



**COMUNE DI GALLIPOLI**  
**Provincia di Lecce**



*Cava di carparo ubicata in Località "Mater Gratie" Comune di Gallipoli (LE)  
F° 12 part.lla 10, 11, 69.*

IL TECNICO	dott. geol. Luca ORLANDUCCI
COMMITTENTE PROPRIETA' AREA	DITTA MARIO MAURO GRJM S.R.L.
UBICAZIONE DATI CATASTALI	Gallipoli (LE) Loc. "Mater Gratie" F° 12 – part.lla 10; 11; 69

**PROGETTO DI MESSA IN SICUREZZA E RIPRISTINO DELLO STATO DEI LUOGHI DELLA  
CAVA DI CARPARO SITA IN LOCALITÀ "MATER GRATIE" AREA 2 – SITO B  
RELAZIONE VERIFICA STABILITA' FRONTI DI CAVA**

Riferimento:

| Data: Gennaio 2025

| Aggiornamento:



## PREMESSA

In seguito ai sopralluoghi e rilievi, presso la cava di calcarenite sita in località "Mater Gratie" del Comune di Gallipoli (LE) al Foglio 12 part.lla 10, 11 e 69 parte, lo scrivente, redige relazione sulla stabilità dei fronti ai sensi dell'art. 52 del D.lgs n.624/1996 ed in ottemperanza alle NTC 2018.

Con riferimento ai fronti di sbancamento di questa parte di cava, 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. Tali verifiche sono state condotte alla luce dell'attuale situazione in merito ai fronti di cava calcarenitica (carparo) esposti.

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).

Il presente studio è stato effettuato nel rispetto della normativa vigente: D.M. 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni"; CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.

Tav.1 INQUADRAMENTO DELL'AREA DI IN OGGETTO



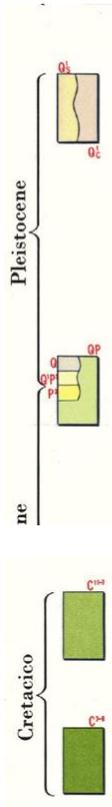
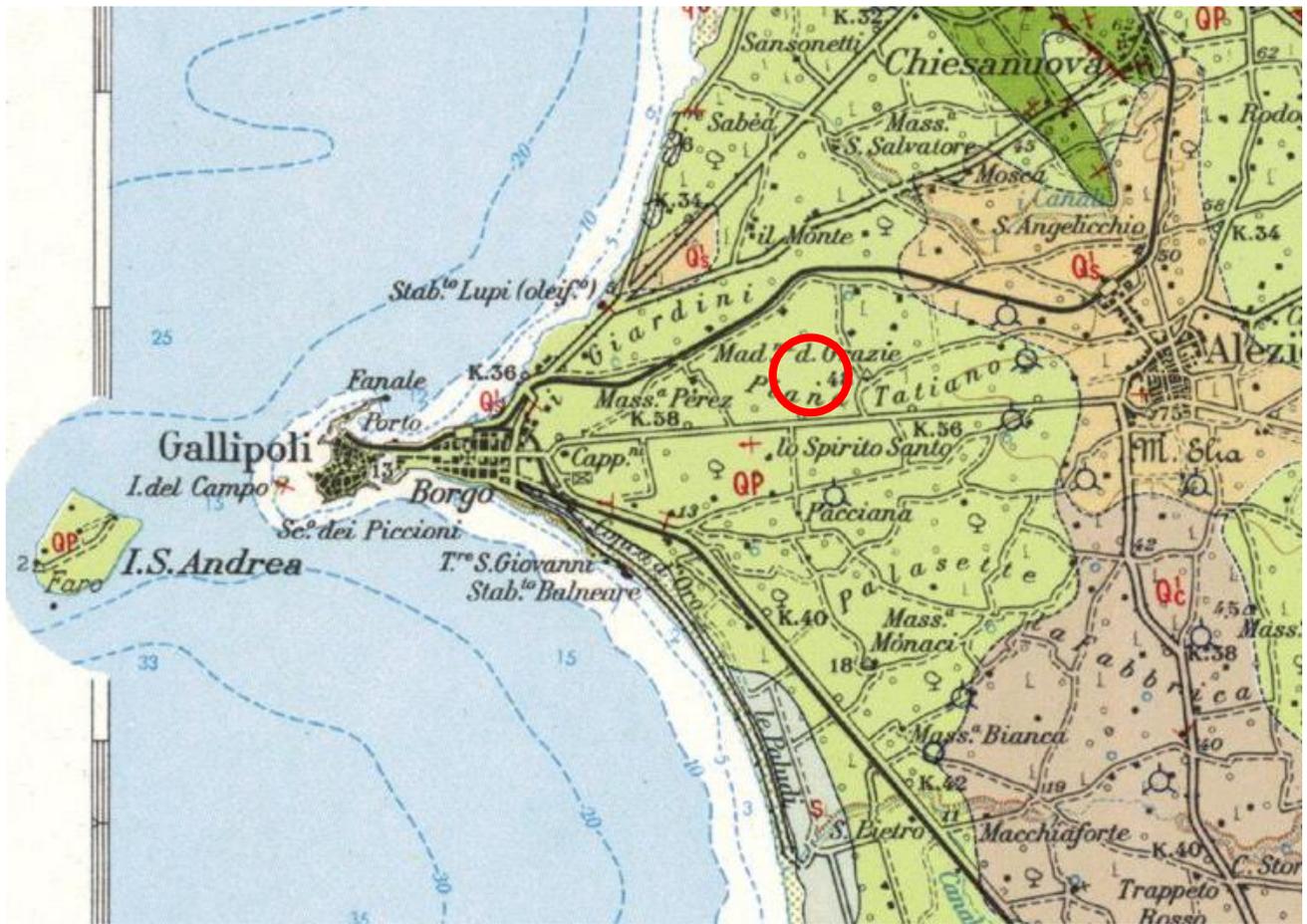
## 1. SUCCESSIONE STRATIGRAFICA

Così come è evidente dalle pareti di sbancamento nell'intera cava, **il litotipo è costituito da calcareniti bioclastiche a grana media denominate localmente “carparo”** e sul piano campagna sormontati da una sottile copertura di terreno eluvio-colluviale dello spessore decimetrico.

La scelta dei parametri fisico-meccanici presi in considerazione per la verifica della stabilità dei fronti di scavo, è stata fatta considerando i parametri più conservativi, e quindi inserendo nei codici di calcolo, le caratteristiche peggiori, calcolate dal rilievo strutturale dell'ammasso roccioso e dalle prove di laboratorio.

L'assetto stratigrafico dell'area di interesse è caratterizzato, dalla presenza di una potente successione di rocce calcarenitiche Plio-Pleistoceniche.

Il rilevamento geologico di superficie ha consentito di ricostruire la successione litostratigrafica dei terreni presenti all'interno della cava, e riportate nelle pagine seguenti.



**FORMAZIONE DI GALLIPOLI** - Sabbie argillose giallastre, talora debolmente cementate in strati di qualche cm di spessore, che passano inferiormente a marne argillose-sabbiose e marne argillose grigio-azzurrastre (Q<sub>s</sub>); l'unità spesso ha intercalati banchi arenacei e calcarenitici, ben cementati (Q<sub>c</sub>). I macrofossili sono rari nelle sabbie argillose, mentre diventano frequenti nelle sottostanti marne argillose con *Arctica islandica* (LIN.), *Chlamys septemradiata* MÜLL. ed altri Molluschi. I Foraminiferi sono sempre più o meno abbondanti; particolarmente frequenti sono: *Elphidium crispum* (LIN.), *Ammonia beccarii* (LIN.), *Bulimina elegans* D'ORB. marginata D'ORB., *Bulimina catanensis* SIO. *Cassidulina laevigata* D'ORB. *carinata* SILV. *Hyalinea balthica* (SCHN.) (CALABRIANO).

**CALCARENITI DEL SALENTO** - Calcareniti, calcari grossolani tipo «panchina», sabbioni calcarei più o meno cementati, talora argillosi («tufi»); verso la base sono presenti alle volte breccie e conglomerati; il colore è grigio, giallastro o rossastro, la stratificazione è molto variabile, talora indistinta od incrociata; i resti fossili sono spesso abbondanti. Le distinzioni in seno all'unità sono state fatte in base ai caratteri micropaleontologici e morfologici.

Associazione microfaunistica con *Elphidium aculeatum* (D'ORB.), *Elphidium crispum* (LIN.), *Elphidium macellum* (RICHT. & MOLL.), *Discorbis orbicularis* (MIR.), *Cibicides lobatulus* (WALK. & JAC.), *Cibicides refulgens* (MONT.), in base ai rapporti stratigrafici il livello è attribuibile al QUATERNARIO. (Q).

Accanto a *Ostrea*, *Pecten*, *Pinna*, *Mytilus* ecc. e Foraminiferi di facies come *Elphidium*, *Cibicides*, *Nonion*, *Discorbis*, si rinvengono talora forme più significative che permettono di distinguere le seguenti associazioni: a *Hyalinea balthica* (SCHN.), *Cassidulina laevigata* D'ORB. *carinata* SILV. *Bulimina marginata* D'ORB. *Bulimina catanensis* SIO. (CALABRIANO); a *Elphidium complanatum* (D'ORB.), *Globulina gibba* (D'ORB.) *fissicostata* CUSH. & OZ. *Valulineria complanata* (D'ORB.), *Globorotalia inflata* (D'ORB.) (PLIOCENE). Al Quaternario, in particolare e per posizione stratigrafica, vanno riferite le calcareniti dei dintorni di Gallipoli dove inoltre, presso la costa, la presenza di *Strombus bubonius* LAM. testimonia il TIRRENIANO. (QP).

La fauna, nei livelli più elevati è caratterizzata da *Hyalinea balthica* (SCHN.), *Cassidulina laevigata* D'ORB. *carinata* SILV. *Bulimina marginata* D'ORB., *Ammonia beccarii* (LIN.) (CALABRIANO-PLIOCENE SUPERIORE?). (QP).

«CALCARI DI MELISSANO» - Calcari compatti, a frattura irregolare, grigi e nocciola, talora chiari e porcellanacci, con intercalati calcari dolomitici e raramente dolomie vucolari nocciola. Tra i fossili, particolarmente significativi sono *Sauvagesia*, *Durania*, *Joufia reticulata* BOISM. Le microfaune sono in genere scarse e con forme prive di significato cronostatigrafico; eccezionalmente sono presenti *Orbitoides*, *Accordiella conica* FAR., *Cuneolina pavonia* D'ORB. *parva* HENSON (SENONIANO-TURONIANO). Presso Mass. Capriglia (Vittigliano) si rinvengono *Sellialveolina vialii* COX. associata a *Cuneolina pavonia* D'ORB. *parva* HENSON e *Rotalinae* (CENOMANIANO).

**DOLOMIE DI GALATINA** - Dolomie grigio-nocciola, spesso vucolari, calcari dolomitici e calcari grigi a frattura irregolare. I resti fossili sono in genere scarsi e particolarmente rappresentati da *Apricardia carantonensis* D'ORB. e *Cerithium* sp. cui si unisce presso Corigliano d'Otranto *Eoradiolites colubrinus* FAR.; anche le microfaune sono scarse con *Miloidae*, *Ophthalmidiidae* e *Textulariidae* (CENOMANIANO e forse TURONIANO INFERIORE).



Foto 1



Foto 2



Foto 3



Foto 4

Tav.2 punti di presa delle foto



 Punto di presa

## **2. ·INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

L'andamento geologico del territorio in cui ricade la cava in oggetto, è caratterizzato dalla presenza in affioramento unicamente da facies riferibili al pliocene superiore-Pleistocene. Tali sedimenti sono trasgressivi sui calcari mesozoici ascritti alla formazione dei Calcari di Melissano che non affiorano nell'area di intervento ma si rinvengono ad oltre 100 m di profondità. Si rinvengono invece estesamente più a nord, nella porzione topograficamente più elevata e più interna del territorio dove presentano un assetto strutturale a pieghe molto ampie.

Vari fenomeni plicativi e disgiuntivi con gli assi disposti in direzione NNW-SSE hanno interessato tali depositi calcarei del Cretaceo. Solo marginalmente ed in fasi successive di assestamento del territorio tali fenomeni hanno interessato i terreni Plio-pleistocenici più recenti ascritti alle Calcareniti del Salento ed alla Formazione di Gallipoli.

A Nord-Est e ad Est dell'abitato di Gallipoli e quindi nell'area di nostro interesse, affiorano dei depositi calcarenitici passanti a sabbie calcaree limose-giallastre e limi argillosi.

Sul lato sud della Serra di San Mauro lungo il contatto tettonico che delimita l'affioramento dei calcari, si osservano delle calcareniti e delle sabbie calcaree limo-argillose di colore nocciola ascritte alla Formazione di Gallipoli (Q<sup>1s1</sup>/Q<sup>1c</sup>). A tale formazione appartengono i depositi più recenti rappresentati da sabbie calcaree limose contenenti anche granuli di quarzo debolmente cementate in straterelli di arenaria nocciola di forma irregolare, ma con superfici arrotondate dello spessore di pochi centimetri. Intercalate a questi litotipi si ritrovano anche dei livelli di calcareniti più o meno cementate.

Sono depositi irregolari che presentano segni di stratificazione incrociata e sono quasi privi di macrofossili.

Sabbie fini limo-argillose grigio-nerastre e con una percentuale limosa maggiore verso il basso (talvolta presentano livelli ricchi di macrofossili), costituiscono il termine di passaggio con le marne argillose presenti in profondità.

Sia le sabbie che le marne possono essere sostituite parzialmente o totalmente (in eteropia di facies), da calcareniti ed arenarie ben cementate.

**La formazione delle Calcareniti del Salento (Q/P) occupa per intero l'area rilevata.** E' rappresentata da depositi molto eterogenei, con granulometria e colore variabile,

rappresentati da calcareniti cementate in modo irregolare e che raramente si presentano stratificate. Di colore in genere nocciola-giallastro si associano spesso a sabbioni calcarei parzialmente cementati ed a stratificazione indistinta.

Tali sedimenti nella facies carbonatica, sono definiti in modo improprio "tufi" e di essi non è possibile fare, in base ai caratteri litologici, alcuna distinzione cartografabile. Nella facies calcarenitica, è possibile distinguere due livelli che talvolta sono separati dalla Formazione di Gallipoli.

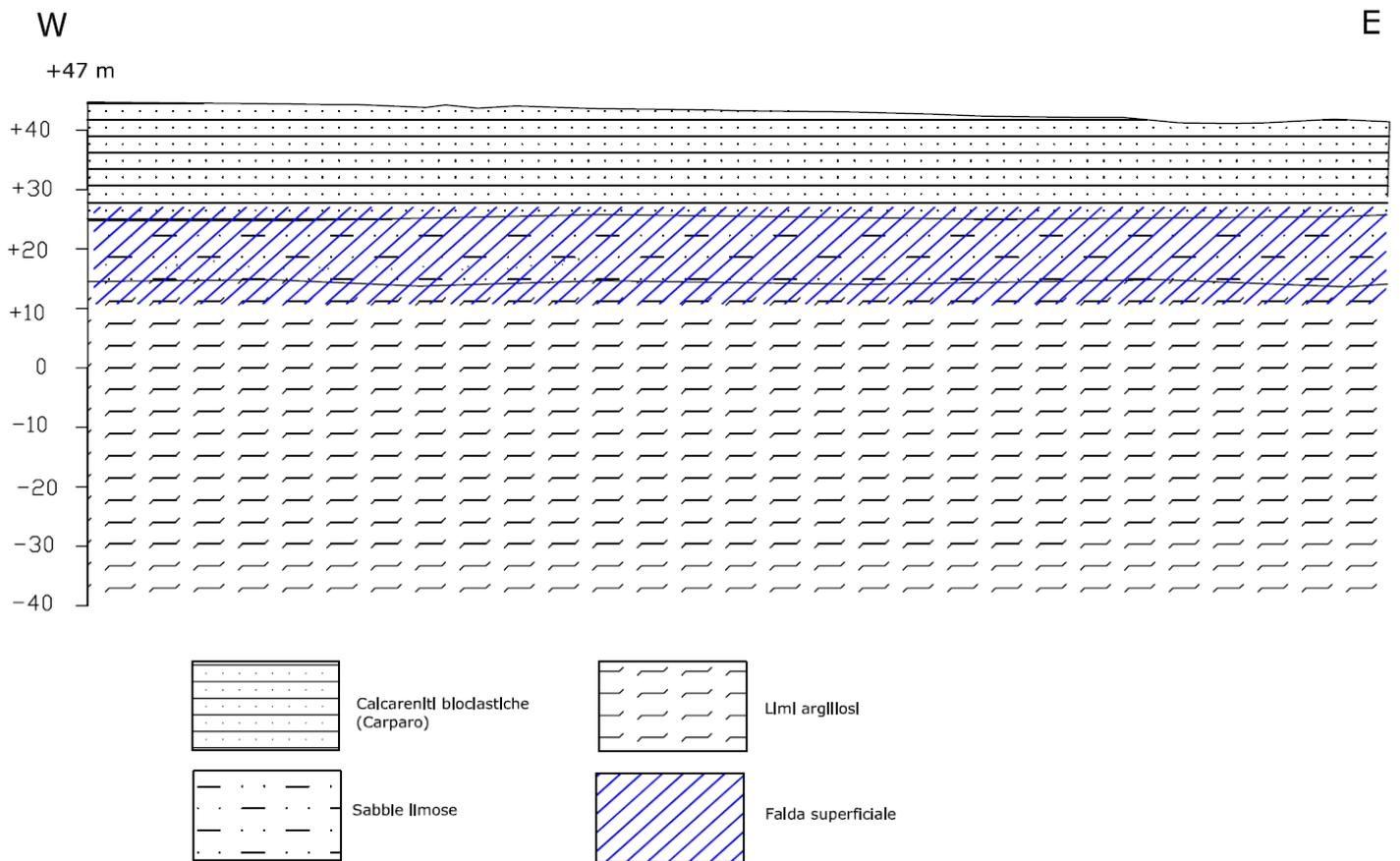
Tali livelli non sono delimitabili sul terreno mancando una esposizione della parte marnoso-argillosa.

Gli affioramenti calcarenitici sono di modesta estensione e poiché l'unità ha litotipi con caratteri che si alternano in modo irregolare è difficile riconoscere l'esatta posizione stratigrafica dei singoli lembi.

**I sedimenti ascritti alle Calcareniti del Salento ed alla Formazione di Gallipoli, sono parzialmente coevi per cui nella zona esistono delle eteropie con passaggi laterali da una unità all'altra, il banco calcarenitico mostra spessori al più di qualche metro, nel centro e più ad Ovest dell'abitato di Gallipoli, si contrappone uno spessore dello stesso che raggiunge spessori di 20 m spostandosi più ad Est, e quindi nella cava rilevata, a queste calcareniti in tutti i casi segue una successione di sabbie prima e poi limi e limi argillosi grigio-azzurri con spessori che superano anche i 100 m.**

Il rapporto stratigrafico di questa formazione con quella più antica sottostante: Calcari di Melissano (C<sup>11-7</sup>), è discordante e tra esse esiste una grossa lacuna stratigrafica. La formazione cretacea è rappresentata da calcari bianchi e nocciola a frattura irregolare, talora porcellanacei e di colore più chiaro. Verso il basso della serie sono presenti calcari dolomitici più scuri e dolomie calcaree vacuolari nocciola.

