



AREA SERVIZI TERRITORIALI METROPOLITANI

STRADA: SP36 "VAL DI ZENA"		Settore Strade e Sicurezza	
LAVORO: LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA SP36 VAL DI ZENA DAL KM 11+820 AL KM 12+050			
ELABORATO: RELAZIONE GEOTECNICA - VERIFICHE DI STABILITÀ		PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO-ECONOMICA	
PROGETTAZIONE GENERALE E SPECIALISTICA:  <small>Sede operativa: via Bruno Buozzi 90, 59100 Prato Sede legale: via dei Della Robbia 23, 50132 Firenze www.proteoing.it proteo@proteoing.it proteo@pec.proteoing.it CF/P.IVA 07069190481</small> Ing. CARLO BAIETTI		GEOLOGIA: Dott. Geol. CLAUDIO CINTI GEOTEA S.r.L. ARCHEOLOGIA: Dott.ssa ROSSANA GABRIELLI Dott. FRANCESCO DALL'ARMI Leonardo S.r.l.	
ORDINE INGEGNERI PROV. BOLOGNA INGEGNERE CARLO BAIETTI LAUREA SPECIALISTICA Sezione: A N° 4754 / A <small>Settore: civile, ambientale, industriale, dell'informazione</small>		COLLABORATORE: Ing. GIANPIERO BRUNO STICCHI 	
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: ING. LUCIA MOLICA-FRANCO			
B		SCALA:	TAV./ELAB Nr.
A	MAGGIO 2025	EMISSIONE	G
REV.	DATA	MODIFICA	

QUESTO DISEGNO E LA RELATIVA INVENZIONE SONO DI PROPRIETA' DELL'AMMINISTRAZIONE
NON NE E' CONSENTITO L'UTILIZZO SE NON SU ESPLICITA AUTORIZZAZIONE
OGNI DIRITTO A TALE RIGUARDO E' ESPRESSAMENTE RISERVATO ED ESCLUSIVO

REGIONE EMILIA ROMAGNA
Città Metropolitana di Bologna
Comune di Pianoro

Lavori di ripristino definitivo della sede stradale e delle scarpate di monte e di valle della S.P.36 Val di Zena dal km 11+820 al km 12+050

Relazione Geotecnica - Verifiche di stabilità del versante

Aggiornamenti	4				
	3				
	2				
	1				
	0	maggio 2025	Claudio Cinti	Stefano Maggi	Emissione
	N	Data	Redatto	Approvazione	Descrizione

Committente: PROTEO INGEGNERIA SRL	 GEOTE s.r.l. Geologia Territorio Ambiente	<small>CERTIFIED QUALITY MANAGEMENT SYSTEM</small> COY CERTIQUALITY <small>UNI EN ISO 9001:2015</small>
--	---	---



MOD PROD14 REV00

Codice Cliente:

Codice interno: 25.2076_VerStab

Geotea s.r.l. - via della Tecnica 57/A4 - 40068 San Lazzaro di Savena (BO) Tel 051 6255377- Fax 051 4998378
e-mail: info@geoteasrl.it

<p>PROTEO INGEGNERIA SRL</p>	<p>Lavori di ripristino definitivo della sede stradale e delle scarpate di monte e di valle della S.P.36 Val di Zena dal km 11+820 al km 12+050</p> <p>Relazione Geotecnica Verifiche di stabilità del versante</p>	
------------------------------	---	---

SOMMARIO

1.	IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3.	PREMESSE	5
4.	VERIFICHE DI STABILITÀ DEL VERSANTE	6
4.1.	Metodi di Calcolo	6
4.2.	Coefficienti di combinazione e coefficienti di sicurezza adottati nelle verifiche	8
4.3.	Condizioni di carico	8
4.4.	Parametri sismici di riferimento	8
4.5.	Verifiche di stabilità	9
4.5.1.	SEZIONE 15 - STATO DI FATTO	10
4.5.2.	SEZIONE 15 - STATO DI PROGETTO	12
5.	CONCLUSIONI	14

ALLEGATI

- Allegato 1 - Verifiche di Stabilità del Versante – Stato di fatto
- Allegato 2 - Verifiche di Stabilità del Versante – Stato di Progetto

PROTEO INGEGNERIA SRL	Lavori di ripristino definitivo della sede stradale e delle scarpate di monte e di valle della S.P.36 Val di Zena dal km 11+820 al km 12+050 Relazione Geotecnica Verifiche di stabilità del versante	 GEOTE s.r.l. Geologia Territorio Ambiente
-----------------------	---	---

1. IDENTIFICAZIONE DEL DOCUMENTO

Note identificative.

Il presente lavoro viene identificato per mezzo del codice numero di commessa interno 25.2076 rev. n° 00, del nostro archivio interno.

Redazione del documento.

Dott. Geol. Claudio Cinti

Composizione del documento.

Il presente documento è formato da n°14 fogli di testo e n°22 fogli di allegati.

<p>PROTEO INGEGNERIA SRL</p>	<p>Lavori di ripristino definitivo della sede stradale e delle scarpate di monte e di valle della S.P.36 Val di Zena dal km 11+820 al km 12+050</p> <p>Relazione Geotecnica Verifiche di stabilità del versante</p>	 <p>GEOTEIA s.r.l. Geologia Territorio Ambiente</p>
------------------------------	---	---

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La stesura della seguente relazione è stata eseguita in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento elencate di seguito:

Circolare Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 21.01.2019

Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni " di cui al D.M.17 gennaio 2018.

Decreto Ministeriale 17.01.2018

Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni

Circolare Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici 02.02.2009

Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni " di cui al D.M.14 gennaio 2008.

Decreto Ministeriale 14.01.2008

Testo Unitario -Norme Tecniche per le Costruzioni

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.

Allegato al voto n.36 del 27.07.2007

Eurocodice 7.2 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II :Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002).UNI

Eurocodice 7.3 (2002)

Progettazione geotecnica – Parte II :Progettazione assistita con prove in sito(2002).UNI

Eurocodice 8 (1998)

Indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture

Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003)

Eurocodice 7.1 (1997)

Progettazione geotecnica – Parte I :Regole Generali .-UNI

Circ. Min. LL.PP. n° 30483 24 Settembre 1988

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

<p>PROTEO INGEGNERIA SRL</p>	<p>Lavori di ripristino definitivo della sede stradale e delle scarpate di monte e di valle della S.P.36 Val di Zena dal km 11+820 al km 12+050</p> <p>Relazione Geotecnica Verifiche di stabilità del versante</p>	 <p>GEOTEAM s.r.l. Geologia Territorio Ambiente</p>
------------------------------	---	---

3. PREMESSE

Nell'ambito del Progetto di realizzazione di una nuova variante stradale al km 11+900, della Strada Provinciale SP36 Val di Zena, nel territorio del comune di Pianoro (BO), sono state eseguite le seguenti verifiche di stabilità globali del versante, sia nelle attuali condizioni (Stato di fatto), che nelle condizioni di progetto.

La presente relazione si è basata sul modello geologico di riferimento, desunto dalla campagna di indagini geotecniche svolte appositamente sull'area, e riportato nella Relazione geologica (Elaborato F di Progetto).

Le computazioni sono state eseguite con l'ausilio di software commerciali tra i più diffusi nel settore, basati su metodi pseudo statici all'equilibrio limite, le cui basi teoriche fanno riferimento alla letteratura specializzata.

4. VERIFICHE DI STABILITÀ DEL VERSANTE

4.1. Metodi di Calcolo

Le verifiche di stabilità globali sono state eseguite secondo la teoria dell'equilibrio limite, utilizzando diversi metodi largamente diffusi in ambito geotecnico, che consentono di verificare potenziali superfici di scivolamento di forma generica.

Le computazioni si sono svolte con l'ausilio del software STAP, prodotto dalla Aztec Informatica.

Utilizzando la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare, il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione, e tramite processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate.

Metodo di Bell

Bell suppone noto l'andamento della pressione normale lungo la superficie di rottura ed assume per la σ_i la seguente espressione

$$\sigma_i = C_1(1-K_y)W_i \cos \alpha_i / l_i + C_2 f(x,y)$$

La funzione $f(x,y)$ è espressa in funzione delle coordinate della striscia

$$f(x,y) = \sin 2\pi \frac{x_n - x_i}{x_n - x_0}$$

Per pareggiare il numero delle equazioni con il numero delle incognite introduce l'ulteriore incognita C_3 come moltiplicatore della coesione. Tale incognita dovrà essere in soluzione pari all'unità. Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Bell** si ottiene dalla risoluzione del seguente sistema di equazioni non lineari, nelle incognite C_1 , C_2 e C_3 , ottenuto scrivendo l'equilibrio dell'intera massa alla traslazione orizzontale, verticale ed alla rotazione:

$$\begin{aligned} M_{11} C_1 + M_{12} C_2 + M_{13} C_3 &= V_1 \\ M_{21} C_1 + M_{22} C_2 + M_{23} C_3 &= V_2 \\ M_{31} C_1 + M_{32} C_2 + M_{33} C_3 &= V_3 \end{aligned}$$

dove i coefficienti del sistema si ricavano dalle equazioni di equilibrio e valgono:

