

# REGIONE UMBRIA

PROVINCIA DI PERUGIA



## COMUNE DI MASSA MARTANA

### INTERVENTI PER IL CONSOLIDAMENTO DELLA RUPE DI MASSA MARTANA

OPERA:

COMPLETAMENTO DEGLI INTERVENTI IN PARETE  
E DEL CIGLIO SUPERIORE NEL TRATTO COMPRESO  
TRA VIA DELLE PIAGGE E VIA DEL MATTATOIO VECCHIO

DESCRIZIONE:

### PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTISTI:

prof. ing. Claudio Comastri  
dott. ing. Rodolfo Biondi  
dott. ing. Giuseppe Federici  
dott. geol. Luca Domenico Venanti

COLLABORATORI:



#### IAG PROGETTI STUDIO ASSOCIATO

dott. arch. Andrea Balletti  
dott. ing. Vincenzo Mario Cavallaro  
dott. ing. Federica Ferrotti  
dott. arch. Andrea Sabbatini  
*info@iagprogetti.it*



#### THESIS ENGINEERING

dott. ing. Elia Comastri  
dott. ing. Federica Forlani  
*tesi@studiothesis.it*



#### SGA STUDIO GEOLOGI ASSOCIATI

dott. geol. Luciano Faralli  
dott. geol. Nello Gasparri  
dott. geol. Riccardo Piccioni  
*infostudiogeologiassociati.eu*

REGIONE UMBRIA:

TAVOLA:

### RELAZIONE GEOTECNICA

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTR.	APPROV.
0	SETT_2014	1° EMISSIONE	FF	CC	CC

-	-	<b>C_RGT_01</b>	<b>2014_04</b>	<b>E0</b>	<b>A</b>	<b>PE</b>
---	---	-----------------	----------------	-----------	----------	-----------

P. Gen. CIV	Tipo doc REL	Formato A4	scala /	Redatto ING F. FORLANI	Controllato ING. C.COMASTRI	Approvato ING. C. COMASTRI	Responsabile GF	ELABORATO_n.c17
----------------	-----------------	---------------	------------	---------------------------	--------------------------------	-------------------------------	--------------------	-----------------

**REGIONE UMBRIA  
PROVINCIA DI PERUGIA  
COMUNE DI MASSA MARTANA**

---

**CONSOLIDAMENTO DELLA RUPE DI MASSA MARTANA**

**PROGETTO PER IL CONSOLIDAMENTO DEL VERSANTE N-NW  
AL PIEDE DELLA RUPE DI MASSA MARTANA**

---

**RELAZIONE GEOTECNICA**



A handwritten signature in black ink, appearing to read "Claudio Comastri".



**THESISENGINEERING**

Studio Tecnico di Ingegneria di ing. Claudio Comastri – via Castello, 7 – Sasso Marconi (BO)  
tel. +39517650312; fax +39516750370 – Mail: [thesis@studiothesis.it](mailto:thesis@studiothesis.it) P.IVA 01681921209



A		Prima emissione	F.Forlani	E.Comastri	C.Comastri
Rev.	Data	Descrizione	Redazione	Controllo	Approvazione



## **1 PROGETTO**

Codice Commessa: 25.014.

Committente: Regione Umbria

Opera: Stabilizzazione versante N-NW della Rupe di Massa Martana, Perugia.

Località: Massa Martana (PG).

Intervento di progetto: Analisi e progetto geotecnico

Progettista: prof. Ing. Claudio Comastri

Collaborazioni: ing. Federica Forlani

## **2 STRUTTURA DOCUMENTO**

Pagine numerate: N.25

Fogli A4: N.26

Fogli A3: N.0

Tavole allegate: N.0

Fascicoli allegati: N.2

## **3 REVISIONI DOCUMENTI**

Redazione documento: Federica Forlani

Controllo documento: Claudio Comastri

Approvazione documento: Claudio Comastri

Revisione: prima emissione

Autorizzazione alla trasmissione: Claudio Comastri

## **4 INDIRIZZO DI TRASMISSIONE**

Iag Progetti – Massa Martana (PG)

Copie: n.1 cartacee + n.1 formato digitale.

Trasmissione: Email e Corriere.



## 5 INDICE

1	PROGETTO.....	2
2	STRUTTURA DOCUMENTO .....	2
3	REVISIONI DOCUMENTI.....	2
4	INDIRIZZO DI TRASMISSIONE .....	2
5	INDICE.....	3
6	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO.....	4
7	PRINCIPALI FONTI BIBLIOGRAFICHE.....	5
8	NORME TECNICHE, CODICI E RACCOMANDAZIONI .....	6
9	INTRODUZIONE.....	7
10	DESCRIZIONE DELLA FRANA E DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI.....	8
10.1	Descrizione e considerazioni di carattere generale su gli effetti della frana.....	8
10.2	Caratteristiche della frana .....	<b>Errore. Il segnalibro non è definito.</b>
10.3	Analisi dei caratteri geotecnici della frana.....	9
10.4	Back-analysis .....	11
10.4.1	Caratteristiche morfologiche e strutturali del pendio di riferimento.....	11
10.4.2	Programma di calcolo “Geo - Slope”.....	12
10.4.3	Analisi numerica (back-analysis).....	12
10.5	Risultati dell’analisi .....	13
10.5.1	Modello geotecnico del versante nella fase, simulata, di rottura .....	14
11	PROGETTO INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DEL PENDIO.....	15
11.1	Generalità.....	15
11.2	Descrizione delle opere di consolidamento .....	15
11.3	Analisi e progetto .....	15
11.3.1	Tipologie di intervento disponibili .....	15
11.3.2	Analisi sismica.....	16
11.3.3	Analisi di stabilità dell’intervento .....	16
11.3.4	Calcolo della fondazione di tiranti .....	24
12	CONCLUSIONI .....	25



## **6 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO**

I documenti cui si riferisce la presente relazione tecnica sono contenuti nel progetto esecutivo delle opere di consolidamento del versante N-NW della rupe di Massa Martana. Si fa riferimento, in particolare, alla relazione geologica redatta dall Studio SGA di Perugia, allegata ai documenti del progetto ed al rilievo topografico eseguito sull'area in frana e sulle zone circostanti.

I dati geotecnici utilizzati per la caratterizzazione delle unità principali del sistema, sono tratti dalle campagne di indagini condotte per il progetto definitivo del consolidamento della rupe di Massa Martana ed i progetti esecutivi di attuazione.



## 7 PRINCIPALI FONTI BIBLIOGRAFICHE

- [1]. Lancellotta R., “*Geotecnica*” – Ed. Zanichelli, Bologna (2000).
- [2]. Jaeger C., “*Rock Mechanics and Engineering*” – Ed. Cambridge, London (1979).
- [3]. Anderson M.G., Richards S., “*Slope stability*” – Ed. JWS, New York (1992).
- [4]. Farulla C. A., “*Analisi di stabilità dei pendii*” – Ed. Hevelius, Napoli (2000).
- [5]. Bowles J., “*Foundation analysis and design*” – Ed. McGrawHill, London (1998).
- [6]. Viggiani C., “*Fondazioni*” – Ed. Hevelius, Napoli (2000).
- [7]. Atkinson J., “*Geotecnica*” – Ed. McGraw-Hill, Milano (1997).
- [8]. Nova R., “*Fondamenti di meccanica delle terre*” - Ed. McGraw-Hill, Milano (1997).
- [9]. Pozzati P., “*Teoria e tecnica delle costruzioni*” – Ed. Utet, Torino (1997);
- [10]. AGI, “*Atti del XVI Convegno Nazionale di Geotecnica di Bologna*” (1986);
- [11]. Ghionna V.N., “*Tecniche di consolidamento mediante rinforzo*” – UNIFE Dip. Ingegneria (2003);
- [12]. Schlosser F., Guilloox A., “*Le frottement sol-armature dans les ouvrages en terre armée*”(1979);
- [13]. Hausmann R.R., Wolfe W.E., “*A note on double-sided reinforced earth moduls walls*” (1979);
- [14]. Airò Farulla C., “*Analisi di stabilità dei pendii*” - Ed. Hevelius, Napoli (2000);
- [15]. Schlosser F., Long N.T., “*Comportement de la Terre Armée dans les ouvrages de soutènement*”  
Proceeding of the 5th European Conference on Soil mechanic Sand Foundation Engineering.



