.127 < 1.000 O.K
 M_Edz / M_Rdz = 17.4256 / 137.718 = 0.127 < 1.000 O.K

M-N Interaction Diagram



3. Shear Capacity

[END]	y (LCB : , POS : I)	z (LCB : 3, POS : I)
Applied Shear Force (V_Ed)	0.00000 kN	336.222 kN
V_Ed / V_Rdc	0.00000 / 0.00000 = 0.000	336.222 / 457.497 = 0.735
V_Ed / V_Rds	0.00000 / 0.00000 = 0.000	336.222 / 898.584 = 0.374
V_Ed / V_Rdmax	0.00000 / 0.00000 = 0.000	336.222 / 3595.50 = 0.094
Shear Ratio	0.000 < 1.000 O.K	0.735 < 1.000 O.K
Asw-H_use	Not Use	0.00226 m^2/m, 4-P12 @200
[MIDDLE]	y (LCB : , POS : I)	z (LCB : 9, POS : 1/2)
Applied Shear Force (V_Ed)	0.00000 kN	118.105 kN
V_Ed / V_Rdc	0.00000 / 0.00000 = 0.000	118.105 / 435.644 = 0.271
V_Ed / V_Rds	0.00000 / 0.00000 = 0.000	118.105 / 898.584 = 0.131
V_Ed / V_Rdmax	0.00000 / 0.00000 = 0.000	118.105 / 3595.50 = 0.033
Shear Ratio	0.000 < 1.000 O.K	0.271 < 1.000 O.K
Asw-H_use	Not Use	0.00226 m^2/m, 4-P12 @200

4. Serviceability : Stress Limit Check

	Conc.(Tens.)	Conc.(Comp.)	Conc.(Comp.)(QP)	Rebar
Load Combination	12(C)	12(C)	14(Q)	12(C)
Stress(s)	-619.62	1704.44	1704.44	6102.16
Allowable Stress(sa)	2564.96	13750.00	10000.00	337500.00
Stress Ratio(s/sa)	0.2416	0.1240	0.1704	0.0181
Check Linear Creep			Linear Creep	

5. Serviceability : Crack Limit Check

	y (LCB : 12, POS : I)	z (LCB : 12, POS : I)
Crack Width(w)	0.00000 m	0.00000 m
Allowable Crack Width(wa)	0.00000 m	0.00000 m
Check Ratio(w/wa)	0.000 < 1.000 O.K	0.000 < 1.000 O.K

Modeling, Integrated Design & Analysis Software
 http://www.MidasUser.com
 Gen 2022

Print Date/Time : 03/24/2023 13:22

Armatura longitudinale: 5+5 ø20mm – Staffe ø12mm/20cm – Incidenza armatura 38.4kg/mc

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 125 di 127

Verifica base piedritti

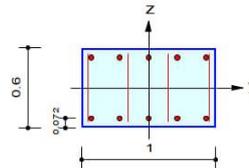
midas Gen

RC Column Checking Result

	Company	Project Title
	Author	File Name
		C:\...SCL_NL_03.mgb

1. Design Condition

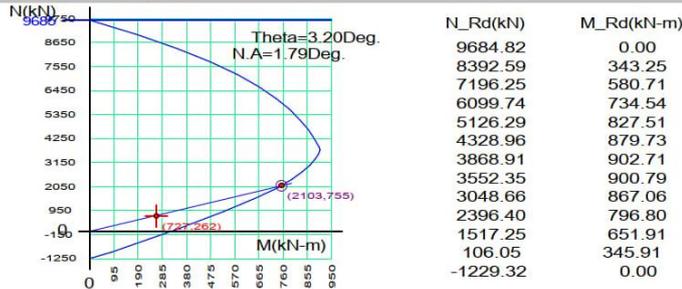
Design Code : Eurocode2:04 & NTC2018 UNIT SYSTEMkN, m
 Member Number: 32
 Material Data : fck = 25000, fyk = 450000, fyw = 450000 KPa
 Column Height : 1.97591 m
 Section Property: Sez 100x60 (No : 1)
 Rebar Pattern : 10 - 2 - P20 Ast = 0.0031416 m^2 (RhoSt = 0.005)