$$\begin{aligned} M_{11} &= (1 - K_y) [\sum_i W_i \cos^2 \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i - F \sum_i \cos \alpha_i \sin \alpha_i] \\ M_{12} &= \sum_i f_i b_i \operatorname{tg} \phi_i - F \sum_i f_i b_i \operatorname{tg} \alpha_i \\ M_{13} &= \sum_i c_i b_i \\ M_{21} &= (1 - K_y) [\sum_i W_i \cos \alpha_i \sin \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i + F \sum_i W_i \cos^2 \alpha_i] \\ M_{22} &= \sum_i f_i b_i \operatorname{tg} \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i + F \sum_i f_i b_i \\ M_{23} &= \sum_i c_i b_i \operatorname{tg} \alpha_i \\ M_{31} &= (1 - K_y) [\sum_i (W_i \cos^2 \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i) y_{ci} + \sum_i (W_i \cos \alpha_i \sin \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i) x_{ci}] + F [\sum_i (W_i \cos^2 \alpha_i) x_{ci} - \sum_i (W_i \cos \alpha_i \sin \alpha_i) y_{ci}] \\ M_{32} &= \sum_i (f_i b_i \operatorname{tg} \phi_i) y_{ci} + \sum_i (f_i b_i \operatorname{tg} \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i) x_{ci} - F [\sum_i (f_i b_i \operatorname{tg} \alpha_i) y_{ci} + \sum_i (f_i b_i) x_{ci}] \\ M_{33} &= \sum_i (c_i b_i) y_{ci} + \sum_i (c_i b_i \operatorname{tg} \alpha_i) x_{ci} \\ V_1 &= \sum_i u_i b_i \operatorname{tg} \phi_i + F (K_x \sum_i W_i - X) \\ V_2 &= \sum_i u_i b_i \operatorname{tg} \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i + F [(1 - K_y) \sum_i W_i + Z] \\ V_3 &= \sum_i (u_i b_i \operatorname{tg} \phi_i) y_{ci} + \sum_i (u_i b_i \operatorname{tg} \alpha_i \operatorname{tg} \phi_i) x_{ci} + F [K_x \sum_i W_i y_{cgi} + (1 - K_y) \sum_i W_i x_{cgi} - X y_x - Z x_y] \end{aligned}$$

La ricerca del fattore di sicurezza avviene operando sul coefficiente C_3 . Si comincia da due valori di F che individuano un intervallo all'interno del quale si può ritenere sia compreso il coefficiente di sicurezza soluzione del problema. Risolvendo il sistema si ricavano i due corrispondenti valori di C_3 e quindi si reitera prendendo come nuovo valore quello derivante dall'interpolazione:

$$F = F_f + \frac{1 - C_{3f}}{C_{3f} - C_{3i}} (F_f - F_i)$$

dove gli indici i ed f stanno rispettivamente per iniziale e finale. L'iterazione si può fermare quando la differenza tra l'ultimo F ricavato ed il penultimo è abbastanza piccola, oppure quando la differenza di C_3 dall'unità può essere ritenuta trascurabile.

<p>PROTEO INGEGNERIA SRL</p>	<p>Lavori di ripristino definitivo della sede stradale e delle scarpate di monte e di valle della S.P.36 Val di Zena dal km 11+820 al km 12+050</p> <p>Relazione Geotecnica Verifiche di stabilità del versante</p>	 <p>GEOTEIA s.r.l. Geologia Territorio Ambiente</p>
------------------------------	---	---

Metodo di Janbu (completo)

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Janbu completo** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum_i \left(\frac{c_i b_i + (W_i - \Delta X_i - u_i l_i) \operatorname{tg} \phi}{1 + (\tan \alpha_i \tan \phi) / F} \right) (1 + \tan^2 \alpha_i)}{(E_a - E_b) \sum_i (W_i - \Delta X_i) \tan \alpha_i}$$

In questa espressione n è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i -esima rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i -esima, c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed u_i è la pressione neutra lungo la base della striscia, E_a ed E_b rappresentano le eventuali forze orizzontali agli estremi della superficie di scorrimento analizzata, ΔX_i è la variazione delle forze di taglio di interstriscia. La soluzione del problema avviene per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per F da inserire nel secondo membro dell'espressione in modo da determinare un secondo valore dall'espressione. L'iterazione va avanti finquando i valori del coefficiente calcolati in due passi di iterazione successivi risultano coincidenti.

Metodo di Janbu (semplificato)

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Janbu semplificato** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum [c_i b_i + (N_i / \cos(\alpha_i) - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi_i]}{\sum_i [W_i \tan \alpha_i]}$$

dove il termine N_i è espresso da

$$N_i = [W_i - c_i l_i \sin \alpha_i / \eta + u_i l_i \tan \phi \sin \alpha_i / F] / m$$

dove il termine m è espresso da

$$m = \cos \alpha + (\sin \alpha \tan \phi) / F$$

In questa espressione n è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i -esima rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i -esima, c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed u_i è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di **Janbu semplificato** contiene al secondo membro il termine m che è funzione di F . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per F da inserire nell'espressione di m ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

La semplificazione del metodo rispetto al procedimento completo consiste nel trascurare le forze tangenziali di interstriscia.

PROTEO INGEGNERIA SRL	Lavori di ripristino definitivo della sede stradale e delle scarpate di monte e di valle della S.P.36 Val di Zena dal km 11+820 al km 12+050 Relazione Geotecnica Verifiche di stabilità del versante	 GEOTEIA s.r.l. Geologia Territorio Ambiente
------------------------------	--	---

4.2. Coefficienti di combinazione e coefficienti di sicurezza adottati nelle verifiche

Ai sensi delle D.M. 17/01/2018-NTC 2018 sono stati considerati i seguenti coefficienti:

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto	Simbologia	A2 Statico	A2 Sismico
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.30	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri	Simbologia	M2 Statico	M2 Sismico
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi}$	1.25	1.00
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.25	1.00
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.40	1.00
Peso dell'unità di volume	γ_r	1.00	1.00

Coefficiente di sicurezza richiesto

Tipo calcolo	Simbolo	Statico	Sismico
Pendio naturale	γ_R	1.00	1.00
Fronte di scavo	γ_R	1.10	1.20

4.3. Condizioni di carico

Nella sezione di progetto si considera il carico permanente dovuto all'opera di sostegno in gabbioni

- carico permanente 19.6 kN/m²

il carico è stato considerato distribuito uniformemente sul terreno.

Ai fini delle verifiche questi carichi sono fattorizzati con i seguenti coefficienti:

Ic	Descrizione	Ψ_2
1	Condizione 1	1.00

Gli altri carichi riportati nelle combinazioni si riferiscono al carico permanente dovuto al peso proprio del terreno.

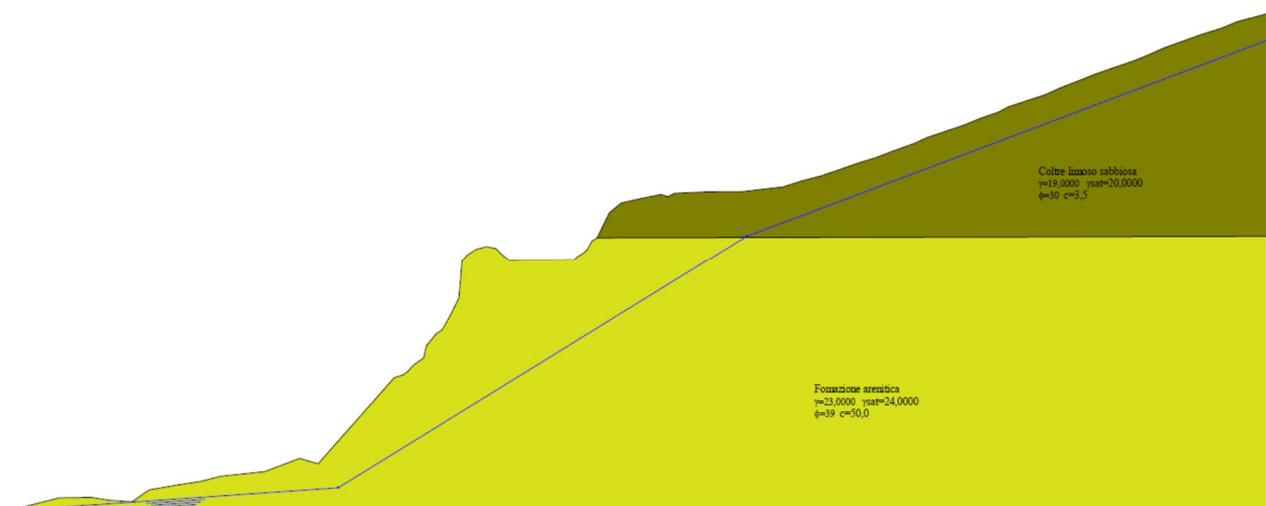
In ragione della cubatura dello scavo, non si porta in conto alcun sovraccarico dovuto al pacchetto della sovrastruttura e a sovraccarichi accidentali da traffico, considerando la sostanziale compensazione.

4.4. Parametri sismici di riferimento

	Simbolo	U.M.	SLV	SLD
Accelerazione al suolo	a_g	[m/s ²]	1.743	0.751
Accelerazione al suolo	a_g/g	[%]	0.178	0.077
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0		2.501	2.448
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*		0.295	0.269
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss	B	1.200	1.200
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St	T2	1.200	1.200
Coefficiente riduzione pendio naturale	β_s		0.240	0.240
Coefficiente riduzione fronti di scavo	β_s		0.380	0.470
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale			0.50	0.50

Le superfici analizzate sono state imposte di differente tipologia geometrica (circolari, spirali logaritmiche, ecc), ricercando le possibili superfici critiche anche tramite l'imposizione di punti di passaggio più plausibili in funzione di differenti possibili cinematismi.

