



CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA

AREA SERVIZI TERRITORIALI METROPOLITANI

STRADA
SP610

LAVORO

LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE
E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA SP610
SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL
RIO E DELLA SP 14 IN COMUNE DI IMOLA

CUP C27H24001080001 CIG B2D7BDC2BB

Settore
Strade e Sicurezza

ELABORATO

Parte Specialistica
Relazione rafforzamento corticale

PROGETTO
ESECUTIVO

PROGETTAZIONE GENERALE E SPECIALISTICA

SOIL ENGINEERING SRL

Dott. Ing. Massimo Maffei

Dott. Ing. Luigi Albert

Dott. Ing. Lucio Garassino

Dott. Geol. Fabio Staffini (Integrazione attività specialistiche e coordinatore per la sicurezza)

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Lucia Molica Franco

SUPPORTO AL RUP

Dott. Ing. Stefania Cintura

B

SCALA

TAV./ELAB Nr.

A

MAGGIO 2025

EMISSIONE

204-A

REV.

DATA

MODIFICA

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

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 1/107

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORME, RACCOMANDAZIONI E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	5
2.1	Norme e raccomandazioni di riferimento	5
2.2	Documenti di riferimento	5
3	UBICAZIONE DELL'OPERA E STATO DEI LUOGHI	6
3.1	Ubicazione dell'area di intervento	6
3.2	Stato dei luoghi	8
4	PRESTAZIONI RICHIESTE ALLE OPERE	9
5	DESCRIZIONE DELLE OPERE E MATERIALI	10
6	CARATTERISTICHE DEI MATERIALI	13
6.1	Acciaio per barre di ancoraggio	13
6.2	Acciaio per piastra di ripartizione	13
6.3	Geostuoia rinforzata in rete metallica	13
6.4	Funi	14
6.5	Malta per iniezioni	14
7	MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO	15
7.1	Sezioni di calcolo	15
7.2	Parametri geotecnici di riferimento per i materiali	16
7.2.1	Verifica delle chiodature e della rete	16
8	SICUREZZA DELL'OPERA	18
8.1	Quadro normativo	18
8.2	Verifiche agli stati limite ultimi (SLU e SLV)	18
8.3	Approcci e combinazioni utilizzate nelle verifiche	20
8.4	Stati limite pertinenti per le opere	20
8.5	Azioni sulle opere	21
8.6	Durabilità delle opere	23
9	METODI DI CALCOLO CONSIDERATI PER L'ANALISI E LA VERIFICA DELLE OPERE	25
9.1	Modalità di calcolo per la verifica della rete di rivestimento	27
10	PRESTAZIONI DI RIFERIMENTO PER I CHIODI	29
10.1	Resistenza strutturale	29
10.2	Resistenza allo sfilamento	29
11	ANALISI NUMERICHE DELLE OPERE IN PROGETTO	31
12	VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI	32
12.1	Chiodatura	32
12.1.1	Stabilità globale pre-intervento	32
12.1.2	Stabilità globale	32
12.1.3	Stabilità interna	34
12.2	Verifica della rete di rivestimento	37

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 2/107

13	ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI	38
13.1	GEOSTUDIO 2018 v.9.0.5.16316	38
13.2	Mac – S design	38
14	CONCLUSIONI	39
15	ALLEGATO – TABULATI	40

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 3/107

1 PREMESSA

A seguito degli eventi meteorologici del maggio 2023 e del settembre 2024 che del hanno colpito una vasta porzione della Regione Emilia-Romagna, generando intensi ed estesi effetti al suolo, nelle aree collinari e appenniniche del bolognese, del ravennate e del forlivese, si sono verificate un totale di 65.598 frane, che coprono complessivamente un'area di 72,21 km².

All'interno del territorio comunale di Castel de Rio (BO) sono state censite numerose frane che hanno coinvolto anche la sede stradale della SP610, limitandone in alcuni casi la percorribilità. La presente relazione ha per oggetto il dissesto che ha interessato la sede stradale e la scarpata di valle al km 59+500 della SP610 "Montanara" poco a sud dell'attraversamento del fiume Santerno.

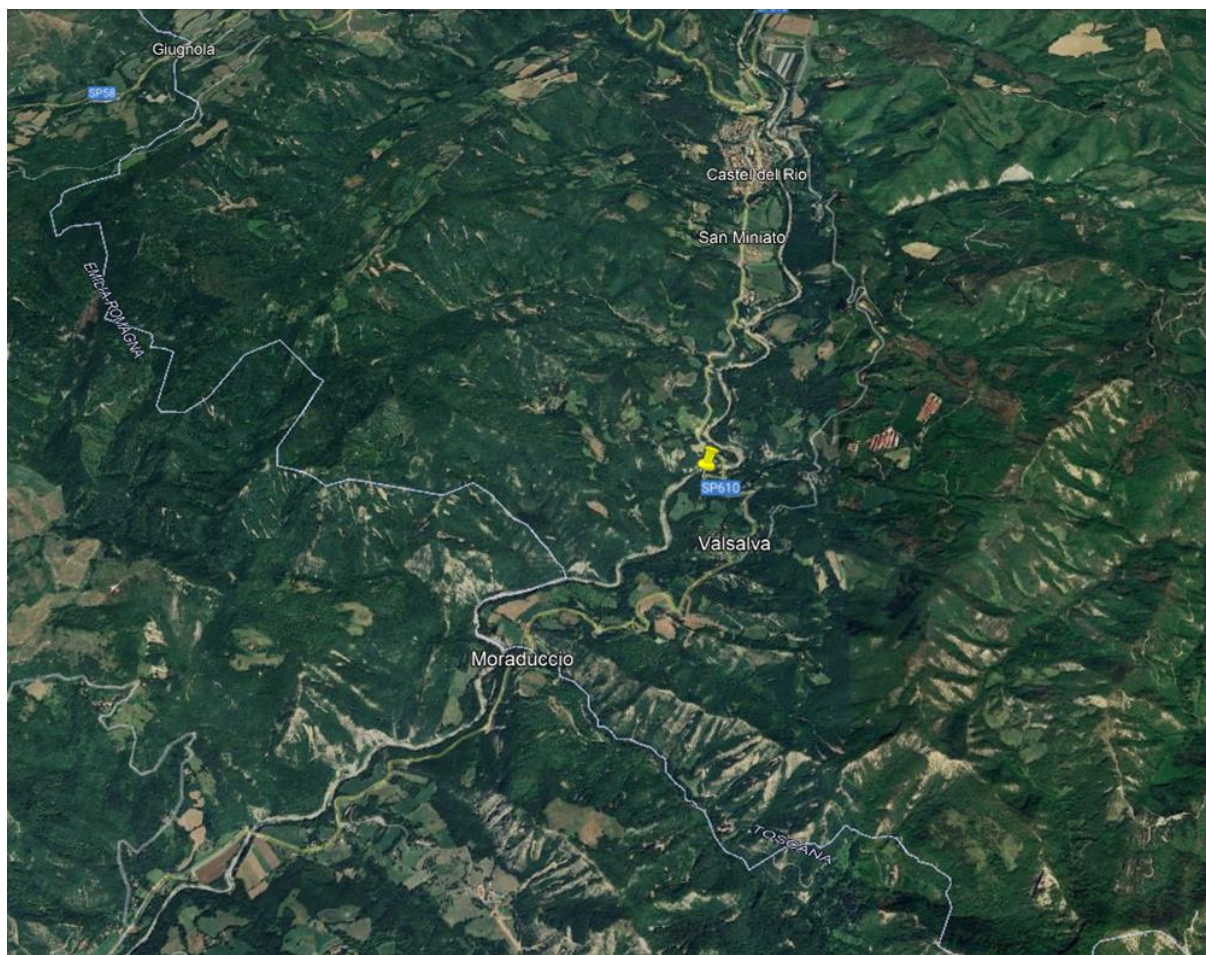


Figura 1 - Inquadramento dell'area d'intervento (da Google Earth)

Il dissesto, causato dal franamento del terreno di fondazione del muro di sottoscarpa e successivamente lo svuotamento di parte del rilevato, si è manifestato nella formazione di una cavità al di sotto della carreggiata esterna.

Attualmente, il traffico avviene a senso unico alternato lungo la corsia interna.

Il muro di contenimento adiacente al dissesto, anche se ancora in posto, è scalzato al piede, localmente lesionato e distaccato dal cordolo porta barriera di sommità.

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 4/107



Figura 2 - Tratto di dissesto della sede stradale

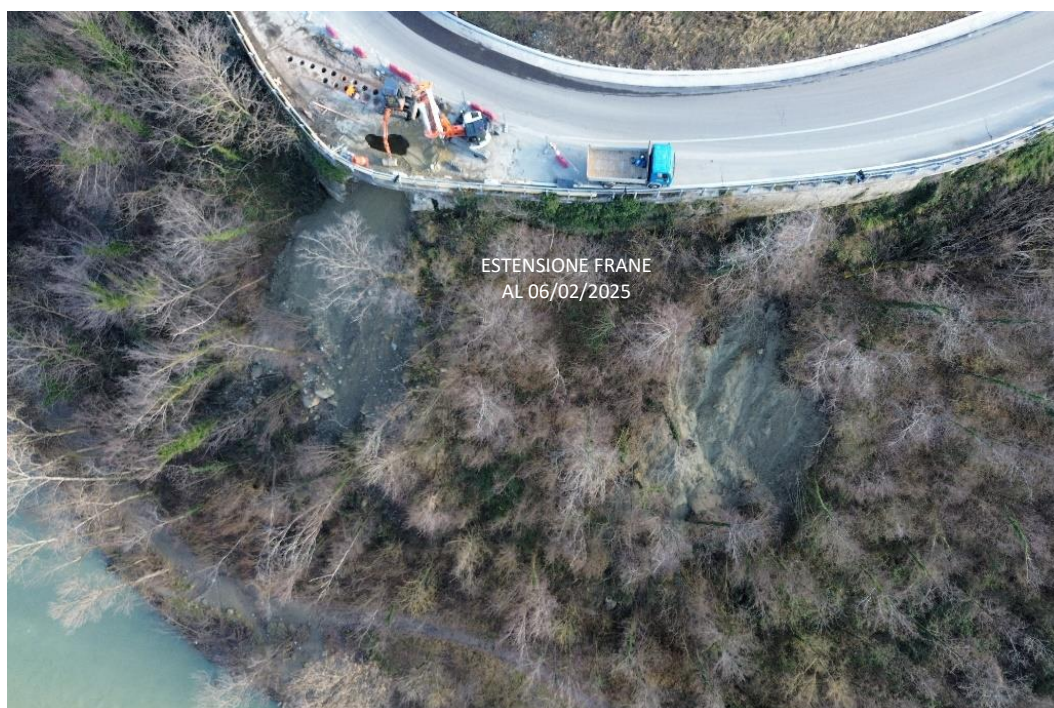


Figura 3 – Dissesto nell'area oggetto di intervento

La presente relazione tecnica presenta lo sviluppo progettuale delle opere di rafforzamento corticale del versante sottostante la SP610; tali opere hanno il compito evitare lo sviluppo dei fenomeni di erosione e dissesto superficiale osservabili oggi, che potrebbero nel tempo andare a scoprire il piede del muro in progetto.

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 5/107

2 NORME, RACCOMANDAZIONI E DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 NORME E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO

- 2.1.1 D.M. 17 gennaio 2018 – pubblicato su GU Serie Generale n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8 – “Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»”;
- 2.1.2 Circolare 21 gennaio 2019 n.7 Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”;
- 2.1.3 UNI EN 1997-1:2005: "Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali";
- 2.1.4 EN 14490:2010: "Execution of special geotechnical works – Soil nailing”;
- 2.1.5 FHWA-SA-96-069 – Manual for design & construction monitoring of soil nail walls (1998);
- 2.1.6 FHWA NHI-05-039 (2005)- Micropile Design and Construction Reference manual;
- 2.1.7 AICAP (2012) Ancoraggi nei terreni e nelle rocce – raccomandazioni.

2.2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

- 2.2.1 “Interventi urgenti di ripristino dissesti SP610”:
 - CMDB-001-DD-REL-201-A - “Relazione geologica”;
 - CMDB-001-DD-REL-202-A - “Relazione sismica”.
- 2.2.2 Lavori di Somma Urgenza per il ripristino della sede stradale e delle scarpate di monte e di valle colpiti dagli eventi metereologici di settembre 2024, lungo la SP 610, "Montanara" nei territori di Imola, Fontanelice, Casalfiumanese, Borgo Tossignano a Castel del Rio”:
 - E110 – Relazione generale tecnico illustrativa;
 - E120 – Relazione geologica e sismica;
 - E130 – Relazione geotecnica e strutturale;
 - E233 – Intervento 4 – stato di fatto;
 - E2410 – Intervento 4 – progetto tavola degli interventi.
- 2.2.3 MICROZONAZIONE SISMICA Regione Emilia-Romagna - Comune di Castel del Rio 2017
 - Relazione illustrativa;
 - Carta delle frequenze;
 - Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica;
 - Carta delle indagini;
 - Carta di microzonazione sismica FPGA;

Il set completo dei documenti vigenti, oltre a quelli elencati sono reperibili nel sito web:

 - <https://www.nuovocircondarioimolese.it/psc-rue/enti/castel-del-rio/psc-rue-ca-elaborati-vigenti/microzonazione-sismica-ii-livello>;
 - <https://geo.regione.emilia-romagna.it/schede/pnsrs/index.jsp?id=37014>.

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 6/107

3 UBICAZIONE DELL'OPERA E STATO DEI LUOGHI

3.1 UBICAZIONE DELL'AREA DI INTERVENTO

L'intervento in oggetto è situato nel comune di Castel del Rio (BO), alla pk 59+500 della SP610 "Selice o Montanara Imolese".

Le coordinate indicative (ISTAT) del sito di costruzione sono (Figura 4):

Latitudine: 44,187021 N

Longitudine: 11,500301 E

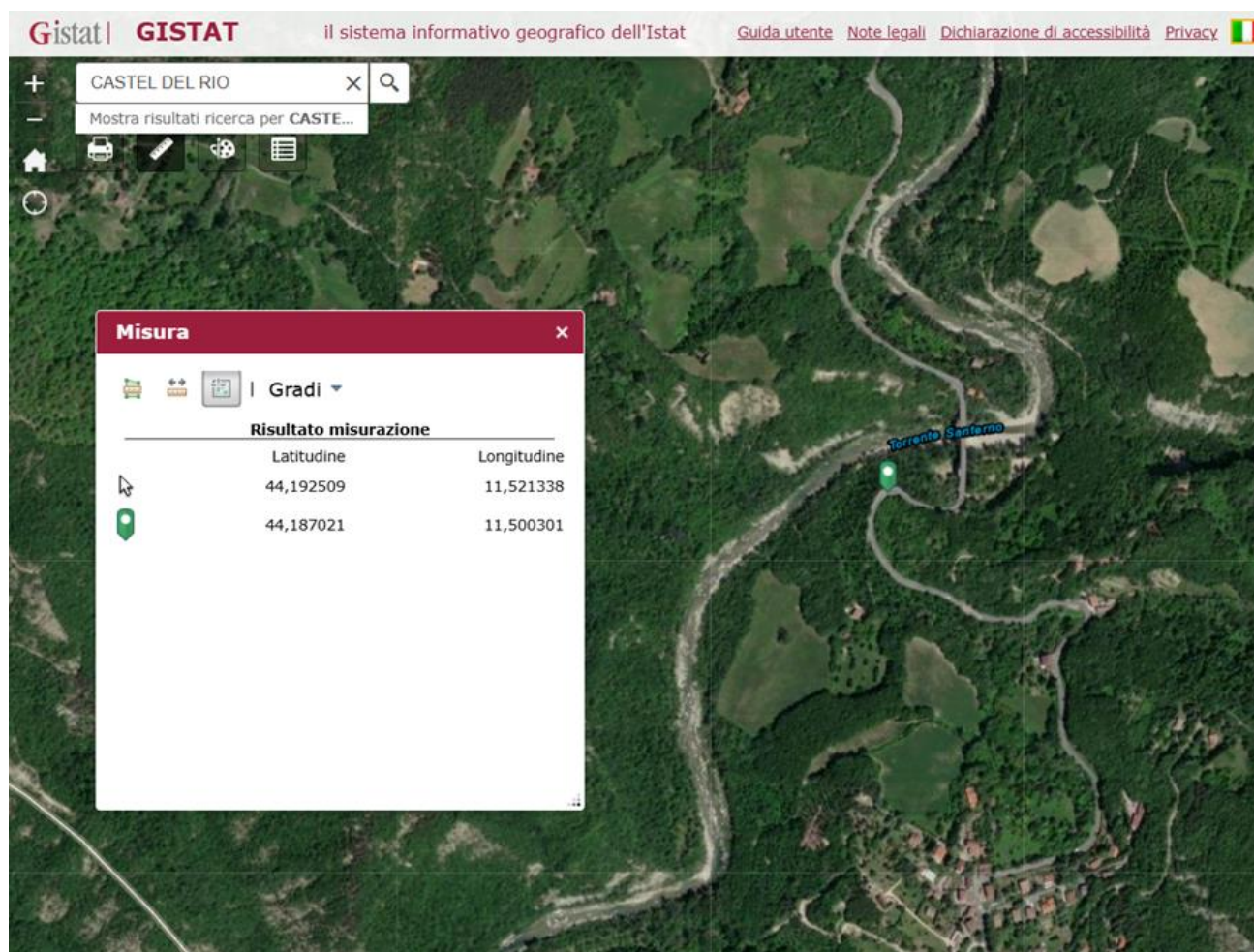


Figura 4 - Coordinate indicative del sito di costruzione (dal sistema informativo geografico ISTAT)

Dal punto di vista geografico, il sito è collocato nell'Alta Valle del Santerno, una regione contraddistinta da un paesaggio collinare e montuoso, con altitudini variabili tra i 200 e i 1000 metri sul livello del mare. Il territorio si estende lungo il confine tra le regioni Emilia-Romagna e Toscana, rappresentando una zona di transizione tra il versante adriatico e quello tirrenico dell'Appennino settentrionale. La morfologia del territorio è prevalentemente montuosa, con versanti ripidi e valli profondamente scolpite dall'azione erosiva del fiume Santerno e dei suoi affluenti.

Con riferimento alle zone altimetrico – climatiche ISTAT (Figura 5), il territorio comunale di Castel del Rio ricade all'interno della zona di "Collina Interna" ovvero caratterizzato da altitudine minore di 600 m dal l.m.m.

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 7/107

e con condizioni climatiche non moderate dal mare. In particolare, l'altitudine indicativa per il territorio comunale è pari a 215 m s.l.m.m.



Figura 5 - Zona altimetrica di riferimento per il territorio comunale di Castel del Rio

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 8/107

3.2 STATO DEI LUOGHI

L'area di intervento è la porzione di tornante della SP610, lunga circa 70 m, oggi oggetto di un restringimento di carreggiata in seguito al crollo locale del muro di sottoscarpa con conseguente svuotamento del terreno sottostante la sede stradale nonché le porzioni limitrofe dove i sopralluoghi hanno messo in evidenza i segni di un cinematismo incipiente.



Figura 6 - Stato dei luoghi nell'area oggetto di intervento

La zona fa parte di un versante con esposizione verso NO, in una porzione di valle molto stretta, con il fiume Santerno che scorre 35 m più in basso e un pendio con inclinazione compresa fra i 30 e i 40 gradi dove la formazione, caratterizzata da un elevato grado di fratturazione e alterazione, è coperta da un'abbondante componente terrigena fine residua.

Tutta l'area risulta boscata tranne nelle due porzioni in cui si sono innescate delle frane superficiali con superficie di scorrimento probabilmente collocata fra coltre e formazione alterata più consistente sottostante.

Il muro esistente è della tipologia a gravità in pietrame, ed è stato presumibilmente oggetto di diversi interventi nel corso degli anni, quali la realizzazione di un cordolo porta barriera in calcestruzzo a sbalzo, ed il restauro del paramento esterno suggerito dalla variazione del tessuto murario lungo lo sviluppo.

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 9/107

4 PRESTAZIONI RICHIESTE ALLE OPERE

I manufatti a carattere permanente devono possedere caratteristiche tali da garantire prestazioni conformi a opere caratterizzate da:

- Vita nominale: $V_N = 50$ anni (opere ordinarie)
- Classe d'uso: III (Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV)

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 10/107

5 DESCRIZIONE DELLE OPERE E MATERIALI

Il progetto prevede il rafforzamento mediante chiodatura permanente di tipo passivo delle pareti del pendio nell'area indicata in Figura 7 , per un'estensione in planimetria di circa 2600m².

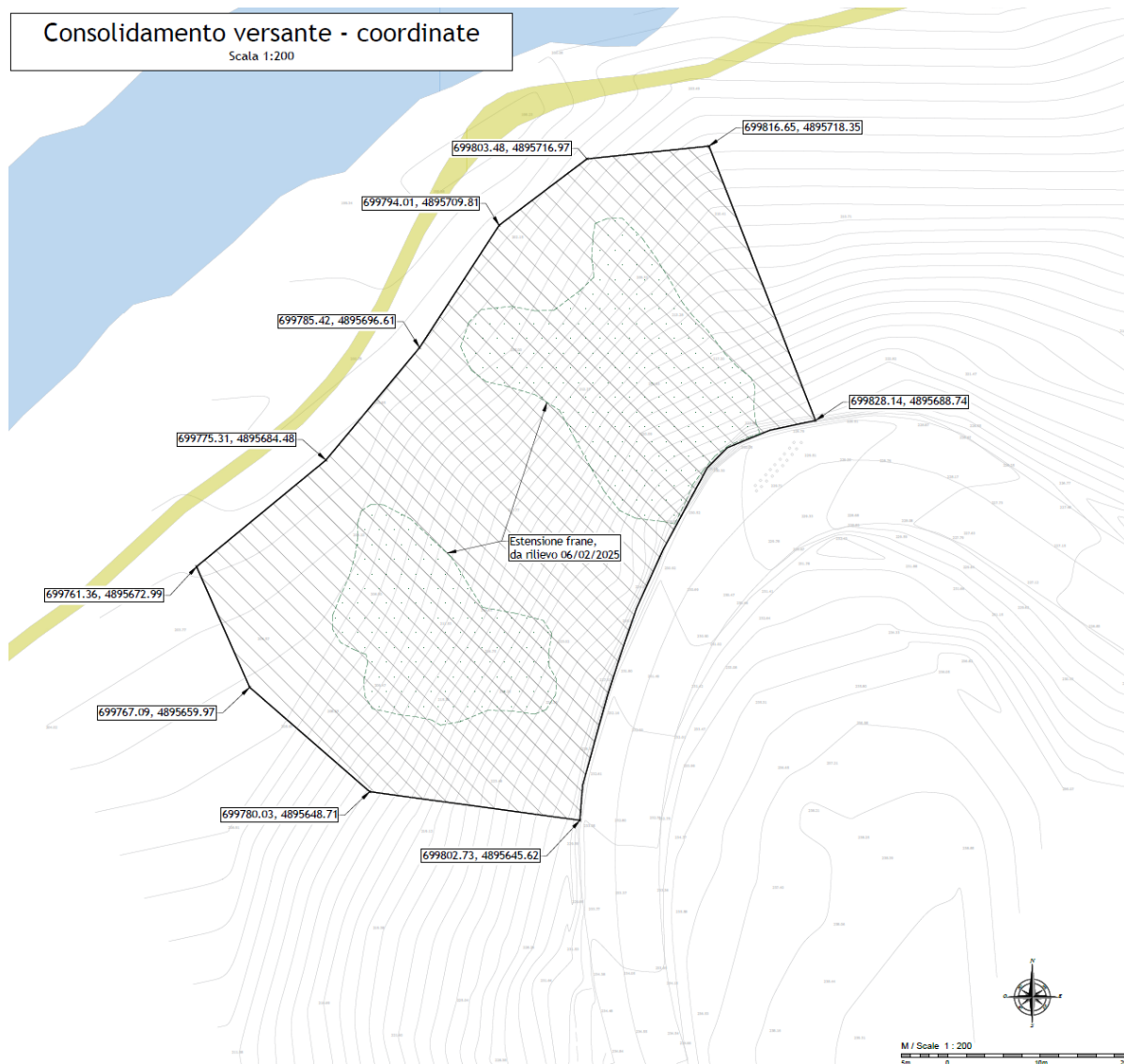


Figura 7 - Planimetria dell'area di intervento

È previsto l'utilizzo di barre di diametro Ø24mm in acciaio di tipo B450C (o superiore), inserite all'interno di perforazioni inclinate di 25° rispetto all'orizzontale e caratterizzate da un diametro 70 mm¹ con conseguente intasamento del foro mediante iniezione a gravità di boiaccia cementizia antiritiro (getto da fondo foro). I chiodi, disposti a maglia quadrata e interasse verticale e orizzontale di 3m, avranno lunghezze (L) pari a 6m. Le barre sono filettate a una delle estremità per permettere la giunzione con gli elementi accessori di testata. Al fine di evitare fenomeni di erosione a seguito del ruscellamento delle acque piovane, l'intervento è completato mediante l'applicazione solidamente ai chiodi di un paramento deformabile costituito da una

¹ In accordo alle indicazioni delle BS 14490, il diametro di perforazione è compatibile con l'utilizzo di un tubo di iniezione di diametro 15 mm.

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 11/107

geostuoia rinforzata tipo **MacMat HS 100 8127G0** ottenuta mediante estrusione del polimero direttamente su di una rete metallica a doppia torsione (con funi in acciaio di rinforzo) caratterizzata da resistenza a trazione minima di 75 kN/m.

Le scarpate oggetto dell'intervento di *rafforzamento corticale* sono caratterizzate da altezza di circa 25m e da una pendenza media, nella parte sommitale, di circa 36°.

Gli elementi principali dell'intervento appena descritti sono rappresentati nelle seguenti figure.

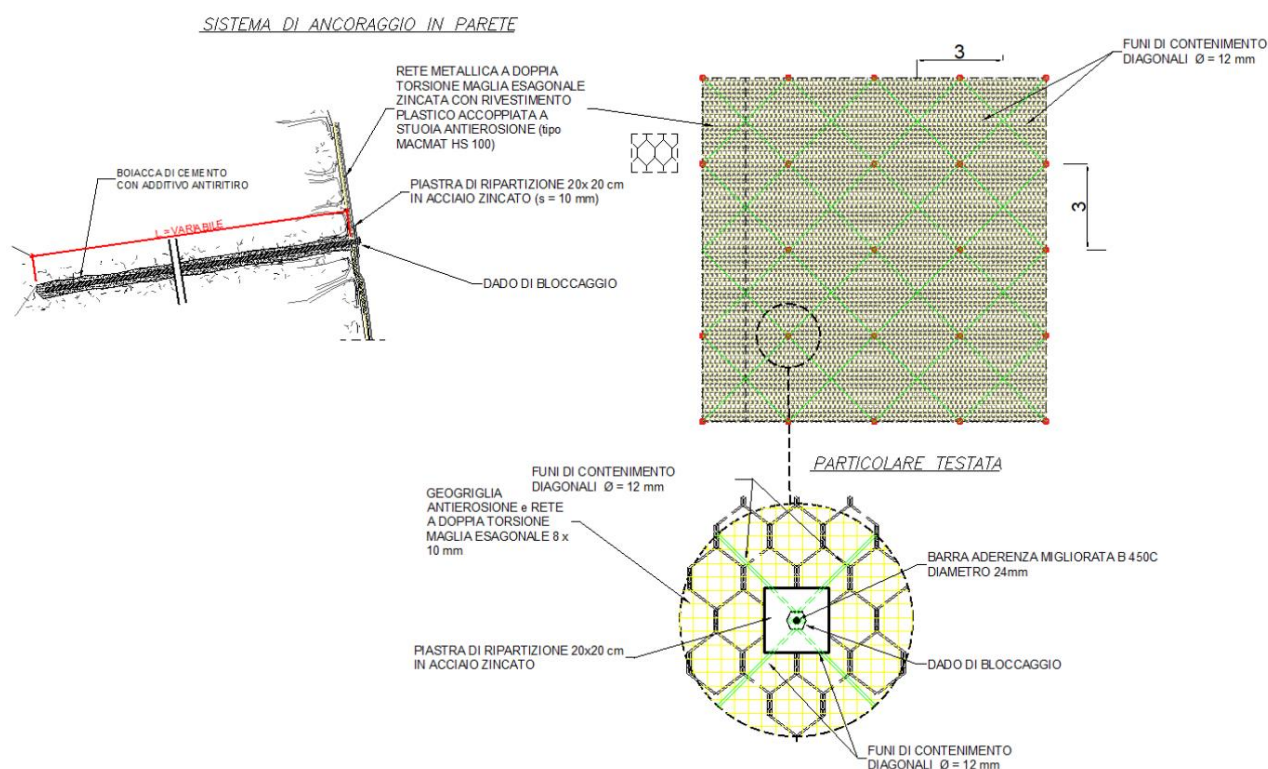


Figura 8 - Componenti fondamentali del sistema di rafforzamento delle scarpate con chiodature.