## 8 NORME TECNICHE, CODICI E RACCOMANDAZIONI

- AGI Associazione geotecnica italiana, “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche” – Ed. AGI (1977).
- AGI Associazione geotecnica italiana, “Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio” (1994).
- Eurocodice EC1: Actions on structures;
- Eurocodice EC2: Design of concrete structures;
- Eurocodice EC7: Geotechnical design;
- Eurocodice EC8: Design of structures for earthquake resistance.
- D.M. 14/01/2008; “Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- D.M. 06/05/2008; “Integrazione al decreto del 14 gennaio 2008: *Norme Tecniche per le Costruzioni*”;
- Circ.C.S.LL.PP. N.617 del 02/02/2009; “Istruzioni per l’applicazione delle “Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al DM del 14 gennaio 2008”;



## 9 INTRODUZIONE

Costituisce oggetto della presente relazione la componente geotecnica del progetto esecutivo di consolidamento del pendio a valle della Rupe di Massa Martana, in corrispondenza del versante N-NW del sistema. Il progetto riguarda la zona che va dalla sezione 43 alla 71. L'intervento è di 110m, di cui un tratto dalla 56 alla 60 è già stato realizzato.

Sono stati ripresi anche i risultati delle indagini geognostiche, dei sondaggi meccanici e delle prove geotecniche condotte in sito ed in laboratorio sui terreni del sottosuolo, durante gli studi sulla stabilità globale del sistema che portarono alla redazione del progetto definitivo del consolidamento della rupe ed alla redazione dei progetti esecutivi dei primi stralci di intervento. Tutti i dati e i documenti tecnici disponibili sono stati confrontati con le rilevazioni condotte direttamente nella zona di frana e, sulla base degli studi specifici condotti, è stata elaborata la relazione geologica allegata al progetto di cui è parte integrante la presente relazione geotecnica.

La presente relazione contiene i valori ed i risultati dello studio geotecnico del progetto di consolidamento del versante e redatta in conformità con le vigenti norme tecniche nazionali e regionali in materia, la relazione geotecnica è suddivisa in due parti:

1. la prima parte riguarda la definizione dei parametri geotecnici medi attribuibili alle unità litologiche interessate direttamente ed indirettamente dalla frana, analizza i cinematismi che hanno caratterizzato la frana e descrive le metodologie di calcolo e di verifica geotecnica;
2. la seconda parte descrive le metodologie di calcolo e di verifica geotecnica delle opere e degli interventi di consolidamento.



## **10 DESCRIZIONE DELLA FRANA E DEFINIZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI**

### **10.1 Descrizione e considerazioni di carattere generale su gli effetti della frana**

La frana rappresenta un fattore di rischio per la stabilità di una ampia area di territorio, compresa la porzione di rupe che sovrasta la zona dissestata. E' noto, dagli studi approfonditi che furono condotti per tutto il sistema della Rupe, che la stabilità della Unità Sommitale della Rupe stessa dipende dalla consistenza e dalla stabilità della zona basale. L'ammasso travertinoso sommitale, infatti, è fortemente strutturato: le famiglie di giunti e fratture che lo caratterizzano sono molteplici, sia a sviluppo verticale che suborizzontale.

Già nel progetto definitivo del consolidamento della Rupe erano previsti interventi alla base della unità sommitale anche alla luce delle diverse frane che avevano interessato il piede del versante (tra cui la frana della Portella) e, di conseguenza, la parete della unità sommitale. Il progetto di cui è parte la presente relazione geotecnica, si colloca nell'ambito delle prescrizioni e nel quadro delle urgenze sviluppate e dichiarate nel progetto definitivo dell'intero intervento di consolidamento della Rupe di Massa Martana.

In tale progetto si rimarcava la assoluta necessità di realizzare tutto l'intervento di consolidamento, per quanto si debba procedere per stralci, eseguendo le opere in parete e le opere al piede, al tetto della unità basale costituita da limi argillosi e argille limose sovraconsolidati, strutturati da famiglie di giunti subverticali e suborizzontali, indipendentemente dalla presenza di frane attive, ed anzi, proprio preventivamente all'eventuale innesco di movimenti destabilizzanti anche della Unità Sommitale.



## 10.2 Analisi dei caratteri geotecnici della frana

I valori dei parametri geotecnici medi operativi in fase di rottura lungo la superficie critica di rottura, sono oggetto della ricerca descritta nella presente trattazione, con il criterio della back-analysis. Le verifiche di stabilità in condizioni di coefficiente di sicurezza  $FS=1$  sono state condotte facendo riferimento al cinematisma elaborato e riscontrato nei recenti movimenti franosi, alla posizione ed alla forma della superficie di rottura reale. I parametri geotecnici che caratterizzano le unità principali (unità basale e unità sommitale) della struttura del sottosuolo sono tratte dalla ampia descrizione litostratigrafica e geotecnica elaborata sulla base delle numerose campagne di indagini e prove geotecniche di laboratorio eseguite in tutta l'area basale della rupe di Massa Martana.

Le unità 1, 3 rappresentano rispettivamente il detrito superficiale franato e lo spessore superficiale alterato della unità basale. Con la back analysis vista la posizione altimetrica e l'andamento della superficie di rottura, si intende ricavare le caratteristiche geotecniche operative in fase di rottura, dei terreni attraversati dalla superficie di rottura, considerando inalterati i parametri identificativi delle unità principali.

La tabella seguente riporta i valori dei parametri geotecnici assegnati alle unità geotecniche principali ed i valori estremi degli intervalli entro i quali, verosimilmente, si possono collocare i valori reali dei materiali alterati, direttamente interessati dalla frana.