4.5.1. SEZIONE 15 - STATO DI FATTO



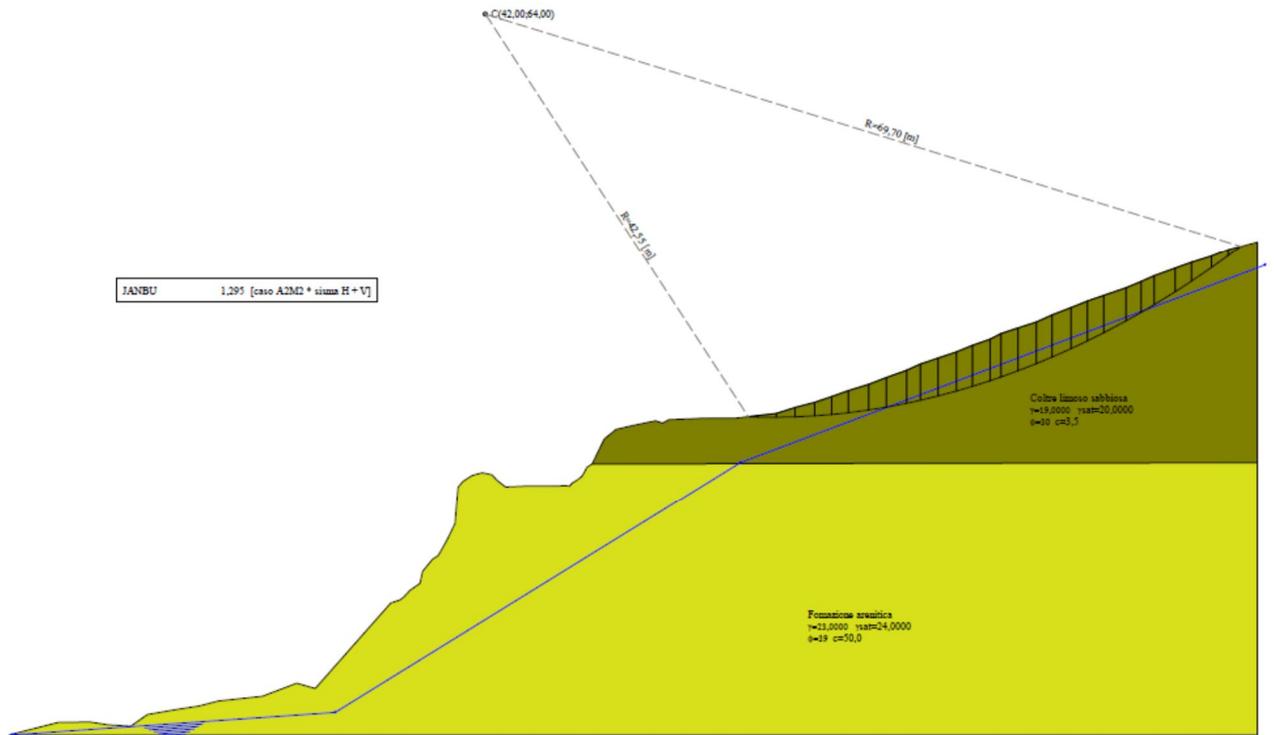
Sezione - stato di fatto

Stratigrafia e parametri di calcolo

Descrizione	γ [kN/mc]	γ_{sat} [kN/mc]	ϕ' [°]	c' [kPa]
Coltre superficiale	19.0	20.0	30	3.5
Formazione Arenitica	23.0	24.0	39	50

γ Peso di volume del terreno espresso in kN/mc
 γ_{sat} Peso di volume saturo del terreno espresso in kN/mc
 ϕ' Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
 c' Coesione 'efficace' del terreno espressa in kPa

RISULTATI VERIFICHE



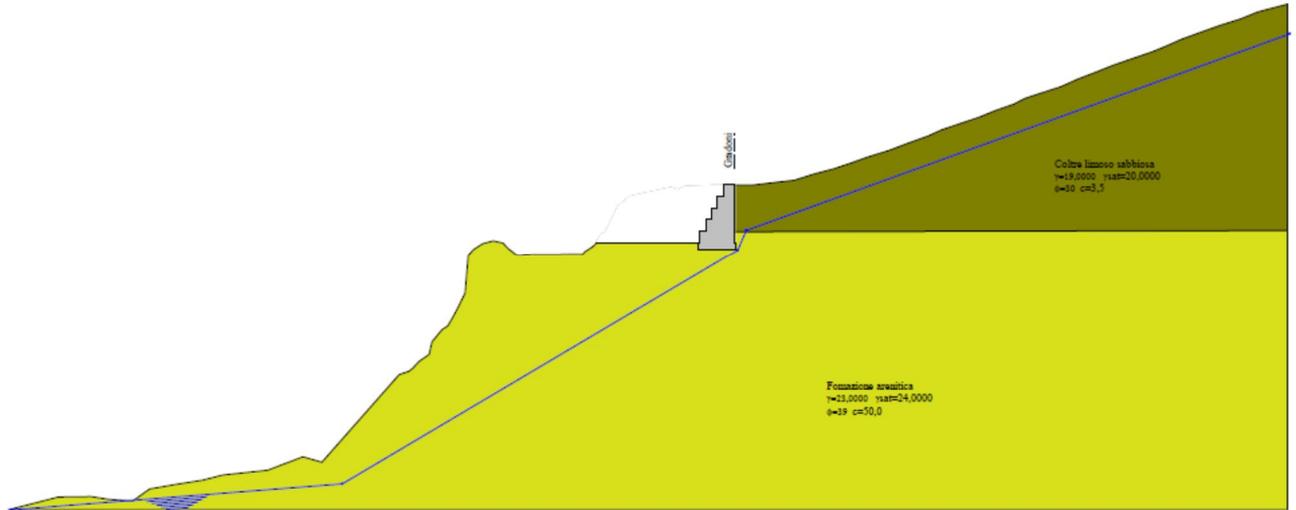
Sezione superficie critica - stato di fatto

Le verifiche di stabilità sulle numerose superfici testate hanno evidenziato la presenza di una superficie critica (vedi sezione sopra) per la quale è stato ottenuto il seguente fattore di sicurezza minimo:

Stato di fatto **FS = 1.29 > 1.2** in condizioni sismiche

Le verifiche risultano soddisfatte.

4.5.2.SEZIONE 15 - STATO DI PROGETTO



Sezione – stato di progetto

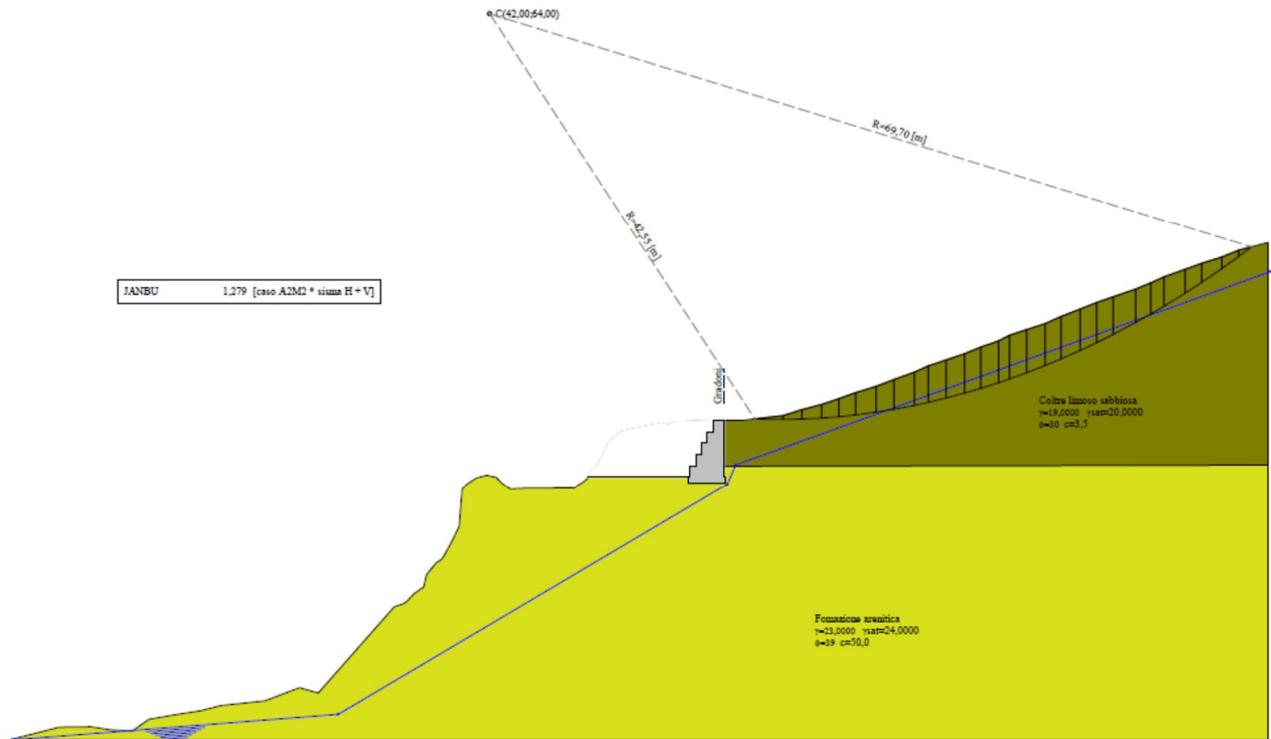
Stratigrafia e parametri di calcolo

Descrizione	γ [kN/mc]	γ_{sat} [kN/mc]	ϕ' [°]	c' [kPa]
Coltre superficiale	19.0	20.0	30	3.5
Formazione Arenitica	23.0	24.0	39	50

- γ Peso di volume del terreno espresso in kN/mc
- γ_{sat} Peso di volume saturo del terreno espresso in kN/mc
- ϕ' Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
- c' Coesione 'efficace' del terreno espressa in kPa

In questo caso la linea di falda è stata modificata, in relazione alla presenza di drenaggio a tergo dell'intervento.

