



Regione Marche



Comune di Fermo



Provincia di Fermo

# “LAVORI DI REALIZZAZIONE INNESTO S.P. N. 204 LUNGOTENNA E S.P. N. 239 EX S.S. 210 FERMANA - FALERIENSE - COLLEGAMENTO STRADA DEL FERRO”

ELABORATI TECNICI

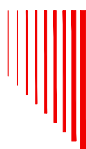
RT\_Relazioni Tecniche

RT  
04c

Relazione di calcolo terre armate

SCALA -

## P R O G E T T A Z I O N E



**S.A.G.I. s.r.l.**

Società per l'Ambiente, la Geologia e l'Ingegneria

Via Pasubio,20  
63074 San Benedetto del Tronto (AP)  
Tel. e Fax 0735.757580  
e-mail: info@sagistudio.it PEC: info@pec.sagistudio.it

IL Direttore Tecnico  
*Dott. Ing. Maurizio Ciarocchi*

IL Progettista *Dott. Ing. Sebastiano Ortu* .....

## C O M M I T T E N T E



**Provincia di Fermo**

Settore Viabilità - Infrastrutture - Urbanistica

Viale Trento, 113 63900 FERMO  
PEC: provincia.fermo@emarche.it

IL R.U.P. *Dott. Ing. Ivano Pignoloni* .....

LS/SO/28/17

20 novembre 2017

AGGIORNAMENTO	DATA	PROTOCOLLO	REDATTO	PROGETTATO	VERIFICATO	ACQUISITO	APPROVATO
1	10/05/18	LS/SO/28/17	D.D.	S.A.G.I.	S.A.G.I.	S.A.G.I.	S.A.G.I.

## RELAZIONE DI CALCOLO TERRE ARMATE

### Sommario

<b>1.0 PREMESSA E UBICAZIONE .....</b>	<b>2</b>
<b>2.0 DATI RELATIVI AL MODELLO GEOLOGICO .....</b>	<b>4</b>
<b>3.0 STRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....</b>	<b>5</b>
<b>4.0 PARAMETRI SISMICI .....</b>	<b>6</b>
<b>5.0 VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI.....</b>	<b>8</b>
<b>6.0 SEZIONI STRATIGRAFICHE E MODELLO GEOTECNICO .....</b>	<b>9</b>
<b>6.1 SEZIONE DI VERIFICA.....</b>	<b>9</b>
<b>6.2 MODELLO GEOTECNICO DA ANALIZZARE.....</b>	<b>10</b>
<b>7.1 SINTESI GRAFICA DELLE ANALISI.....</b>	<b>12</b>
<b>7.1.1 VERIFICA IN CONDIZIONI SISMICHE – SCAVO APERTO A BREVE TERMINE .....</b>	<b>12</b>
<b>7.1.2 VERIFICA IN CONDIZIONI SISMICHE – SCAVO APERTO A LUNGO TERMINE .....</b>	<b>13</b>
<b>7.1.3 VERIFICA IN CONDIZIONI SISMICHE POST OPERAM TERRE ARMATE ...</b>	<b>14</b>
<b>7.1.4 VERIFICA TERRA ARMATA.....</b>	<b>16</b>
<b>8.0 CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI.....</b>	<b>17</b>



**S.A.G.I. s.r.l.**

Società per l'Ambiente, la Geologia e l'Ingegneria

Via Pasubio, 20 - 63074 San Benedetto del Tronto (AP)

Tel. e Fax 0735/757580

E-mail: info@sagistudio.it; pec.: info@pec.sagistudio.it

Indirizzo web: www.sagistudio.it

P.IVA 01276770441

Revisione n. 1  
Data: 10-05-2018

Pag. 1 a 18

## 1.0 PREMESSA E UBICAZIONE

La presente relazione intende verificare la fattibilità geotecnica delle terre armate per i LAVORI DI REALIZZAZIONE INNESTO S.P. N.204 LUNGOTENNA E S.P. N.239 EX S.S. 210 FERMANA-FALERIENSE – COLLEGAMENTO STRADA DEL FERRO. Tale sistema di sostegno viene utilizzato per un tratto significativo ed impiegato a protezione delle scarpate laddove le pendenze da tenere sono obbligate.

**La fattibilità delle opere in questione viene valutata a seguito di specifiche analisi di stabilità su un profilo rappresentativo ( SEZ. 72 progressiva 1420.00) e ritenuto più critico, orientato lungo la linea di massima pendenza, e sulla base delle caratteristiche stratigrafiche e di resistenza del terreno acquisite dal sondaggio S11 e dalle relative schede di caratterizzazione riportate nella relazione geologica del progetto definitivo. Le condizioni verificate sono quelle di scavo aperto e di post operam.**

Lo studio è stato articolato attraverso le seguenti fasi:

- definizione di sintesi del modello geologico generale dell'area;
- caratterizzazione stratigrafica e parametrizzazione fisica-geotecnica dei terreni;
- caratterizzazione sismica dell'area in relazione alle nuove norme tecniche NTC 2008;
- definizione dei livelli di sicurezza e prestazionali dell'intervento;
- analisi di stabilità dello scavo aperto in condizioni sismiche e falda al piano campagna.
- analisi di stabilità del sistema opera / terreno in condizioni sismiche e falda in superficie.

L'area oggetto d'intervento ricade nel Comune di Fermo tra le località Molini di Tenna ad Ovest e Misericordia ad Est. Per meglio identificare l'area in studio si rimanda alla visione degli stralci cartografici di seguito riportati.



**S.A.G.I. s.r.l.**

Società per l'Ambiente, la Geologia e l'Ingegneria

Via Pasubio, 20 - 63074 San Benedetto del Tronto (AP)

