



REGIONE PUGLIA  
CITTA' DI SQUINZANO  
Provincia di Lecce



PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI ATTENUAZIONE  
RISCHIO IDROGEOLOGICO SUL TERRITORIO COMUNALE -  
MESSA IN SICUREZZA E ADEGUAMENTO NORMATIVO  
DEL RECAPITO FINALE EST

CUP: E73H20000370006 CIG: 8614455925

PROGETTO ESECUTIVO

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Ing. Michele ZACCARIA

PROGETTAZIONE:  
RTP:

Mandataria



Vi.Tra Engineering S.r.l.  
Sede Legale: Via Lupiae, 12 - 73100 Lecce

Mandanti

Ing. Marco BARBARA  
Ing. Carmelo ORTISI  
Geol. Luca ORLANDUCCI  
Arch. Livia MANTOVANO  
Ing. Marco Virgilio FILOGRANA

B - RELAZIONI  
SPECIALISTICHE

TAVOLA:  
ELABORATO:  
SCALA:

**B06**

Relazione geotecnica e  
verifica di stabilità degli argini  
-

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data
1	Progetto esecutivo	Mazzotta	08/2022	Barbara	08/2022	Prato	08/2022



PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI ATTENUAZIONE RISCHIO  
IDROGEOLOGICO SUL TERRITORIO COMUNALE - MESSA IN SICUREZZA E  
ADEGUAMENTO NORMATIVO DEL RECAPITO FINALE EST

CUP: E73H20000370006 CIG: 8614455925

**PROGETTO ESECUTIVO**



**RELAZIONI SPECIALISTICHE**

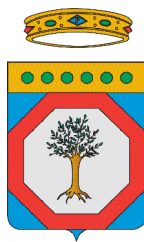
**B06** – Relazione geotecnica e verifica di stabilità degli argini

FOGLIO 1 di 1

## **NOTA ESPLICATIVA PRELIMINARE**

Il progetto esecutivo a firma dello Scrivente recepisce totalmente i contenuti riportati nella progettazione definitiva. Pertanto, a seguito di una scrupolosa verifica degli elaborati a base di gara, il progettista fa proprio e allega di seguito **elaborato B06 rev.01 del 01/2022** del progetto definitivo in quanto non sono necessarie ulteriori modifiche o approfondimenti dello stesso ai fini della corretta esecuzione delle opere.

---



REGIONE PUGLIA  
CITTA' DI SQUINZANO  
Provincia di Lecce



PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI ATTENUAZIONE  
RISCHIO IDROGEOLOGICO SUL TERRITORIO COMUNALE -  
MESSA IN SICUREZZA E ADEGUAMENTO NORMATIVO  
DEL RECAPITO FINALE EST

CUP: E73H20000370006 CIG: 8614455925

PROGETTO DEFINITIVO

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: Ing. Michele ZACCARIA

PROGETTAZIONE:  
RTP:

Mandataria



Vi.Tra Engineering S.r.l.  
Sede Legale: Via Lupiae, 12 - 73100 Lecce

Mandanti

Ing. Marco BARBARA  
Ing. Carmelo ORTISI  
Geol. Luca ORLANDUCCI  
Arch. Livia MANTOVANO  
Ing. Marco Virgilio FILOGRANA

B - RELAZIONI  
SPECIALISTICHE

TAVOLA:  
ELABORATO:  
SCALA:

**B06**

Relazione geotecnica e  
verifica stabilità degli argini

-

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data
1	Prima emissione	Mazzotta	01/2022	Barbara	01/2022	Prato	01/2022

Si redige la presente relazione parte integrante del progetto relativo agli “interventi di attenuazione rischio idrogeologico sul territorio comunale – messa in sicurezza e adeguamento normativo del recapito finale Est” del Comune di Squinzano (LE).

L'area in esame, è compresa tra la strada comunale vecchia Brindisi Lecce e la SP 96, a NE del centro abitato di Squinzano.

Nello specifico la verifica di stabilità si riferisce agli argini delle vasche che saranno realizzate per la raccolta delle acque provenienti dal depuratore AQP.

La scelta dei parametri fisico-meccanici inseriti nei codici di calcolo per la verifica di stabilità del fronte di scavo, è stata fatta alla luce delle indagini geognostiche a carotaggio continuo eseguite in corrispondenza del sito di progetto, considerando i parametri fisico meccanici con i valori più bassi e quindi più conservativi ricavati dalle prove SPT, ed eseguite nel corso dei sondaggi.

Il presente studio è stato effettuato nel rispetto della normativa vigente:

D.M. 17 gennaio 2018 “*Norme tecniche per le costruzioni*”; Circ. 21/01/2019 n.7-CS LL PP

#### **GEOMETRIA DELLO SCAVO**

La geometria di scavo ipotizzata, sulla quale è stata impostata la verifica di stabilità, prevede **un angolo di scarpata delle pareti pari a 45° per una profondità di 4,0 m**, inoltre poiché nelle stesse vasche è previsto il convogliamento di acque, nella verifica, è stata contemplata la possibilità che la **colonna d'acqua** raggiunga uno **spessore di 4,0m** (riempimento fino al colmo) di acqua e quindi con un carico idrostatico di 4,0m.

**Fs ~ 1,7**

#### **1-AZIONE SISMICA**

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla “pericolosità di base” del sito, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica. Il primo passo consiste nella determinazione di **ag (accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido)**.

Per tale determinazione è necessario conoscere le coordinate geografiche dell'opera da verificare. Si determina quindi, la maglia di riferimento in base alle tabelle dei parametri spettrali fornite dal ministero e, sulla base della maglia interessata, si determinano i valori di riferimento del punto come media pesata dei valori nei vertici della maglia moltiplicati per le distanze dal punto.

Alla luce di indagini sismiche condotte, queste consentono di fornire un profilo verticale medio delle  $V_{s,eq}$  per una profondità di almeno 30 m a partire dalla profondità di posa delle strutture di fondazione.

E' così possibile calcolare il parametro  $V_{s,eq}$  e di conseguenza caratterizzare il sito in una delle categorie di suolo di fondazione definite nella nuova normativa sismica.

Alla luce dell'indagine sismica eseguita in sito, **Per la zone indagate risulta categoria "B"**  $360 < V_{s,eq} < 800$  m/s.

#### PARAMETRI SISMICI



#### Stati limite

**Classe Edificio**

II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e soc...

**Vita Nominale** 50

**Interpolazione** Media ponderata

**CU = 1**

Stato Limite	Tr [anni]	$a_d$ [g]	$F_0$	$T_c^*$ [s]
Operatività (SLO)	30	0.013	2.393	0.151
Danno (SLD)	50	0.018	2.306	0.192
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.046	2.422	0.480
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.058	2.509	0.542

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
$k_h$	0.000	0.010	0.021	0.000
$k_v$	—	0.005	0.011	—
$A_{max}$ [m/s²]	0.150	0.207	0.546	0.685
Beta	—	0.470	0.380	—

#### Coefficienti sismici

**Tipo** Fronti di scavo e rilevati

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

**H (m)** 1 **us (m)** 0.1

**Cat. Sottosuolo** B

**Cat. Topografica** T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1.20	1.20	1.20	1.20
CC Coeff. funz. categoria	1.61	1.53	1.27	1.24
ST Amplificazione topografica	1.00	1.00	1.00	1.00

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

## 2.MODELLO GEOLOGICO

Nell'area nella quale saranno realizzate le vasche di raccolta delle acque depuratore, il substrato è irregolarmente ricoperto da una coltre di terreno vegetale rossastro dello spessore decimetrico, nell'area in cui invece in cui sarà realizzato l'ampliamento della vasca esistente il terreno di riporto mostra spessori decisamente maggiori.

I risultati delle indagini condotte indicano che i terreni del substrato al di sotto del terreno eluviale sono costituiti da *“sabbie debolmente limose di colore nocciola-giallastro, talora arancio da debolmente ad addensate includenti concrezioni calcarenitiche e talora livelletti arenacei casuali.*

**0,0 ÷ 0,3 m** *Terreno eluviale (di nessun interesse geotecnico)*

**0,3÷6,0** *Sabbie calcaree a grana medio-fine limose, di colore giallastro includenti livelletti arenacei oltre a concrezioni eterometriche calcarenitiche*

### SONDAGGIO S1 VASCHE DI NUOVA REALIZZAZIONE ACQUE DEPURATORE

Strato	Prof. (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m <sup>3</sup> )	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Densità relativa %	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Modulo G (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	3,50÷3,95	28	Incoerente	1,70	1,9	27	1,0	51	119	208	0,30	1391

### SONDAGGIO S2 VASCHE DI NUOVA REALIZZAZIONE ACQUE DEPURATORE

Strato	Prof. (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m <sup>3</sup> )	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Densità relativa %	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Modulo G (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	3,50÷3,95	25	Incoerente	1,70	1,9	26	1,0	46	106	186	0,31	1251

### SONDAGGIO S3 VASCA DIGESTIONE FANGHI

Strato	Prof. (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m <sup>3</sup> )	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Densità relativa %	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Modulo G (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	2,80÷3,25	35	Incoerente	1,70	1,9	29	1,0	61	148	259	0,29	1709

### SONDAGGIO S4 AMPLIAMENTO VASCA RACCOLTA ACQUE PLUVIALI

Strato	Prof. (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m <sup>3</sup> )	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Densità relativa %	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Modulo G (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	3,00÷3,45	32	Incoerente	1,70	1,9	28	1,0	59	136	237	0,30	1571

**SONDAGGIO S5** AREA DISSABBIATORE


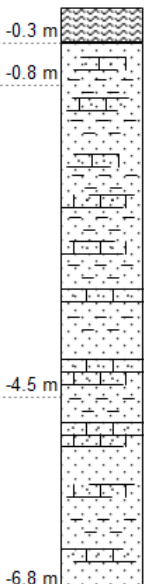


Strato	Prof. (m)	Nspt	Tipo	Gamma (t/m <sup>3</sup> )	Gamma Saturo (t/m <sup>3</sup> )	Fi (°)	Cu (Kg/cm <sup>2</sup> )	Densità relativa %	Modulo Edometrico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Elastico (Kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo Poisson	Modulo G (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	5,60÷6,05	34	Incoerente	1,70	1,9	29	1,0	54	144	251	0,29	1663

