

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



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

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

**S.P.163 della Castagnola – Frana Carbonasca
Verifiche di stabilità del versante in frana
Relazione di calcolo**

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

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 1	E	C V	C L	N V 1 4 0 0	0 0 1	A

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima Emissione	A. Maffei	05/11/2014	P. Romani	06/11/2014	A. Palomba	07/11/2014	 Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Aldo Mancarella Ordine Ingegneri Prov. TO n. 6271 R
A01	Revisione cartiglio	A. Maffei	27/07/2015	P. Romani	27/07/2015	A. Mancarella	28/07/2015	

n. Elab.:

File: IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC

CUP: F81H92000000008

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC Relazione di calcolo</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 27</p>

INDICE

INDICE.....	3
1. GENERALITÀ	4
1.1. Oggetto	4
1.2. Codice di calcolo	5
2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	6
3. INQUADRAMENTO SISMICO	7
3.1. Generalità	7
3.2. Coefficiente di intensità sismica (C).....	7
3.3. Coefficiente di fondazione.....	8
3.4. Coefficiente di protezione sismica (I).....	8
3.5. Coefficiente di risposta (R)	8
4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO E STRATIGRAFICO.....	9
4.1. Parametri di resistenza al taglio.....	9
4.2. Falda	10
5. CRITERI GENERALI PER LE VERIFICHE GEOTECNICHE	11
5.1. Carichi da traffico	11
5.2. Analisi di stabilità globale – Metodo di calcolo.....	11
5.3. Analisi di stabilità globale – Criteri di verifica	11
6. VERIFICHE DI STABILITA' DEL VERSANTE	12
6.1. Back analysis nella configurazione attuale	12
6.1.1. Risultati delle analisi	12
6.1.2. Tabulati di calcolo	15
6.2. Analisi nella configurazione di progetto.....	19
6.2.1. Risultati delle analisi	19
6.2.2. Tabulati di calcolo.....	22

1. GENERALITÀ

1.1. Oggetto

Oggetto della presente relazione sono le verifiche di stabilità del versante in frana finalizzate a valutare l'incremento del fattore di sicurezza della superficie di scivolamento "globale", per effetto della realizzazione delle opere in progetto, rispetto alla configurazione attuale.

Nello specifico, le analisi vengono svolte con riferimento al profilo geologico "B-B" illustrato nella seguente figura n.1.1, la cui ubicazione sul versante in oggetto è riportata in figura n.1.2.

Per maggiori dettagli si rimanda agli specifici elaborati grafici ed alla *Relazione Geotecnica*.

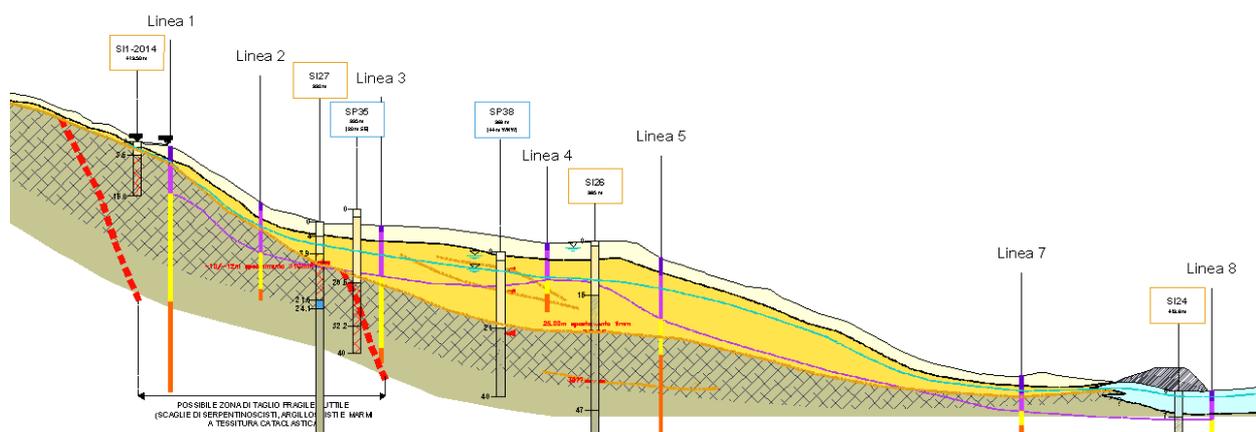


Figura n.1.1 – Profilo geologico "B-B"

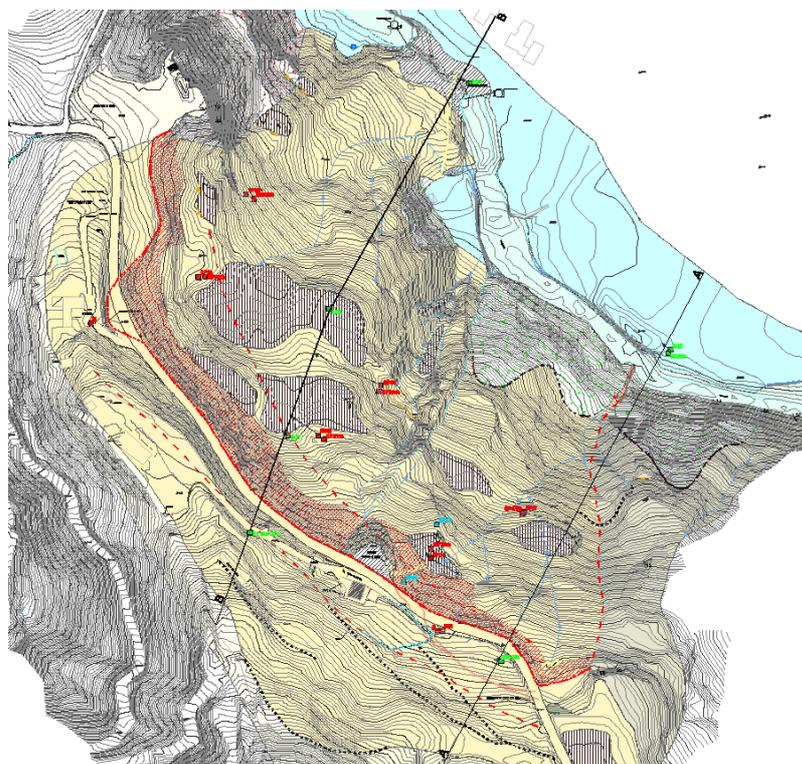


Figura n.1.2 – Traccia profili geologici "A-A" e "B-B"

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC Relazione di calcolo</p>	<p>Foglio 5 di 27</p>

Per le verifiche di stabilità del versante nella in corrispondenza del profilo geologico "A-A" tracciato in corrispondenza dei pozzi strutturali (cfr. figura n.1.2) si rimanda alla specifica relazione di calcolo.