Tel. e Fax 0735/757580

E-mail: info@sagistudio.it; pec.: info@pec.sagistudio.it

Indirizzo web: www.sagistudio.it

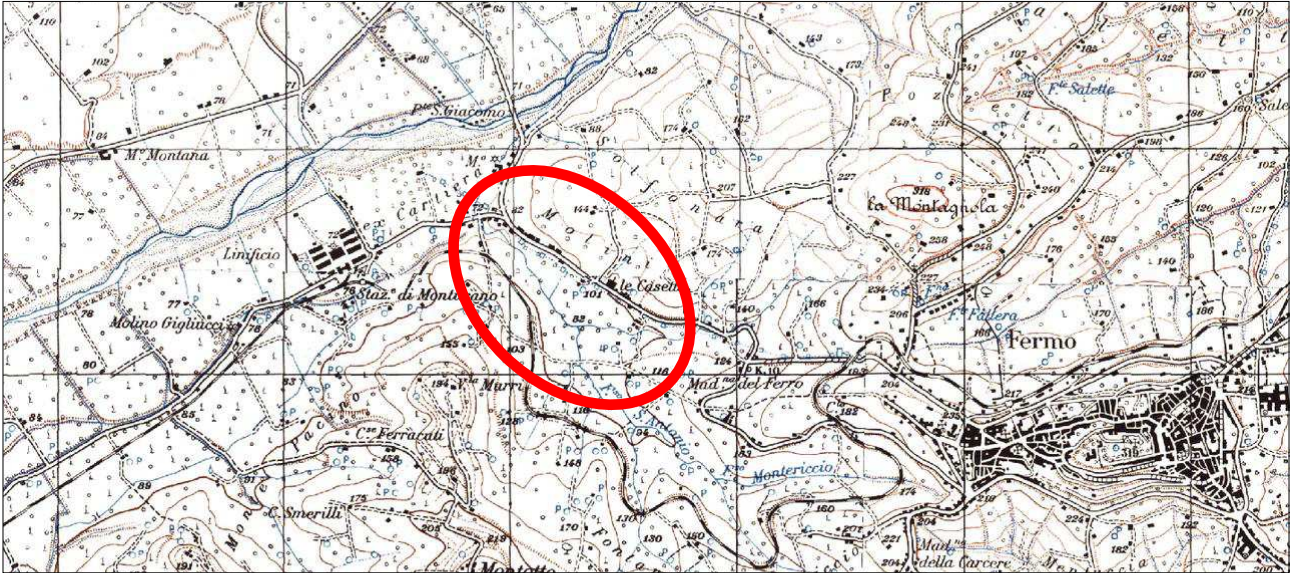
P.IVA 01276770441

Revisione n. 1  
Data: 10-05-2018

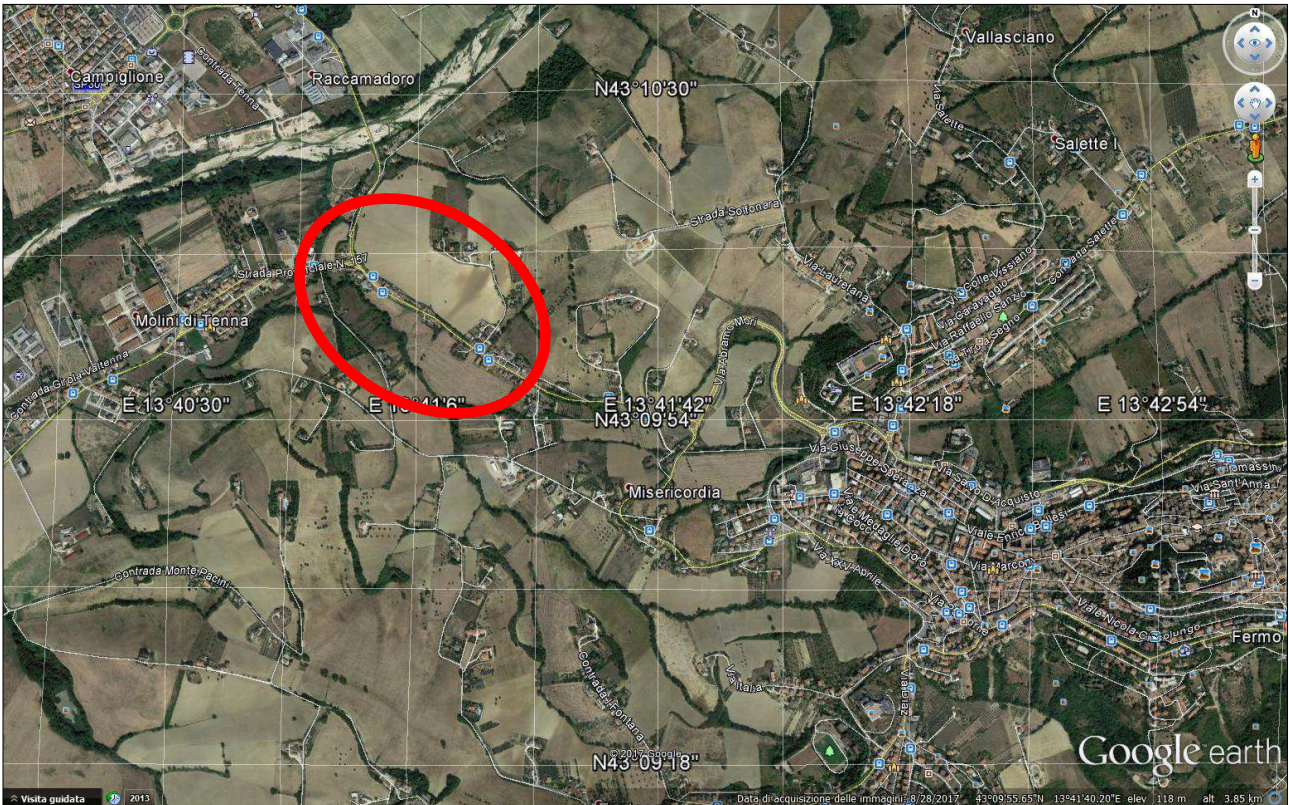
Pag. 2 a 18



## STRALCIO IGM

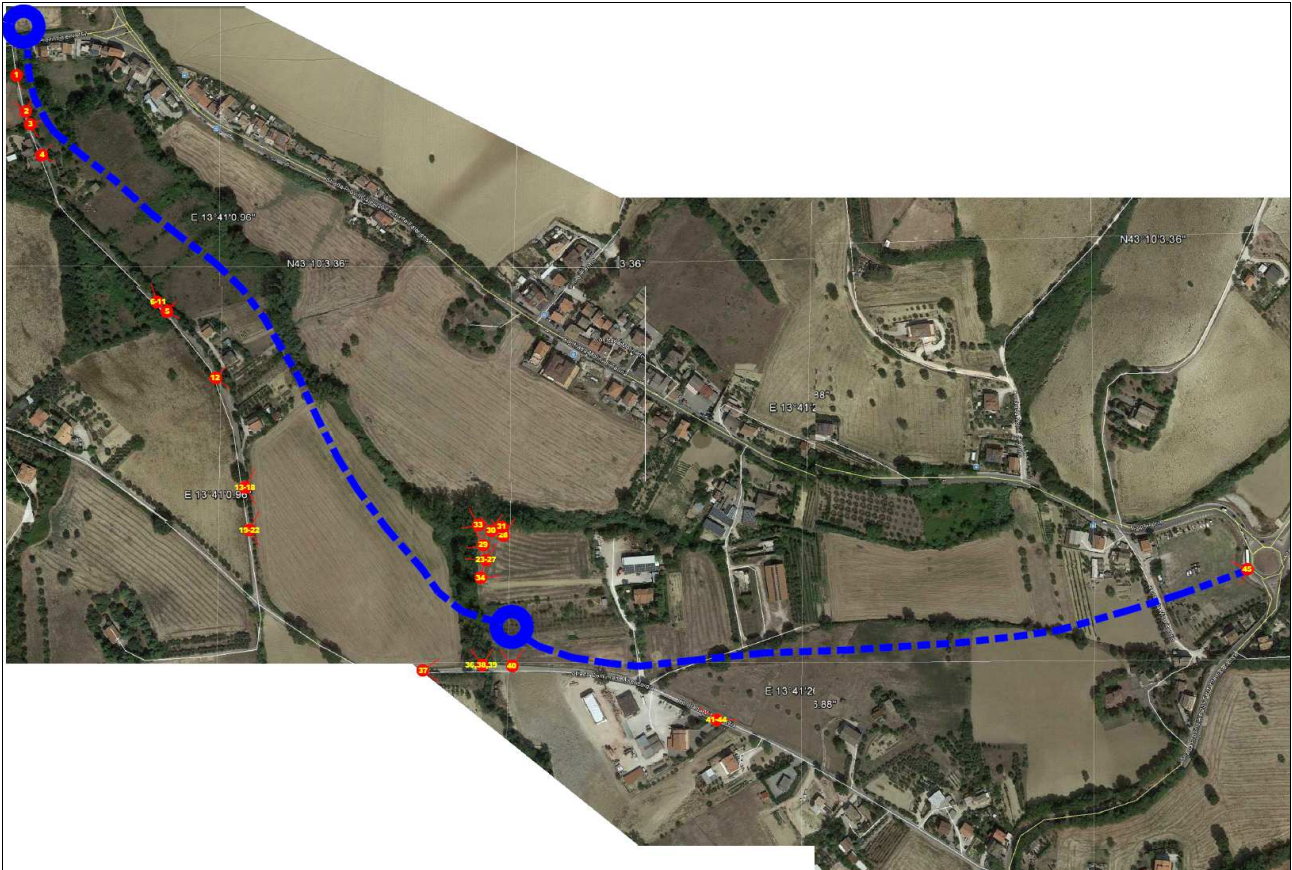


## STRALCIO FOTO DA SATELLITE





## STRALCIO FOTO DA SATELLITE CON UBICAZIONE STRADA DI PROGETTO



## 2.0 DATI RELATIVI AL MODELLO GEOLOGICO

La successione litologica tipo dell'area al vaglio d'idoneità è costituita dall'alto verso il basso, da:

Argille: depositi argillosi-marnosi-siltosi grigio bluastri di ambiente di piattaforma, intercalati a sottili livelli di sabbia giallastra

Depositi eluvio colluviali: limi e sabbie provenienti dal disfacimento della formazione in posto. Il passaggio con la sottostante formazione in posto avviene gradualmente per granulometria, per consistenza e per competenza tecnica di resistenza e deformabilità.

Nel sito in esame sono presenti, in prossimità della sezione di verifica, terreni di copertura limosi, limoso-sabbiosi e limoso argillosi (spessore variabile tra i 0 e 3.50m). Tali terreni poggiano sulle argille formazionali dapprima alterate e poi consistenti.



**S.A.G.I. s.r.l.**

Società per l'Ambiente, la Geologia e l'Ingegneria

Via Pasubio, 20 - 63074 San Benedetto del Tronto (AP)

Tel. e Fax 0735/757580

E-mail: info@sagistudio.it; pec.: info@pec.sagistudio.it

Indirizzo web: www.sagistudio.it

P.IVA 01276770441

Revisione n. 1  
Data: 10-05-2018

Pag. 4 a 18

### 3.0 STRATIGRAFIA E CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La media delle indagini realizzate in sede di progetto definitivo, hanno permesso di valutare le caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo per tutta la profondità di influenza delle opere. Di seguito si riportano le descrizioni litologiche e le unità litotecniche individuate in corrispondenza della sezione di verifica:

UNITA' 1 – da 0.00m a 1.00m (in prossimità dell'area lo spess. è variabile da 0 a 3.50m da valle verso monte)

#### LIMI, LIMI SABBIOSI E LIMI ARGILLOSI

$\gamma_n = 2.00 \text{ g/cm}^3$  (peso dell'unità di volume naturale)

$\gamma_{\text{sat}} = 2.10 \text{ g/cm}^3$  (peso dell'unità di volume saturo)

$\Phi' = 25^\circ$  (angolo d'attrito interno)

$c = 0.1 \text{ Kg/cm}^2$  (coesione drenata)

$C_u = 1.50 \text{ Kg/cm}^2$  (coesione non drenata)

UNITA' 2 – da 1.00m in poi

#### FORMAZIONE ARGILLOSA

$\gamma_n = 2.10 \text{ g/cm}^3$  (peso dell'unità di volume naturale)

$\gamma_{\text{sat}} = 2.30 \text{ g/cm}^3$  (peso dell'unità di volume saturo)

$\Phi' = 27^\circ$  (angolo d'attrito interno)

$c = 0.08 \text{ Kg/cm}^2$  (coesione drenata)

$C_u = 2.50 \text{ Kg/cm}^2$  (coesione non drenata)

**I valori sopra riportati sono i più cautelativi rispetto a quelli caratterizzanti il litotipo in analisi.**

**La presenza di acqua e in particolare la superficie piezometrica è stata posta al piano campagna per caratterizzare la condizione più critica. Tale condizione di verifica rappresenta la più negativa possibile in ambito di calcolo ai fini della stabilità dell'opera.**



**S.A.G.I. s.r.l.**

Società per l'Ambiente, la Geologia e l'Ingegneria

Via Pasubio, 20 - 63074 San Benedetto del Tronto (AP)

Tel. e Fax 0735/757580

E-mail: info@sagistudio.it; pec.: info@pec.sagistudio.it

Indirizzo web: www.sagistudio.it

P.IVA 01276770441

## 4.0 PARAMETRI SISMICI

**Stati limite**

Classe Edificio: -  
 III. Affollamento significativo: -  
 Vita Nominale: 100  
 Interpolazione: Media ponderata  
**CU = 1.5**