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 12/107

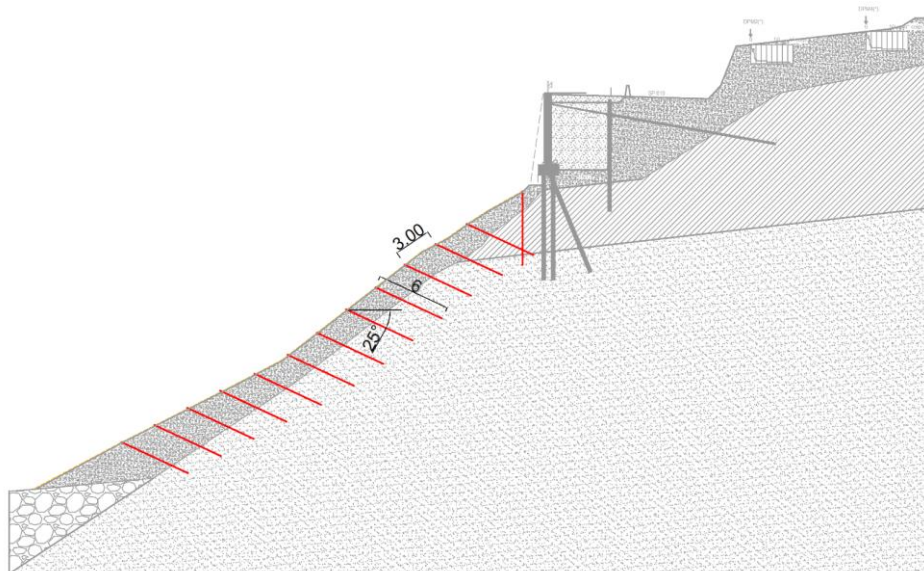


Figura 9 - Schema delle lunghezze di chiodatura lungo l'altezza delle scarpate.

Nel successivo paragrafo si riporta il dettaglio circa le caratteristiche dei materiali considerati.

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 13/107

6 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Nel presente capitolo si definiscono le caratteristiche dei materiali considerati nel progetto delle opere di rafforzamento corticale.

6.1 ACCIAIO PER BARRE DI ANCORAGGIO

Le nuove strutture di ancoraggio sono realizzate con chiodi da roccia tipo barre in acciaio ad aderenza migliorata o a filettatura continua di diametro nominale $\Phi 24\text{mm}$ ($A = 452,4 \text{ mm}^2$), posti in opera secondo una maglia quadrata $3 \times 3\text{m}$.

I chiodi sono in acciaio B450C caratterizzato dalle seguenti caratteristiche meccaniche, definite al §11.3.2.1 delle NTC 2018:

- Tensione di snervamento, valore nominale: $f_{y,nom} = 450,0 \text{ MPa}$
- Tensione di snervamento, valore caratteristico: $f_{yk(5\%)} \geq 450,0 \text{ MPa}$
- Tensione a carico massimo, valore nominale: $f_{t,nom} = 540,0 \text{ MPa}$
- Tensione a carico massimo, valore caratteristico: $f_{tk(5\%)} \geq 540,0 \text{ MPa}$
- Rapporti
 $1,15 \leq (f_t/f_y)_{k(10\%)} < 1,35$
 $(f_y/f_{y,nom})_{k(10\%)} \leq 1,25$
- Allungamento
 $(A_{gt})_{k(10\%)} = 7,5 \%$

Nello svolgimento delle verifiche di sicurezza, la resistenza di progetto dell'acciaio è determinata a partire dal valore nominale della tensione di snervamento ($f_{yk} = f_{y,nom}$), tenendo conto del fattore parziale di sicurezza $\gamma_s = 1,15$.

6.2 ACCIAIO PER PIASTRA DI RIPARTIZIONE

Le piastre sono in acciaio per impieghi strutturali di classe minima **S355 JR** (UNI EN 10025-2) avente le seguenti proprietà meccaniche minime:

- Tensione di snervamento, valore caratteristico: $f_{yk,nom} = 355,0 \text{ MPa}$ ($t \leq 40,0\text{mm}$)
 $f_{yk,nom} = 335,0 \text{ MPa}$ ($40,0 < t \leq 80,0\text{mm}$)
- Tensione di rottura, valore caratteristico: $f_{tk} = 510,0 \text{ MPa}$ ($t < 40,0 \text{ mm}$)
 $f_{tk} = 470,0 \text{ MPa}$ ($40,0 < t \leq 80 \text{ mm}$)

I valori di progetto delle resistenze sono determinati considerando un fattore parziale di sicurezza pari a $\gamma_M = 1,05$, in accordo alle disposizioni di cui alle NTC 2018.

6.3 GEOSTUOIA RINFORZATA IN RETE METALLICA

Per la costituzione del rivestimento della scarpata è previsto l'utilizzo di una geostuoia rinforzata mediante rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale tipo **MacMat HS 100 8127G0** della Maccaferri, marcata CE e avente le seguenti caratteristiche prestazionali:

Geostuoia

- | | |
|---------------------------|--|
| A. Polimero: | Polipropilene |
| B. Massa areica | $450 \pm 30 \text{ g/m}^2$ (EN ISO 6894) |
| C. Punto di rammollimento | $150 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| D. Densità del polimero | 900 kg/m^3 |

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 14/107

E. Resistenza ai raggi UV Stabilizzato

Rinforzo Metallico tipo

F. Tipo:	Rete metallica doppia torsione in Galmac rivestita in polimero		
G. Maglia rete:	8 x 10	mm	
H. Diametro del filo (int./est)	2,7/3,7	mm	
I. Diametro fune (int./est)	6/8	mm	
J. Spessore nom. Rivestimento	0,50	mm	
K. Trattamento acciaio	Rivestimento con lega Zn – Al5%, classe A1.		

Proprietà meccaniche del geocomposito

L. Resistenza a trazione longitudinale	75 ± 5	kN/m	(valore medio)
M. Carico di punzonamento limite	80 ± 10	kN	



Figura 10 - Geostuoia rinforzata in rete metallica tipo MacMat Hs

6.4 FUNI

La rete metallica sarà bloccata in sommità e al piede della scarpata mediante una fune d'acciaio zincato delle seguenti caratteristiche:

- $\varnothing = 16$ mm, (norme UNI EN 10264-2; UNI ISO 2408);
- anima tessile con resistenza nominale dei fili elementari di acciaio non inferiore a 1770 N/mm²;
- carico di rottura minimo di 149.5 kN.

Inoltre, sarà posto in opera un reticolo di funi di contenimento costituito da:

- orditura romboidale in fune metallica $\Phi = 12$ mm di acciaio (norme UNI EN 10264-2; UNI ISO 2408);
- anima tessile con resistenza nominale dei fili elementari di acciaio non inferiore a 1770 N/mm²;
- carico di rottura minimo di 84.1 kN.

6.5 MALTA PER INIEZIONI

Per l'iniezione è previsto l'utilizzo di una miscela cementizia fluida (boiacca), a ritiro compensato e con adeguata resistenza meccanica come di seguito specificato. Tale miscela costituita da cemento, additivi e acqua non dovrà contenere cloruri, polvere di alluminio, coke o altri agenti che provocano espansione mediante formazione di gas aggressivi.

La resistenza alla compressione semplice deve risultare non inferiore a 25 MPa dopo 28 giorni e comunque al momento del collaudo e la massa volumica degli stessi non deve essere inferiore a 18,5 kN/m³.

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 15/107

7 MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

Nel presente capitolo si definiscono modelli geotecnici di riferimento considerati per le analisi delle opere.

7.1 SEZIONI DI CALCOLO

Per lo svolgimento delle verifiche ci si è riferiti a una sezione trasversale presa in corrispondenza del fenomeno di dissesto osservabile a sud dell'area di intervento.

Lo spessore della coltre è stato assunto pari a circa 2m sulla base dell'osservazione del cinematismo verificatosi.

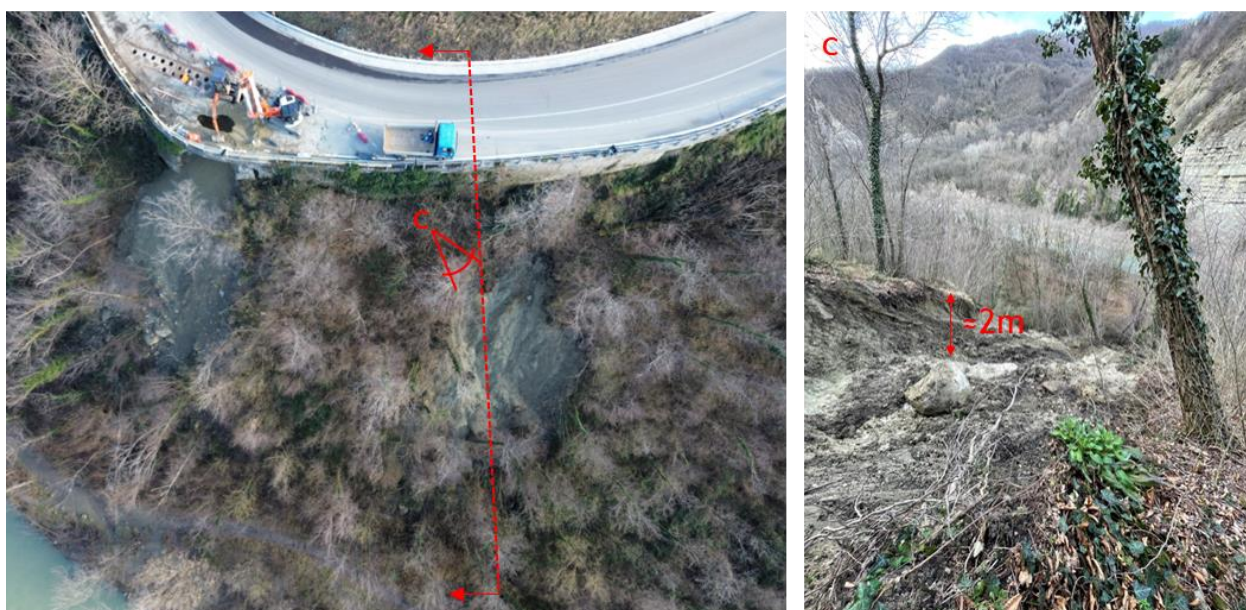


Figura 11 - Sezione di riferimento per le analisi di stabilità corticale

Poiché la sismica a rifrazione permette di escludere la falda all'interno dell'unità UG2 ($V_p < 1500 \text{ m/s}$ nei primi 10m), questa viene considerata presente solo all'interno dell'unità UG1 e delle Alluvioni, a simulazione dell'imbibizione temporanea in occasione degli eventi meteorici.

Nel modello geotecnico non viene, in via cautelativa, considerata la presenza della formazione non alterata (UG3).

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 16/107

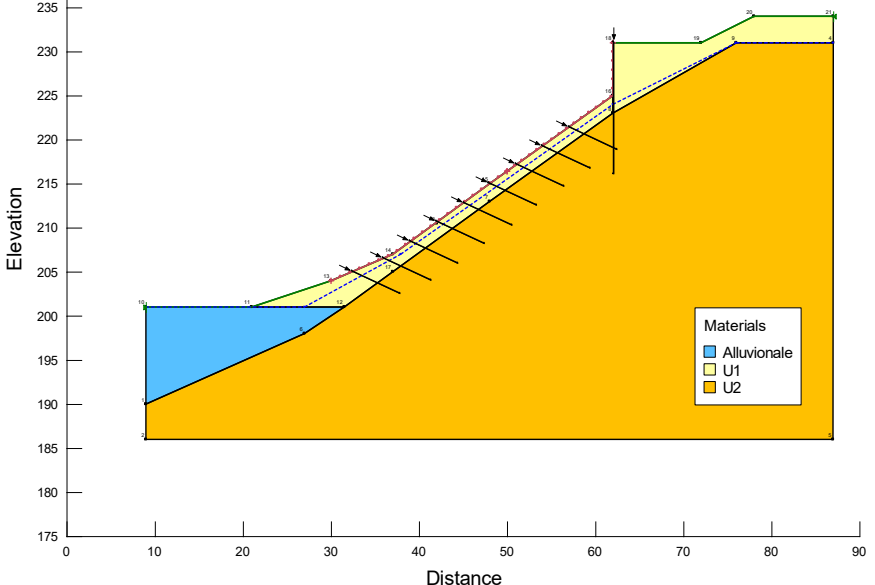
Caratteristiche chiave	SEZIONE DI CALCOLO <u>Legenda</u> UG1: Coltri eluvio-colluviali di copertura UG2: Unità geotecnica 2 (Formazione marnoso arenacea alterata) Alluvioni: Depositi alluvionali del fiume Santerno
H pendio = 25,0 m Spessore U1 s=2m Falda solo in UG1 e alluvioni chiodi: maglia 3x3m L = 6,0m Inclinazione sull'orizz. i= 25°	

Tabella 1 - Sezione di calcolo per le verifiche

7.2 PARAMETRI GEOTECNICI DI RIFERIMENTO PER I MATERIALI

7.2.1 Verifica delle chiodature e della rete

Nella tabella seguente si sintetizzano i parametri geotecnici di riferimento considerati nelle verifiche presentate nella presente relazione in relazione alle scarpate consolidate dalle chiodature.

Unità geotecnica		γ_k	c'_k	ϕ'_k
		[kN/m ³]	[kPa]	[°]
UG1	Unità geotecnica 1 (Coltri eluvio-colluviali)	18,0	8,0	27,0
UG2	Unità geotecnica 2 (Formazione marnoso arenacea alterata)	20,0	20,0	30,0
Alluvioni	Alluvioni del Santerno (parametri di letteratura)	19,0	0,0	35,0
LEGENDA γ_k valore caratteristico del peso dell'unità di volume c'_k valore caratteristico della coesione efficace ϕ'_k valore caratteristico dell'angolo di attrito				

Tabella 2 – Parametri geotecnici di riferimento per le verifiche

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 17/107

In tutti i casi, per la definizione del modello geotecnico di sottosuolo finalizzato alle verifiche degli stati limite dell'opera in progetto, i valori indicati costituiscono una stima ragionata e cautelativa dei corrispondenti valori dei parametri geotecnici, e pertanto, ai sensi del DM 2018 (Norme Tecniche delle Costruzioni), saranno nel seguito considerati con il significato di parametri geotecnici caratteristici.

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 18/107

8 SICUREZZA DELL'OPERA

8.1 QUADRO NORMATIVO

Il progetto è redatto in conformità alle prescrizioni del Decreto Ministeriale Infrastrutture del 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni" nel seguito indicato come NTC2018.

Le verifiche di sicurezza sono svolte secondo il metodo semi-probabilistico con l'applicazione di coefficienti di sicurezza parziali a ogni singola causa di incertezza (sollecitazioni, materiali, resistenze, schemi di calcolo etc.), proporzionati all'influenza e al grado di incertezza di norma attribuibili al parametro considerato.

I dimensionamenti delle opere tengono conto dei possibili Stati Limite Ultimi (SLU) e di esercizio (SLE) per le condizioni statiche e dello Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) e di danno (SLD) per le condizioni sismiche.

8.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE ULTIMI (SLU E SLV)

Per ogni stato limite ultimo è stato verificato il rispetto della condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove E_d è il valore della azione (o dell'effetto dell'azione) e R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico strutturale.

Gli effetti delle azioni di progetto possono essere calcolati applicando il coefficiente di sicurezza parziale direttamente sulle azioni o sull'effetto finale:

$$E_d = E(\gamma_F F_k, X_k / \gamma_M, a_d),$$

$$E_d = \gamma_E E(F_k, X_k / \gamma_M, a_d).$$

Nella quale le diverse notazioni indicano:

- E_d effetti delle azioni di progetto, azioni di progetto
- F_k azioni di progetto caratteristiche
- X_k parametri caratteristici dei materiali
- a_d geometria di progetto
- γ_F coefficienti parziali per le azioni
- γ_E coefficienti parziali per gli effetti delle azioni
- γ_M coefficiente parziali per i materiali

Le NTC2018 forniscono un solo gruppo di valori numerici, valido sia per γ_F che per γ_E .

Le azioni di progetto, E_d , possono essere calcolate in modi distinti che si differenziano per come agisce il coefficiente di sicurezza parziale: sulle azioni, sull'effetto delle azioni o su entrambe.

L'entità delle azioni influenza anche i valori delle resistenze geotecniche di progetto, per le quali la fattorizzazione può avvenire, a sua volta, agendo sui parametri del terreno, sulle resistenze calcolate o su entrambe.

Le resistenze R_d possono essere calcolate in modi distinti che si differenziano per come agisce il coefficiente di sicurezza parziale: sulle azioni, sull'effetto delle azioni o su entrambe. L'entità delle azioni influenza, infatti, anche i valori delle resistenze geotecniche:

$$R_d = R(\gamma_F F_k, X_k / \gamma_M, a_d) / \gamma_R$$

Nella quale le diverse notazioni indicano:

- R_d resistenza di progetto
- F_k azioni di progetto caratteristiche

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 19/107

- X_k parametri caratteristici dei materiali
- a_d geometria di progetto
- γ_F coefficienti parziali per le azioni
- γ_M coefficienti parziali per i materiali (parametri geotecnici dei terreni)
- γ_R coefficienti parziali per le resistenze

Le NTC2018 individuano due diversi approcci progettuali alternativi (Approccio 1 e Approccio 2) che sono stati ripresi dall'Eurocodice 7. Nel primo approccio progettuale (Approccio 1, DA1) le verifiche si eseguono con due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti, ognuna delle quali può essere critica per differenti aspetti dello stesso progetto. Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2, DA2) le verifiche si eseguono con un'unica combinazione di gruppi di coefficienti. Con riferimento alle verifiche pertinenti per le opere in esame, per ciascuna combinazione prevista i coefficienti parziali definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3) sono quelli indicati nella Tabella 3. Le NTC2018 prevedono che le verifiche degli stati limite ultimi in presenza di azioni sismiche siano sempre eseguite ponendo pari a 1 i coefficienti parziali sulle azioni (γ_F) e impiegando le resistenze di progetto con i coefficienti parziali γ_R indicati nel Capitolo 6. Per i valori di a_g , F_0 e TC^* , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B alle NTC2018 (o, se del caso alle risultanze di analisi di RSL). Inoltre, i carichi variabili vengono combinati utilizzando i coefficienti di combinazione indicati al §2.5.2 delle NTC2018.

			Stati limite ultimi Approccio 1 (Combinazione 1)			Stati limite ultimi Approccio 1 (Combinazione 2)			Stati limite ultimi Approccio 2		
			A1	M1	R1	A2	M2	R1 R2*	A1	M1	R3
Coefficienti parziali sulle Azioni (A)	Permanenti	Sfav.	1,30			1,00			1,30		
		Fav.	1,00			1,00			1,00		
	Variabili	Sfav.	1,50			1,30			1,50		
Coefficienti parziali sui parametri geotecnici (M)	$\tan\phi'$			1,00			1,25			1,00	
	Coesione efficace			1,00			1,25			1,00	
	Resistenza non drenata			1,00			1,40			1,00	
	Peso dell'unità di volume			1,00			1,00			1,00	
Coefficienti parziali sulle resistenze (R)	Ancoraggi (sfilamento)	Temporanei									1,10
		Permanenti									1,20
	Paratie	Resistenza elementi strutturali			1,00						
		Atti di moto rigido intorno a un punto dell'opera						1,00			
		Stabilità globale						1,10*			
	Fronti di scavo	Resistenza del terreno						1,10*			
	Pali Trivellati	Resistenza alla base									1,35
		Res. laterale in compressione									1,15
		Res. Laterale in trazione									1,25

(*) In condizioni sismiche, il valore del coefficiente parziale sulla resistenza del terreno da considerare nelle verifiche di stabilità globale è pari a $R2 = 1,20$.

Tabella 3 – Coefficienti parziali previsti dalla NTC 2018

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 20/107

Per la determinazione delle resistenze caratteristiche degli ancoraggi relative alle verifiche geotecniche (GEO) si è fatto riferimento ai fattori di correlazione riportati in Tab. 6.6.III della NTC 2018.

Tabella 8.4 Fattori di correlazione per la determinazione della resistenza caratteristica degli ancoraggi in funzione del numero di verticali indagate

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	≥5
ζ_3	1,80	1,75	1,70	1,65	1,60
ζ_4	1,80	1,70	1,65	1,60	1,55

Tabella 4 – Fattori di correlazione

Con riferimento alla capacità degli elementi strutturali (STR), il calcolo delle resistenze è stato condotto considerando il seguente set di fattori parziali sulla resistenza dei materiali:

γ_c (calcestruzzo)	γ_s (acciaio per c.a.)
1,50	1,15

Tabella 5 – Fattori parziali

8.3 APPROCCI E COMBINAZIONI UTILIZZATE NELLE VERIFICHE

Nell'ambito delle scelte consentite dalla Norma, le verifiche di sicurezza in condizioni statiche e sismiche sono eseguite come di seguito specificato:

- per la verifica della stabilità globale delle opere: Approccio 1 comb. 2 (A2+M2+R2);
- per la verifica a rottura e sfilamento dei chiodi (stabilità interna): Approccio 2 (A1+M1+R3).

8.4 STATI LIMITE PERTINENTI PER LE OPERE

Gli stati limite fondamentali per l'opera sono:

- stato limite ultimo per raggiungimento della capacità strutturale del chiodo;
- stato limite ultimo per sfilamento del chiodo;
- stato limite ultimo per instabilità globale del sistema;
- stato limite ultimo per rottura del rivestimento (instabilità corticali).

La verifica di stabilità globale è una verifica di tipo "esterno". Le verifiche a rottura/ sfilamento dei chiodi e rottura della rete di rivestimento sono verifiche di tipo interno.

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 21/107

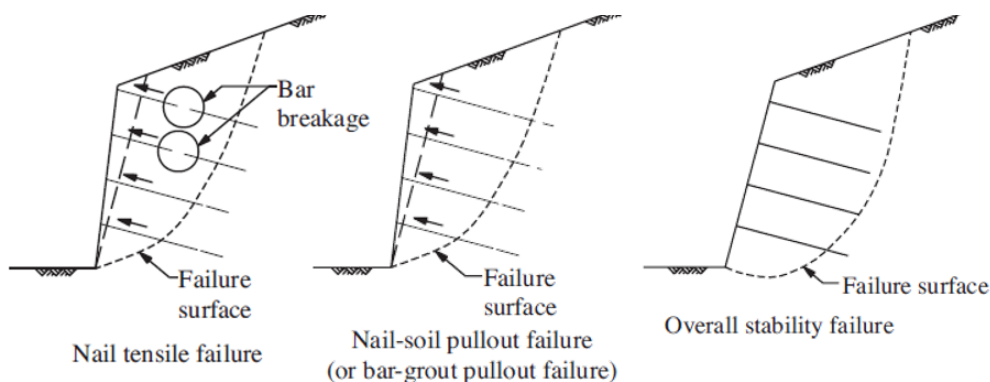


Figura 12 - Principali stati limite ultimi per pareti chiodate (Stabilità interna ed esterna)

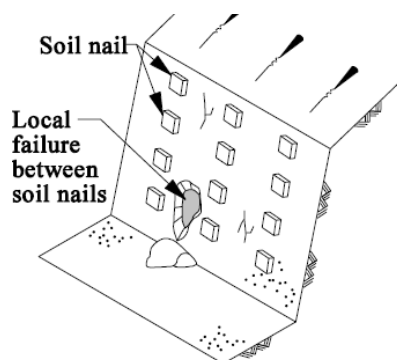


Figura 13 - Stato limite per instabilità localizzate nella zona corticale (Stabilità interna)

8.5 AZIONI SULLE OPERE

Le azioni considerate nel progetto, oltre a quelle dovute al peso proprio (e alla spinta) del terreno, sono le azioni sismiche.

Le NTC prescrivono che sotto l'effetto delle azioni sismiche di progetto sia garantito il rispetto degli stati limite ultimi e degli stati limite di esercizio individuati con riferimento alle prestazioni richieste alla costruzione nel suo complesso che, oltre che agli elementi strutturali in elevazione e in fondazione, quelli non strutturali e gli impianti, include il volume significativo di terreno.

L'effetto del sisma sulle opere geotecniche si manifesta come sovrapposizione di più fenomeni non necessariamente concomitanti e generalmente schematizzabili come:

- azioni inerziali agenti sulle masse di terreno;
- se del caso, effetti indotti dalla liquefazione.

Nel caso delle opere in progetto, gli effetti del sisma (E) si manifestano esclusivamente sotto forma di azioni inerziali e sono modellati secondo l'approccio pseudo – statico, ovvero secondo forze statiche equivalenti applicate sia agli elementi strutturali (forze di inerzia), che ai volumi di terreno interagenti con l'opera, in linea di principio definite dal prodotto fra i pesi delle singole masse ed opportuni coefficienti sismici (orizzontali e verticali).

Tali forze pseudo statiche vanno a modificare l'entità della spinta delle terre e in generale le azioni già presenti in campo statico.

Nel caso delle paratie, possono essere trascurati gli effetti inerziali sulle masse che le costituiscono (NTC 2018 §7.11.6.3.1).

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 22/107

La quantificazione degli effetti inerziali appena indicati implica la conoscenza delle accelerazioni sismiche per il sito di costruzione, accelerazioni che si ottengono a partire pericolosità sismica di base, tenendo conto delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che condizionano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica di base è definita per ciascuno stato limite in relazione a prefissati periodi di ritorno del sisma (T_R), funzione della probabilità di superamento (P_{VR}) nel periodo di riferimento (V_R). A ciascuno stato limite la norma attribuisce uno specifico valore di P_{VR} . Il periodo di riferimento V_R è invece definito in relazione alla Vita nominale e alla Classe d'Uso dell'opera

L'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi eseguite secondo le modalità descritte al §7.11.3 della Norma o in alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e topografiche siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II della Norma, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_{S30} . Per condizioni topografiche complesse la norma richiede la predisposizione di specifiche analisi di risposta sismica locale, analisi che possono essere utilizzate anche qualora si voglia aumentare il grado di accuratezza nella previsione dei fenomeni di amplificazione.

Nel caso delle opere in esame la risposta sismica locale è stata definita con riferimento all'approccio semplificato, tenendo conto anche di quanto indicato negli studi di microzonazione sismica vigenti per il territorio comunale di Castel del Rio (in termini di fattore di amplificazione stratigrafica).

Coerentemente con l'ubicazione geografica del sito (§3) con i livelli prestazionali richiesti (§4) sono state considerate:

- Vita nominale dell'opera: $V_N = 50$ anni;
- Classe d'uso dell'opera: III (Coefficiente d'uso $C_u = 1,5$)
- Periodo di riferimento per l'azione sismica: $V_R = V_N \times C_u = 75$ anni;
- Categoria di sottosuolo: B
- Categoria topografica: T4 ($h/H = 1,00$).

In Tabella 6 si sintetizzano i valori delle accelerazioni massime attese allo SLD e allo SLV:

		SLV ($T_R = 712$ anni)				SLD ($T_R = 75$ anni)			
Categoria sottosuolo	Categoria Topografica	Accelerazione massima attesa dalla pericolosità sismica di base (a_g/g)	Coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_s)	Coefficiente di amplificazione topografica (S_T)	Accelerazione massima attesa a piano campagna ($a_{max}/g = S_s \times S_T \times a_g/g$)	Accelerazione massima attesa dalla pericolosità sismica di base (a_g/g)	Coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_s)	Coefficiente di amplificazione topografica (S_T)	Accelerazione massima attesa a piano campagna ($a_{max}/g = S_s \times S_T \times a_g/g$)
B	T4	0,233	1,20 ^(*)	1,40	0,391	0,104	1,20	1,40	0,175
La pericolosità sismica di base è determinata per le coordinate ISTAT del sito. (*) NTC2018 - SLV: $S_s = 1,164$; MZS Castel del Rio (2017) MOPS Zona 18 – FPGA = 1,200. Pertanto, l'amplificazione stratigrafica allo SLV è stata valutata cautelativamente con riferimento al fattore riportato nella MZS vigente.									