1.2. Codice di calcolo

Le verifiche di stabilità globale sono state svolte con l'ausilio del codice di calcolo commerciale SLIDE 5.0 (Rocscience).

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC Relazione di calcolo
	Foglio 6 di 27

2. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

D.M. Infr. e Trasp.	05.11.2001 (*)	Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade
D.M. Infr. e Trasp.	22.04.2004, n. 67/S (*)	Modifiche al D.M. 05/11/2001
D.M. LL.PP.	16.01.1996	Norme tecniche relative ai «Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi».
Circ.Min.LL.PP.	04.07.1996, n.156AA	Istruzioni relative ai «Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi» di cui al D.M. 16/01/96.
Legge	05.11-1971, n. 1086	Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica.
D.M. LL.PP.	09.01.1996	Norme tecniche per l'esecuzione ed il collaudo delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.
D.M. LL.PP.	04.05.1990	Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo dei ponti stradali.
D.M. LL.PP.	11.03.1988	Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
D.M. LL.PP.	16.01.1996	Norme Tecniche per le costruzioni in Zone Sismiche.
Ordinanza P.C.M.	20.03.2003, n. 3272 (**)	Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.
D.Lgs	30.04.1992, n. 285	Codice della strada.
D.P.R.	16.12.1992, n. 495	Regolamento di attuazione del codice della strada.
D.P.R.	24.07.1996, n. 503	Regolamento recante norme per l'eliminazione delle barriere architettoniche negli edifici, spazi e servizi pubblici.

NOTE

(*) Norma non cogente in quanto trattasi di adeguamento funzionale

(**) Vedere paragrafo successivo

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC Relazione di calcolo
	Foglio 7 di 27

3. INQUADRAMENTO SISMICO

3.1. Generalità

In analogia ai criteri assunti in fase di progettazione definitiva la verifica sismica delle strutture viene svolta in accordo alla seguente normativa (cui si rimanda per approfondimento e dettagli):

- **D.M. 16/01/96** “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”
- Circolare 10/04/97 n°65/AA.GG. – Istruzioni per l'applicazione delle “Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche” di cui ad D.M. 16.01.1996
- Ordinanza della protezione civile n.2788 del 12/06/1998 “Individuazione delle zone ad elevato rischio sismico del territorio nazionale” GU 146 del 25/06/1998

Le prescrizioni di cui alla **OPCM n. 3274 del 20.03.2003** (con relativi decreti regionali) sono state considerate solo per quanto concerne la classificazione sismica del territorio nazionale. Nello specifico i Comuni interessati dall'intervento dell'intero asse stradale (*Ronco Scrivia, Fraconalto, Voltaggio*) vale quanto indicato in tabella n.3.1 di cui al seguito.

Regione	Comune	Vecchia classificazione sismica	OPCM 2003
Piemonte	Fraconalto	N.C.	3
	Voltaggio	N.C.	3
Liguria	Ronco Scrivia	N.C.	3

Tabella n.3.1 – Zonazione sismica del territorio interessato dall'intervento

La tabella n.3.1 evidenzia come i comuni lungo il tracciato siano interessati da un rischio sismico tendenzialmente medio-bassociò che trova conferma nei terremoti registrati nel basso Piemonte e in Liguria dal gennaio 1982 fino al novembre 2000 (dati del “Catalogo sismico 1982-2000” edito dalla Regione Piemonte in collaborazione con l'Università di Genova), che indicano come l'area oggetto di studio sia interessata in maniera limitata da eventi sismici e come questi siano caratterizzati perlopiù da profondità e magnitudo medio-bassa.

3.2. Coefficiente di intensità sismica (C)

La normativa di riferimento (DM 16/01/96) prevede che il coefficiente di intensità sismica (C) venga calcolato sulla base della correlazione di cui al seguito (con “S” si indica il *grado di sismicità* del comune):

$$C = \text{coefficiente di intensità sismica} = (S - 2) / 100$$

Nel caso specifico si considera:

$$S = 6$$

$$C = 0.04$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC Relazione di calcolo
	Foglio 8 di 27

3.3. Coefficiente di fondazione

Il parametro “ ϵ ” che definisce gli effetti di amplificazione locale viene definito in accordo alla seguente tabella n.3.2 in funzione delle caratteristiche stratigrafiche del terreno. Nel caso specifico si assume $\epsilon = 1$

Descrizione	ϵ
Strati superficiali alluvionali di spessore compreso tra 5 e 20m su substrato rigido	1.3
Altri casi	1.0

Tabella n.3.2 – Coefficiente di fondazione

3.4. Coefficiente di protezione sismica (I)

Nel caso delle verifiche degli elementi strutturali, la Norma impone che l'azione sismica venga moltiplicata per un fattore di importanza (I) variabile in funzione del tipo di opera come indicato in tabella n.3.3 di cui al seguito.

Opera	γ
Edifici la cui funzionalità durante il terremoto ha importanza fondamentale per la protezione civile (ospedali, municipi, etc)	1.4
Opere che presentano particolare rischio per le caratteristiche d'uso	1.2
Altri edifici	1.0

Tabella n.3.3 – Coefficiente di protezione sismica

In analogia a quanto assunto nel Progetto definitivo si considera:

$$I = 1.0$$

3.5. Coefficiente di risposta (R)

In assenza di specifica definizione del periodo fondamentale della struttura si assume in accordo con la Norma:

$$R = 1.0$$

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC Relazione di calcolo
	Foglio 9 di 27

4. INQUADRAMENTO GEOTECNICO E STRATIGRAFICO

Con riferimento ai profili geologici "A-A" e "B-B" riportati nelle figure n.1.1 e n.1.2 si osserva che il versante in oggetto è caratterizzato dalla presenza di una coltre detritica di spessore pressoché costante pari a 3-4m che insiste sul deposito di frana a tessitura caotica, il cui spessore massimo risulta dell'ordine di 15-20m nel settore centrale del versante. Al di sotto del corpo di frana è presente il substrato roccioso (AGI – argillocisti di Costagiutta cataclasati e litoidi).

Per maggiori dettagli si rimanda agli specifici elaborati grafici nonché alla "Relazione Geotecnica" ed alla "Relazione Geologico-Geomorfologica".