Tav. 3 Sezione geologica ed idrogeologica



Tav. 4 TRACCIA DELLE SEZIONI E DEI FRONTI OGGETTO DI VERIFICA



### **3 · IDROGEOLOGIA**

Come precedentemente accennato, nella zona manca un ben definito reticolo idrografico.

Tuttavia, ad una mancanza di acque superficiali fa riscontro, in profondità, la presenza di una cospicua falda idrica, ospitata in pressione all'interno del complesso cretaceo, e denominata falda profonda.

#### **3.1 Acque superficiali**

Non si riscontrano nella zona rilevata elementi idrologici superficiali di una certa importanza, limitandosi gli stessi ad alcune lievi e brevi incisioni, formatesi in periodi molto più piovosi dell'attuale e ora attive soltanto in occasione di precipitazioni particolarmente intense.

#### **3.2 Falde superficiali**

La presenza di livelli permeabili della formazione superficiale, e considerando e la successione stratigrafica caratterizzata da litotipi poco permeabili e/o impermeabili più in profondità, permette l'instaurarsi di una falda "superficiale" effimera il cui livello statico sia atteso a circa -25 m di profondità dal piano campagna aumentando quindi la produttività della falda in periodi in cui le occorrenze pluviometriche si intensificano, e di conseguenza potendola considerare di fatto una falda sospesa.

#### **3.3 Falda profonda**

La fitta rete di fessure e cavità che interessa invece l'ammasso cretaceo, fa sì che al suo interno possa aversi circolazione idrica.

Tale falda viene alimentata tramite le infiltrazioni dalla superficie di acque piovane e trova il suo naturale equilibrio attraverso gli sversamenti che avvengono in corrispondenza della linea di costa, dove le acque arrivano in virtù di un gradiente idraulico diretto dalle zone interne verso la costa.

Il livello di base su cui tale circolazione si esplica, è rappresentato dalla superficie delle acque marine di invasione continentale sulle quali l'acqua dolce di falda galleggia grazie alla sua minore densità.

I rapporti tra i due tipi di acque sono regolati dalla legge di Ghyben-Herzberg; essa lega lo spessore della parte dolce di acquifero al carico piezometrico; in forma

semplificata ma più che sufficientemente approssimata si ha:

$$H = [\rho_f / (\rho_m - \rho_f)] * h$$

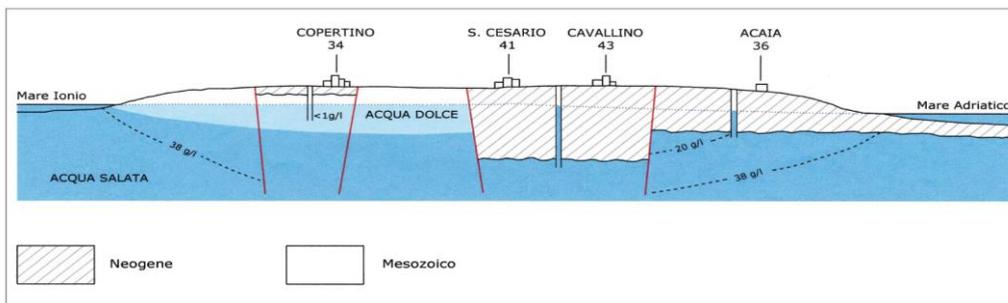
dove:

H = Profondità dell'interfaccia;

$\rho_f$  = Densità dell'acqua dolce ( ~1.000 g/cm<sup>3</sup>);

$\rho_m$  = Densità dell'acqua marina ( ~ 1.027g/cm<sup>3</sup>);

h = Livello statico.



*Sezione idrologica schematica della Penisola Salentina.*

In questo caso, la falda profonda carbonatica mesozoica risulta in pressione, poiché tali calcari, presenti a profondità superiori a 100m sono sormontati da una successione di argille e/o limi-argillosi, poco o per nulla permeabili.

### **3.4 Caratteri di permeabilità**

Sulla base delle caratteristiche litologiche osservate ed in precedenza descritte, è possibile valutare la permeabilità media delle formazioni presenti nel territorio studiato ed operare una prima distinzione in:

- *formazioni permeabili per porosità;*
- *formazioni permeabili per fratturazione e carsismo;*

#### **3.4.1 Formazioni permeabili per porosità**

**Appartengono a questa categoria i sedimenti a grana grossa, media e medio fine, e cioè le sabbie e le calcareniti presenti nell'area. Il valore del coefficiente di permeabilità (k) è dell'ordine dei  $10^{-5}$  m/s per le sabbie e  $10^{-4}$  m/s per le calcareniti.**

A queste seguono in profondità litotipi con percentuali argillose piuttosto elevate caratterizzando i sedimenti con una permeabilità decisamente bassa ( $10^{-7} \div 10^{-8}$  m/s)

#### **3.4.2 Formazioni permeabili per fratturazione e carsismo**

Questo tipo di permeabilità è in genere caratteristica dei litotipi calcarei, il coefficiente di permeabilità viene valutato mediamente intorno ai  $10^{-4}$  m/s ma può risultare più elevato in particolari zone ad elevato grado di carsificazione.

#### 4. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA

Nel valutare il comportamento geomeccanico di terreni lapidei (ad es. le calcareniti presenti nell'area di progetto), a differenza di quanto accade per un terreno sciolto (sabbie, limi, argille) occorre tenere presenti una serie di problematiche legate alla non corrispondenza tra le proprietà fisico-meccaniche che la roccia possiede quando viene considerata a livello di campione di laboratorio e quelle invece che caratterizzano l'ammasso roccioso nel suo complesso. La *meccanica delle rocce*, quindi, risulta assai più complessa e più difficilmente determinabile compiutamente rispetto alla *meccanica delle terre* la quale è retta da formule che conducono a risultati ben precisi una volta che siano noti i parametri geotecnici della terra stessa (ricavabili dalle prove di laboratorio).

Infatti a differenza di una terra, la cui assimilazione ad un mezzo omogeneo ed isotropo non è una forzatura tale da condizionarne il risultato, la resistenza di un terreno lapideo dipende solo in minima parte dalle sue caratteristiche intrinseche (densità apparente, coesione, attrito, resistenza a compressione monoassiale) quanto dalle condizioni geologico-strutturali dell'ammasso roccioso nel suo complesso e quindi è legata alla presenza di discontinuità sedimentologiche (variazioni del grado di cementazione), stratigrafiche (giunti di stratificazione), strutturali (piani di fratturazione, faglie, ecc.), nonché dall'incidenza di fattori quali lo stato di alterazione ed il grado di carsificazione.

Quest'ultimo aspetto risulta di primaria rilevanza in tutte le rocce lapidee affioranti nella nostra regione essendo esclusivamente rocce di composizione carbonatica le quali sono andate incontro per lunghi periodi di tempo a fenomeni di dissoluzione carsica (calcarei) e paracarsica (calcareniti).

I sistemi di classificazione si basano sull'esame degli indici di qualità ed alcuni parametri caratteristici scelti in modo da fornire un giudizio il più possibile completo sulle caratteristiche globali dell'ammasso roccioso.

La classificazione di **Bieniawski** (1973), nota come classificazione **RMR** (acronimo di *Rock Mass Rating*), tiene conto di 5 parametri relativi allo stato della roccia e dell'ammasso roccioso e di un indice di correzione il cui valore è funzione dell'orientamento delle discontinuità e del problema affrontato (gallerie, versanti o fondazioni).

I parametri sono:

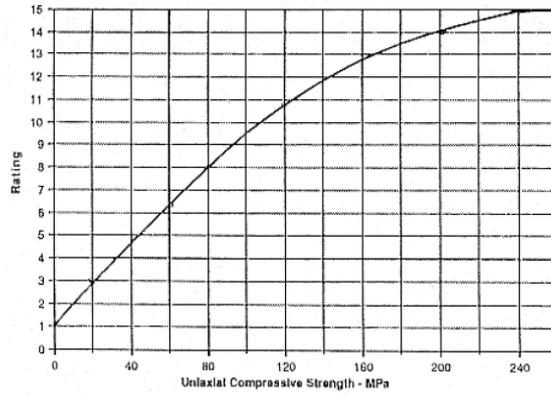
- A1: Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;
- A2: Indice di qualità RQD (Rock Quality Designation);
- A3: Spaziatura dei giunti;
- A4: Condizioni dei giunti (scabrezza, alterazione delle pareti, apertura, materiale di riempimento);
- A5: Condizioni idrauliche dei giunti;
- Ic: Indice di correzione.

Ad ogni parametro è associata una scala di valori parziali la cui somma algebrica fornisce il valore dell'indice complessivo dell'ammasso roccioso (denominato RMR), ovvero:

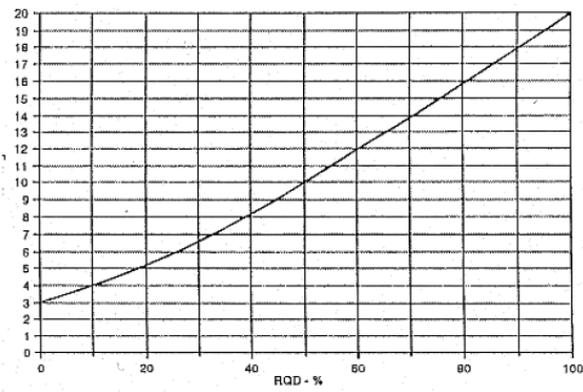
$$RMR = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) - Ic$$

La formulazione originaria del metodo di classificazione di Bieniawski (1973), ha subito diverse modifiche, integrazioni ed aggiornamenti, che hanno portato alla definizione di varie versioni, di cui le più usate sono quelle del 1976, del 1979 e del 1989. Nel presente studio è stata adottata la versione più recente, ovvero quella del 1989.

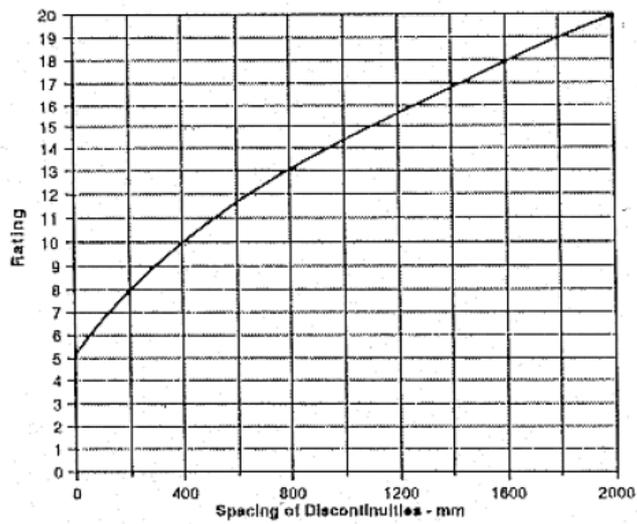
Per classificare l'ammasso roccioso in esame si è fatto quindi riferimento ai grafici ed alle tabelle relative al metodo RMR 89, che, per chiarezza e completezza di trattazione, sono state di seguito allegate.



Parametro A1



Parametro A2



Parametro A3

Parametro A4

PARAMETRI	INTERVALLI DI VALORI				
Lunghezza giunto	<1m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m
Indice	6	4	2	1	0
Apertura giunto	Chiuso	<0,1 mm	0,1-1 mm	1-5 mm	>5 mm
Indice	6	5	4	1	0
Rugosità giunto	Molto rugoso	Rugoso	Leggerm. rugoso	Liscio	Laminato
Indice	6	5	3	1	0
Riempimento	Nessuno	Compatto<5mm	Compatto>5mm	Molle<5mm	Molle>5mm
Indice	6	4	2	2	0
Alterazione giunti	Non alterati	Legg. alterati	Mediam alterati	Molto alterati	Decomposti
Indice	6	5	3	1	0

Parametro A5

5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10m di lunghezza del tunnel (litri/min)	Assente	<10	10-25	25-125	>125
		Rapporto Pressione acqua nei giunti/Pressione naturale in sito	0	<0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	>0,5
		Condizioni generali	Giunti asciutti	Umidi	Bagnati	Stillicidio	Venute d'acqua
		Indice	15	10	7	4	0

Indice di correzione Ic

Orientamento dei giunti	Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavorevole	Molto sfavorevole
Gallerie e miniere	0	-2	-5	-10	-12
Fondazioni	0	-2	-5	-15	-25
Versanti	0	-5	-7	-50	-60

Classificazione dell'ammasso roccioso: Indice RMR

RMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
CLASSE	V	IV	III	II	I
QUALITA'	Molto scadente	Scadente	Discreta	Buona	Ottima

Nel caso specifico, alla luce del rilievo geologico-strutturale effettuato lungo le pareti, si evince che sono rari sia i giunti di stratificazione che i piani di fessurazione.

- A1 = 1 (avendo assunto prudenzialmente il valore più basso di quelli normalmente misurati, ovvero ~ 5 MPa);
- A2 = 12 (in quanto i valori medi di RQD si possono considerarsi attorno al 40%);
- A3 = 20 (le discontinuità hanno una spaziatura superiore a 2,0 m);
- A4 = 16 (giunti lunghi, con apertura tra 1÷5 mm, leggermente rugosi, con eventuali riempimenti di terre rosse e mediamente alterati);
- A5 = 15 (giunti asciutti, visto l'assenza della falda);
- Ic = -5 (correzione per versanti su roccia stratificata con condizioni di orientazione dei giunti ritenute favorevoli).

L'indice di qualità RMR attribuibile all'ammasso roccioso in esame risulta pertanto pari a:

$$RMR = (1 + 12 + 20 + 17 + 15) - 5 = 60$$

ovvero si tratta di un ammasso roccioso di III classe, di qualità "discreta".

Il parametro G.S.I. è legato all'indice BRMR dalla seguente relazione:

$$G.S.I. = BRMR - 5 = 60$$

Pertanto, nel caso specifico, il parametro G.S.I. corrisponde numericamente all'indice RMR. Tale indice di classificazione consente di ricavare i parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso in esame.

A differenza di quanto avviene con le terre sciolte, negli ammassi rocciosi la resistenza al taglio del materiale lapideo non può generalmente essere descritta con il criterio di rottura di Coulomb, poiché quest'ultimo indica una correlazione fra resistenza al taglio del materiale e pressione di confinamento di tipo lineare, mentre nelle masse rocciose tale correlazione è chiaramente e notoriamente di tipo non lineare.

A. CLASSIFICAZIONE DEI PARAMETRI E LORO INDICI									
PARAMETRI			CAMPO VALORI						
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	Per tale campo di valori è preferibile eseguire prove di compressione monoassiale		
		Compressione uniaassiale	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	INDICE	15	12	7	4	2	1	0	
2	ROD	90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%			
	INDICE	20	17	13	8	3			
3	SPAZIATURA GIUNTI	> 2 m	0.6-2 m	200-600 m	60-200 mm	< 60 mm			
	INDICE	20	15	10	8	5			
4	CONDIZIONE GIUNTI (vedi E)	Superfici molto scabre non continue Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici scabre Apertura < 1 mm Pareti roccia dura	Superfici lisce o laminate o riempimento < 5 mm o apertura 1-5 mm Giunti continui	Riempimento tenero spessore > 5 mm o giunti aperti > 5 mm Giunti continui			
	INDICE	30	25	20	10	0			
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10m lunghezza tunnel (l/m)	Assente	<10	10-25	25-125	>125		
		Pressione acqua nei giunti Rapp. $\frac{p}{\sigma_{sol, nat.}}$ in situ	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Condizioni generali	Completamente asciutto	Umido	Molto umido	Stillicidio	Severi problemi idraulici		
	INDICE	15	10	7	4	0			
B. FATTORI CORRETTIVI IN FUNZIONE DELL'ORIENTAMENTO DEI GIUNTI (vedi F)									
Direzione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavorevole	Molto sfavorevole			
INDICI	Gallerie e miniere	0	-2	-5	-10	-12			
	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25			
	Pendii	0	-5	-25	-50				
C. CLASSI DI AMMASSO ROCCIOSO SULLA BASE DELLA SOMMA DEGLI INDICI									
Indice RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	<21				
Classe	I	II	III	IV	V				
Descrizione	Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente				
D. SIGNIFICATO DELLE CLASSI DI AMMASSO									
Classe	I	II	III	IV	V				
Tempo di autosostegno	20 anni per una lunghezza libera dello scavo L=15m	1 anno per L=10m	1 sett. per L=5	10 ore per L=2.5m	30 minuti per L=1m				
Coesione dell'ammasso roccioso (KPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100				
Angolo di attrito dell'ammasso roccioso (°)	> 45	35-45	25-35	15-25	< 15				
E. LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE DISCONTINUITÀ									
Lunghezza delle discontinuità (persistenza) Indici	< 1 m 6	1-3 m 4	3-10 m 2	10-20 m 1	> 20 m 0				
Separazione (apertura) Indici	Nessuno 6	< 0,1 mm 5	0,1-1,0 mm 4	1-5 mm 1	> 5 mm 0				
Scabrezza Indici	Molto scabro 6	Scabro 5	Leggermente scabro 3	Liscie 1	Liscie o laminate 0				
Riempimento Indici	Nessuno 6	Compatto < 5 mm 4	Compatto > 5 mm 2	Tenero < 5 mm 2	Tenero > 5 mm 0				
Alterazione Indici	Non alterato 6	Leggeram. alterato 5	Moderatam. alterato 3	Altamente alterato 1	Decomposto 0				
F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITÀ SULLA STABILITÀ DI UNA GALLERIA									
Perpendicolare all'asse della galleria					Parallelo all'asse della galleria				
Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45 - 90°		Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20 - 45°			Inclinazione 45 - 90°		Inclinazione 20 - 45°		
Molto favorevole		Favorevole			Molto favorevole		Discreta		
Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 45 - 90°		Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione delle discontinuità 20 - 45°			Inclinazione 0 - 20° a prescindere dallo strike				
Discreto		Sfavorevole			Discreta				

**CLASSIFICAZIONE DI BIENIAWSKI RMR '79-'89**

#### 4.1 Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso (metodo di Hoek-Brown e metodo equivalente di Mohr-Coulomb)

Il criterio di rottura secondo Hoek e Brown fu proposto dagli autori nel 1980; la formulazione teorica originaria ha poi subito numerose modifiche ed aggiornamenti, l'ultimo dei quali risale al 2002.

A partire dai valori di compressione uniassiale ( $\sigma_{ci}$ ) e delle costanti  $m_i$  (costante del litotipo considerato e  $GSI$  (geological strength index), è stato possibile calcolare mediante software, i parametri dell'ammasso roccioso in situ con il metodo di Hoek-Brown comparato con quello di Mohr-Coulomb per gli scavi in roccia.