**CATEGORIA DI SUOLO B****CATEGORIA TOPOGRAFICA T1**


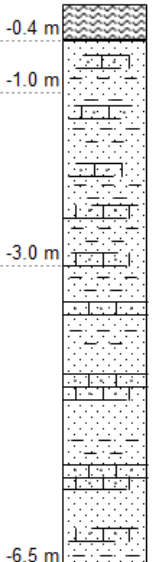




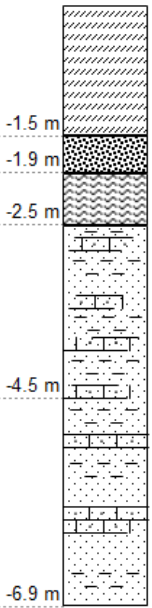

## UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE


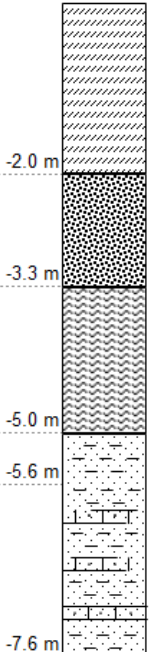



SONDAGGIO GEOGNOSTICO A CAROTAGGIO CONTINUO ø 101 mm					
	Committente: AQP				
	Cantiere: Recapito finale Est - Squinzano (LE)				
Successione litologica	Descrizione	Campioni	SPT	Permeabilità	
<p><b>S<sub>1</sub></b></p> 	<p>p.campagna </p> <p>Terreno vegetale limo sabbioso rossastro</p> <p>Sabbie calcaree a grana medio-fine limose di colore nocciola includenti concrezioni calcarenitiche millimetriche</p> <p>Sabbia calcarea a grana fine di colore giallastro monogranulare debolmente limosa, includente livelletti arenacei a grana medio-fine oltre a concrezioni eterometriche calcarenitiche, alla base livello più consistente lapideo decimetrico</p> <p>Sabbia calcarea a grana fine di colore giallo-arancio monogranulare limosa includente concrezioni calcarenitiche eterometriche</p>		<p>Nspt (3,50-3,95m) 9+11+17</p>		
Quota s.l.m.m.	Livello statico //				02/12/2021

SONDAGGIO GEOGNOSTICO A CAROTAGGIO CONTINUO ø 101 mm					
<b>GEOPRO</b> Sondaggi - geognostica	Committente: AQP				
	Cantiere: Recapito finale Est - Squinzano (LE)				
Successione litologica	Descrizione	Campioni TRS	SPT	Permeabilità	
<p><b>S<sub>2</sub></b></p>	<p>p.campagna </p> <p>Terreno vegetale limo sabbioso rossastro</p> <p>Sabbie calcaree a grana medio-fine limose di colore arancio includenti concrezioni calcarenitiche millimetriche</p> <p>Sabbie calcarea a grana fine di colore giallastro debolmente limosa, includente livelletti arenacei a grana medio-fine oltre a concrezioni eterometriche calcarenitiche</p> <p>Sabbia calcarea a grana fine di colore giallo-arancio monogranulare limosa includente concrezioni calcarenitiche eterometriche</p>	C1	Nspt (3,50-3,95m) 10+11+14		
Quota s.l.m.m.	Livello statico //				02/12/2021

SONDAGGIO GEOGNOSTICO A CAROTAGGIO CONTINUO ø 101 mm					
	Committente: AQP				
	Cantiere: Recapito finale Est - Squinzano (LE)				
Successione litologica	Descrizione	Campioni TRS	SPT	Permeabilità	
<p><b>S<sub>3</sub></b></p> 	<p>p.campagna ▽</p> <p>Terreno vegetale limo sabbioso rossastro</p> <p>Sabbie calcaree a grana medio-fine limose di colore nocciola includenti concrezioni calcarenitiche millimetriche</p> <p>Sabbie calcarea a grana fine di colore giallastro debolmente limosa, includente livelletti arenacei a grana medio-fine oltre a concrezioni eterometriche calcarenitiche</p> <p>Sabbia calcarea a grana fine di colore giallo-arancio monogranulare limosa includente concrezioni calcarenitiche eterometriche</p>	C2	Nspt (2,80-3,25m) 13+17+18		
Quota s.l.m.m.	Livello statico //			02/12/2021	

SONDAGGIO GEOGNOSTICO A CAROTAGGIO CONTINUO ø 101 mm					
	Committente: AQP				
	Cantiere: Recapito finale Est - Squinzano (LE)				
Successione litologica	Descrizione	Campioni TRS	SPT	Permeabilità	
<p><b>S<sub>4</sub></b></p> 	<p>p.campagna ▽</p> <p>Materiale di riporto costituito da sedimenti sabbiosi</p> <p>Materiale di riporto costituito da limi nerastrati</p> <p>Terreno vegetale limo sabbioso rossastro</p> <p>Sabbie calcarea a grana fine di colore giallastro debolmente limosa, includente livelletti arenacei a grana medio-fine oltre a concrezioni eterometriche calcarenitiche</p> <p>Sabbia calcarea a grana fine di colore giallo-arancio monogranulare limosa includente concrezioni calcarenitiche eterometriche</p>	C3	Nspt (3,00-3,45m) 12+15+17		
Quota s.l.m.m.	Livello statico //	04/12/2021			

SONDAGGIO GEOGNOSTICO A CAROTAGGIO CONTINUO ø 101 mm					
	Committente: AQP				
	Cantiere: Recapito finale Est - Squinzano (LE)				
Successione litologica	Descrizione	Campioni TRS	SPT	Permeabilità	
<p><b>S<sub>5</sub></b></p>  <p>-2.0 m</p> <p>-3.3 m</p> <p>-5.0 m</p> <p>-5.6 m</p> <p>-7.6 m</p>	<p>p.campagna ▽</p> <p>Materiale di riporto costituito da sedimenti sabbiosi</p> <p>Materiale di riporto costituito da limi nerastri</p> <p>Terreno vegetale limo sabbioso rossastro</p> <p>Limi sabbiosi arancio rossastri</p> <p>Sabbia calcarea a grana fine di colore giallastro limosa includente concrezioni calcarenitiche eterometriche</p>		<p>Nspt (5,60-6,05m) 13+16+18</p>		
Quota s.l.m.m.	Livello statico //				04/12/2021

### 3•METODOLOGIA

Con riferimento agli scavi di sbancamento previsti, sono state condotte analisi della stabilità attraverso la valutazione dell'equilibrio limite, consistente nella stima di un coefficiente di sicurezza ( $F_s$ ) alla traslazione e/o alla rotazione del volume di terra compreso fra la superficie del fronte ed una superficie di taglio potenziale imposta.

La procedura di calcolo prende in considerazione tutte le forze e/o i momenti agenti lungo il piano di taglio, fornendo una valutazione della stabilità globale attraverso le equazioni d'equilibrio fornite dalla statica.

I metodi di calcolo di  $F_s$  impiegati si basano sulle tecniche di verifica dette LIMIT EQUILIBRIUM METHOD (che di seguito indicheremo sempre come LEM), (Duncan 1996; Krahn 2003).

Nei metodi LEM (LIMIT EQUILIBRIUM METHOD) il calcolo di  $F_s$  viene effettuato su una specifica superficie di scivolamento definita entro un pendio. Dato che le porzioni potenzialmente instabili sono definibili in un spazio 3D il calcolo viene sviluppato sopra una striscia rappresentativa di larghezza unitaria, quindi bi- dimensionale (2D) della superficie di potenziale scivolamento.

Nell'applicazione del metodo dell'equilibrio limite tale superficie separa la parte di pendio stabile da quella potenzialmente instabile. La parte stabile inferiore rimane indeformata e non subisce rotture. Si suppone che la massa superiore, fino al momento della rottura, non subisca deformazioni. Collassi e deformazioni sono posteriori allo sviluppo di una superficie di rottura. Vieni quindi assunto un comportamento a rottura rigido perfettamente plastico: non si deforma fino a quando non arriva a rottura. Tuttavia il valore di  $F_s$  (e quindi il suo grado di stabilità o propensione al movimento) si riferisce alle condizioni precedenti al fenomeno di rottura.

Per ogni superficie di potenziale scivolamento si può quindi derivare lo sforzo di taglio totale mobilitato  $\tau_m$  (domanda) e la resistenza al taglio disponibile  $\tau_f$  (capacità) e quindi è possibile definire  $F_s$  come:

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau_m}$$

Usando ad esempio il criterio di rottura Mohr-Coulomb:  $F_s$  è il fattore per cui occorre dividere i parametri della resistenza al taglio del terreno lungo i vari tratti della superficie, per provocare la rottura del pendio lungo tutta la superficie considerata e nel medesimo tempo, ovvero:

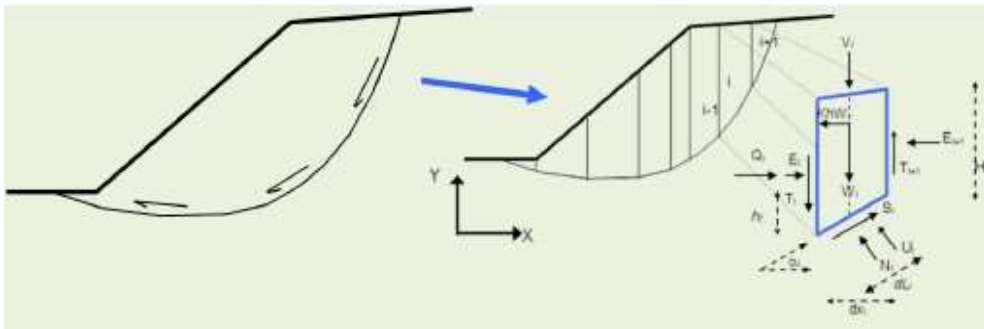
$$\tau_f = \frac{c'}{F_s} + \frac{\sigma' \tan \phi'}{F_s}$$

che avverrà qualora sia verificata la condizione di eguaglianza tra sforzi mobilitati e disponibili, ovvero tra domanda e capacità.

Se  $F_s > 1,1$  siamo in condizioni di stabilità, mentre per  $F_s \leq 1,1$  siamo in condizioni instabili dovuti a un generalizzato deficit di resistenza. Un altro assunto fondamentale dei metodi LEM è che nel caso di variabilità delle caratteristiche di resistenza al taglio lungo la superficie di scivolamento, sebbene  $F_s$  possa essere in realtà localmente variabile, si assume che  $F_s$  sia costante lungo tutta la superficie di potenziale scivolamento assunta. Ovvero abbiamo dovunque la medesima frazione di resistenza al taglio mobilitata rispetto a quella massima mobilitabile.

$F_s$  deve essere valutato entro un preciso riferimento spaziale. E' perciò necessario considerare una potenziale superficie di scorrimento nella massa del pendio e valutare tutte le forze (e momenti) agenti (ovvero che inducono lo scivolamento) e resistenti (che si oppongono allo scivolamento) su detta superficie. In pratica, essendo infinite le superfici di scivolamento possibili,  $F_s$  viene valutato per ognuna delle superfici di un campione rappresentativo, generate con un certo criterio entro il volume del pendio assunto.