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 23/107

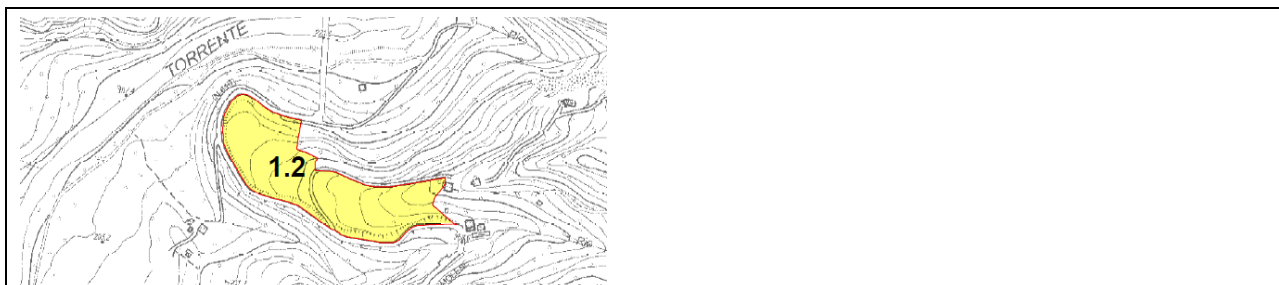


Tabella 6 - Definizione delle accelerazioni massime attese per il sito di costruzione

Adottando il metodo pseudostatico nello svolgimento delle analisi di interazione terreno-struttura e di stabilità, l'azione del sisma è rappresentata da una forza statica equivalente, di intensità costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile.

Le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come $F_h = k_h W$ e $F_v = k_v W$, con k_h e k_v rispettivamente coefficienti sismici orizzontale e verticale.

Per le **verifiche di stabilità globale** i coefficienti sismici sono definiti dalle relazioni:

$$k_h = \beta a_{max}/g$$

$$k_v = \pm 0,50 k_h$$

Per la verifica della stabilità globale **del pendio oggetto dell'intervento di consolidamento corticale** a valle del muro in progetto si considera $\beta_s = 0,28$ (tab.7.11.1 NTC 2018), pertanto:

$$\text{SLV: } k_h = \beta_s a_{max}/g = 0,28 \times 0,391 = \mathbf{0,110}$$

$$k_v = \pm 0,50 k_h = \mathbf{\pm 0,055}$$

8.6 DURABILITÀ DELLE OPERE

In accordo alle possibilità indicate dalla norma EN 14490, Per garantire le prestazioni dell'opera durante tutto l'arco della sua vita nominale, nelle verifiche è stato considerato un degrado dello spessore resistente delle barre cave di armatura (δ) in accordo ai tassi di corrosione indicati al §4 dell'Eurocodice 3-5.

Nel caso di micropali a barra cava riempiti di malta cementizia è possibile applicare i tassi di corrosione esclusivamente sul lato esterno dell'armatura.

Per gli elementi strutturali in esame, riconducendosi al caso di chiodi inseriti all'interno di terreni per lo più naturali la perdita di spessore nell'arco della vita nominale ($V_N = 50$ anni) raccomandata vale:

Terreni naturali: $\delta = \mathbf{0,60 \text{ mm}}$

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 24/107

Table 4-1: Recommended value for the loss of thickness [mm] due to corrosion for piles and sheet piles in soils, with or without groundwater

Required design working life	5 years	25 years	50 years	75 years	100 years
Undisturbed natural soils (sand, silt, clay, schist,)	0,00	0,30	0,60	0,90	1,20
Polluted natural soils and industrial sites	0,15	0,75	1,50	2,25	3,00
Aggressive natural soils (swamp, marsh, peat, ...)	0,20	1,00	1,75	2,50	3,25
Non-compacted and non-aggressive fills (clay, schist, sand, silt,)	0,18	0,70	1,20	1,70	2,20
Non-compacted and aggressive fills (ashes, slag,)	0,50	2,00	3,25	4,50	5,75
Notes: 1) Corrosion rates in compacted fills are lower than those in non-compacted ones. In compacted fills the figures in the table should be divided by two. 2) The values given for 5 and 25 years are based on measurements, whereas the other values are extrapolated.					

Figura 14 - Perdite di spessore per corrosione consigliate da EC3-5

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 25/107

9 METODI DI CALCOLO CONSIDERATI PER L'ANALISI E LA VERIFICA DELLE OPERE

Tutte le analisi in condizioni statiche e sismiche (a eccezione delle verifiche relative alla capacità della rete di rivestimento) sono state condotte avvalendosi del codice di calcolo SLOPE_W, sviluppato prima in ambito universitario e poi, a partire dagli anni '80, dalla GEO-SLOPE International di Calgary.

Le analisi sono basate sul metodo dell'equilibrio limite, dove un corpo di terreno isolato da una possibile superficie di rottura viene messo in equilibrio ipotizzando che la resistenza mobilitata sia al più corrispondente a quella limite offerta dai materiali coinvolti.

Il corpo di terreno, generalmente schematizzato come un insieme di strisce di spessore finito, viene ipotizzato rigido. Ciascuna striscia scambia con quelle adiacenti azioni che dipendono dalla natura delle ipotesi semplificative adottate per risolvere tutte le incognite del problema.

Ne discendono diversi metodi di soluzione, più o meno complessi, ma che hanno in comune le seguenti ipotesi:

- il coefficiente di sicurezza è definito come rapporto tra resistenza al taglio e sforzo di taglio mobilitato lungo la ipotetica superficie di rottura;
- il coefficiente di sicurezza (FS) è costante in tutti i punti della superficie di rottura;
- la condizione di collasso implica il raggiungimento della resistenza limite contemporaneamente lungo l'intera superficie di rottura.

La formulazione adottata per il calcolo è quella di Morgenstern e Price. Il metodo è rigoroso in quanto implica il completo soddisfacimento di tutte le condizioni di equilibrio del corpo di terreno.

Il codice di calcolo consente inoltre di tenere debito conto di superfici di scorrimento di forma diversa (circolari e irregolari), di eventuali sovraccarichi, e delle forze effettivamente sostenute dagli ancoraggi passivi.

Per questi ultimi, in particolare, si assume che il loro contributo stabilizzante sia pari al minore fra la resistenza strutturale (F_{yd}) e la resistenza a sfilamento disponibile, la quale dipende dalla lunghezza del tratto attivo del chiodo e, se del caso, del suo tratto passivo. Nel caso in esame, essendo previste delle opportune piastre di testa del paramento, si considererà possibile lo sfilamento solamente nella zona del cinematismo esterna al volume instabile).

Nel caso siano presenti degli elementi di rinforzo, per un dato cinematismo, il fattore di sicurezza (FoS) competente può essere definito in modi diversi a seconda dell'entità della mobilitazione della resistenza del terreno e del rinforzo.

Nel progetto in esame, le analisi sono state condotte attivando l'opzione "FS dependent - NO" nella definizione delle caratteristiche di resistenza del chiodo: sotto tale impostazione, si assume una mobilitazione immediata e completa delle risorse del chiodo (in quanto il chiodo in acciaio è rigido relativamente al terreno) e il fattore di sicurezza del cinematismo è definibile in modo tale che alla base di un generico concio:

$$S_m = \frac{S_{soil}}{FS} + S_{reinforcement}$$

Dove S_m rappresenta la resistenza al taglio mobilitata dal sistema, mentre S_{soil} e $S_{reinforcement}$ sono rispettivamente il contributo di resistenza a taglio disponibile dal terreno e la resistenza di progetto del rinforzo.

Sotto tale formulazione, nel calcolo dell'equilibrio per il singolo cinematismo, il software considererà come forza di sfilamento disponibile (pull-out force):

$$PF = \frac{\tau_{Rk} \cdot \pi \cdot D_S}{\gamma_R \cdot S} \cdot l$$

Nella quale:

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 26/107

- τ_{Rk} è la resistenza tangenziale caratteristica a sfilamento ($\tau_{aderenza}/\zeta$);
- D_s è il diametro della perforazione;
- s è la spaziatura dei chiodi;
- l è la lunghezza attiva del chiodo, ovvero la lunghezza del chiodo a monte della superficie di scivolamento;
- γ_R è il fattore parziale di sicurezza sulla resistenza a sfilamento dell'ancoraggio (per ancoraggi definitivi $\gamma_R = 1,2$);
- $\frac{\tau_{Rk} \pi D_s}{\gamma_R s}$ è la resistenza unitaria a sfilamento di progetto del chiodo (pull-out resistance).

Se si parla della resistenza strutturale del chiodo, il valore considerato disponibile è pari a (FTC):

$$FTC = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{s}$$

Ovviamente nel calcolo della stabilità il codice di calcolo considera come azione stabilizzante da parte del chiodo il minore fra la resistenza a sfilamento e la resistenza strutturale.

Per la verifica delle pareti chiodate secondo il metodo dell'equilibrio limite è necessario distinguere fra cinesimi di collasso di tipo "esterno" e cinesimi di collasso tipo "interno". Nel presente progetto come criterio per la classificazione dei due casi si considera quello indicato dalle norme americane e rappresentato in Figura 15.

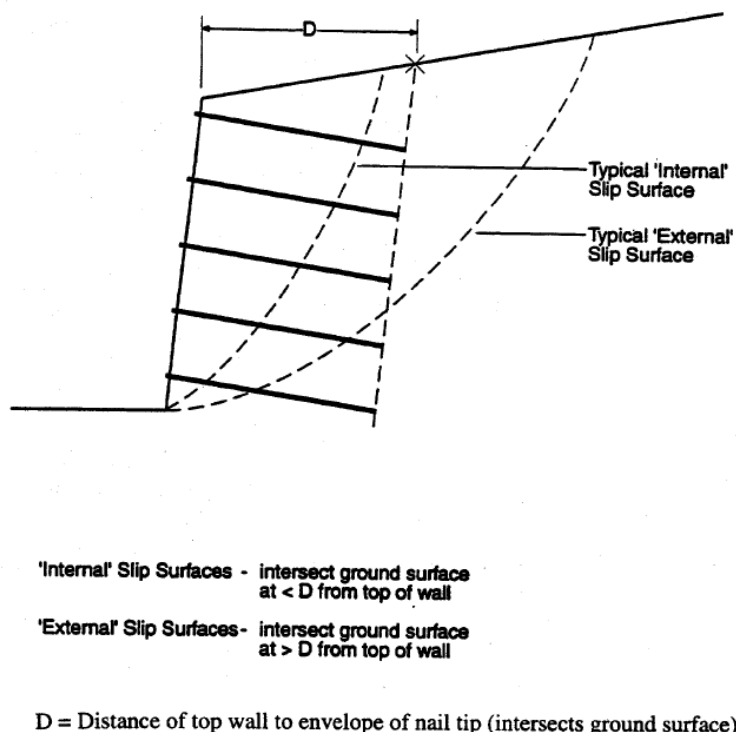


Figura 15 - Pareti chiodate: classificazione delle superfici di scivolamento (da FHWA 1998)

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 27/107

9.1 MODALITÀ DI CALCOLO PER LA VERIFICA DELLA RETE DI RIVESTIMENTO

La verifica della capacità del sistema di rivestimento della scarpata (rete) di garantire la sicurezza nei confronti di eventuali distacchi corticali di materiale è stata eseguita con l'ausilio del software web Mac-S design, distribuito dalle Officine Macceferri (<https://macs-design.maccaferri.com>).

Il programma di calcolo si basa su un processo di calcolo ibrido nel quale l'azione stabilizzante fornita dall'intervento corticale è espressa in funzione dello spostamento relativo suolo – struttura, mentre l'equilibrio complessivo della massa di materiale corticale viene analizzato con il metodo dell'equilibrio limite. La progettazione della rete e degli ancoraggi si basa sul sistema di interazione terreno – maglia attraverso l'utilizzo di una curva caratteristica $q(U_N)$, ovvero di una relazione fra la pressione media mobilitata al contatto parete-terreno e lo spostamento del terreno in direzione normale al fronte di scavo. Tale relazione è ovviamente dipendente dalle caratteristiche meccaniche della rete, del terreno interagente e dalla geometria del problema ed è definita a valle di analisi specifiche sia numeriche che di laboratorio:

$$q(U_N) = F(U_N) \cdot \frac{\min(1, L_a/i_L)}{i_L \times i_L}$$

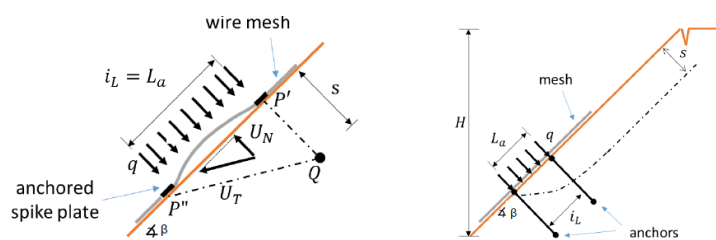
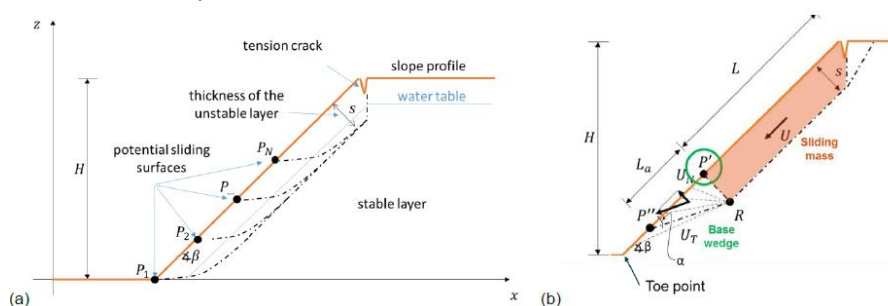


Figura 16 - Curva caratteristica del sistema di rivestimento.

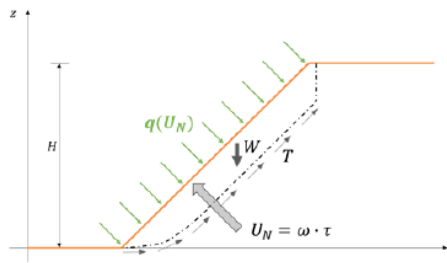
La procedura di calcolo affrontata dal codice di calcolo è articolata secondo le seguenti fasi principali:

- Analisi di stabilità del volume corticale di terreno potenzialmente instabile e definizione del minimo fattore di sicurezza in assenza del rivestimento e del relativo campo di spostamento $U(x, z)$; l'analisi è condotta secondo il metodo dell'equilibrio limite definendo uno spessore s della massa potenzialmente instabile e considerando la presenza di un cuneo stabilizzante di base.



- Se il fattore di sicurezza critico valutato al punto precedente è inferiore del minimo accettato in progetto, allora si definisce l'azione di confinamento $q = q(U_N)$ che la rete deve esercitare per garantire la stabilizzazione del volume instabile secondo il margine di sicurezza definito dal progettista;

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 28/107



- Scelta della rete di rinforzo e definizione delle caratteristiche dei chiodi; Definizione della curva caratteristica della rete selezionata e analisi di stabilità con calcolo del tasso di lavoro richiesto alla rete per garantire il fattore di sicurezza di progetto.
- Valutazione delle lunghezze di chiodo necessarie a garantire l'ancoraggio della rete.

Nel presente progetto, lo spessore della zona potenzialmente instabile è stato assunto, coerentemente con la geometria del profilo della scarpata e delle evidenze geomorfologiche presenti in sito, di altezza pari a 2,0 m ($s=1,65\text{m}$); si è cautelativamente considerata una altezza di falda pari ad 0,7m (Figura 17) all'interno delle coltri (UG1).

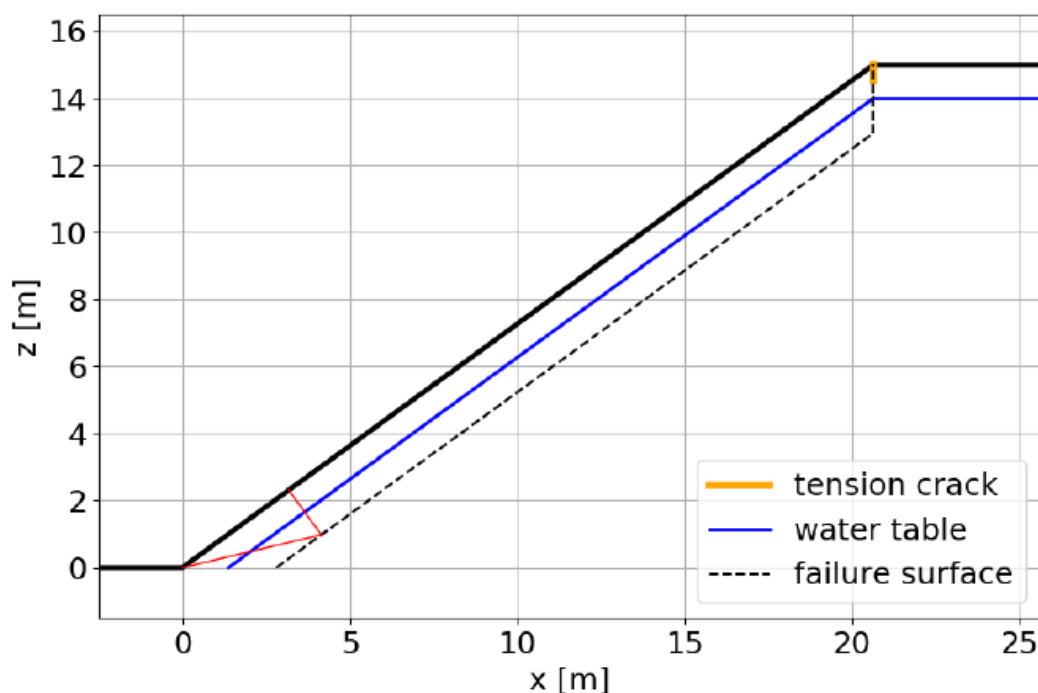


Figura 17 - Schema di riferimento per la verifica della rete di rivestimento

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 29/107

10 PRESTAZIONI DI RIFERIMENTO PER I CHIODI

Nel presente capitolo vengono definite le prestazioni dei chiodi nei termini di resistenza strutturale e allo sfilamento, necessarie per lo svolgimento delle analisi numeriche e conseguenti verifiche della sicurezza.

10.1 RESISTENZA STRUTTURALE

I chiodi in progetto sono costituiti da barre in acciaio con diametro pari a 24 mm e qualità dell'acciaio B450C (f_{yk} pari a 450 N/mm²).

L'area resistente della barra è determinata riducendo la sezione nominale secondo tasso di corrosione suggerito dall'EC3-5 pari a 0,60mm, e relativo a elementi metallici inseriti all'interno di terreni naturali per una vita nominale di 50 anni (v.§8.6).

Pertanto:

- Diametro nominale della barra	Φ	= 24,0	mm
- Area resistente iniziale (integra)	A	= 452,4	mm ²
- Perdita di spessore per corrosione	δ	= 0,60 ($V_N = 50$ anni)	mm
- Diametro corroso	Φ_{corr}	= 24 - 2 × 0,6 = 22,8	mm
- Area resistente residua	A_{res}	= 408,3	mm ²

E dunque il valore della resistenza a **trazione del chiodo** vale:

$$F_{yd} = A_{res} f_{yk} / \gamma_s = 408,3 \text{ mm}^2 \times 450 \text{ N/mm}^2 / 1,15 = \mathbf{159,7 \text{ kN}}.$$

10.2 RESISTENZA ALLO SFILAMENTO

Per la determinazione della resistenza unitaria di interfaccia fra il terreno di fondazione (e il bulbo di ancoraggio (q_s)) si è fatto riferimento all'abaco di Bustamante & Doix di Figura 18 per il caso di ancoraggi realizzati con iniezione globale in unica soluzione nell'ipotesi di sabbie e ghiaie moderatamente addensate.

La resistenza unitaria di interfaccia terreno/bulbo di ancoraggio adottata nelle successive calcolazioni è cautelativamente pari a **100 kPa**.

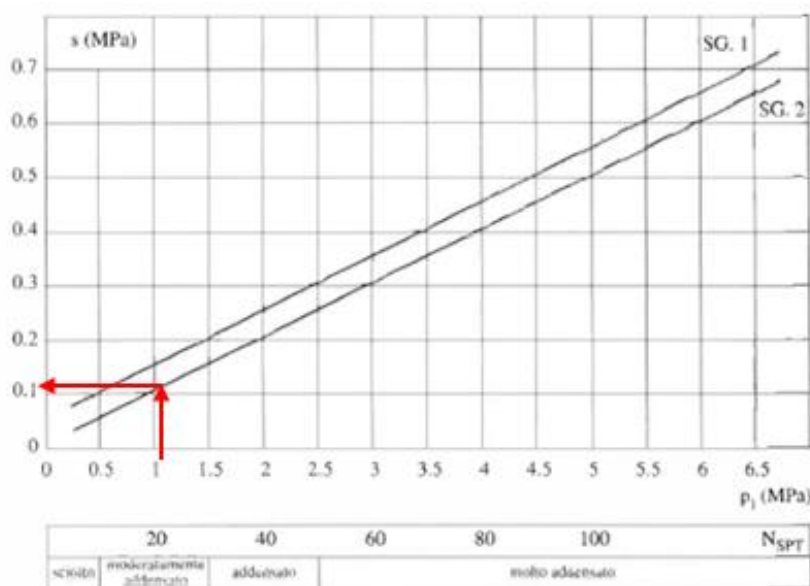


Figura 18 - Abaco di Bustamante e Doix (1985) per il calcolo della resistenza tangenziale di aderenza per sabbie e ghiaie

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 30/107

Nota la resistenza unitaria, la resistenza R_{ac} allo sfilamento per metro di chiodo si ottiene in funzione della superficie laterale attraverso un coefficiente di guadagno in diametro che dipende dalla natura del terreno di fondazione e dalle modalità costruttive,

$$R_{ac} = \pi D_s \alpha q_s = 22,0 \text{ kN/m}$$

con:

D_s è il diametro nominale del foro	70	mm;
α è il coefficiente di guadagno in diametro	1,0	
q_s è la resistenza unitaria all'interfaccia bulbo di fondazione-terreno	100	kPa.

La resistenza caratteristica R_{ak} a sfilamento per metro di chiodo viene determinata assumendo un coefficiente di correlazione $\xi_{a3} = 1,7$ (indagini limitate) come:

$$R_{ak} = R_{ac} / \xi_{a3} = 12,9 \text{ kN/m}$$

In conclusione, la resistenza di progetto (R_{ad}) viene determinata dividendo la resistenza caratteristica per il coefficiente di sicurezza $\gamma_R = 1,20$ (ancoraggi permanenti):

$$R_{ad} = R_{ak} / \gamma_R = 10,8 \text{ kN/m}$$

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 31/107

11 ANALISI NUMERICHE DELLE OPERE IN PROGETTO

In questo paragrafo si riassumono le caratteristiche salienti della modellazione SLOPE/W utilizzata per le analisi di stabilità interna ed esterna.

I modelli di calcolo sono stati costruiti secondo le geometrie notevoli riportate al §7.1.

I terreni presenti nel volume significativo sono caratterizzati dai parametri geotecnici caratteristici dichiarati al §7.

Nel verificare la stabilità si trascura, a favore di sicurezza, l'azione di taglio offerta dai chiodi. Lato paramento esterno si considera che la presenza delle piastre che evitano lo sfilamento.

Nel software i chiodi sono modellati mediante elementi di tipo *nail* aventi le caratteristiche indicate nella tabella seguente e coerentemente a quanto definito al §10.

Tipo	ODF Dependent	Nail Spacing	Pullout Resistance ^(*)	Bond Diameter	Tensile capacity	Anchorage
	[Y/N]	[m]	[kPa]	[m]	[kN]	[Y/N]
Nail	No	3	49 ^(*)	0,07	159.7	Yes

^(*) Pullout resistance = 100 kPa / (1,70 x 1,20) = 49,0 kPa

Tabella 7 - Principali parametri in input per i rinforzi

Le analisi sono state eseguite impostando gli opportuni fattori parziali sui parametri geotecnici previsti dalla Norma.

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 32/107

12 VERIFICHE GEOTECNICHE E STRUTTURALI

Nel presente capitolo si riporta il dettaglio delle verifiche geotecniche e strutturali relative agli interventi previsti per il consolidamento del versante. Le verifiche sono eseguite riferendosi alla sezione di calcolo ritenuta rappresentativa dell'area e indicata alla precedente Tabella 1.

12.1 CHIODATURA

12.1.1 Stabilità globale pre-intervento

In Figura 19 si presenta la superficie di scorrimento critica pre-intervento, coerente con le evidenze geomorfologiche e con le conseguenze degli eventi meteorici pregressi. Il pendio si presenta in condizioni di equilibrio precario non appena la falda agente nell'unità U1 raggiunge 1m di altezza

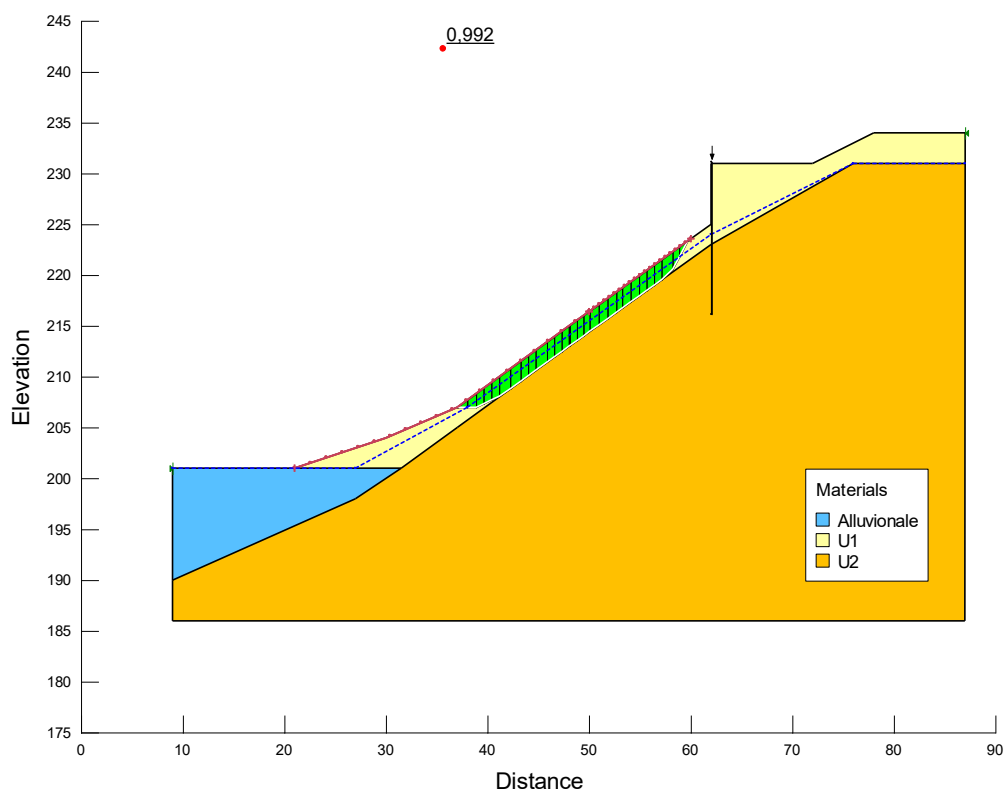


Figura 19 - Sup. di scorrimento critica in condizioni pre-intervento

12.1.2 Stabilità globale

In Figura 20 si presenta la superficie di scorrimento critica per la stabilità globale della scarpata consolidata in condizioni statiche SLU (A2+M2). Il rapporto R/E_d risulta essere pari a **1,23 > 1,10** ✓ e pertanto la verifica di sicurezza è soddisfatta.