4.1. Parametri di resistenza al taglio

Si riportano nel seguito i parametri di resistenza al taglio "caratteristici" dei materiali in sito (per i dettagli si rimanda alla "Relazione Geotecnica"):

COLTRE DETRITICA (c)

Scaglie di argilliti, sabbia e limo

- Peso specifico = 21kN/m^3
- Angolo di attrito interno = $29\div 33^\circ$
- Coesione efficace = $5\div 20\text{kPa}$

DEPOSITI IN FRANA

Scaglie di argille, sabbia e limo

- Peso specifico = 21kN/m^3
- Angolo di attrito interno = $22\div 26^\circ$
- Coesione efficace = $0\div 5\text{kPa}$

DEPOSITI ALLUVIONALI RECENTI (f13)

Ghiaia eterometrica

- Peso specifico = 20kN/m^3
- Angolo di attrito interno = $28(\div 32^\circ)$
- Coesione efficace = 0kPa

SUBSTRATO ROCCIOSO – ARGILLOSCISTI (AGI)

Cappellaccio di alterazione

- Peso specifico = $23\div 26\text{kN/m}^3$
- Angolo di attrito interno = $(21\div)22^\circ$
- Coesione efficace = $20\div 100\text{kPa}$

Substrato integro

- Peso specifico = $26\div 27\text{kN/m}^3$
- Angolo di attrito interno = $24\div 26^\circ$
- Coesione efficace = $150\text{-}350\text{kPa}$

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC Relazione di calcolo</p> <p>Foglio 10 di 27</p>

4.2. Falda

Ai fini delle verifiche di stabilità di seguito documentate si fa riferimento all'andamento della falda così come individuato sui profili geologici "A-A" e "B-B". In particolare, si tiene conto dell'effetto di abbattimento della piezometrica dovuto alla presenza di sistemi di drenaggio profondo quali ad esempio dreni sub-orizzontali.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC Relazione di calcolo
	Foglio 11 di 27

5. CRITERI GENERALI PER LE VERIFICHE GEOTECNICHE

5.1. Carichi da traffico

Le analisi di stabilità del versante nella configurazione di progetto vengono svolte considerando il carico da traffico sulla piattaforma mediante una pressione uniformemente distribuita pari a 10kPa.

5.2. Analisi di stabilità globale – Metodo di calcolo

Si fa riferimento alla nota teoria dell'equilibrio limite nell'ambito della quale i terreni sono stati caratterizzati mediante un legame costitutivo rigido-plastico con criterio di rottura di Mohr-Coulomb (analisi in termini di sforzi efficaci).

Tale approccio consente di svincolarsi da tutte le complesse problematiche legate all'analisi dello stato deformativo dell'ammasso e di definire un semplice fattore di sicurezza, convenzionalmente valutato come rapporto tra le forze di taglio potenzialmente mobilitabili lungo la superficie di rottura analizzata e le forze di taglio effettivamente mobilitate sotto l'azione delle forze agenti sull'ammasso (pesi propri, carichi esterni, ecc.).

La letteratura tecnica documenta numerosi metodi per il calcolo del fattore di sicurezza; tra di essi si è optato per quello proposto da Bishop (1955) “*semplificato*” per superfici di rottura di forma generica.

Nel caso specifico in studio, le analisi di stabilità sono finalizzate a valutare l'incremento del coefficiente di sicurezza della superficie di scivolamento “globale” in seguito alla realizzazione delle opere di consolidamento in progetto.

5.3. Analisi di stabilità globale – Criteri di verifica

Le analisi di stabilità globale vengono svolte con riferimento allo schema di seguito descritto.

- Back analysis della superficie di scivolamento “globale” nella configurazione attuale considerando diverse ipotesi circa il punto di “uscita” verso monte della stessa all'interno della “possibile zona di taglio fragile-duttile” individuata sui profili geologici e definizione dell'angolo d'attrito “critico” cui corrisponde un valore del coefficiente di sicurezza (FS) pari a 1.05-1.10.
- Analisi delle superfici di scivolamento di cui al punto precedente nella configurazione di progetto del versante e valutazione dell'incremento del coefficiente di sicurezza globale dell'ammasso in frana.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC Relazione di calcolo
	Foglio 12 di 27

6. VERIFICHE DI STABILITA' DEL VERSANTE

6.1. Back analysis nella configurazione attuale

6.1.1. Risultati delle analisi

Le analisi di stabilità del versante nella configurazione attuale sono state svolte al fine di definire il valore "critico" dell'angolo d'attrito cui corrisponde un coefficiente di sicurezza (FS) della superficie di scivolamento globale pari a 1.05-1.10.

Come già anticipato le analisi sono state svolte considerando 4 diversi punti di "uscita" verso monte della superficie di scivolamento all'interno della "possibile zona di taglio fragile-duttile" individuata sui profili geologici, come di seguito descritto:

- IPOTESI 1: uscita della superficie di scivolamento in corrispondenza della viabilità attuale
- IPOTESI 2: uscita della superficie di scivolamento a monte della viabilità attuale
- IPOTESI 3: uscita della superficie di scivolamento sul pianoro sottostante la viabilità attuale
- IPOTESI 4: uscita della superficie di scivolamento a valle del pianoro sottostante la viabilità attuale

I risultati ottenuti sono illustrati nelle seguenti figure n.6.1÷6.4. Per maggiori dettagli si rimanda ai tabulati di calcolo di cui al paragrafo seguente. Si verifica che, per tutte le geometrie ipotizzate della superficie di scivolamento, il valore "critico" dell'angolo d'attrito cui corrisponde un coefficiente di sicurezza "globale" del versante pari a 1.05-1.10 circa è pari a 18°.