RISULTATI VERIFICHE



Sezione – superficie critica stato di progetto

Le verifiche di stabilità sulle numerose superfici testate hanno evidenziato la presenza di una superficie critica (vedi sezione sopra) per la quale è stato ottenuto il seguente fattore di sicurezza minimo:

Stato di progetto **FS = 1.28 > 1.2** in condizioni sismiche.

Le verifiche risultano soddisfatte.

I rapporti dettagliati sulle verifiche eseguite, sono riportati negli Allegati 1 e 2

PROTEO INGEGNERIA SRL	Lavori di ripristino definitivo della sede stradale e delle scarpate di monte e di valle della S.P.36 Val di Zena dal km 11+820 al km 12+050 Relazione Geotecnica Verifiche di stabilità del versante	 GEOTEIA s.r.l. Geologia Territorio Ambiente
-----------------------	---	---

5. CONCLUSIONI

Le computazioni e le verifiche svolte in ottemperanza alle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018, sono risultate pienamente soddisfatte.

Non emergono criticità in relazione alla realizzazione delle opere di sostegno previste in progetto.

San Lazzaro di Savena (BO) 09.05.2025

Dott. Geol. Claudio Cinti



ALLEGATO 1

Verifiche di stabilità - STATO DI FATTO

Normative di riferimento

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.

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

- D.M. LL.PP. del 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 e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996.

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2018 (D.M. 17 Gennaio 2018).

- Circolare nr. 7 del 21/01/2019

Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

Descrizione metodo di calcolo

La verifica alla stabilità del pendio deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a γ_R .

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare.

In particolare il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione. Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate.

Nella descrizione dei metodi di calcolo si adatterà la seguente simbologia:

l	lunghezza della base della striscia
α	angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale
b	larghezza della striscia $b=l \times \cos(\alpha)$
ϕ	angolo di attrito lungo la base della striscia
c	coesione lungo la base della striscia
γ	peso di volume del terreno
u	pressione neutra
W	peso della striscia
N	sforzo normale alla base della striscia
T	sforzo di taglio alla base della striscia
E_s, E_d	forze normali di interstriscia a sinistra e a destra
X_s, X_d	forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra
E_a, E_b	forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio
ΔX	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$
ΔE	variazione delle forze normali sulla striscia $\Delta E = E_d - E_s$

Metodo di Janbu (semplificato)

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Janbu semplificato** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum [c_i b_i + (N_i / \cos(\alpha_i) - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi_i]}{\sum [W_i \tan \alpha_i]}$$

dove il termine N_i è espresso da

$$N_i = [W_i - c_i l_i \sin \alpha_i / \eta + u_i l_i \tan \phi \sin \alpha_i / F] / m$$

dove il termine m è espresso da

$$m = \cos \alpha + (\sin \alpha \tan \phi) / F$$

In questa espressione n è il numero delle strisce considerate, b_i e α_i sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia i -esima rispetto all'orizzontale, W_i è il peso della striscia i -esima, c_i e ϕ_i sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed u_i è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di **Janbu semplificato** contiene al secondo membro il termine m che è funzione di F . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per F da inserire nell'espressione di m ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

La semplificazione del metodo rispetto al procedimento completo consiste nel trascurare le forze tangenziali di interstriscia.

Dati

Descrizione terreno

Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in kN/mc
γ_w	Peso di volume saturo del terreno espresso in kN/mc
ϕ	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kPa
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kPa

n°	Descrizione	γ [kN/mc]	γ_{sat} [kN/mc]	ϕ' [°]	c' [kPa]
1	Fonazione arenitica	23,00	24,00	39,00	50,0
2	Colltre limoso sabbiosa	19,00	20,00	30,00	3,5

Profilo del piano campagna

Simbologia e convenzioni di segno adottate

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

Nr.	Identificativo del punto
X	Ascissa del punto del profilo espressa in m
Y	Ordinata del punto del profilo espressa in m

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	0,00
2	4,32	1,11
3	7,12	1,15
4	8,71	0,90
5	10,72	0,77
6	12,18	1,81
7	14,70	2,25
8	16,75	2,57
9	18,44	3,01
10	20,12	3,19
11	22,33	3,43
12	23,68	3,95
13	25,36	4,59
14	26,99	4,12
15	33,64	11,70
16	34,47	11,98
17	34,80	12,24
18	35,34	12,83
19	36,22	13,45
20	36,46	14,53
21	37,33	15,59
22	37,82	15,91
23	38,19	16,54
24	38,69	17,47
25	39,31	18,76
26	39,58	22,06
27	40,01	22,57
28	40,82	23,10
29	41,72	23,34
30	42,56	23,16
31	43,03	22,66
32	43,77	22,08
33	45,50	22,16
34	47,51	22,16
35	49,14	22,19
36	49,40	22,15
37	49,63	22,41
38	50,15	22,74
39	50,51	23,04
40	50,69	23,35
41	50,94	23,82
42	51,40	24,12
43	52,47	26,33
44	53,50	27,18
45	55,02	27,53
46	56,99	27,94
47	57,60	27,74
48	58,17	28,04
49	61,02	28,16
50	62,54	28,18
51	64,05	28,17
52	66,01	28,41
53	67,63	28,59
54	69,29	29,12
55	71,03	29,58
56	72,53	30,09
57	73,98	30,61

n°	X [m]	Y [m]
58	75,78	31,17
59	77,34	31,77
60	79,12	32,41
61	80,33	32,96
62	81,89	33,49
63	83,52	34,04
64	84,93	34,62
65	86,48	35,16
66	87,44	35,66
67	88,95	36,16
68	90,56	36,68
69	91,95	37,31
70	93,63	37,96
71	95,07	38,54
72	96,51	39,04
73	98,48	39,72
74	99,80	40,27
75	100,95	40,79
76	102,79	41,46
77	104,24	41,98
78	106,01	42,54
79	107,48	43,14
80	110,04	43,82

Descrizione stratigrafia

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

Strato N° 1 costituito da terreno n° 1 (Formazione arenitica)

Strato impermeabile

Strato rigido

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

n°	X [m]	Y [m]
1	51,40	24,12
2	50,94	23,82
3	50,69	23,35
4	50,51	23,04
5	50,15	22,74
6	49,63	22,41
7	49,40	22,15
8	49,14	22,19
9	47,51	22,16
10	45,50	22,16
11	43,77	22,08
12	43,03	22,66
13	42,56	23,16
14	41,72	23,34
15	40,82	23,10
16	40,01	22,57
17	39,58	22,06
18	39,31	18,76
19	38,69	17,47
20	38,19	16,54
21	37,82	15,91
22	37,33	15,59
23	36,46	14,53
24	36,22	13,45
25	35,34	12,83
26	34,80	12,24
27	34,47	11,98
28	33,64	11,70
29	26,99	4,12
30	25,36	4,59
31	23,68	3,95
32	22,33	3,43
33	20,12	3,19
34	18,44	3,01
35	16,75	2,57
36	14,70	2,25
37	12,18	1,81
38	10,72	0,77
39	8,71	0,90
40	7,12	1,15
41	4,32	1,11
42	0,00	0,00
43	110,04	0,00
44	110,04	24,25

Strato N° 2 costituito da terreno n° 2 (Coltre limoso sabbiosa)

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

n°	X [m]	Y [m]
1	110,04	24,25
2	110,04	43,82
3	107,48	43,14
4	106,01	42,54
5	104,24	41,98
6	102,79	41,46
7	100,95	40,79
8	99,80	40,27
9	98,48	39,72
10	96,51	39,04
11	95,07	38,54
12	93,63	37,96
13	91,95	37,31
14	90,56	36,68
15	88,95	36,16
16	87,44	35,66
17	86,48	35,16
18	84,93	34,62
19	83,52	34,04
20	81,89	33,49
21	80,33	32,96
22	79,12	32,41
23	77,34	31,77
24	75,78	31,17
25	73,98	30,61
26	72,53	30,09
27	71,03	29,58
28	69,29	29,12
29	67,63	28,59
30	66,01	28,41
31	64,05	28,17
32	62,54	28,18
33	61,02	28,16
34	58,17	28,04
35	57,60	27,74
36	56,99	27,94
37	55,02	27,53
38	53,50	27,18
39	52,47	26,33
40	51,40	24,12

Descrizione falda

Livello di falda

n°	X [m]	Y [m]
1	0,25	0,00
2	28,75	2,00
3	64,50	24,25
4	110,75	41,75

Dati zona sismica*Identificazione del sito*

Latitudine	44.364104
Longitudine	11.402221
Comune	Pianoro
Provincia	Bologna
Regione	Emilia Romagna

Punti di interpolazione del reticolo 17397 - 17619 - 17620 - 17398

Tipo di opera

Tipo di costruzione	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	II - Normali affollamenti e industrie non pericolose
Vita di riferimento	50 anni

	Simbolo	U.M.	SLV	SLD
Accelerazione al suolo	a_g	[m/s ²]	1.743	0.751
Accelerazione al suolo	a_g/g	[%]	0.178	0.077
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0		2.501	2.448
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*		0.295	0.269
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		B	1.200
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T2	1.200
Coefficiente riduzione pendio naturale	β_s		0.240	0.240
Coefficiente riduzione fronti di scavo	β_s		0.380	0.470
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale			0.50	0.50

Pendio naturale

	Simbolo	SLV	SLD
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S)$	6.14	2.65
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h$	3.07	1.32

Fronti di scavo

	Simbolo	SLV	SLD
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S)$	9.72	5.18
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h$	4.86	2.59

Dati normativaNormativa :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018 - D.M. 17/01/2018

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto	Simbologia	A2 Statico	A2 Sismico
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gs fav}$	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Gfav}	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Os fav}$	1.30	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri	Simbologia	M2 Statico	M2 Sismico
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan \phi}$	1.25	1.00
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.25	1.00
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.40	1.00
Peso dell'unità di volume	γ_r	1.00	1.00

Coefficiente di sicurezza richiesto

Tipo calcolo	Simbolo	Statico	Sismico
Pendio naturale	γ_R	1.00	1.00
Fronte di scavo	γ_R	1.10	1.20

Impostazioni delle superfici di rottura

Superfici di rottura circolare

Superfici di rottura a spirale logaritmica



Fig. 1 - Profilo

Opzioni di calcolo

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo:

- JANBU

Le superfici sono state analizzate sia in condizioni **statiche** che **sismiche**.