Stato Limite	Tr [anni]	ag [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	90	0.085	2.466	0.303
Danno (SLD)	151	0.110	2.444	0.314
Salvaguardia vita (SLV)	1424	0.274	2.471	0.334
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0.335	2.458	0.342
Periodo di riferimento per fazione sismica:	150			

**Coefficienti sismici**

Muri di sostegno NTC 2008  
 Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.  
 H (m): 1 us (m): 0.1  
 Cat. Sottosuolo: C  
 Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,29	1,21
CC Coeff. funz categoria	1,06	1,04	1,51	1,50
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00
Acc.ne massima attesa al sito [m/s <sup>2</sup> ]	0.6			

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.023	0.040	0.110	0.126
kv	0.012	0.020	0.055	0.063
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	1.257	1.615	3.472	3.979
Beta	0.180	0.240	0.310	0.310

Tipo di elaborazione: Opere di sostegno NTC 2008

Sito in esame.

latitudine: 43,166773  
 longitudine: 13,686779  
 Classe: 3  
 Vita nominale: 100

Siti di riferimento

Sito	ID	Lat	Lon	Distanza
Sito 1	ID: 22757	Lat: 43,1849	Lon: 13,6272	Distanza: 5235,922
Sito 2	ID: 22758	Lat: 43,1848	Lon: 13,6958	Distanza: 2131,385
Sito 3	ID: 22980	Lat: 43,1348	Lon: 13,6956	Distanza: 3626,056
Sito 4	ID: 22979	Lat: 43,1349	Lon: 13,6271	Distanza: 6003,214

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C  
 Categoria topografica: T1  
 Periodo di riferimento: 150anni  
 Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %  
 Tr: 90 [anni]  
 ag: 0,085 g  
 Fo: 2,466  
 Tc\*: 0,303 [s]



**S.A.G.I. s.r.l.**

Società per l'Ambiente, la Geologia e l'Ingegneria

Via Pasubio, 20 - 63074 San Benedetto del Tronto (AP)

Tel. e Fax 0735/757580

E-mail: info@sagistudio.it; pec.: info@pec.sagistudio.it

Indirizzo web: www.sagistudio.it

P.IVA 01276770441

## Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %  
 Tr: 151 [anni]  
 ag: 0,110 g  
 Fo: 2,444  
 Tc\*: 0,314 [s]

## Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %  
 Tr: 1424 [anni]  
 ag: 0,274 g  
 Fo: 2,471  
 Tc\*: 0,334 [s]

## Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %  
 Tr: 2475 [anni]  
 ag: 0,335 g  
 Fo: 2,458  
 Tc\*: 0,342 [s]

## Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2008

## SLO:

Ss: 1,500  
 Cc: 1,560  
 St: 1,000  
 Kh: 0,023  
 Kv: 0,012  
 Amax: 1,257  
 Beta: 0,180

## SLD:

Ss: 1,500  
 Cc: 1,540  
 St: 1,000  
 Kh: 0,040  
 Kv: 0,020  
 Amax: 1,615  
 Beta: 0,240

## SLV:

Ss: 1,290  
 Cc: 1,510  
 St: 1,000  
 Kh: 0,110  
 Kv: 0,055  
 Amax: 3,472

**S.A.G.I. s.r.l.**

Società per l'Ambiente, la Geologia e l'Ingegneria

Via Pasubio, 20 - 63074 San Benedetto del Tronto (AP)

Tel. e Fax 0735/757580

E-mail: info@sagistudio.it; pec.: info@pec.sagistudio.it

Indirizzo web: www.sagistudio.it

P.IVA 01276770441



Beta: 0,310  
SLC:  
Ss: 1,210  
Cc: 1,500  
St: 1,000  
Kh: 0,126  
Kv: 0,063  
Amax: 3,979  
Beta: 0,310

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50  
Geostru

Coordinate WGS84  
latitudine: 43.165821  
longitudine: 13.685861

## 5.0 VERIFICA DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

Il livello di sicurezza è espresso in generale come rapporto tra la resistenza al taglio disponibile, presa con il suo valore caratteristico e sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento effettiva o potenziale:  $F_s = \tau_s / \tau_m$ .

Il grado di sicurezza ritenuto accettabile in relazione al modello geologico e geotecnico adottato ed alle conseguenze di una eventuale frana, può essere rappresentato da un valore pari a 1.1.

I parametri geotecnici utilizzati per la verifica sono quelli caratteristici che, secondo le istruzioni del CSLP, sono circa uguali ai parametri medi.

Per ogni stato limite ultimo (SLU e SLU dinamico SLV) deve essere rispettata la condizione  $E_d \leq R_d$ . Secondo EC7 e larga parte della comunità scientifica nella verifica dei versanti si assume: Approccio 1 – combinazione 2 (A2 per le azioni + M2 per i parametri geotecnici + R2 per le resistenze) con R2 da normativa assunto e condiviso pari a 1.1 in relazione alle criticità riscontrate in sito ed alla tipologia di intervento da realizzare.

Per quanto riguarda le verifiche globali relative alle singole opere, i gradi di sicurezza considerati sono tutti pari a 1, sia per quanto riguarda la verifica alla traslazione, sia al ribaltamento, sia al carico limite.



**S.A.G.I. s.r.l.**

Società per l'Ambiente, la Geologia e l'Ingegneria

Via Pasubio, 20 - 63074 San Benedetto del Tronto (AP)

Tel. e Fax 0735/757580

E-mail: info@sagistudio.it; pec.: info@pec.sagistudio.it

Indirizzo web: www.sagistudio.it

P.IVA 01276770441

## 6.0 SEZIONI STRATIGRAFICHE E MODELLO GEOTECNICO

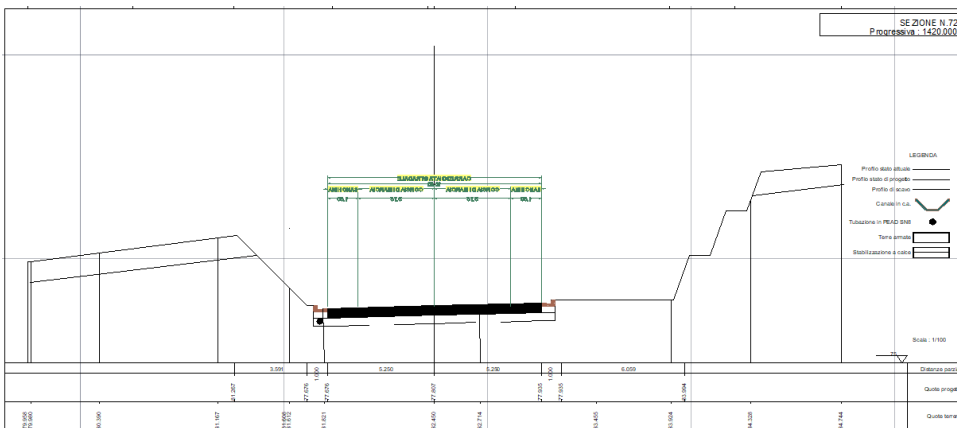
Per le analisi di stabilità si è verificata sezione n. 72 progressiva 1420.00 ritenuta la più critica.

**Per tale sezione si è effettuata una verifica di stabilità a scavo aperto ed una verifica di stabilità post operam. Lo scavo aperto viene realizzato a gradoni ciascuno di altezza di circa 2m, inclinazione 70° e piano di appoggio 1m.**

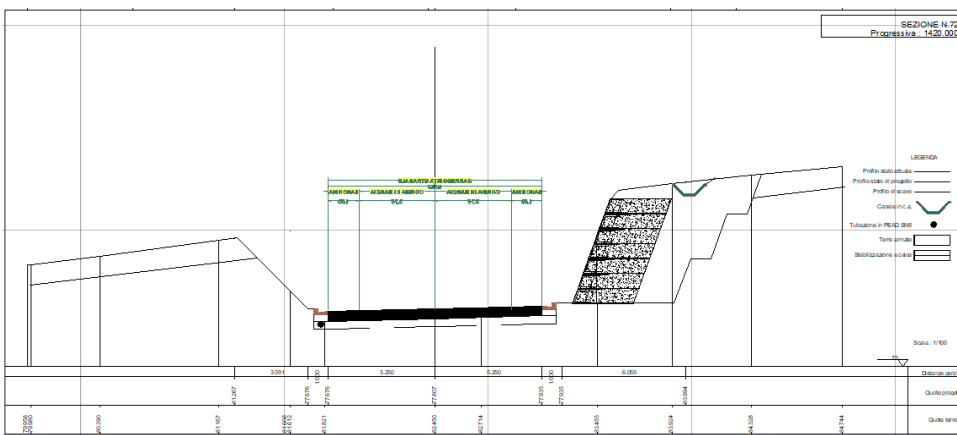
Il modello geotecnico di riferimento è quello descritto nel capitolo 3 in cui vengono distinte, per l'area di progetto, 2 unità litotecniche.

## 6.1 SEZIONE DI VERIFICA

### SEZIONE A SCAVO APERTO



### SEZIONE CON OPERA DI SOSTEGNO



Il dimensionamento dell'opera di sostegno è riportata nel progetto esecutivo.