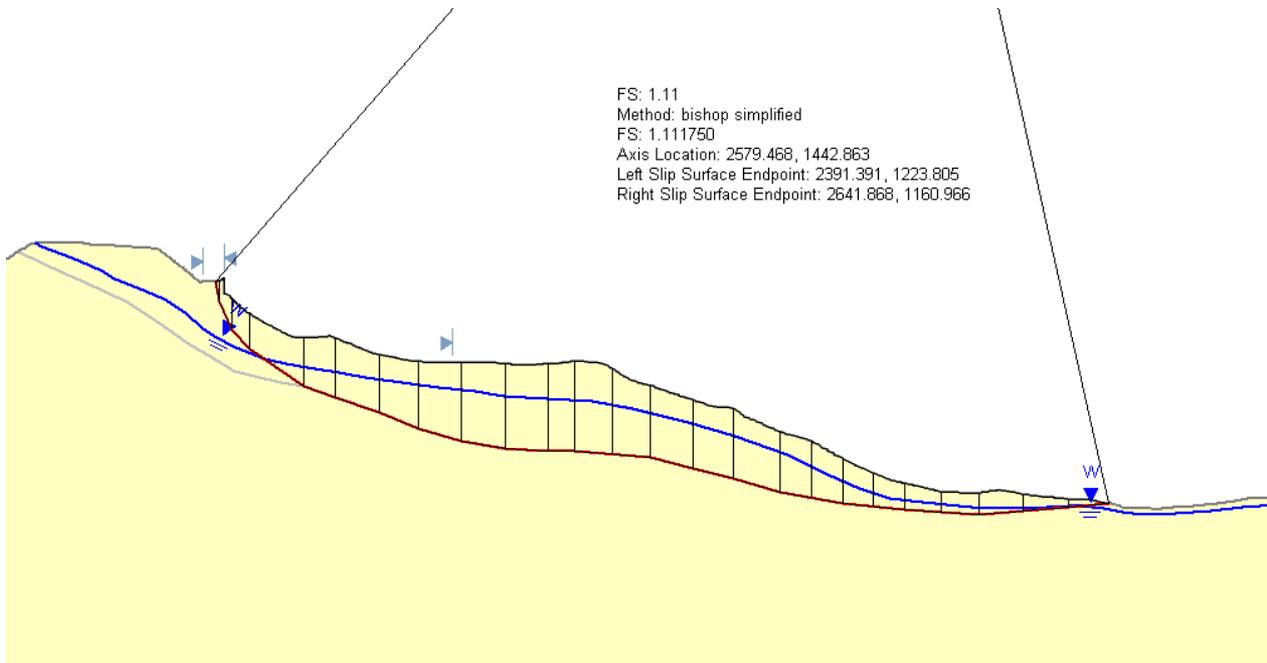


Figura n.6.1 – Back analysis versante configurazione attuale – Ipotesi 1

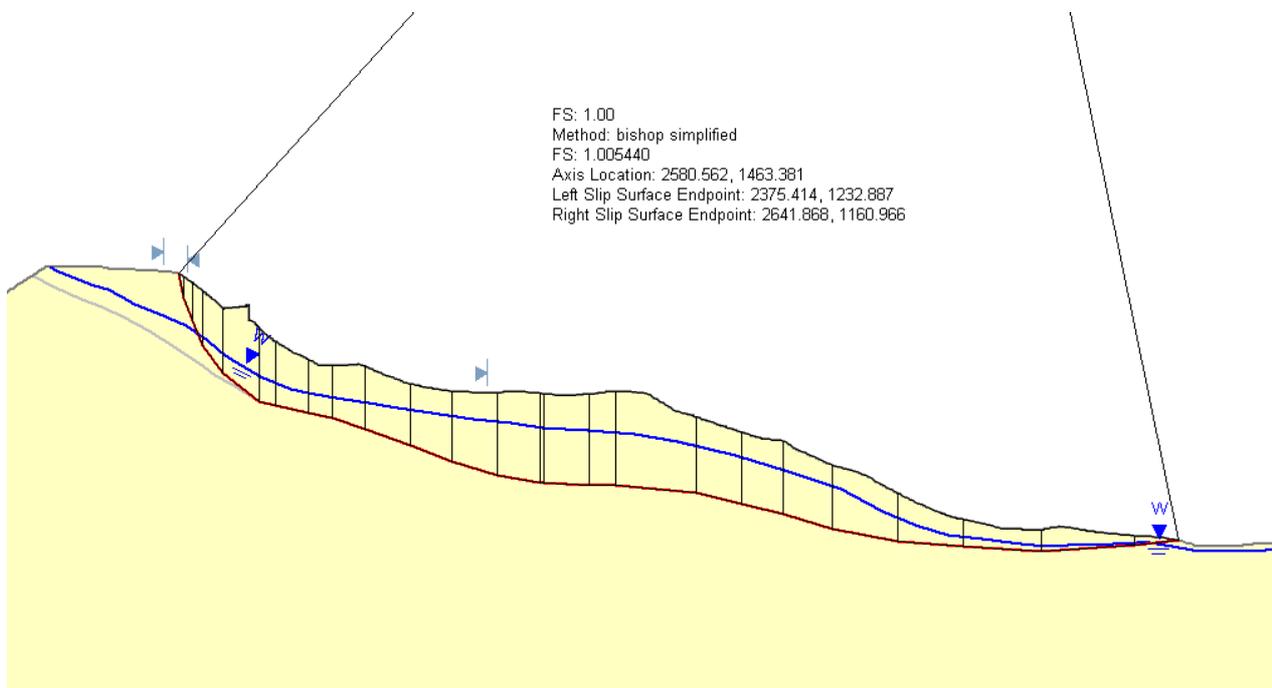


Figura n.6.2 – Back analysis versante configurazione attuale – Ipotesi 2

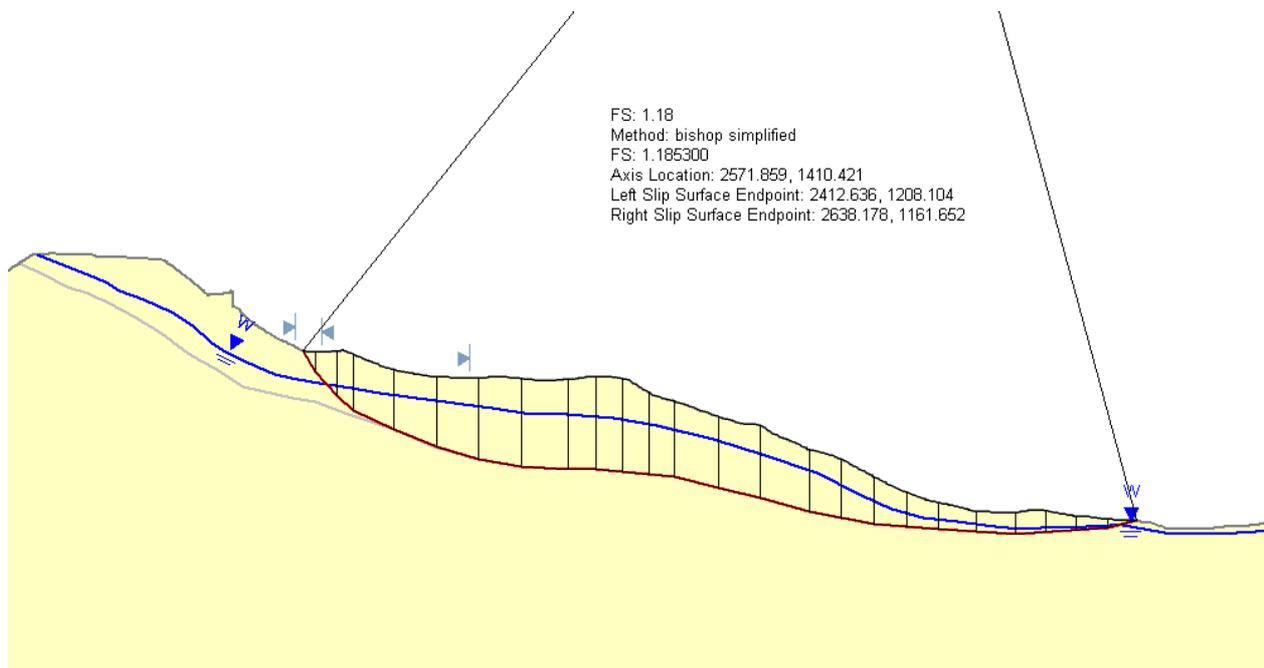


Figura n.6.3 – Back analysis versante configurazione attuale – Ipotesi 3

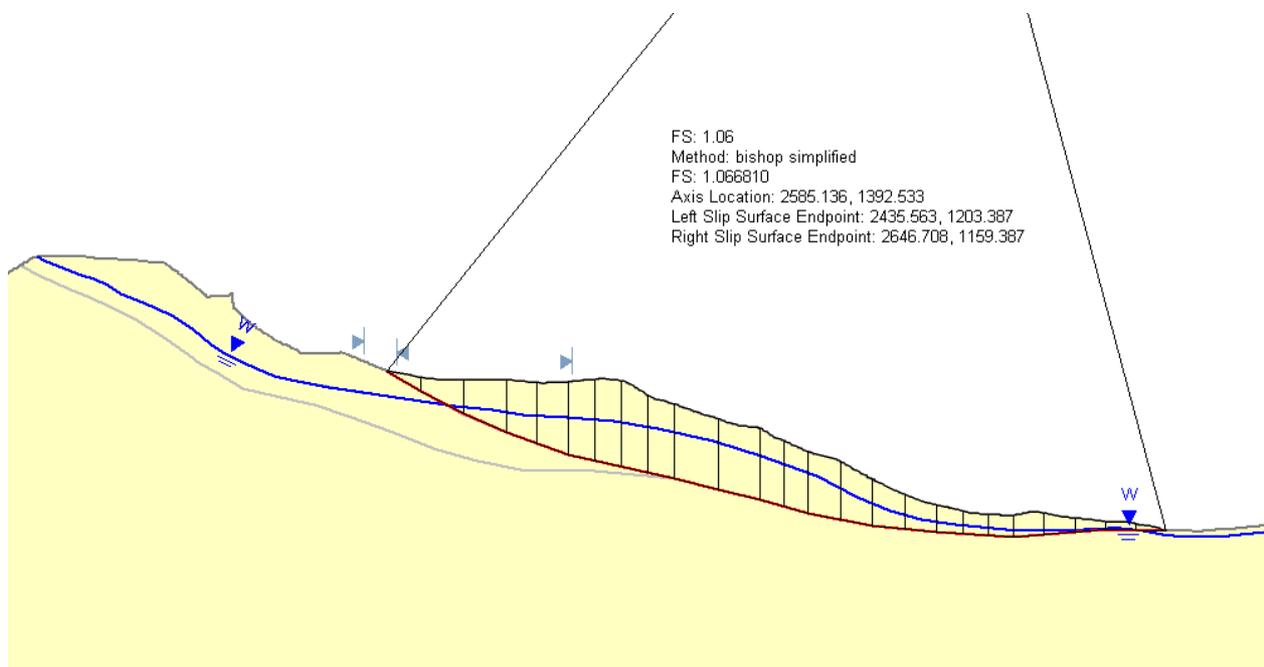


Figura n.6.4 – Back analysis versante configurazione attuale – Ipotesi 4

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC Relazione di calcolo</p>	<p>Foglio 15 di 27</p>

6.1.2. Tabulati di calcolo

Seguono i tabulati di calcolo relativi alle analisi di cui al paragrafo precedente.

IPOTESI 1

Slide Analysis Information

Document Name

File Name: attuale_2.sli

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
 Failure Direction: Left to Right
 Units of Measurement: SI Units
 Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
 Groundwater Method: Water Surfaces
 Data Output: Standard
 Calculate Excess Pore Pressure: Off
 Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
 Random Numbers: Pseudo-random Seed
 Random Number Seed: 10116
 Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified

Number of slices: 25
 Tolerance: 0.005
 Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Block Search
 Number of Surfaces: 1000
 Pseudo-Random Surfaces: Enabled
 Convex Surfaces Only: Disabled
 Left Projection Angle (Start Angle): 135
 Left Projection Angle (End Angle): 135
 Right Projection Angle (Start Angle): 45
 Right Projection Angle (End Angle): 45
 Minimum Elevation: Not Defined
 Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Material: Material 1

Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21 kN/m³
 Cohesion: 0 kPa
 Friction Angle: 18 degrees
 Water Surface: Water Table
 Custom Hu value: 1

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.005440
 Axis Location: 2580.562, 1463.381
 Left Slip Surface Endpoint: 2375.414, 1232.887
 Right Slip Surface Endpoint: 2641.868, 1160.966
 Resisting Moment=6.23833e+006 kN-m
 Driving Moment=6.20459e+006 kN-m

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC Relazione di calcolo</p> <p>Foglio 16 di 27</p>

IPOTESI 2

Slide Analysis Information

Document Name

File Name: attuale_1.sli

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
 Failure Direction: Left to Right
 Units of Measurement: SI Units
 Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