Le superfici sono state analizzate per i casi:

- Pendio naturale [PC] - Parametri caratteristici

- Fronte di scavo [A2-M2] - Parametri di progetto

- Sisma orizzontale e Sisma verticale (verso il basso e verso l'alto)

Analisi condotta in termini di **tensioni efficaci**

Presenza di falda

Risultati analisi

Numero di superfici analizzate	760
Coefficiente di sicurezza minimo	1.295
Superficie con coefficiente di sicurezza minimo	1

Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FSmin	Smin	FSmax	Smax
JANBU	760	1.295	1	23.905	760

Caratteristiche delle superfici analizzate

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio

F forma (C: circolare, S: spirale logaritmica, G: generica)

C_x ascissa x del centro [m]

C_y ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x_v ascissa del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x_m ascissa del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [mc]

FS coefficiente di sicurezza. Tra parentesi il metodo di calcolo usato (F: Fellenius, B: Bishop, J: Janbu, C: Janbu completo, L: Bell, M: Morgenstern-Price P: Spencer, S: Sarma,

V: Maksimovic, G: GLE)

Caso caso di calcolo

Sisma H sisma orizzontale, V sisma verticale (+ verso l'alto, - verso il basso)

La colonna FS (fattore di sicurezza) potrebbe contenere più valori. Questo è dovuto alla presenza degli interventi quando considerati come incremento delle forze di interstriscia. In questo caso vengono analizzate più superfici di scorrimento ed ogni superficie è separata dalla successiva dall'intervento.

N°	F	C _x [m]	C _y [m]	R [m]	x _v [m]	x _m [m]	V [mc]	FS	Caso	Sisma
1	S	42,00	64,00	2,03	65,17	108,60	106,07	1,295 (J)	[A2M2]	[SLV] H +V

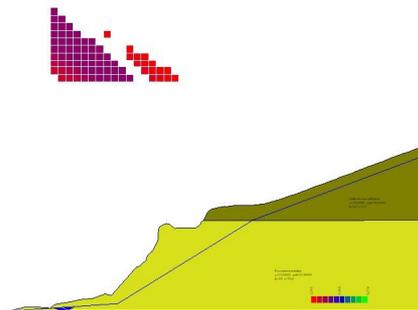


Fig. 2 - Mappa fattori di sicurezza - JANBU

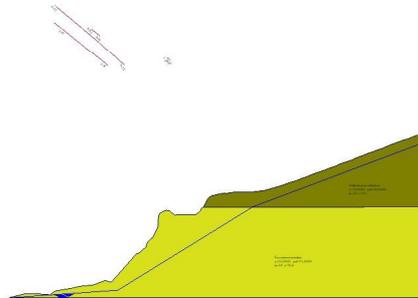


Fig. 3 - Curve di livello - JANBU

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Le strisce sono numerate da valle verso monte

- N° numero d'ordine della striscia
- X_s ascissa sinistra della striscia espressa in m
- Y_{ss} ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
- Y_{si} ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
- X_g ascissa del baricentro della striscia espressa in m
- Y_g ordinata del baricentro della striscia espressa in m
- α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)
- φ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
- c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kPa
- L sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cosα)
- u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa
- W peso della striscia espresso in kN
- Q carico applicato sulla striscia espresso in kN
- N sforzo normale alla base della striscia espresso in kN
- T sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kN
- U pressione neutra alla base della striscia espressa in kN
- E_s, E_d forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kN
- X_s, X_d forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kN
- ID Indice della superficie interessata dall'intervento

Superficie n° 1

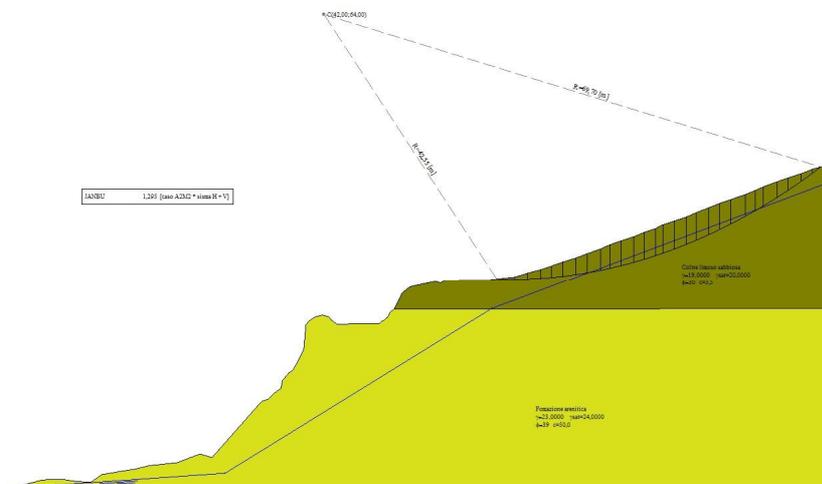


Fig. 4 - Superficie di rottura (Superficie n° 1)

Analisi della superficie 1 - coefficienti parziali caso A2M2 e sisma verso l'alto

Numero di strisce 29
 Intersezione a valle con il profilo topografico $X_v[m] = 65,17$ $Y_v[m] = 28,31$
 Intersezione a monte con il profilo topografico $X_m[m] = 108,60$ $Y_m[m] = 43,44$

Geometria e caratteristiche strisce

N°	X_s [m]	Y_{ss} [m]	Y_{si} [m]	X_d [m]	Y_{ds} [m]	Y_{di} [m]	X_g [m]	Y_g [m]	L [m]	α [°]	ϕ [°]	c [kPa]
1	65,17	28,31	28,30	66,01	28,41	28,27	65,72	28,33	0,84	-1,91	30,00	3,5
2	66,01	28,41	28,27	67,63	28,59	28,26	66,93	28,39	1,62	-0,57	30,00	3,5
3	67,63	28,59	28,26	69,29	29,12	28,29	68,58	28,58	1,66	1,17	30,00	3,5
4	69,29	29,12	28,29	71,03	29,58	28,38	70,21	28,85	1,74	2,94	30,00	3,5
5	71,03	29,58	28,38	72,53	30,09	28,50	71,81	29,14	1,50	4,59	30,00	3,5
6	72,53	30,09	28,50	73,98	30,61	28,65	73,28	29,47	1,46	6,07	30,00	3,5
7	73,98	30,61	28,65	75,78	31,17	28,90	74,90	29,84	1,82	7,67	30,00	3,5
8	75,78	31,17	28,90	77,34	31,77	29,15	76,58	30,25	1,58	9,30	30,00	3,5
9	77,34	31,77	29,15	79,12	32,41	29,49	78,25	30,71	1,81	10,90	30,00	3,5
10	79,12	32,41	29,49	80,33	32,96	29,76	79,73	31,16	1,24	12,31	30,00	3,5
11	80,33	32,96	29,76	81,89	33,49	30,14	81,12	31,59	1,61	13,60	30,00	3,5
12	81,89	33,49	30,14	83,52	34,04	30,58	82,71	32,06	1,69	15,08	30,00	3,5
13	83,52	34,04	30,58	84,93	34,62	30,99	84,23	32,56	1,47	16,45	30,00	3,5
14	84,93	34,62	30,99	86,48	35,16	31,49	85,71	33,07	1,63	17,79	30,00	3,5
15	86,48	35,16	31,49	87,44	35,66	31,82	86,96	33,53	1,01	18,93	30,00	3,5
16	87,44	35,66	31,82	88,95	36,16	32,37	88,19	34,00	1,61	20,00	30,00	3,5
17	88,95	36,16	32,37	90,56	36,68	33,00	89,75	34,55	1,73	21,41	30,00	3,5
18	90,56	36,68	33,00	91,95	37,31	33,58	91,26	35,14	1,51	22,69	30,00	3,5
19	91,95	37,31	33,58	93,63	37,96	34,33	92,79	35,79	1,84	24,05	30,00	3,5
20	93,63	37,96	34,33	95,07	38,54	35,01	94,35	36,46	1,59	25,39	30,00	3,5
21	95,07	38,54	35,01	96,51	39,04	35,73	95,78	37,08	1,61	26,61	30,00	3,5
22	96,51	39,04	35,73	98,48	39,72	36,79	97,48	37,81	2,23	28,10	30,00	3,5
23	98,48	39,72	36,79	99,80	40,27	37,53	99,13	38,57	1,52	29,50	30,00	3,5
24	99,80	40,27	37,53	100,95	40,79	38,21	100,37	39,20	1,33	30,51	30,00	3,5
25	100,95	40,79	38,21	102,79	41,46	39,35	101,84	39,94	2,17	31,82	30,00	3,5
26	102,79	41,46	39,35	104,24	41,98	40,30	103,49	40,76	1,73	33,20	30,00	3,5
27	104,24	41,98	40,30	106,01	42,54	41,52	105,05	41,55	2,15	34,54	30,00	3,5
28	106,01	42,54	41,52	107,48	43,14	42,58	106,67	42,41	1,82	35,93	30,00	3,5
29	107,48	43,14	42,58	108,60	43,44	43,43	107,86	43,05	1,40	37,00	30,00	3,5