**S.A.G.I. s.r.l.**

Società per l'Ambiente, la Geologia e l'Ingegneria

Via Pasubio, 20 - 63074 San Benedetto del Tronto (AP)

Tel. e Fax 0735/757580

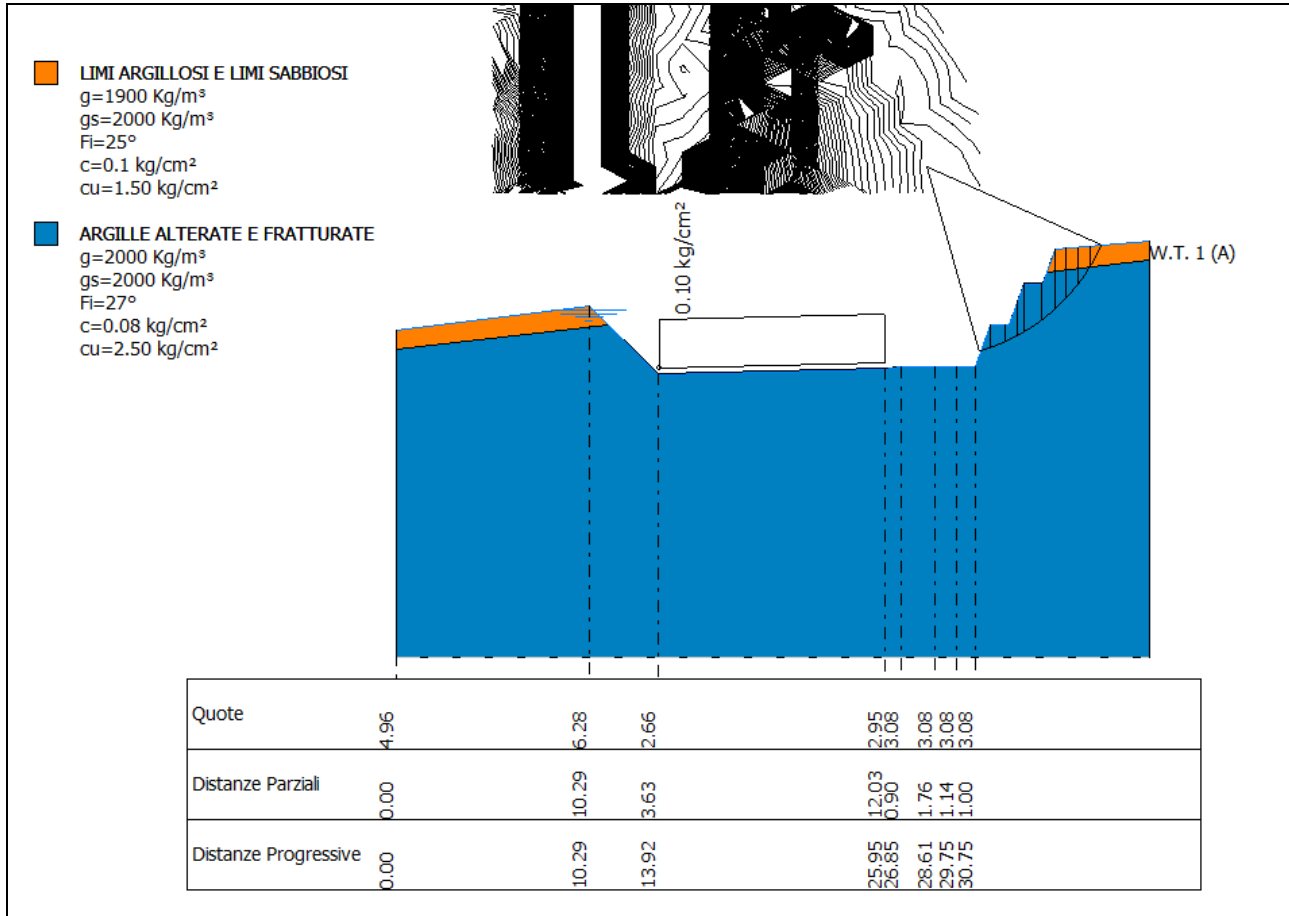
E-mail: info@sagistudio.it; pec.: info@pec.sagistudio.it

Indirizzo web: www.sagistudio.it

P.IVA 01276770441

## 6.2 MODELLO GEOTECNICO DA ANALIZZARE

### SEZIONE A SCAVO APERTO



**S.A.G.I. s.r.l.**

Società per l'Ambiente, la Geologia e l'Ingegneria

Via Pasubio, 20 - 63074 San Benedetto del Tronto (AP)

Tel. e Fax 0735/757580

E-mail: info@sagistudio.it; pec.: info@pec.sagistudio.it

Indirizzo web: www.sagistudio.it

P.IVA 01276770441

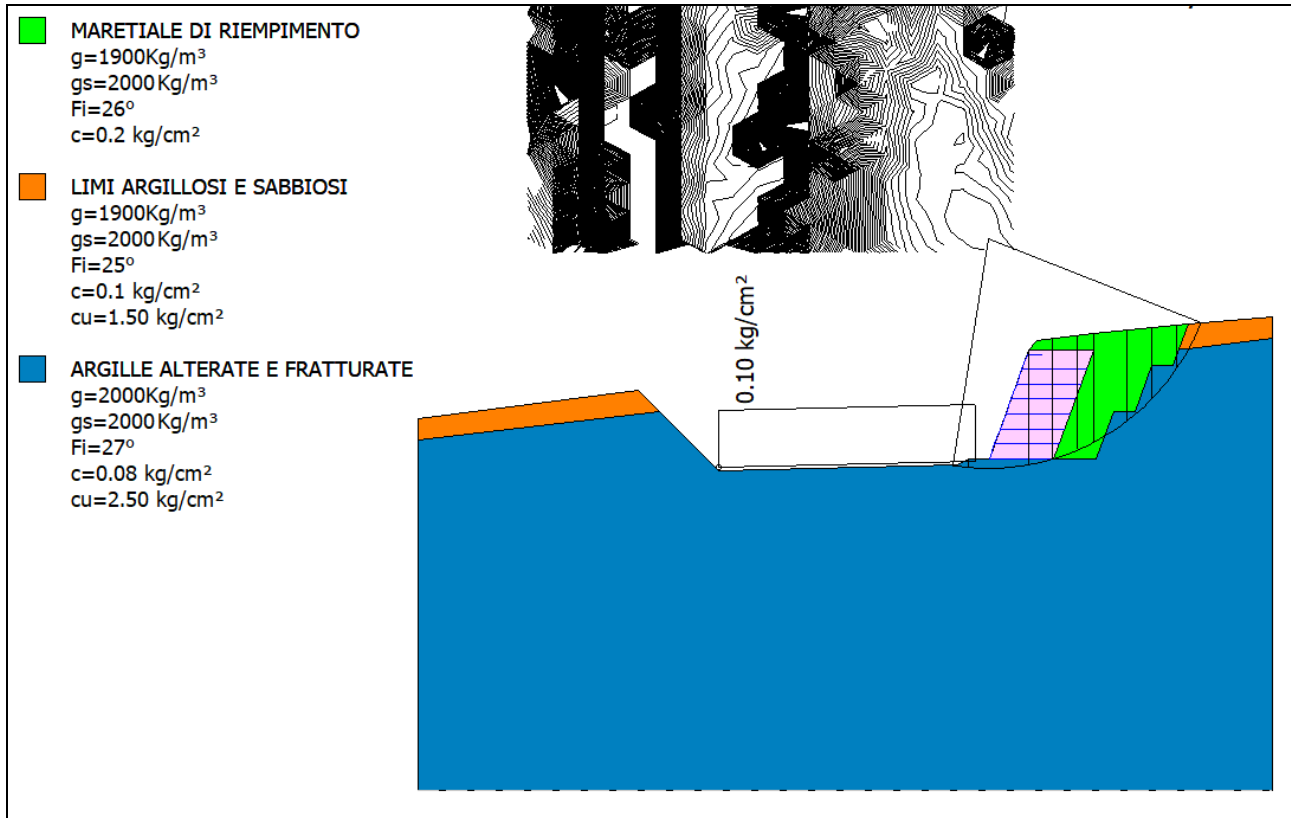
Revisione n. 1

Data: 10-05-2018

Pag. 10 a 18



## SEZIONE CON OPERA DI SOSTEGNO



Il materiale di riempimento deve avere caratteristiche di resistenza minime descritte in legenda.

Tale materiale può derivare dallo scavo dopo una selezione granulometrica che va dai limi alle sabbie.



**S.A.G.I. s.r.l.**

Società per l'Ambiente, la Geologia e l'Ingegneria

Via Pasubio, 20 - 63074 San Benedetto del Tronto (AP)