In tal modo il "FATTORE DI SICUREZZA" del pendio sarà quello che compete alla superficie di scorrimento con  $F_s$  più basso. Tale superficie è detta anche "SUPERFICIE CRITICA". Una superficie di scivolamento assunta divide in due parti distinte il pendio (vedi figura). Superiormente abbiamo una massa potenzialmente instabile supposta rigida e inferiormente una massa rigida stabile. L'equazione permette di determinare la stabilità del pendio nei confronti della superficie considerata precedentemente.



Le forze agenti sono le componenti tangenziali del peso proprio della massa e degli eventuali sovraccarichi superficiali agenti sulla superficie di scivolamento, mentre le forze resistenti sono le resistenze al taglio mobilitate nei vari punti di detta superficie che dipendono dagli sforzi normali applicati e dalla resistenza al taglio locale del suolo. Sistemi di forze interne e esterne (es. opere di rinforzo) influiscono nella stabilità globale del pendio e devono essere considerate opportunamente; cosa che viene effettuata in tutti i metodi di calcolo rigorosi che verranno trattati più avanti. Per procedere con il calcolo di  $F_s$  la massa potenzialmente instabile viene suddivisa in "Fette" detti Conci delimitate da superficie verticali. Su ogni conco vengono valutate singolarmente le forze agenti e resistenti. L'insieme delle forze agenti sul conco



singolo è presentato in figura. Queste forze sono W=Peso del concio, S=Forza di taglio mobilitata sulla base del concio, N=Forza peso normale alla base del concio, U=Forza esercitata dal carico idraulico agente sulla base, T=Forza verticale interconcio, E=Forza orizzontale interconcio. Fs può essere determinato mediante gruppi di equazioni per l'equilibrio dei corpi rigidi, ovvero l'equilibrio alla traslazione nelle direzioni verticali e orizzontali e l'equilibrio alla rotazione rispetto a un punto:

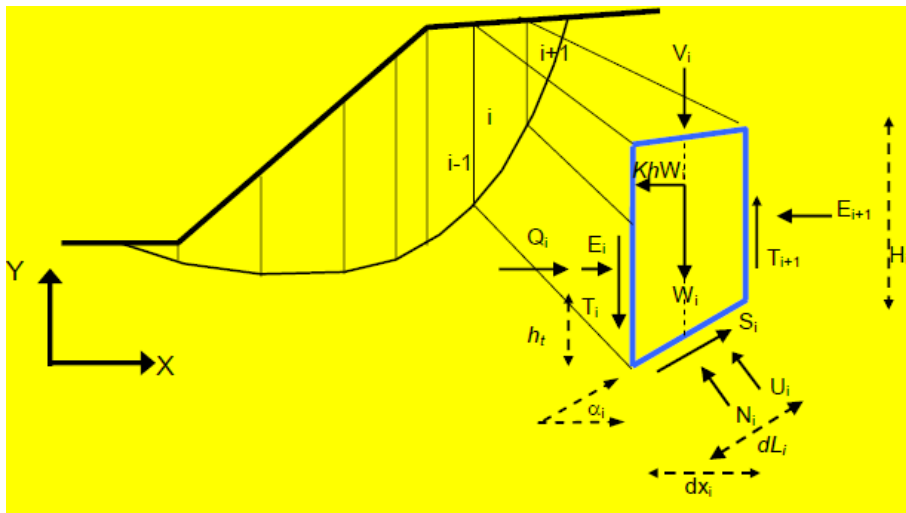
$$\begin{cases} \sum V_i = 0 \\ \sum H_i = 0 \\ \sum M_i = 0 \end{cases}$$

In pratica tutto il sistema di forze verticali, orizzontali e dei momenti devono garantire una somma 0. Quando tutti i parametri di interesse sono noti si passa al calcolo di Fs. L'algoritmo di calcolo può implementare uno dei diversi metodi esistenti nell'ambito dei modelli LEM dove i procedimenti di calcolo avvengono in modo iterativo. I vari metodi, BISHOP (1955), MORGESTERN & PRICE (1965), SPENCER (1967), JANBU (1973) sono tutti riconducibili al " General equilibrium method" di FREDLUND et al. (1981), abbreviato con GLE. Questi metodi si diversificano per il tipo delle assunzioni e semplificazioni fatte per ridurre il numero delle incognite nel problema, tuttavia come mostrato in numerosi studi comparativi FREDLUND et al. (1981), Duncan (1996), la differenza percentuale dei valori di Fs calcolati generalmente non supera il 10%, perfettamente compatibile con il grado di incertezza insito in tale tipo di analisi.

#### 4.Procedure e metodi di calcolo utilizzati

Per le verifiche in oggetto è stato utilizzato il programma **SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM (SSAP)** Versione 4.9.8 (2018) sviluppato dal Dr. Lorenzo Borselli (Docente di Geotecnica e Geologia Applicata Facoltà Di Ingegneria, Universidad Autonoma de San Luis Potosí. an Luis Potosí., Mexico, già Ricercatore e Responsabile di Sezione C.N.R – IRPI, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, ITALIA). A partire dalla versione 4.0 di SSAP e nei successivi aggiornamenti è stato implementato un nuovo kernel di calcolo del fattore Fs, basato sull'algoritmo di Zhu (2005).

Se osserviamo in dettaglio lo schema che segue è possibile visualizzare il sistema di forze1 che agiscono in un concio i- esimo.



Si noti che per ogni concio sono definite le seguenti forze e grandezze:

$i$  = indice numerico del concio

$\alpha_i$  = angolo di inclinazione della base del concio

$dl$  = lunghezza della base del concio

$dx$  = larghezza del concio

$H$  = altezza verticale del concio

$h_t$  = altezza punto di applicazione delle forze interconcio

$c'$  = coesione del terreno sulla base del concio

$\phi'$  = angolo di attrito del terreno sulla base del concio

$W$  = forza peso agente sulla base del concio

$K_h$  = Coefficiente sismico orizzontale

$U$  = pressione interstiziale alla base del concio

$T$  = forza tangenziale verticale interconcio

$E$  = forza orizzontale interconcio

$Q$  = risultante delle forze orizzontali esterne ad ogni concio (es azioni sismiche, o opere di sostegno)

$V$  = risultante delle forze verticali esterne ad ogni concio (es azioni sismiche o sovraccarichi verticali o opere di sostegno)

Le varie procedure di calcolo nell'ambito del metodo dell'equilibrio limite si diversificano proprio per il tipo di assunzioni finalizzate ad eliminare alcune incognite nel sistema di equazioni che permette di ottenere  $F_s$ . Tale sistema di due equazioni non lineari è piuttosto complesso deve essere risolto sempre in modo iterativo, risultando le incognite ( $F_s$  e  $\lambda$ ) espresse in forma implicita (ovvero in entrambi i membri delle equazioni).  $\lambda$  è una variabile ausiliaria che è utilizzata nella relazione funzionale delle forze interconcio  $T(x)$ ,  $E(x)$  inizialmente incognite (Zhu et al. ,2005). Utilizzando la notazione dell'algoritmo di Zhu et al. (2005) avremo che  $F_s$  e  $\lambda$  sono legati da:

$$\begin{cases} Fs = \frac{f(N_{(x)}, U_{(x)}, \alpha_{(x)}, T_{(x)}, V_{(x)}, dx_{(x)}, Q_{(x)}, Fs)}{f(\alpha_{(x)}, W_{(x)}, V_{(x)}, dx_{(x)}, T_{(x)}, \lambda)} \\ \lambda = \frac{f(dx_{(x)}, E_{(x)}, \alpha_{(x)}, W_{(x)}, V_{(x)}, Q_{(x)})}{f(dx_{(x)}, T_{(x)}, \lambda)} \end{cases}$$

Il sistema viene risolto iterativamente, assumendo un valore di tentativo iniziale, sia per  $Fs$  che per  $\lambda$  nel membro di destra di ogni equazione del sistema e ripetendo i calcoli fino a convergenza quando la differenza tra i due  $Fs$  e calcolati in iterazioni successive diventa minore di un certo valore assunto (generalmente 0.001).

Nell'equazione,  $Fs$  esprime il rapporto tra forze resistenti e agenti nei confronti della potenziale direzione di scivolamento, ma al contempo la formulazione secondo Zhu et al. (2005) consente di tenere conto contemporaneamente dell'equilibrio delle forze e dei momenti in tutti i conci. Per ottenere questo nella eq. sono inoltre espresse tutte le componenti delle forze di interazione tra i conci.

Le forze  $T(x)$  di interazione verticali interconco sono inizialmente incognite. Però nelle procedure di calcolo rigorose (quelle usate da SSAP) esse non vengono trascurate come nel caso di procedure semplificate (es.: Fellenius, Bishop, Janbu semplificato). Per la risoluzione della eq. vengono quindi fatte alcune assunzioni utili alla risoluzione numerica.

I vari metodi di calcolo di  $Fs$ , implementati nella notazione unificata della equazione, si diversificano per le assunzioni relative alle forze di interazione tra i conci e in particolare per la espressione della  $T(x)$  in funzione delle forze di interazioni orizzontali e della geometria della superficie di scivolamento o dei parametri geomeccanici e idraulici associati alle superficie verticali interconco. Vengono inoltre fatte alcune assunzioni aggiuntive sulla posizione del punto di applicazione (thrust line) e in alcuni casi sulla funzione di interazione interconco  $f(x)$  (variabile tra 0.0 e 1.25) che esprime la direzione di applicazione della risultante locale tra  $T(x)$  e  $E(x)$ .

Nel programma SSAP viene utilizzata l'algoritmo iterativo di calcolo di  $Fs$  proposta da Zhu (2005). Tale algoritmo, originariamente sviluppato per il metodo di calcolo Morgenstern & Price (1965), è stato però ulteriormente sviluppato con una ulteriore generalizzazione del metodo consentendo di usare l'algoritmo di Zhu et al. (2005) con tutti i vari metodi di calcolo rigorosi del LEM adottati più diffusamente nelle verifiche di stabilità.

In tutti i casi il valore di  $FS$  e  $\lambda$  viene ricavato mediante un procedimento numerico iterativo mediante un algoritmo particolare ottimizzato dall'autore di SSAP.

In SSAP sono state implementate le strategie computazionali proposte da Zhu et al (2003) per eliminare i problemi di convergenza che notoriamente affliggono i vari metodi e in particolare il metodo di calcolo JANBU RIGOROSO (Janbu, 1973).

Nella tabella, riportata sotto, vi sono tre gruppi di metodi di calcolo che si diversificano per la tipologia delle assunzioni relative alla espressione della  $T(x)$  inizialmente incognita.