Metodo di JANBU

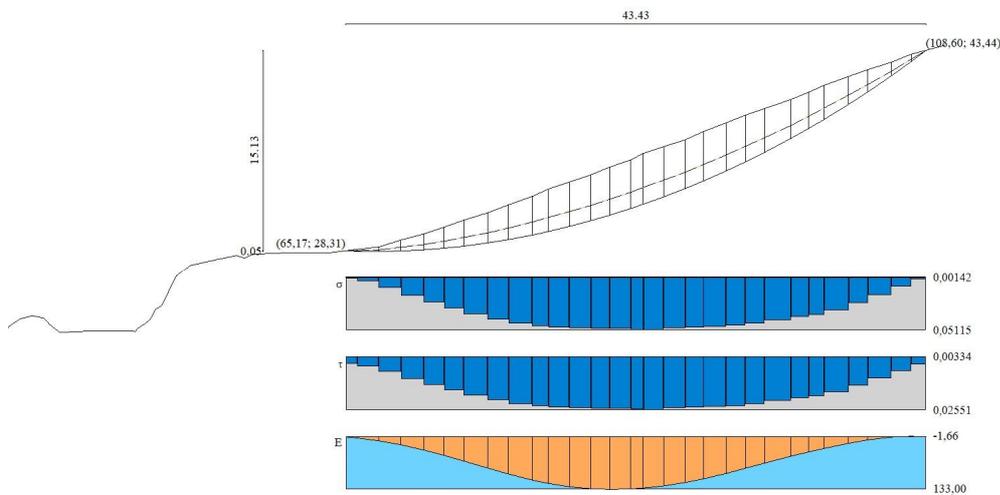


Fig. 5 - Forze di interstrisca (Superficie n° 1)

Coefficiente di sicurezza $F_s = 1.295$

Forze applicate sulle strisce

N°	W [kN]	Q [kN]	N [kN]	T [kN]	U [kN]	Es [kN]	Ed [kN]	Xs [kN]	Xd [kN]	ID
1	1,16	0,00	1,20	2,81	0,00	0,00	2,74	0,00	0,00	--
2	7,27	0,00	6,99	7,50	0,00	2,74	9,60	0,00	0,00	--
3	18,36	0,00	17,23	12,17	0,00	9,60	19,63	0,00	0,00	--
4	33,58	0,00	31,03	18,55	0,00	19,63	33,30	0,00	0,00	--
5	39,78	0,00	36,34	20,27	0,00	33,30	46,73	0,00	0,00	--
6	48,86	0,00	44,23	23,67	0,00	46,73	60,84	0,00	0,00	--
7	72,34	0,00	64,88	33,84	0,00	60,84	78,68	0,00	0,00	--
8	72,50	0,00	64,49	33,03	0,00	78,68	93,80	0,00	0,00	--
9	93,80	0,00	81,07	41,05	1,90	93,80	109,31	0,00	0,00	--
10	70,78	0,00	58,43	29,40	4,08	109,31	117,83	0,00	0,00	--
11	98,07	0,00	78,39	39,30	8,09	117,83	126,14	0,00	0,00	--
12	106,86	0,00	82,78	41,48	11,34	126,14	131,32	0,00	0,00	--
13	96,33	0,00	73,03	36,54	11,73	131,32	133,00	0,00	0,00	--
14	109,09	0,00	81,49	40,74	14,43	133,00	131,88	0,00	0,00	--
15	69,57	0,00	51,61	25,76	9,53	131,88	129,65	0,00	0,00	--
16	111,21	0,00	82,19	41,00	15,48	129,65	123,96	0,00	0,00	--
17	116,11	0,00	85,26	42,70	16,65	123,96	115,21	0,00	0,00	--
18	99,37	0,00	73,12	36,68	14,01	115,21	105,79	0,00	0,00	--
19	119,15	0,00	88,52	44,45	15,77	105,79	92,29	0,00	0,00	--
20	99,17	0,00	74,65	37,60	11,94	92,29	79,50	0,00	0,00	--
21	94,50	0,00	72,33	36,61	9,89	79,50	66,21	0,00	0,00	--
22	117,70	0,00	92,59	47,33	9,08	66,21	48,63	0,00	0,00	--
23	71,37	0,00	58,39	30,14	2,57	48,63	37,90	0,00	0,00	--
24	58,09	0,00	49,11	25,51	0,00	37,90	29,30	0,00	0,00	--
25	81,92	0,00	69,00	36,62	0,00	29,30	16,08	0,00	0,00	--
26	52,15	0,00	43,53	24,10	0,00	16,08	7,33	0,00	0,00	--
27	45,38	0,00	37,05	22,33	0,00	7,33	0,31	0,00	0,00	--
28	22,00	0,00	16,85	12,42	0,00	0,31	-1,66	0,00	0,00	--
29	5,98	0,00	3,20	5,21	0,00	-1,66	0,00	0,00	0,00	--

ALLEGATO 2

Verifiche di stabilità - PROGETTO

Dati

Descrizione terreno

Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in kN/mc
γ_w	Peso di volume saturo del terreno espresso in kN/mc
ϕ	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kPa
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kPa

n°	Descrizione	γ	γ_{sat}	ϕ'	c'
		[kN/mc]	[kN/mc]	[°]	[kPa]
1	Fomazione arenitica	23,00	24,00	39,00	50,0
2	Coltre limoso sabbiosa	19,00	20,00	30,00	3,5

Profilo del piano campagna

Simbologia e convenzioni di segno adottate

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

Nr.	Identificativo del punto
X	Ascissa del punto del profilo espressa in m
Y	Ordinata del punto del profilo espressa in m

n°	X [m]	Y [m]
1	0,00	0,00
2	4,32	1,11
3	7,12	1,15
4	8,71	0,90
5	10,72	0,77
6	12,18	1,81
7	14,70	2,25
8	16,75	2,57
9	18,44	3,01
10	20,12	3,19
11	22,33	3,43
12	23,68	3,95
13	25,36	4,59
14	26,99	4,12
15	33,64	11,70
16	34,47	11,98
17	34,80	12,24
18	35,34	12,83
19	36,22	13,45
20	36,46	14,53
21	37,33	15,59
22	37,82	15,91
23	38,19	16,54
24	38,69	17,47
25	39,31	18,76
26	39,58	22,06
27	40,01	22,57
28	40,82	23,10
29	41,72	23,34
30	42,56	23,16
31	43,03	22,66
32	43,77	22,08
33	45,50	22,16
34	47,51	22,16
35	49,14	22,19
36	49,40	22,15
37	49,63	22,41
38	50,15	22,74
39	50,51	23,04
40	50,69	23,35
41	50,94	23,82
42	51,40	24,12
43	52,47	26,33
44	53,50	27,18
45	55,02	27,53
46	56,99	27,94
47	57,60	27,74
48	58,17	28,04
49	61,02	28,16
50	62,54	28,18
51	64,05	28,17
52	66,01	28,41
53	67,63	28,59
54	69,29	29,12
55	71,03	29,58
56	72,53	30,09
57	73,98	30,61
58	75,78	31,17

n°	X [m]	Y [m]
59	77,34	31,77
60	79,12	32,41
61	80,33	32,96
62	81,89	33,49
63	83,52	34,04
64	84,93	34,62
65	86,48	35,16
66	87,44	35,66
67	88,95	36,16
68	90,56	36,68
69	91,95	37,31
70	93,63	37,96
71	95,07	38,54
72	96,51	39,04
73	98,48	39,72
74	99,80	40,27
75	100,95	40,79
76	102,79	41,46
77	104,24	41,98
78	106,01	42,54
79	107,48	43,14
80	110,04	43,82

Descrizione stratigrafia

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

Strato N° 1 costituito da terreno n° 1 (Formazione arenitica)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

n°	X [m]	Y [m]
1	51,40	24,12
2	50,94	23,82
3	50,69	23,35
4	50,51	23,04
5	50,15	22,74
6	49,63	22,41
7	49,40	22,15
8	49,14	22,19
9	47,51	22,16
10	45,50	22,16
11	43,77	22,08
12	43,03	22,66
13	42,56	23,16
14	41,72	23,34
15	40,82	23,10
16	40,01	22,57
17	39,58	22,06
18	39,31	18,76
19	38,69	17,47
20	38,19	16,54
21	37,82	15,91
22	37,33	15,59
23	36,46	14,53
24	36,22	13,45
25	35,34	12,83
26	34,80	12,24
27	34,47	11,98
28	33,64	11,70
29	26,99	4,12
30	25,36	4,59
31	23,68	3,95
32	22,33	3,43
33	20,12	3,19
34	18,44	3,01
35	16,75	2,57
36	14,70	2,25
37	12,18	1,81
38	10,72	0,77
39	8,71	0,90
40	7,12	1,15
41	4,32	1,11
42	0,00	0,00
43	110,04	0,00
44	110,04	24,25

Strato N° 2 costituito da terreno n° 2 (Coltre limoso sabbiosa)