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 33/107

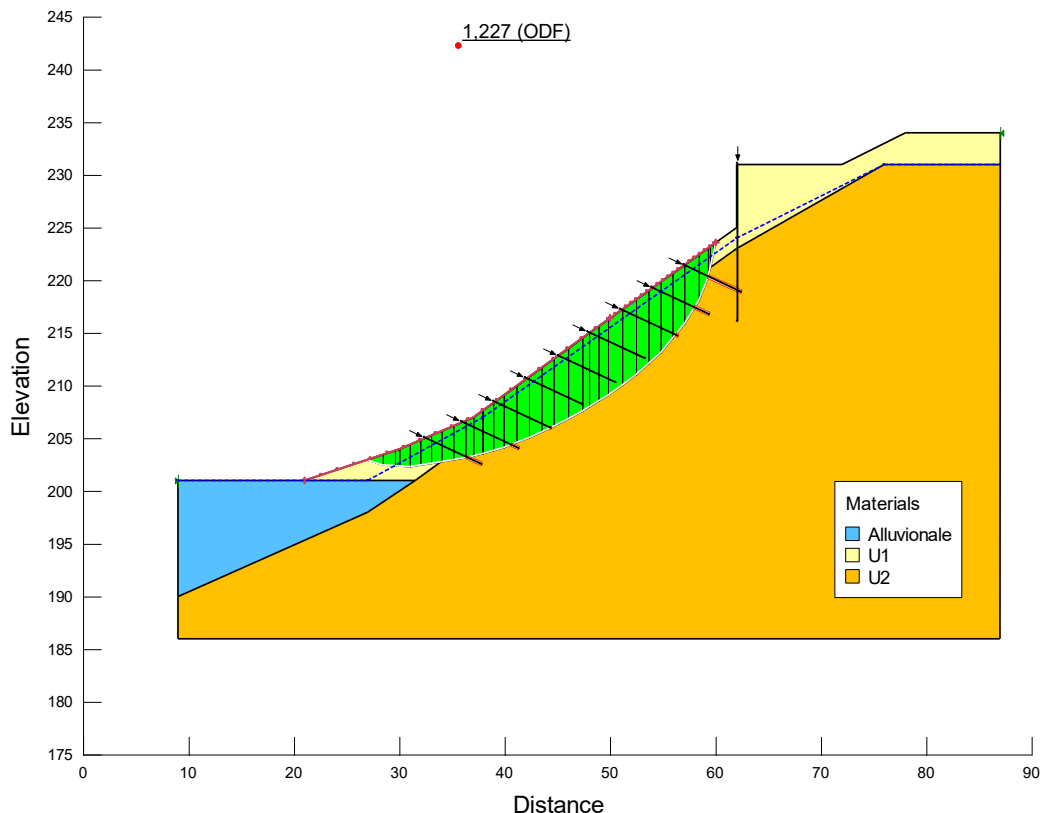


Figura 20 - Sup. di scorrimento critica in condizioni statiche (SLU)

In Figura 21 si presentano invece le superfici critiche per la stabilità globale in condizioni sismiche SLV (A2+M2, con fattori parziali posti pari ad 1,0), rispettivamente relative ai due possibili versi del sisma verticale. Il rapporto R/E_d minimo risulta essere pari a **1,21 > 1,20** ✓ e pertanto la verifica di sicurezza è soddisfatta.

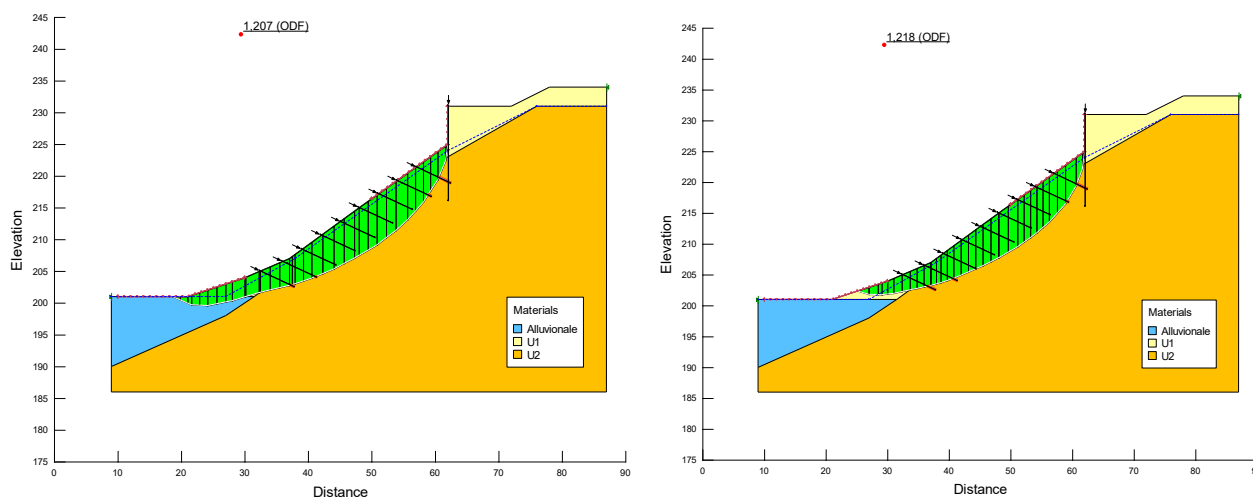


Figura 21 - Sup. di scorrimento critica in condizioni sismiche SLV: (a sx) $k_h=0,11$; $k_v = - 0,055$; (a dx) $k_h=0,110$; $k_v = +0,055$

In **Tabella 8** si presenta la sintesi delle verifiche di sicurezza eseguite per la scarpata in oggetto. Le verifiche risultano tutte soddisfatte secondo i margini di sicurezza prescritti dalla Norma nazionale.

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 34/107

Combinazione	R/E _d
SLU	1,23 > 1,10 ✓
SLV	1,21 > 1,20 ✓

Tabella 8 - Verifiche di stabilità globale: sintesi dei risultati

12.1.3 Stabilità interna

Nel presente paragrafo si presentano le verifiche di stabilità interna al volume rinforzato. Nell'impostazione di analisi adottata, ed essendo i rinforzi caratterizzati con le resistenze di progetto, le verifiche sono da considerarsi soddisfatte se il fattore di sicurezza resituato dall'analisi risulta $> 1,0$.

In Figura 22 si presenta la superficie di scivolamento critica in condizioni statiche (SLU). Si osserva che il cinematismo critico, che si sviluppa per una lunghezza massima di 25m, è tale da coinvolgere quasi tutti gli ordini di ancoraggio, la cui capacità è determinata generalmente dalla lunghezza di ancoraggio disponibile nella zona esterna al cinematismo). Il rapporto R_d/E_d risulta essere pari a **1,08 > 1,00** ✓.

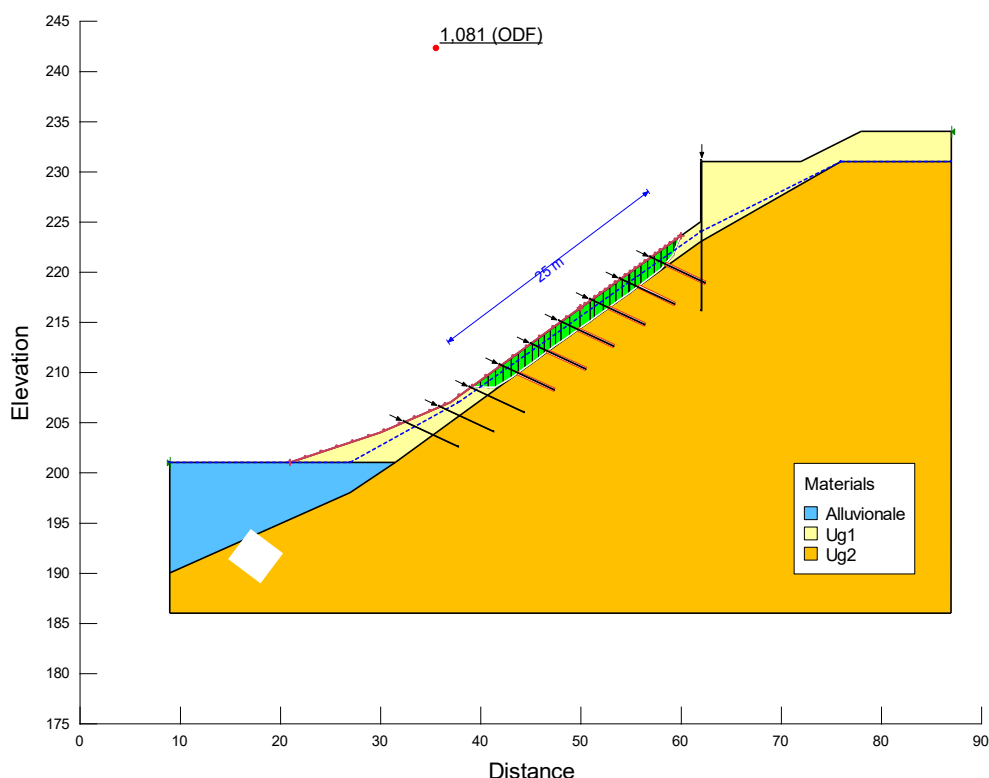


Figura 22 - Cinematismo critico per la stabilità interna in condizioni statiche (SLU)

In Figura 23 si presentano invece le superfici di scivolamento critiche per la stabilità interna in condizioni sismiche SLV. Si osserva che il cinematismo critico si sviluppa per una lunghezza massima di 15m. La capacità degli ancoraggi attivi nella stabilità del cinematismo è determinata dalla lunghezza di ancoraggio disponibile nella zona esterna al cinematismo. Il minimo rapporto R_d/E_d risulta essere pari a **1,06 > 1,00** ✓.

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 35/107

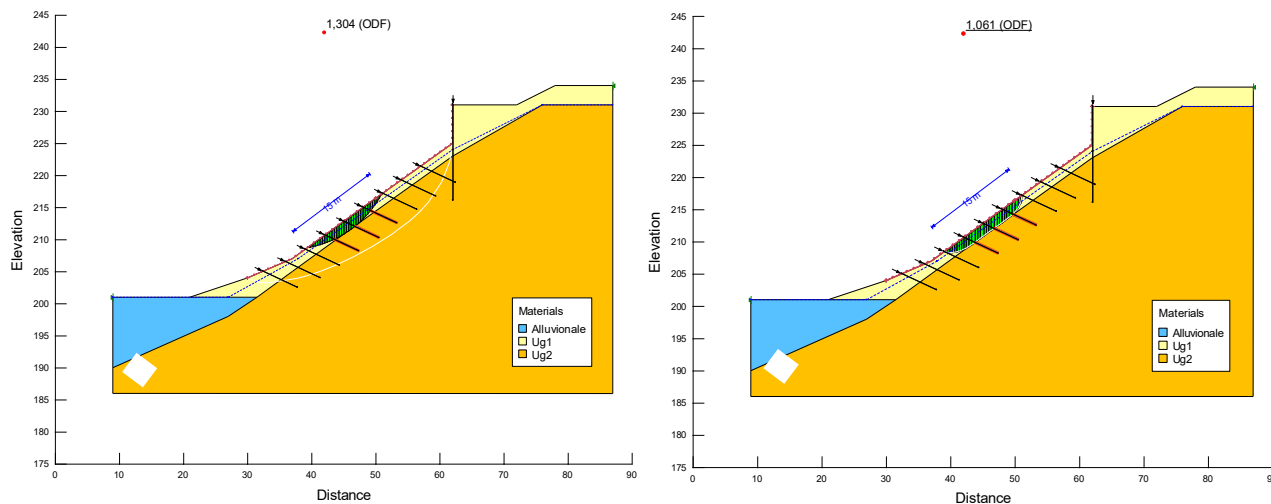


Figura 23 - Sezione tipo TA - sup. di scorrimento critica per la stabilità interna in condizioni sismiche SLV (SLV): (a sx) $kh=0,110$; $k_v = - 0,055$; (a dx) $kh=0,110$; $k_v = +0,055$

Le verifiche risultano soddisfatte secondo i margini prescritti dalla Normativa Vigente.

In Tabella 9 si sintetizzano le verifiche a sfilamento e a rottura dei chiodi con riferimento al cinematismo critico per la stabilità interna.

Per gli ordini di chiodatura non direttamente attivi nella stabilità del cinematismo critico il fattore di sicurezza è maggiore di quello competente alla condizione critica.

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 36/107

		R_d/E_d	PF	PR	TC	Meccanismo di crisi	$R_d/E_d > 1,0$
			[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]		
1° ordine (+ basso) $L = 3,0m$	SLU (DA2)	>1,08	0,0	64,8	53,2	-	✓
	SLV (+)	> 1,30	0,0	64,8		-	✓
	SLV (-)	>1,06	0,0	64,8		-	✓
2° ordine $L = 3,0m$	SLU (DA2)	>1,08	0,0	64,8	53,2	-	✓
	SLV (+)	> 1,30	0,0	64,8		-	✓
	SLV (-)	>1,06	0,0	64,8		-	✓
3° ordine $L = 4,5m$	SLU (DA2)	>1,08	0,0	64,8	53,2	-	✓
	SLV (+)	> 1,30	0,0	64,8		-	✓
	SLV (-)	>1,06	0,0	64,8		-	✓
4° ordine $L = 4,5m$	SLU (DA2)	1,08	14,38	14,38	53,2	P	✓
	SLV (+)	1,30	14,31	14,31		P	✓
	SLV (-)	1,06	15,5	15,5		P	✓
5° ordine $L = 4,5m$	SLU (DA2)	1,08	15,14	15,14	53,2	P	✓
	SLV (+)	1,30	15,00	15,00		P	✓
	SLV (-)	1,06	15,07	15,07		P	✓
6° ordine $L = 6,0m$	SLU (DA2)	1,08	14,12	14,12	53,2	P	✓
	SLV (+)	1,30	14,45	14,45		P	✓
	SLV (-)	1,06	16,43	16,43		P	✓
7° ordine $L = 6,0m$	SLU (DA2)	1,08	14,36	14,36	53,2	P	✓
	SLV (+)	> 1,30	0	64,8		-	✓
	SLV (-)	>1,06	0	64,8		-	✓
8° ordine (+ alto) $L = 6,0m$	SLU (DA2)	1,08	14,57	14,57	53,2	P	✓
	SLV (+)	> 1,30	0	64,8		-	✓
	SLV (-)	>1,06	0	64,8		-	✓
9° ordine (+ alto) $L = 6,0m$	SLU (DA2)	1,08	15,79	15,79	53,2	P	✓
	SLV (+)	> 1,30	0	64,8		-	✓
	SLV (-)	>1,06	0	64,8		-	✓

PR: Resistenza a sfilamento per ogni metro di scarpata (il valore sul singolo chiodo si ottiene moltiplicando per $i = 3,0m$;
PF: Forza di sfilamento agente per ogni metro di scarpata (il valore sul singolo chiodo si ottiene moltiplicando per $i = 3,0m$;
TC: Resistenza strutturale della chiodatura (il valore sul singolo chiodo si ottiene moltiplicando per $i = 3,0m$;
P = SFILAMENTO (Pull – out) T = ROTTURA STRUTTURALE PER TRAZIONE DEL CHIODO

Tabella 9 - Verifiche di stabilità interna: Sfilamento o rottura dei chiodi

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 37/107

12.2 VERIFICA DELLA RETE DI RIVESTIMENTO

Nel presente paragrafo si presentano in sintesi i risultati relativi alla verifica della rete di rivestimento eseguita con il codice di calcolo Mac S-design. Per informazioni più dettagliate si rimanda allo specifico allegato di calcolo.

L'analisi è stata condotta in condizioni sismiche SLV, richiedendo un fattore di sicurezza pari ad 1,20 sui primi 2m ($s=1,65m$) della porzione di pendio più acclive, caratterizzata da uno sviluppo verticale $H=15m$, certamente più estesa di quella individuata dal cinematismo critico interno di **Figura 24**.

Tale livello di prestazione è raggiunto con un tasso di sfruttamento della rete pari a $WR=45\%$ e l'ancoraggio richiesto all'esterno della zona corticale è pari a 3,43m (lunghezza minima del chiodo pari a 6,0m), lunghezza che è inferiore alla lunghezza dei chiodi in progetto.

The intervention using the proposed pinned drapery system, as described below, is found to enhance the surficial stability of the slope by improving the Factor of Safety from FS_0 (without mesh) to FS_d (with reinforcing mesh). The

Mesh **MacMat HS100 8127GN** has been chosen for this intervention.

• Mesh Verification Status:	[-]	Verified
• Design Factor of Safety	FS_d [-]	1.2
• Maximum Working Ratio	WR [%]	44.84
• Max Nd on anchors	[kN]	44.35
• Max Md on anchors	[kN]	1.23
• Effective Anchor Length	L_{eff} [m]	3.43
• Total Anchor Length	L_{tot} [m]	6.00

In addition to the mesh design, Mac S-design also performs three checks related to the anchor design. The first two consider the tensile and shear verification status, whilst the third one considers the Bending Moment (M) – Axial Force (N) domain.

• Tensile Check:	Verified
• Shear Check:	Verified
• M-N Check:	Verified

Figure 4 and Figure 5 summarize the additional outputs of the performed analysis. Figure 4 firstly identifies the slope geometry. Furthermore, the actual working ratio of the mesh is presented, and this represent the level of exploitation of the selected product. The last chart provides the axial forces acting on the anchors. Figure 5 shows the verification status in the M-N domain.

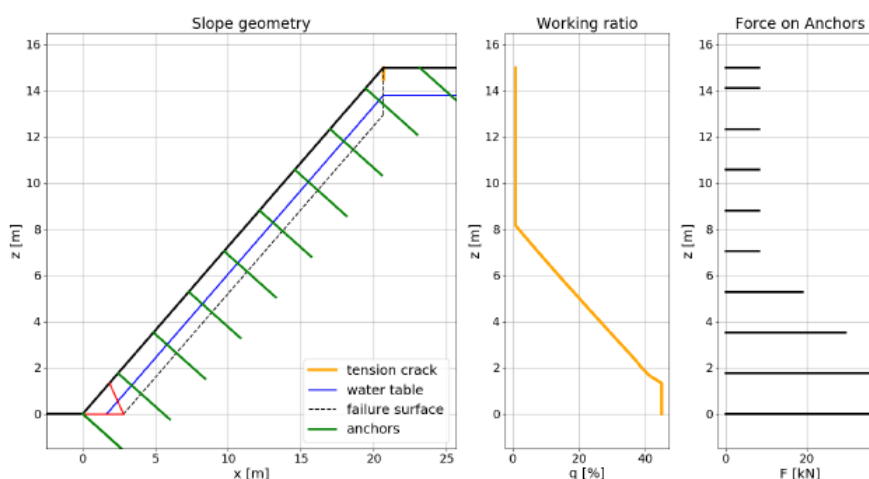


Figura 24 - Verifica della rete di rivestimento corticale (da Mac – S design)

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 38/107

13 ORIGINE E CARATTERISTICHE DEI CODICI DI CALCOLO UTILIZZATI

13.1 GEOSTUDIO 2018 v.9.0.5.16316

Produttore: GEO – SLOPE International Ltd.

Serial Number 7374-126111-291294

Proprietario Licenza: GES – Geotechnical Engineering Services srl

13.2 MAC – S DESIGN

Produttore: Officine Macceferri

<https://macs-design.maccaferri.com/>

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 39/107

14 CONCLUSIONI

Nel presente documento è stata affrontata la progettazione geotecnica definitiva dell'intervento di rafforzamento corticale del versante a valle della SP 610 al km 59+500.

In particolare, è stata prevista una chiodatura del pendio secondo una maglia quadrata 3x3m mediante l'utilizzo di barre ad aderenza migliorata di lunghezza $L=6\text{m}$, di diametro 24mm, inserite all'interno di perforazioni di diametro 70mm, e solidarizzate al terreno mediante getto di malta cementizia antiritiro, eseguito da fondo foro.

Per favorire il contenimento e l'inerbimento della coltre superficiale è prevista la posa in opera di un rivestimento costituito da geostuoia rinforzata con rete a doppia torsione in acciaio che potrà essere idroseminata a lavori ultimati.

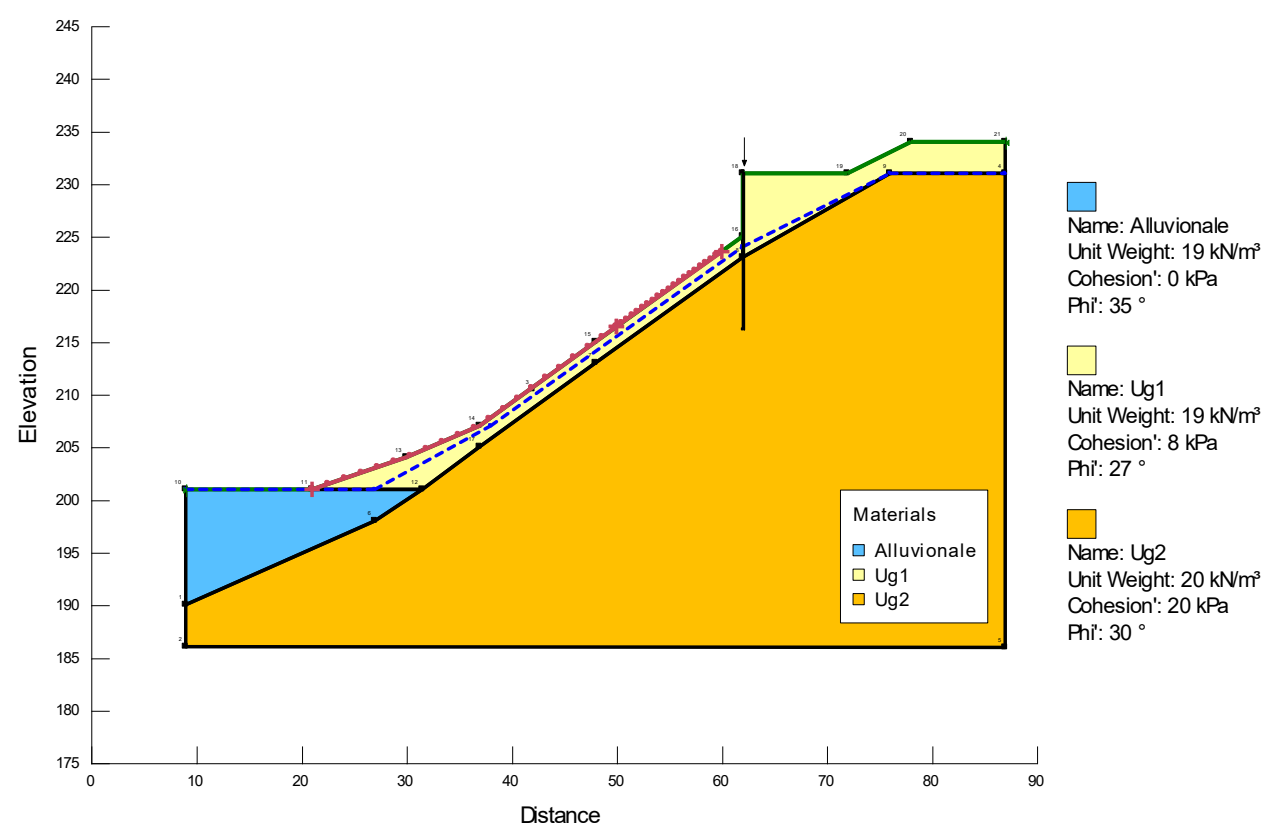
Le verifiche, eseguite sulla sezione ritenuta rappresentativa della morfologia del versante sono risultate tutte a esito positivo nel rispetto dei margini di sicurezza richiesti dalla Normativa vigente.

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 40/107

15 ALLEGATO – TABULATI

- GEOSTUDIO 2018 v.9.0.5.16316
- Mac – S design

Geostudio 2018



SLE stato di fatto

Report generated using GeoStudio 2018. Copyright © 1991-2018 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

File Version: 9.00

Revision Number: 151

Date: 19/03/2025

Time: 16:37:27

Tool Version: 9.0.5.16316

File Name: Rinforzo corticale Castel del Rio.gsz

Directory: \\PC-SERVER\Archivio-GES\LAVORI\Castel del Rio SOIL\2_Elaborazione\4_Modellazione Numerica\Geoslope\

Last Solved Date: 19/03/2025

Last Solved Time: 16:37:56

Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

Analysis Settings

SLE stato di fatto

Kind: SLOPE/W

Method: Morgenstern-Price

Settings

Side Function

Interslice force function option: Half-Sine

PWP Conditions from: Piezometric Line

Apply Phreatic Correction: No

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 42/107

Use Staged Rapid Drawdown: No

Unit Weight of Water: 9,807 kN/m³

Slip Surface

Direction of movement: Right to Left

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entry and Exit

Critical slip surfaces saved: 1

Optimize Critical Slip Surface Location: Yes

Optimizations Settings

Maximum Iterations: 2.000

Convergence Tolerance: 1e-07

Starting Points: 8

Ending Points: 16

Complete Passes per Insertion: 1

Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °

Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Tension Crack Option: (none)

Distribution

F of S Calculation Option: Constant

Advanced

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: 0,1 m

Number of Slices: 30

Factor of Safety Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: 100

Tolerable difference in F of S: 0,001

Solution Settings

Search Method: Root Finder

Tolerable difference between starting and converged F of S: 3

Maximum iterations to calculate converged lambda: 20

Max Absolute Lambda: 2

Materials

Ug2

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 20 kN/m³

Cohesion': 20 kPa

Phi': 30 °

Phi-B: 0 °

UG1

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 8 kPa

Phi': 27 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Alluvionale

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 0 kPa

Phi': 35 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Type: Range

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 43/107

Left-Zone Left Coordinate: (21; 201) m

Left-Zone Right Coordinate: (50; 216,42857) m

Left-Zone Increment: 20

Right Type: Range

Right-Zone Left Coordinate: (50; 216,42857) m

Right-Zone Right Coordinate: (60; 223,57143) m

Right-Zone Increment: 20

Radius Increments: 100

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (9; 201) m

Right Coordinate: (87; 234) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	9 m	201 m
Coordinate 2	27 m	201 m
Coordinate 3	38 m	207 m
Coordinate 4	62 m	224 m
Coordinate 5	76 m	231 m
Coordinate 6	87 m	231 m

Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0

Vert Seismic Coef.: 0

Reinforcements

Reinforcement 1

Type: Pile

Outside Point: (62,04611; 231,11806) m

Inside Point: (62,04611; 216,11806) m

Length: 15 m

Direction: 90 °

Shear Force: 100.000 kN

Shear Reduction Factor: 1

Pile Spacing: 1 m

Apply Shear: Perp. to Reinf.