Il gruppo I (Spencer e Sarma I) non fa uso della funzione interconcio  $f(x)$  ma  $T(x)$  è espressione diretta della costante  $\lambda$  e di  $E(x)$ .

Nel gruppo II (Sarma II, Morgenstern & Price, Correia) invece  $T(x)$  è sempre espressione sia di  $\lambda$  che di  $f(x)$  e di  $E(x)$ . Un caso particolare è il metodo Correia del gruppo II dove  $\lambda$  non è adimensionale come negli altri casi ma ha la dimensione di una forza distribuita secondo  $f(x)$ .

Mentre nel gruppo III (metodo Janbu rigoroso) è direttamente dipendente da  $E(x)$  e dalla sua derivata prima rispetto a  $x$ , oltre che da altri fattori. Il metodo Janbu rigoroso non necessita né di  $\lambda$  né di  $f(x)$  perché nella sua formulazione originale è garantito in modo automatico l'equilibrio di tutte le forze e di tutti i momenti.

tabella: relazione funzionale che esprime $t(x)$ per i vari modelli di calcolo implementati		
Gruppo	Modello di calcolo adottato per la risoluzione di FS	Relazione funzionale che esprime $T(x)$
I	Spencer (1967)	$T(x) = \lambda E(x)$
I	Sarma I (1973)	$T(x) = \lambda \left[ \bar{c} H(x) + \left( (E(x) - P_H(x)) \tan \bar{\phi} \right) \right]$
II	Morgenstern & Price (1965)	$T(x) = \lambda f(x) E(x)$
II	Correia (1988)	$T(x) = \lambda f(x)$
II	Sarma II (1979)	$T(x) = \lambda \left[ \bar{c} H(x) + \left( (E(x) - P_H(x)) \tan \bar{\phi} \right) \right]$
III	Janbu Rigoroso (1973)	$T(x) = E(x) \tan \alpha_t + h_t \frac{dE(x)}{dx} + \dots$

## 5- Analisi in presenza di sisma (in ambito normativa NTC 2018)

L'analisi di stabilità viene fatta in condizioni dinamiche (cioè in presenza di sisma) mediante il metodo pseudostatico e i coefficienti amplificatori delle azioni sismiche (coefficiente sismico). Questa modalità è conforme alle nuove normative sismiche nazionali in vigore, ovvero il *DM 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni"* (GU n. 42 del 20-03-2018- Suppl. Ordinario).

In questo caso una forza sismica orizzontale viene applicata al baricentro di ogni concio e pari a  $K W$  dove  $K$  è il coefficiente sismico orizzontale che è corrispondente ad una frazione del valore della accelerazione orizzontale efficace indotta dal sisma; generalmente dipende dalle caratteristiche sismiche dell'area cioè dalla accelerazione massima orizzontale  $a$  (espressa in frazione di  $g$  ovvero in frazione di  $9.81 \text{ m/s}^2$  che è la accelerazione di gravità) assunta per ciascuna zona sismica in cui è suddiviso il territorio nazionale e dai coefficienti

correttivi che dipendono dalla caratterizzazione lito  $K_h = \beta_a S_a S_t a_g$  ica locale e dalla categoria topografica del sito.

## 6- Presenza dell'acqua

Le vasche di progetto, hanno il fondo ed i fianchi drenanti, nel calcolo si è tenuto conto della presenza di acqua per un'altezza di 4,0m della colonna d'acqua ed in previsione che la stessa vasca sarà soggetta in funzione della conducibilità drenante ad invasi anche repentini e svasi in funzione della capacità drenante dei sedimenti interessati dallo scavo.

Questo, influisce in maniera rilevante, sui parametri meccanici e sulla stabilità complessiva del pendio.

Pertanto, sono state assunte le seguenti condizioni al contorno:

- presenza di n° 1 "strato" considerando la situazione più conservativa e quindi le peggiori caratteristiche fisico-meccaniche, ma non tenendo in considerazione del terreno agrario e/o di riporto che dovrà essere asportato
- bed-rock costituito da sabbie calcaree limose a cementazione variabile;
- presenza della colonna d'acqua all'interno della vasca per uno spessore di 4,0m
- inclinazione scarpate: 45°

In ottemperanza alle NTC 2018 i fronti di scavo indicati nella norma attengono a scavi di fondazioni, trincee stradali o ferroviarie, canali, ecc.

### 6.8.6.2 CRITERI GENERALI DI PROGETTO E VERIFICHE DI SICUREZZA

Le verifiche di sicurezza si intendono soddisfatte se la condizione (6.2.1) delle NTC risulta soddisfatta per tutti i possibili cinematismi di collasso. Bisogna quindi ricercare la condizione di minimo per il rapporto  $R_d/E_d$ . Le verifiche devono essere effettuate utilizzando l'Approccio 1 con riferimento alla Combinazione 2 dei coefficienti parziali di cui al § 6.8.2 delle NTC.

(A2+M2+R2)

Tab. 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_\varphi$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma_v$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Di seguito si riportano i parametri fisico-meccanici utilizzati nella verifica di stabilità, a cui si dovranno applicare i relativi coefficienti riduttivi, in funzione dell'approccio scelto tab. 6.2.II delle NTC 2018:

$\gamma = 1,7 \text{ t/m}^3$  (peso di volume)

$\gamma_{sat} = 1,9 \text{ t/m}^3$  (peso di volume saturo)

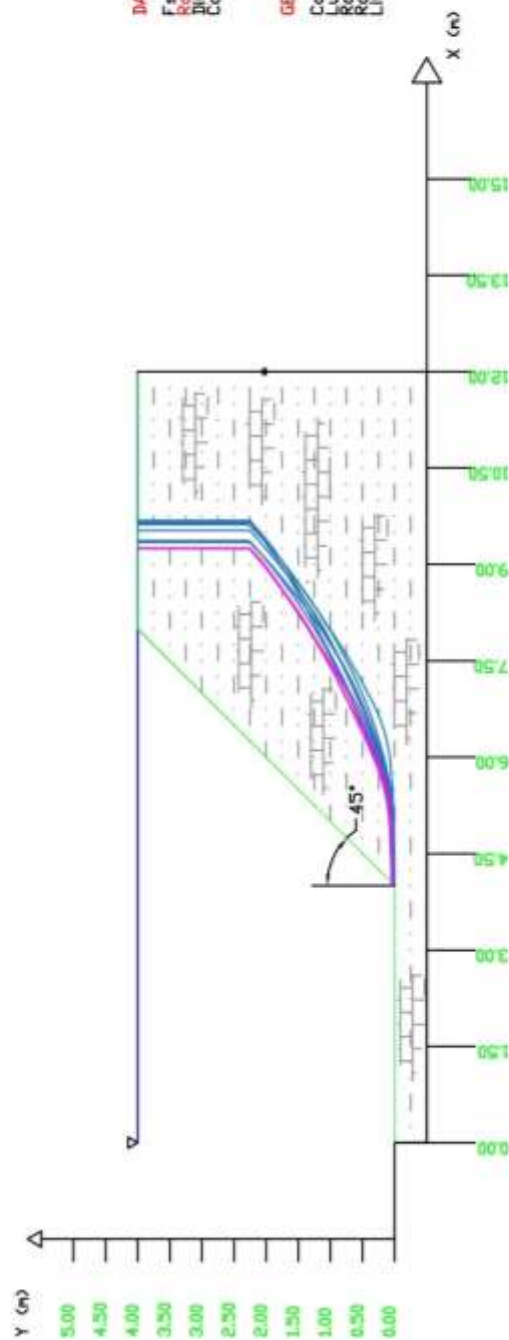
$\varphi = 26^\circ$  (angolo di resistenza al taglio)  $c' = 0,1 \text{ kg/cm}^2$

Relazione geotecnica verifica stabilità argini

SSAP 4.9.9 (2019) - Slope Stability Analysis Program  
 Software by Dr. Geol. L. Borselli - [www.laifrenzo-borselli.eu](http://www.laifrenzo-borselli.eu)  
 SSAP/BSF Generator rel. 1.3.4 (2019)

Data: 10/1/2022  
 Località: Squinzano recapito finale Est  
 Descrizione: [n] = N. strato a lente

Modello di calcolo: Morgenstern - Price (1965)