 Groundwater Method: Water Surfaces
 Data Output: Standard
 Calculate Excess Pore Pressure: Off
 Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
 Random Numbers: Pseudo-random Seed
 Random Number Seed: 10116
 Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
 Bishop simplified

Number of slices: 25
 Tolerance: 0.005
 Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Block Search
 Number of Surfaces: 1000
 Pseudo-Random Surfaces: Enabled
 Convex Surfaces Only: Disabled
 Left Projection Angle (Start Angle): 135
 Left Projection Angle (End Angle): 135
 Right Projection Angle (Start Angle): 45
 Right Projection Angle (End Angle): 45
 Minimum Elevation: Not Defined
 Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Material: Material 1
 Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21 kN/m³
 Cohesion: 0 kPa
 Friction Angle: 18 degrees
 Water Surface: Water Table
 Custom Hu value: 1

Global Minimums

Method: bishop simplified
 FS: 1.111750
 Axis Location: 2579.468, 1442.863
 Left Slip Surface Endpoint: 2391.391, 1223.805
 Right Slip Surface Endpoint: 2641.868, 1160.966
 Resisting Moment=5.20347e+006 kN-m
 Driving Moment=4.68042e+006 kN-m

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC Relazione di calcolo</p> <p>Foglio 17 di 27</p>

IPOTESI 3

Slide Analysis Information

Document Name

File Name: attuale_3.sli

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
 Failure Direction: Left to Right
 Units of Measurement: SI Units
 Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
 Groundwater Method: Water Surfaces
 Data Output: Standard
 Calculate Excess Pore Pressure: Off
 Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
 Random Numbers: Pseudo-random Seed
 Random Number Seed: 10116
 Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
 Bishop simplified

Number of slices: 25
 Tolerance: 0.005
 Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Block Search
 Number of Surfaces: 1000
 Pseudo-Random Surfaces: Enabled
 Convex Surfaces Only: Disabled
 Left Projection Angle (Start Angle): 135
 Left Projection Angle (End Angle): 135
 Right Projection Angle (Start Angle): 45
 Right Projection Angle (End Angle): 45
 Minimum Elevation: Not Defined
 Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Material: Material 1
 Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21 kN/m³
 Cohesion: 0 kPa
 Friction Angle: 18 degrees
 Water Surface: Water Table
 Custom Hu value: 1