Shear Force Applied: 100.000 kN

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

Points

	X	Y
Point 1	9 m	190 m
Point 2	9 m	186 m
Point 3	42 m	210,5 m
Point 4	87 m	231 m
Point 5	86,99304 m	185,97608 m
Point 6	27 m	198 m
Point 7	48 m	213 m
Point 8	62 m	223 m
Point 9	76 m	231 m
Point 10	9 m	201 m
Point 11	21 m	201 m

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 44/107

Point 12	31,5 m	201 m
Point 13	30 m	204 m
Point 14	37 m	207 m
Point 15	48 m	215 m
Point 16	62 m	225 m
Point 17	37 m	205 m
Point 18	62 m	231 m
Point 19	72 m	231 m
Point 20	78 m	234 m
Point 21	87 m	234 m

Regions

	Material	Points	Area
Region 1	UG2	1;2;5;4;9;8;7;17;12;6	2.069 m²
Region 2	Alluvionale	1;10;11;12;6	132,75 m²
Region 3	UG1	11;13;14;15;16;8;7;17;12	84 m²
Region 4	UG1	8;9;4;21;20;19;18;16	92 m²

Current Slip Surface

Slip Surface: 44.542

Factor of Safety: 0,992

Volume: 40,129793 m³

Weight: 762,46607 kN

Resisting Moment: 24.348,838 kN·m

Activating Moment: 24.536,901 kN·m

Resisting Force: 345,63628 kN

Activating Force: 348,27279 kN

Slip Rank: 1 of 44.542 slip surfaces

Exit: (36,995086; 206,99789) m

Entry: (59,701362; 223,35812) m

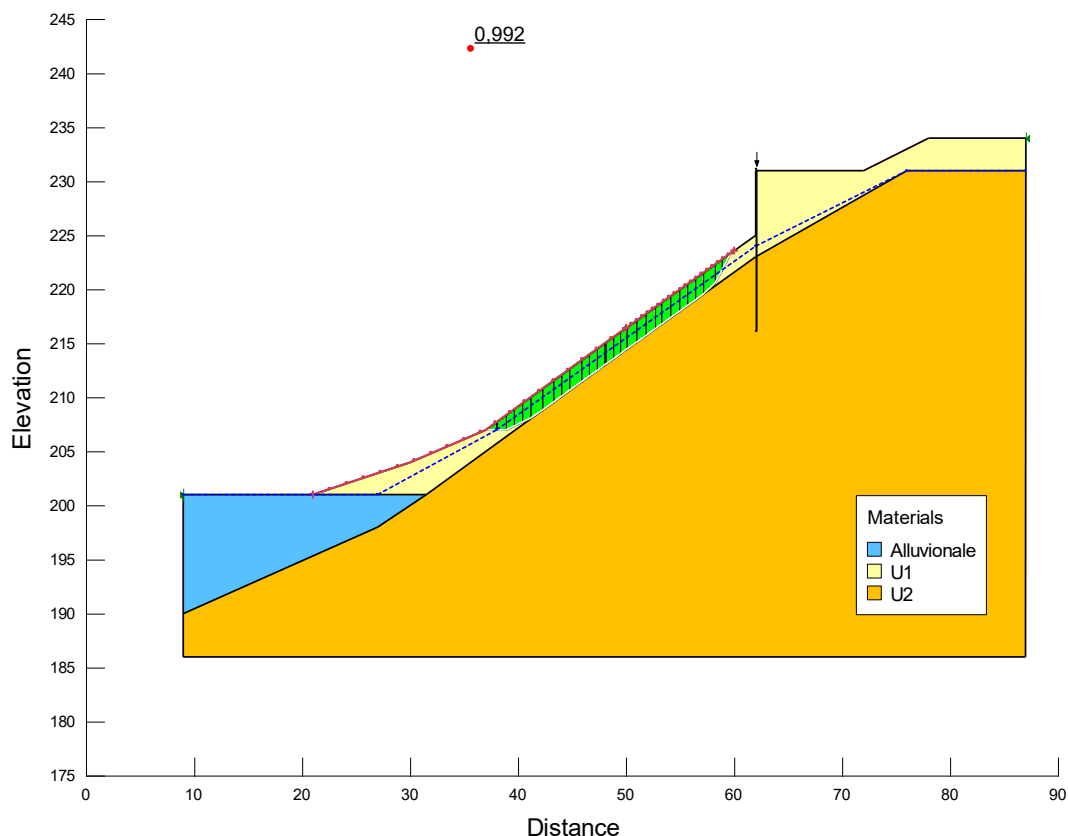
Radius: 19,309349 m

Center: (16,169623; 260,61358) m

Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength
Slice 1	36,997543 m	206,99788 m	-5,3415911 kPa	0,082361288 kPa	0,041965172 kPa	8 kPa
Slice 2	37,491639 m	206,99437 m	-2,6641383 kPa	8,3850866 kPa	4,272415 kPa	8 kPa
Slice 3	37,991639 m	206,99082 m	0,045305088 kPa	17,323818 kPa	8,8038421 kPa	8 kPa
Slice 4	38,43113 m	206,9877 m	3,1155213 kPa	25,7278 kPa	11,521532 kPa	8 kPa
Slice 5	39,243202 m	207,16927 m	6,9760249 kPa	24,296125 kPa	8,825032 kPa	8 kPa
Slice 6	40,005085 m	207,53853 m	8,6472099 kPa	27,770905 kPa	9,7440093 kPa	8 kPa
Slice 7	40,766968 m	207,90779 m	10,318395 kPa	31,028034 kPa	10,552088 kPa	8 kPa
Slice 8	41,69912 m	208,4556 m	11,42133 kPa	28,657826 kPa	8,7824334 kPa	8 kPa
Slice 9	42,75612 m	209,18714 m	11,5897 kPa	27,017178 kPa	7,8606925 kPa	8 kPa
Slice 10	43,630395 m	209,82622 m	11,395454 kPa	26,280991 kPa	7,5845597 kPa	8 kPa
Slice 11	44,367365 m	210,36767 m	11,204908 kPa	25,796169 kPa	7,434619 kPa	8 kPa
Slice 12	45,287715 m	211,04039 m	11,000918 kPa	25,453747 kPa	7,3640839 kPa	8 kPa
Slice 13	46,19965 m	211,70373 m	10,830386 kPa	25,147758 kPa	7,2950653 kPa	8 kPa
Slice 14	46,91979 m	212,22644 m	10,706756 kPa	24,926294 kPa	7,2452166 kPa	8 kPa
Slice 15	47,63993 m	212,74914 m	10,583125 kPa	24,747393 kPa	7,217055 kPa	8 kPa
Slice 16	48,045405 m	213,04345 m	10,513515 kPa	24,656008 kPa	7,2059601 kPa	8 kPa

Slice 17	48,44744 m	213,32617 m	10,533748 kPa	25,231306 kPa	7,4887799 kPa	8 kPa
Slice 18	49,118575 m	213,801 m	10,539164 kPa	24,816908 kPa	7,2748739 kPa	8 kPa
Slice 19	49,747585 m	214,25116 m	10,493942 kPa	24,736923 kPa	7,2571618 kPa	8 kPa
Slice 20	50,497292 m	214,78696 m	10,447298 kPa	24,726872 kPa	7,2758061 kPa	8 kPa
Slice 21	51,367695 m	215,4084 m	10,399235 kPa	24,724775 kPa	7,2992275 kPa	8 kPa
Slice 22	52,238098 m	216,02983 m	10,351171 kPa	24,77401 kPa	7,3488038 kPa	8 kPa
Slice 23	52,97058 m	216,55525 m	10,286669 kPa	24,649186 kPa	7,318068 kPa	8 kPa
Slice 24	53,683862 m	217,06594 m	10,233262 kPa	24,966815 kPa	7,5071199 kPa	8 kPa
Slice 25	54,515867 m	217,65791 m	10,20739 kPa	25,155053 kPa	7,6162146 kPa	8 kPa
Slice 26	55,297852 m	218,22064 m	10,120823 kPa	24,961429 kPa	7,5616662 kPa	8 kPa
Slice 27	56,029815 m	218,75413 m	9,9735617 kPa	25,03757 kPa	7,6754957 kPa	8 kPa
Slice 28	56,761778 m	219,28762 m	9,8263 kPa	25,126845 kPa	7,7960172 kPa	8 kPa
Slice 29	57,67535 m	220,06822 m	8,5172447 kPa	20,819427 kPa	6,2682749 kPa	8 kPa
Slice 30	58,540423 m	221,17821 m	3,64091 kPa	7,3655908 kPa	1,8978197 kPa	8 kPa
Slice 31	59,279634 m	222,56623 m	-4,8364085 kPa	-2,4060703 kPa	-1,225954 kPa	8 kPa



	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 46/107

SLU (A1+M1+R3 - Interna)

Report generated using GeoStudio 2018. Copyright © 1991-2018 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

File Version: 9.00

Revision Number: 151

Date: 19/03/2025

Time: 16:37:27

Tool Version: 9.0.5.16316

File Name: Rinforzo corticale Castel del Rio.gsz

Directory: \\PC-SERVER\Archivio-GES\LAVORI\Castel del Rio SOIL\2_Elaborazione\4_Modellazione Numerica\Geoslope\

Last Solved Date: 19/03/2025

Last Solved Time: 16:38:08

Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

Analysis Settings

SLU (A1+M1+R3 - Interna)

Kind: SLOPE/W

Method: Morgenstern-Price

Settings

Side Function

Interslice force function option: Half-Sine

PWP Conditions from: Piezometric Line

Apply Phreatic Correction: No

Use Staged Rapid Drawdown: No

Limit State Design Approach: Eurocode 7 - DA2

Unit Weight of Water: 9,807 kN/m³

Slip Surface

Direction of movement: Right to Left

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entry and Exit

Critical slip surfaces saved: 1

Optimize Critical Slip Surface Location: Yes

Optimizations Settings

Maximum Iterations: 2.000

Convergence Tolerance: 1e-07

Starting Points: 8

Ending Points: 16

Complete Passes per Insertion: 1

Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °

Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Tension Crack Option: (none)

Distribution

ODF Calculation Option: Constant

Advanced

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: 0,1 m

Number of Slices: 30

Overdesign Factor Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: 100

Tolerable difference in ODF: 0,001

Solution Settings

Search Method: Root Finder

Tolerable difference between starting and converged ODF: 3

Maximum iterations to calculate converged lambda: 20

Max Absolute Lambda: 2

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 47/107

Materials

UG2

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 20 kN/m³

Cohesion': 20 kPa

Phi': 30 °

Phi-B: 0 °

UG1

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 8 kPa

Phi': 27 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Alluvionale

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 0 kPa

Phi': 35 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Type: Range

Left-Zone Left Coordinate: (21; 201) m

Left-Zone Right Coordinate: (50; 216,42857) m

Left-Zone Increment: 20

Right Type: Range

Right-Zone Left Coordinate: (50; 216,42857) m

Right-Zone Right Coordinate: (60; 223,57143) m

Right-Zone Increment: 20

Radius Increments: 100

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (9; 201) m

Right Coordinate: (87; 234) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	9 m	201 m
Coordinate 2	27 m	201 m
Coordinate 3	37,8 m	207 m
Coordinate 4	62 m	224 m
Coordinate 5	76 m	231 m
Coordinate 6	87 m	231 m

Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0

Vert Seismic Coef.: 0

Reinforcements

Reinforcement 1

Type: Nail

Outside Point: (38,92904; 208,54312) m

Inside Point: (44,36689; 206,00741) m

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 48/107

Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 58,8 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 4,3102651 kN/m
 Max. Pullout Force: 25,861604 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m
 Available Length: 0 m
 Required Length: 0 m
 Governing Component: (none)

Reinforcement 2

Type: Nail
 Outside Point: (41,94462; 210,78041) m
 Inside Point: (47,38247; 208,2447) m
 Slip Surface Intersection: (43,764169; 209,93194) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 58,8 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 4,3102651 kN/m
 Max. Pullout Force: 25,861604 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 17,2081 kN
 Pullout Force per Length: 4,3102651 kN/m
 Available Length: 3,9923531 m
 Required Length: 3,9923531 m
 Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 3

Type: Nail
 Outside Point: (45,07828; 212,85265) m
 Inside Point: (50,51613; 210,31694) m
 Slip Surface Intersection: (46,721899; 212,08622) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 49/107

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 58,8 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 4,3102651 kN/m

Max. Pullout Force: 25,861604 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 18,044799 kN

Pullout Force per Length: 4,3102651 kN/m

Available Length: 4,1864708 m

Required Length: 4,1864708 m

Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 4

Type: Nail

Outside Point: (47,87882; 215,13258) m

Inside Point: (53,31667; 212,59687) m

Slip Surface Intersection: (49,598309; 214,33077) m

Length: 6,0000032 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 58,8 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 4,3102651 kN/m

Max. Pullout Force: 25,861604 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 17,683971 kN

Pullout Force per Length: 4,3102651 kN/m

Available Length: 4,1027571 m

Required Length: 4,1027571 m

Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 5

Type: Nail

Outside Point: (50,98874; 217,27547) m

Inside Point: (56,42659; 214,73976) m

Length: 6,0000032 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 50/107

Pullout Resistance: 58,8 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 4,3102651 kN/m
 Max. Pullout Force: 25,861604 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m
 Available Length: 0 m
 Required Length: 0 m
 Governing Component: (none)

Reinforcement 6

Type: Nail
 Outside Point: (53,94849; 219,33595) m
 Inside Point: (59,38634; 216,80024) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 58,8 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 4,3102651 kN/m
 Max. Pullout Force: 25,861604 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m
 Available Length: 0 m
 Required Length: 0 m
 Governing Component: (none)

Reinforcement 7

Type: Nail
 Outside Point: (57,0019; 221,4583) m
 Inside Point: (62,43975; 218,92259) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 58,8 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 51/107

Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 4,3102651 kN/m
 Max. Pullout Force: 25,861604 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m
 Available Length: 0 m
 Required Length: 0 m
 Governing Component: (none)

Reinforcement 8

Type: Pile
 Outside Point: (62,04611; 231,11806) m
 Inside Point: (62,04611; 216,11806) m
 Length: 15 m
 Direction: 90 °
 Shear Force: 100.000 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Pile Spacing: 1 m
 Apply Shear: Perp. to Reinf.
 Shear Force Applied: 100.000 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m

Reinforcement 9

Type: Nail
 Outside Point: (35,88889; 206,61111) m
 Inside Point: (41,32674; 204,0754) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 58,8 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 4,3102651 kN/m
 Max. Pullout Force: 25,861604 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m
 Available Length: 0 m
 Required Length: 0 m
 Governing Component: (none)

Reinforcement 10

Type: Nail
 Outside Point: (32,36111; 205,09723) m
 Inside Point: (37,79895; 202,56152) m

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 52/107

Length: 5,9999941 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 58,8 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 4,3102651 kN/m

Max. Pullout Force: 25,861565 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

Available Length: 0 m

Required Length: 0 m

Governing Component: (none)

Design Factor Set: Eurocode 7 - DA2

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1.3

Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 0, Unfavorable = 1.5

Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1.3

Effective Cohesion: 1

Effective Coefficient of Friction: 1

Undrained Strength: 1

Shear Strength (Other Models): 1

Pullout Resistance: 1

Shear Force: 1

Tensile Strength: 1

Compressive Strength: 1,1

Seismic Coefficients: 1

Earth Resistance: 1

Points

	X	Y
Point 1	9 m	190 m
Point 2	9 m	186 m
Point 3	42 m	210,5 m
Point 4	87 m	231 m
Point 5	86,99304 m	185,97608 m
Point 6	27 m	198 m
Point 7	48 m	213 m
Point 8	62 m	223 m
Point 9	76 m	231 m
Point 10	9 m	201 m
Point 11	21 m	201 m
Point 12	31,5 m	201 m
Point 13	30 m	204 m
Point 14	37 m	207 m

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 53/107

Point 15	48 m	215 m
Point 16	62 m	225 m
Point 17	37 m	205 m
Point 18	62 m	231 m
Point 19	72 m	231 m
Point 20	78 m	234 m
Point 21	87 m	234 m

Regions

	Material	Points	Area
Region 1	UG2	1;2;5;4;9;8;7;17;12;6	2.069 m²
Region 2	Alluvionale	1;10;11;12;6	132,75 m²
Region 3	UG1	11;13;14;15;16;8;7;17;12	84 m²
Region 4	UG1	8;9;4;21;20;19;18;16	92 m²

Current Slip Surface

Slip Surface: 44.542

Overdesign Factor: 1,194

Degree of Utilization: 0,838

Volume: 19,856395 m³

Weight: 478,71798 kN

Resisting Moment: 5.011,0543 kN·m

Activating Moment: 4.198,4962 kN·m

Resisting Force: 229,83062 kN

Activating Force: 192,57086 kN

Slip Rank: 1 of 44.542 slip surfaces

Exit: (39,177791; 208,58385) m

Entry: (51,105856; 217,21847) m

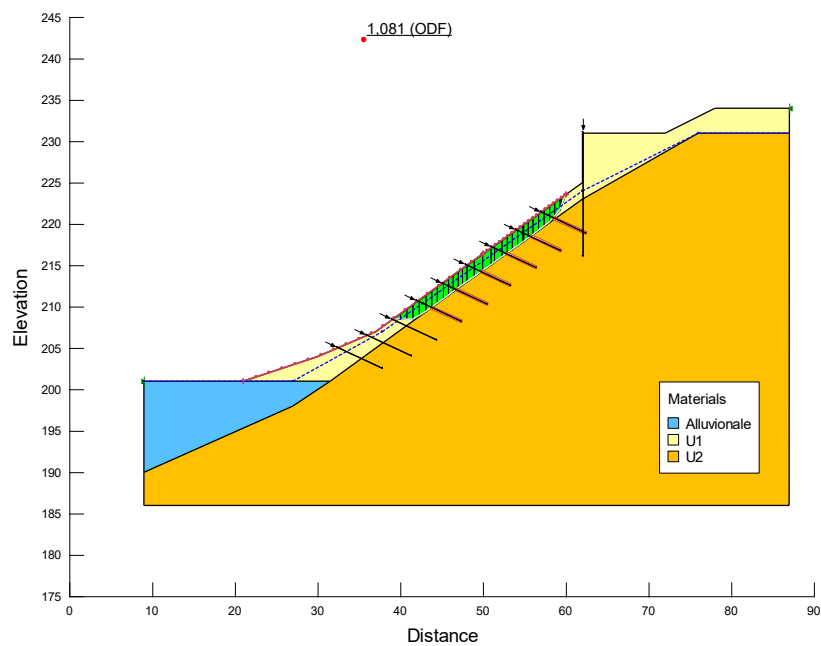
Radius: 10,463788 m

Center: (35,871403; 225,68221) m

Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength
Slice 1	39,362381 m	208,54715 m	-4,4093643 kPa	5,5333892 kPa	2,8194026 kPa	8 kPa
Slice 2	39,747485 m	208,50969 m	-1,3889148 kPa	10,931693 kPa	5,5699758 kPa	8 kPa
Slice 3	40,137274 m	208,5082 m	1,3110609 kPa	17,810595 kPa	8,4069328 kPa	8 kPa
Slice 4	40,515825 m	208,50675 m	3,9331826 kPa	24,666676 kPa	10,564242 kPa	8 kPa
Slice 5	40,894375 m	208,5053 m	6,5553043 kPa	31,694059 kPa	12,808835 kPa	8 kPa
Slice 6	41,272925 m	208,50385 m	9,177426 kPa	38,849138 kPa	15,118492 kPa	8 kPa
Slice 7	41,702085 m	208,61598 m	11,034337 kPa	39,240867 kPa	14,371945 kPa	8 kPa
Slice 8	42,181855 m	208,84169 m	12,126038 kPa	41,502661 kPa	14,968137 kPa	8 kPa
Slice 9	42,6456 m	209,11951 m	12,596321 kPa	42,631199 kPa	15,303535 kPa	8 kPa
Slice 10	43,09332 m	209,44944 m	12,445185 kPa	42,242319 kPa	15,182398 kPa	8 kPa
Slice 11	43,54104 m	209,77343 m	12,35223 kPa	42,663492 kPa	15,444359 kPa	8 kPa
Slice 12	43,98876 m	210,09149 m	12,317455 kPa	34,878329 kPa	11,495339 kPa	8 kPa
Slice 13	44,430995 m	210,41206 m	12,220277 kPa	33,765597 kPa	10,977889 kPa	8 kPa
Slice 14	44,867745 m	210,73514 m	12,060696 kPa	33,311456 kPa	10,827803 kPa	8 kPa
Slice 15	45,280157 m	211,03787 m	11,933065 kPa	38,815224 kPa	13,697145 kPa	8 kPa
Slice 16	45,66823 m	211,32023 m	11,837383 kPa	38,620597 kPa	13,646729 kPa	8 kPa
Slice 17	46,056303 m	211,60261 m	11,741701 kPa	38,443035 kPa	13,60501 kPa	8 kPa
Slice 18	46,418268 m	211,86573 m	11,654856 kPa	39,167546 kPa	14,018416 kPa	8 kPa

Slice 19	46,754125 m	212,10962 m	11,576848 kPa	39,022264 kPa	13,984138 kPa	8 kPa
Slice 20	47,089982 m	212,35351 m	11,49884 kPa	32,890882 kPa	10,89979 kPa	8 kPa
Slice 21	47,44485 m	212,60345 m	11,492361 kPa	34,038076 kPa	11,487615 kPa	8 kPa
Slice 22	47,815895 m	212,87392 m	11,396073 kPa	32,444798 kPa	10,724861 kPa	8 kPa
Slice 23	48,155077 m	213,13639 m	11,158756 kPa	32,427682 kPa	10,837059 kPa	8 kPa
Slice 24	48,465232 m	213,3764 m	10,941749 kPa	39,310979 kPa	14,454844 kPa	8 kPa
Slice 25	48,887065 m	213,69087 m	10,763811 kPa	37,06152 kPa	13,399352 kPa	8 kPa
Slice 26	49,33393 m	214,05352 m	10,285901 kPa	34,453422 kPa	12,313967 kPa	8 kPa
Slice 27	49,73663 m	214,50982 m	8,5852533 kPa	26,171751 kPa	8,9607683 kPa	8 kPa
Slice 28	50,18181 m	215,08606 m	6,0009102 kPa	19,088436 kPa	6,6684275 kPa	8 kPa
Slice 29	50,579302 m	215,73713 m	2,3543693 kPa	8,2555322 kPa	3,0067927 kPa	8 kPa
Slice 30	50,808672 m	216,21309 m	-0,73319118 kPa	3,4605182 kPa	1,7632221 kPa	8 kPa
Slice 31	50,984498 m	216,77229 m	-5,0060013 kPa	-5,8221589 kPa	-2,9665381 kPa	8 kPa



Cinematismo critico per la stabilità interna in condizioni statiche (SLU)

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 55/107

SLU (intervento)

Report generated using GeoStudio 2018. Copyright © 1991-2018 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

File Version: 9.00

Revision Number: 151

Date: 19/03/2025

Time: 16:37:27

Tool Version: 9.0.5.16316

File Name: Rinforzo corticale Castel del Rio.gsz

Directory: \\PC-SERVER\Archivio-GES\LAVORI\Castel del Rio SOIL\2_Elaborazione\4_Modellazione Numerica\Geoslope\

Last Solved Date: 19/03/2025

Last Solved Time: 16:37:49

Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

Analysis Settings

SLU (intervento)

Kind: SLOPE/W

Method: Morgenstern-Price

Settings

Side Function

Interslice force function option: Half-Sine

PWP Conditions from: Piezometric Line

Apply Phreatic Correction: No

Use Staged Rapid Drawdown: No

Limit State Design Approach: Eurocode 7 - DA1, C2

Unit Weight of Water: 9,807 kN/m³

Slip Surface

Direction of movement: Right to Left

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entry and Exit

Critical slip surfaces saved: 1

Optimize Critical Slip Surface Location: Yes

Optimizations Settings

Maximum Iterations: 2.000

Convergence Tolerance: 1e-07

Starting Points: 8

Ending Points: 16

Complete Passes per Insertion: 1

Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °

Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Tension Crack Option: (none)

Distribution

ODF Calculation Option: Constant

Advanced

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: 0,1 m

Number of Slices: 30

Overdesign Factor Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: 100

Tolerable difference in ODF: 0,001

Solution Settings

Search Method: Root Finder

Tolerable difference between starting and converged ODF: 3

Maximum iterations to calculate converged lambda: 20

Max Absolute Lambda: 2

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 56/107

Materials

UG2

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 20 kN/m³

Cohesion': 20 kPa

Phi': 30 °

Phi-B: 0 °

UG1

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 8 kPa

Phi': 27 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Alluvionale

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 0 kPa

Phi': 35 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Type: Range

Left-Zone Left Coordinate: (21; 201) m

Left-Zone Right Coordinate: (50; 216,42857) m

Left-Zone Increment: 20

Right Type: Range

Right-Zone Left Coordinate: (50; 216,42857) m

Right-Zone Right Coordinate: (60; 223,57143) m

Right-Zone Increment: 20

Radius Increments: 100

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (9; 201) m

Right Coordinate: (87; 234) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	9 m	201 m
Coordinate 2	27 m	201 m
Coordinate 3	37,90188 m	207 m
Coordinate 4	62 m	224 m
Coordinate 5	76 m	231 m
Coordinate 6	87 m	231 m

Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0

Vert Seismic Coef.: 0

Reinforcements

Reinforcement 1

Type: Nail

Outside Point: (38,92904; 208,54312) m

Inside Point: (44,36689; 206,00741) m

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 57/107

Slip Surface Intersection: (44,344327; 206,01793) m

Length: 6,0000032 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 49 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m

Max. Pullout Force: 21,551337 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 0,089423809 kN

Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m

Available Length: 0,024896049 m

Required Length: 0,024896049 m

Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 2

Type: Nail

Outside Point: (41,94462; 210,78041) m

Inside Point: (47,38247; 208,2447) m

Length: 6,0000032 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 49 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m

Max. Pullout Force: 21,551337 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

Available Length: 0 m

Required Length: 0 m

Governing Component: (none)

Reinforcement 3

Type: Nail

Outside Point: (45,07828; 212,85265) m

Inside Point: (50,51613; 210,31694) m

Length: 6,0000032 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 58/107

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 49 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m

Max. Pullout Force: 21,551337 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

Available Length: 0 m

Required Length: 0 m

Governing Component: (none)

Reinforcement 4

Type: Nail

Outside Point: (47,87882; 215,13258) m

Inside Point: (53,31667; 212,59687) m

Length: 6,0000032 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 49 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m

Max. Pullout Force: 21,551337 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

Available Length: 0 m

Required Length: 0 m

Governing Component: (none)

Reinforcement 5

Type: Nail

Outside Point: (50,98874; 217,27547) m

Inside Point: (56,42659; 214,73976) m

Slip Surface Intersection: (56,189776; 214,85019) m

Length: 6,0000032 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 49 kPa

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 59/107

Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0,93854291 kN
 Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m
 Available Length: 0,26129518 m
 Required Length: 0,26129518 m
 Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 6

Type: Nail
 Outside Point: (53,94849; 219,33595) m
 Inside Point: (59,38634; 216,80024) m
 Slip Surface Intersection: (57,988329; 217,45214) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 5,5406115 kN
 Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m
 Available Length: 1,5425348 m
 Required Length: 1,5425348 m
 Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 7

Type: Nail
 Outside Point: (57,0019; 221,4583) m
 Inside Point: (62,43975; 218,92259) m
 Slip Surface Intersection: (59,292118; 220,39035) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 60/107

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m

Max. Pullout Force: 21,551337 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 12,474726 kN

Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m

Available Length: 3,4730279 m

Required Length: 3,4730279 m

Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 8

Type: Pile

Outside Point: (62,04611; 231,11806) m

Inside Point: (62,04611; 216,11806) m

Length: 15 m

Direction: 90 °

Shear Force: 100.000 kN

Shear Reduction Factor: 1

Pile Spacing: 1 m

Apply Shear: Perp. to Reinf.