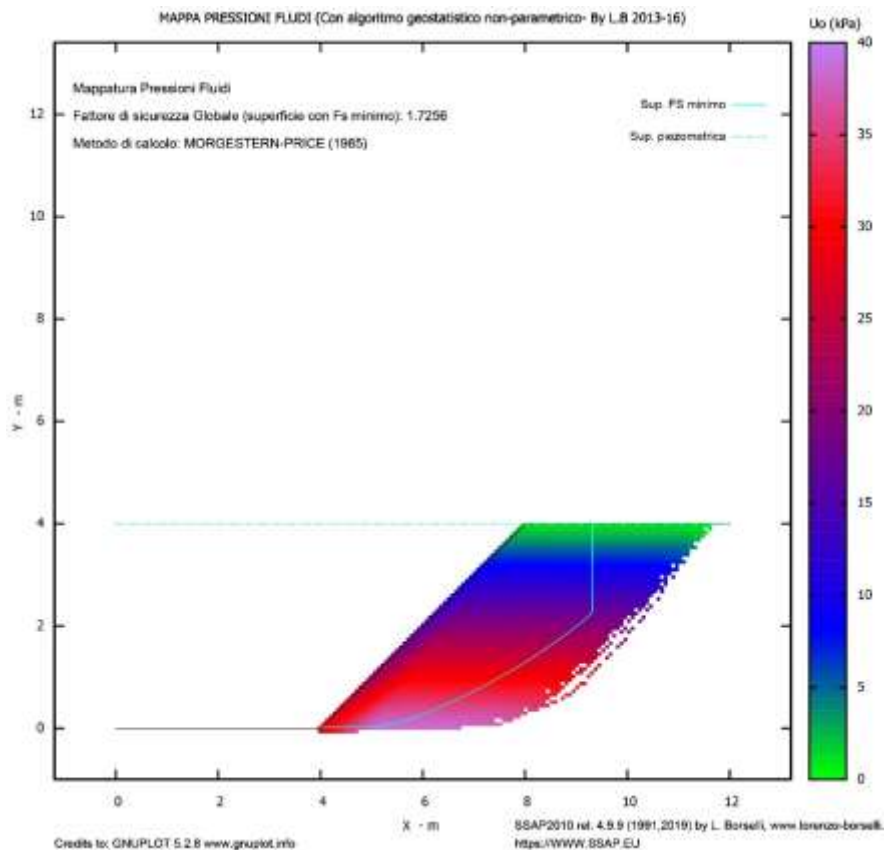
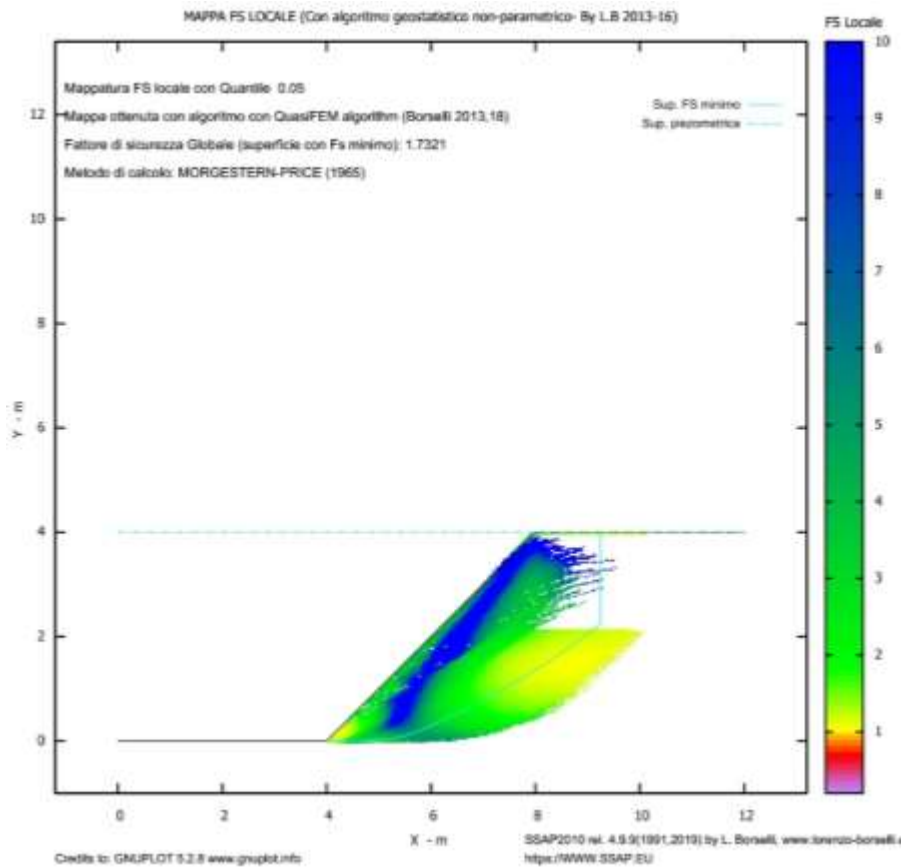


DATI 10 SUP. CON MINOR F<sub>s</sub>  
 F<sub>s</sub> minimo: 1.7321  
 Range F<sub>s</sub>: 1.7321 - 1.7589  
 Differenza X Range F<sub>s</sub>: 1.53  
 Coefficiente Simlico orizzontale - K<sub>h</sub>: 0.0210

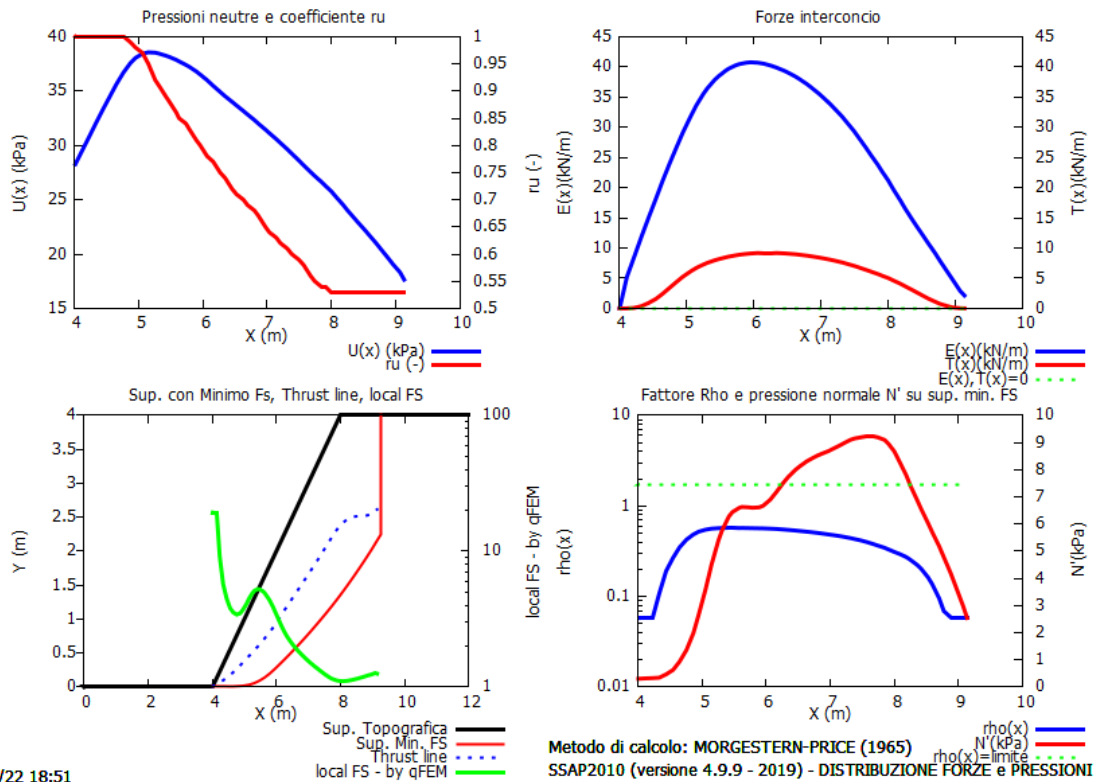
GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM  
 Carbone Superfici - N: 10000  
 Lunghezza media segmenti (m): 0.5  
 Range X inizio generazione: 0.2 - 11.0  
 Range X termine generazione: 1.4 - 11.8  
 Livello Y minimo considerato: 0.0

# Parametri Geotecnici degli strati #

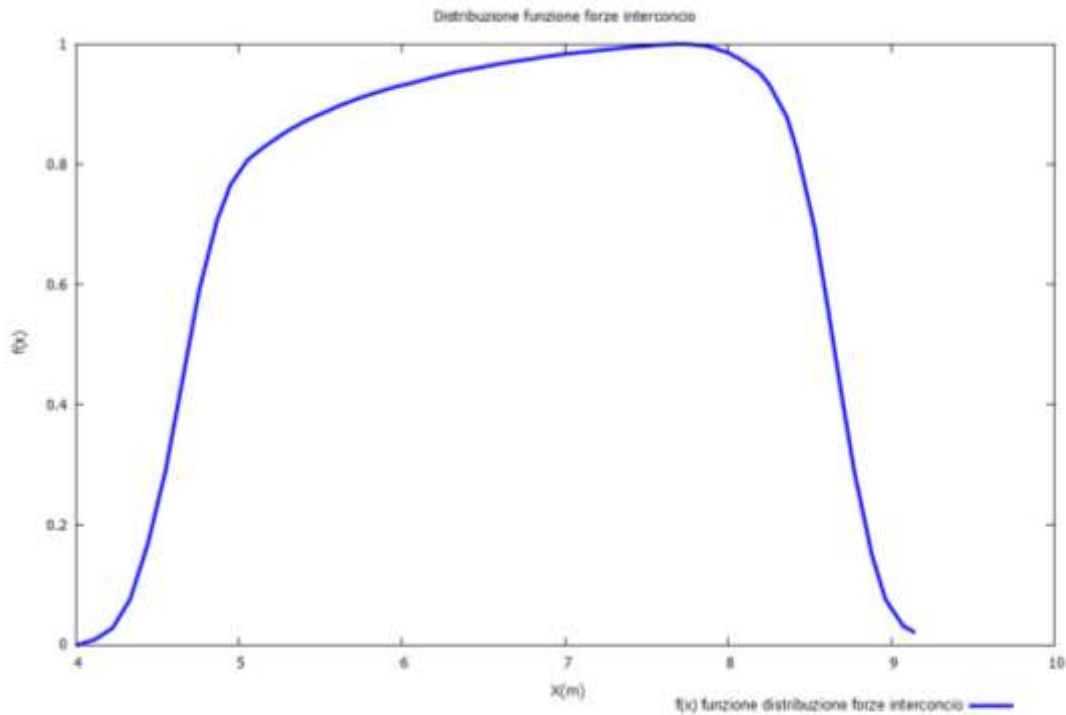
N.	phi' deg	C' kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3
1	21.00	7.80	0	16.60	18.60







10/01/22 18:51



Graphic rendering.Credits to: GNUPLOT 5.2.8 www.gnuplot.info

SSAP2010 rel. 4.9.9 (1991.2019) by L. Borrelli - www.ssap.eu



## 7.REPORT TABULATI DI CALCOLO

**Localita' : Squinzano recapito finale Est**

**Descrizione:**

**Modello pendio: 45 c'.mod**

----- PARAMETRI DEL MODELLO DEL PENDIO -----

\_\_ PARAMETRI GEOMETRICI - Coordinate X Y (in m) \_\_

SUP T.		SUP 2		SUP 3		SUP 4	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0.00	0.00	-	-	-	-	-	-
4.00	0.00	-	-	-	-	-	-
8.00	4.00	-	-	-	-	-	-
12.00	4.00	-	-	-	-	-	-

---- SUP FALDA -----

X	Y (in m)
0.00	4.00
12.00	4.00

----- GESTIONE ACQUIFERI -----

Strati esclusi da acquifero:

Esclusione sovraccarico pendio sommerso: NON ATTIVATA

Peso unitario fluido (kN/m<sup>3</sup>): 9.81

Parametri funzione dissipazione superficiale pressione dei fluidi:

Coefficiente A 0

Coefficiente K 0.000800

Pressione minima fluidi Uo\_Min (kPa) 0.01

Coefficiente di soprapressione oltre pressione idrostatica 1.00

Limitazione dissipazione a Pressione Idrostatica = ATTIVA

STABILITE CONDIZIONI PER LA VERIFICA CON SOVRAPPRESSIONE ACQUIFERI CON DISSIPAZIONE IN DIREZIONE DELLA SUPERFICIE

CALCOLO EFFETTO DI FILTRAZIONE ATTIVATO (METODO D King(1989), Sun et al.(2018)

----- PARAMETRI GEOMECCANICI -----

fi'	C'	Cu	Gamm	Gamm_sat	STR_IDX	sgci	GSI	mi	D
STRATO 1	21.00	7.80	0.00	16.60	18.60	1.349	0.00	0.00	0.00

LEGENDA: fi' \_\_\_\_\_ Angolo di attrito interno efficace(in gradi)

C' \_\_\_\_\_ Coesione efficace (in Kpa)