Tab. A: Parametri geotecnici delle unità interessate dalla frana

Caratteristiche geotecniche dei terreni interessati dalla frana	Parametri geotecnici attribuibili
UNITA' SUPERFICIALE "1": COLTRE DETRITICA (cfr) Essendo una unità di terre caotiche con inclusioni di blocchi e materiali litoidi in matrici talora sabbiose e talora limoargillose, si possono assegnare valori orientativi dei parametri geotecnica sulla base delle condizioni morfologiche presenti in sito alla luce della stabilità offerta dal terreno stesso.	Peso di volume: $\Gamma=19,5\div 21,0\text{kN/m}^3$ Angolo di resistenza a taglio: $\phi'=22^\circ\div 26^\circ$ Coesione: $c'=0,0\div 20,0\text{kPa}$ Coesione non drenata: $c_u=20,0\div 100,0\text{kPa}$ Modulo di deformazione: $E=2,0\text{MPa}\div 6,0\text{MPa}$
UNITA' SUPERF. "3": ALTERAZIONE UNITA' BASALE (dt1) Tra la coltre detritica e la formazione di base esiste uno strato di formazione alterata dalla infiltrazioni idriche e dai movimenti della coltre. I valori dei parametri geotecnica possono essere assunti facendo riferimento ai risultati delle prove di laboratorio ed alle prove eseguite in sito in occasione delle indagini condotte in tutta l'area di base della rupe.	Peso di volume: $\Gamma=18,5\div 19,0\text{kN/m}^3$ Angolo di resistenza a taglio: $\phi'=22^\circ\div 26^\circ$ Coesione: $c'=8,0\div 30,0\text{kPa}$ Coesione non drenata: $c_u=80,0\div 120,0\text{kPa}$ Modulo di deformazione: $E=4,0\text{MPa}\div 20,0\text{MPa}$



<p>UNITA' DI BASE "4". (USMC)</p> <p>La litofacies LA1 è costituita da argille, limi e limi sabbiosi, sabbie limose e sabbie fini di colore grigio verdastro prevalentemente calcaree, solitamente massive e più raramente laminate, con un'alternanza di livelli chiari e livelli nerastri con frequenti frammenti di gusci di gasteropodi ben conservati.</p>	<p>Peso di volume: <math>\Gamma=19,5\div 20,0\text{kN/m}^3</math></p> <p>Angolo di resistenza a taglio: <math>\phi'=28^\circ\div 30^\circ</math></p> <p>Coesione: <math>c'=10,0\div 100,0\text{kPa}</math></p> <p>Coesione non drenata: <math>c_u=80,0\div 200,0\text{kPa}</math></p> <p>Modulo di deformazione: <math>E=20,0\text{MPa}\div 60\text{MPa}</math></p>
<p>UNITA' SOMMITALE "2". (UA)</p> <p>La unità sommitale è costituita da sabbie travertinose cementate e debolmente cementate, con intercalazioni di strati argillosi consistenti.</p>	<p>Peso di volume: <math>\Gamma=20,0\text{kN/m}^3</math></p> <p>Angolo di resistenza a taglio: <math>\phi'=30^\circ\div 35^\circ</math></p> <p>Coesione: <math>c'=0,0\div 100,0\text{kPa}</math></p> <p>Modulo di deformazione: <math>E=20,0\text{MPa}\div 60\text{MPa}</math></p>

I valori dei parametri geotecnica descritti in tabella si riferiscono alla analisi condotta su una ampia popolazione di dati tratti da prove geotecniche di laboratorio e da indagini in sito. Nel caso specifico in esame, avendo la possibilità di descrivere il cinematiso della frana e di tracciare la superficie di rottura lungo la quale si è sviluppato il dissesto, si ritiene opportuno eseguire una di back-analisis per valutare, a posteriori, i principali fattori che hanno governato la stabilità del pendio al momento della rottura.



## 10.3 Back-analysys

### 10.3.1 Caratteristiche morfologiche e strutturali del pendio di riferimento

Per valutare le possibili condizioni di rottura del sistema si è utilizzato il metodo della back analysys, riproducendo possibili scenari di rottura del sistema con parametri geotecnici operativi riconducibili a valori compresi nell'intervallo di cui alla tabella A, determinati con la elaborazione delle prove in sito e delle prove geotecniche di laboratorio.

Il calcolo è stato condotto nell'ambito del metodo dell'equilibrio limite, utilizzando il solutore automatico "GeoStudio" realizzato da GEO-SLOPE International Ltd, Canada . Il programma può elaborare il calcolo di verifica di stabilità con diversi metodi (Janbu, Morgenstern-Price, Bishop, Bishop modificato): nel caso in esame si è operato confrontando i metodi per individuare l'analisi più conservativa, su una sezione piana, rappresentativa delle caratteristiche morfologiche e strutturali del terreno in corrispondenza della frana (problema piano delle deformazioni).

La sezione di calcolo è stata disegnata sulla base del rilievo topografico realizzato successivamente alla formazione della frana, in cui sono stati rilevati i confini dell'ammasso franato e la posizione della corona superiore, del piede e dei fianchi della frana stessa, (ved. Figura 1 sez. di calcolo).

L'andamento morfologico degli strati sottostanti la coltre detritica è stato definito sulla base di correlazioni tra le stratigrafie tratte dai sondaggi meccanici e le evidenze rilevate in sito, visti i limiti superiore ed inferiore della zona franata ed il cinematismo che ha caratterizzato il movimento.

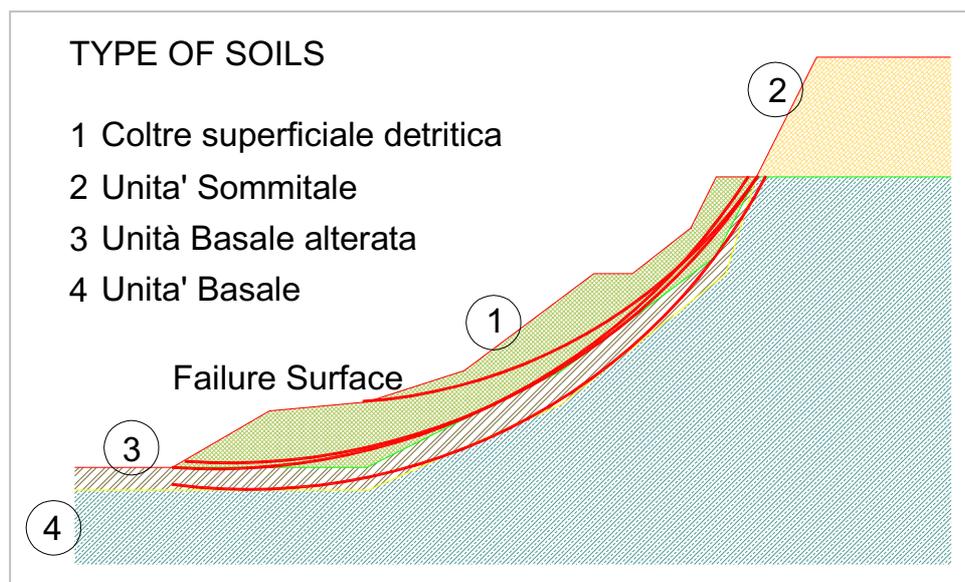


Figura 1: sezione di calcolo



### 10.3.2 Programma di calcolo “Geo - Slope”

I dati sono inseriti nel programma di calcolo nella sequenza seguente:

- Caratteristiche morfologiche: limiti esterni e confini interni tra i diversi litotipi;
- Quota ed andamento della superficie della falda o delle falde;
- Eventuali sovrappressioni interstiziali;
- Carichi in superficie;
- Azioni sismiche.
- Punti intercetti delle superfici di scorrimento con il confine superficiale.

Nella descrizione della sezione di calcolo il programma consente di imporre la posizione e la estensione delle superfici circolari da analizzare in molteplici combinazioni, lasciando al Progettista ed alla sua esperienza, la distinzione dei luoghi e delle combinazioni che, in base a tutte le caratteristiche del problema, presentano realmente le condizioni di maggiore instabilità. Al termine di ciascuna iterazione di calcolo il programma fornisce il coefficiente di sicurezza su ciascuna delle superfici generate nelle zone imposte dal progettista. Nel caso della back analysis il Progettista inserisce parametri geotecnici che hanno valore medio-operativo, costante su tutta la superficie in esame, tali da determinare un coefficiente di sicurezza  $FS=1$  (limite di rottura). In questo modo si intende simulare la condizione di rottura del versante, nelle sue specifiche condizioni geometriche rilevate in sito, con coppie di valori dei parametri geotecnica medi operativi.