Shear Force Applied: 100.000 kN

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

Reinforcement 9

Type: Nail

Outside Point: (35,88889; 206,61111) m

Inside Point: (41,32674; 204,0754) m

Slip Surface Intersection: (40,58256; 204,42242) m

Length: 6,0000032 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 49 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m

Max. Pullout Force: 21,551337 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 2,9493397 kN

Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m

Available Length: 0,82111137 m

Required Length: 0,82111137 m

Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 10

Type: Nail

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 61/107

Outside Point: (32,36111; 205,09723) m

Inside Point: (37,79895; 202,56152) m

Slip Surface Intersection: (36,401555; 203,21314) m

Length: 5,9999941 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 49 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m

Max. Pullout Force: 21,551304 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 5,538171 kN

Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m

Available Length: 1,5418553 m

Required Length: 1,5418553 m

Governing Component: Pullout Resistance

Design Factor Set: Eurocode 7 - DA1, C2

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 0, Unfavorable = 1.3

Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Effective Cohesion: 1,25

Effective Coefficient of Friction: 1,25

Undrained Strength: 1,4

Shear Strength (Other Models): 1,25

Pullout Resistance: 1

Shear Force: 1

Tensile Strength: 1

Compressive Strength: 1,1

Seismic Coefficients: 1

Earth Resistance: 1

Points

	X	Y
Point 1	9 m	190 m
Point 2	9 m	186 m
Point 3	42 m	210,5 m
Point 4	87 m	231 m
Point 5	86,99304 m	185,97608 m
Point 6	27 m	198 m
Point 7	48 m	213 m
Point 8	62 m	223 m
Point 9	76 m	231 m
Point 10	9 m	201 m
Point 11	21 m	201 m
Point 12	31,5 m	201 m

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 62/107

Point 13	30 m	204 m
Point 14	37 m	207 m
Point 15	48 m	215 m
Point 16	62 m	225 m
Point 17	37 m	205 m
Point 18	62 m	231 m
Point 19	72 m	231 m
Point 20	78 m	234 m
Point 21	87 m	234 m

Regions

	Material	Points	Area
Region 1	UG2	1;2;5;4;9;8;7;17;12;6	2.069 m ²
Region 2	Alluvionale	1;10;11;12;6	132,75 m ²
Region 3	UG1	11;13;14;15;16;8;7;17;12	84 m ²
Region 4	UG1	8;9;4;21;20;19;18;16	92 m ²

Current Slip Surface

Slip Surface: 44.542

Overdesign Factor: 1,227

Degree of Utilization: 0,815

Volume: 156,70738 m³

Weight: 3.069,1659 kN

Resisting Moment: 55.454,334 kN·m

Activating Moment: 45.217,944 kN·m

Resisting Force: 1.512,0342 kN

Activating Force: 1.232,3011 kN

Slip Rank: 1 of 44.542 slip surfaces

Exit: (26,899918; 202,96664) m

Entry: (60,000001; 223,57143) m

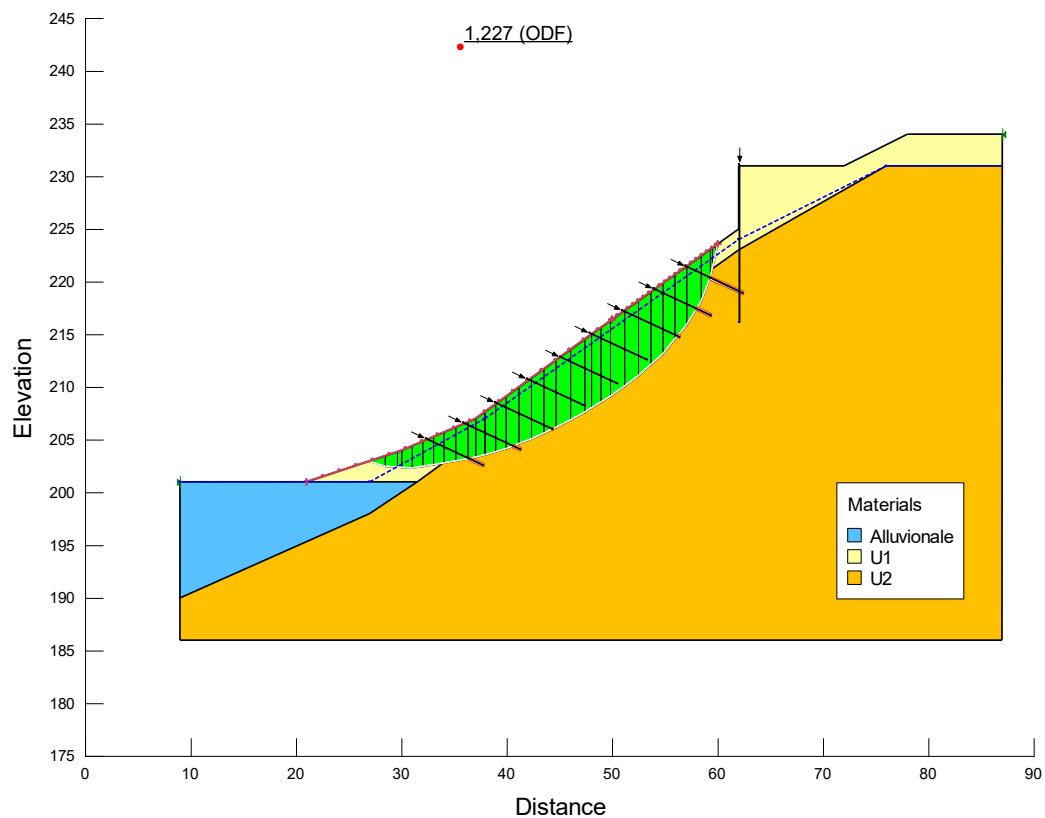
Radius: 26,12553 m

Center: (31,342877; 232,98902) m

Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength
Slice 1	26,949959 m	202,95098 m	-19,133277 kPa	2,5530263 kPa	1,0406655 kPa	6,4 kPa
Slice 2	27,719115 m	202,71032 m	-12,891715 kPa	14,593839 kPa	5,948746 kPa	6,4 kPa
Slice 3	29,004163 m	202,4499 m	-3,4018536 kPa	27,900296 kPa	11,372729 kPa	6,4 kPa
Slice 4	29,785048 m	202,40104 m	1,2920892 kPa	35,851044 kPa	14,086934 kPa	6,4 kPa
Slice 5	30,50197 m	202,35618 m	5,6015479 kPa	44,16344 kPa	15,718612 kPa	6,4 kPa
Slice 6	31,501724 m	202,40587 m	10,510306 kPa	46,296744 kPa	14,587281 kPa	6,4 kPa
Slice 7	32,497292 m	202,56807 m	14,293082 kPa	51,9185 kPa	15,336886 kPa	6,4 kPa
Slice 8	33,49286 m	202,73028 m	18,075859 kPa	58,471772 kPa	16,466196 kPa	6,4 kPa
Slice 9	34,5655 m	202,90504 m	0 kPa	69,732946 kPa	32,208268 kPa	16 kPa
Slice 10	35,715213 m	203,09235 m	0 kPa	78,808133 kPa	36,399917 kPa	16 kPa
Slice 11	36,645035 m	203,27238 m	0 kPa	79,55108 kPa	36,74307 kPa	16 kPa
Slice 12	37,444195 m	203,46684 m	0 kPa	83,991553 kPa	38,794036 kPa	16 kPa
Slice 13	37,895135 m	203,57687 m	0 kPa	115,44741 kPa	53,322874 kPa	16 kPa
Slice 14	38,402282 m	203,72367 m	0 kPa	88,619345 kPa	40,931522 kPa	16 kPa
Slice 15	39,403087 m	204,01335 m	0 kPa	96,791507 kPa	44,706082 kPa	16 kPa
Slice 16	40,501677 m	204,39094 m	0 kPa	94,131171 kPa	43,477326 kPa	16 kPa

Slice 17	41,698053 m	204,85646 m	0 kPa	99,593123 kPa	46,000093 kPa	16 kPa
Slice 18	42,88297 m	205,35527 m	0 kPa	98,16851 kPa	45,342092 kPa	16 kPa
Slice 19	44,05643 m	205,88738 m	0 kPa	101,86976 kPa	47,051626 kPa	16 kPa
Slice 20	45,32148 m	206,51853 m	0 kPa	97,197848 kPa	44,893763 kPa	16 kPa
Slice 21	46,67812 m	207,24871 m	0 kPa	99,563955 kPa	45,986621 kPa	16 kPa
Slice 22	47,67822 m	207,81105 m	0 kPa	95,064203 kPa	43,908274 kPa	16 kPa
Slice 23	48,44998 m	208,28413 m	0 kPa	95,737688 kPa	44,219344 kPa	16 kPa
Slice 24	49,34994 m	208,83579 m	0 kPa	96,576216 kPa	44,606643 kPa	16 kPa
Slice 25	50,465925 m	209,59777 m	0 kPa	88,956991 kPa	41,087474 kPa	16 kPa
Slice 26	51,797935 m	210,57007 m	0 kPa	89,178615 kPa	41,189838 kPa	16 kPa
Slice 27	53,04811 m	211,58086 m	0 kPa	79,676876 kPa	36,801173 kPa	16 kPa
Slice 28	54,21645 m	212,63015 m	0 kPa	78,535635 kPa	36,274056 kPa	16 kPa
Slice 29	55,356195 m	213,83284 m	0 kPa	64,32759 kPa	29,711641 kPa	16 kPa
Slice 30	56,467345 m	215,18895 m	0 kPa	60,209967 kPa	27,809792 kPa	16 kPa
Slice 31	57,70835 m	216,99244 m	0 kPa	42,376118 kPa	19,572691 kPa	16 kPa
Slice 32	58,83134 m	219,20194 m	0 kPa	19,630739 kPa	9,0670501 kPa	16 kPa
Slice 33	59,369865 m	220,73974 m	0 kPa	0,71484679 kPa	0,33017359 kPa	16 kPa
Slice 34	59,605764 m	221,79981 m	5,0130883 kPa	4,9163923 kPa	-0,039415241 kPa	6,4 kPa
Slice 35	59,870349 m	222,9888 m	-4,8168405 kPa	-5,4924356 kPa	-2,2388286 kPa	6,4 kPa



Sup. di scorrimento critica in condizioni statiche (SLU)

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 64/107

SLV (-)

Report generated using GeoStudio 2018. Copyright © 1991-2018 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

File Version: 9.00

Revision Number: 151

Date: 19/03/2025

Time: 16:37:27

Tool Version: 9.0.5.16316

File Name: Rinforzo corticale Castel del Rio.gsz

Directory: \\PC-SERVER\Archivio-GES\LAVORI\Castel del Rio SOIL\2_Elaborazione\4_Modellazione Numerica\Geoslope\

Last Solved Date: 19/03/2025

Last Solved Time: 16:38:18

Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

Analysis Settings

SLV (-)

Kind: SLOPE/W

Method: Morgenstern-Price

Settings

Side Function

Interslice force function option: Half-Sine

PWP Conditions from: Piezometric Line

Apply Phreatic Correction: No

Use Staged Rapid Drawdown: No

Limit State Design Approach: Eurocode 7 - DA1C2 (SISMA)

Unit Weight of Water: 9,807 kN/m³

Slip Surface

Direction of movement: Right to Left

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entry and Exit

Critical slip surfaces saved: 1

Optimize Critical Slip Surface Location: Yes

Optimizations Settings

Maximum Iterations: 2.000

Convergence Tolerance: 1e-07

Starting Points: 8

Ending Points: 16

Complete Passes per Insertion: 1

Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °

Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Tension Crack Option: (none)

Distribution

ODF Calculation Option: Constant

Advanced

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: 0,1 m

Number of Slices: 30

Overdesign Factor Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: 100

Tolerable difference in ODF: 0,001

Solution Settings

Search Method: Root Finder

Tolerable difference between starting and converged ODF: 3

Maximum iterations to calculate converged lambda: 20

Max Absolute Lambda: 2

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 65/107

Materials

UG2

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 20 kN/m³

Cohesion': 20 kPa

Phi': 30 °

Phi-B: 0 °

UG1

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 8 kPa

Phi': 27 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Alluvionale

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 0 kPa

Phi': 35 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Type: Range

Left-Zone Left Coordinate: (10; 201) m

Left-Zone Right Coordinate: (30; 204) m

Left-Zone Increment: 20

Right Type: Range

Right-Zone Left Coordinate: (50; 216,42857) m

Right-Zone Right Coordinate: (62; 231) m

Right-Zone Increment: 20

Radius Increments: 100

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (9; 201) m

Right Coordinate: (87; 234) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	9 m	201 m
Coordinate 2	27 m	201 m
Coordinate 3	37,90188 m	207 m
Coordinate 4	62 m	224 m
Coordinate 5	76 m	231 m
Coordinate 6	87 m	231 m

Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0,11

Vert Seismic Coef.: -0,055

Reinforcements

Reinforcement 1

Type: Nail

Outside Point: (38,92904; 208,54312) m

Inside Point: (44,36689; 206,00741) m

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 66/107

Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m
 Available Length: 0 m
 Required Length: 0 m
 Governing Component: (none)

Reinforcement 2

Type: Nail
 Outside Point: (41,94462; 210,78041) m
 Inside Point: (47,38247; 208,2447) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m
 Available Length: 0 m
 Required Length: 0 m
 Governing Component: (none)

Reinforcement 3

Type: Nail
 Outside Point: (45,07828; 212,85265) m
 Inside Point: (50,51613; 210,31694) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 67/107

Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m
 Available Length: 0 m
 Required Length: 0 m
 Governing Component: (none)

Reinforcement 4

Type: Nail
 Outside Point: (47,87882; 215,13258) m
 Inside Point: (53,31667; 212,59687) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m
 Available Length: 0 m
 Required Length: 0 m
 Governing Component: (none)

Reinforcement 5

Type: Nail
 Outside Point: (50,98874; 217,27547) m
 Inside Point: (56,42659; 214,73976) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 68/107

Nail Spacing: 3 m
Tensile Capacity: 159,7 kN
Reduction Factor: 1
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Apply Shear: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
Max. Pullout Force: 21,551337 kN
Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)

Reinforcement 6

Type: Nail
Outside Point: (53,94849; 219,33595) m
Inside Point: (59,38634; 216,80024) m
Slip Surface Intersection: (58,876771; 217,03786) m
Length: 6,0000032 m
Direction: 155 °
ODF Dependent: No
Force Distribution: Distributed
Anchorage: Yes
Pullout Resistance: 49 kPa
Resistance Reduction Factor: 1
Bond Diameter: 0,07 m
Nail Spacing: 3 m
Tensile Capacity: 159,7 kN
Reduction Factor: 1
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Apply Shear: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
Max. Pullout Force: 21,551337 kN
Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
Pullout Force: 2,0195269 kN
Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m
Available Length: 0,56224669 m
Required Length: 0,56224669 m
Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 7

Type: Nail
Outside Point: (57,0019; 221,4583) m
Inside Point: (62,43975; 218,92259) m
Slip Surface Intersection: (60,567748; 219,79552) m
Length: 6,0000032 m
Direction: 155 °
ODF Dependent: No
Force Distribution: Distributed
Anchorage: Yes
Pullout Resistance: 49 kPa
Resistance Reduction Factor: 1
Bond Diameter: 0,07 m
Nail Spacing: 3 m
Tensile Capacity: 159,7 kN

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 69/107

Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 7,4191374 kN
 Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m
 Available Length: 2,065526 m
 Required Length: 2,065526 m
 Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 8

Type: Pile
 Outside Point: (62,04611; 231,11806) m
 Inside Point: (62,04611; 216,11806) m
 Length: 15 m
 Direction: 90 °
 Shear Force: 100.000 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Pile Spacing: 1 m
 Apply Shear: Perp. to Reinf.
 Shear Force Applied: 100.000 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m

Reinforcement 9

Type: Nail
 Outside Point: (35,88889; 206,61111) m
 Inside Point: (41,32674; 204,0754) m
 Slip Surface Intersection: (41,136447; 204,16414) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0,75417074 kN
 Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m
 Available Length: 0,20996502 m
 Required Length: 0,20996502 m
 Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 10

Type: Nail
 Outside Point: (32,36111; 205,09723) m
 Inside Point: (37,79895; 202,56152) m

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 70/107

Slip Surface Intersection: (37,22895; 202,82732) m

Length: 5,9999941 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 49 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m

Max. Pullout Force: 21,551304 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 2,2590315 kN

Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m

Available Length: 0,628926 m

Required Length: 0,628926 m

Governing Component: Pullout Resistance

Design Factor Set: Eurocode 7 - DA1C2 (SISMA)

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 0, Unfavorable = 1

Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Effective Cohesion: 1

Effective Coefficient of Friction: 1

Undrained Strength: 1

Shear Strength (Other Models): 1

Pullout Resistance: 1

Shear Force: 1

Tensile Strength: 1

Compressive Strength: 1,1

Seismic Coefficients: 1

Earth Resistance: 1

Points

	X	Y
Point 1	9 m	190 m
Point 2	9 m	186 m
Point 3	42 m	210,5 m
Point 4	87 m	231 m
Point 5	86,99304 m	185,97608 m
Point 6	27 m	198 m
Point 7	48 m	213 m
Point 8	62 m	223 m
Point 9	76 m	231 m
Point 10	9 m	201 m
Point 11	21 m	201 m
Point 12	31,5 m	201 m
Point 13	30 m	204 m

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 71/107

Point 14	37 m	207 m
Point 15	48 m	215 m
Point 16	62 m	225 m
Point 17	37 m	205 m
Point 18	62 m	231 m
Point 19	72 m	231 m
Point 20	78 m	234 m
Point 21	87 m	234 m

Regions

	Material	Points	Area
Region 1	UG2	1;2;5;4;9;8;7;17;12;6	2.069 m²
Region 2	Alluvionale	1;10;11;12;6	132,75 m²
Region 3	UG1	11;13;14;15;16;8;7;17;12	84 m²
Region 4	UG1	8;9;4;21;20;19;18;16	92 m²

Current Slip Surface

Slip Surface: 44.542

Overdesign Factor: 1,207

Degree of Utilization: 0,828

Volume: 208,67734 m³

Weight: 4.080,4833 kN

Resisting Moment: 93.199,286 kN·m

Activating Moment: 77.173,363 kN·m

Resisting Force: 2.187,4252 kN

Activating Force: 1.811,9121 kN

Slip Rank: 1 of 44.542 slip surfaces

Exit: (18,625996; 201) m

Entry: (61,997391; 224,99814) m

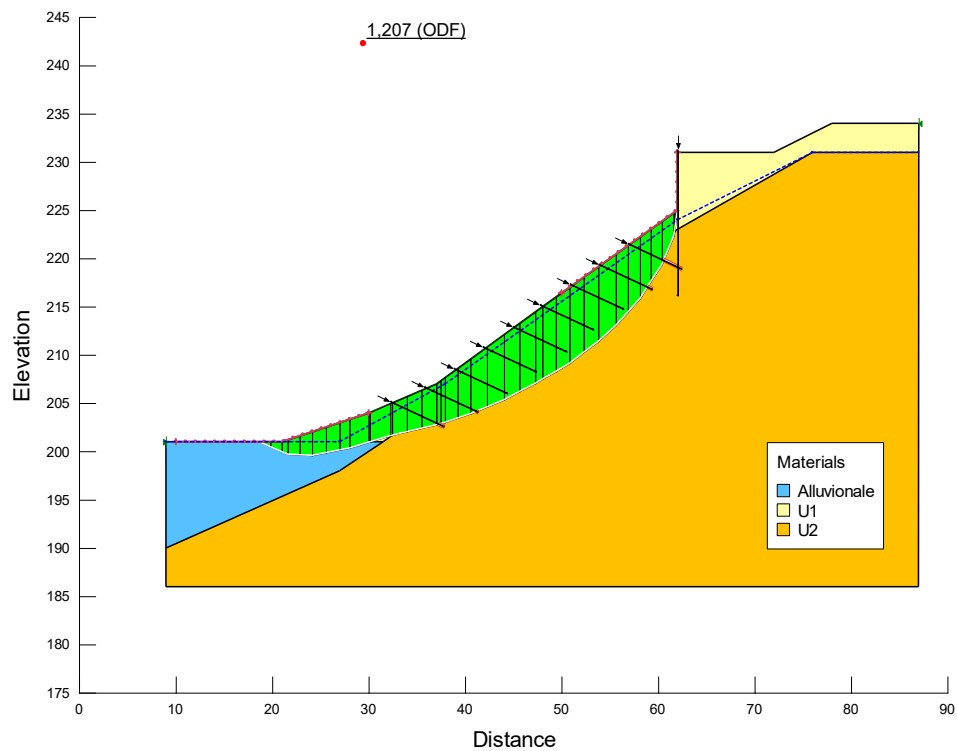
Radius: 31,115519 m

Center: (26,697372; 236,07125) m

Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength
Slice 1	19,219497 m	200,7471 m	2,4802016 kPa	5,5601267 kPa	2,1565868 kPa	0 kPa
Slice 2	20,406499 m	200,2413 m	7,4406048 kPa	18,414066 kPa	7,6837001 kPa	0 kPa
Slice 3	21,302505 m	199,85949 m	11,184955 kPa	33,296069 kPa	15,482369 kPa	0 kPa
Slice 4	22,235933 m	199,69613 m	12,787078 kPa	36,68042 kPa	16,730298 kPa	0 kPa
Slice 5	23,497778 m	199,6272 m	13,463025 kPa	49,764056 kPa	25,418256 kPa	0 kPa
Slice 6	24,846525 m	199,73606 m	12,395495 kPa	47,954946 kPa	24,898996 kPa	0 kPa
Slice 7	26,282175 m	200,02269 m	9,5844859 kPa	52,551814 kPa	30,086047 kPa	0 kPa
Slice 8	27,50213 m	200,26626 m	9,9060144 kPa	56,317727 kPa	32,497831 kPa	0 kPa
Slice 9	29,00213 m	200,66577 m	14,084104 kPa	52,067405 kPa	26,596194 kPa	0 kPa
Slice 10	30,058295 m	200,98252 m	16,678351 kPa	51,980712 kPa	24,718979 kPa	0 kPa
Slice 11	31,18601 m	201,32072 m	19,448345 kPa	53,685198 kPa	17,444548 kPa	8 kPa
Slice 12	32,349569 m	201,66389 m	22,363124 kPa	58,841848 kPa	18,586838 kPa	8 kPa
Slice 13	33,203089 m	201,8674 m	0 kPa	73,47258 kPa	42,419414 kPa	20 kPa
Slice 14	34,721854 m	202,22953 m	0 kPa	81,164159 kPa	46,860149 kPa	20 kPa
Slice 15	36,240618 m	202,59166 m	0 kPa	87,547934 kPa	50,545823 kPa	20 kPa
Slice 16	37,22728 m	202,82692 m	0 kPa	94,309808 kPa	54,449793 kPa	20 kPa
Slice 17	37,67822 m	202,95586 m	0 kPa	83,138452 kPa	48,000008 kPa	20 kPa

Slice 18	38,55757 m	203,24974 m	0 kPa	87,921449 kPa	50,761472 kPa	20 kPa
Slice 19	39,86895 m	203,68801 m	0 kPa	95,098519 kPa	54,905155 kPa	20 kPa
Slice 20	41,399277 m	204,27453 m	0 kPa	90,813438 kPa	52,431163 kPa	20 kPa
Slice 21	43,148553 m	205,00931 m	0 kPa	96,451183 kPa	55,686116 kPa	20 kPa
Slice 22	44,830705 m	205,79656 m	0 kPa	89,668537 kPa	51,770154 kPa	20 kPa
Slice 23	46,445735 m	206,63629 m	0 kPa	92,681903 kPa	53,509921 kPa	20 kPa
Slice 24	47,626625 m	207,27647 m	0 kPa	88,123521 kPa	50,878138 kPa	20 kPa
Slice 25	48,7009 m	207,91034 m	0 kPa	89,487597 kPa	51,665688 kPa	20 kPa
Slice 26	50,1027 m	208,73746 m	0 kPa	91,434498 kPa	52,789732 kPa	20 kPa
Slice 27	51,55215 m	209,71604 m	0 kPa	80,214373 kPa	46,31179 kPa	20 kPa
Slice 28	53,04925 m	210,84608 m	0 kPa	80,813997 kPa	46,657983 kPa	20 kPa
Slice 29	54,710955 m	212,25292 m	0 kPa	71,266259 kPa	41,145594 kPa	20 kPa
Slice 30	56,24457 m	213,78419 m	0 kPa	61,582825 kPa	35,554861 kPa	20 kPa
Slice 31	57,48549 m	215,16308 m	0 kPa	59,086503 kPa	34,113608 kPa	20 kPa
Slice 32	58,679393 m	216,73434 m	0 kPa	42,98703 kPa	24,818573 kPa	20 kPa
Slice 33	59,826278 m	218,49795 m	0 kPa	36,041906 kPa	20,808804 kPa	20 kPa
Slice 34	60,99989 m	220,86479 m	0 kPa	10,43238 kPa	6,0231375 kPa	20 kPa
Slice 35	61,630686 m	222,55395 m	0 kPa	-16,185226 kPa	-9,3445448 kPa	20 kPa
Slice 36	61,745458 m	223,31894 m	4,9181753 kPa	-0,70367667 kPa	-2,8644766 kPa	8 kPa
Slice 37	61,913498 m	224,43897 m	-4,903387 kPa	-9,0697671 kPa	-4,6212771 kPa	8 kPa



Sup. di scorrimento critica in condizioni sismiche SLV: $k_h=0,11$; $k_v = - 0,055$;

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 73/107

SLV (-) interna

Report generated using GeoStudio 2018. Copyright © 1991-2018 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

File Version: 9.00

Revision Number: 151

Date: 19/03/2025

Time: 16:37:27

Tool Version: 9.0.5.16316

File Name: Rinforzo corticale Castel del Rio.gsz

Directory: \\PC-SERVER\Archivio-GES\LAVORI\Castel del Rio SOIL\2_Elaborazione\4_Modellazione Numerica\Geoslope\

Last Solved Date: 19/03/2025

Last Solved Time: 16:38:25

Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

Analysis Settings

SLV (-) interna

Kind: SLOPE/W

Method: Morgenstern-Price

Settings

Side Function

Interslice force function option: Half-Sine

PWP Conditions from: Piezometric Line

Apply Phreatic Correction: No

Use Staged Rapid Drawdown: No

Limit State Design Approach: Eurocode 7 - DA1C2 (SISMA)

Unit Weight of Water: 9,807 kN/m³

Slip Surface

Direction of movement: Right to Left

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entry and Exit

Critical slip surfaces saved: 1

Optimize Critical Slip Surface Location: Yes

Optimizations Settings

Maximum Iterations: 2.000

Convergence Tolerance: 1e-07

Starting Points: 8

Ending Points: 16

Complete Passes per Insertion: 1

Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °

Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Tension Crack Option: (none)

Distribution

ODF Calculation Option: Constant

Advanced

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: 0,1 m

Number of Slices: 30

Overdesign Factor Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: 100

Tolerable difference in ODF: 0,001

Solution Settings

Search Method: Root Finder

Tolerable difference between starting and converged ODF: 3

Maximum iterations to calculate converged lambda: 20

CMDB-001-DD-REL-204-A.docx

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 74/107

Max Absolute Lambda: 2

Materials

UG2

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 20 kN/m³

Cohesion': 20 kPa

Phi': 30 °

Phi-B: 0 °

UG1

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 8 kPa

Phi': 27 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Alluvionale

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 0 kPa

Phi': 35 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Type: Range

Left-Zone Left Coordinate: (30; 204) m

Left-Zone Right Coordinate: (50; 216,42857) m

Left-Zone Increment: 20

Right Type: Range

Right-Zone Left Coordinate: (50; 216,42857) m

Right-Zone Right Coordinate: (62; 231) m

Right-Zone Increment: 20

Radius Increments: 100

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (9; 201) m

Right Coordinate: (87; 234) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	9 m	201 m
Coordinate 2	27 m	201 m
Coordinate 3	37,90188 m	207 m
Coordinate 4	62 m	224 m
Coordinate 5	76 m	231 m
Coordinate 6	87 m	231 m

Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0,11

Vert Seismic Coef.: -0,055

Reinforcements

Reinforcement 1

Type: Nail

Outside Point: (38,92904; 208,54312) m

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 75/107

Inside Point: (44,36689; 206,00741) m

Slip Surface Intersection: (44,082807; 206,13988) m

Length: 6,0000032 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 49 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m

Max. Pullout Force: 21,551337 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 1,1258823 kN

Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m

Available Length: 0,31345142 m

Required Length: 0,31345142 m

Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 2

Type: Nail

Outside Point: (41,94462; 210,78041) m

Inside Point: (47,38247; 208,2447) m

Length: 6,0000032 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 49 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m

Max. Pullout Force: 21,551337 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

Available Length: 0 m

Required Length: 0 m

Governing Component: (none)

Reinforcement 3

Type: Nail

Outside Point: (45,07828; 212,85265) m

Inside Point: (50,51613; 210,31694) m

Length: 6,0000032 m

Direction: 155 °

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 76/107

ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m
 Available Length: 0 m
 Required Length: 0 m
 Governing Component: (none)

Reinforcement 4

Type: Nail
 Outside Point: (47,87882; 215,13258) m
 Inside Point: (53,31667; 212,59687) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m
 Available Length: 0 m
 Required Length: 0 m
 Governing Component: (none)

Reinforcement 5

Type: Nail
 Outside Point: (50,98874; 217,27547) m
 Inside Point: (56,42659; 214,73976) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 77/107

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m

Max. Pullout Force: 21,551337 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

Available Length: 0 m

Required Length: 0 m

Governing Component: (none)

Reinforcement 6

Type: Nail

Outside Point: (53,94849; 219,33595) m

Inside Point: (59,38634; 216,80024) m

Slip Surface Intersection: (59,0007; 216,98007) m

Length: 6,0000032 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 49 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m

Max. Pullout Force: 21,551337 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 1,5283711 kN

Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m

Available Length: 0,42550637 m

Required Length: 0,42550637 m

Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 7

Type: Nail

Outside Point: (57,0019; 221,4583) m

Inside Point: (62,43975; 218,92259) m

Slip Surface Intersection: (60,623473; 219,76953) m

Length: 6,0000032 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 49 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 78/107

Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 7,1982863 kN
 Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m
 Available Length: 2,00404 m
 Required Length: 2,00404 m
 Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 8