L'equazione generalizzata è espressa dalla (1):

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci} \left( m_b \frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s \right)^a \quad (1)$$

dove:

$\sigma_1'$ ;  $\sigma_3'$  = tensione di rottura secondo l'asse maggiore e minore

$\sigma_{ci}$ ; è il valore della resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;

$s$ ;  $a$ , costanti dell'ammasso roccioso

$m_b$  = valore ridotto della costante  $m_i$  caratteristica della roccia intatta, il cui valore è dato da :

$$m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI - 100}{28 - 14D}\right)$$

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9 - 3D}\right)$$

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \left( e^{-GSI/15} - e^{-20/3} \right)$$

$D$ , grado di disturbo dovuto alla tensione subita (=0 per ammassi rocciosi indisturbati;

=1 per quelli estremamente alterati).

$GSI$  = Geological Strength Index per l'ammasso roccioso

La resistenza a compressione uniassiale è ottenuta dalla (1) ponendo  $\sigma_3' = 0$

$$\sigma_c = \sigma_{ci} \cdot s^a \quad (2)$$

Mentre la resistenza a trazione risulta:

$$\sigma_t = \frac{s\sigma_{ci}}{m_b} \text{ ottenuta ponendo nella (1) } \sigma_1' = \sigma_3' = \sigma_t$$

La resistenza dell'ammasso roccioso viene quindi stimata attraverso la relazione di Mohr-Coulomb:

$$\sigma_{cm}' = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'}$$

$$\phi' = \sin^{-1} \left[ \frac{6am_b(s + m_b\sigma_{3n}')^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma_{3n}')^{a-1}} \right]$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci} \left[ (1+2a)s + (1-a)m_b\sigma_{3n}' \right] (s + m_b\sigma_{3n}')^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + (6am_b(s + m_b\sigma_{3n}')^{a-1}) / ((1+a)(2+a))}}$$

Poiché il criterio di Hoek e Brown esprime una curva di tipo non lineare, i valori di coesione e angolo di resistenza al taglio variano in funzione dello sforzo normale efficace ( $\sigma_n$ ) agente.

I valori di  $c'$  e  $\phi'$  si possono quindi ottenere solo attraverso lo sviluppo di una tecnica numerica per la soluzione in forma implicita.

Il software *RocLab*, utilizzato per il calcolo, è un programma di geomeccanica che richiede in input alcuni parametri caratteristici dell'ammasso roccioso indagato e, attraverso una correlazione tra i criteri di rottura di Hoek-Brown e di Mohr-Coulomb, restituisce i valori dei parametri che esprimono e quantificano il grado di resistenza e deformabilità dello stesso ammasso roccioso.

I parametri richiesti in entrata sono:

- resistenza a compressione monoassiale della roccia di cui è costituito l'ammasso roccioso (in MPa): nel caso specifico utilizzeremo i dati ricavati dalle prove di schiacciamento mediante point-load test;
- costante di Hoek-Brown per la roccia intatta (tabulati per i vari tipi di roccia nel data-base interno del programma);
- indice G.S.I.: nel caso specifico è stato ricavato mediante la modellazione geologica, cfr. paragrafo precedente;
- indice di disturbo D (tiene conto degli effetti di disturbo indotti dalle attività di scavo e sbancamento).

Effettuata l'elaborazione dei dati e ricavati gli involucri a rottura di Hoek-Brown e di Mohr-Coulomb (in termini di sforzi principali e di sforzi normali e di taglio), il software restituisce i valori dei seguenti parametri geomeccanici, tutti riferiti all'ammasso

roccioso:

- costanti di Hoek-Brown;
- coesione;
- angolo d'attrito;
- resistenza a trazione;
- resistenza a compressione monoassiale;
- resistenza a compressione globale;
- modulo di deformazione.

Per quanto riguarda l'ammasso roccioso presente nel sottosuolo del sito di progetto, alla luce del modello geologico locale e dei risultati delle prove sono stati inseriti i seguenti dati di input:

resistenza a compressione monoassiale → 5 MPa (1000 kg/cmq.);

costante di Hoek-Brown per roccia intatta →  $m_i = 21$  (valore assegnato alle rocce aventi la composizione litologica e la struttura dei calcari);

indice GSI → 60 (calcolato precedentemente mediante la classificazione di Bieniawski);

indice di disturbo  $D = 0,5$  (in quanto le operazioni di scavo avverranno con mezzi meccanici senza l'impiego di esplosivo).

I risultati dell'elaborazione eseguita dal programma RocLab, sono illustrati e riassunti nei grafici allegati

**Si precisa che tali valori si riferiscono all'ammasso roccioso nel suo complesso,**

ovvero tengono conto di tutti quei fattori (fratturazione, stratificazione, variazioni del grado di cementazione, discontinuità sinsedimentarie, disuniformità litologiche, ecc..) che concorrono a rendere le caratteristiche di resistenza globali delle masse rocciose in posto molto inferiori a quelle (di picco) misurate in laboratorio su campioni di piccole dimensioni.

Pick GSI Value		SURFACE CONDITIONS				
Rock Type: <input type="text" value="General"/>		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
GSI Selection: <input type="text" value="60"/> <input type="button" value="OK"/>		DECREASING SURFACE QUALITY →				
STRUCTURE		DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES ↓				
	INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
	BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
	VERY BLOCKY- interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60	50		
	BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40	30	
	DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				20	
	LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			10

**VALORI DI GSI**

Pick Mi Value ✕

List of Mi Values

Agglomerate	19 ± 3
Amphibolites	26 ± 6
Andesite	25 ± 5
Anhydrite	12 ± 2
Basalt	25 ± 5
Breccia	19 ± 5
Breccias	20 ± 2
Chalk	7 ± 2
Claystones	4 ± 2
Conglomerates	21 ± 3
Crystalline Limestone	12 ± 3
Dacite	25 ± 3
Diabase	15 ± 5
Diorite	25 ± 5
Dolerite	16 ± 5
Dolomite	9 ± 2

Selected Mi Value \_\_\_\_\_

Mi Value:

Filter List

Rock Type
 

- Sedimentary
- Igneous
- Metamorphic

Texture
 

- Coarse
- Medium
- Fine
- Very Fine

**INDICE  $M_i$**

Disturbance Factor D ✕

Application:  Tunnels  Slopes





Excellent quality controlled blasting or excavation by Tunnel Boring Machine results in minimal disturbance to the confined rock mass surrounding a tunnel.

Mechanical or hand excavation in poor quality rock masses (no blasting) results in minimal disturbance to the surrounding rock mass.

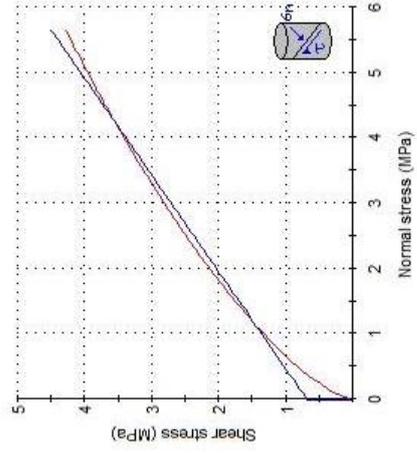
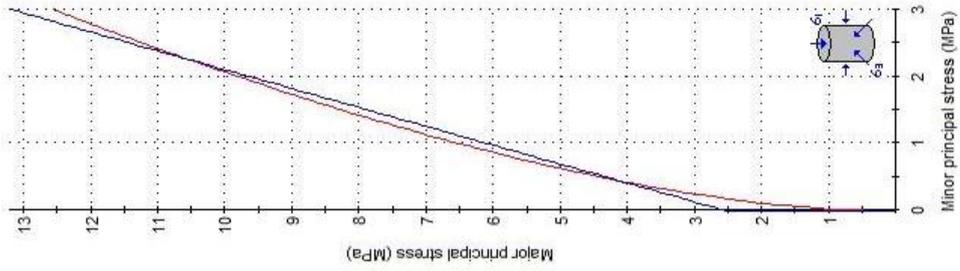
Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.

Very poor quality blasting in a hard rock tunnel results in severe local damage, extending 2 or 3 m, in the surrounding rock mass.

Disturbance Factor:

**FATTORE DI DISTURBO**

Analysis of Rock Strength using RocLab



**Hoek-Brown Classification**  
intact uniaxial compressive strength = 12 MPa  
GSI = 60     $m_i = 17$     Disturbance factor = 0.5

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b = 2.531$      $s = 0.0048$      $a = 0.503$

**Mohr-Coulomb Fit**  
cohesion = 0.688 MPa    friction angle = 34.01 deg

**Rock Mass Parameters**  
tensile strength = -0.023 MPa  
uniaxial compressive strength = 0.821 MPa  
global strength = 2.588 MPa  
modulus of deformation = 4620.11 MPa

## 4.2 SCLEROMETRO

Nel completamento dell'indagine, è stato effettuato un rilievo geomeccanico sul fronte delle pareti esposte dallo scavo realizzato per una profondità di circa 3,0 m.

Si è tenuto conto dei risultati ottenuti utilizzando un martello di Schmidt (sclerometro) modello L (per roccia) con energia di impatto pari a 0,075 kgm, al fine di valutare l'indice di durezza delle pareti esposte, e quindi la corrispondente resistenza a compressione uniassiale della roccia in situ.

Dalle numerose prove eseguite sui fronti, si è ottenuto il valore di durezza statisticamente più significativo ed in seguito, mediante le relazioni riportate in letteratura (di seguito riportate), si è determinata la resistenza a compressione uniassiale dell'ammasso roccioso.

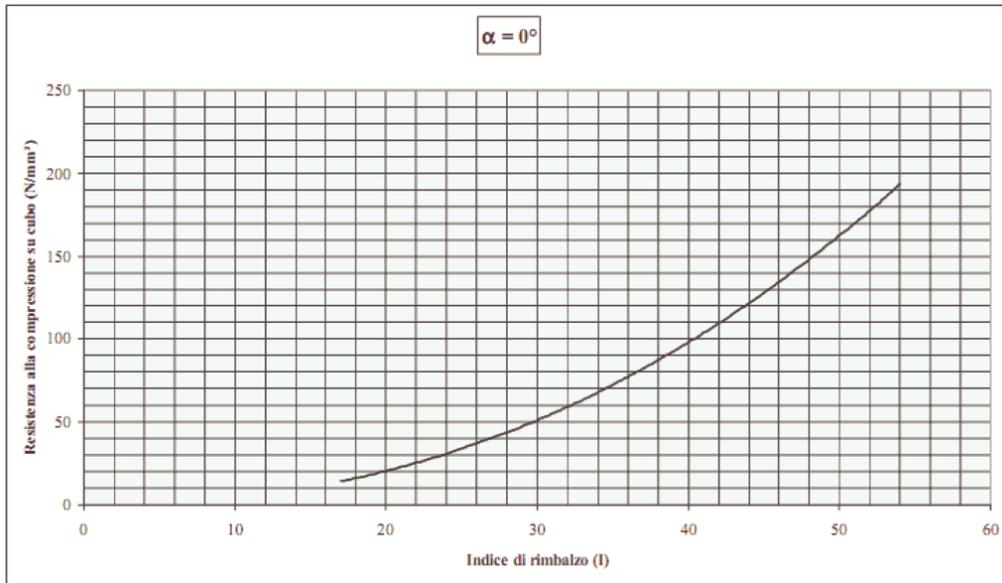
Il valore R, letto sullo strumento dopo il rimbalzo dovrebbe essere sempre corretto in funzione dell'angolo formato dallo strumento con l'orizzontale al momento della prova.

Barton e Choubey (1977) suggeriscono di normalizzare la lettura rispetto alla posizione dello sclerometro secondo la seguente tabella:

Rimbalzo	Verso il basso		Verso l'alto		Orizzontale
	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	$\alpha = 90^\circ$	$\alpha = 45^\circ$	
R					$\alpha = 0^\circ$
10	0	-0,8	/	/	-3,2
20	0	-0,9	-8,8	-6,9	-3,4
30	0	-0,8	-7,8	-6,2	-3,1
40	0	-0,7	-6,6	-5,3	-2,7
50	0	-0,6	-5,3	-4,3	-2,2
60	0	-0,4	-4,0	-3,3	-1,7

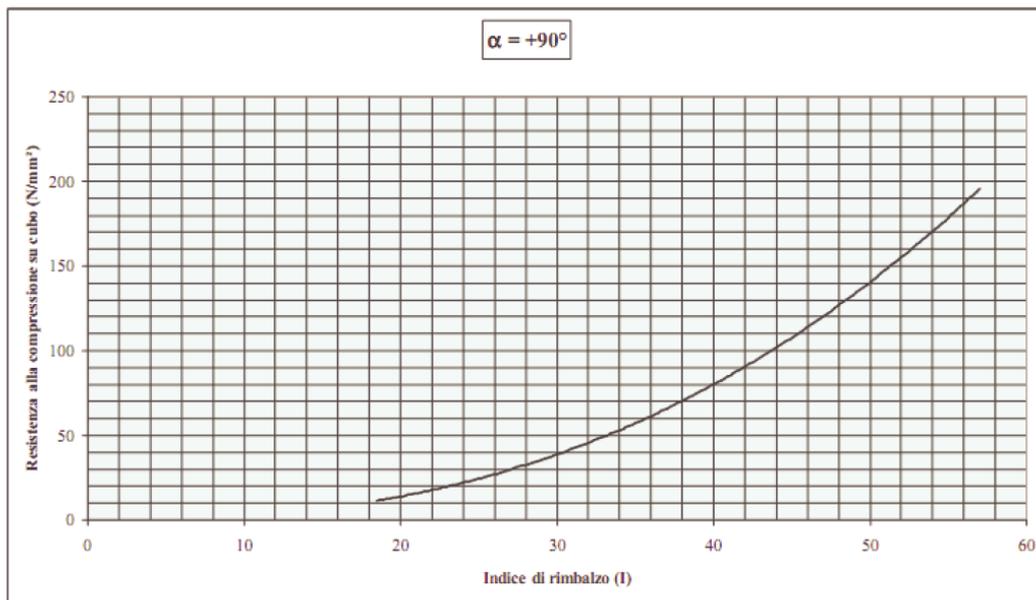
### Curva Correlazione

Indice Rimbalzo (IRBm) — Resistenza Compressione (MpA - N/mm<sup>2</sup>)



### Curva Correlazione

Indice Rimbalzo (IRBm) — Resistenza Compressione (MpA - N/mm<sup>2</sup>)



Il valore medio delle misurazioni effettuate sulle pareti di cava esposti ha dato i seguenti valori:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \text{ (media) } = 20$$

La correlazione di generale utilizzo è quella proposta da Miller (1965) in cui il valore di  $\sigma_c$  è correlato all'indice di rimbalzo R e alla densità della roccia:

$$\text{Log}(\sigma_c) = 0,00088 \cdot \gamma \cdot R + 1,01 \quad (1)$$

A causa della sovrastima del valore di resistenza a compressione, nella formula di Miller è consigliabile utilizzare la (2) per ottenere una minimizzazione dell'errore:

$$\sigma_c = 0,1146 \cdot R^{1,687} \quad (2)$$

A partire da un valore conservativo di R = 16

Si perviene a

$$\sigma_c \approx 12 \text{ MPa.}$$

Tale valore di resistenza a compressione si rivela in perfetto accordo con i dati in possesso dello scrivente e riferiti a prove al Point Load Test eseguite su litotipi della stessa formazione geologica.

Una delle classificazioni delle rocce sulla base della resistenza e di uso generalizzato, è quella proposta dall'*International Society for Rock Mechanics* di seguito riportata:

Valore di $\sigma_c$ (MPa)	Descrizione
1-5	Molto bassa
5-25	Bassa
25-50	Moderatamente bassa
50-100	Mediamente alta
100-250	Alta
> 250	Molto alta

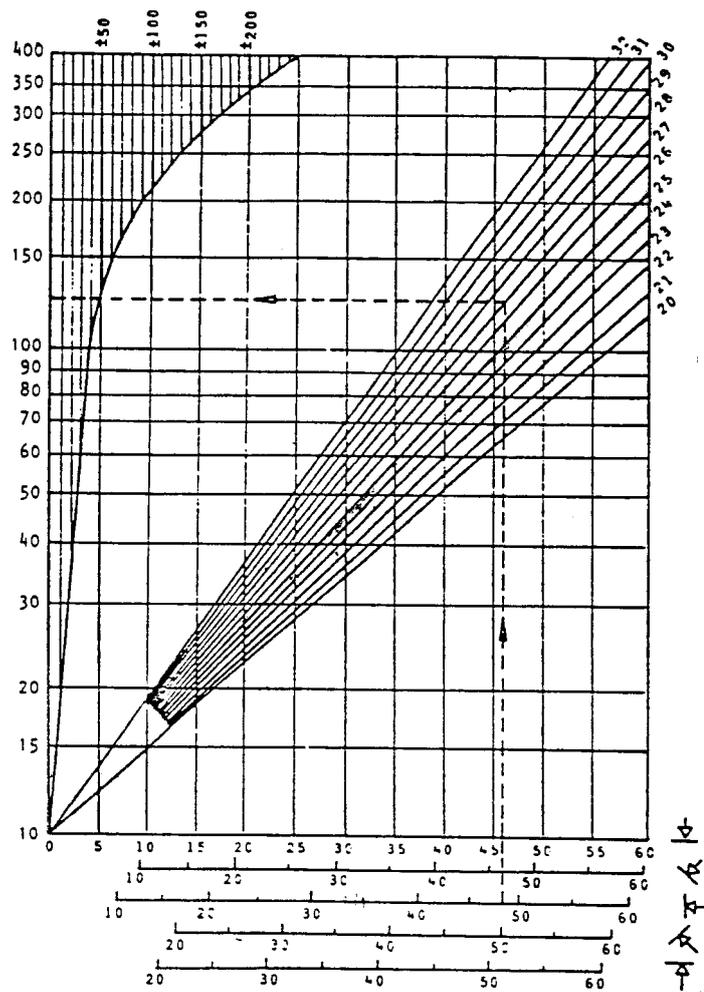


Fig. 1 – In ordinata è riportata la resistenza a compressione monoassiale in MPa; in ascissa le diverse scale dei coeff. di durezza in relazione all'orientamento dato al martello durante la prova. Le rette che correlano la durezza con la resistenza a compressione dipendono dal peso specifico della roccia, espresso in  $\text{KN/m}^3$  (Hoek e Bray, 1981)



### **4.3 ORIENTAZIONE DEI PIANI DI DISCONTINUITÀ NELLO SPAZIO (PROIEZIONI CICLOGRAFICHE)**

Il rilevamento delle caratteristiche geometriche e meccaniche delle discontinuità che interessano un ammasso roccioso può essere agevolmente eseguito utilizzando il metodo della scanline, messo a punto per ottenere il maggior numero di parametri geomeccanici direttamente con un rilievo in situ.

Si opera, materializzando una o più scanlines, lungo la quale si effettua un rilievo sistematico dei parametri geometrici e meccanici delle discontinuità di natura tettonica e stratigrafica intercettate dalla stessa linea.