### 10.3.3 Analisi numerica (back-analysis)

- Dalla analisi del rilievo topografico e della posizioni del piede della corona superiore della frana è stato possibile verificare, con una certa attendibilità, che la superficie di rottura era contenuta all'interno degli strati superficiali del versante;
- Con la back analysis è stato possibile raggiungere un risultato attendibile, approssimato alla situazione reale, sia come posizione della possibile superficie di rottura, sia come dimensioni della porzione di terreno coinvolto dalla frana;
- Il risultato ottenuto comprende la definizione di coppie di valori per i parametri geotecnici delle due unità superficiali (1,3), che possono essere assunti come valori medi costanti, di calcolo, operativi in condizione di rottura.



### 10.3.3.1 Dati di input

Dati geometrici: Si assume la sezione rappresentata in figura 1 con la suddivisione stratigrafica in essa descritta; questi dati sono immutati in tutte le iterazioni di calcolo effettuate.

Falda: Si assume una condizioni di falda:

- falda normale, in corrispondenza della superficie di passaggio dalla coltre detritica alla unità sottostante;

Sisma: La back-analysys è stata condotta in assenza di sisma poiché l'evento franoso si è manifestato senza l'effetto di un terremoto, ma solo per la azione statica gravitazionale e incremento delle pressioni interstiziali provocate la piogge insistenti e durature.

Carichi esterni: è stato considerato un carico distribuito a monta del pendio per simulare la realizzazione del percorso superiore.

Parametri geotecnici: Sono state considerate 4 unità stratigrafiche:

La coltre detritica superficiale (1 – cfr)

La unità sommitale (2 - UA)

La unità di base alterata (3 – dt1)

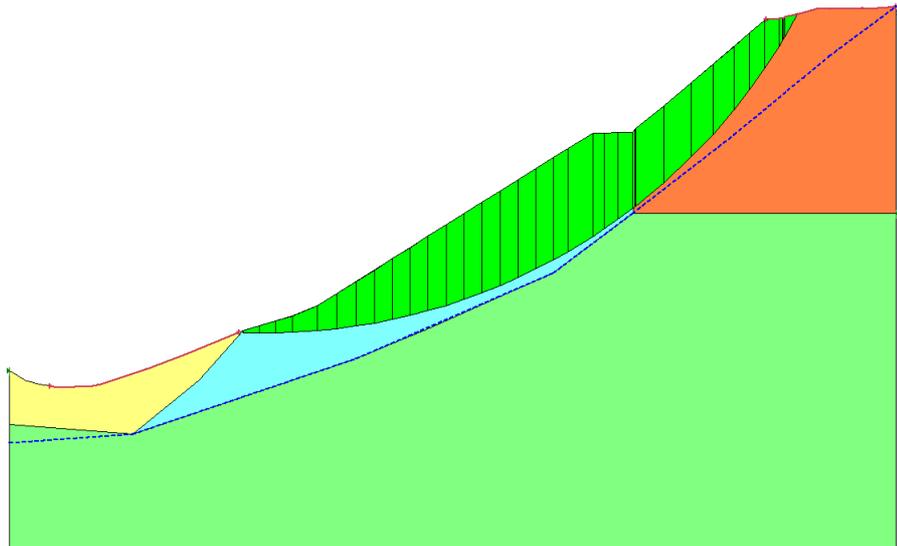
La unità di base (4 - USMC)

- Nella back-analysys si mantengono invariati i valori dei parametri geotecnici relativi alle unità 2, 3.
- Si modificano i valori dei parametri geotecnici per le unità 1,4 essendo le unità all'interno delle quali è stata individuata la superficie di rottura corrispondente alla frana occorsa.

Dalla relazione geologica si individua un acquifero alla profondità di 6m dal p.c. con un andamento pressochè parallelo al quello del pendio.

## 10.4 Risultati dell'analisi

Sono state effettuate molte iterazioni con il programma di calcolo alla ricerca delle coppie di parametri geotecnici medi verosimili che, in quelle determinate condizioni di rottura, sono operativi lungo le superfici critiche e la superficie di rottura. Tra tutte le iterazioni elaborate si riporta solo quella più significativa per la determinazione dei parametri geotecnici operativi a rottura lungo la superficie di rottura.

**Figura 2: superficie di scorrimento**

#### 10.4.1 Modello geotecnico del versante nella fase, simulata, di rottura

Nella seguente tabella si compendiano i valori dei parametri geotecnici assunti nella back analysis, corrispondenti alle condizioni di rottura:  $FS \approx 1$ .

Tabella B: risultati delle back analysis

STRATO	Parametri geotecnici	FS[-]
cfr	1) $\Gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$ ; $\phi' = 23^\circ$ ; $c' = 5 \text{ kPa}$ ;	1.003
UA	2) $\Gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$ ; $\phi' = 30^\circ$ ; $c' = 20 \text{ kPa}$ ;	
dt1	3) $\Gamma = 19.0 \text{ kN/m}^3$ ; $\phi' = 25^\circ$ ; $c' = 22 \text{ kPa}$ ;	
USMC	4) $\Gamma = 20.0 \text{ kN/m}^3$ ; $\phi' = 28^\circ$ ; $c' = 30 \text{ kPa}$ ;	



## **11 PROGETTO INTERVENTI DI CONSOLIDAMENTO DEL PENDIO**

### **11.1 Generalità**

Gli interventi di stabilizzazione e consolidamento del versante in frana sono progettati tenendo conto delle azioni sismica oltre che delle condizioni che si possono manifestare per effetto di eventi meteorologici importanti. La stabilizzazione del versante tiene necessariamente conto della vicinanza della nicchia di distacco della frana occorsa, rispetto al piede delle opere di consolidamento già realizzate per la parte sommitale della Rupe e deve tenere conto della necessità di proteggere la parte superficiale della unità basale dalle percolazioni idriche, dalle variazioni climatiche e stagionali. Le opere di stabilizzazione sono progettate anche in relazione alla presenza del corso d'acqua che scorre al piede del versante ed alla erosione meccanica che tale elemento determina al piede del versante stesso. L'intervento di consolidamento e stabilizzazione del versante è, altresì, concepito nell'ottica del recupero e della valorizzazione ambientale con particolare attenzione alla vocazione naturalistica del territorio.

### **11.2 Descrizione delle opere di consolidamento**

Alla luce delle caratteristiche morfologiche, geologiche, idrologiche e geotecniche del versante instabile, considerando gli aspetti di cui si è trattato nel punto precedente, il consolidamento del versante deve essere composto da una serie di interventi diffusi su tutta l'area in frana. Si devono eseguire interventi intensivi tesi a stabilizzare localmente il versante e interventi estensivi tesi a migliorare le caratteristiche generali del versante. Gli interventi intensivi sono costituiti da schermi strutturali formati da pali di grande diametro disposti in linea ai piedi della unità sommitale della Rupe e ai piedi del versante di base: il primo schermo come presidio della zona di contatto tra la unità sommitale e il tetto della unità basale della Rupe, il secondo schermo a presidio della parte ai piedi del versante, rispetto alla azione erosiva del corso d'acqua. Gli interventi estensivi sono costituiti dalla rimodellazione della superficie morfologica del versante con l'utilizzo di terre armate per il consolidamento della parte superficiale del versante e da opere di regimazione idraulica superficiale e profonda (sistemi drenanti).