2. Axial and Moments Capacity

Load Combination : 9 (Pos : J)
 Concentric Max. Axial Load N_Rdmax = 9684.82 kN
 Axial Load Ratio $N_{Ed} / N_{Rd} = 726.814 / 2102.99 = 0.346 < 1.000$ O.K
 Moment Ratio $M_{Ed} / M_{Rd} = 262.458 / 754.607 = 0.348 < 1.000$ O.K
 $M_{Edy} / M_{Rdy} = 262.055 / 753.431 = 0.348 < 1.000$ O.K
 $M_{Edz} / M_{Rdz} = 14.5363 / 42.1054 = 0.345 < 1.000$ O.K

M-N Interaction Diagram



3. Shear Capacity

[END]	y (LCB : , POS : I)	z (LCB : 3, POS : J)
Applied Shear Force (V_Ed)	0.00000 kN	318.334 kN
V_Ed / V_Rdc	0.00000 / 0.00000 = 0.000	318.334 / 329.316 = 0.967
V_Ed / V_Rds	0.00000 / 0.00000 = 0.000	318.334 / 420.614 = 0.757
V_Ed / V_Rdmax	0.00000 / 0.00000 = 0.000	318.334 / 1683.00 = 0.189
Shear Ratio	0.000 < 1.000 O.K	0.967 < 1.000 O.K
Asw-H_use	Not Use	0.00226 m^2/m, 4-P12 @200

[MIDDLE]	y (LCB : , POS : I)	z (LCB : 2, POS : 1/2)
Applied Shear Force (V_Ed)	0.00000 kN	253.835 kN
V_Ed / V_Rdc	0.00000 / 0.00000 = 0.000	253.835 / 323.531 = 0.785
V_Ed / V_Rds	0.00000 / 0.00000 = 0.000	253.835 / 420.614 = 0.603
V_Ed / V_Rdmax	0.00000 / 0.00000 = 0.000	253.835 / 1683.00 = 0.151
Shear Ratio	0.000 < 1.000 O.K	0.785 < 1.000 O.K
Asw-H_use	Not Use	0.00226 m^2/m, 4-P12 @200

4. Serviceability : Stress Limit Check

	Conc.(Tens.)	Conc.(Comp.)	Conc.(Comp.)(QP)	Rebar
Load Combination	12(C)	12(C)	14(Q)	12(C)
Stress(s)	-1848.88	4193.72	4193.72	14281.07
Allowable Stress(sa)	2564.96	13750.00	10000.00	337500.00
Stress Ratio(s/sa)	0.7208	0.3050	0.4194	0.0423
Check Linear Creep			Linear Creep	

5. Serviceability : Crack Limit Check

	y (LCB : 12, POS : I)	z (LCB : 12, POS : I)
Crack Width(w)	0.00000 m	0.00000 m
Allowable Crack Width(wa)	0.00000 m	0.00000 m
Check Ratio(w/wa)	0.000 < 1.000 O.K	0.000 < 1.000 O.K

Modeling, Integrated Design & Analysis Software
<http://www.MidasUser.com>
 Gen 2022

Print Date/Time : 03/24/2023 13:22

Armatura longitudinale: 5+5 ϕ 20mm – Staffe ϕ 12mm/20cm – Incidenza armatura 80kg/mc

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 126 di 127

Verifica testa piedritti

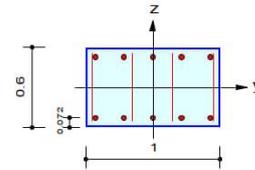
midas Gen

RC Column Checking Result

	Company	Project Title
	Author	File Name C:\...ASCL_NL_03.mgb

1. Design Condition

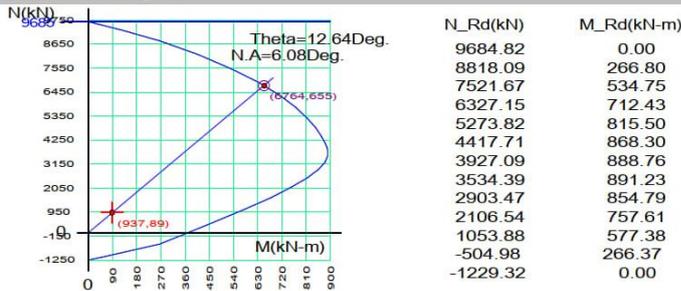
Design Code : Eurocode2:04 & NTC2018 UNIT SYSTEMkN, m
 Member Number: 34
 Material Data : fck = 25000, fyk = 450000, fyw = 450000 KPa
 Column Height : 1.31727 m
 Section Property: Sez 100x60 (No : 1)
 Rebar Pattern : 10 - 2 - P20 Ast = 0.0031416 m^2 (Rhost = 0.005)