Cu \_\_\_\_\_ Resistenza al taglio Non drenata (in Kpa)

Gamm \_\_\_\_\_ Peso di volume terreno fuori falda (in KN/m<sup>3</sup>)

Gamm\_sat \_\_\_\_\_ Peso di volume terreno immerso (in KN/m<sup>3</sup>)

STR\_IDX \_\_\_\_\_ Indice di resistenza (usato in solo in 'SNIFF SEARCH') (adimensionale)

---- SOLO Per AMMASSI ROCCIOSI FRATTURATI - Parametri Criterio di Rottura di Hoek (2002)-

sgci \_\_\_\_\_ Resistenza Compressione Uniassiale Rocca Intatta (in MPa)

GSI \_\_\_\_\_ Geological Strenght Index ammasso(adimensionale)

mi \_\_\_\_\_ Indice litologico ammasso(adimensionale)

D \_\_\_\_\_ Fattore di disturbo ammasso(adimensionale)

Fattore di riduzione NTC2018: gammaPHI=1.25 e gammaC=1.25 - DISATTIVATO (solo per ROCCE)

Uso CRITERIO DI ROTTURA Hoek et al.(2002,2006) - non-lineare - Generalizzato, secondo Lei et al.(2016)

----- INFORMAZIONI GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM -----

\*\*\* PARAMETRI PER LA GENERAZIONE DELLE SUPERFICI

METODO DI RICERCA: SNIFF RANDOM SEARCH - Borselli (1997)

FILTRAGGIO SUPERFICI : ATTIVATO

COORDINATE X1,X2,Y OSTACOLO : 0.00 0.00 0.00

LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI (m): 0.5 (+/-) 50%

INTERVALLO ASCISSE RANDOM STARTING POINT (Xmin .. Xmax): 0.24 11.04

LIVELLO MINIMO CONSIDERATO (Ymin): 0.00  
 INTERVALLO ASCISSE AMMESSO PER LA TERMINAZIONE (Xmin .. Xmax): 1.44 11.76

\*\*\* TOTALE SUPERFICI GENERATE : 10000

----- INFORMAZIONI PARAMETRI DI CALCOLO -----

METODO DI CALCOLO : MORGENSTERN - PRICE (Morgenstern & Price, 1965)

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kh : 0.0210

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kv (assunto Positivo): 0.0105

COEFFICIENTE  $c=K_v/K_h$  UTILIZZATO : 0.5000

FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE IN TESTA (kN/m): 0.00

FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE ALLA BASE (kN/m): 0.00

N.B. Le forze orizzontali addizionali in testa e alla base sono poste uguali a 0 durante le tutte le verifiche globali.

I valori >0 impostati dall'utente sono utilizzati solo in caso di verifica singola

----- RISULTATO FINALE ELABORAZIONI -----

\* DATI RELATIVI ALLE 10 SUPERFICI GENERATE CON MINOR Fs \*

Fattore di sicurezza (FS)	1.7321 - Min. -	X	Y	Lambda= 0.2420
		4.01	0.01	
		4.65	0.01	
		4.95	0.02	
		5.15	0.03	
		5.31	0.06	
		5.48	0.10	
		5.63	0.14	
		5.79	0.20	
		5.96	0.27	
		6.16	0.36	
		6.35	0.45	
		6.52	0.54	
		6.70	0.63	
		6.87	0.71	
		7.04	0.80	
		7.21	0.90	
		7.38	1.00	
		7.57	1.10	
		7.74	1.20	
		7.91	1.31	
		8.08	1.41	
		8.25	1.52	
		8.42	1.64	
		8.59	1.76	
		8.77	1.88	
		8.96	2.02	
		9.14	2.16	
		9.24	2.25	
		9.24	4.00	

Fattore di sicurezza (FS)	1.7334 - N.2 --	X	Y	Lambda= 0.2277
		4.04	0.04	
		4.59	0.03	
		4.85	0.03	
		5.02	0.03	
		5.17	0.05	
		5.32	0.07	
		5.45	0.09	
		5.59	0.13	
		5.74	0.17	
		5.92	0.23	
		6.08	0.28	
		6.23	0.34	
		6.37	0.39	
		6.52	0.46	
		6.66	0.52	
		6.80	0.59	
		6.95	0.66	
		7.11	0.74	
		7.27	0.82	
		7.42	0.90	
		7.57	0.98	
		7.72	1.06	

7.87	1.14
8.02	1.22
8.18	1.30
8.33	1.38
8.48	1.46
8.63	1.55
8.77	1.63
8.92	1.73
9.06	1.82
9.21	1.92
9.37	2.03
9.54	2.16
9.65	2.24
9.65	4.00

Fattore di sicurezza (FS) 1.7370 - N.3 -- X Y Lambda= 0.2399

4.01	0.01
4.65	0.02
4.95	0.03
5.16	0.04
5.34	0.06
5.51	0.09
5.67	0.13
5.83	0.18
6.01	0.23
6.21	0.30
6.40	0.37
6.58	0.44
6.75	0.51
6.93	0.58
7.10	0.66
7.28	0.74
7.46	0.82
7.66	0.92
7.83	1.01
8.00	1.11
8.17	1.21
8.34	1.32
8.51	1.43
8.68	1.55
8.86	1.69
9.06	1.85
9.24	2.00
9.42	2.16
9.53	2.26
9.53	4.00

Fattore di sicurezza (FS) 1.7377 - N.4 -- X Y Lambda= 0.2388

4.01	0.01
4.63	0.01
4.94	0.01
5.14	0.02
5.32	0.04
5.49	0.06
5.65	0.09
5.82	0.13
6.00	0.17
6.20	0.23
6.38	0.28
6.55	0.34
6.72	0.40
6.89	0.46
7.05	0.53
7.23	0.61
7.40	0.70
7.60	0.80
7.78	0.89
7.95	0.99
8.12	1.09
8.29	1.20
8.45	1.31
8.63	1.43
8.81	1.57
9.01	1.72
9.19	1.86

9.35	2.01
9.51	2.16
9.62	2.28
9.62	4.00

**Fattore di sicurezza (FS) 1.7444 - N.5 -- X Y Lambda= 0.2318**

4.02	0.02
4.65	0.04
4.95	0.06
5.16	0.07
5.34	0.09
5.52	0.12
5.68	0.15
5.85	0.19
6.03	0.23
6.24	0.29
6.42	0.35
6.59	0.41
6.75	0.47
6.92	0.54
7.09	0.62
7.25	0.70
7.43	0.80
7.62	0.90
7.80	1.01
7.98	1.11
8.16	1.22
8.33	1.32
8.51	1.43
8.69	1.54
8.88	1.65
9.08	1.78
9.25	1.89
9.42	2.02
9.57	2.15
9.68	2.26
9.68	4.00

**Fattore di sicurezza (FS) 1.7580 - N.6 -- X Y Lambda= 0.2407**

4.04	0.04
4.66	0.07
4.96	0.08
5.16	0.10
5.33	0.13
5.49	0.16
5.64	0.20
5.81	0.25
5.98	0.31
6.17	0.38
6.35	0.45
6.52	0.52
6.69	0.59
6.86	0.67
7.03	0.74
7.20	0.82
7.37	0.91
7.56	1.00
7.73	1.09
7.90	1.18
8.06	1.28
8.22	1.38
8.39	1.49
8.55	1.61
8.73	1.74
8.93	1.89
9.10	2.02
9.26	2.17
9.37	2.27
9.37	4.00

**Fattore di sicurezza (FS) 1.7580 - N.7 -- X Y Lambda= 0.2328**

4.01	0.01
4.53	0.01
4.80	0.01

4.98	0.01
5.15	0.02
5.30	0.02
5.45	0.03
5.61	0.04
5.77	0.06
5.95	0.07
6.10	0.09
6.24	0.12
6.37	0.15
6.51	0.20
6.64	0.25
6.79	0.31
6.94	0.38
7.11	0.48
7.28	0.57
7.43	0.66
7.58	0.75
7.73	0.84
7.88	0.93
8.03	1.03
8.18	1.13
8.34	1.24
8.49	1.35
8.65	1.46
8.80	1.56
8.95	1.67
9.10	1.79
9.25	1.90
9.41	2.03
9.57	2.16
9.68	2.25
9.68	4.00

Fattore di sicurezza (FS) 1.7580 - N.8 -- X Y Lambda= 0.2383

4.05	0.05
4.66	0.05
4.94	0.06
5.14	0.07
5.30	0.09
5.46	0.12
5.61	0.15
5.76	0.20
5.93	0.26
6.13	0.33
6.30	0.40
6.47	0.47
6.63	0.55
6.79	0.63
6.95	0.71
7.11	0.80
7.28	0.89
7.46	1.00
7.63	1.10
7.79	1.20
7.96	1.31
8.12	1.42
8.29	1.52
8.46	1.64
8.63	1.76
8.82	1.89
8.98	2.02
9.14	2.15
9.24	2.25
9.24	4.00

Fattore di sicurezza (FS) 1.7585 - N.9 -- X Y Lambda= 0.2430

4.02	0.02
4.63	0.02
4.92	0.02
5.13	0.03
5.30	0.05
5.47	0.07
5.62	0.10
5.79	0.14

5.96	0.19
6.16	0.25
6.34	0.31
6.51	0.37
6.67	0.43
6.83	0.50
6.99	0.58
7.16	0.66
7.34	0.75
7.53	0.86
7.70	0.96
7.87	1.07
8.03	1.18
8.20	1.29
8.36	1.41
8.53	1.54
8.71	1.68
8.90	1.84
9.07	2.00
9.24	2.15
9.35	2.26
9.35	4.00

Fattore di sicurezza (FS) 1.7589 - N.10 -- X Y Lambda= 0.2429

4.04	0.04
4.67	0.06
4.97	0.07
5.17	0.09
5.34	0.12
5.50	0.16
5.65	0.20
5.82	0.26
5.99	0.33
6.18	0.41
6.37	0.49
6.54	0.58
6.72	0.66
6.89	0.74
7.06	0.82
7.23	0.91
7.41	1.00
7.60	1.10
7.77	1.19
7.94	1.29
8.10	1.39
8.27	1.50
8.43	1.61
8.60	1.74
8.77	1.87
8.97	2.02
9.14	2.17
9.25	2.26
9.25	4.00