### **11.3 Analisi e progetto**

#### **11.3.1 Tipologie di intervento disponibili**

Il progetto prevede la realizzazione dello schermo strutturale a monte della frana, la realizzazione dello schermo strutturale al piede della frana, la formazione di una coltre strutturale costituita da terre armate



lungo tutto il versante. Il progetto deve tenere conto, oltre alle azioni statiche che derivano dalle condizioni geometriche e dalle masse in gioco, dalle azioni dovute alle condizioni idrauliche, delle azioni sismiche.

### 11.3.2 Analisi sismica

Per quanto riguarda l'aspetto sismico si fa riferimento alla accelerazione massima al sito su sito di riferimento rigido fornito dalla Regione Umbria:

$$a_g = 0,1693 \cdot g \text{ m/sec}^2$$

Le condizioni ambientali impongono i seguenti fattori di amplificazione:

Sottosuolo: categoria C  $\rightarrow S_s = 1,5$

Condizioni topografiche: categoria T2  $\rightarrow S_T = 1,2$

Ciò premesso la accelerazione massima attesa al sito vale:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 0,1693 \cdot 9,81 = 2,94 \text{ m/sec}^2$$

Risultano quindi, per le verifiche di stabilità dei pendii e in condizioni di verifica allo stato limite ultimo, in condizioni di analisi pseudostatica, le seguenti componenti orizzontale e verticale della forza statica equivalente:

$$F_h = k_h \cdot W$$

$$F_v = k_v \cdot W$$

In cui:

$$\text{Coefficiente sismico orizzontale: } k_h = \beta_s \cdot (a_{max}/g)$$

$$\text{Coefficiente sismico verticale: } k_v = \pm 0,5 k_h$$

essendo:

$$\beta_s = 0,20$$

si ottiene:

$$k_h = 0,20 \cdot (2,94 / 9,81) = 0,06$$

Si assume quanto indicato nell'Eurocodice EC8 per il quale  $k_h = 0,10$

### 11.3.3 Analisi di stabilità dell'intervento

#### 11.3.3.1 Generalità

L' INTERVENTO TIPO E, si estende dalla sezione 43a alla sezione 54, è costituito da un muro in cemento armato, tirantato al piede da tiranti a trefoli di tipo attivo di lunghezza 30 m, da 90 tonnellate





## INTERVENTO TIPO E

Il muro nella parte inferiore presenta uno spessore 1,00 m, mentre nella parte superiore ha uno spessore di 0,70 m.

Prima della costruzione del muro, la parete della rupe verrà consolidata con iniezioni ad alta pressione di malta cementizia realizzate mediante la predisposizione di canne in PVC valvolate con maglia 2,50x3,00, per la saturazione delle cavità e delle fratture.

Tabella C: caratteristiche dei rinforzi previsti

Palo di fondazione		Tirante		Chiodatura	
<b>Diametro</b>	1200mm	Lunghezza totale	30m	Diametro	32mm
<b>Lunghezza</b>	30m	Lunghezza di ancoraggio	18m	Lunghezza	22m
<b>Interasse longitudinale</b>	2.5m	Diametro bulbo di ancoraggio	0.2m	Angolo di inclinazione	15°
<b>Interasse trasversale</b>	3.6m	Pre-tiro	60ton	Carico di snervamento	760kN
		Angolo di inclinazione	15°		

In superficie è prevista la riprofilatura morfologica a gradoni addolcita dall'impianto di un sistema vegetazionale capace di ricucire il sistema vegetale esistente. Tale soluzione è già stata adottata nelle adiacenze della zona in esame: ci si riferisce al recupero della zona "Fontanaccia".

Con le premesse di cui al precedente capoverso, si è esaminata la nuova configurazione della possibile struttura superficiale del versante fino ad ottenere le condizioni di sicurezza previste dalle norme tecniche vigenti, con un regime sismico corrispondente alla prescrizione dell'EC8 in relazione al valore di accelerazione massima del sito di cui al capitolo precedente.

### 11.3.3.2 Verifiche di stabilità

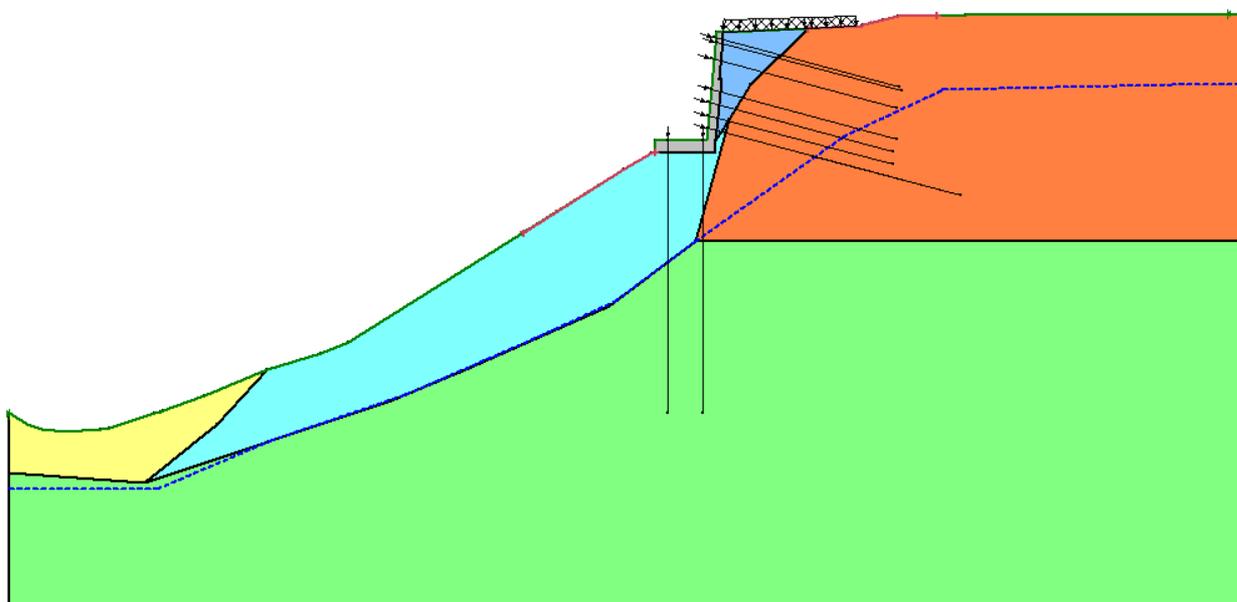
Utilizzando gli stessi modelli di calcolo esaminati con la back analysis nelle condizioni limite di rottura si è proceduto alla ricerca delle condizioni di sicurezza inserendo gli elementi di rinforzo e le loro caratteristiche indicate nel paragrafo precedente.

Si è operato nel seguente modo:



1. Morfologia corrispondente a quella necessaria, ove la parete naturale non aderisca al muro si riempie con un cuscinio drenante in ghiaia;
2. Andamento della falda mantenuta nelle condizioni naturali;
3. Azioni sismiche orizzontali come da EC8;
4. Sovraccarico di 5kN/mq in superficie (§5.1.3.3.3 NTC2008);
5. Coefficiente di sicurezza FS assunto in tutte le condizioni di carico: FS=1,3.

Il calcolo è stato condotto con lo stesso codice di calcolo “Geo – SLOPE” senza modificare i parametri meccanici del terreno, ma inserendo gli elementi di rinforzo descritti. Il muro è stato modellato come un nuovo dominio di terreno, caratterizzato da un  $\gamma = 25kN/m^3$ ,  $\phi' = 45^\circ$  e  $c' = 14.17MPa$  con le dimensioni in sezione pari a quelle di progetto.