L'orientazione di rette e piani nello spazio rappresentata su di un piano mediante proiezione stereografica

La scelta del reticolo equatoriale o polare è fatta in funzione della tipologia di rappresentazione più idonea: quella equatoriale come nel nostro caso, è stata preferita avendo tracciato le ciclografiche per la determinazione delle giaciture delle discontinuità e per la verifiche grafiche di stabilità di blocchi o cunei di roccia.

**Dalle proiezioni di seguito riportate, le giaciture dei sistemi di frattura rilevati sui fronti di cava non evidenziano poliedri isolati tali da innescare meccanismi di traslazione rototraslazione e/o gravitativi.**



## 5 · PERICOLOSITA' SISMICA DELL'AREA

Il territorio salentino è caratterizzato da una pericolosità sismica piuttosto bassa, mentre è più elevata nell'area garganica (figg. 1;2). La pericolosità sismica del territorio salentino ha una duplice origine: deriva infatti dalla presenza di zone sismogenetiche poco lontane (Appennino meridionale) e quindi da sorgenti, potenzialmente in grado di scatenare attività sismica oltre la soglia del danno, all'interno della stessa regione (area garganica), oltre all'area sismogenetica attiva dell'arco ellenico a SE.

Pertanto, si osserva che la maggior parte dei terremoti in Puglia si verificano nell'area garganica e nelle zone più interne in prossimità della Catena Appenninica meridionale (Fig.3).

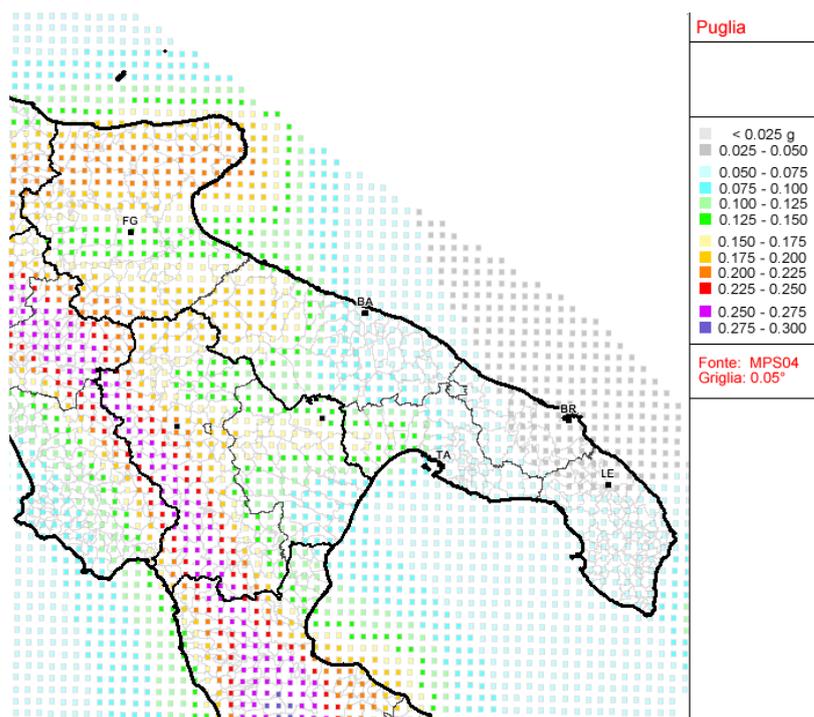


Fig.1 Pericolosità sismica regionale



### Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All. 1b)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo

con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)

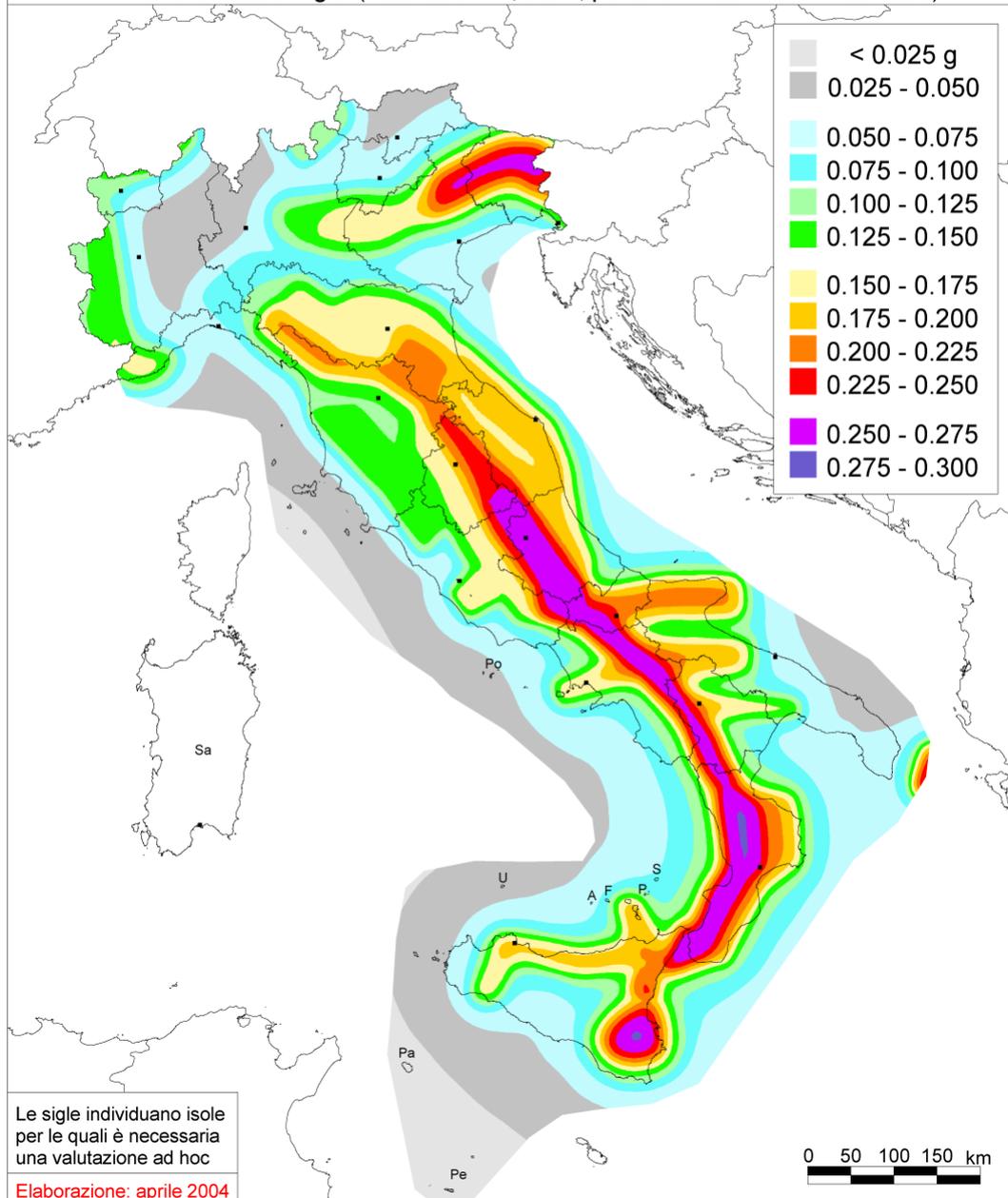


Fig.2 Mapa della pericolosità sismica

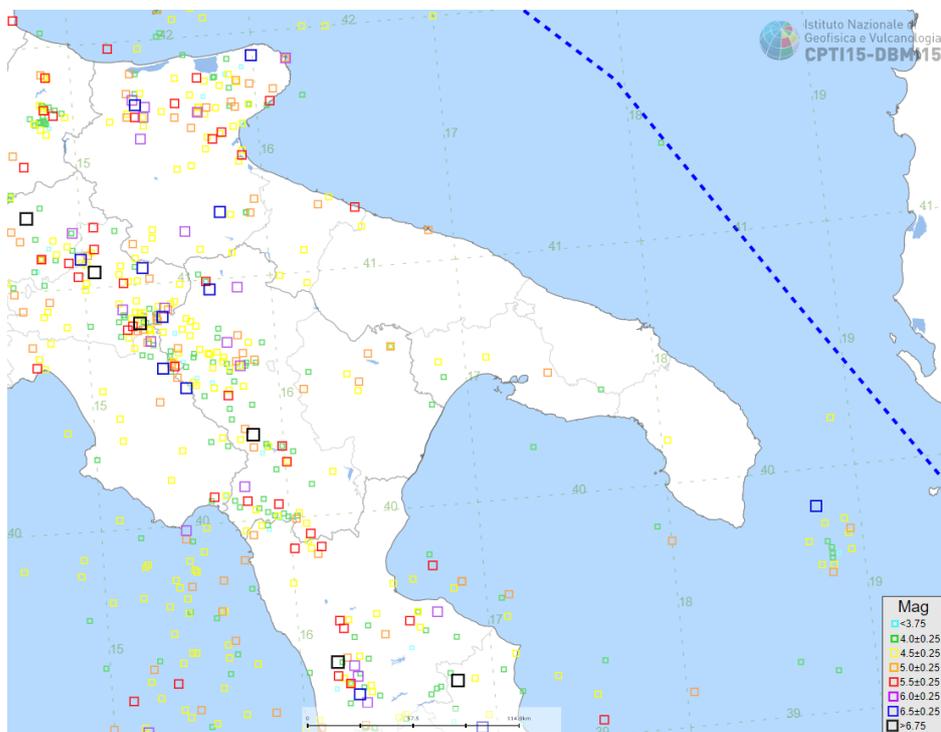
## 6 · SISMICITA' STORICA

La caratterizzazione della sismicità di un territorio richiede, in primo luogo, una approfondita e dettagliata valutazione della storia sismica, definita attraverso l'analisi di evidenze storiche e dati strumentali riportati nei cataloghi ufficiali.

La sismicità storica dell'area interessata dall'opera in progetto è stata analizzata consultando i cataloghi più aggiornati, considerando un intervallo temporale dal passato all'attuale.

In particolare, sono stati consultati i seguenti database:

- ✓ *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15)*, redatto dal Gruppo di lavoro CPTI 2015 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).



**Fig.3** *Mappa con la localizzazione degli eventi sismici storici avvenuti in Puglia (fonte: catalogo parametrico dei terremoti italiani CPTI15, INGV)*

Questo catalogo riporta dati parametrici omogenei, sia macrosismici che strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima ( $I_{max}$ )  $\geq 5$  o con magnitudo ( $M_w$ )  $\geq 4.0$  d'interesse relativi al territorio italiano.

- ✓ *DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15)*, realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Questo catalogo riporta un set omogeneo di dati di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti e relativo ai terremoti con intensità massima ( $I_{max}$ )  $\geq 5$  avvenuti nel territorio nazionale e in alcuni paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

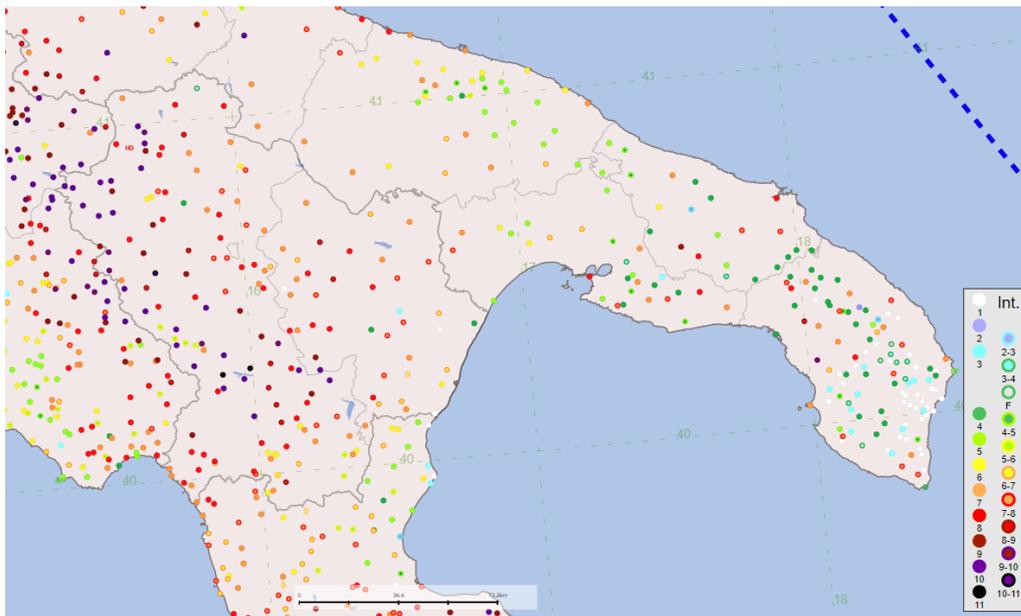
La finestra cronologica coperta dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15 va dall'anno 1000 d.C. circa a tutto il 2014 d.C., ed offre per ogni terremoto una stima il più possibile omogenea della localizzazione epicentrale (Latitudine, Longitudine), dei valori di Intensità massima ed epicentrale, della magnitudo momento e della magnitudo calcolata dalle onde superficiali.

Per la compilazione del CPTI15 sono stati ritenuti di interesse solo i terremoti avvenuti in Italia e quelli che, pur essendo stati localizzati in aree limitrofe, potrebbero essere stati risentiti con intensità significativa all'interno dei confini dello stato.

In Figura 3 è mostrata una mappa delle localizzazioni dei terremoti storici presenti nel catalogo CPTI15 relativi alla regione Puglia, mentre in figura 4 è riportata una lista di tutti gli eventi sismici catalogati.

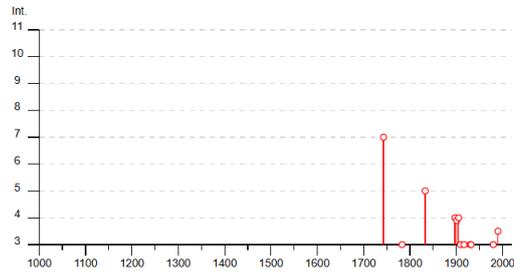
In generale, dalla consultazione di questo catalogo si evidenzia che l'area interessata dal progetto presenta una sismicità storica molto bassa.

In conclusione, la distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse del progetto, estratti dal catalogo CPTI15 (Fig. 3) e dal database DBMI15 (Fig. 4), dimostra che la zona in studio è caratterizzata da un livello di sismicità molto basso, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.



### Gallipoli

PlaceID IT\_62703  
 Coordinates (lat, lon) 40.055, 17.988  
 Municipality (ISTAT 2015) Gallipoli  
 Province Lecce  
 Region Puglia  
 No. of reported earthquakes 19



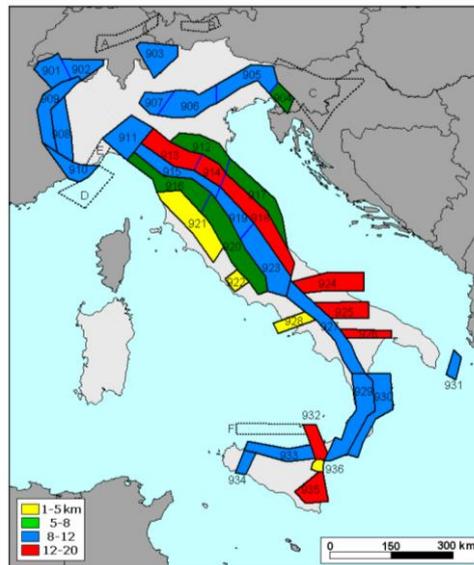
Effects	Reported earthquakes							NMDP	Io Mw
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area		
7	1743	02	20				Ionio settentrionale	84	9 6.68
3	1783	02	05	12			Calabria meridionale	356	11 7.10
5	1833	01	19	03	15		Albania	6	
NF	1897	02	11	23	33	0	Ionio meridionale	96	5 5.03
4	1897	05	28	22	40	0	Ionio	132	6 5.46
F	1901	12	13	00	10	2	Calabria	46	5 4.81
4	1905	09	08	01	43		Calabria centrale	895	10-11 6.95
3	1909	01	20	19	58		Salento	32	5 4.51
NF	1910	06	07	02	04		Irpinia-Basilicata	376	8 5.76
NF	1913	06	28	08	53	0	Calabria settentrionale	151	8 5.64
NF	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11 7.08
3	1917	06	12	18	44		Golfo di Taranto	11	4-5 5.35
3	1930	07	23	00	08		Irpinia	547	10 6.67
3	1932	03	30	09	56	2	Bassa Murgia	28	5 4.54
3	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10 6.81
NF	1988	04	13	21	28	2	Golfo di Taranto	272	6-7 4.86
3-4	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375	5.77
NF	1991	05	26	12	25	5	Potentino	597	7 5.08
NF	2006	04	17	02	44	0	Costa calabra settentrionale	135	4-5 4.76

**Fig.4 – Grafico delle intensità di sito (Is) risentite a Gallipoli (fonte INGV) (DataBase Macrosismico Italiano DBMI15)**

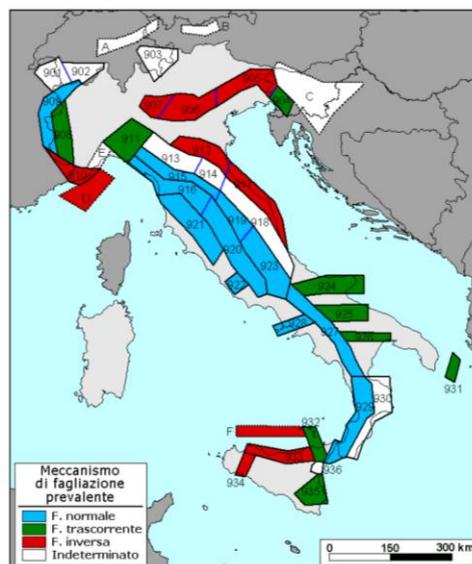
## 7 · CARATTERIZZAZIONE SISMOGENETICA

La caratterizzazione sismogenetica dell'area in studio è stata elaborata considerando la recente Zonazione Sismogenetica, denominata ZS9, prodotta dall'INGV (Meletti C. e Valensise G., 2004). Questa zonazione è considerata, nella recente letteratura scientifica, il lavoro più completo e aggiornato a livello nazionale.

Dall'analisi dei risultati riportati nella ZS9 si può evidenziare che l'area di progetto non è caratterizzata da nessuna area sorgente di particolare rilievo.



*Fig.5 – Classi di profondità efficace assegnate alle diverse zone sismogenetiche di ZS9*



*Fig.6 – Meccanismo di fagliazione prevalente atteso per le diverse zone sismogenetiche che compongono ZS9*

I criteri normativi raccomandati dalla Comunità Europea attraverso l'Eurocodice 8 propongono di garantire un definito livello di protezione rispetto a scuotimenti sismici che hanno un'elevata probabilità (90%) di non essere superati nell'arco di 50 anni. Considerando che l'azzeramento del rischio non è praticamente realizzabile, tale criterio comunitario assicura di contenere in un limite assai basso (10%) il rischio che eventi sismici possano produrre sollecitazioni superiori a quelle che le opere ingegneristiche possono sopportare.