----- ANALISI DEFICIT DI RESISTENZA -----

# DATI RELATIVI ALLE 10 SUPERFICI GENERATE CON MINOR FS \*

# Analisi Deficit in riferimento a FS(progetto) = 1.200

Sup N.	FS	FTR(kN/m)	FTA(kN/m)	Bilancio(kN/m)	ESITO
1	1.732	66.4	38.3	20.4	Surplus
2	1.733	72.8	42.0	22.4	Surplus
3	1.737	72.5	41.8	22.4	Surplus
4	1.738	75.4	43.4	23.3	Surplus
5	1.744	74.4	42.7	23.2	Surplus
6	1.758	68.4	38.9	21.7	Surplus
7	1.758	77.5	44.1	24.6	Surplus
8	1.758	66.5	37.8	21.1	Surplus
9	1.758	70.6	40.1	22.4	Surplus
10	1.759	66.1	37.6	21.0	Surplus

Esito analisi: **SURPLUS di RESISTENZA!**

Valore minimo di **SURPLUS di RESISTENZA (kN/m):** 20.4

Note: FTR --> Forza totale Resistente lungo la superficie

di scivolamento

FTA --> Forza totale Agente lungo la superficie di scivolamento

**IMPORTANTE!** : Il Deficit o il Surplus di resistenza viene espresso in kN  
per metro di LARGHEZZA rispetto al fronte della scarpata

**TABELLA PARAMETRI CONCI DELLA SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS**

X (m)	dx (m)	alpha (°)	W (kN/m)	ru (-)	U (kPa)	phi' (°)	(c',Cu) (kPa)
4.011	0.108	-0.04	3.09	1.00	28.27	21.00	7.80
4.119	0.108	-0.04	3.23	1.00	29.54	21.00	7.80
4.227	0.108	-0.04	3.37	1.00	30.80	21.00	7.80
4.335	0.108	-0.04	3.51	1.00	32.09	21.00	7.80
4.443	0.108	-0.04	3.64	1.00	33.33	21.00	7.80
4.552	0.099	-0.04	3.46	1.00	34.54	21.00	7.80
4.651	0.108	1.39	3.91	1.00	35.64	21.00	7.80
4.759	0.108	1.39	4.04	1.00	36.69	21.00	7.80
4.867	0.082	1.39	3.15	0.99	37.56	21.00	7.80
4.949	0.108	4.55	4.26	0.98	38.05	21.00	7.80
5.057	0.091	4.55	3.69	0.97	38.43	21.00	7.80
5.148	0.108	8.41	4.48	0.95	38.56	21.00	7.80
5.256	0.056	8.41	2.38	0.92	38.53	21.00	7.80
5.313	0.108	13.03	4.63	0.91	38.45	21.00	7.80
5.421	0.056	13.03	2.43	0.89	38.25	21.00	7.80
5.477	0.108	16.54	4.75	0.88	38.13	21.00	7.80
5.585	0.040	16.54	1.80	0.86	37.86	21.00	7.80
5.626	0.108	19.97	4.85	0.85	37.73	21.00	7.80
5.734	0.052	19.97	2.36	0.84	37.40	21.00	7.80
5.786	0.108	22.77	4.93	0.83	37.23	21.00	7.80
5.894	0.063	22.77	2.89	0.81	36.81	21.00	7.80
5.957	0.108	24.88	4.99	0.80	36.52	21.00	7.80
6.065	0.094	24.88	4.37	0.78	36.00	21.00	7.80
6.159	0.108	25.43	5.06	0.77	35.48	21.00	7.80
6.267	0.078	25.43	3.69	0.75	34.92	21.00	7.80
6.345	0.108	26.04	5.12	0.74	34.52	21.00	7.80
6.453	0.069	26.04	3.30	0.72	34.01	21.00	7.80
6.523	0.108	26.68	5.16	0.71	33.67	21.00	7.80
6.631	0.064	26.68	3.08	0.70	33.16	21.00	7.80
6.695	0.108	27.33	5.21	0.69	32.84	21.00	7.80
6.803	0.063	27.33	3.05	0.68	32.32	21.00	7.80
6.866	0.108	27.95	5.24	0.67	31.99	21.00	7.80
6.974	0.062	27.95	3.00	0.65	31.45	21.00	7.80
7.036	0.108	28.56	5.27	0.64	31.12	21.00	7.80
7.144	0.064	28.56	3.14	0.63	30.57	21.00	7.80
7.208	0.108	29.14	5.30	0.62	30.22	21.00	7.80
7.316	0.068	29.14	3.33	0.61	29.64	21.00	7.80
7.384	0.108	29.69	5.33	0.60	29.24	21.00	7.80
7.492	0.075	29.69	3.72	0.59	28.63	21.00	7.80
7.568	0.108	30.48	5.35	0.58	28.17	21.00	7.80
7.676	0.066	30.48	3.27	0.56	27.55	21.00	7.80
7.742	0.108	31.32	5.36	0.55	27.18	21.00	7.80
7.850	0.063	31.32	3.10	0.54	26.62	21.00	7.80
7.912	0.088	32.17	4.31	0.54	26.26	21.00	7.80
8.000	0.080	32.17	3.94	0.53	25.77	21.00	7.80
8.080	0.108	33.01	5.19	0.53	25.22	21.00	7.80
8.188	0.063	33.01	2.94	0.53	24.50	21.00	7.80
8.251	0.108	33.85	4.96	0.53	24.03	21.00	7.80
8.359	0.061	33.85	2.73	0.53	23.30	21.00	7.80
8.420	0.108	34.66	4.73	0.53	22.89	21.00	7.80
8.528	0.065	34.66	2.76	0.53	22.18	21.00	7.80
8.593	0.108	35.42	4.48	0.53	21.73	21.00	7.80
8.701	0.071	35.42	2.85	0.53	20.99	21.00	7.80
8.772	0.108	36.10	4.22	0.53	20.46	21.00	7.80
8.880	0.083	36.10	3.14	0.53	19.68	21.00	7.80
8.963	0.108	37.64	3.93	0.53	19.05	21.00	7.80
9.071	0.065	37.64	2.29	0.53	18.33	21.00	7.80
9.136	0.108	39.34	3.66	0.53	17.65	21.00	7.80

**LEGENDA SIMBOLI**

X(m) : Ascissa sinistra concio

dx(m) : Larghezza concio

alpha(°) : Angolo pendenza base concio

W(kN/m) : Forza peso concio

$ru(-)$  : Coefficiente locale pressione interstiziale  
 $U(kPa)$  : Pressione totale dei pori base concio  
 $\phi i(^{\circ})$  : Angolo di attrito efficace base concio  
 $c/Cu (kPa)$  : Coesione efficace o Resistenza al taglio in condizioni non drenate

TABELLA DIAGRAMMA DELLE FORZE DELLA SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

X	ht	yt	yt'	E(x)	T(x)	E'	rho(x)	FS_qFEM	FS_srmFEM
(m)	(m)	(m)	(-)	(kN/m)	(kN/m)	(kN)	(-)	(-)	(-)
4.011	0.000	0.011	0.256	0.0000000000E+000	0.0000000000E+000	5.7145868443E+001	0.058	19.239	1.028
4.119	0.027	0.038	0.256	5.2220113856E+000	1.0900589925E-002	3.9452397540E+001	0.058	19.239	1.028
4.227	0.056	0.066	0.284	8.5310379870E+000	8.6138748692E-002	3.0816732397E+001	0.058	9.175	1.198
4.335	0.089	0.099	0.323	1.1885705637E+001	3.8238130058E-001	3.0307898813E+001	0.107	5.723	1.304
4.443	0.126	0.136	0.356	1.5084703980E+001	9.1015586085E-001	2.9350829145E+001	0.191	4.487	1.407
4.552	0.166	0.176	0.401	1.8232418486E+001	1.5909728378E+000	2.9324265623E+001	0.268	3.808	1.529
4.651	0.209	0.219	0.443	2.1156160541E+001	2.4431366659E+000	2.8589921608E+001	0.348	3.540	1.673
4.759	0.255	0.268	0.460	2.4137816349E+001	3.4621613741E+000	2.6914505192E+001	0.424	3.413	1.863
4.867	0.303	0.319	0.481	2.6976051866E+001	4.4877366701E+000	2.5957929460E+001	0.484	3.489	2.109
4.949	0.342	0.360	0.490	2.9088032039E+001	5.2349558379E+000	2.4571707680E+001	0.519	3.694	2.351
5.057	0.386	0.412	0.503	3.1578936512E+001	6.0654828823E+000	2.2429722010E+001	0.546	4.060	2.752
5.148	0.426	0.460	0.513	3.3579776652E+001	6.6891030318E+000	2.0158475508E+001	0.560	4.504	3.205
5.256	0.465	0.514	0.514	3.5534314925E+001	7.2745027247E+000	1.6617224634E+001	0.567	4.940	3.814
5.313	0.486	0.544	0.524	3.6428498013E+001	7.5398051257E+000	1.4808910367E+001	0.569	5.121	4.174
5.421	0.518	0.600	0.527	3.7812706657E+001	7.9578810149E+000	1.1429765093E+001	0.570	5.262	4.803
5.477	0.535	0.631	0.544	3.8412641040E+001	8.1456743194E+000	1.0016298622E+001	0.570	5.236	5.094
5.585	0.562	0.690	0.570	3.9348816506E+001	8.4542031784E+000	8.1203501008E+000	0.569	5.051	5.545
5.626	0.576	0.716	0.592	3.9669461387E+001	8.5673439217E+000	7.2007215563E+000	0.570	4.926	5.671
5.734	0.598	0.778	0.579	4.0240724534E+001	8.7905576799E+000	4.3597913036E+000	0.568	4.537	5.738
5.786	0.610	0.808	0.610	4.0444622883E+001	8.8809278003E+000	3.3903613393E+000	0.567	4.342	5.685
5.894	0.632	0.876	0.650	4.0693503139E+001	9.0302003521E+000	1.4763338054E+000	0.565	3.878	5.311
5.957	0.649	0.919	0.694	4.0756203204E+001	9.1011020070E+000	4.1722822826E-001	0.564	3.583	4.959
6.065	0.674	0.994	0.732	4.0694050992E+001	9.1751903622E+000	-1.3259500661E+000	0.560	3.141	4.300
6.159	0.704	1.067	0.750	4.0508182236E+001	9.2094702492E+000	-2.4644924271E+000	0.556	2.794	3.726
6.267	0.731	1.146	0.732	4.0181259342E+001	9.2057305974E+000	-3.6048332211E+000	0.549	2.491	3.198
6.345	0.751	1.204	0.708	3.9865886352E+001	9.1791934528E+000	-4.2247594014E+000	0.543	2.318	2.899
6.453	0.773	1.278	0.694	3.9379432133E+001	9.1199863846E+000	-5.0981083284E+000	0.535	2.133	2.587
6.523	0.788	1.327	0.695	3.8999358034E+001	9.0639538044E+000	-5.6803852988E+000	0.529	2.029	2.420
6.631	0.808	1.401	0.703	3.8351773146E+001	8.9595558421E+000	-6.7163614438E+000	0.519	1.895	2.212
6.695	0.822	1.448	0.706	3.7893270136E+001	8.8793061560E+000	-7.2671569204E+000	0.513	1.821	2.103
6.803	0.841	1.523	0.715	3.7085764541E+001	8.7308521659E+000	-8.3539123610E+000	0.503	1.715	1.949
6.866	0.856	1.571	0.719	3.6525380762E+001	8.6227702817E+000	-8.8868656548E+000	0.496	1.656	1.865
6.974	0.875	1.646	0.722	3.5561630406E+001	8.4308038090E+000	-9.8741815456E+000	0.484	1.569	1.744
7.036	0.889	1.693	0.726	3.4919030253E+001	8.2986831270E+000	-1.0389594180E+001	0.477	1.521	1.678
7.144	0.906	1.769	0.724	3.3801840695E+001	8.0632543680E+000	-1.1182182392E+001	0.464	1.449	1.580
7.208	0.920	1.818	0.731	3.3052970496E+001	7.9012157773E+000	-1.1718299104E+001	0.456	1.407	1.524
7.316	0.937	1.895	0.745	3.1780026459E+001	7.6182176765E+000	-1.2908784067E+001	0.441	1.344	1.442
7.384	0.953	1.949	0.760	3.0858114434E+001	7.4068462759E+000	-1.3578805258E+001	0.430	1.305	1.391
7.492	0.971	2.029	0.756	2.9397022831E+001	7.0635979723E+000	-1.4736932251E+001	0.413	1.249	1.322
7.568	0.987	2.087	0.762	2.8223588643E+001	6.7823955196E+000	-1.5586875077E+001	0.399	1.212	1.279
7.676	1.005	2.169	0.753	2.6538615583E+001	6.3740737714E+000	-1.6137796852E+001	0.378	1.168	1.231
7.742	1.015	2.219	0.729	2.5449787511E+001	6.1080648026E+000	-1.6188314985E+001	0.365	1.147	1.211
7.850	1.027	2.296	0.688	2.3750416682E+001	5.6892713173E+000	-1.6759771402E+001	0.344	1.123	1.192
7.912	1.029	2.336	0.579	2.2663742955E+001	5.4137593492E+000	-1.6948090327E+001	0.330	1.113	1.188
8.000	1.021	2.383	0.518	2.1230640819E+001	5.0420706218E+000	-1.7759590591E+001	0.310	1.107	1.191
8.080	1.010	2.423	0.420	1.9704393634E+001	4.6236037937E+000	-1.8451271798E+001	0.295	1.105	1.202
8.188	0.979	2.462	0.340	1.7794473202E+001	4.0683041267E+000	-1.8684050938E+001	0.272	1.111	1.223
8.251	0.957	2.481	0.232	1.6587126151E+001	3.6900300050E+000	-1.8532125574E+001	0.254	1.116	1.240
8.359	0.905	2.501	0.160	1.4721983072E+001	3.0648823968E+000	-1.7008789748E+001	0.222	1.129	1.270
8.420	0.871	2.508	0.070	1.3695613485E+001	2.6985669472E+000	-1.6649373023E+001	0.202	1.137	1.287
8.528	0.802	2.513	0.036	1.1938397028E+001	2.0533214986E+000	-1.6525626362E+001	0.162	1.154	1.320
8.593	0.758	2.514	0.010	1.0856815842E+001	1.6646398102E+000	-1.6422646032E+001	0.136	1.166	1.341
8.701	0.682	2.515	0.030	9.1293083675E+000	1.0970694082E+000	-1.6912580370E+001	0.095	1.186	1.379
8.772	0.636	2.520	0.109	7.8882427429E+000	7.6113722838E-001	-1.7154643996E+001	0.069	1.201	1.407
8.880	0.572	2.534	0.162	6.0946076413E+000	3.8624724824E-001	-1.6538842929E+001	0.058	1.224	1.453
8.963	0.527	2.551	0.293	4.7203238794E+000	1.6098755664E-001	-1.6601661313E+001	0.058	1.237	1.492
9.071	0.484	2.591	0.365	2.9110807068E+000	3.1034136671E-002	-1.3732929796E+001	0.058	1.267	1.542
9.136	0.457	2.614	0.365	2.1348240226E+000	1.4685015659E-002	-1.4864541301E+001	0.058	1.255	1.588