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

n°	X [m]	Y [m]
1	110,04	24,25
2	110,04	43,82
3	107,48	43,14
4	106,01	42,54
5	104,24	41,98
6	102,79	41,46
7	100,95	40,79
8	99,80	40,27
9	98,48	39,72
10	96,51	39,04
11	95,07	38,54
12	93,63	37,96
13	91,95	37,31
14	90,56	36,68
15	88,95	36,16
16	87,44	35,66
17	86,48	35,16
18	84,93	34,62
19	83,52	34,04
20	81,89	33,49
21	80,33	32,96
22	79,12	32,41
23	77,34	31,77
24	75,78	31,17
25	73,98	30,61
26	72,53	30,09
27	71,03	29,58
28	69,29	29,12
29	67,63	28,59
30	66,01	28,41
31	64,05	28,17
32	62,54	28,18
33	61,02	28,16
34	58,17	28,04
35	57,60	27,74
36	56,99	27,94
37	55,02	27,53
38	53,50	27,18
39	52,47	26,33
40	51,40	24,12

Descrizione falda

Livello di falda

n°	X [m]	Y [m]
1	0,25	0,00
2	28,75	2,25
3	62,75	22,50
4	63,50	24,25
5	110,25	41,25

Interventi inseriti

Numero interventi inseriti 1

Gradonatura - Gradoni

Ascissa sul profilo	62,50	m
Grado di sicurezza desiderato a monte	1,30	
Numero gradoni	5	
Allineamento	MONTE	
Base gradone	0,50	m
Altezza gradone	1,00	m
Altezza gradonatura	5,00	m
Altezza fondazione	0,55	m
Altezza totale	5,55	m
Lunghezza fondazione valle	0,10	m
Lunghezza fondazione monte	0,10	m
Lunghezza fondazione totale	3,20	m
Inclinazione	0,000	
Peso di volume	19,61	kN/mc
Altezza di scavo	5,00	m

Dati zona sismica*Identificazione del sito*

Latitudine	44.364104
Longitudine	11.402221
Comune	Pianoro
Provincia	Bologna
Regione	Emilia Romagna

Punti di interpolazione del reticolo 17397 - 17619 - 17620 - 17398

Tipo di opera

Tipo di costruzione	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari
Vita nominale	50 anni
Classe d'uso	II - Normali affollamenti e industrie non pericolose
Vita di riferimento	50 anni

	Simbolo	U.M.	SLV	SLD
Accelerazione al suolo	a_g	[m/s ²]	1.743	0.751
Accelerazione al suolo	a_g/g	[%]	0.178	0.077
Massimo fattore amplificazione spettro orizzontale	F0		2.501	2.448
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante	Tc*		0.295	0.269
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico	Ss		B	1.200
Categoria topografica - Coefficiente amplificazione topografica	St		T2	1.200
Coefficiente riduzione pendio naturale	β_s		0.240	0.240
Coefficiente riduzione fronti di scavo	β_s		0.380	0.470
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale			0.50	0.50

Pendio naturale

	Simbolo	SLV	SLD
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S)$	6.14	2.65
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h$	3.07	1.32

Fronti di scavo

	Simbolo	SLV	SLD
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S)$	9.72	5.18
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h$	4.86	2.59

Dati normativaNormativa :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018 - D.M. 17/01/2018

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

Carichi	Effetto	Simbologia	A2 Statico	A2 Sismico
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1.00	1.00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1.00	1.00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0.00	0.00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1.30	1.00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri	Simbologia	M2 Statico	M2 Sismico
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi}$	1.25	1.00
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1.25	1.00
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1.40	1.00
Peso dell'unità di volume	γ_r	1.00	1.00

Coefficiente di sicurezza richiesto

Tipo calcolo	Simbolo	Statico	Sismico
Pendio naturale	γ_R	1.00	1.00
Fronte di scavo	γ_R	1.10	1.20

Impostazioni delle superfici di rottura

Superfici di rottura circolare

Superfici di rottura a spirale logaritmica

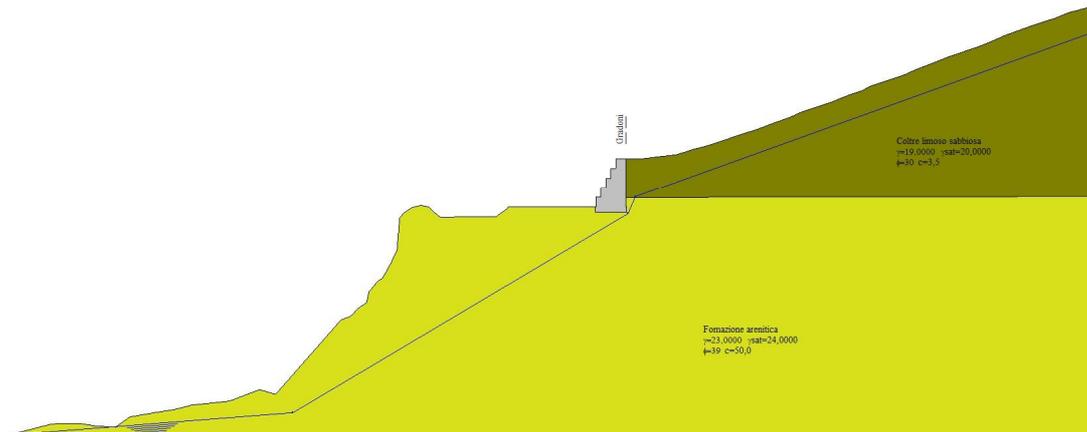


Fig. 1 - Profilo

Opzioni di calcolo

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo:

- JANBU

Le superfici sono state analizzate sia in condizioni **statiche** che **sismiche**.

Le superfici sono state analizzate per i casi:

- Pendio naturale [PC] - Parametri caratteristici

- Fronte di scavo [A2-M2] - Parametri di progetto

- Sisma orizzontale e Sisma verticale (verso il basso e verso l'alto)

Analisi condotta in termini di **tensioni efficaci**

Presenza di falda

Risultati analisi

Numero di superfici analizzate 180
 Coefficiente di sicurezza minimo 1.279
 Superficie con coefficiente di sicurezza minimo 1

Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FSmin	Smin	FSmax	Smax
JANBU	180	1.279	1	2.268	180

Caratteristiche delle superfici analizzate

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio

F forma (C: circolare, S: spirale logaritmica, G: generica)

C_x ascissa x del centro [m]

C_y ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x_v ascissa del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x_m ascissa del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [mc]

FS coefficiente di sicurezza. Tra parentesi il metodo di calcolo usato (F: Fellenius, B: Bishop, J: Janbu, C: Janbu completo, L: Bell, M: Morgenstern-Price P: Spencer, S: Sarma,

V: Maksimovic, G: GLE)

Caso caso di calcolo

Sisma H sisma orizzontale, V sisma verticale (+ verso l'alto, - verso il basso)

La colonna FS (fattore di sicurezza) potrebbe contenere più valori. Questo è dovuto alla presenza degli interventi quando considerati come incremento delle forze di interstriscia. In questo caso vengono analizzate più superfici di scorrimento ed ogni superficie è separata dalla successiva dall'intervento.

N°	F	C _x [m]	C _y [m]	R [m]	x _v [m]	x _m [m]	V [mc]	FS	Caso	Sisma
1	S	42,00	64,00	2,03	65,17	108,60	106,07	1,281 (J)	[A2M2]	[SLV] H +V

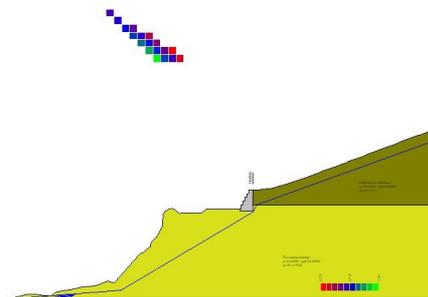


Fig. 2 - Mappa fattori di sicurezza - JANBU

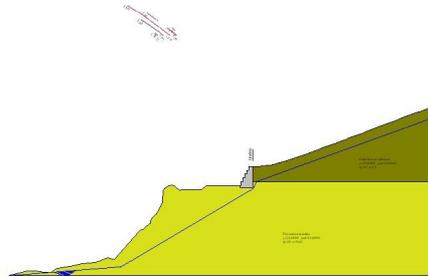


Fig. 3 - Curve di livello - JANBU

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra
 Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
 Le strisce sono numerate da valle verso monte

N°	numero d'ordine della striscia
X _s	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y _{ss}	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
Y _{si}	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
X _g	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
Y _g	ordinata del baricentro della striscia espressa in m
α	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)
φ	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
c	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kPa
L	sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cosα)
u	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kPa
W	peso della striscia espresso in kN
Q	carico applicato sulla striscia espresso in kN
N	sforzo normale alla base della striscia espresso in kN
T	sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kN
U	pressione neutra alla base della striscia espressa in kN
E _s , E _d	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kN
X _s , X _d	forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kN
ID	Indice della superficie interessata dall'intervento

Superficie n° 1

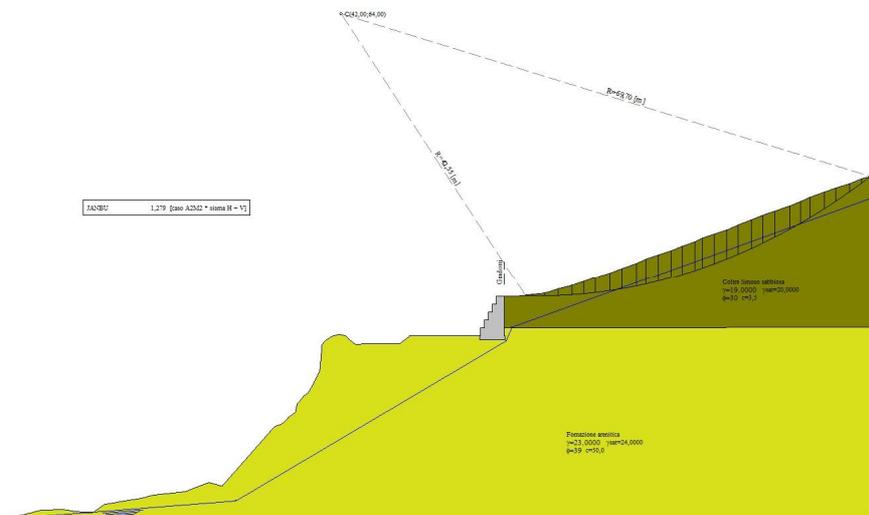


Fig. 4 - Superficie di rottura (Superficie n° 1)