La *fig 2* sopra riportata è lo stralcio della Carta della pericolosità sismica riferito al territorio salentino: l'area interessata dall'intervento di progetto risulta classificata come zona a bassa pericolosità sismica, espressa in termini di accelerazione massima del suolo (riferita a suoli rigidi di Cat. A così come definiti al p.to 3.2.1 del D.M. 14/09/2005) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

La Regione Puglia ha emanato la *Deliberazione di Giunta Regionale 2 marzo 2004, n. 153* con la quale ha provveduto alla prima, benché temporanea, riclassificazione sismica del territorio regionale. L'Allegato 1 di tale deliberazione classifica tutti i comuni pugliesi in 4 zone sismiche. Il territorio comunale di Corigliano d'Otranto - Soleto, al pari di quello degli altri comuni della provincia di Lecce, rientra in zona sismica 4 corrispondente al "Non Classificato" sia della precedente classificazione (Decreto sino al 1984) che della proposta di riclassificazione elaborata dal Gruppo di Lavoro appositamente costituito dalla Commissione Nazionale Grandi Rischi con risoluzione del 23.04.1997.

Sebbene la Zona Sismica 4 sia quella caratterizzata dal più basso rischio sismico, la normativa, recepita anche a livello regionale, prevede per la progettazione di alcune categorie di edifici individuati quali strategici e rilevanti ai fini della protezione civile e dell'eventuale collasso degli stessi (si veda quanto riportato nell'All. 2 della Delib. G.R n. 153 del 2 marzo 2004), di adottare le stesse norme tecniche previste per la Zona Sismica 3.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 e s.m.i. NTC 2018, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

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 di costruzione, 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 indagine sismica condotta, queste consentono di fornire un profilo verticale medio delle  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

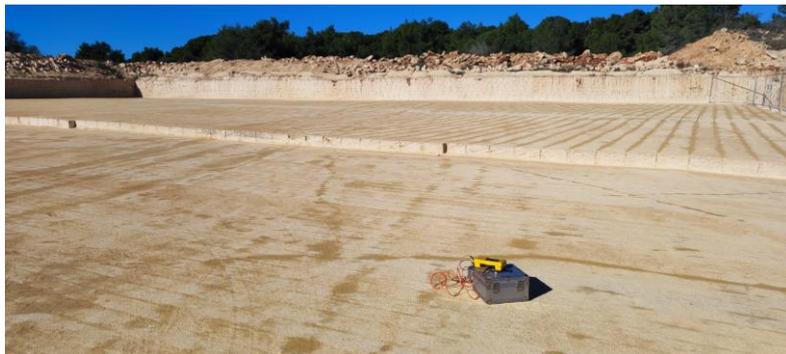
$h_i$  spessore dell'*i*-esimo strato;

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

**Per la zona indagata risulta categoria "B",  $360 < V_{s,eq} < 800$  m/s**



## 8 · PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) introducono il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

La "pericolosità sismica di base", nel seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita su un reticolo di riferimento e per diversi intervalli di riferimento (periodo di ritorno).

Il reticolo di riferimento delle NTC 2018 suddivide l'intero territorio italiano in maglie elementari di circa 10 Km per 10 Km, per un totale di 10751 nodi, definiti in termini di coordinate geografiche.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno ( $T_r$ ) considerati dalla pericolosità sismica, sono forniti tre parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto:

- ✓ **ag** accelerazione orizzontale massima attesa al bedrock con superficie topografica orizzontale;
- ✓ **Fo** valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- ✓ **Tc\*** periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (espresso in s).

Da un punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica di un sito dipende dalla posizione dell'opera rispetto ai nodi del reticolo di riferimento.

Le accelerazioni orizzontali massime attese al bedrock ( $ag$ ) non sono più valutate genericamente sulla base dell'appartenenza del comune in cui realizzare l'opera ad una zona sismica, ma sono calcolate in funzione dell'effettiva posizione geografica del sito ove sarà realizzata l'opera.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno ( $T_r$ ) considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50-esimo percentile.

Per un qualunque punto del territorio, non ricadente nei nodi del reticolo di

riferimento, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ) possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

Le NTC 2018 definiscono l'azione sismica considerando un periodo di ritorno ( $T_r$ ) che è funzione della probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale ( $P_{Vr}$ ) nel periodo di riferimento dell'opera ( $V_r$ ).

Il periodo di riferimento dell'opera ( $V_r$ ) si ottiene dal prodotto tra la Vita Nominale ( $V_n$ ), intesa come il numero di anni nel quale l'opera è utilizzata allo scopo a cui è stata destinata, e il Coefficiente d'uso ( $C_u$ ), funzione della Classe d'uso della costruzione (cfr. paragrafo 2.4.3 delle NTC 2018).

**Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale  $V_N$  di progetto per i diversi tipi di costruzioni**

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di $V_N$ (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

*Classe I:* Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

*Classe II:* Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

*Classe III:* Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

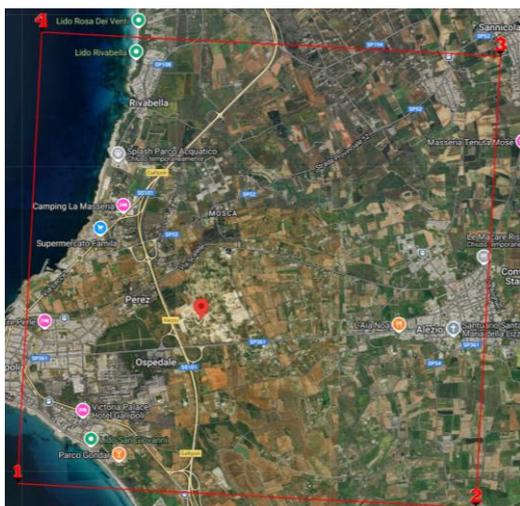
*Classe IV:* Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

**Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso  $C_U$**

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE $C_U$	0,7	1,0	1,5	2,0

Periodo di riferimento sismico

Le azioni sismiche vengono valutate mediante il "Periodo di Riferimento"  $V_r$ , ottenuto dal prodotto della vita nominale per il coefficiente d'uso di cui sopra.  $V_r = V_n \times C_u$



**SITO IN ESAME. GALLIPOLI**

latitudine: **40.061126**

longitudine: **18.021055**

Classe: **2**

Vita nominale: **50**

Siti di riferimento ID	Lat	Lon	Distanza (m)
36366	40,0440	17,9958	2994,586
36367	40,0414	18,0609	4046,429
36145	0,0913	18,0644	4865,623
36144	40,0940	17,9992	4029,084

*Coordinate dei vertici della griglia di riferimento*

**Parametri sismici**

Categoria sottosuolo: **B**

Categoria topografica: **T1**

Periodo di riferimento: **50 anni**

Coefficiente cu: **1**

Stato limite	Probabilità di superamento	Tr	ag	Fo	Tc*
SLO	81 %	30[anni]	0,016 g	2,374	0,162[s]
SLD	63%	50[anni]	0,021 g	2,359	0,231[s]
SLV	10%	475[anni]	0,054 g	2,482	0,517[s]
SLC	5%	975[anni]	0,068g	2,586	0,549[s]

*Operatività (SLO), Danno (SLD), Salvaguardia della vita (SLV), Prevenzione dal collasso (SLC), Tr = tempo di ritorno, ag = accelerazione orizzontale massima al sito, Fo = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, Tc\* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.*

Stato limite	Ss	Cc	St	Kh	Kv	Amax	Beta
SLO	1,200	1,580	1,000	0,000	0,000	0,187	0,000
SLD	1,200	1,470	1,000	0,012	0,006	0,250	0,470
SLV	1,200	1,260	1,000	0,025	0,012	0,634	0380
SLC	1,200	1,240	1,000	0,000	0,007	0,800	0,000

*Ss = Coeff. di amplificazione stratigrafica, ST = Coeff. di amplificazione topografica, Kh = coefficiente di accelerazione sismica orizzontale, Kv = coefficiente di accelerazione sismica verticale, Amax = accelerazione massima al sito*

Le probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale ( $P_{vr}$ ) nel periodo di riferimento dell'opera ( $V_r$ ) sono funzione dell'importanza dell'opera e dello stato limite considerato (cfr. § 7.1 delle NTC 2018).

Data l'importanza dell'opera ed in accordo al paragrafo 7.1 delle NTC 2008, sono stati considerati due stati limite:

- Stato Limite di Danno, **SLD** (in esercizio);
- Stato Limite di salvaguardia della Vita, **SLV** (a rottura).

I rispettivi valori di probabilità di superamento ( $P_{vr}$ ) sono forniti dalla Tabella 3.2.1 delle NTC 2018 (Fig. 7).

**Tab. 3.2.I – Probabilità di superamento  $P_{V_R}$  in funzione dello stato limite considerato**

Stati Limite	$P_{V_R}$ : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

**Fig.7: Probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale al bedrock in funzione dello stato limite considerato (Tabella 3.2.I delle NTC 2008). In rosso sono evidenziati gli stati limite considerati.**

Da tali assunzioni sono stati calcolati i valori dei periodi di ritorno ( $T_r$ ) per i due stati limite considerati mediante la formula:

$$T_r = \frac{V_r}{\ln(1 - P_{vr})}$$

da cui si ottengono i seguenti periodi di ritorno ( $T_r$ ):

- $T_r$  pari a **50 anni**, per lo Stato Limite di Danno (**SLD**);
- $T_r$  pari a **475 anni**, per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita (**SLV**).

Calcolati i periodi di ritorno per i due stati limite sono stati definiti, in accordo alle NTC 2018, i valori di accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ) attesi al bedrock con superficie topografica orizzontale validi per il territorio interessato dal progetto.

La sismicità dell'area salentina risulta molto bassa, sia i dati storici che quelli strumentali non evidenziano criticità nella pericolosità sismica di base, pertanto, nelle NTC 2018 (cfr. Allegato B, Tabella 1) si ritiene ragionevole assumere un valore uniforme di accelerazione orizzontale massima al bedrock ( $a_g$ ).

## **9 · RISPOSTA SISMICA LOCALE**

La normativa italiana, come del resto la normativa europea e i più recenti codici internazionali, ha modificato l'approccio alla valutazione della sismicità di un'area.

Come descritto nel paragrafo precedente, essa è definita da una osservazione del fenomeno sismico "*dal basso*" e "*a priori*":

- *dal basso*, poiché si osserva direttamente il moto sismico nel suo propagarsi dal sottosuolo (bedrock) verso la superficie libera;
- *a priori*, poiché la pericolosità sismica di base tiene conto esclusivamente del movimento sismico atteso (in termini di accelerazioni), prima che esso produca i suoi effetti sull'ambiente fisico e costruito.

In definitiva, identificati i valori delle accelerazioni massime attese al suolo rigido (bedrock), è necessario valutare la loro variazione (amplificazione) negli strati più superficiali (risposta sismica locale).

Le norme di riferimento (NTC 2018) definiscono la risposta sismica locale (S) di un sito attraverso la stima di due parametri:

- Categoria di Sottosuolo;
- Condizione Topografica;

### **CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO**

Il sottosuolo nelle NTC 2008 è suddiviso in cinque classi di riferimento, in funzione della natura e di specifici parametri di comportamento meccanico dei terreni. I diversi tipi di sottosuolo inducono modifiche sul segnale sismico con variazioni dell'accelerazione di picco e del contenuto in frequenza.

La classificazione individua sottosuoli a rigidezza decrescente, a partire dal sottosuolo tipo A, costituito praticamente da roccia affiorante o ricoperta da uno strato meno rigido, con spessore massimo di 3 m, fino a sottosuoli molto deformabili e suscettibili di fenomeni di rottura per la sola azione sismica. Per maggior chiarezza si riportano di seguito le classi di suolo secondo le NTC 2018:

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>Depositati 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>Depositati 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>

Pertanto, la scelta definitiva della categoria di sottosuolo da adottare per determinare i parametri di risposta sismica locale, si è basata su un approccio di tipo cautelativo, ossia, considerando ai fini della progettazione, la condizione litologica di sito più sfavorevole presente: **Categoria di sottosuolo B.**

Definita la categoria di sottosuolo è possibile calcolare i seguenti coefficienti (Tabella 3.2.II delle NTC 2018):

- coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_S$ , necessario per calcolare l'accelerazione di picco al suolo  $a_{gs}$  (o PGA);
- coefficiente funzione della categoria di sottosuolo  $C_c$ , necessario per il calcolo del periodo  $T_c$  e quindi della velocità orizzontale massima attesa al suolo  $V_g$  (o PGV).

Tab. 3.2.IV – *Espressioni di  $S_S$  e di  $C_c$*

Categoria sottosuolo	$S_S$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Fig.8: *Definizione dei parametri sismici  $S_S$  e  $C_c$  in accordo alla Tabella 3.2.IV, NTC 2018*

### CONDIZIONE TOPOGRAFICA

La condizione topografica di un sito nelle NTC 2008 è definita mediante l'attribuzione di una Categoria Topografica al luogo.

La classificazione del territorio in categorie avviene semplificando le caratteristiche della superficie topografica (pendenza media e morfologia) e considerando l'ubicazione del sito (base, sommità, ecc), rispetto a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali (creste o dorsali allungate), con altezze maggiori di 30 metri.

Le NTC 2018 assegnano a ciascuna categoria topografica un coefficiente di amplificazione topografica ( $S_T$ ) (cfr. Tab. 3.2.V delle NTC 2018).

Questo coefficiente, insieme al coefficiente di amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ), precedentemente descritto, è necessario per il calcolo del valore di accelerazione orizzontale massima attesa al suolo (PGA).

Le caratteristiche topografiche dell'area sono state stimate in accordo alla Tabella 3.2.V delle NTC 2018, ossia identificando le caratteristiche medie della superficie topografica (cfr. Figura 9).

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Fig.9: Definizione delle Categorie Topografiche in accordo alla Tabella 3.2.V, NTC 2018.

E' possibile attribuire una **categoria topografica T1**, corrispondente ad un coefficiente di amplificazione sismica ( $S_T$ ) pari a 1.0 (cfr. Figura 10).

Il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$  e il coefficiente di amplificazione stratigrafica  $S_s$  sono necessari per il calcolo del valore di accelerazione orizzontale massima attesa al suolo (PGA).

La stima dell'accelerazione di picco in superficie  $a_{gs}$  (PGA) lungo il tracciato si ottiene dal prodotto tra il fattore di risposta sismica locale ( $S$ ) e l'accelerazione orizzontale massima attesa al suolo rigido  $a_g$ :

$$a_{max} = a_g \cdot S = a_g \cdot S_s \cdot S_T$$

Il coefficiente  $S$ , che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, può essere calcolato mediante la relazione:

$$S = S_s \cdot S_T$$

in cui  $S_s$  è il coefficiente di amplificazione stratigrafica (Tabella 3.2.IV delle NTC 2018) ed  $S_T$  è il coefficiente di amplificazione topografica.

Una completa analisi dell'azione sismica attesa in un sito prevede anche la stima delle massime velocità orizzontale al suolo ( $V_g$  o  $PGV$ ) per gli stati limite considerati.

Le norme tecniche per le costruzioni NTC 2018 riportano nel paragrafo 3.2.3.3 la relazione per il calcolo di tale velocità:

$$V_g = PGV = 0,16 a_g \cdot S \cdot T_C$$

$a_g$  : accelerazione di picco attesa al bedrock (espressa in g);

$S$  : fattore di risposta sismica locale;

$T_C$  : periodo del tratto iniziale a velocità costante dello spettro.

Quest'ultimo parametro si ottiene dalla formula:

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

dove  $T_C^*$  è definito, insieme al valore di  $a_g$ , nella Tabella 1 delle NTC 2018, mentre  $C_C$  è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (Tab. 3.2.IV delle NTC 2018).

La sismicità storica dell'area interessata è stata studiata consultando i più recenti e dettagliati cataloghi di riferimento (CPT115 e DBMI15, dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, INGV). L'analisi ha evidenziato che l'area è caratterizzata da un indice di sismicità molto basso, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.

## 10.STABILITÀ DELLE SCARPATE

### 10.1 Generalità

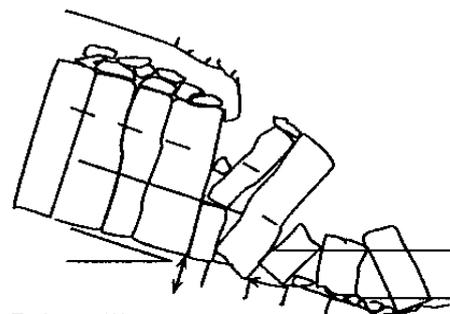
Nel caso di scarpate in roccia, particolare importanza assumono i piani di discontinuità presenti in seno all'ammasso roccioso (superfici di stratificazione, giunti di fratturazione, faglie, ecc.): il numero, la densità, l'orientazione, la spaziatura, la giacitura e le caratteristiche (rugosità, continuità, apertura, ecc..) di tali discontinuità, nonché la presenza di materiale fine di riempimento o di acqua, sono tutti parametri che influiscono in vario modo sulla stabilità della scarpata.

Superfici di stratificazione e giunti di fratturazione suddividono infatti l'ammasso roccioso in elementi volumetrici di forma e dimensioni variabili: in base ai rapporti giaciture dei suddetti piani di discontinuità ed all'orientazione delle pareti di scavo si possono creare le condizioni di isolamento di blocchi potenzialmente instabili ed in grado di originare fenomeni di "crollo", di "ribaltamento" e di "scivolamento".

I crolli interessano massi e frammenti di varie dimensioni che, superata la condizione di equilibrio, divengono instabili e scendono verso il basso con estrema rapidità (Fig. 1.1a). Il fenomeno comprende la caduta libera, il movimento a salti e rimbalzi ed il rotolamento di frammenti di roccia.



a) CROLLO



(Freitas & Watters 1973)

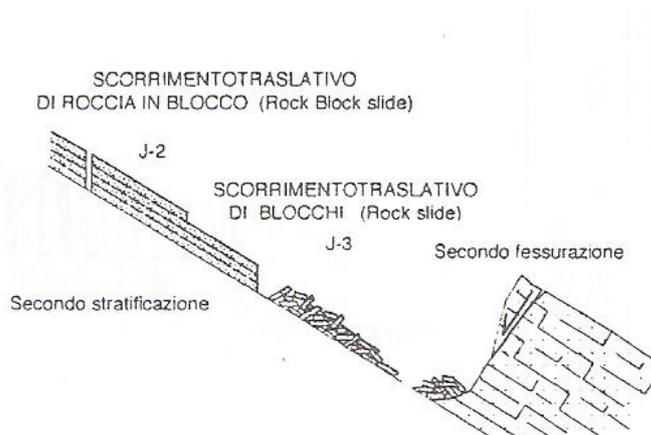
b) RIBALTAMENTO

Fig. 1.1 a-b

I distacchi di blocchi per ribaltamento (Fig. 1.1b), sono movimenti dovuti a forze che causano un momento ribaltante attorno ad un punto di rotazione situato al di sotto del baricentro della massa interessata. Sono di norma collegati alla presenza di sistemi di fratture sub-verticali e si verificano preferenzialmente in corrispondenza del ciglio superiore delle scarpate, ove la roccia risulta sensibilmente alterata ("cappellaccio" di alterazione) e le fessure aperte e riempite di materiale fine

(terreno vegetale, terra rossa).