Tel. e Fax 0735/757580

E-mail: info@sagistudio.it; pec.: info@pec.sagistudio.it

Indirizzo web: www.sagistudio.it

P.IVA 01276770441

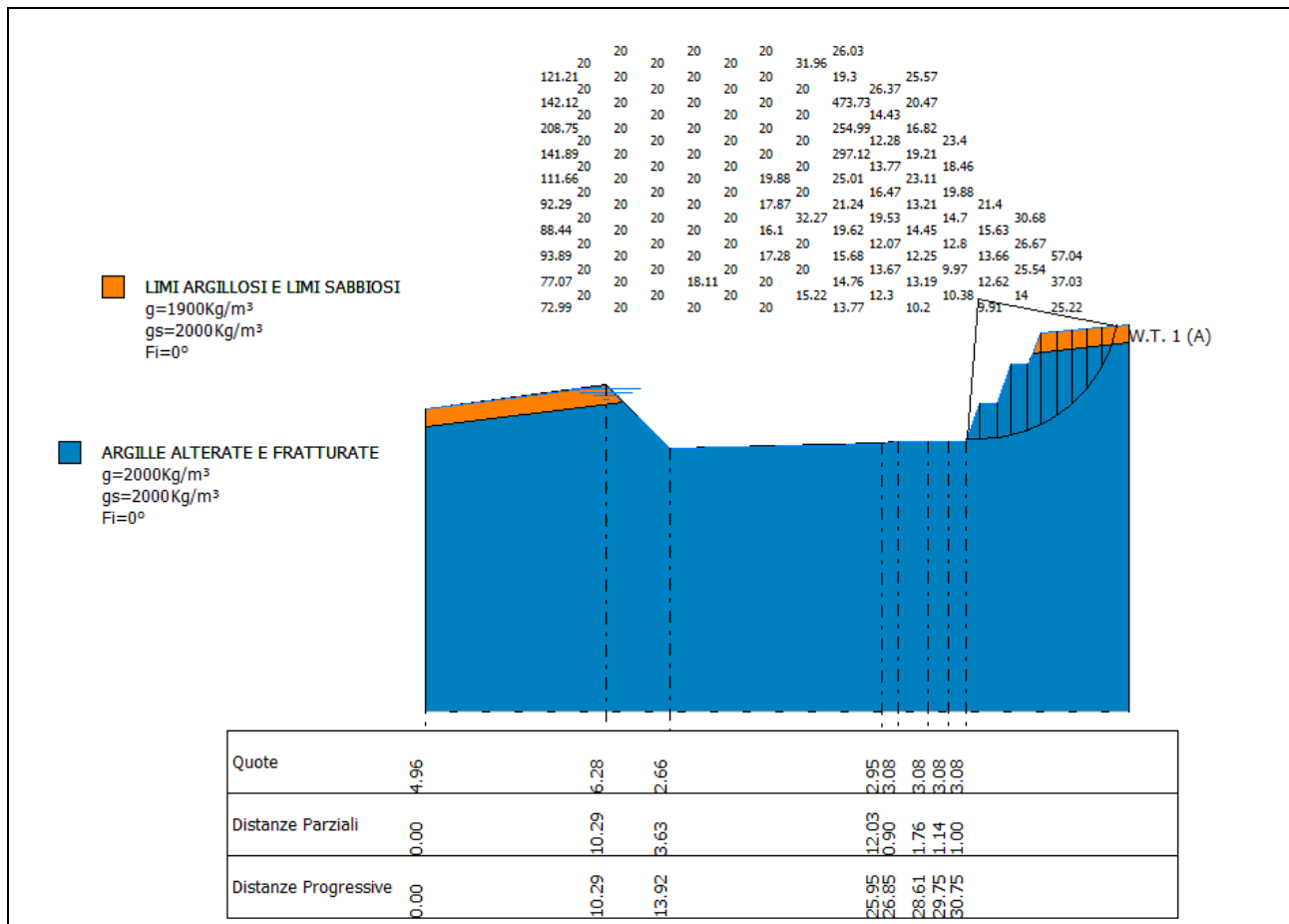
Revisione n. 1  
 Data: 10-05-2018

Pag. 11 a 18

7.0 ANALISI DI STABILITA' E RISULTATI OTTENUTI

7.1 SINTESI GRAFICA DELLE ANALISI

7.1.1 VERIFICA IN CONDIZIONI SISMICHE – SCAVO APERTO - A BREVE TERMINE



**S.A.G.I. s.r.l.**

Società per l’Ambiente, la Geologia e l’Ingegno

Via Pasubio, 20 - 63074 San Benedetto del Tronto (AP)

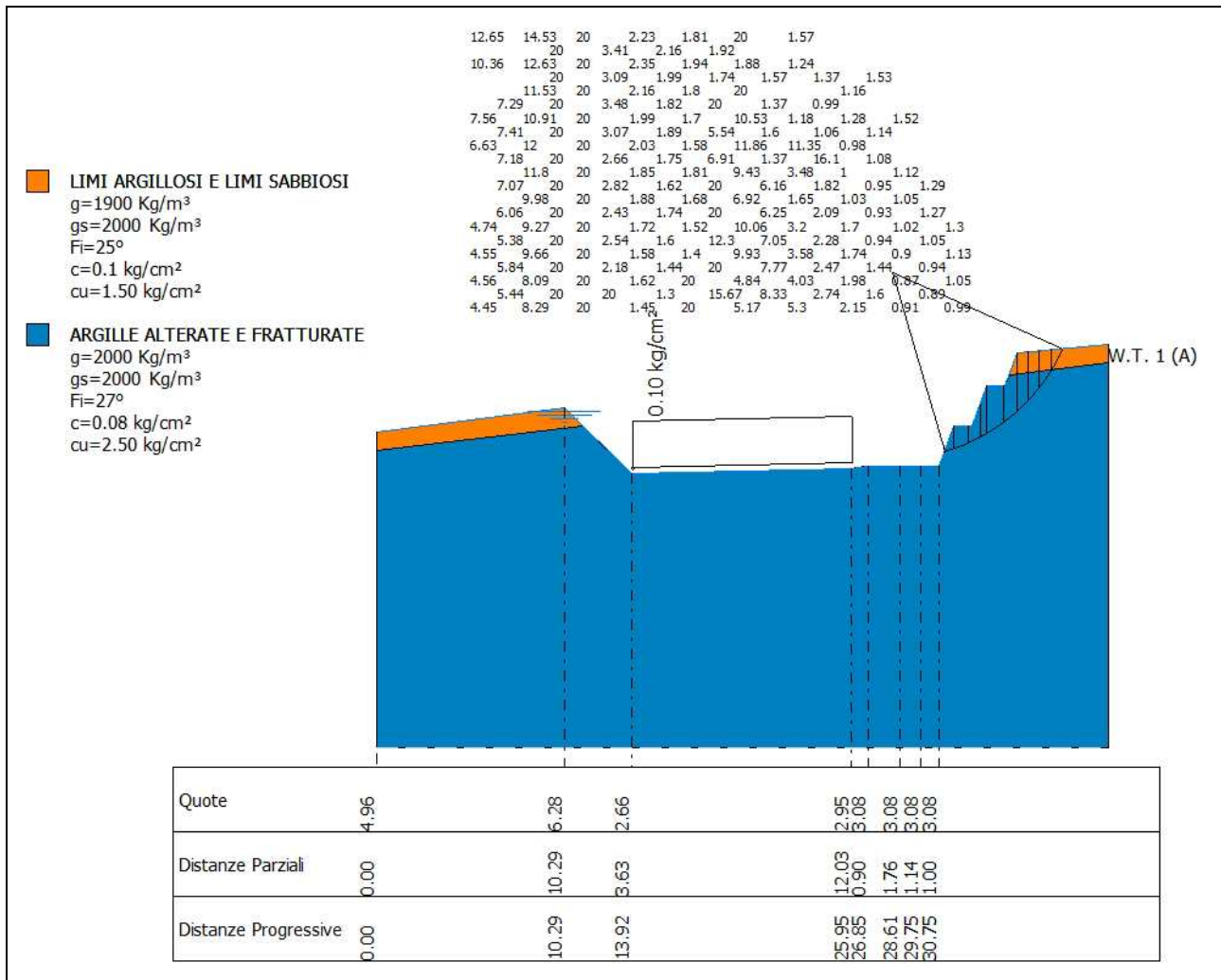
Tel. e Fax 0735/757580

E-mail: info@sagistudio.it; pec.: info@pec.sagistudio.it

Indirizzo web: www.sagistudio.it

P.IVA 01276770441

## 7.1.2 VERIFICA IN CONDIZIONI SISMICHE – SCAVO APERTO - A LUNGO TERMINE



**S.A.G.I. s.r.l.**

Società per l'Ambiente, la Geologia e l'Ingegneria

Via Pasubio, 20 - 63074 San Benedetto del Tronto (AP)