2. Axial and Moments Capacity

Load Combination : 3 (Pos : J)
 Concentric Max. Axial Load N_Rdmax = 9684.82 kN
 Axial Load Ratio N_Ed / N_Rd = 937.347 / 6764.47 = 0.139 < 1.000 O.K
 Moment Ratio M_Ed / M_Rd = 89.0142 / 655.280 = 0.136 < 1.000 O.K
 M_Edy / M_Rdy = 87.0177 / 639.387 = 0.136 < 1.000 O.K
 M_Edz / M_Rdz = 18.7469 / 143.445 = 0.131 < 1.000 O.K

M-N Interaction Diagram



3. Shear Capacity

[END]	y (LCB : , POS : I)	z (LCB : 2, POS : I)
Applied Shear Force (V_Ed)	0.00000 kN	214.403 kN
V_Ed / V_Rdc	0.00000 / 0.00000 = 0.000	214.403 / 316.508 = 0.677
V_Ed / V_Rds	0.00000 / 0.00000 = 0.000	214.403 / 210.307 = 1.019
V_Ed / V_Rdmax	0.00000 / 0.00000 = 0.000	214.403 / 1683.00 = 0.127
Shear Ratio	0.000 < 1.000 O.K	0.677 < 1.000 O.K
Asw-H_use	Not Use	0.00113 m^2/m, 4-P12 @400
[MIDDLE]	y (LCB : , POS : I)	z (LCB : 2, POS : 1/2)
Applied Shear Force (V_Ed)	0.00000 kN	146.421 kN
V_Ed / V_Rdc	0.00000 / 0.00000 = 0.000	146.421 / 318.515 = 0.460
V_Ed / V_Rds	0.00000 / 0.00000 = 0.000	146.421 / 210.307 = 0.696
V_Ed / V_Rdmax	0.00000 / 0.00000 = 0.000	146.421 / 1683.00 = 0.087
Shear Ratio	0.000 < 1.000 O.K	0.460 < 1.000 O.K
Asw-H_use	Not Use	0.00113 m^2/m, 4-P12 @400

4. Serviceability : Stress Limit Check

	Conc.(Tens.)	Conc.(Comp.)	Conc.(Comp.)(QP)	Rebar
Load Combination	12(C)	12(C)	14(Q)	-
Stress(s)	0.00	2110.03	2110.03	0.00
Allowable Stress(sa)	2564.96	13750.00	10000.00	0.00
Stress Ratio(s/sa)	0.0000	0.1535	0.2110	*****
Check Linear Creep			Linear Creep	

5. Serviceability : Crack Limit Check

	y (LCB : 12, POS : I)	z (LCB : 12, POS : I)
Crack Width(w)	0.00000 m	0.00000 m
Allowable Crack Width(wa)	0.00000 m	0.00000 m
Check Ratio(w/wa)	0.000 < 1.000 O.K	0.000 < 1.000 O.K

Modeling, Integrated Design & Analysis Software
 http://www.MidasUser.com
 Gen 2022

Print Date/Time : 03/24/2023 13:22

Armatura longitudinale: 5+5 ϕ 20mm – Staffe ϕ 12mm/20cm – Incidenza armatura 80kg/mc

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			
IMBOCCO GALLERIA SCALERES SUD Relazione geotecnica e di calcolo	COMMESSA IBOU	LOTTO 1BEZZ	CODIFICA CL	DOCUMENTO GA01002	REV. C	FOGLIO. 127 di 127