Type: Pile
 Outside Point: (62,04611; 231,11806) m
 Inside Point: (62,04611; 216,11806) m
 Length: 15 m
 Direction: 90 °
 Shear Force: 100.000 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Pile Spacing: 1 m
 Apply Shear: Perp. to Reinf.
 Shear Force Applied: 100.000 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m

Reinforcement 9

Type: Nail
 Outside Point: (35,88889; 206,61111) m
 Inside Point: (41,32674; 204,0754) m
 Slip Surface Intersection: (40,159987; 204,61947) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 4,6240879 kN
 Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m
 Available Length: 1,2873699 m
 Required Length: 1,2873699 m
 Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 10

Type: Nail

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 79/107

Outside Point: (32,36111; 205,09723) m

Inside Point: (37,79895; 202,56152) m

Slip Surface Intersection: (35,564732; 203,60335) m

Length: 5,9999941 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 49 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m

Max. Pullout Force: 21,551304 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 8,8546762 kN

Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m

Available Length: 2,4651874 m

Required Length: 2,4651874 m

Governing Component: Pullout Resistance

Design Factor Set: Eurocode 7 - DA1C2 (SISMA)

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 0, Unfavorable = 1

Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Effective Cohesion: 1

Effective Coefficient of Friction: 1

Undrained Strength: 1

Shear Strength (Other Models): 1

Pullout Resistance: 1

Shear Force: 1

Tensile Strength: 1

Compressive Strength: 1,1

Seismic Coefficients: 1

Earth Resistance: 1

Points

	X	Y
Point 1	9 m	190 m
Point 2	9 m	186 m
Point 3	42 m	210,5 m
Point 4	87 m	231 m
Point 5	86,99304 m	185,97608 m
Point 6	27 m	198 m
Point 7	48 m	213 m
Point 8	62 m	223 m
Point 9	76 m	231 m
Point 10	9 m	201 m
Point 11	21 m	201 m
Point 12	31,5 m	201 m

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 80/107

Point 13	30 m	204 m
Point 14	37 m	207 m
Point 15	48 m	215 m
Point 16	62 m	225 m
Point 17	37 m	205 m
Point 18	62 m	231 m
Point 19	72 m	231 m
Point 20	78 m	234 m
Point 21	87 m	234 m

Regions

	Material	Points	Area
Region 1	UG2	1;2;5;4;9;8;7;17;12;6	2.069 m²
Region 2	Alluvionale	1;10;11;12;6	132,75 m²
Region 3	UG1	11;13;14;15;16;8;7;17;12	84 m²
Region 4	UG1	8;9;4;21;20;19;18;16	92 m²

Current Slip Surface

Slip Surface: 44.542

Overdesign Factor: 1,246

Degree of Utilization: 0,803

Volume: 163,35704 m³

Weight: 3.204,7533 kN

Resisting Moment: 61.226,242 kN·m

Activating Moment: 49.140,302 kN·m

Resisting Force: 1.814,0746 kN

Activating Force: 1.456,6921 kN

Slip Rank: 1 of 44.542 slip surfaces

Exit: (30; 204) m

Entry: (61,995325; 224,99666) m

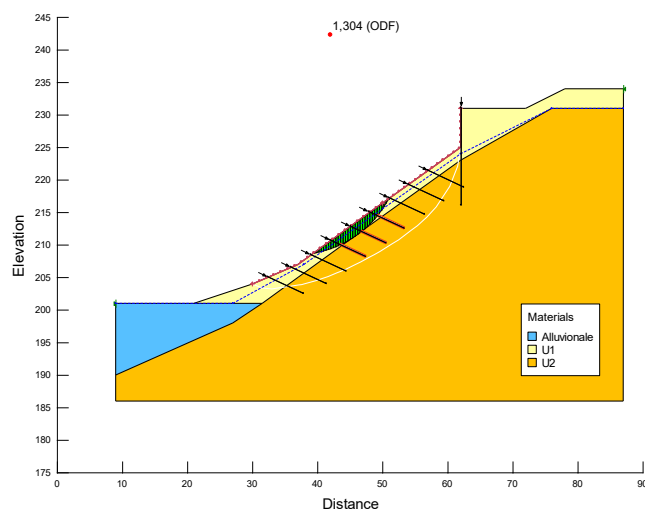
Radius: 26,362906 m

Center: (33,974655; 231,72726) m

Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength
Slice 1	30,690285 m	203,70545 m	-6,6143735 kPa	19,050918 kPa	9,7069275 kPa	8 kPa
Slice 2	31,404015 m	203,4009 m	0,22464732 kPa	37,20707 kPa	18,843486 kPa	8 kPa
Slice 3	32,20355 m	203,30543 m	5,4764299 kPa	39,221403 kPa	17,193922 kPa	8 kPa
Slice 4	33,473564 m	203,29321 m	12,451063 kPa	46,2623 kPa	17,227686 kPa	8 kPa
Slice 5	34,461413 m	203,43972 m	16,346058 kPa	52,373293 kPa	18,356793 kPa	8 kPa
Slice 6	35,466503 m	203,58879 m	0 kPa	65,681261 kPa	37,921094 kPa	20 kPa
Slice 7	36,488834 m	203,74041 m	0 kPa	73,322124 kPa	42,332548 kPa	20 kPa
Slice 8	37,28917 m	203,85911 m	0 kPa	84,424531 kPa	48,742526 kPa	20 kPa
Slice 9	37,74011 m	203,94485 m	0 kPa	79,340436 kPa	45,807222 kPa	20 kPa
Slice 10	38,369415 m	204,11152 m	0 kPa	83,827047 kPa	48,397568 kPa	20 kPa
Slice 11	39,304485 m	204,35917 m	0 kPa	92,786485 kPa	53,570302 kPa	20 kPa
Slice 12	40,23985 m	204,64756 m	0 kPa	90,004816 kPa	51,964305 kPa	20 kPa
Slice 13	41,17551 m	204,97667 m	0 kPa	94,308667 kPa	54,449135 kPa	20 kPa
Slice 14	42,293707 m	205,40747 m	0 kPa	92,280133 kPa	53,277959 kPa	20 kPa
Slice 15	43,594442 m	205,93996 m	0 kPa	96,569244 kPa	55,754279 kPa	20 kPa
Slice 16	44,851275 m	206,49999 m	0 kPa	90,635978 kPa	52,328706 kPa	20 kPa

Slice 17	46,064205 m	207,08756 m	0 kPa	92,430055 kPa	53,364517 kPa	20 kPa
Slice 18	47,335335 m	207,7451 m	0 kPa	87,253718 kPa	50,375958 kPa	20 kPa
Slice 19	48,401317 m	208,3285 m	0 kPa	88,015759 kPa	50,815922 kPa	20 kPa
Slice 20	49,203952 m	208,76777 m	0 kPa	88,63676 kPa	51,174457 kPa	20 kPa
Slice 21	50,08624 m	209,28699 m	0 kPa	82,317337 kPa	47,525937 kPa	20 kPa
Slice 22	51,04818 m	209,88614 m	0 kPa	82,739775 kPa	47,769832 kPa	20 kPa
Slice 23	52,01012 m	210,4853 m	0 kPa	83,427912 kPa	48,167128 kPa	20 kPa
Slice 24	52,972898 m	211,14823 m	0 kPa	74,429049 kPa	42,971631 kPa	20 kPa
Slice 25	53,936515 m	211,87493 m	0 kPa	74,684175 kPa	43,118929 kPa	20 kPa
Slice 26	54,900132 m	212,60164 m	0 kPa	75,471689 kPa	43,5736 kPa	20 kPa
Slice 27	56,09643 m	213,61545 m	0 kPa	67,164409 kPa	38,777389 kPa	20 kPa
Slice 28	57,53191 m	215,04998 m	0 kPa	58,822348 kPa	33,961098 kPa	20 kPa
Slice 29	58,768455 m	216,62415 m	0 kPa	43,424296 kPa	25,071029 kPa	20 kPa
Slice 30	59,799565 m	218,20433 m	0 kPa	38,435645 kPa	22,19083 kPa	20 kPa
Slice 31	60,934335 m	220,55095 m	0 kPa	12,804584 kPa	7,3927298 kPa	20 kPa
Slice 32	61,602782 m	222,42946 m	0 kPa	-14,668725 kPa	-8,4689921 kPa	20 kPa
Slice 33	61,737975 m	223,31362 m	4,9185781 kPa	-0,27166192 kPa	-2,6445594 kPa	8 kPa
Slice 34	61,909631 m	224,43623 m	-4,9032974 kPa	-8,7610884 kPa	-4,4639975 kPa	8 kPa



Sup. di scorrimento critica per la stabilità interna in condizioni sismiche SLV (SLV-): $k_h=0,110$; $k_v = - 0,055$

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 82/107

SLV (+)

Report generated using GeoStudio 2018. Copyright © 1991-2018 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

File Version: 9.00

Revision Number: 151

Date: 19/03/2025

Time: 16:37:27

Tool Version: 9.0.5.16316

File Name: Rinforzo corticale Castel del Rio.gsz

Directory: \\PC-SERVER\Archivio-GES\LAVORI\Castel del Rio SOIL\2_Elaborazione\4_Modellazione Numerica\Geoslope\

Last Solved Date: 19/03/2025

Last Solved Time: 16:38:13

Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

Analysis Settings

SLV (+)

Kind: SLOPE/W

Method: Morgenstern-Price

Settings

Side Function

Interslice force function option: Half-Sine

PWP Conditions from: Piezometric Line

Apply Phreatic Correction: No

Use Staged Rapid Drawdown: No

Limit State Design Approach: Eurocode 7 - DA1C2 (SISMA)

Unit Weight of Water: 9,807 kN/m³

Slip Surface

Direction of movement: Right to Left

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entry and Exit

Critical slip surfaces saved: 1

Optimize Critical Slip Surface Location: Yes

Optimizations Settings

Maximum Iterations: 2.000

Convergence Tolerance: 1e-07

Starting Points: 8

Ending Points: 16

Complete Passes per Insertion: 1

Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °

Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Tension Crack Option: (none)

Distribution

ODF Calculation Option: Constant

Advanced

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: 0,1 m

Number of Slices: 30

Overdesign Factor Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: 100

Tolerable difference in ODF: 0,001

Solution Settings

Search Method: Root Finder

Tolerable difference between starting and converged ODF: 3

Maximum iterations to calculate converged lambda: 20

Max Absolute Lambda: 2

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 83/107

Materials

UG2

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 20 kN/m³

Cohesion': 20 kPa

Phi': 30 °

Phi-B: 0 °

UG1

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 8 kPa

Phi': 27 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Alluvionale

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 0 kPa

Phi': 35 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Type: Range

Left-Zone Left Coordinate: (10; 201) m

Left-Zone Right Coordinate: (30; 204) m

Left-Zone Increment: 20

Right Type: Range

Right-Zone Left Coordinate: (50; 216,42857) m

Right-Zone Right Coordinate: (62; 231) m

Right-Zone Increment: 20

Radius Increments: 100

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (9; 201) m

Right Coordinate: (87; 234) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	9 m	201 m
Coordinate 2	27 m	201 m
Coordinate 3	37,90188 m	207 m
Coordinate 4	62 m	224 m
Coordinate 5	76 m	231 m
Coordinate 6	87 m	231 m

Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0,11

Vert Seismic Coef.: 0,055

Reinforcements

Reinforcement 1

Type: Nail

Outside Point: (38,92904; 208,54312) m

Inside Point: (44,36689; 206,00741) m

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 84/107

Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m
 Available Length: 0 m
 Required Length: 0 m
 Governing Component: (none)

Reinforcement 2

Type: Nail
 Outside Point: (41,94462; 210,78041) m
 Inside Point: (47,38247; 208,2447) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m
 Available Length: 0 m
 Required Length: 0 m
 Governing Component: (none)

Reinforcement 3

Type: Nail
 Outside Point: (45,07828; 212,85265) m
 Inside Point: (50,51613; 210,31694) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 85/107

Anchorage: Yes
Pullout Resistance: 49 kPa
Resistance Reduction Factor: 1
Bond Diameter: 0,07 m
Nail Spacing: 3 m
Tensile Capacity: 159,7 kN
Reduction Factor: 1
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Apply Shear: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
Max. Pullout Force: 21,551337 kN
Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)

Reinforcement 4

Type: Nail
Outside Point: (47,87882; 215,13258) m
Inside Point: (53,31667; 212,59687) m
Length: 6,0000032 m
Direction: 155 °
ODF Dependent: No
Force Distribution: Distributed
Anchorage: Yes
Pullout Resistance: 49 kPa
Resistance Reduction Factor: 1
Bond Diameter: 0,07 m
Nail Spacing: 3 m
Tensile Capacity: 159,7 kN
Reduction Factor: 1
Shear Force: 0 kN
Shear Reduction Factor: 1
Apply Shear: Parallel to Slip
Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
Max. Pullout Force: 21,551337 kN
Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
Pullout Force: 0 kN
Pullout Force per Length: 0 kN/m
Available Length: 0 m
Required Length: 0 m
Governing Component: (none)

Reinforcement 5

Type: Nail
Outside Point: (50,98874; 217,27547) m
Inside Point: (56,42659; 214,73976) m
Length: 6,0000032 m
Direction: 155 °
ODF Dependent: No
Force Distribution: Distributed
Anchorage: Yes
Pullout Resistance: 49 kPa
Resistance Reduction Factor: 1
Bond Diameter: 0,07 m

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 86/107

Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m
 Available Length: 0 m
 Required Length: 0 m
 Governing Component: (none)

Reinforcement 6

Type: Nail
 Outside Point: (53,94849; 219,33595) m
 Inside Point: (59,38634; 216,80024) m
 Slip Surface Intersection: (59,126715; 216,92131) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 1,0289497 kN
 Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m
 Available Length: 0,28646488 m
 Required Length: 0,28646488 m
 Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 7

Type: Nail
 Outside Point: (57,0019; 221,4583) m
 Inside Point: (62,43975; 218,92259) m
 Slip Surface Intersection: (60,720789; 219,72415) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 87/107

Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 6,8126017 kN
 Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m
 Available Length: 1,8966634 m
 Required Length: 1,8966634 m
 Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 8

Type: Pile
 Outside Point: (62,04611; 231,11806) m
 Inside Point: (62,04611; 216,11806) m
 Length: 15 m
 Direction: 90 °
 Shear Force: 100.000 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Pile Spacing: 1 m
 Apply Shear: Perp. to Reinf.
 Shear Force Applied: 100.000 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m

Reinforcement 9

Type: Nail
 Outside Point: (35,88889; 206,61111) m
 Inside Point: (41,32674; 204,0754) m
 Slip Surface Intersection: (40,61413; 204,4077) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 2,8242232 kN
 Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m
 Available Length: 0,78627829 m
 Required Length: 0,78627829 m
 Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 10

Type: Nail
 Outside Point: (32,36111; 205,09723) m
 Inside Point: (37,79895; 202,56152) m

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 88/107

Slip Surface Intersection: (36,482921; 203,1752) m

Length: 5,9999941 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 49 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m

Max. Pullout Force: 21,551304 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 5,2156997 kN

Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m

Available Length: 1,4520777 m

Required Length: 1,4520777 m

Governing Component: Pullout Resistance

Design Factor Set: Eurocode 7 - DA1C2 (SISMA)

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 0, Unfavorable = 1

Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Effective Cohesion: 1

Effective Coefficient of Friction: 1

Undrained Strength: 1

Shear Strength (Other Models): 1

Pullout Resistance: 1

Shear Force: 1

Tensile Strength: 1

Compressive Strength: 1,1

Seismic Coefficients: 1

Earth Resistance: 1

Points

	X	Y
Point 1	9 m	190 m
Point 2	9 m	186 m
Point 3	42 m	210,5 m
Point 4	87 m	231 m
Point 5	86,99304 m	185,97608 m
Point 6	27 m	198 m
Point 7	48 m	213 m
Point 8	62 m	223 m
Point 9	76 m	231 m
Point 10	9 m	201 m
Point 11	21 m	201 m
Point 12	31,5 m	201 m
Point 13	30 m	204 m

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 89/107

Point 14	37 m	207 m
Point 15	48 m	215 m
Point 16	62 m	225 m
Point 17	37 m	205 m
Point 18	62 m	231 m
Point 19	72 m	231 m
Point 20	78 m	234 m
Point 21	87 m	234 m

Regions

	Material	Points	Area
Region 1	UG2	1;2;5;4;9;8;7;17;12;6	2.069 m²
Region 2	Alluvionale	1;10;11;12;6	132,75 m²
Region 3	UG1	11;13;14;15;16;8;7;17;12	84 m²
Region 4	UG1	8;9;4;21;20;19;18;16	92 m²

Current Slip Surface

Slip Surface: 44.542

Overdesign Factor: 1,218

Degree of Utilization: 0,821

Volume: 183,08759 m³

Weight: 3.588,155 kN

Resisting Moment: 75.201,767 kN·m

Activating Moment: 61.709,833 kN·m

Resisting Force: 2.183,6224 kN

Activating Force: 1.792,2655 kN

Slip Rank: 1 of 44.542 slip surfaces

Exit: (25,172227; 202,39074) m

Entry: (61,997763; 224,9984) m

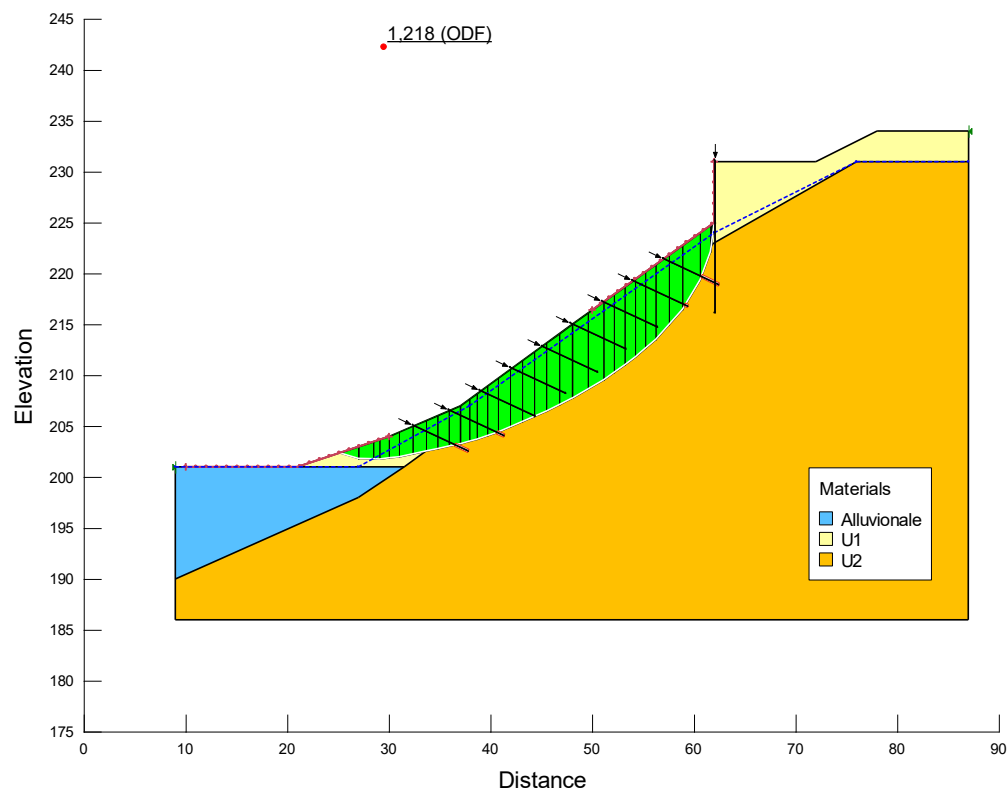
Radius: 28,603133 m

Center: (33,0849; 231,79906) m

Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength
Slice 1	26,083709 m	202,12084 m	-10,99204 kPa	17,925861 kPa	9,1336825 kPa	8 kPa
Slice 2	26,997595 m	201,85085 m	-8,3443249 kPa	27,927764 kPa	14,229906 kPa	8 kPa
Slice 3	27,730937 m	201,82767 m	-4,1717896 kPa	35,659191 kPa	18,169265 kPa	8 kPa
Slice 4	28,765267 m	201,79497 m	1,7316002 kPa	46,88898 kPa	23,008834 kPa	8 kPa
Slice 5	29,53433 m	201,83818 m	5,4587764 kPa	47,003573 kPa	21,168131 kPa	8 kPa
Slice 6	30,49247 m	201,94683 m	9,5647767 kPa	53,481145 kPa	22,376507 kPa	8 kPa
Slice 7	31,654803 m	202,14553 m	13,88972 kPa	55,42675 kPa	21,164173 kPa	8 kPa
Slice 8	32,994528 m	202,43124 m	18,31876 kPa	60,917062 kPa	21,704919 kPa	8 kPa
Slice 9	34,218215 m	202,69221 m	0 kPa	76,396498 kPa	44,107538 kPa	20 kPa
Slice 10	35,325865 m	202,92844 m	0 kPa	84,442432 kPa	48,752861 kPa	20 kPa
Slice 11	36,433515 m	203,16466 m	0 kPa	92,077093 kPa	53,160734 kPa	20 kPa
Slice 12	36,99367 m	203,28453 m	0 kPa	132,34038 kPa	76,406755 kPa	20 kPa
Slice 13	37,45094 m	203,41161 m	0 kPa	90,875459 kPa	52,466971 kPa	20 kPa
Slice 14	38,26704 m	203,63842 m	0 kPa	98,599434 kPa	56,92641 kPa	20 kPa
Slice 15	39,158938 m	203,91738 m	0 kPa	97,448028 kPa	56,261645 kPa	20 kPa
Slice 16	40,212412 m	204,27234 m	0 kPa	104,29348 kPa	60,213868 kPa	20 kPa
Slice 17	41,331645 m	204,70274 m	0 kPa	97,550137 kPa	56,320598 kPa	20 kPa

Slice 18	42,516635 m	205,20858 m	0 kPa	101,71765 kPa	58,726712 kPa	20 kPa
Slice 19	43,701625 m	205,71441 m	0 kPa	105,67496 kPa	61,011464 kPa	20 kPa
Slice 20	44,886615 m	206,22025 m	0 kPa	109,46662 kPa	63,200584 kPa	20 kPa
Slice 21	46,109332 m	206,79528 m	0 kPa	101,98753 kPa	58,882529 kPa	20 kPa
Slice 22	47,369777 m	207,43949 m	0 kPa	104,27412 kPa	60,202693 kPa	20 kPa
Slice 23	48,017385 m	207,77048 m	0 kPa	105,50199 kPa	60,911604 kPa	20 kPa
Slice 24	48,800283 m	208,22401 m	0 kPa	98,818424 kPa	57,052843 kPa	20 kPa
Slice 25	50,331308 m	209,1133 m	0 kPa	100,65165 kPa	58,111256 kPa	20 kPa
Slice 26	51,6159 m	209,93041 m	0 kPa	90,001089 kPa	51,962153 kPa	20 kPa
Slice 27	52,65406 m	210,67534 m	0 kPa	90,481157 kPa	52,23932 kPa	20 kPa
Slice 28	53,69222 m	211,42027 m	0 kPa	91,249987 kPa	52,683204 kPa	20 kPa
Slice 29	54,71345 m	212,22878 m	0 kPa	81,855744 kPa	47,259436 kPa	20 kPa
Slice 30	55,71775 m	213,10088 m	0 kPa	81,773229 kPa	47,211795 kPa	20 kPa
Slice 31	56,87985 m	214,27149 m	0 kPa	68,653257 kPa	39,636976 kPa	20 kPa
Slice 32	58,19975 m	215,74062 m	0 kPa	66,831956 kPa	38,585448 kPa	20 kPa
Slice 33	59,723335 m	217,91811 m	0 kPa	42,852351 kPa	24,740816 kPa	20 kPa
Slice 34	61,102185 m	220,75909 m	0 kPa	13,107495 kPa	7,5676157 kPa	20 kPa
Slice 35	61,659555 m	222,47204 m	0 kPa	-15,967383 kPa	-9,2187731 kPa	20 kPa
Slice 36	61,775822 m	223,34054 m	4,9164248 kPa	-0,67290502 kPa	-2,8479058 kPa	8 kPa
Slice 37	61,923848 m	224,44627 m	-4,9034031 kPa	-9,2896111 kPa	-4,7332933 kPa	8 kPa



Sup. di scorrimento critica in condizioni sismiche SLV+: kh=0,110; kv = +0,055

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 91/107

SLV (+) interna

Report generated using GeoStudio 2018. Copyright © 1991-2018 GEO-SLOPE International Ltd.