Tel. e Fax 0735/757580

E-mail: info@sagistudio.it; pec.: info@pec.sagistudio.it

Indirizzo web: www.sagistudio.it

P.IVA 01276770441

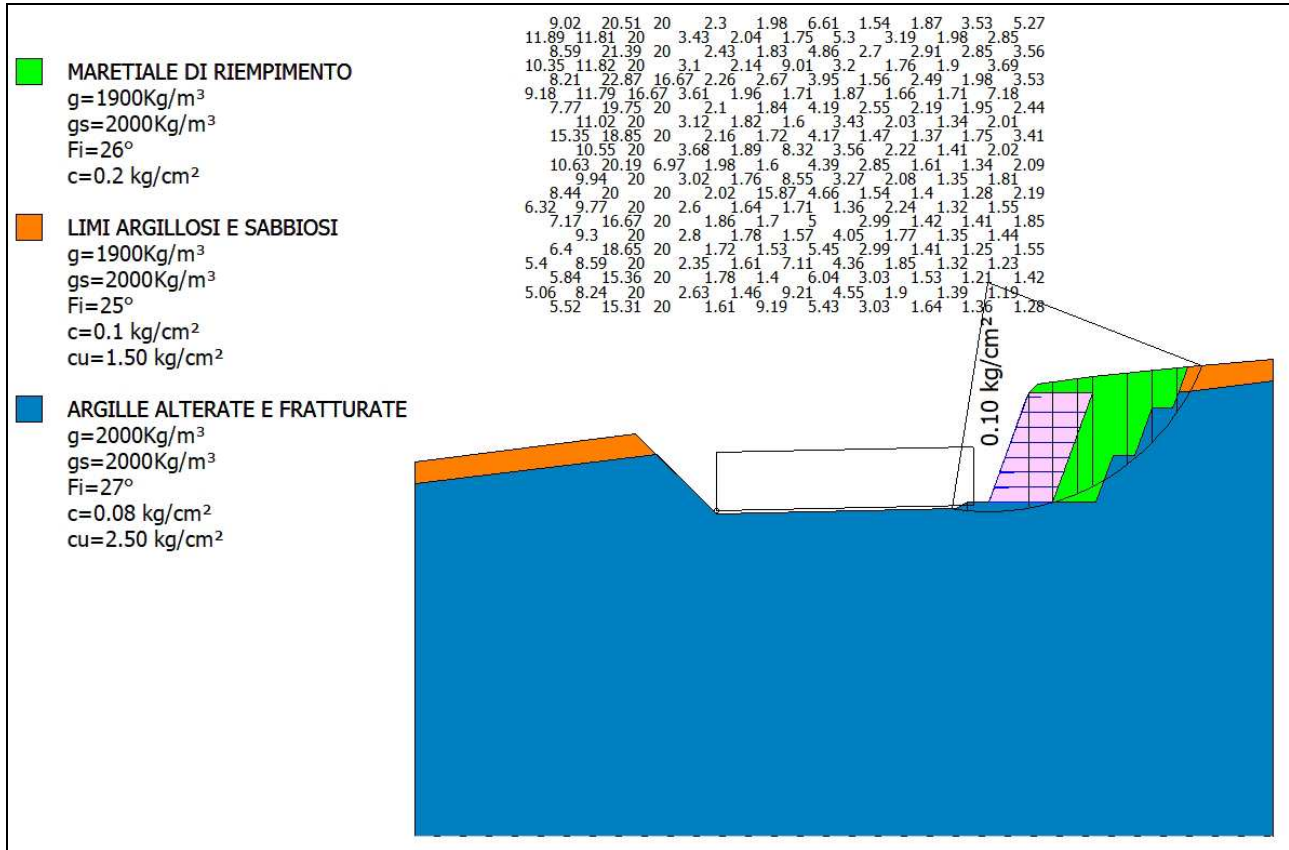
Revisione n. 1

Data: 10-05-2018

Pag. 13 a 18



### 7.1.3 VERIFICA IN CONDIZIONI SISMICHE POST OPERAM TERRE ARMATE – A LUNGO TERMINE



**S.A.G.I. s.r.l.**

Società per l'Ambiente, la Geologia e l'Ingegneria

Via Pasubio, 20 - 63074 San Benedetto del Tronto (AP)

Tel. e Fax 0735/757580

E-mail: info@sagistudio.it; pec.: info@pec.sagistudio.it

Indirizzo web: www.sagistudio.it

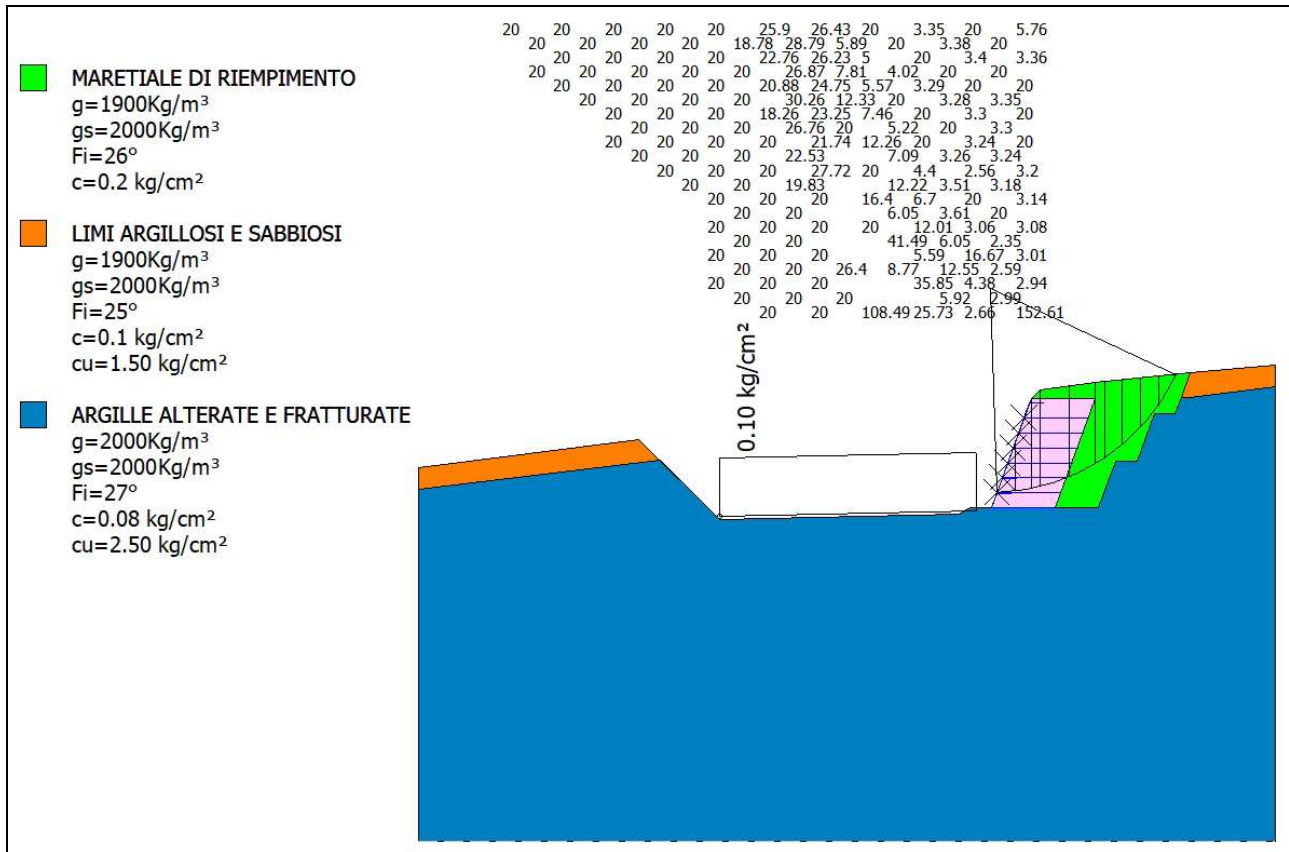
P.IVA 01276770441

Revisione n. 1

Data: 10-05-2018

Pag. 14 a 18

## 7.1.4 VERIFICA IN CONDIZIONI SISMICHE POST OPERAM TERRE ARMATE – A BREVE TERMINE



**S.A.G.I. s.r.l.**

Società per l'Ambiente, la Geologia e l'Ingegneria

Via Pasubio, 20 - 63074 San Benedetto del Tronto (AP)

Tel. e Fax 0735/757580

E-mail: info@sagistudio.it; pec.: info@pec.sagistudio.it

Indirizzo web: www.sagistudio.it

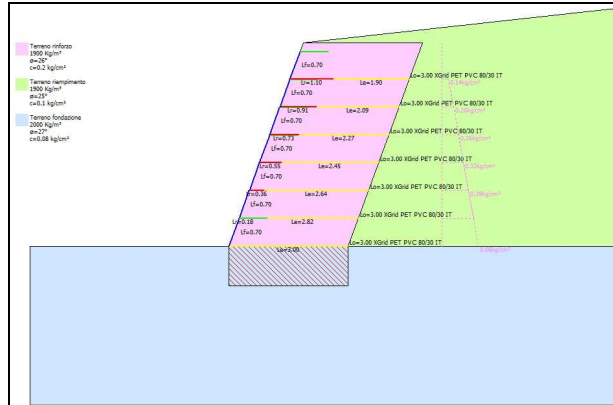
P.IVA 01276770441

Revisione n. 1

Data: 10-05-2018

Pag. 15 a 18

## 7.1.4 VERIFICA TERRA ARMATA



Nr	x (m)	y (m)	Lunghezza ripiegatura (L <sub>rip</sub> ) (m)	Lunghezza facciata (L <sub>f</sub> ) (m)	Lunghezza non efficace (L <sub>r</sub> ) (m)	Lu effi
1	0.25	0.7	0.7	0.7	0.18	
2	0.51	1.4	0.7	0.7	0.36	
3	0.76	2.1	0.7	0.7	0.55	
4	1.02	2.8	0.7	0.7	0.73	
5	1.27	3.5	0.7	0.7	0.91	
6	1.53	4.2	0.7	0.7	1.1	

• Coefficienti globali margine di sicurezza

Coef. sicurezza ribaltamento:

Coef. sicurezza scorrimento:

Coef. sicurezza carico limite:





## 8.0 CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI

Dall'esame dei risultati scaturisce quanto segue:

- Secondo la nuova normativa NTC 2008, in condizioni sismiche il fattore di sicurezza adottato è pari a 1.1;
- il sovraccarico al di sopra della sede stradale è stato considerato pari a 1000kg/mq (stimato in eccesso a pieno carico);
- Le condizioni di verifica sono state le seguenti:
  - Valutazione di stabilità a scavo aperto in condizioni sismiche a breve termine;
  - Valutazione di stabilità a scavo aperto in condizioni sismiche a lungo termine;
  - Valutazione di stabilità con terre armate in condizioni sismiche a lungo termine;
  - Valutazione di stabilità con terre armate in condizioni sismiche a breve termine.
- I risultati ottenuti hanno consentito di fare le seguenti valutazioni:
  - A scavo aperto a breve termine (saturo), l'Fs minimo = 9.91;
  - A scavo aperto a lungo termine (saturo), l'Fs minimo = 0.87;
  - Con terra armata a lungo termine, l'Fs minimo = 1.19;
  - Con terra armata a breve termine, l'Fs minimo = 2.99.
- Le considerazioni da fare sono le seguenti:
  - Lo scavo va aperto a gradoni  $h = 2m$  massimo e  $l = 1m$  minimo per garantire un maggiore stabilità durante le operazioni di approfondimento;
  - Ai fini della sicurezza di operatività, lo scavo e la realizzazione delle terre armate deve essere fatto per tratti;
  - Nel momento in cui si apre lo scavo, i tempi di lavoro per la realizzazione delle terre armate devono essere velocizzati in quanto il terreno tenderà ad alterarsi a contatto con gli agenti esogeni;
  - I fenomeni che possono verificarsi a scavo aperto riguardano piccoli franamenti e colate superficiali della sola coltre di alterazione a contatto con l'acqua di precipitazione. Tale condizione non determina pericolo, ma è comunque necessario operare con cautela per tutto il periodo di lavorazione;