Verifica calotta

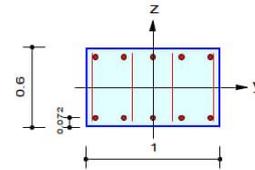
midas Gen

RC Column Checking Result

	Company	Project Title
	Author	File Name C:\...ASCL_NL_03.mgb

1. Design Condition

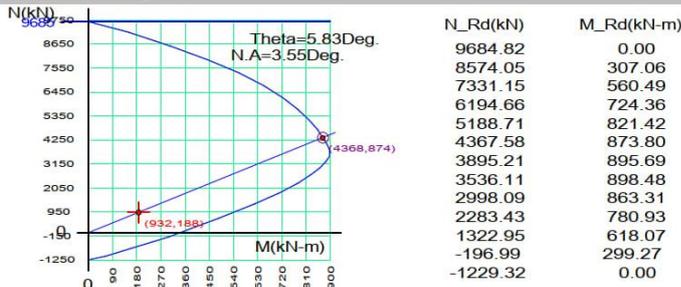
Design Code : Eurocode2:04 & NTC2018 UNIT SYSTEMkN, m
 Member Number: 11
 Material Data : fck = 25000, fyk = 450000, fyw = 450000 KPa
 Column Height : 14.4437 m
 Section Property: Sez 100x60 (No : 1)
 Rebar Pattern : 10 - 2 - P20 Ast = 0.0031416 m^2 (Rhost = 0.005)



2. Axial and Moments Capacity

Load Combination : 3 (Pos : J)
 Concentric Max. Axial Load N_Rdmax = 9684.82 kN
 Axial Load Ratio N_Ed / N_Rd = 932.223 / 4367.58 = 0.213 < 1.000 O.K
 Moment Ratio M_Ed / M_Rd = 188.191 / 873.801 = 0.215 < 1.000 O.K
 M_Edy / M_Rdy = 187.265 / 869.287 = 0.215 < 1.000 O.K
 M_Edz / M_Rdz = 18.6445 / 88.7037 = 0.210 < 1.000 O.K

M-N Interaction Diagram



3. Shear Capacity

[END]	y (LCB : , POS : I)	z (LCB : 8, POS : I)
Applied Shear Force (V_Ed)	0.00000 kN	48.5240 kN
V_Ed / V_Rdc	0.00000 / 0.00000 = 0.000	48.5240 / 285.476 = 0.170
V_Ed / V_Rds	0.00000 / 0.00000 = 0.000	48.5240 / 420.614 = 0.115
V_Ed / V_Rdmax	0.00000 / 0.00000 = 0.000	48.5240 / 1683.00 = 0.029
Shear Ratio	0.000 < 1.000 O.K	0.170 < 1.000 O.K
Asw-H_use	Not Use	0.00226 m^2/m, 4-P12 @200

[MIDDLE]	y (LCB : , POS : I)	z (LCB : 2, POS : 1/2)
Applied Shear Force (V_Ed)	0.00000 kN	90.0148 kN
V_Ed / V_Rdc	0.00000 / 0.00000 = 0.000	90.0148 / 247.664 = 0.363
V_Ed / V_Rds	0.00000 / 0.00000 = 0.000	90.0148 / 420.614 = 0.214
V_Ed / V_Rdmax	0.00000 / 0.00000 = 0.000	90.0148 / 1683.00 = 0.053
Shear Ratio	0.000 < 1.000 O.K	0.363 < 1.000 O.K
Asw-H_use	Not Use	0.00226 m^2/m, 4-P12 @200

4. Serviceability : Stress Limit Check

	Conc.(Tens.)	Conc.(Comp.)	Conc.(Comp.)(QP)	Rebar
Load Combination	12(C)	12(C)	14(Q)	12(C)
Stress(s)	0.00	1414.31	1414.31	2257.12
Allowable Stress(sa)	2564.96	13750.00	10000.00	337500.00
Stress Ratio(s/sa)	0.0000	0.1029	0.1414	0.0067
Check Linear Creep			Linear Creep	

5. Serviceability : Crack Limit Check

	y (LCB : 12, POS : I)	z (LCB : 12, POS : I)
Crack Width(w)	0.00000 m	0.00000 m
Allowable Crack Width(wa)	0.00000 m	0.00000 m
Check Ratio(w/wa)	0.000 < 1.000 O.K	0.000 < 1.000 O.K

Modeling, Integrated Design & Analysis Software
 http://www.MidasUser.com
 Gen 2022

Print Date/Time : 03/24/2023 13:22

Armatura longitudinale: 5+5 ø20mm – Staffe ø12mm/20cm – Incidenza armatura 80kg/mc