Global Minimums

Method: bishop simplified
 FS: 1.185300
 Axis Location: 2571.859, 1410.421
 Left Slip Surface Endpoint: 2412.636, 1208.104
 Right Slip Surface Endpoint: 2638.178, 1161.652
 Resisting Moment=4.15005e+006 kN-m
 Driving Moment=3.50128e+006 kN-m

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC Relazione di calcolo</p> <p>Foglio 18 di 27</p>

IPOTESI 4

Slide Analysis Information

Document Name

File Name: attuale_4.sli

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
 Failure Direction: Left to Right
 Units of Measurement: SI Units
 Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
 Groundwater Method: Water Surfaces
 Data Output: Standard
 Calculate Excess Pore Pressure: Off
 Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
 Random Numbers: Pseudo-random Seed
 Random Number Seed: 10116
 Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
 Bishop simplified

Number of slices: 25
 Tolerance: 0.005
 Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Block Search
 Number of Surfaces: 5000
 Pseudo-Random Surfaces: Enabled
 Convex Surfaces Only: Disabled
 Left Projection Angle (Start Angle): 135
 Left Projection Angle (End Angle): 135
 Right Projection Angle (Start Angle): 45
 Right Projection Angle (End Angle): 45
 Minimum Elevation: Not Defined
 Minimum Depth: Not Defined

Material Properties

Material: Material 1
 Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21 kN/m³
 Cohesion: 0 kPa
 Friction Angle: 18 degrees
 Water Surface: Water Table
 Custom Hu value: 1

Global Minimums

Method: bishop simplified
 FS: 1.066810
 Axis Location: 2585.136, 1392.533
 Left Slip Surface Endpoint: 2435.563, 1203.387
 Right Slip Surface Endpoint: 2646.708, 1159.387
 Resisting Moment=2.98862e+006 kN-m
 Driving Moment=2.80146e+006 kN-m

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC Relazione di calcolo</p>	<p>Foglio 19 di 27</p>

6.2. Analisi nella configurazione di progetto

6.2.1. Risultati delle analisi

Le analisi di stabilità del versante nella configurazione di progetto sono state svolte inserendo il muro in terra rinforzata MR02 a monte (si considera cautelativamente la sezione di altezza massima) ed i pozzi drenanti a valle; l'effetto stabilizzante di tali opere è dato dall'abbattimento del regime delle pressioni neutre all'interno del corpo di frana dovuto alla presenza dei dreni sub-orizzontali posti a monte dei pozzi stessi.

I risultati delle analisi sono illustrati nelle seguenti figure n.6.5÷6.8. Per maggiori dettagli si rimanda ai tabulati di calcolo di cui al paragrafo seguente.

Si verifica che, per le geometrie ipotizzate della superficie di scivolamento, nella configurazione di progetto il coefficiente di sicurezza "globale" del versante risulta pari a circa 1.1÷1.3, con un incremento rispetto alla configurazione attuale dell'ordine del 10÷15%.

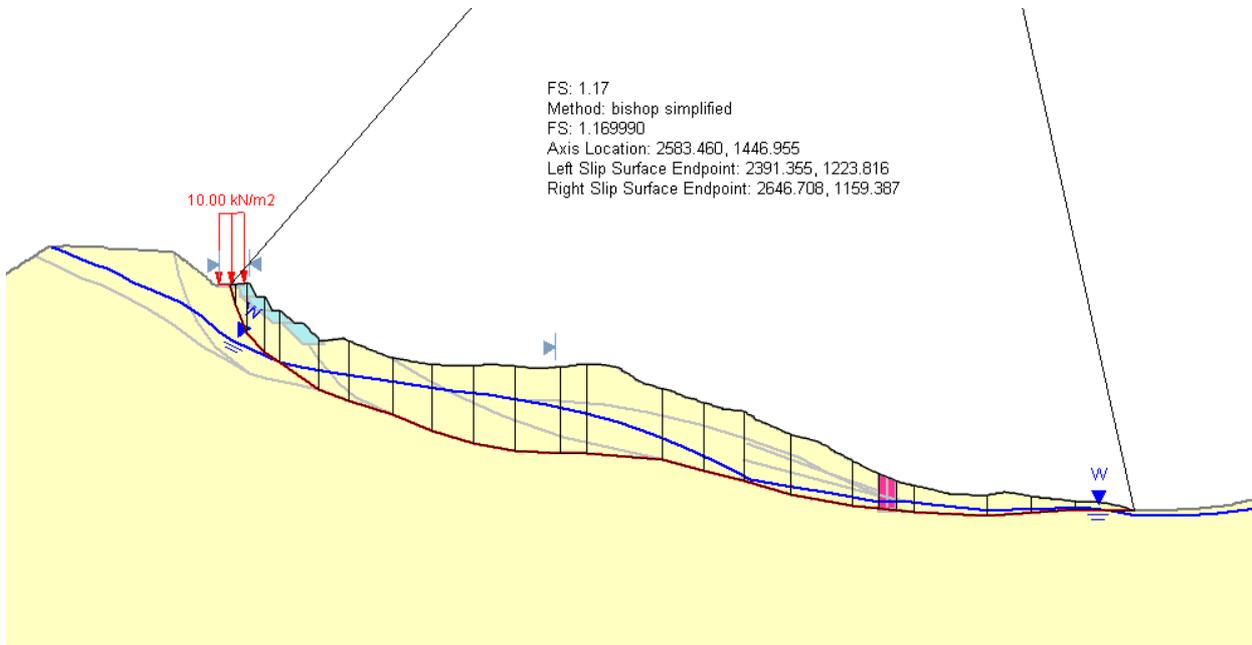


Figura n.6.5 – Analisi di stabilità del versante nella configurazione di progetto – Ipotesi 1