I movimenti di scivolamento o di scorrimento (Fig. 1.1c) comportano uno spostamento per taglio lungo una o più superfici oppure dentro un livello abbastanza sottile.



### c) SCORRIMENTO TRASLATIVO

Fig. 1.1c

Gli scorrimenti che interessano gli ammassi rocciosi sono di tipo traslativo. Il movimento dei materiali si verifica lungo una superficie più o meno piana o debolmente ondulata corrispondente a discontinuità strutturali, quali giunti di fratturazione o faglie, oppure a superfici di stratificazione. In tale tipo di situazione la giacitura dei piani di stratificazione assume infatti un'importanza notevole ai fini della stabilità della scarpata. Strati sub-orizzontali o con giacitura a "reggipoggio" determinano situazioni favorevoli alla stabilità; al contrario, un assetto a "franapoggio" (strati inclinati verso il fronte di scavo) può innescare, in presenza di giaciture sufficientemente inclinate (pendenza degli strati  $\geq 20^\circ$ ), movimenti di scivolamento di blocchi sia su piccola che su grande scala.

**I casi in oggetto** non presentano situazioni o fenomeni di instabilità: ciò è in prevalenza legato alla presenza di giaciture quasi sempre sub-orizzontali, o comunque debolmente inclinate.

Le verifiche di stabilità degli scavi in roccia non possono dunque prescindere dalla disponibilità di dati precisi relativi alle condizioni strutturali dell'ammasso roccioso e, in particolare, di quei parametri giacaturali e descrittivi (direzione, immersione, inclinazione, spaziatura, apertura, continuità, riempimento, ecc.) in grado di caratterizzare i principali piani di discontinuità che lo interessano (superfici di

stratificazione e giunti di fratturazione).

Con riferimento alle pareti di sbancamento, rilevate all'interno della Cava, in agro di Gallipoli, 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. Tali verifiche sono state condotte alla luce del rimodellamento calcareo.

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. Vien 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:

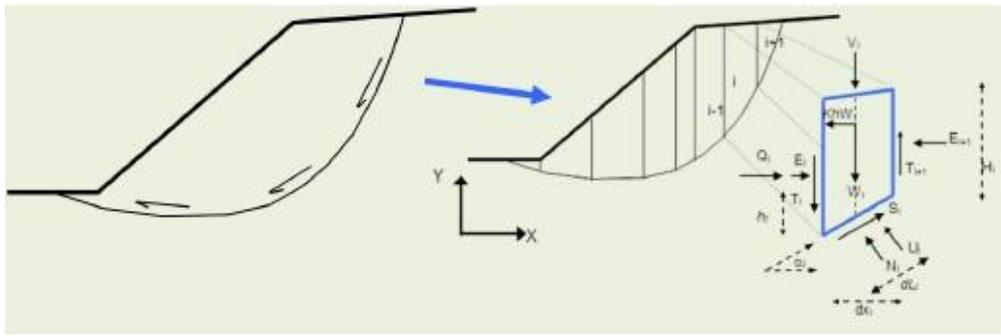
$$\tau_f = \frac{c'}{F_s} + \frac{\sigma' \tan \phi'}{F_s}$$

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 concio vengono valutate singolarmente le forze agenti e resistenti. L'insieme delle forze agenti sul concio 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 interconci,  $E$ =Forza orizzontale interconci.  $F_s$  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:

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

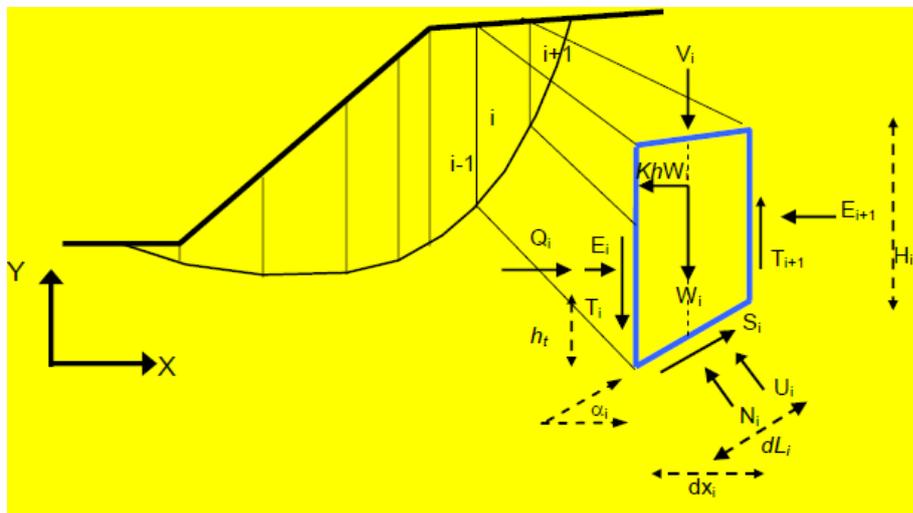
In pratica tutto il sistema di forze verticali, orizzontali e dei momenti devono garantire una somma 0. Quando tutti i parametri di interesse sono noti si passa al calcolo di  $F_s$ . L'algoritmo di calcolo può implementare uno dei diversi metodi esistenti nell'ambito dei modelli LEM dove i procedimenti 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  $F_s$  calcolati generalmente non supera il 10%, perfettamente compatibile con il grado di incertezza insito in tale tipo di analisi.

## 10.2 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  $F_s$ , basato sull'algoritmo di Zhu (2005).

Se osserviamo in dettaglio lo schema che segue è possibile visualizzare il sistema di forze 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 e 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'algorithmo di Zhu et al. (2005) avremo che  $F_s$  e  $\lambda$  sono legati da:

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

Il sistema viene risolto iterativamente, assumendo un valore di tentativo iniziale, sia per  $F_s$  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  $F_s$  e calcolati in iterazioni successive diventa minore di un certo valore assunto (generalmente 0.001).

Nell'equazione,  $F_s$  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  $F_s$ , 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  $F_s$  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  $F_s$  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 interconco  $f(x)$  ma  $T(x)$  è

espressione diretta della costante  $\lambda$  e di  $E(x)$ .

Nel gruppo II (Sarma II, Morgestern & 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)	$T(x) = \lambda \left[ c' H(x) + (E(x) - P_W(x)) \tan \bar{\phi} \right]$
II	Morgestern & Price (1965)	$T(x) = \lambda f(x) E(x)$
II	Correia (1988)	$T(x) = \lambda f(x)$
II	Sarma II (1979)	$T(x) = \lambda f(x) \left[ c' H(x) + (E(x) - P_W(x)) \tan \bar{\phi} \right]$
III	Janbu Rigoroso (1973)	$T(x) = E(x) \tan \alpha_t + h_t \frac{dE(x)}{dx} + \dots$

### **10.3 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 litologica e sismica locale e dalla categoria topografica del sito.

$$K_h = \beta_a S_a S_r a_g$$

Pertanto, sono state assunte le seguenti condizioni al contorno:

presenza di n° 1 "strato" considerando la situazione più conservativa e quindi dalle peggiori caratteristiche fisico-meccaniche

bed-rock costituito da calcari con assetto massivo e giacitura sub-orizzontale;

assenza di falda

inclinazione scarpate circa 90°

Sono stati considerati i seguenti parametri geomeccanici/geotecnici.

resistenza a compressione monoassiale: 12 MPa (valore più basso tra quelli ricavati per i litotipi sottoposti al Point Load Test);

costante di Hoek-Brown per roccia intatta:  $m_i = 17$  (valore assegnato alle rocce aventi la composizione litologica e la struttura dei calcari);

indice GSI = 60 (calcolato precedentemente mediante la classificazione di Bieniawski);

indice di disturbo  $D = 0,5$  (in quanto le operazioni di scavo avvengono con l'utilizzo di mezzi meccanici);

peso di volume naturale: 18,0kN/m<sup>3</sup>;

peso di volume saturo: 18,50 kN/m<sup>3</sup>.

Di seguito si allegano gli schemi delle sezioni di verifica con la relativa parametrizzazione geotecnica.

Le analisi di stabilità sono state eseguite in condizioni dinamiche (cioè in presenza di sisma) mediante il metodo pseudostatico e i coefficienti amplificatori delle azioni sismiche (coefficiente sismico orizzontale  $K_h$  e coefficiente sismico verticale  $K_v$ ) in conformità al *DM 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni"*.

Le verifiche sono state eseguite sulla base del livello di conoscenza raggiunto, dell'affidabilità dei dati disponibili e della complessità del modello di calcolo adottato in relazione alla complessità geologica e geotecnica.

Si sottolinea il fatto che tutte e quattro le verifiche sono state fatte considerando un numero elevatissimo di superfici di potenziale instabilità (10.000).

## **CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

Nelle aree di indagine il substrato è irregolarmente ricoperto sul piano campagna da una coltre di terreno vegetale rossastro. Il litotipo già interessato dalla attività di cava è costituito da calcareniti bioclastiche a grana media di colore giallo-rossiccio, non interessati da fenomeni di carsificazione con giaciture sub orizzontali.

Lo scopo principale della presente relazione, è stata quella di analizzare i fronti di scavo lungo le tracce delle sezioni riportate a pagina 12.

Le ciclografiche tracciate attraverso il reticolo di Wulff riportate a pag 33, e quindi le giaciture dei sistemi di frattura rilevati su tale fronte di cava, non evidenziano poliedri isolati tali da innescare meccanismi di traslazione rototraslazione e/o gravitativi.

I parametri fisico-meccanici valutati ed inseriti nei codici di calcolo, si riferiscono alle condizioni peggiori ad un banco alterato nella totalità dello scavo, inserendo in questo modo un ulteriore coefficiente di sicurezza, e quindi a partire da parametri più conservativi.

**I fattori di sicurezza minimi ottenuti per le quattro sezioni della cava analizzate, sono rispettivamente pari a**

**Fs = 1,88 per la sezione A-B**

**Fs = 2,67 per la sezione C-D**

Dal punto di vista idrogeologico non si evidenziano particolari problematiche. Il livello statico della falda si attesta a + 20,0÷25 m s.l.m., e considerando il punto più basso del fondo cava (+ 31,5 m s.l.m.) ad una profondità, tale da non originare sostanziali differenziazioni nell'ambito idrogeologico generale ed in considerazione delle quote di attestazione degli scavi, non intercettando alcuna falda idrica.

Data: gennaio 2025

dott. geol. Luca ORLANDUCCI



TRACCIA DELLE SEZIONI E DEI FRONTI OGGETTO DI VERIFICA

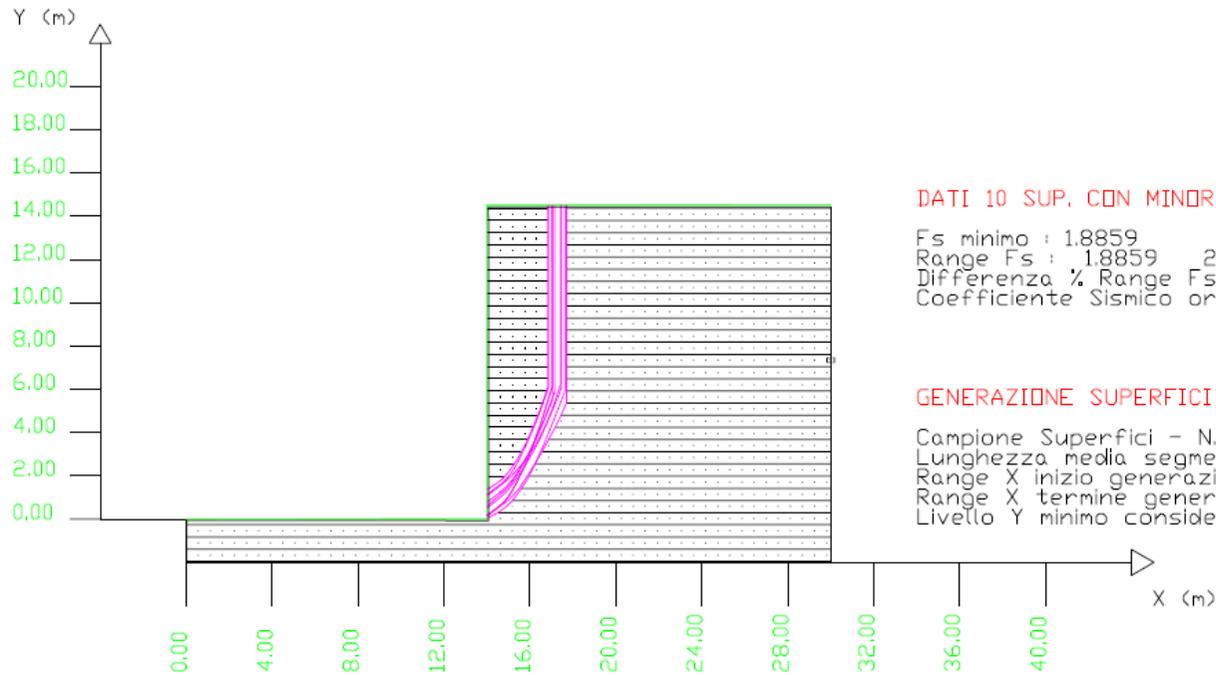


## SEZIONE A-B

SSAP 4.9.9 (2019) - Slope Stability Analysis Program  
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - [www.lorenzo-borselli.eu](http://www.lorenzo-borselli.eu)  
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.4 (2019)

Localita' : Cava Marlo Mauro - Gallipoli  
 Descrizione :  
 [n] = N. strato o lente

Modello di calcolo : Morgenstern - Price (1965)



DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

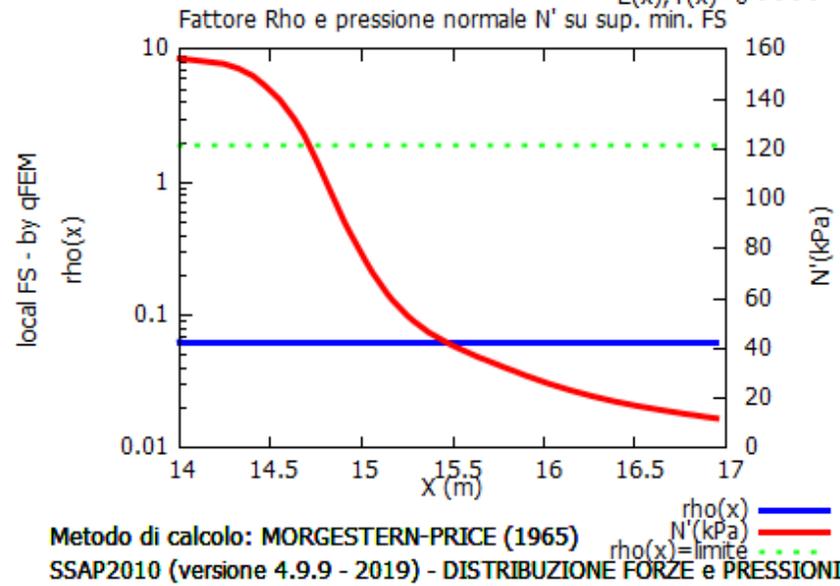
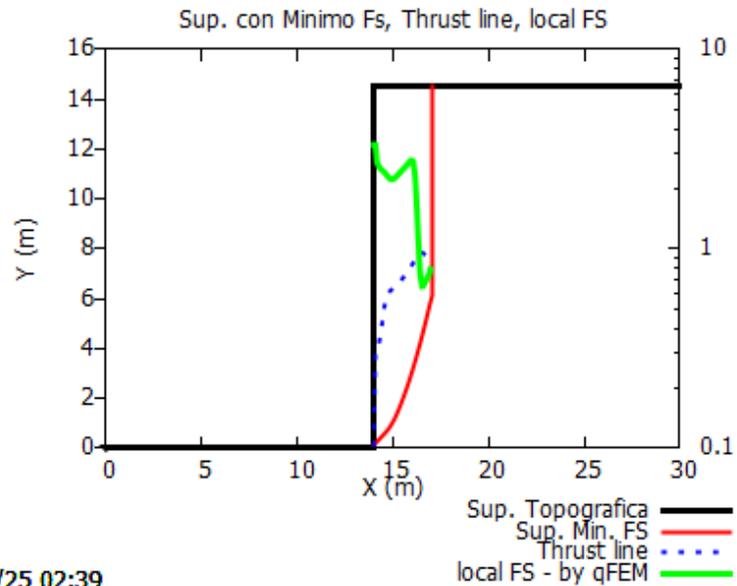
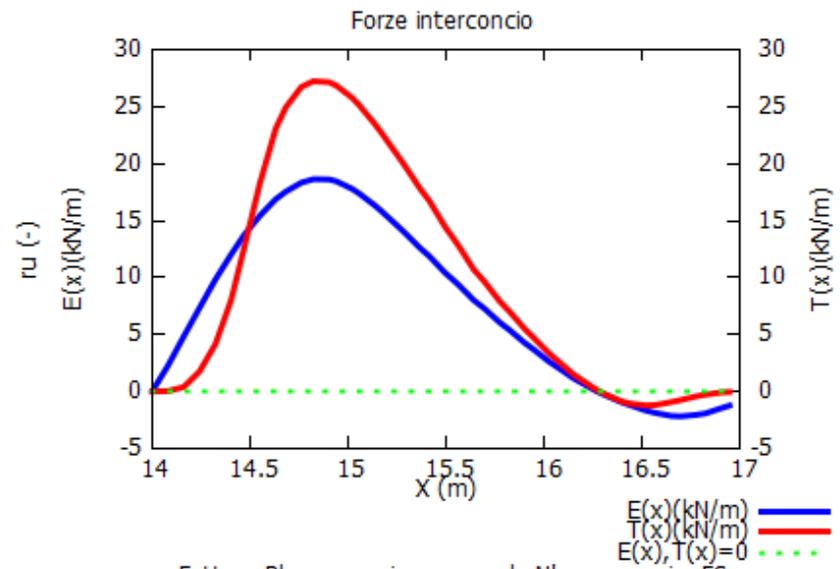
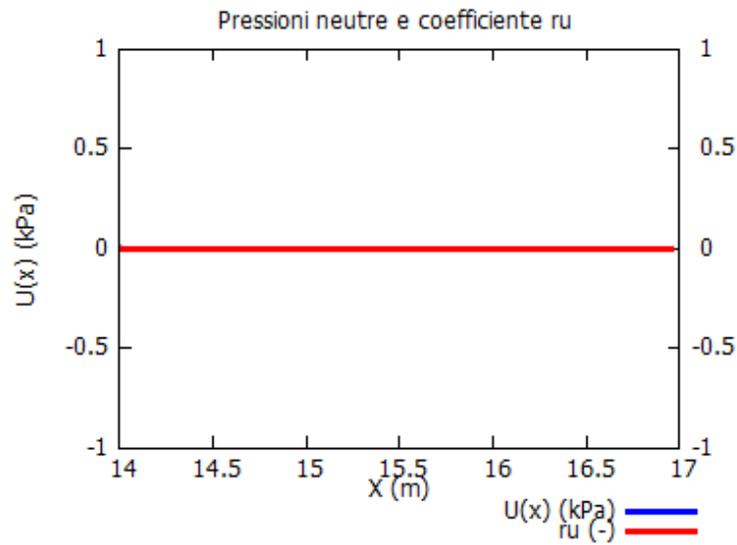
Fs minimo : 1.8859  
 Range Fs : 1.8859 - 2.0612  
 Differenza % Range Fs : 8.50  
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0250