**Figura 4: modello di calcolo sdp**

Il tirante è modellato come ancoraggio del quale è possibile inserire nel programma le caratteristiche meccaniche riportate in tabella C.



Draw Reinforcement Loads

Reinforcement

Type:  F of S Dependent:  Load Distribution:  Length:  Direction:

Constant Applied Load:  Anchor Spacing:

Variable Applied Load Bar Capacity:

Bond Length:  Bar Safety Factor:

Bond Diameter:  Shear Capacity:

Bond Safety Factor:  Shear Safety:

Bond Skin Friction (F/Area):  Apply Shear:

Applied Load: 0 - 248.81 kN Bond Resistance: 13.823 kPa

Done

Anche la chiodatura è modellata come una serie di chiodi della lunghezza e del diametro opportuni

Draw Reinforcement Loads

Reinforcement

Type:  F of S Dependent:  Load Distribution:  Length:  Direction:

Variable Applied Load Bar Capacity:

Bond Diameter:  Bar Safety Factor:

Bond Safety Factor:  Bar Safety Factor:

Bond Skin Friction (F/Area):  Shear Capacity:

Nail Spacing:  Shear Safety:

Apply Shear:

Applied Load: 0 - 304 kN Bond Resistance: 138 kPa

Done

Per quanto concerne i pali si è scelto di inserirli come singoli elementi di rinforzo e non come parte integrante del muro per proporre un modello più conservativo.



**Draw Reinforcement Loads** [?] [X]

Reinforcement

Type:  F of S Dependent:  Load Distribution:  Length:  Direction:

Pile Spacing:

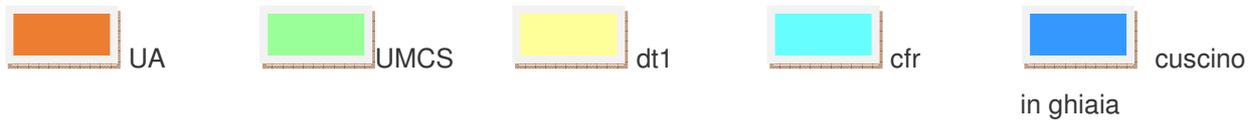
Shear Force:

Shear Safety Factor:

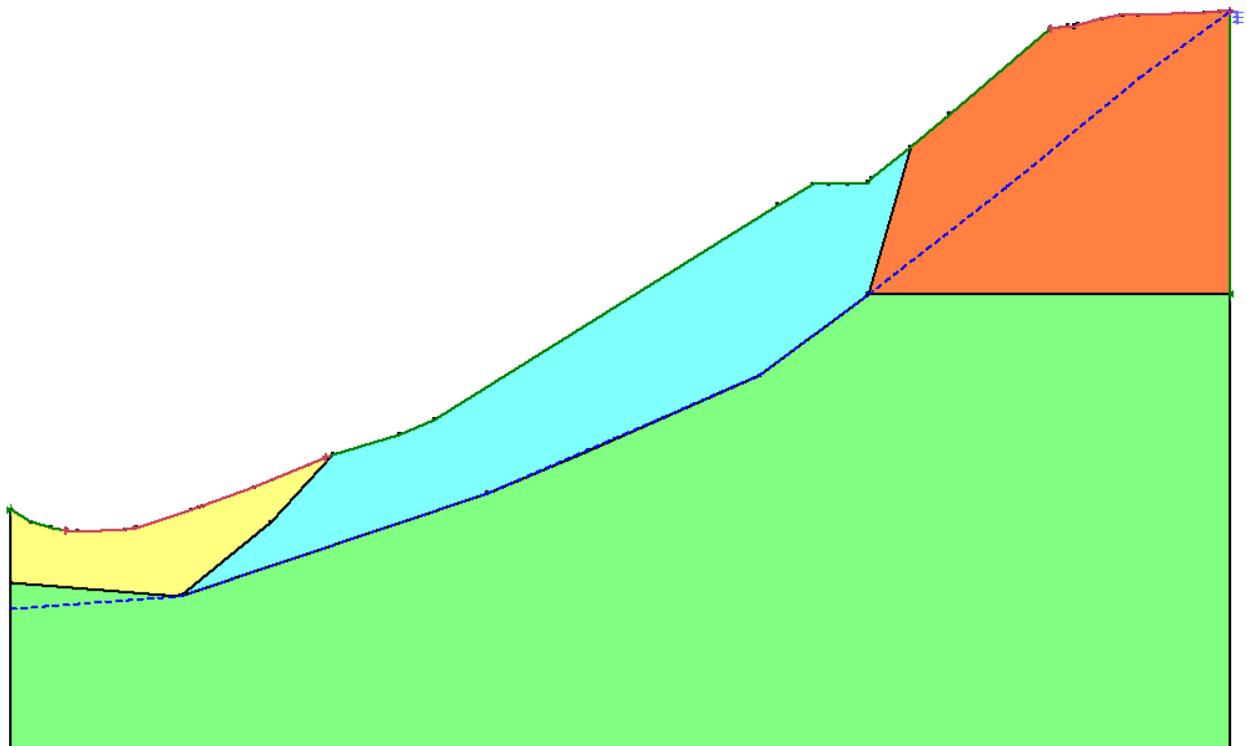
Apply Shear:

Done

LEGENDA

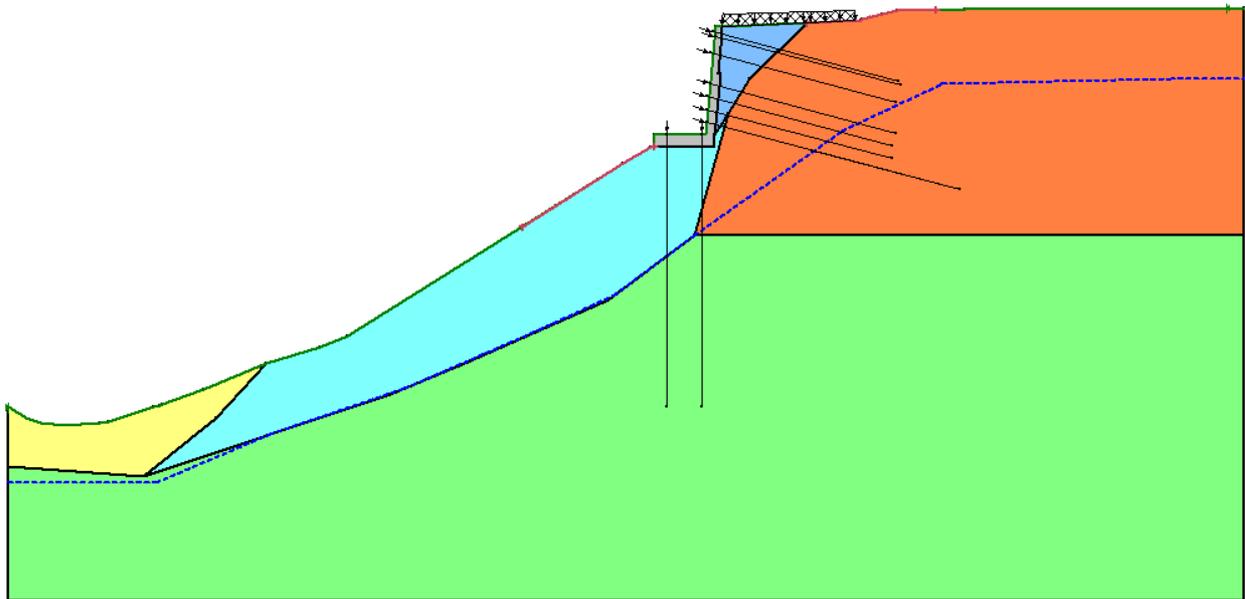


MORFOLOGIA ORIGINARIA





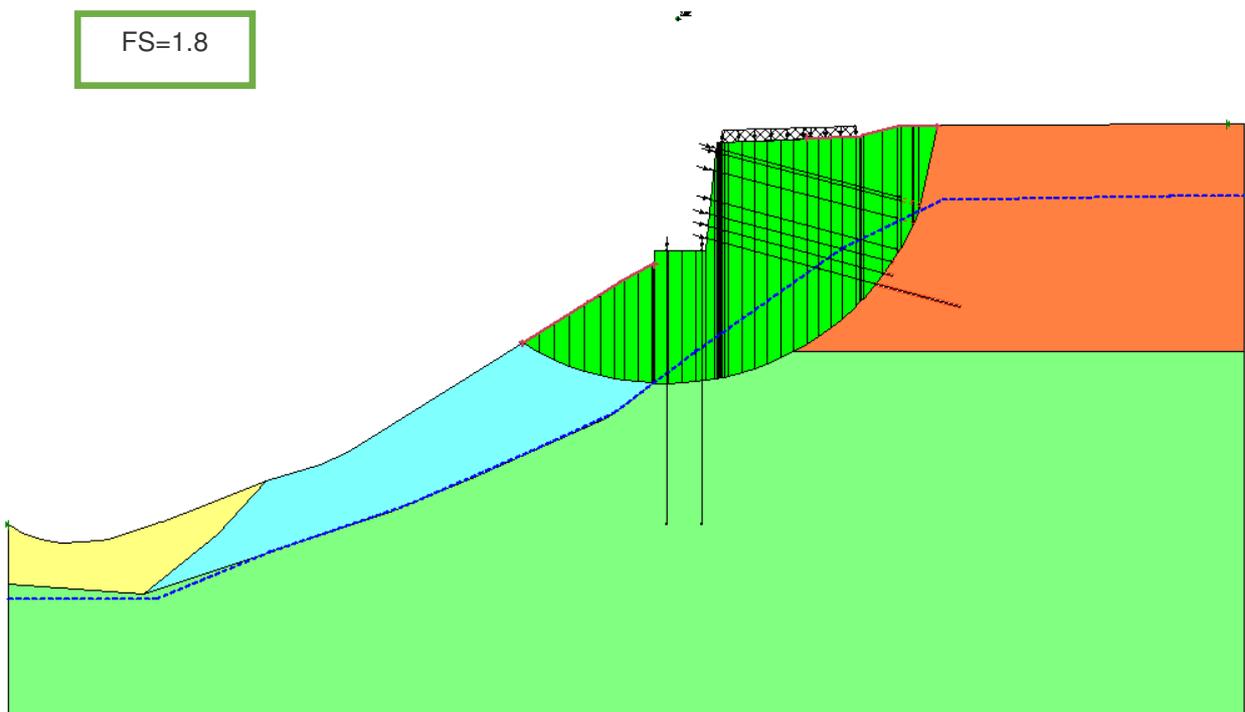
## MORFOLOGIA DI PROGETTO



Di seguito si riportano i risultati ottenuti con l'analisi in ambito statico e in ambito sismico con il metodo di Jambu della sezione 48, che fornisce i fattori di sicurezza più bassi.