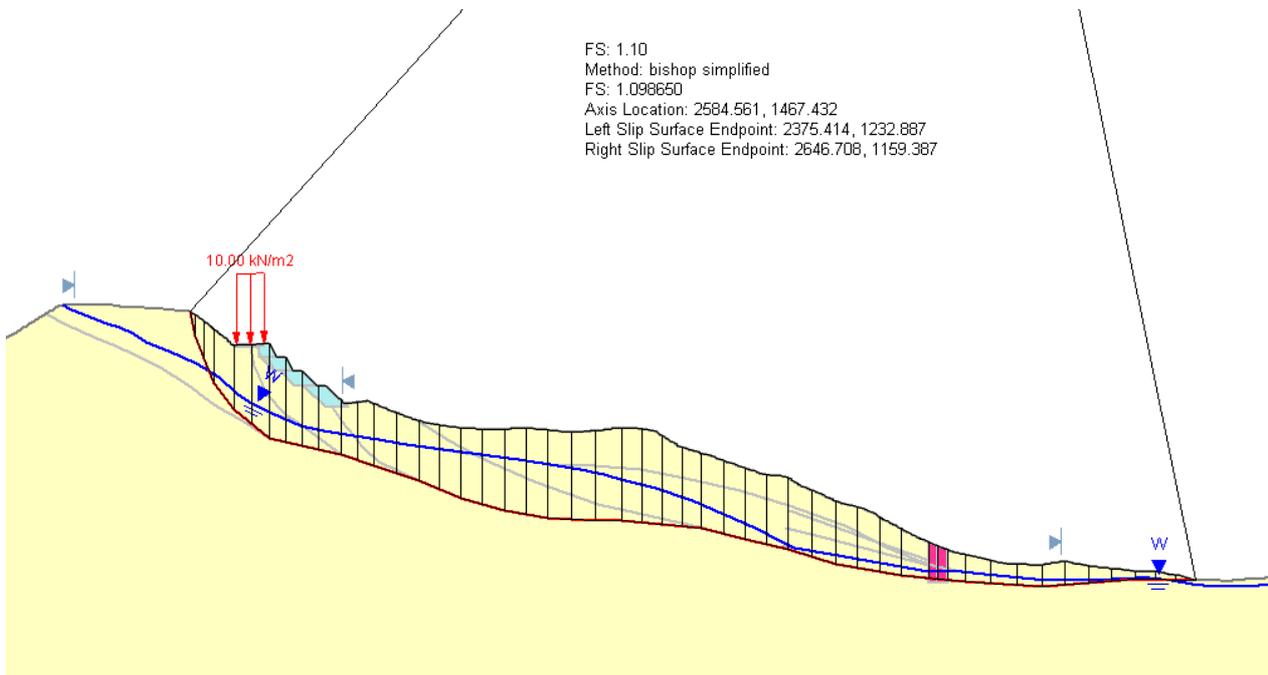


Figura n.6.6 – Analisi di stabilità del versante nella configurazione di progetto – Ipotesi 2

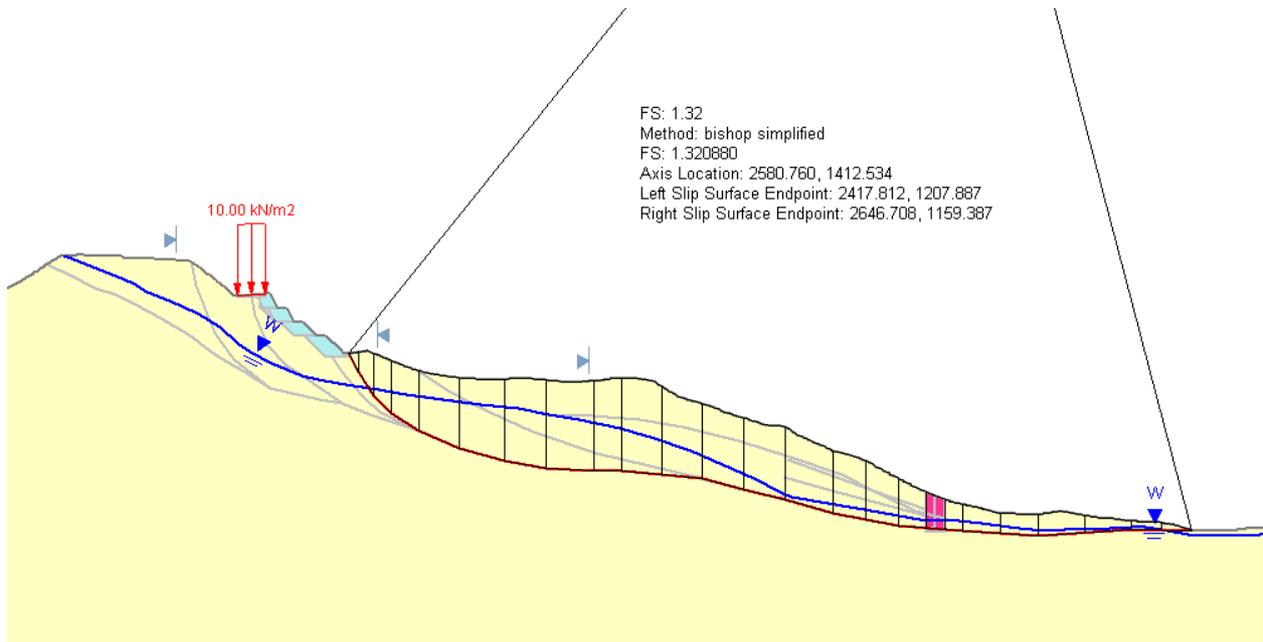


Figura n.6.7 – Analisi di stabilità del versante nella configurazione di progetto – Ipotesi 3

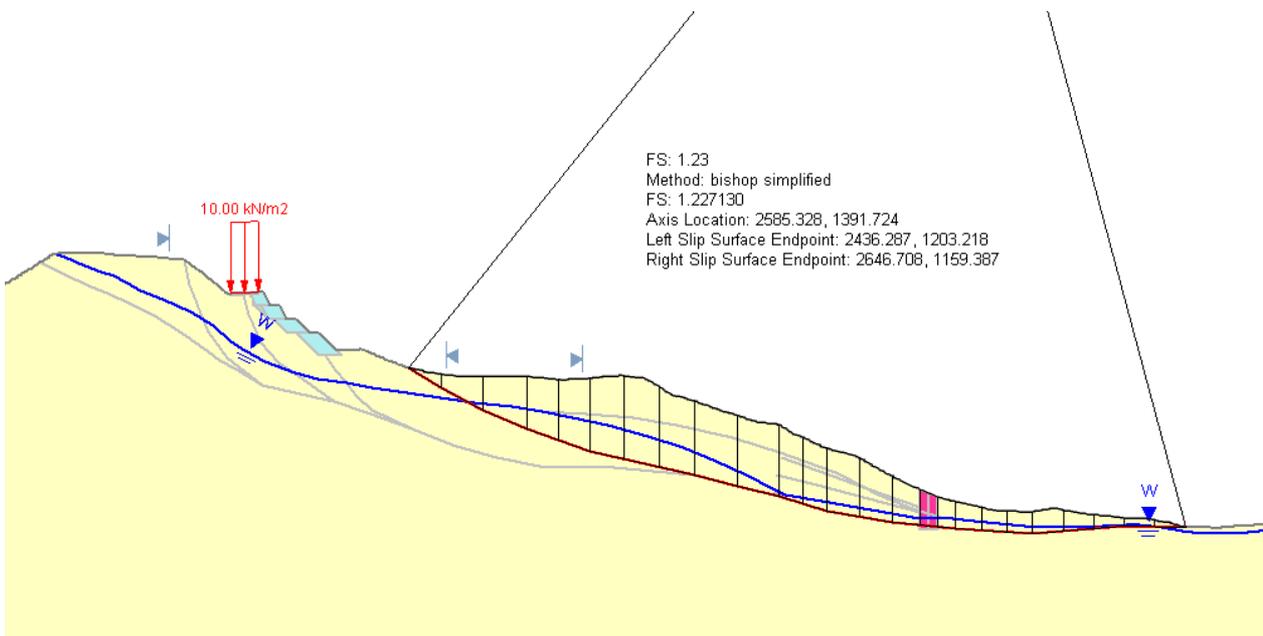


Figura n.6.8 – Analisi di stabilità del versante nella configurazione di progetto – Ipotesi 4