Analisi della superficie 1 - coefficienti parziali caso A2M2 e sisma verso l'alto

Numero di strisce 29
 Intersezione a valle con il profilo topografico $X_v[m] = 65,17$ $Y_v[m] = 28,31$
 Intersezione a monte con il profilo topografico $X_m[m] = 108,60$ $Y_m[m] = 43,44$

Geometria e caratteristiche strisce

N°	X_s [m]	Y_{ss} [m]	Y_{si} [m]	X_d [m]	Y_{ds} [m]	Y_{di} [m]	X_g [m]	Y_g [m]	L [m]	α [°]	ϕ [°]	c [kPa]
1	65,17	28,31	28,30	66,01	28,41	28,27	65,72	28,33	0,84	-1,91	30,00	3,5
2	66,01	28,41	28,27	67,63	28,59	28,26	66,93	28,39	1,62	-0,57	30,00	3,5
3	67,63	28,59	28,26	69,29	29,12	28,29	68,58	28,58	1,66	1,17	30,00	3,5
4	69,29	29,12	28,29	71,03	29,58	28,38	70,21	28,85	1,74	2,94	30,00	3,5
5	71,03	29,58	28,38	72,53	30,09	28,50	71,81	29,14	1,50	4,59	30,00	3,5
6	72,53	30,09	28,50	73,98	30,61	28,65	73,28	29,47	1,46	6,07	30,00	3,5
7	73,98	30,61	28,65	75,78	31,17	28,90	74,90	29,84	1,82	7,67	30,00	3,5
8	75,78	31,17	28,90	77,34	31,77	29,15	76,58	30,25	1,58	9,30	30,00	3,5
9	77,34	31,77	29,15	79,12	32,41	29,49	78,25	30,71	1,81	10,90	30,00	3,5
10	79,12	32,41	29,49	80,33	32,96	29,76	79,73	31,16	1,24	12,31	30,00	3,5
11	80,33	32,96	29,76	81,89	33,49	30,14	81,12	31,59	1,61	13,60	30,00	3,5
12	81,89	33,49	30,14	83,52	34,04	30,58	82,71	32,06	1,69	15,08	30,00	3,5
13	83,52	34,04	30,58	84,93	34,62	30,99	84,23	32,56	1,47	16,45	30,00	3,5
14	84,93	34,62	30,99	86,48	35,16	31,49	85,71	33,07	1,63	17,79	30,00	3,5
15	86,48	35,16	31,49	87,44	35,66	31,82	86,96	33,53	1,01	18,93	30,00	3,5
16	87,44	35,66	31,82	88,95	36,16	32,37	88,19	34,00	1,61	20,00	30,00	3,5
17	88,95	36,16	32,37	90,56	36,68	33,00	89,75	34,55	1,73	21,41	30,00	3,5
18	90,56	36,68	33,00	91,95	37,31	33,58	91,26	35,14	1,51	22,69	30,00	3,5
19	91,95	37,31	33,58	93,63	37,96	34,33	92,79	35,79	1,84	24,05	30,00	3,5
20	93,63	37,96	34,33	95,07	38,54	35,01	94,35	36,46	1,59	25,39	30,00	3,5
21	95,07	38,54	35,01	96,51	39,04	35,73	95,78	37,08	1,61	26,61	30,00	3,5
22	96,51	39,04	35,73	98,48	39,72	36,79	97,48	37,81	2,23	28,10	30,00	3,5
23	98,48	39,72	36,79	99,80	40,27	37,53	99,13	38,57	1,52	29,50	30,00	3,5
24	99,80	40,27	37,53	100,95	40,79	38,21	100,37	39,20	1,33	30,51	30,00	3,5
25	100,95	40,79	38,21	102,79	41,46	39,35	101,84	39,94	2,17	31,82	30,00	3,5
26	102,79	41,46	39,35	104,24	41,98	40,30	103,49	40,76	1,73	33,20	30,00	3,5
27	104,24	41,98	40,30	106,01	42,54	41,52	105,05	41,55	2,15	34,54	30,00	3,5
28	106,01	42,54	41,52	107,48	43,14	42,58	106,67	42,41	1,82	35,93	30,00	3,5
29	107,48	43,14	42,58	108,60	43,44	43,43	107,86	43,05	1,40	37,00	30,00	3,5

Metodo di JANBU

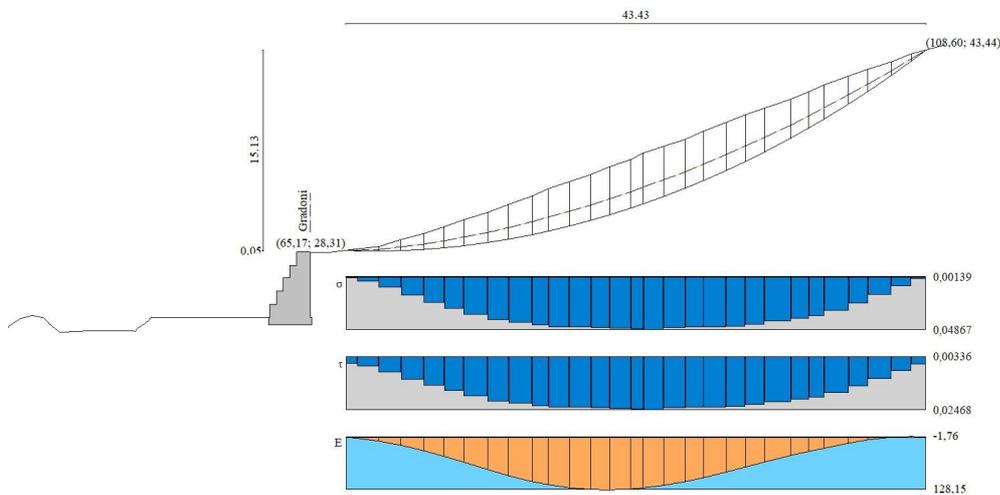


Fig. 5 - Forze di interstriscia (Superficie n° 1)

Coefficiente di sicurezza $F_s = 1.279$

Forze applicate sulle strisce

N°	W [kN]	Q [kN]	N [kN]	T [kN]	U [kN]	Es [kN]	Ed [kN]	Xs [kN]	Xd [kN]	ID
1	1,13	0,00	1,17	2,83	0,00	0,00	2,76	0,00	0,00	--
2	7,07	0,00	6,81	7,50	0,00	2,76	9,63	0,00	0,00	--
3	17,88	0,00	16,77	12,10	0,00	9,63	19,65	0,00	0,00	--
4	32,69	0,00	30,20	18,38	0,00	19,65	33,27	0,00	0,00	--
5	38,73	0,00	35,36	20,05	0,00	33,27	46,67	0,00	0,00	--
6	47,57	0,00	43,03	23,38	0,00	46,67	60,74	0,00	0,00	--
7	70,43	0,00	63,11	33,42	0,00	60,74	78,59	0,00	0,00	--
8	70,66	0,00	62,78	32,62	0,00	78,59	93,76	0,00	0,00	--
9	91,87	0,00	76,39	39,39	5,04	93,76	108,11	0,00	0,00	--
10	69,41	0,00	55,08	28,22	6,36	108,11	115,83	0,00	0,00	--
11	96,25	0,00	73,96	37,73	11,12	115,83	123,14	0,00	0,00	--
12	104,96	0,00	78,14	39,84	14,54	123,14	127,29	0,00	0,00	--
13	94,63	0,00	69,04	35,14	14,46	127,29	128,15	0,00	0,00	--
14	107,18	0,00	77,19	39,25	17,31	128,15	126,23	0,00	0,00	--
15	68,34	0,00	48,99	24,86	11,22	126,23	123,57	0,00	0,00	--
16	109,21	0,00	78,21	39,65	17,92	123,57	117,33	0,00	0,00	--
17	113,99	0,00	81,36	41,40	18,89	117,33	108,20	0,00	0,00	--
18	97,48	0,00	70,04	35,69	15,56	108,20	98,64	0,00	0,00	--
19	116,76	0,00	85,19	43,44	17,07	98,64	85,28	0,00	0,00	--
20	97,06	0,00	72,23	36,92	12,45	85,28	72,89	0,00	0,00	--
21	92,34	0,00	70,40	36,14	9,76	72,89	60,32	0,00	0,00	--
22	114,73	0,00	90,90	47,08	7,70	60,32	44,26	0,00	0,00	--
23	69,36	0,00	57,95	30,27	0,75	44,26	34,96	0,00	0,00	--
24	56,55	0,00	47,64	25,12	0,00	34,96	26,92	0,00	0,00	--
25	79,76	0,00	66,92	36,09	0,00	26,92	14,55	0,00	0,00	--
26	50,78	0,00	42,19	23,76	0,00	14,55	6,39	0,00	0,00	--
27	44,19	0,00	35,87	22,04	0,00	6,39	-0,09	0,00	0,00	--
28	21,42	0,00	16,26	12,29	0,00	-0,09	-1,76	0,00	0,00	--
29	5,82	0,00	3,02	5,19	0,00	-1,76	0,00	0,00	0,00	--