## VERIFICA STATICA

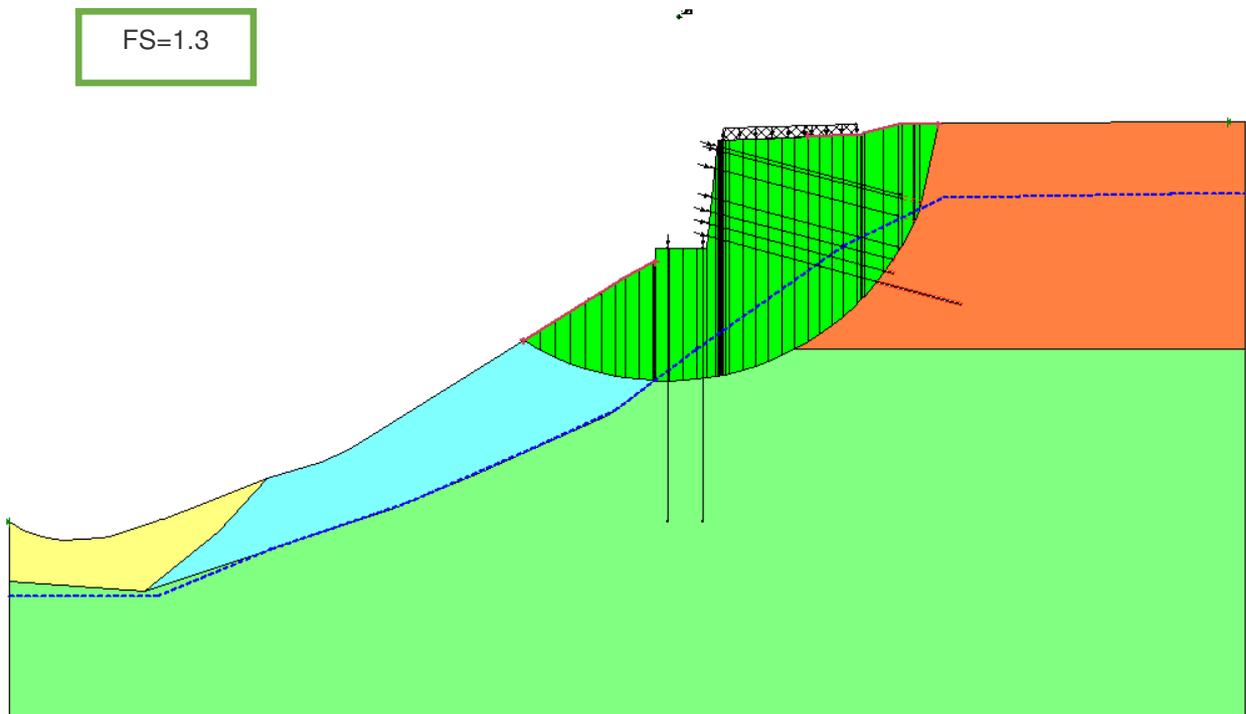
FS=1.8





VERIFICA SISMICA

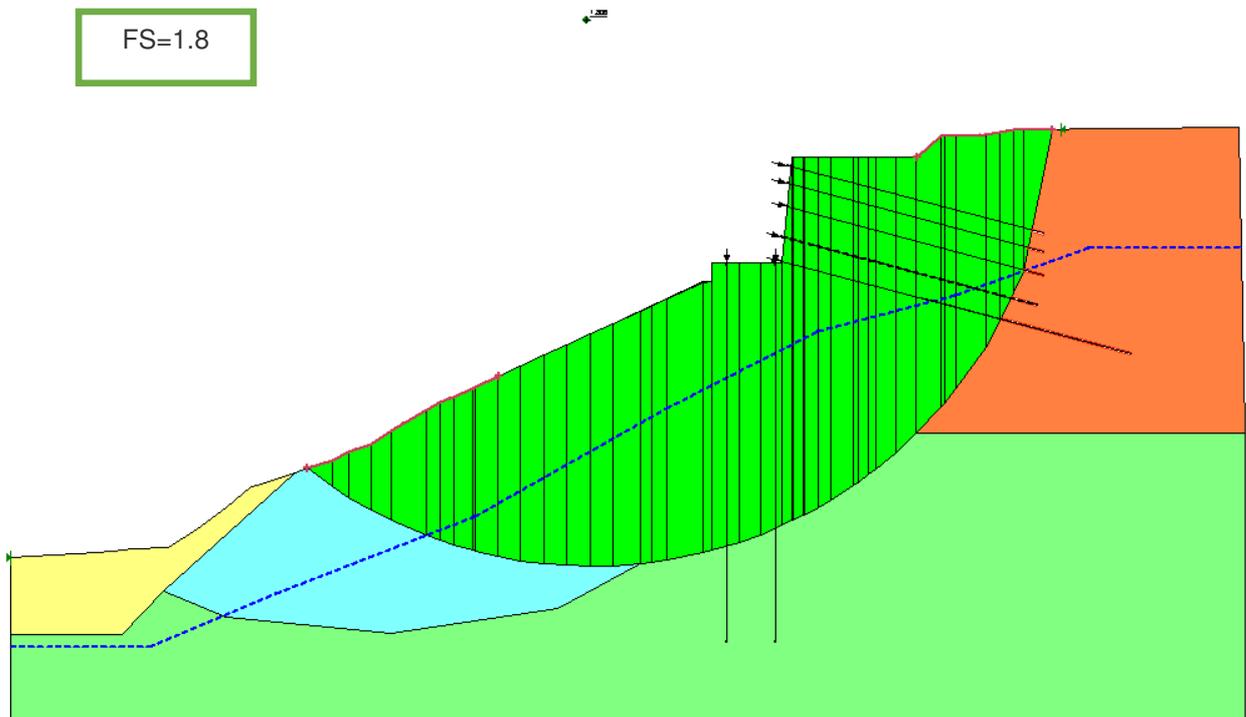
FS=1.3



Di seguito si riportano i risultati ottenuti con l'analisi in ambito statico e in ambito sismico con il metodo di Jambu della sezione 52, che fornisce i fattori di sicurezza più bassi.

VERIFICA STATICA

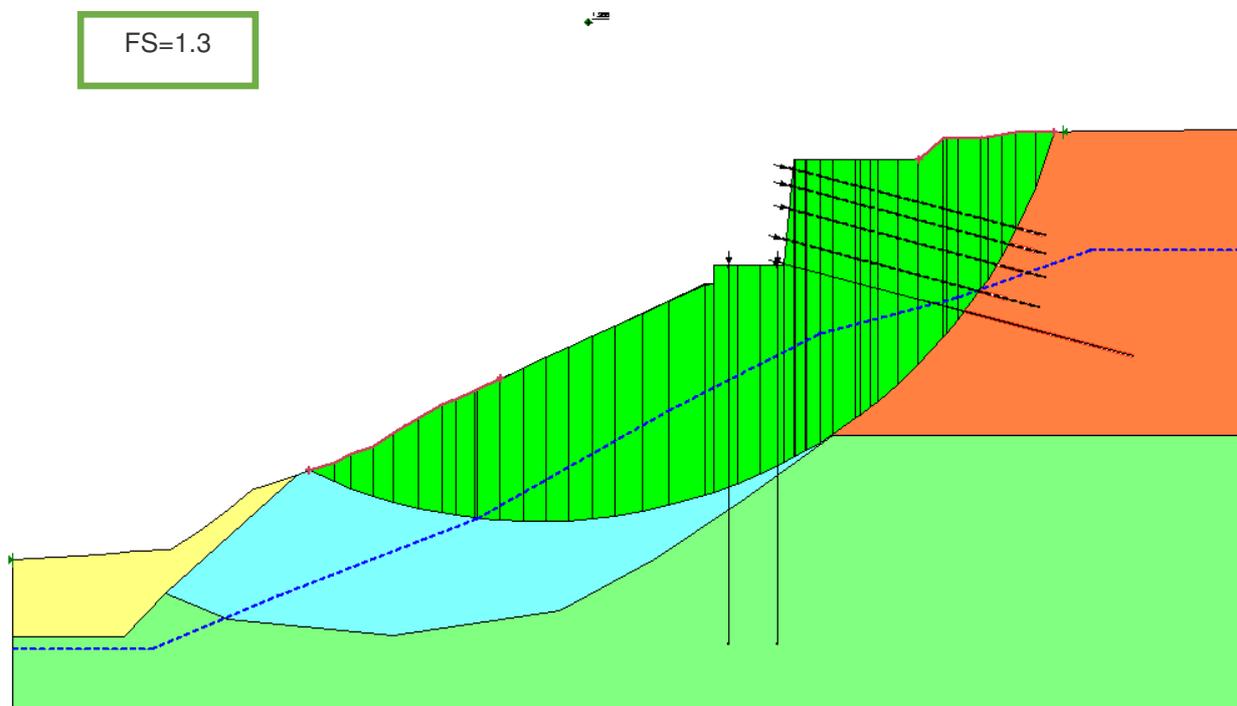
FS=1.8





## VERIFICA SISMICA

FS=1.3



In allegato i risultati di tutte le altre analisi eseguite con i metodi di Jambu e Bishop, sia in condizioni statiche che in condizioni simiche.

### 11.3.4 Calcolo della fondazione di tiranti

I tiranti dello schermo superiore affondano la parte inferiore (fondazione) nella unità basale. Per la portanza della fondazione si assume il seguente schema di calcolo (Bustamante):

I bulbi degli ancoraggi saranno completamente immersi nella formazione basale

La perforazione è di 200mm di diametro

La fondazione è realizzata con il metodo delle iniezioni selettive e ripetute (IRS).

La miscela cementizia deve essere antiritiro.

I tiranti sono di tipo permanente

La portata ammissibile unitaria può essere valutata con riferimento alla pressione residua di iniezione che non deve essere inferiore a 6-7atm

La tensione di adesione limite tra il tratto attivo dei tiranti ed il terreno può essere assunta pari a circa la metà della pressione residua di iniezione ottenendo:

$$\tau_{lim} = 25 \div 30 \text{ t/mq}$$

che risulta dello stesso ordine di grandezza della coesione non drenata del terreno



La resistenza unitaria ammissibile per la fondazione dei tiranti vale:

$$F_{amm} = 3,14 \cdot D \cdot K \cdot \tau_{lim} / FS;$$

$$K = 1,15$$

$$FS = 2,5$$

$$F_{amm} = 7,22 \text{ t/m}$$

Per 90t si assume una lunghezza di fondazione pari a 18m.

-----

## 12 CONCLUSIONI

Sulla base del modello geotecnico, elaborato in riferimento alla relazione geologica redatta dallo studio SGA di Perugia, ed in relazione a tutti gli interventi già realizzati sulla Rupe è stata condotta un'analisi geotecnica sulla fascia N – NW della Rupe di Massa Martana.

Sono state eseguite le verifiche di stabilità locali e globali del versante per la sezione più gravosa ed anche per una sezione rappresentativa dell'intero intervento sulla parete.

Le verifiche sono state condotte nel rispetto delle NTC2008 e sono risultate tutte soddisfatte una volta inseriti tutti gli interventi di rinforzo necessari.

-----

ing. Claudio Comastri