**S.A.G.I. s.r.l.**

Società per l'Ambiente, la Geologia e l'Ingegneria

Via Pasubio, 20 - 63074 San Benedetto del Tronto (AP)

Tel. e Fax 0735/757580

E-mail: info@sagistudio.it; pec.: info@pec.sagistudio.it

Indirizzo web: www.sagistudio.it

P.IVA 01276770441

Revisione n. 1

Data: 10-05-2018

Pag. 17 a 18

- Il fronte, così come la porzione prossima al ciglio, andrà costantemente monitorata;
  - In caso di forti precipitazioni è necessario interrompere le lavorazioni;
  - Le terre armate stabilizzano lo scavo;
  - Il terreno di riempimento dovrà avere caratteristiche minime di resistenza e granulometria tali da consentire la permeazione e l'allontanamento delle acque d'infiltrazione.
- Le dimensioni progettuali delle opere di sostegno tramite terre armate risultano, dunque, compatibili con le spinte ed i carichi in gioco.

Di seguito si riportano integralmente le relazioni di calcolo.



**S.A.G.I. s.r.l.**

Società per l'Ambiente, la Geologia e l'Ingegneria

Via Pasubio, 20 - 63074 San Benedetto del Tronto (AP)

Tel. e Fax 0735/757580

E-mail: info@sagistudio.it; pec.: info@pec.sagistudio.it

Indirizzo web: www.sagistudio.it

P.IVA 01276770441

Revisione n. 1  
Data: 10-05-2018

**Pag. 18 a 18**

# Relazione di calcolo

## Definizione

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

1. .

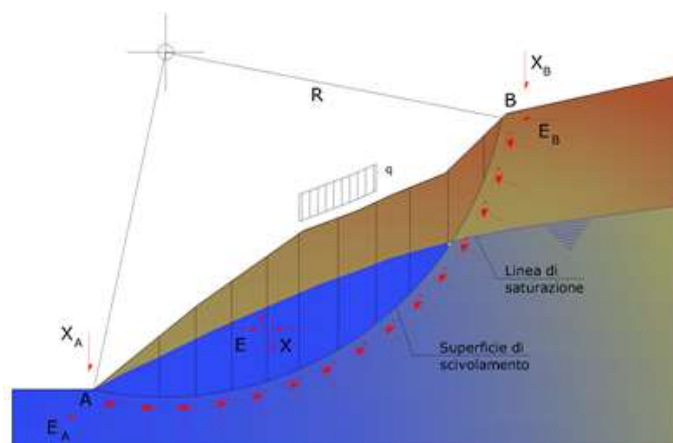
## Metodo equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.



## Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a  $n$ , il problema presenta le seguenti incognite:

- $n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;
- $n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$ ;
- $(n-1)$  forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$  forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- $n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;
- $(n-1)$  valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza  $F$ .

Complessivamente le incognite sono  $(6n-2)$ .

Mentre le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti  $n$ ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale  $n$ ;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale  $n$ ;
- equazioni relative al criterio di rottura  $n$ .

Totale numero di equazioni  $4n$ .

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a :

$$i = (6n - 2) - (4n) = 2n - 2$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a  $(n-2)$  in quanto si fa l'assunzione che  $N_i$  sia applicato nel punto medio della striscia. Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le  $(n-2)$  indeterminazioni.

$$F_{sm} = F_{sf}$$

### Metodo di Morgenstern e Price (1965)

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo  $X = \lambda f(x)E$ , dove  $\lambda$  è un fattore di scala e  $f(x)$ , funzione della posizione di E e di X, definisce una relazione tra la variazione della forza X e della forza E all'interno della massa scivolante. La funzione  $f(x)$  è scelta arbitrariamente (costante, sinusoidale, semisinusoidale, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

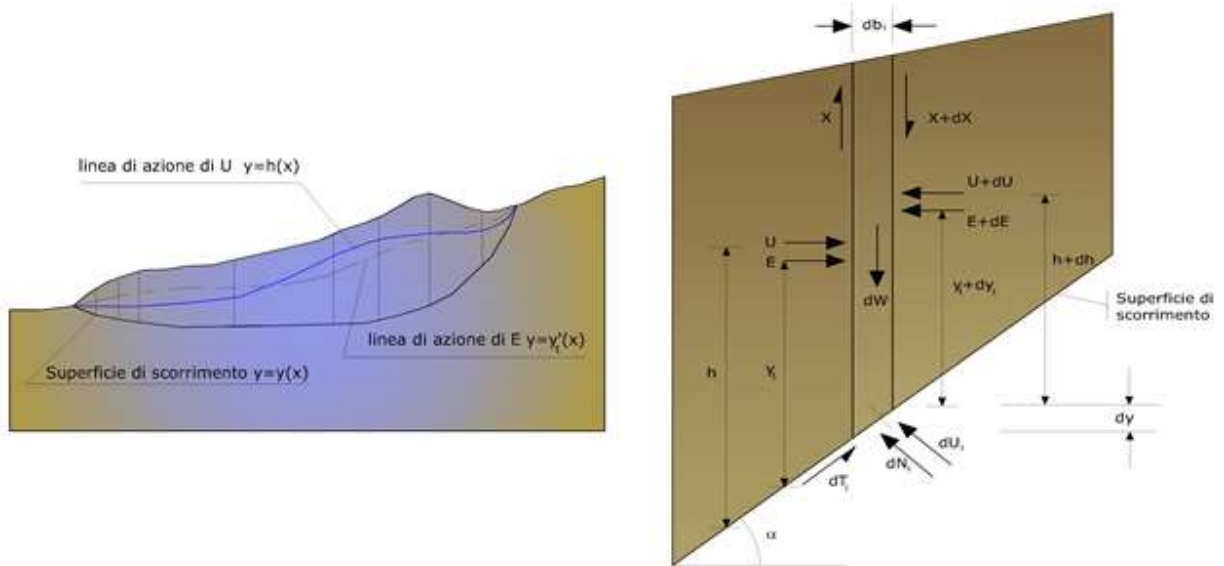
La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite E, X, il coefficiente di sicurezza  $F_s$ , il peso della striscia infinitesima  $dW$  e la risultante delle pressioni neutra alla base  $dU$ .

Si ottiene la cosiddetta “**equazione delle forze**”:

$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + \operatorname{tg} \phi' \left( \frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) =$$

$$= \frac{dE}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \left( \frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right)$$





*Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Morgenster e Price e rappresentazione d'insieme dell'ammasso*

Una seconda equazione, detta “**equazione dei momenti**”, viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzeria della base:

$$X = \frac{d(E_\gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento.

Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

### **Ricerca della superficie di scorrimento critica**

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia  $m \times n$  e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

## Ancoraggi

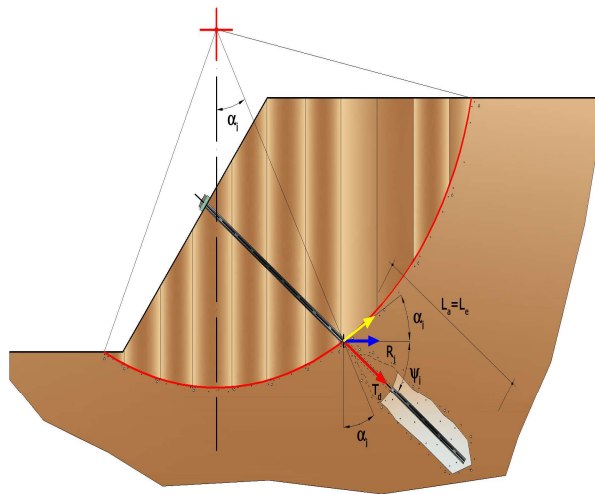
Gli ancoraggi, tiranti o chiodi, sono degli elementi strutturali in grado di sostenere forze di trazione in virtù di un'adeguata connessione al terreno.

Gli elementi caratterizzanti un tirante sono:

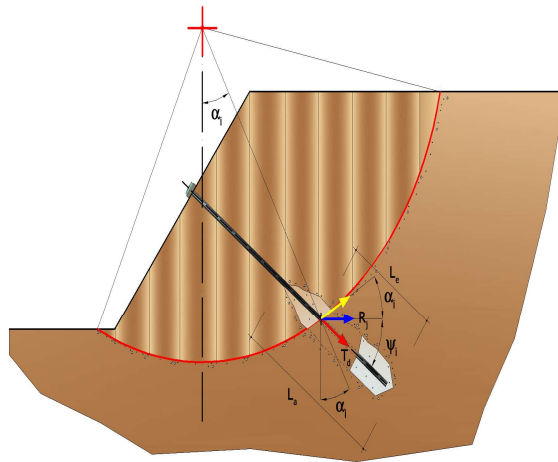
- **testata:** indica l'insieme degli elementi che hanno la funzione di trasmettere alla struttura ancorata la forza di trazione del tirante;
- **fondazione:** indica la parte del tirante che realizza la connessione con il terreno, trasmettendo al terreno stesso la forza di trazione del tirante.

Il tratto compreso tra la testata e la fondazione prende il nome di parte libera, mentre la fondazione (o bulbo) viene realizzata iniettando nel terreno, per un tratto terminale, tramite valvole a perdere, la malta, in genere cementizia. L'anima dell'ancoraggio è costituita da un'armatura, realizzata con barre, fili o trefoli.