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

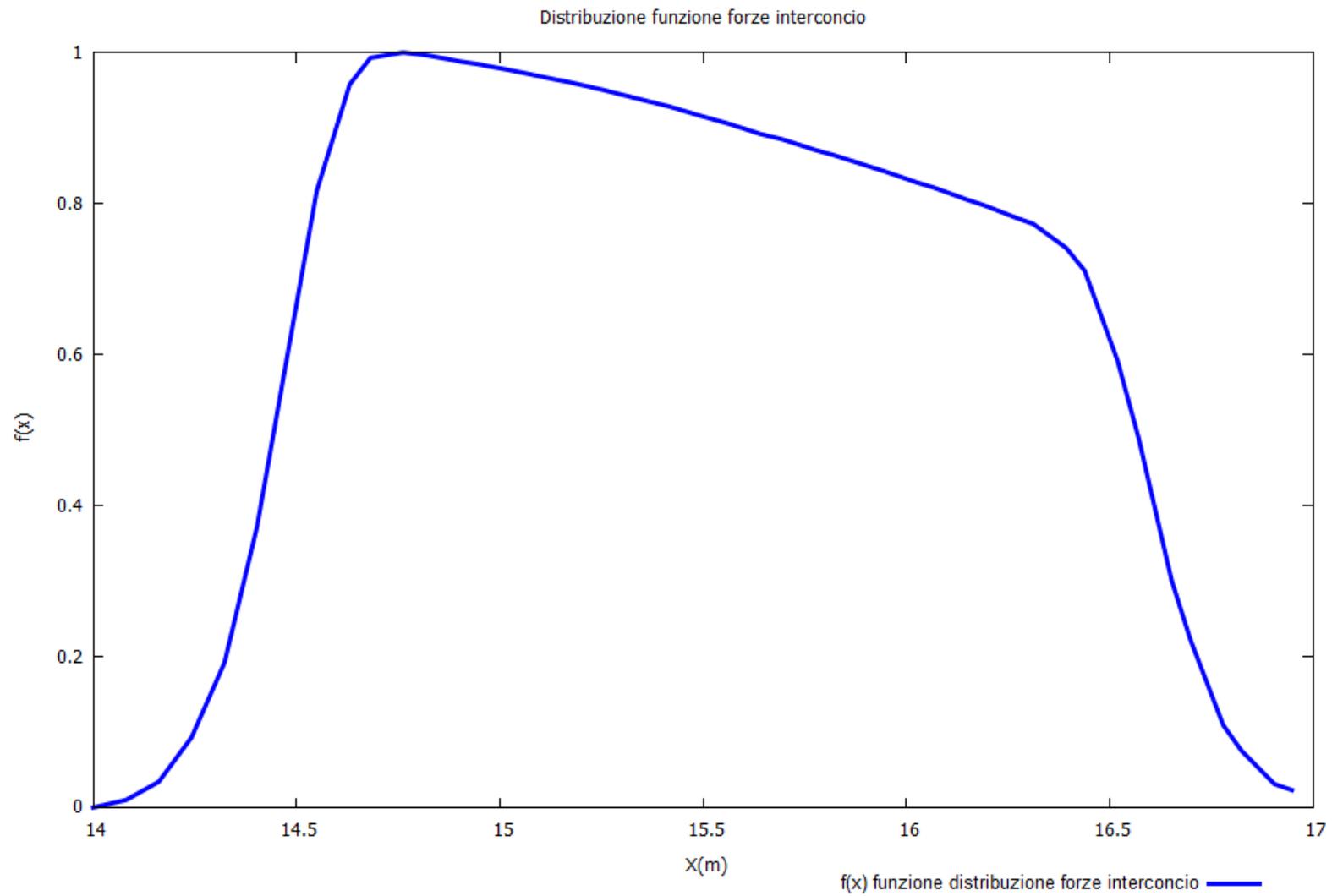
Campione Superfici - N: 10000  
 Lunghezza media segmenti (m) : 1.2  
 Range X inizio generazione : 0.6 - 27.6  
 Range X termine generazione : 3.6 - 29.4  
 Livello Y minimo considerato : 0.0

# Parametri Geotecnici degli strati #

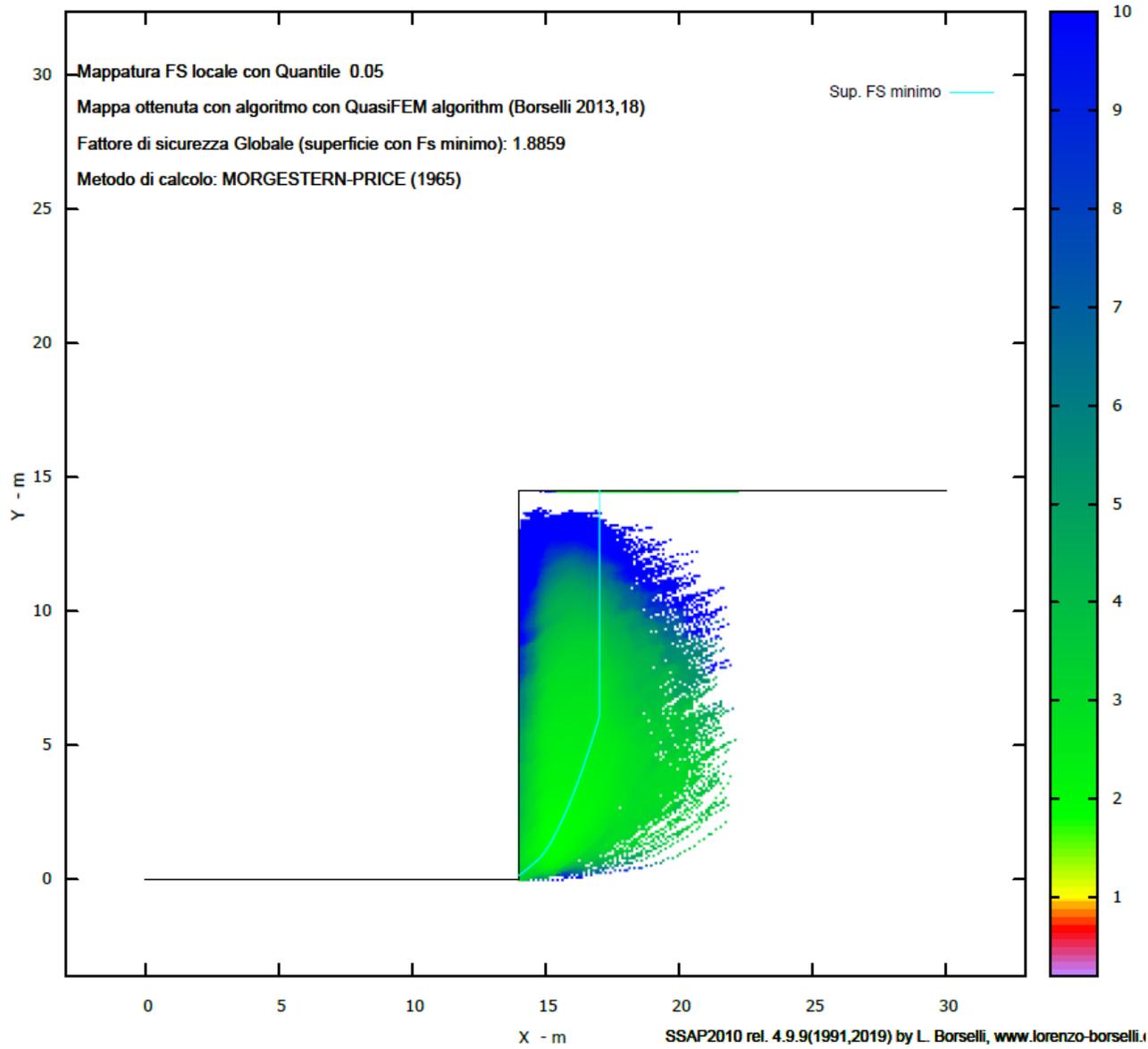
N.	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
..	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	18.00	18.50	12.00	60.00	17.00	0.50



17/01/25 02:39



MAPPA FS LOCALE (Con algoritmo geostatistico non-parametrico- By L.B 2013-16)



Credits to: GNUPLOT 5.2.8 [www.gnuplot.info](http://www.gnuplot.info)

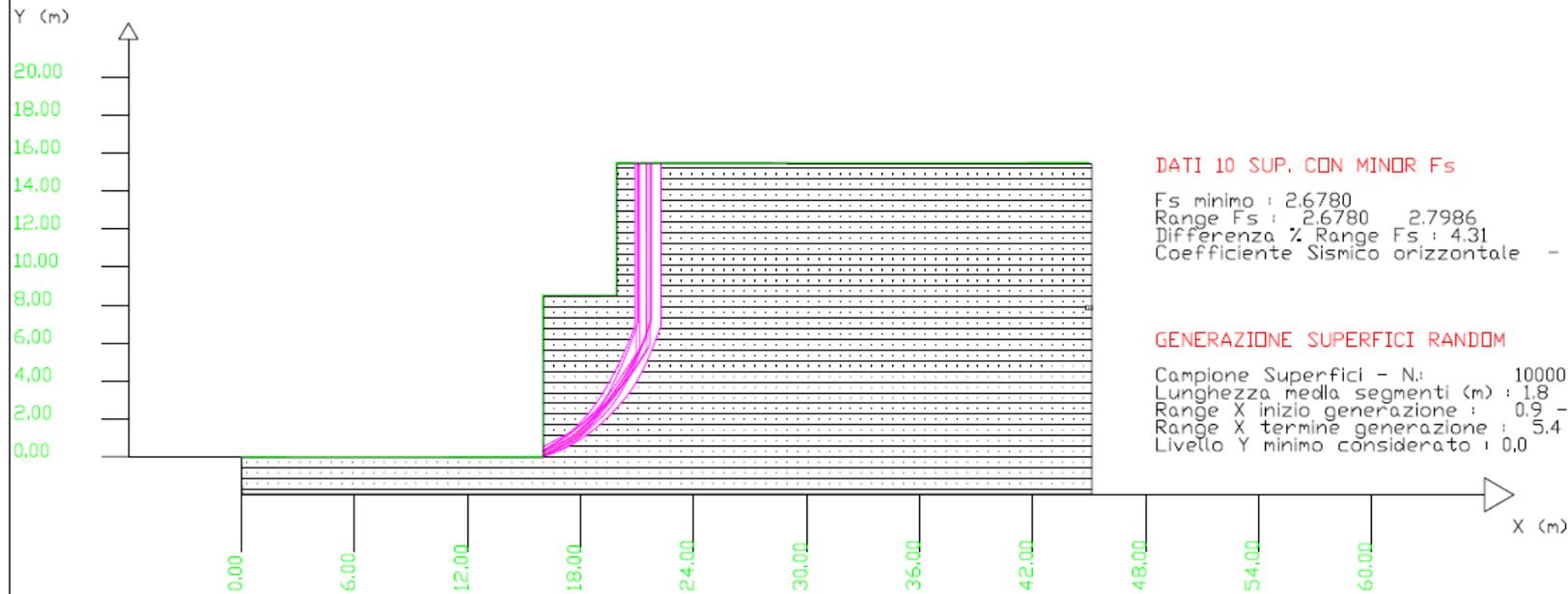
SSAP2010 rel. 4.9.9(1991,2019) by L. Borselli, [www.lorenzo-borselli.it](http://www.lorenzo-borselli.it)  
<https://WWW.SSAP.EU>

## SEZIONE C-D

SSAP 4.9.9 (2019) - Slope Stability Analysis Program  
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu  
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.4 (2019)

Localita' : Cava Mario Mauro - Gallipoli  
 Descrizione :  
 [n] = N. strato o lente

Modello di calcolo : Morgenstern - Price (1965)



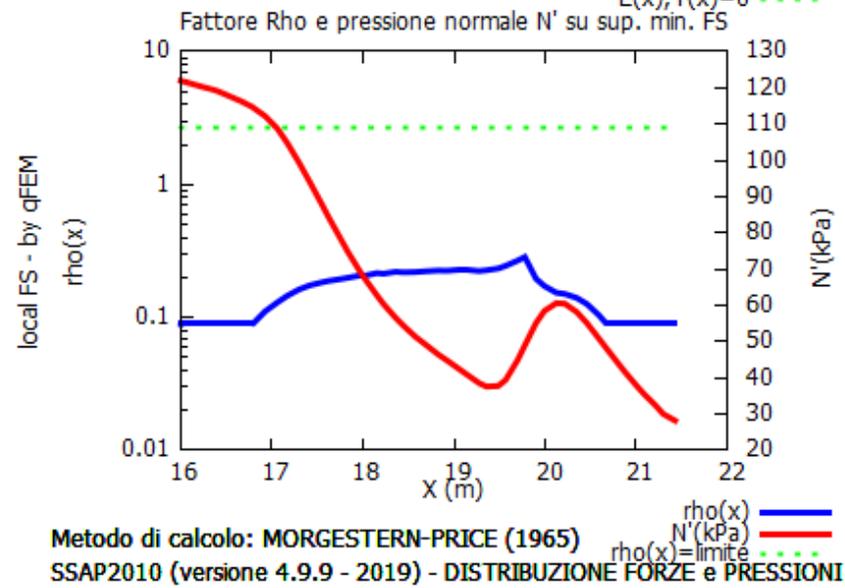
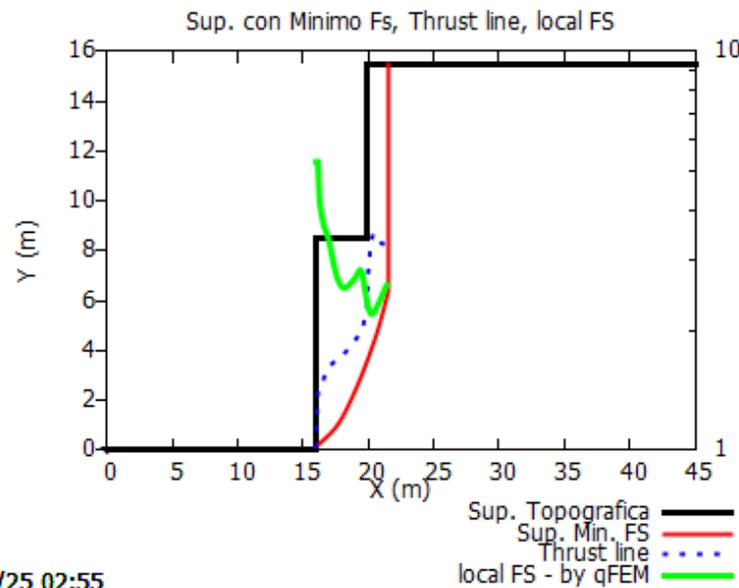
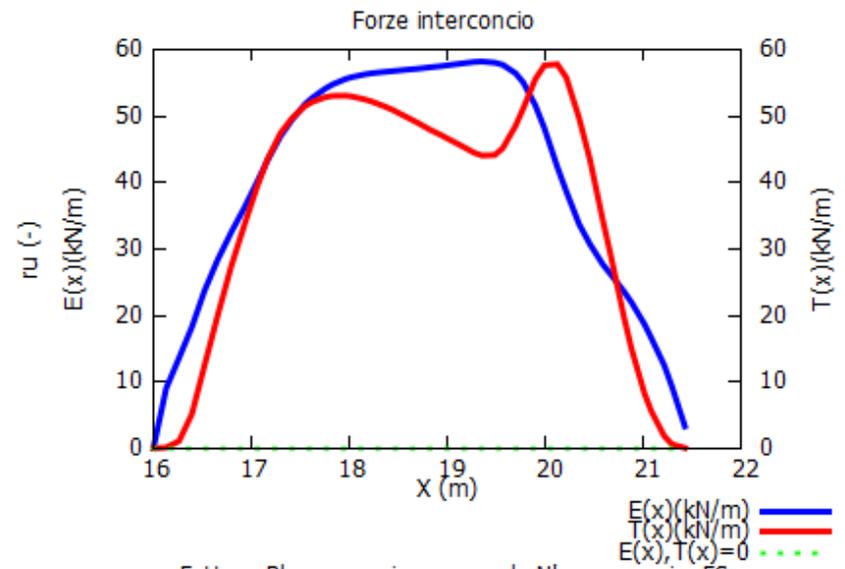
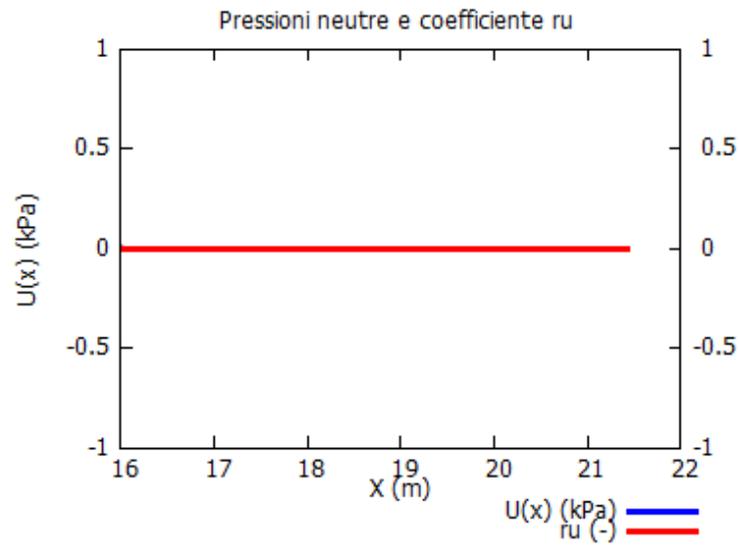
DATI 10 SUP. CON MINOR  $F_s$

$F_s$  minimo : 2.6780  
 Range  $F_s$  : 2.6780 - 2.7986  
 Differenza % Range  $F_s$  : 4.31  
 Coefficiente Sismico orizzontale -  $K_h$  : 0.0250