File Information

File Version: 9.00

Revision Number: 151

Date: 19/03/2025

Time: 16:37:27

Tool Version: 9.0.5.16316

File Name: Rinforzo corticale Castel del Rio.gsz

Directory: \\PC-SERVER\Archivio-GES\LAVORI\Castel del Rio SOIL\2_Elaborazione\4_Modellazione Numerica\Geoslope\

Last Solved Date: 19/03/2025

Last Solved Time: 16:38:28

Project Settings

Unit System: International System of Units (SI)

Analysis Settings

SLV (+) interna

Kind: SLOPE/W

Method: Morgenstern-Price

Settings

Side Function

Interslice force function option: Half-Sine

PWP Conditions from: Piezometric Line

Apply Phreatic Correction: No

Use Staged Rapid Drawdown: No

Limit State Design Approach: Eurocode 7 - DA1C2 (SISMA)

Unit Weight of Water: 9,807 kN/m³

Slip Surface

Direction of movement: Right to Left

Use Passive Mode: No

Slip Surface Option: Entry and Exit

Critical slip surfaces saved: 1

Optimize Critical Slip Surface Location: Yes

Optimizations Settings

Maximum Iterations: 2.000

Convergence Tolerance: 1e-07

Starting Points: 8

Ending Points: 16

Complete Passes per Insertion: 1

Driving Side Maximum Convex Angle: 5 °

Resisting Side Maximum Convex Angle: 1 °

Tension Crack Option: (none)

Distribution

ODF Calculation Option: Constant

Advanced

Geometry Settings

Minimum Slip Surface Depth: 0,1 m

Number of Slices: 30

Overdesign Factor Convergence Settings

Maximum Number of Iterations: 100

Tolerable difference in ODF: 0,001

Solution Settings

Search Method: Root Finder

Tolerable difference between starting and converged ODF: 3

Maximum iterations to calculate converged lambda: 20

Max Absolute Lambda: 2

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 92/107

Materials

UG2

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 20 kN/m³

Cohesion': 20 kPa

Phi': 30 °

Phi-B: 0 °

UG1

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 8 kPa

Phi': 27 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Alluvionale

Model: Mohr-Coulomb

Unit Weight: 19 kN/m³

Cohesion': 0 kPa

Phi': 35 °

Phi-B: 0 °

Pore Water Pressure

Piezometric Line: 1

Slip Surface Entry and Exit

Left Type: Range

Left-Zone Left Coordinate: (30; 204) m

Left-Zone Right Coordinate: (50; 216,42857) m

Left-Zone Increment: 20

Right Type: Range

Right-Zone Left Coordinate: (50; 216,42857) m

Right-Zone Right Coordinate: (62; 231) m

Right-Zone Increment: 20

Radius Increments: 100

Slip Surface Limits

Left Coordinate: (9; 201) m

Right Coordinate: (87; 234) m

Piezometric Lines

Piezometric Line 1

Coordinates

	X	Y
Coordinate 1	9 m	201 m
Coordinate 2	27 m	201 m
Coordinate 3	37,90188 m	207 m
Coordinate 4	62 m	224 m
Coordinate 5	76 m	231 m
Coordinate 6	87 m	231 m

Seismic Coefficients

Horz Seismic Coef.: 0,11

Vert Seismic Coef.: 0,055

Reinforcements

Reinforcement 1

Type: Nail

Outside Point: (38,92904; 208,54312) m

Inside Point: (44,36689; 206,00741) m

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 93/107

Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m
 Available Length: 0 m
 Required Length: 0 m
 Governing Component: (none)

Reinforcement 2

Type: Nail
 Outside Point: (41,94462; 210,78041) m
 Inside Point: (47,38247; 208,2447) m
 Slip Surface Intersection: (43,772005; 209,92829) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 14,309029 kN
 Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m
 Available Length: 3,9837074 m
 Required Length: 3,9837074 m
 Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 3

Type: Nail
 Outside Point: (45,07828; 212,85265) m
 Inside Point: (50,51613; 210,31694) m
 Slip Surface Intersection: (46,731816; 212,08159) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 94/107

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 49 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m

Max. Pullout Force: 21,551337 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 14,998028 kN

Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m

Available Length: 4,1755281 m

Required Length: 4,1755281 m

Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 4

Type: Nail

Outside Point: (47,87882; 215,13258) m

Inside Point: (53,31667; 212,59687) m

Slip Surface Intersection: (49,669433; 214,2976) m

Length: 6,0000032 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 49 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m

Max. Pullout Force: 21,551337 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 14,454764 kN

Pullout Force per Length: 3,5918876 kN/m

Available Length: 4,0242807 m

Required Length: 4,0242807 m

Governing Component: Pullout Resistance

Reinforcement 5

Type: Nail

Outside Point: (50,98874; 217,27547) m

Inside Point: (56,42659; 214,73976) m

Length: 6,0000032 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 95/107

Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m
 Available Length: 0 m
 Required Length: 0 m
 Governing Component: (none)

Reinforcement 6

Type: Nail
 Outside Point: (53,94849; 219,33595) m
 Inside Point: (59,38634; 216,80024) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m
 Available Length: 0 m
 Required Length: 0 m
 Governing Component: (none)

Reinforcement 7

Type: Nail
 Outside Point: (57,0019; 221,4583) m
 Inside Point: (62,43975; 218,92259) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m

 CITTÀ METROPOLITANA DI BOLOGNA	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 96/107

Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m
 Available Length: 0 m
 Required Length: 0 m
 Governing Component: (none)

Reinforcement 8

Type: Pile
 Outside Point: (62,04611; 231,11806) m
 Inside Point: (62,04611; 216,11806) m
 Length: 15 m
 Direction: 90 °
 Shear Force: 100.000 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Pile Spacing: 1 m
 Apply Shear: Perp. to Reinf.
 Shear Force Applied: 100.000 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m

Reinforcement 9

Type: Nail
 Outside Point: (35,88889; 206,61111) m
 Inside Point: (41,32674; 204,0754) m
 Length: 6,0000032 m
 Direction: 155 °
 ODF Dependent: No
 Force Distribution: Distributed
 Anchorage: Yes
 Pullout Resistance: 49 kPa
 Resistance Reduction Factor: 1
 Bond Diameter: 0,07 m
 Nail Spacing: 3 m
 Tensile Capacity: 159,7 kN
 Reduction Factor: 1
 Shear Force: 0 kN
 Shear Reduction Factor: 1
 Apply Shear: Parallel to Slip
 Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m
 Max. Pullout Force: 21,551337 kN
 Factored Tensile Capacity: 53,2 kN
 Pullout Force: 0 kN
 Pullout Force per Length: 0 kN/m
 Available Length: 0 m
 Required Length: 0 m
 Governing Component: (none)

Reinforcement 10

Type: Nail
 Outside Point: (32,36111; 205,09723) m
 Inside Point: (37,79895; 202,56152) m

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 97/107

Length: 5,9999941 m

Direction: 155 °

ODF Dependent: No

Force Distribution: Distributed

Anchorage: Yes

Pullout Resistance: 49 kPa

Resistance Reduction Factor: 1

Bond Diameter: 0,07 m

Nail Spacing: 3 m

Tensile Capacity: 159,7 kN

Reduction Factor: 1

Shear Force: 0 kN

Shear Reduction Factor: 1

Apply Shear: Parallel to Slip

Factored Pullout Resistance: 3,5918876 kN/m

Max. Pullout Force: 21,551304 kN

Factored Tensile Capacity: 53,2 kN

Pullout Force: 0 kN

Pullout Force per Length: 0 kN/m

Available Length: 0 m

Required Length: 0 m

Governing Component: (none)

Design Factor Set: Eurocode 7 - DA1C2 (SISMA)

Permanent Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Variable Point Loads & Surcharge Loads: Favorable = 0, Unfavorable = 1

Soil Unit Weight: Favorable = 1, Unfavorable = 1

Effective Cohesion: 1

Effective Coefficient of Friction: 1

Undrained Strength: 1

Shear Strength (Other Models): 1

Pullout Resistance: 1

Shear Force: 1

Tensile Strength: 1

Compressive Strength: 1,1

Seismic Coefficients: 1

Earth Resistance: 1

Points

	X	Y
Point 1	9 m	190 m
Point 2	9 m	186 m
Point 3	42 m	210,5 m
Point 4	87 m	231 m
Point 5	86,99304 m	185,97608 m
Point 6	27 m	198 m
Point 7	48 m	213 m
Point 8	62 m	223 m
Point 9	76 m	231 m
Point 10	9 m	201 m
Point 11	21 m	201 m
Point 12	31,5 m	201 m
Point 13	30 m	204 m
Point 14	37 m	207 m

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 98/107

Point 15	48 m	215 m
Point 16	62 m	225 m
Point 17	37 m	205 m
Point 18	62 m	231 m
Point 19	72 m	231 m
Point 20	78 m	234 m
Point 21	87 m	234 m

Regions

	Material	Points	Area
Region 1	UG2	1;2;5;4;9;8;7;17;12;6	2.069 m²
Region 2	Alluvionale	1;10;11;12;6	132,75 m²
Region 3	UG1	11;13;14;15;16;8;7;17;12	84 m²
Region 4	UG1	8;9;4;21;20;19;18;16	92 m²

Current Slip Surface

Slip Surface: 44.542

Overdesign Factor: 1,061

Degree of Utilization: 0,943

Volume: 20,466288 m³

Weight: 388,85947 kN

Resisting Moment: 4.024,0516 kN·m

Activating Moment: 3.792,9927 kN·m

Resisting Force: 199,51492 kN

Activating Force: 188,09801 kN

Slip Rank: 1 of 44.542 slip surfaces

Exit: (39,047003; 208,48873) m

Entry: (51,105513; 217,21822) m

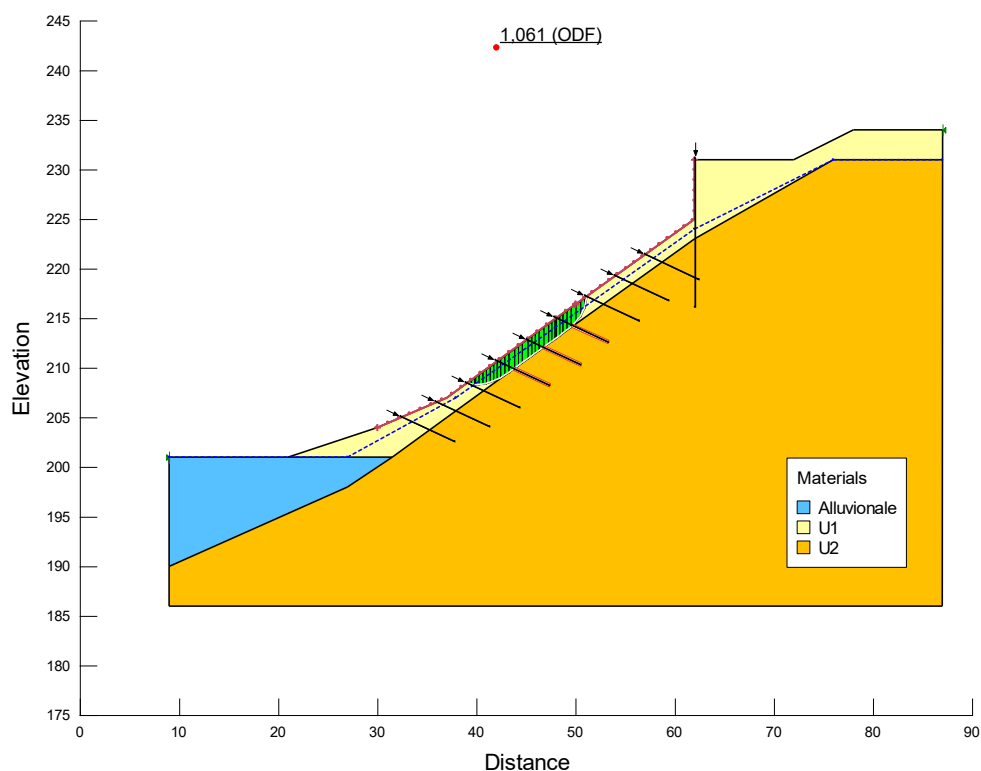
Radius: 10,576981 m

Center: (36,568229; 224,76272) m

Slip Slices

	X	Y	PWP	Base Normal Stress	Frictional Strength	Cohesive Strength
Slice 1	39,228338 m	208,44643 m	-5,0082142 kPa	6,7706117 kPa	3,449799 kPa	8 kPa
Slice 2	39,591008 m	208,36182 m	-1,6694047 kPa	17,301968 kPa	8,8157929 kPa	8 kPa
Slice 3	39,811452 m	208,31039 m	0,36003846 kPa	24,325087 kPa	12,210802 kPa	8 kPa
Slice 4	40,035617 m	208,32314 m	1,7858829 kPa	20,461539 kPa	9,515722 kPa	8 kPa
Slice 5	40,40573 m	208,36688 m	3,9174947 kPa	26,360056 kPa	11,435056 kPa	8 kPa
Slice 6	40,775843 m	208,41062 m	6,0491066 kPa	32,261855 kPa	13,356063 kPa	8 kPa
Slice 7	41,141624 m	208,50157 m	7,6877902 kPa	28,917392 kPa	10,817022 kPa	8 kPa
Slice 8	41,503071 m	208,63972 m	8,8335456 kPa	31,082363 kPa	11,336339 kPa	8 kPa
Slice 9	41,864519 m	208,77787 m	9,9793009 kPa	33,107942 kPa	11,784631 kPa	8 kPa
Slice 10	42,225966 m	208,91602 m	11,125056 kPa	35,0024 kPa	12,166114 kPa	8 kPa
Slice 11	42,610138 m	209,12042 m	11,778419 kPa	35,81538 kPa	12,247443 kPa	8 kPa
Slice 12	43,017032 m	209,39104 m	11,939388 kPa	35,908026 kPa	12,212631 kPa	8 kPa
Slice 13	43,50456 m	209,73338 m	11,954941 kPa	31,74688 kPa	10,084496 kPa	8 kPa
Slice 14	43,982813 m	210,08154 m	11,849323 kPa	25,620461 kPa	7,0167452 kPa	8 kPa
Slice 15	44,371158 m	210,36379 m	11,767952 kPa	25,12625 kPa	6,8063929 kPa	8 kPa
Slice 16	44,85858 m	210,71678 m	11,678358 kPa	24,773734 kPa	6,6724272 kPa	8 kPa
Slice 17	45,337602 m	211,0645 m	11,582319 kPa	31,1452 kPa	9,9677854 kPa	8 kPa
Slice 18	45,709145 m	211,33622 m	11,488057 kPa	30,91972 kPa	9,9009265 kPa	8 kPa

Slice 19	46,080688 m	211,60793 m	11,393795 kPa	30,704823 kPa	9,83946 kPa	8 kPa
Slice 20	46,509887 m	211,92049 m	11,297833 kPa	29,058384 kPa	9,049453 kPa	8 kPa
Slice 21	46,996743 m	212,27391 m	11,200169 kPa	24,077129 kPa	6,5611384 kPa	8 kPa
Slice 22	47,395437 m	212,56273 m	11,125946 kPa	24,396147 kPa	6,7615052 kPa	8 kPa
Slice 23	47,705973 m	212,78698 m	11,075162 kPa	24,676335 kPa	6,930144 kPa	8 kPa
Slice 24	47,93062 m	212,94962 m	11,034338 kPa	24,803551 kPa	7,0157641 kPa	8 kPa
Slice 25	48,16992 m	213,12386 m	10,981113 kPa	25,054887 kPa	7,1709461 kPa	8 kPa
Slice 26	48,50976 m	213,37131 m	10,905525 kPa	31,197735 kPa	10,339398 kPa	8 kPa
Slice 27	48,887032 m	213,64991 m	10,783309 kPa	29,695423 kPa	9,6362035 kPa	8 kPa
Slice 28	49,301738 m	213,95969 m	10,614465 kPa	29,614263 kPa	9,6808803 kPa	8 kPa
Slice 29	49,74855 m	214,38792 m	9,5059901 kPa	22,474071 kPa	6,6075671 kPa	8 kPa
Slice 30	50,22747 m	214,93461 m	7,4578839 kPa	17,80073 kPa	5,2699431 kPa	8 kPa
Slice 31	50,673585 m	215,63804 m	3,6457949 kPa	7,0974921 kPa	1,7587276 kPa	8 kPa
Slice 32	50,890179 m	216,11885 m	0,42887954 kPa	-4,5939992 kPa	-2,5592845 kPa	8 kPa
Slice 33	51,002816 m	216,69391 m	-4,4314447 kPa	-8,0746176 kPa	-4,1142232 kPa	8 kPa



	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 100/107

Mac – S design

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 101/107

3 Background design approach

The main assumption is that the mesh, part of a pinned drapery system, must develop some deformations to deliver a stabilizing force to the slope. This is the framework to analyse the mesh–soil interaction problem, to study the Factors of Safety and to check the performances of the system.

The design approach considers the reinforcing mesh as a membrane element with resistance capacity in longitudinal and transversal direction as well as perpendicularly to the slope. The longitudinal and transversal strength is characterized by the respective mechanical properties of the product, whereas the resistance capacity perpendicular to the slope surface is characterized by its punching strength. The soil is assumed to behave as an elastic-perfectly plastic material, with a Mohr-Coulomb failure criterion and a non-associate flow rule. An innovative "hybrid" method is adopted in the analysis, by evaluating the equilibrium of the soil mass at its Ultimate Limit State by means of classical limit equilibrium approaches, but by studying the soil–mesh interaction at a Serviceability Limit State by adopting a displacement-based approach. This is particularly important both to: (i) accurately estimate the stabilizing action provided by the mesh and (ii) check its service condition (working ratio). A detailed description of both the theoretical hypotheses and the general approach of the performed analysis can be found in the "Reference Manual" of Mac S-design.

The analysis of the slope is subdivided in four subsequent phases listed hereafter. The input data and the achieved results are presented in the following sections.

- | | |
|-----------------------|--|
| 1. Pre-analysis phase | Assessment of the initial Factor of Safety (FS0) of the unstable soil layer without the use of a Pinned Drapery System |
| 2. Stability analysis | Assignment of the design Factor of Safety (FSd) and computation of the needed stabilizing pressure q |
| 3. Mesh design | Assessment of the mesh Working Ratio (WR) |
| 4. Anchor design | Assessment of the drilling length and of the mechanical verifications |

Finally, the environmental aggressiveness is also considered, since this can affect the effectiveness of the implemented solution, degrading its mechanical and physical properties over the time due to the corrosion. For this reason, it is important to properly identify the environmental aggressiveness, as for relevant Standards (EN10223-3). Based on both the Environment type, selected during the creation of the project, and the coating of the product, chosen on the design process, an assumed working life of the solution is defined. This output is also reported in the results.

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 102/107

Mac S-design - Report

SP610 Castel del Rio

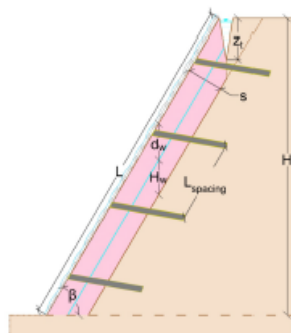
MACCAFERRI

4 Project input data

The data considered in the calculation are summarized in the following.

4.1 Geometry

· Slope Height	H [m]	15.0
· Slope Angle	β [deg]	36.0
· Length of the slope	L [m]	25.52
· Unstable Soil Thickness	s [m]	1.65
· Tension Crack	z [m]	0.5



4.2 Geotechnical parameters

· Soil Friction Angle	ϕ [deg]	27.0
· Effective Cohesion	c' [kPa]	8.0
· Unit Weight	γ [kN/m ³]	19.0
· Saturated Unit Weight	γ_{sat} [kN/m ³]	19.0
· Soil typology	silt/clay	
· Soil density	loose/soft	

4.3 Partial safety factors for soil parameters (γ_M)

- Partial Safety Factor on the effective cohesion $\gamma_{c'}$ [-] 1.0
- Partial Safety Factor on the angle of shearing resistance $\gamma_{\tan\phi}$ [-] 1.0 (*This factor applies to $\tan(\phi')$)

4.4 Additional input parameters

4.4.1 Water table

· Water table depth	d_w [m]	1.2
· Flow head	H_w [m]	0.8

4.4.2 Seismic coefficients

· Vertical seismic coefficient	k_v [-]	-0.055
· Horizontal seismic coefficient	k_h [-]	0.11

4.5 Calculation notes

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 103/107

Mac S-design - Report

SP610 Castel del Rio

MACCAFERRI

5 Project design

The analysis of the slope is basically divided into two stages:

- In the first stage which is called pre-analysis, Mac S-design analyses the Factor of Safety of the existing slope based on the given input parameters. If the FS0 of the existing slope does not meet the acceptance criteria, the reinforcement of the slope is needed, and the second stage of analysis can be processed.
- In the second stage, therefore, the desired design FSd, type of mesh and nail pattern are selected to analyse the stability of the slope.

The pre-analysis is important in order to assess the potential slope instability as an initial step for the design phase, whilst the mesh design analysis is crucial once significant instabilities and low preliminary safety factors have been observed.

5.1 Pre-analysis

As a first step, Mac S-design assesses the slope stability condition before the installation of the reinforcing Pinned Drapery System. Such slope instability is computed as the most unstable mechanism, i.e. with the lowest Factor of Safety (FS0min) as presented in Figure 1. The output result is outlined as FS0 which corresponds to the minimum Factor of Safety for the pre-analysis and this has been computed as follows:

• Initial Factor of Safety	FS0[-]	0.88
tension crack depth [m]	z	0.5

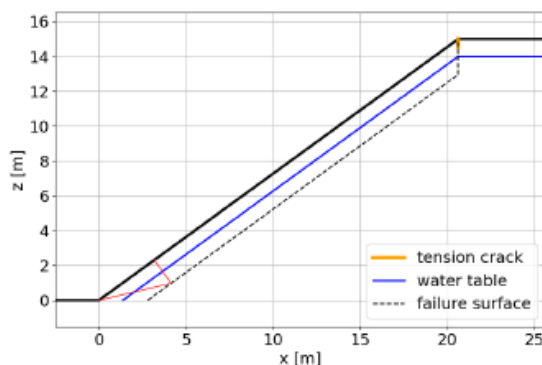


Figure 1 – Pre-analysis result and leading mechanism.

5.2 Stability analysis

The second phase is represented by the analysis of the slope considering the stabilizing effect provided by the selected product. The design Factor of Safety (FSd) is defined as an input and, consequently, the required surficial stabilizing pressure to be applied is being computed. Then, the verification status of the design Factor of Safety is provided as reported below. The current analysis has been carried out considering the following design input parameters:

• Selected mesh product	MacMat HS100 8127GN	
• Nail pattern	SQUARED	
• Design Factor of Safety	FSd [-]	1.2
• Anchors Spacing	l [m]	3.0

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 104/107

Mac S-design - Report

SP610 Castel del Rio

MACCAFERRI

5.3 Anchor bar design

The geometrical and mechanical input parameters presented in the following sections are used for the anchor design phase. A general scheme of the main geometrical parameters of the anchors is also reported in Figure 2 and Figure 3.

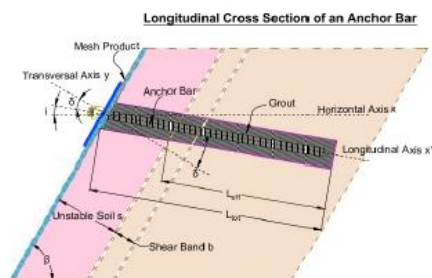


Figure 2 – Scheme of the longitudinal steel section bar and identification of the main geometrical parameters.

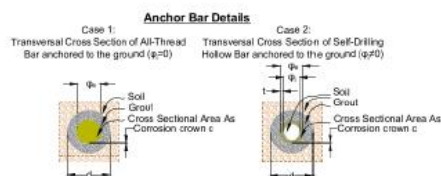


Figure 3 – Scheme of the longitudinal steel section bar and identification of the main geometrical parameters.

5.3.1 Anchor bar geometrical parameters

• External bar diameter	ϕ_e [mm]	28.0
• Internal bar diameter	ϕ_i [mm]	0.0
• Bar Thickness	t [mm]	28.0
• Drilling Hole diameter	d [mm]	70.0
• Corrosion crown	c [mm]	0.6
• Cross Sectional Area	A_s [mm ²]	564.10
• Nail Inclination (Horizontal)	i [deg]	25.0
• Nail Inclination (Vertical)	δ [deg]	0

5.3.2 Anchor bar mechanical parameters

• Grout Soil Limit Bond Stress	τ_b [MPa]	0.049
• Bustamente–Doix Amplifying factor	α [-]	1.0
• Steel yield stress	f_{yy} [MPa]	450.0

5.3.3 Partial safety factors

• Partial Factor on Bond Stress	γ_b [-]	1.0
• Partial Factor on Pull-out Force	γ_F [-]	1.0
• Partial Factor on Steel	γ_s [-]	1.15

5.3.4 Anchor design strength

• Tensile Strength (design)	N_{yd} [kN]	220.74
• Shear Strength (design)	T_{yd} [kN]	110.82
• Bending Moment Capacity (design)	M_{yd} [kN/m]	1.26

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
		Rev. 01	Pag. 105/107

Mac S-design - Report

SP610 Castel del Rio

MACCAFERRI

6 Results

The intervention using the proposed pinned drapery system, as described below, is found to enhance the surficial stability of the slope by improving the Factor of Safety from FS_0 (without mesh) to FS_d (with reinforcing mesh). The

Mesh **MacMat HS100 8127GN** has been chosen for this intervention.

• Mesh Verification Status:	[-]	Verified
• Design Factor of Safety	FS_d [-]	1.2
• Maximum Working Ratio	WR [%]	44.84
• Max Nd on anchors	[kN]	44.35
• Max Md on anchors	[kN]	1.23
• Effective Anchor Length	L_{eff} [m]	3.43
• Total Anchor Length	L_{tot} [m]	6.00

In addition to the mesh design, Mac S-design also performs three checks related to the anchor design. The first two consider the tensile and shear verification status, whilst the third one considers the Bending Moment (M) – Axial Force (N) domain.

• Tensile Check:	Verified
• Shear Check:	Verified
• M-N Check:	Verified

Figure 4 and Figure 5 summarize the additional outputs of the performed analysis. Figure 4 firstly identifies the slope geometry. Furthermore, the actual working ratio of the mesh is presented, and this represent the level of exploitation of the selected product. The last chart provides the axial forces acting on the anchors. Figure 5 shows the verification status in the M-N domain.

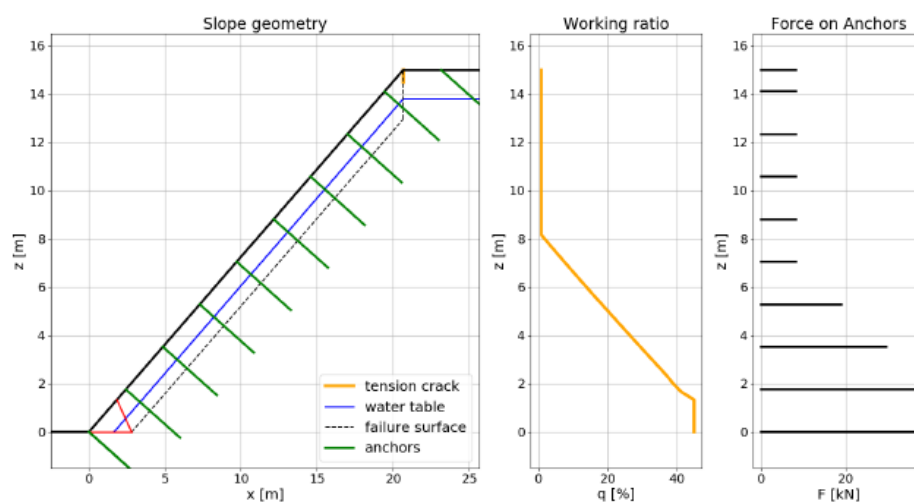


Figure 4 – Geometry of the slope, mesh working ratio and axial force acting of anchors.

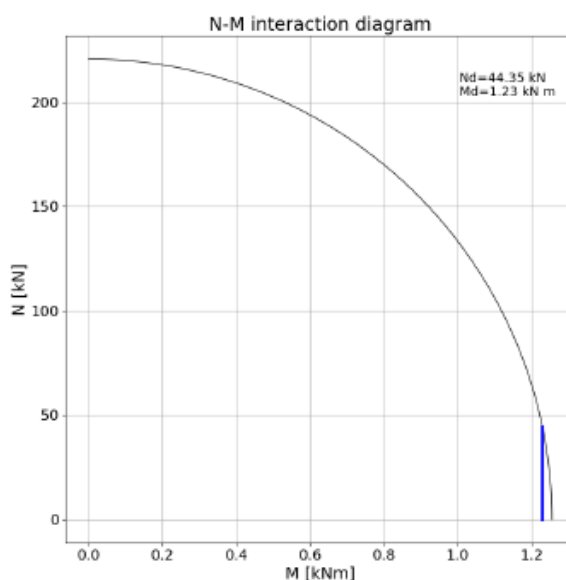


Figure 5 – Anchor verification on the M-N domain.

Table 1 summarizes the tensile forces acting on the anchors along the slope.

Table 1 – Tensile forces acting on the anchors.

Anchor Vertical Elevation [m]	Anchor Load [kN]
15.00	8.32
14.11	8.32
12.34	8.32
10.58	8.32
8.82	8.32
7.05	8.32
5.29	19.04
3.53	29.68
1.76	36.93
0.00	36.93

	LAVORI DI RIPRISTINO DEFINITIVO DELLA SEDE STRADALE E DELLE SCARPATE DI MONTE E DI VALLE DELLA S.P. 610 SELICE O MONTANARA IMOLESE IN COMUNE DI CASTEL DEL RIO E DELLA S.P. 14 IN COMUNE DI IMOLA		
	RELAZIONE RAFFORZAMENTO CORTICALE		Data Maggio 2025
			Rev. 01 Pag. 107/107

Mac S-design - Report

SP610 Castel del Rio

MACCAFERRI

7 Conclusions

The summary results of the design Rafforzamento corticale SLV for the project SP610 Castel del Rio are presented in this section.

An innovative design approach has been used: Mac S-design, from Officine Maccaferri. This design method considers the design Factor of Safety and verifies the ability of the selected mesh product to stabilize the surficial instabilities.

The initial Factor of Safety (FS0) of the surficial unstable layer evaluated by Mac S-design before the application of the mesh is:

- Initial Factor of Safety $FS_0[kN]$ 0.88
- Environmental level: Medium Aggressive (C3)
- Expected working life: Coating requirement according to EN 10223-3:2013 (E) Zn95%/Al5% ClassA: Assumed working life of 25 years Zn90%/Al10% ClassA: Assumed working life of 50 years Polymeric coatings guarantee a minimum of 120 years of Working Life

The expected working life of the selected product shall be considered as defined in the European norm EN 10223-3:2013, Annex A.

The use of **MacMat HS100 8127GN** allows the verification in terms of design Factor of Safety (FSd) to be satisfied. The details of the design are reported in the following. Furthermore, the anchor length and further checks related to the defined anchor steel section are also reported. The chosen solution has the following characteristics:

- Design Factor of Safety $FS_d[-]$ 1.2
- Mesh Type **MacMat HS100 8127GN**
- Nail pattern SQUARED
- Anchors Spacing $l [m]$ 3.0
- Total Anchor Length $L_{tot} [m]$ 6.00

The mesh is anchored to the slope through nails. The basic characteristics of the anchoring system are the following:

- External bar diameter $\phi_a[mm]$ 28
- Internal bar diameter $\phi_i[mm]$ 0
- Drilling Hole diameter $d [mm]$ 70.0
- Steel yield stress $f_{yy}[MPa]$ 450.0

8 Notice

Mac S-design | Copyright© 2018 - 2020 | 20231011 | All Rights Reserved © Officine Maccaferri Spa 2020 | Notice: The results are provided under the "Software terms and conditions" disclosure agreement available under the personal area at <https://edesign.maccaferri.com/>