Il tirante interviene nella stabilità in misura maggiore o minore efficacia a seconda se sarà totalmente o parzialmente (caso in cui è intercettato dalla superficie di scorrimento) ancorato alla parte stabile del terreno.



*Bulbo completamente ancorato*



*Bulbo parzialmente ancorato*

Le relazioni che esprimono la misura di sicurezza lungo una ipotetica superficie di scorrimento si modificheranno in presenza di ancoraggi (tirante attivo, passivo e chiodi) nel modo seguente:

- per i tiranti di *tipo attivo*, la loro resistenza si detrae dalle azioni (denominatore);

$$F_s = \frac{R_d}{E_d - \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_i}}$$

- per tiranti di *tipo passivo e per i chiodi*, il loro contributo si somma alle resistenze (numeratore)

$$F_s = \frac{R_d + \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_i}}{E_d}$$

Con  $R_j$  si indica la resistenza dell'ancoraggio e viene calcolata dalla seguente espressione:

$$R_j = T_d \cdot \cos \Psi_i \cdot \left( \frac{1}{i} \right) \cdot \left( \frac{L_e}{L_a} \right)$$

dove:

$T_d$  tiro esercizio;

$\Psi_i$  inclinazione del tirante rispetto all'orizzontale;

- i        interasse;
- Le      lunghezza efficace;
- La      lunghezza d'ancoraggio.

I due indici (i, j) riportati in sommatoria rappresentano rispettivamente l'i-esimo concio e il j-esimo ancoraggio intercettato dalla superficie di scorrimento dell'i-esimo concio.

**SCAVO APERTO A BREVE TERMINE Analisi di stabilità dei pendii con: MORGENSTERN-PRICE (1965)**

---

---

Lat./Long.	43.168325/13.682665
Calcolo eseguito secondo	[A2+M1+R2]
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.2
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione non drenata
Superficie di forma circolare	

---

---

**Maglia dei Centri**

---

---

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	2.27 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	12.19 m
Ascissa vertice destro superiore xs	31.08 m
Ordinata vertice destro superiore ys	27.03 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

---

---

**Sisma**

---

---

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0624
Coefficiente azione sismica verticale	0.0312

---

---

**Vertici profilo**

Nr	X	y
----	---	---



	(m)	(m)
1	0.0	4.96
2	10.29	6.28
3	13.92	2.66
4	25.95	2.95
5	26.85	3.08
6	28.61	3.08
7	29.75	3.08
8	30.75	3.08
9	31.55	5.27
10	32.55	5.27
11	33.34	7.46
12	34.34	7.46
13	35.0	9.27
14	40.0	9.74

**Falda**

Nr.	X (m)	y (m)
1	0.0	4.95
2	10.29	6.27
3	13.92	2.65
4	25.95	2.94
5	26.85	3.07
6	28.61	3.07
7	29.75	3.07
8	30.75	3.07
9	31.55	5.26
10	32.55	5.26
11	33.34	7.45
12	34.34	7.45

13	35.0	9.26
14	40.0	9.73

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	3.95
2	11.28	5.3
3	13.92	2.66
4	25.95	2.95
5	26.75	3.08
6	29.75	3.08
7	30.75	3.08
8	31.55	5.27
9	32.55	5.27
10	33.34	7.46
11	34.34	7.46
12	34.57	8.09
13	40.0	8.74

**Coefficienti parziali azioni**

---



---

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0 1.3
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0 1.0

---



---

**Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

---



---

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.0
Coesione efficace	1.0
Coesione non drenata	1.0
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

---



---

## Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0.1	1.50	25	1900	2000	LIMI ARGILLOSI E LIMI SABBIOSI	
2	0.08	2.50	27	2000	2000	ARGILLE ALTERATE E FRATTURA TE	

**Carichi distribuiti**

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	14	3	26	3.289277	0.1

**Risultati analisi pendio [[A2+M1+R2]]**

Fs minimo individuato	8.97
Ascissa centro superficie	29.64 m
Ordinata centro superficie	12.93 m
Raggio superficie	9.5 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Ei, Ei-1: Forze agenti normalmente alle facce del concio; Xi, Xi-1: Forze di tipo tagliante applicate sulle facce laterali.

$$x_c = 29.642 \quad y_c = 12.933 \quad R_c = 9.499 \quad F_s = 8.973$$

$$\text{Lambda} = 0.60$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)
1	0.64	9.63	0.65	1057.08
2	0.89	14.35	0.91	2728.76
3	0.9	20.01	0.96	3978.83
4	0.62	24.98	0.69	3899.78
5	1.04	30.69	1.21	6411.52
6	0.49	36.16	0.6	3923.92
7	0.76	41.03	1.01	5479.13
8	0.76	47.48	1.13	4458.54

9	0.76	54.89	1.33	3129.54
10	0.76	64.18	1.75	1288.21

**Sforzi sui conci**

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	855.53	1425.5	0.0	0.0	458.55	1505.68	0.0
2	1373.91	2289.24	855.53	1425.5	2395.76	2123.16	0.0
3	1503.45	2505.07	1373.91	2289.24	3722.47	2233.72	0.0
4	1521.33	2534.86	1503.45	2505.07	3538.85	1591.45	0.0
5	667.6	1112.36	1521.33	2534.86	5489.15	2804.28	0.0
6	465.15	775.04	667.6	1112.36	3086.91	1399.58	0.0
7	-380.8	-634.5	465.15	775.04	3750.99	2347.17	0.0
8	-893.97	-1489.55	-380.8	-634.5	2618.65	2620.13	0.0
9	-710.3	-1183.52	-893.97	-1489.55	1840.99	3078.84	0.0
10	32.59	54.31	-710.3	-1183.52	1296.9	2439.68	635.84



## TERRE ARMATE Analisi di stabilità dei pendii con: MORGENSTERN-PRICE (1965)

---

---

Lat./Long.	43.168325/13.682665
Calcolo eseguito secondo	[A2+M1+R2]
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.2
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

---

---

### Maglia dei Centri

---

---

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	3.91 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	12.69 m
Ascissa vertice destro superiore xs	27.91 m
Ordinata vertice destro superiore ys	25.9 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

---

---

### Sisma

---

---

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.0624
Coefficiente azione sismica verticale	0.0312

---

---

### Vertici profilo

Nr	X	y
----	---	---

	(m)	(m)
1	0.0	4.96
2	10.29	6.28
3	14.05	2.53
4	25.25	2.78
5	25.77	3.08
6	26.75	3.08
7	28.61	8.19
8	29.0	8.59
9	31.61	8.92
10	36.04	9.37
11	40.0	9.74

**Vertici strato .....1**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	4.96
2	10.29	6.28
3	14.05	2.53
4	25.25	2.78
5	25.77	3.08
6	26.75	3.08
7	29.75	3.08
8	31.75	3.08
9	32.55	5.27
10	33.55	5.27
11	34.34	7.46
12	35.34	7.46
13	35.62	8.21
14	36.04	9.37
15	40.0	9.74

**Vertici strato .....2**

N	X (m)	y (m)
1	0.0	3.96
2	11.28	5.3
3	14.05	2.53
4	25.25	2.78
5	25.77	3.08
6	26.75	3.08
7	31.75	3.08
8	32.55	5.27
9	33.55	5.27
10	34.34	7.46
11	35.34	7.46
12	35.62	8.21
13	36.04	8.21
14	40.0	8.74

#### Coefficienti parziali azioni

---



---

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.3
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

---



---

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

---



---

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.0
Coesione efficace	1.0
Coesione non drenata	1.0
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

---



---

#### Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Coesione non drenata (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (Kg/m <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0.2		26	1900	2000	MAREZIALE DI RIEMPIMENTO	
2	0.1	1.50	25	1900	2000	LIMI ARGILLOSI E SABBIOSI	
3	0.08	2.50	27	2000	2000	ARGILLE ALTERATE E FRATTURATE	

#### Terra rinforzata

No	Tipologia	Tallow (Kg)	Resistenza sfilamento (Kg)
1	XGrid PET PVC 80/30 IT	4803.807	8173.422
2	XGrid PET PVC 80/30 IT	4803.807	6876.054
3	XGrid PET PVC 80/30 IT	4803.807	5578.686
4	XGrid PET PVC 80/30 IT	4803.807	4281.316
5	XGrid PET PVC 80/30 IT	4803.807	2983.948
6	XGrid PET PVC 80/30 IT	4803.807	1686.58
7	XGrid PET PVC 80/30 IT	4803.807	9470.791

#### Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm <sup>2</sup> )
1	14.07	2.68	26.07	2.947857	0.1

#### Risultati analisi pendio [[A2+M1+R2]]

Fs minimo individuato

1.19





1	724.43	1130.56	0.0	0.0	-780.97	-169.73	0.0
2	1668.48	2603.86	724.43	1130.56	-336.57	172.45	0.0
3	4035.59	6298.02	1668.48	2603.86	7275.53	4173.22	0.0
4	4898.74	7645.09	4035.59	6298.02	11165.93	4596.58	0.0
5	5514.18	8605.56	4898.74	7645.09	11351.16	5582.02	0.0
6	5759.12	8987.81	5514.18	8605.56	6651.88	3410.84	0.0
7	3829.83	5976.92	5759.12	8987.81	11968.03	5295.5	0.0
8	2209.78	3448.63	3829.83	5976.92	5796.69	2924.45	0.0
9	774.17	1208.19	2209.78	3448.63	2974.89	2074.48	0.0
10	424.97	663.22	774.17	1208.19	808.8	1663.72	0.0