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC Relazione di calcolo</p> <p style="text-align: right;">Foglio 22 di 27</p>

6.2.2. Tabulati di calcolo

IPOTESI 1

Slide Analysis Information

Document Name

File Name: progetto_1.sli

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
 Failure Direction: Left to Right
 Units of Measurement: SI Units
 Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
 Groundwater Method: Water Surfaces
 Data Output: Standard
 Calculate Excess Pore Pressure: Off
 Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
 Random Numbers: Pseudo-random Seed
 Random Number Seed: 10116
 Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
 Bishop simplified

Number of slices: 25
 Tolerance: 0.005
 Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Block Search
 Number of Surfaces: 5000
 Pseudo-Random Surfaces: Enabled
 Convex Surfaces Only: Disabled
 Left Projection Angle (Start Angle): 135
 Left Projection Angle (End Angle): 135
 Right Projection Angle (Start Angle): 45
 Right Projection Angle (End Angle): 45
 Minimum Elevation: Not Defined
 Minimum Depth: Not Defined

Loading

1 Distributed Load present:
 Distributed Load Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 10 kN/m²

Material Properties

Material: frana

Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 21 kN/m³
 Cohesion: 0 kPa
 Friction Angle: 18 degrees
 Water Surface: Water Table
 Custom Hu value: 1

Material: rilevato

Strength Type: Mohr-Coulomb
 Unit Weight: 18 kN/m³
 Cohesion: 0 kPa
 Friction Angle: 32 degrees

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC Relazione di calcolo</p> <p style="text-align: right;">Foglio 23 di 27</p>

Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: muro tv
Strength Type: Infinite strength
Unit Weight: 20 kN/m³

Material: pozzi
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 18 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Global Minimums

Method: bishop simplified
FS: 1.169990
Axis Location: 2583.460, 1446.955
Left Slip Surface Endpoint: 2391.355, 1223.816
Right Slip Surface Endpoint: 2646.708, 1159.387
Resisting Moment=6.02971e+006 kN-m
Driving Moment=5.15364e+006 kN-m

IPOTESI 2

Slide Analysis Information

Document Name

File Name: progetto_2.sli

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Left to Right
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified

Number of slices: 50
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Block Search
Number of Surfaces: 5000
Pseudo-Random Surfaces: Enabled
Convex Surfaces Only: Disabled
Left Projection Angle (Start Angle): 135
Left Projection Angle (End Angle): 135
Right Projection Angle (Start Angle): 45
Right Projection Angle (End Angle): 45

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC Relazione di calcolo</p> <p style="text-align: right;">Foglio 24 di 27</p>

Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Loading

1 Distributed Load present:
Distributed Load Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 10 kN/m²

Material Properties

Material: frana

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 18 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: rilevato

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 32 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: muro tv

Strength Type: Infinite strength
Unit Weight: 20 kN/m³

Material: pozzi

Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 18 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.098650
Axis Location: 2584.561, 1467.432
Left Slip Surface Endpoint: 2375.414, 1232.887
Right Slip Surface Endpoint: 2646.708, 1159.387
Resisting Moment=7.12434e+006 kN-m
Driving Moment=6.48462e+006 kN-m

IPOTESI 3

Slide Analysis Information

Document Name

File Name: progetto_3.sli

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Left to Right
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC Relazione di calcolo</p> <p style="text-align: right;">Foglio 25 di 27</p>

Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Block Search
Number of Surfaces: 5000
Pseudo-Random Surfaces: Enabled
Convex Surfaces Only: Disabled
Left Projection Angle (Start Angle): 135
Left Projection Angle (End Angle): 135
Right Projection Angle (Start Angle): 45
Right Projection Angle (End Angle): 45
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Loading

1 Distributed Load present:
Distributed Load Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 10 kN/m²

Material Properties

Material: frana
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 18 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: rilevato
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 32 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: muro tv
Strength Type: Infinite strength
Unit Weight: 20 kN/m³

Material: pozzi
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 18 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Global Minimums

Method: bishop simplified
FS: 1.320880
Axis Location: 2580.760, 1412.534
Left Slip Surface Endpoint: 2417.812, 1207.887

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-01-E-CV-CL-NV14-00-001-A01.DOC Relazione di calcolo</p> <p style="text-align: right;">Foglio 26 di 27</p>

Right Slip Surface Endpoint: 2646.708, 1159.387
Resisting Moment=4.62489e+006 kN-m
Driving Moment=3.50137e+006 kN-m

IPOTESI 4

Slide Analysis Information

Document Name

File Name: progetto_4.sli

Project Settings

Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
Failure Direction: Left to Right
Units of Measurement: SI Units
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
Groundwater Method: Water Surfaces
Data Output: Standard
Calculate Excess Pore Pressure: Off
Allow Ru with Water Surfaces or Grids: Off
Random Numbers: Pseudo-random Seed
Random Number Seed: 10116
Random Number Generation Method: Park and Miller v.3

Analysis Methods

Analysis Methods used:
Bishop simplified

Number of slices: 25
Tolerance: 0.005
Maximum number of iterations: 50

Surface Options

Surface Type: Non-Circular Block Search
Number of Surfaces: 5000
Pseudo-Random Surfaces: Enabled
Convex Surfaces Only: Disabled
Left Projection Angle (Start Angle): 135
Left Projection Angle (End Angle): 135
Right Projection Angle (Start Angle): 45
Right Projection Angle (End Angle): 45
Minimum Elevation: Not Defined
Minimum Depth: Not Defined

Loading

1 Distributed Load present:
Distributed Load Constant Distribution, Orientation: Vertical, Magnitude: 10 kN/m²

Material Properties

Material: frana
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 18 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: rilevato
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 18 kN/m³



Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 32 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Material: muro tv
Strength Type: Infinite strength
Unit Weight: 20 kN/m³

Material: pozzi
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 21 kN/m³
Cohesion: 0 kPa
Friction Angle: 18 degrees
Water Surface: Water Table
Custom Hu value: 1

Global Minimums

Method: bishop simplified
FS: 1.227130
Axis Location: 2585.328, 1391.724
Left Slip Surface Endpoint: 2436.287, 1203.218
Right Slip Surface Endpoint: 2646.708, 1159.387
Resisting Moment=3.40912e+006 kN-m
Driving Moment=2.77814e+006 kN-m