#### LEGENDA SIMBOLI

$X(m)$  : Ascissa sinistra concio  
 $ht(m)$  : Altezza linea di thrust da nodo sinistro base concio  
 $yt(m)$  : coordinata Y linea di trust  
 $yt'(-)$  : gradiente pendenza locale linea di trust  
 $E(x)(kN/m)$  : Forza Normale interconcio



$T(x)(\text{kN/m})$  : Forza Tangenziale interconcio  
 $E'(\text{kN})$  : derivata Forza normale interconcio  
 $Rho(x)(-)$  : fattore mobilizzazione resistenza al taglio verticale interconcio ZhU et al.(2003)  
 $FS\_qFEM(x)(-)$  : fattore di sicurezza locale stimato (locale in X) by qFEM  
 $FS\_srmFEM(x)(-)$  : fattore di sicurezza locale stimato (locale in X) by SRM Procedure

TABELLA SFORZI DI TAGLIO DISTRIBUITI LUNGO SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

X (m)	dx (m)	dl (m)	alpha (°)	TauStress (kPa)	TauF (kN/m)	TauStrength (kPa)	TauS (kN/m)
4.011	0.108	0.108	-0.045	-26.718	-2.889	7.972	0.862
4.119	0.108	0.108	-0.045	-25.942	-2.805	8.207	0.887
4.227	0.108	0.108	-0.045	-25.166	-2.721	9.000	0.973
4.335	0.108	0.108	-0.045	-24.390	-2.637	9.819	1.062
4.443	0.108	0.108	-0.045	-23.615	-2.553	10.378	1.122
4.552	0.099	0.099	-0.045	-22.871	-2.265	11.271	1.116
4.651	0.108	0.108	1.390	-21.211	-2.294	11.404	1.233
4.759	0.108	0.108	1.390	-20.406	-2.207	11.482	1.242
4.867	0.082	0.082	1.390	-19.699	-1.617	11.427	0.938
4.949	0.108	0.108	4.546	-16.719	-1.813	10.724	1.163
5.057	0.091	0.092	4.546	-15.929	-1.459	10.739	0.984
5.148	0.108	0.109	8.409	-12.147	-1.328	10.268	1.122
5.256	0.056	0.057	8.409	-11.466	-0.654	10.437	0.595
5.313	0.108	0.111	13.033	-7.074	-0.785	10.045	1.115
5.421	0.056	0.057	13.033	-6.387	-0.367	10.303	0.592
5.477	0.108	0.113	16.540	-2.888	-0.326	10.034	1.132
5.585	0.040	0.042	16.540	-2.280	-0.096	10.251	0.433
5.626	0.108	0.115	19.965	1.001	0.115	9.940	1.143
5.734	0.052	0.055	19.965	1.626	0.090	10.204	0.565
5.786	0.108	0.117	22.772	4.337	0.509	9.901	1.161
5.894	0.063	0.068	22.772	4.967	0.339	10.160	0.694
5.957	0.108	0.119	24.879	7.072	0.843	10.018	1.194
6.065	0.094	0.104	24.879	7.773	0.805	10.322	1.069
6.159	0.108	0.120	25.430	8.841	1.058	10.543	1.262
6.267	0.078	0.087	25.430	9.476	0.822	10.856	0.942
6.345	0.108	0.120	26.044	10.506	1.264	10.947	1.317
6.453	0.069	0.077	26.044	11.098	0.856	11.219	0.866
6.523	0.108	0.121	26.682	12.084	1.462	11.255	1.362
6.631	0.064	0.072	26.682	12.645	0.908	11.531	0.828
6.695	0.108	0.122	27.335	13.594	1.654	11.534	1.404
6.803	0.063	0.071	27.335	14.138	1.005	11.831	0.841
6.866	0.108	0.122	27.954	15.031	1.840	11.814	1.446
6.974	0.062	0.070	27.954	15.557	1.086	12.126	0.846
7.036	0.108	0.123	28.562	16.409	2.020	12.091	1.488
7.144	0.064	0.073	28.562	16.928	1.235	12.398	0.905
7.208	0.108	0.124	29.145	17.743	2.196	12.390	1.534
7.316	0.068	0.078	29.145	18.259	1.415	12.769	0.990
7.384	0.108	0.124	29.687	19.034	2.369	12.765	1.589
7.492	0.075	0.087	29.687	19.557	1.695	13.178	1.142
7.568	0.108	0.125	30.478	20.432	2.563	13.130	1.647
7.676	0.066	0.077	30.478	20.909	1.603	13.402	1.028
7.742	0.108	0.127	31.315	21.724	2.749	13.205	1.671
7.850	0.063	0.073	31.315	22.170	1.624	13.586	0.995
7.912	0.088	0.103	32.171	22.950	2.374	13.240	1.370
8.000	0.080	0.095	32.171	22.871	2.167	13.873	1.314
8.080	0.108	0.129	33.011	22.625	2.917	13.570	1.750
8.188	0.063	0.075	33.011	22.133	1.653	14.040	1.049
8.251	0.108	0.130	33.850	21.882	2.849	13.650	1.777
8.359	0.061	0.073	33.850	21.374	1.566	13.783	1.010
8.420	0.108	0.131	34.662	21.071	2.770	13.487	1.773
8.528	0.065	0.079	34.662	20.529	1.618	13.490	1.063
8.593	0.108	0.133	35.423	20.155	2.674	12.823	1.701
8.701	0.071	0.087	35.423	19.573	1.701	12.521	1.088
8.772	0.108	0.134	36.102	19.120	2.559	11.569	1.548
8.880	0.083	0.103	36.102	18.478	1.905	11.107	1.145
8.963	0.108	0.137	37.644	18.068	2.467	9.818	1.341
9.071	0.065	0.082	37.644	17.445	1.434	9.229	0.759
9.136	0.108	0.140	39.342	17.001	2.377	8.739	1.222

LEGENDA SIMBOLI

$X(m)$  : Ascissa sinistra concio  
 $dx(m)$  : Larghezza concio  
 $dl(m)$  : lunghezza base concio  
 $alpha(^{\circ})$  : Angolo pendenza base concio  
 $TauStress(kPa)$  : Sforzo di taglio su base concio  
 $TauF(kN/m)$  : Forza di taglio su base concio

*TauStrength(kPa) : Resistenza al taglio su base concio*  
*TauS (kN/m) : Forza resistente al taglio su base concio*

Lecce, gennaio 2022



dott. geol.  
Luca ORLANDUCCI