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

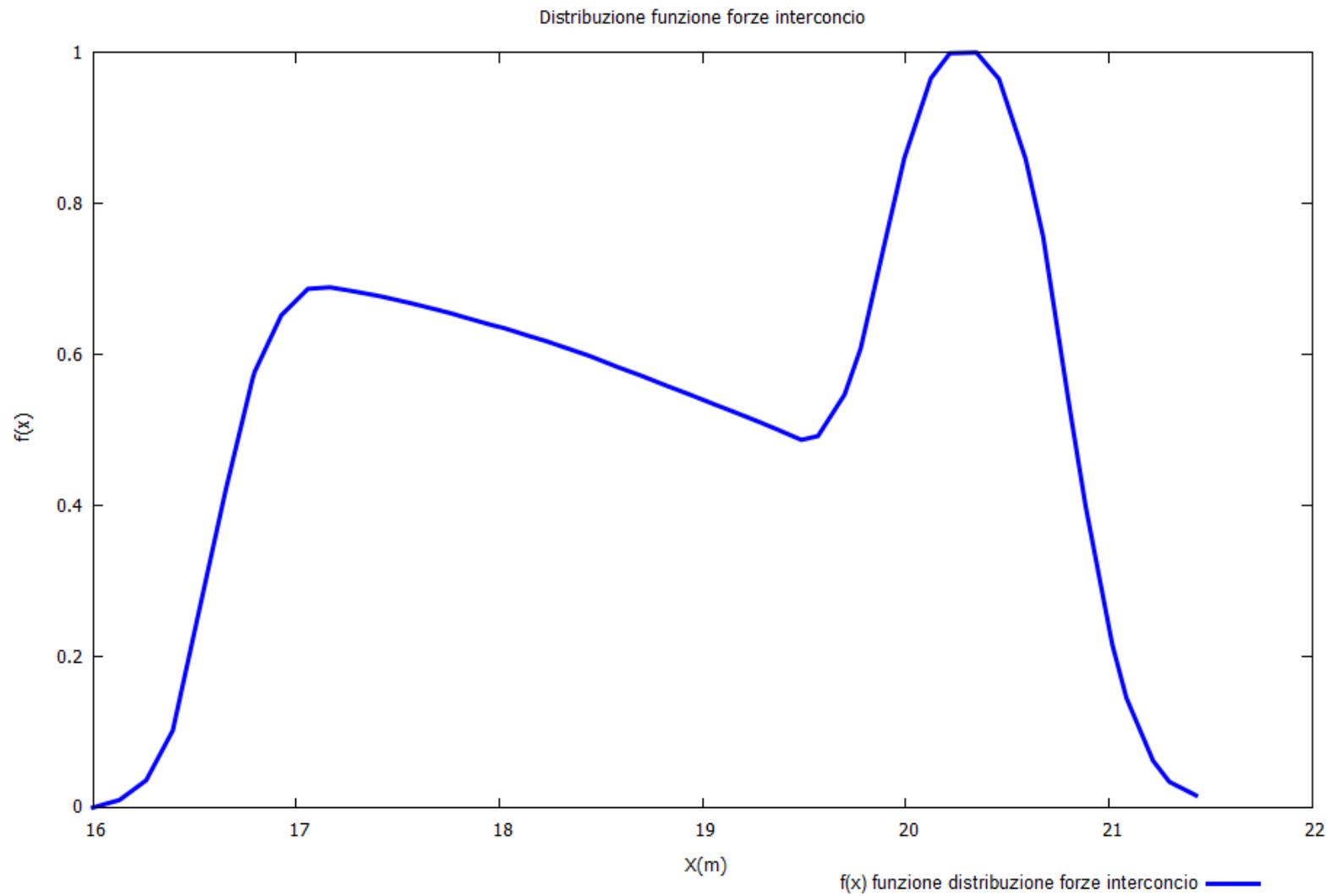
Campione Superfici - N: 10000  
 Lunghezza media segmenti (m) : 1.8  
 Range X inizio generazione : 0.9 - 41.4  
 Range X termine generazione : 5.4 - 44.1  
 Livello Y minimo considerato : 0.0

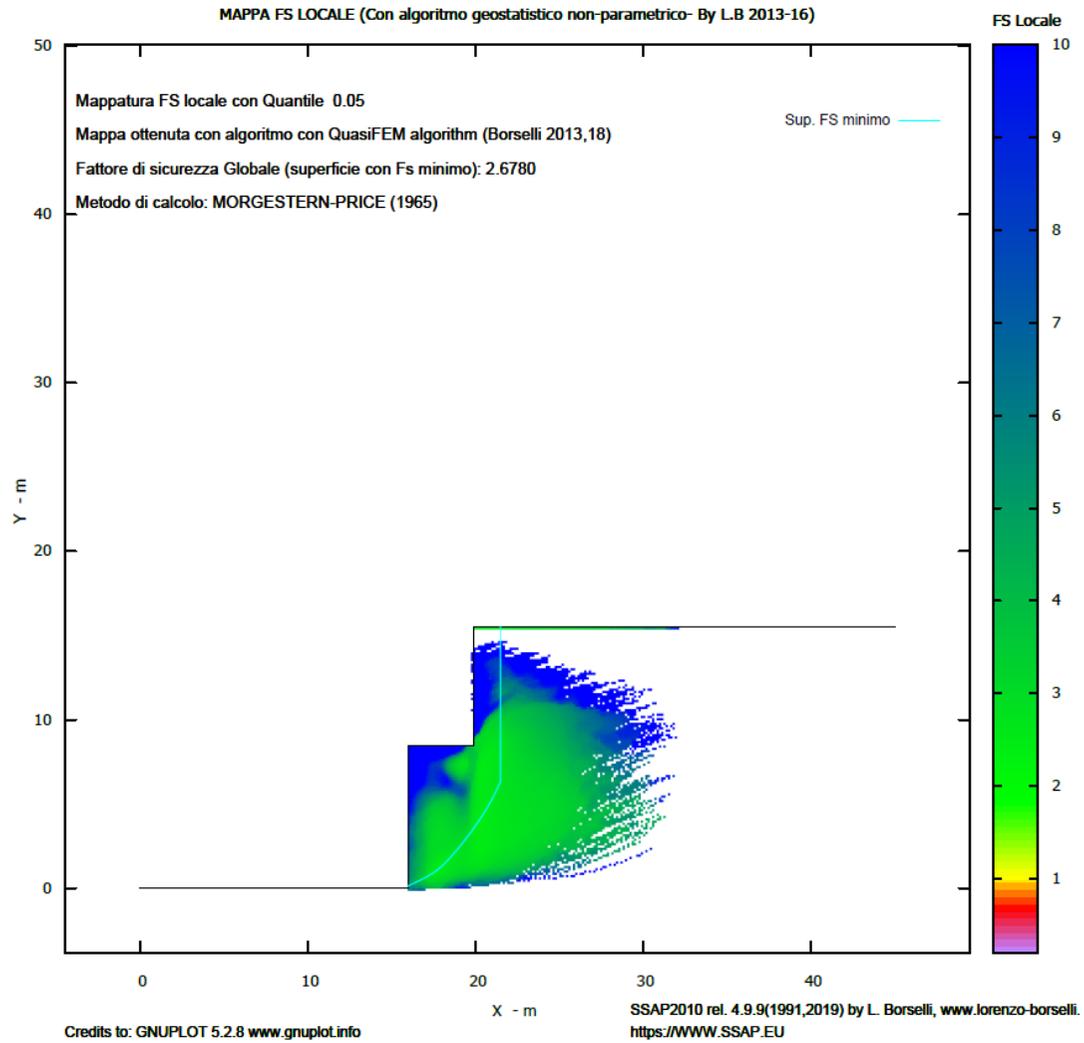
# Parametri Geotecnici degli strati #						
N.	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
..	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	18.00	18.50	12.00	60.00	17.00	0.50



Metodo di calcolo: MORGESTERN-PRICE (1965)  
 SSAP2010 (versione 4.9.9 - 2019) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

17/01/25 02:55





# REPORT ELABORAZIONI DI CALCOLO

## Sezione A-B

\_\_ 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	-	-	-	-	-	-
14.00	0.00	-	-	-	-	-	-
14.00	14.50	-	-	-	-	-	-
30.00	14.50	-	-	-	-	-	-

## ASSENZA DI FALDA ##

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

	fi`	C`	Cu	Gamm	Gamm_sat	STR_IDX	sgci	GSI	mi	D
STRATO 1	0.00	0.00	0.00	18.00	18.50	9.298	12.00	60.00	17.00	0.50

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 Roccia Intatta (in MPa)

GSI \_\_\_\_\_ Geological Strength 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 - ATTIVATO (solo per ROCCE)

Dai parametri sopra indicati, relativi al criterio di rottura Hoek et alii (2002),

sono stati ricavati i parametri equivalenti geomeccanici CARATTERISTICI di resistenza

al taglio dell'ammasso roccioso considerato (c',Phi')00; tali parametri equivalenti sono stati

infine ridotti, per ricavare i valori di PROGETTO, tramite i coefficienti parziali

di cui alla tab. 6.2.II delle NTC 2018.

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): 1.2 (+/-) 50%

INTERVALLO ASCISSE RANDOM STARTING POINT (Xmin .. Xmax): 0.60 27.60

LIVELLO MINIMO CONSIDERATO (Ymin): 0.00

INTERVALLO ASCISSE AMMESSO PER LA TERMINAZIONE (Xmin .. Xmax): 3.60 29.40

\*\*\* TOTALE SUPERFICI GENERATE : 10000

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

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

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kh : 0.0250

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kv (assunto Positivo): 0.0125

COEFFICIENTE c=Kv/Kh 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)	1.8859 - Min. -	X	Y	Lambda= 1.5000
		14.00	0.14	
		14.47	0.51	
		14.68	0.70	
		14.82	0.84	
		14.94	0.98	
		15.06	1.15	
		15.17	1.33	
		15.29	1.53	
		15.41	1.78	
		15.56	2.08	
		15.69	2.36	
		15.82	2.65	
		15.94	2.94	
		16.07	3.25	
		16.19	3.57	
		16.31	3.90	
		16.44	4.26	
		16.57	4.66	
		16.70	5.04	
		16.82	5.44	
		16.95	5.84	
		17.03	6.11	
		17.03	14.50	

Fattore di sicurezza (FS)	1.9034 - N.2 --	X	Y	Lambda= 1.5000
		14.00	0.61	
		14.54	1.08	
		14.80	1.31	
		14.97	1.49	
		15.11	1.66	
		15.26	1.85	
		15.39	2.05	
		15.53	2.28	
		15.68	2.55	
		15.85	2.86	
		16.01	3.17	
		16.16	3.47	
		16.30	3.77	
		16.45	4.09	
		16.59	4.42	
		16.74	4.76	
		16.89	5.13	
		17.04	5.52	
		17.04	14.50	

Fattore di sicurezza (FS)	1.9075 - N.3 --	X	Y	Lambda= 1.5000
		14.00	0.15	
		14.48	0.52	
		14.70	0.71	
		14.85	0.85	
		14.97	0.99	
		15.09	1.16	
		15.20	1.34	
		15.32	1.56	
		15.45	1.81	
		15.61	2.12	
		15.74	2.42	
		15.88	2.72	
		16.00	3.02	
		16.13	3.35	

16.25	3.69
16.38	4.05
16.51	4.43
16.64	4.86
16.77	5.28
16.90	5.70
17.03	6.12
17.03	14.50

Fattore di sicurezza (FS) 1.9377 - N.4 -- X Y Lambda= 1.5000

14.00	0.52
14.42	0.85
14.62	1.01
14.76	1.14
14.88	1.26
14.99	1.38
15.10	1.51
15.21	1.65
15.33	1.82
15.46	2.00
15.59	2.18
15.70	2.36
15.82	2.55
15.93	2.74
16.04	2.93
16.16	3.14
16.28	3.37
16.41	3.61
16.53	3.85
16.64	4.10
16.75	4.36
16.87	4.64
16.98	4.93
17.09	5.25
17.21	5.58
17.34	5.95
17.42	6.22
17.42	14.50

Fattore di sicurezza (FS) 1.9776 - N.5 -- X Y Lambda= 1.5000

14.00	0.78
14.50	1.16
14.73	1.35
14.89	1.49
15.02	1.63
15.15	1.79
15.28	1.95
15.41	2.14
15.54	2.35
15.70	2.62
15.85	2.86
15.98	3.12
16.12	3.37
16.25	3.65
16.38	3.93
16.51	4.24
16.65	4.57
16.80	4.94
16.94	5.31
17.07	5.68
17.16	5.94
17.16	14.50

Fattore di sicurezza (FS) 2.0112 - N.6 -- X Y Lambda= 1.5000

14.00	1.14
14.51	1.51
14.74	1.69
14.89	1.84
15.01	1.98
15.14	2.15
15.26	2.34
15.38	2.55
15.52	2.81
15.68	3.13
15.83	3.44
15.96	3.74
16.10	4.05
16.23	4.37
16.36	4.70
16.49	5.05
16.63	5.41
16.77	5.81
16.86	6.06
16.86	14.50

Fattore di sicurezza (FS) 2.0318 - N.7 -- X Y Lambda= 1.5000

14.00	0.19
14.58	0.58
14.85	0.77
15.03	0.92
15.18	1.06
15.33	1.23
15.47	1.40
15.62	1.60
15.77	1.83
15.95	2.11
16.12	2.38
16.28	2.64
16.44	2.91
16.59	3.18
16.75	3.45
16.91	3.74
17.07	4.04
17.24	4.36
17.39	4.68
17.55	5.01
17.70	5.36
17.70	14.50

Fattore di sicurezza (FS) 2.0583 - N.8 -- X Y Lambda= 1.5000

14.00	1.36
14.38	1.61
14.56	1.73
14.68	1.83
14.77	1.92
14.87	2.02
14.96	2.13
15.06	2.25
15.17	2.40
15.29	2.58
15.40	2.75
15.50	2.92
15.60	3.09
15.70	3.28
15.80	3.48
15.90	3.69
16.00	3.92
16.11	4.18
16.22	4.43

16.32	4.69
16.42	4.95
16.52	5.22
16.62	5.50
16.73	5.79
16.83	6.10
16.83	14.50

Fattore di sicurezza (FS) 2.0584 - N.9 -- X Y Lambda= 1.5000

14.00	1.07
14.51	1.46
14.76	1.66
14.93	1.81
15.08	1.94
15.22	2.08
15.35	2.23
15.49	2.39
15.64	2.57
15.81	2.77
15.95	2.97
16.09	3.17
16.22	3.38
16.36	3.62
16.50	3.87
16.64	4.14
16.78	4.44
16.94	4.79
17.09	5.13
17.23	5.48
17.37	5.83
17.46	6.07
17.46	14.50

Fattore di sicurezza (FS) 2.0612 - N.10 -- X Y Lambda= 1.5000

14.00	0.03
14.47	0.29
14.69	0.43
14.83	0.53
14.95	0.63
15.07	0.75
15.18	0.87
15.30	1.02
15.43	1.19
15.59	1.41
15.72	1.61
15.85	1.82
15.97	2.03
16.09	2.26
16.21	2.49
16.34	2.75
16.46	3.03
16.60	3.35
16.73	3.66
16.86	3.96
16.99	4.27
17.11	4.58
17.24	4.90
17.36	5.23
17.49	5.56
17.62	5.91
17.62	14.50

----- 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	1.886	1053.4	558.5	383.1	Surplus
2	1.903	1027.8	540.0	379.8	Surplus
3	1.907	1062.1	556.8	393.9	Surplus
4	1.938	1160.0	598.7	441.6	Surplus
5	1.978	1076.0	544.1	423.1	Surplus
6	2.011	971.4	483.0	391.8	Surplus
7	2.032	1295.8	637.8	530.5	Surplus
8	2.058	962.9	467.8	401.5	Surplus
9	2.058	1164.1	565.5	485.5	Surplus
10	2.061	1303.7	632.5	544.7	Surplus

Esito analisi: SURPLUS di RESISTENZA!

Valore minimo di SURPLUS di RESISTENZA (kN/m): 379.8

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)
14.000	0.081	38.60	21.07	0.00	0.00	51.15	111.98
14.081	0.081	38.60	20.97	0.00	0.00	51.26	109.02
14.161	0.081	38.60	20.88	0.00	0.00	51.26	109.90
14.242	0.081	38.60	20.79	0.00	0.00	51.26	110.80
14.323	0.081	38.60	20.69	0.00	0.00	51.37	109.35
14.403	0.066	38.60	16.78	0.00	0.00	51.48	109.25
14.469	0.081	40.81	20.51	0.00	0.00	51.71	106.66
14.550	0.081	40.81	20.41	0.00	0.00	51.93	106.38
14.631	0.051	40.81	12.87	0.00	0.00	52.38	101.77
14.682	0.081	45.35	20.24	0.00	0.00	52.61	102.45
14.762	0.062	45.35	15.42	0.00	0.00	53.31	97.37
14.824	0.081	50.13	20.01	0.00	0.00	53.91	93.95
14.905	0.036	50.13	8.89	0.00	0.00	54.76	88.93
14.941	0.081	54.82	19.79	0.00	0.00	55.01	89.64
15.022	0.038	54.82	9.24	0.00	0.00	55.77	86.37
15.059	0.081	57.95	19.54	0.00	0.00	56.16	84.07
15.140	0.029	57.95	6.99	0.00	0.00	56.82	82.06
15.169	0.081	60.58	19.27	0.00	0.00	57.09	80.31
15.250	0.037	60.58	8.79	0.00	0.00	57.63	78.59
15.287	0.081	62.51	18.95	0.00	0.00	57.91	76.82
15.368	0.046	62.51	10.80	0.00	0.00	58.32	75.79
15.414	0.081	63.88	18.59	0.00	0.00	58.47	76.23
15.495	0.066	63.88	15.09	0.00	0.00	58.75	76.31
15.561	0.081	64.94	18.14	0.00	0.00	59.04	74.72
15.642	0.053	64.94	11.75	0.00	0.00	59.33	74.08
15.695	0.081	66.05	17.71	0.00	0.00	59.48	74.06
15.775	0.047	66.05	10.10	0.00	0.00	59.77	73.14
15.822	0.081	67.15	17.28	0.00	0.00	59.92	72.90
15.903	0.042	67.15	8.85	0.00	0.00	60.22	72.01
15.944	0.081	68.19	16.85	0.00	0.00	60.38	71.49
16.025	0.043	68.19	8.81	0.00	0.00	60.68	70.44
16.068	0.081	69.09	16.39	0.00	0.00	60.84	69.85
16.149	0.040	69.09	8.09	0.00	0.00	60.99	70.82
16.189	0.081	69.93	15.92	0.00	0.00	61.15	70.00
16.270	0.043	69.93	8.28	0.00	0.00	61.31	70.63

16.312	0.081	70.67	15.41	0.00	0.00	61.47	69.75
16.393	0.045	70.67	8.53	0.00	0.00	61.63	70.06
16.438	0.081	71.32	14.88	0.00	0.00	61.79	69.09
16.519	0.052	71.32	9.36	0.00	0.00	61.95	69.14
16.571	0.081	71.84	14.30	0.00	0.00	62.11	68.20
16.652	0.047	71.84	8.16	0.00	0.00	62.28	68.06
16.699	0.081	72.36	13.72	0.00	0.00	62.28	69.04
16.779	0.045	72.36	7.43	0.00	0.00	62.44	68.76
16.824	0.081	72.86	13.13	0.00	0.00	62.61	67.58
16.905	0.043	72.86	6.86	0.00	0.00	62.78	67.29
16.948	0.081	73.34	12.54	0.00	0.00	62.78	68.08

-----  
**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'( ) : 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 (m)	ht (m)	yt (m)	yt' (--)	E(x) (kN/m)	T(x) (kN/m)	E'	rho(x) (kN)	FS_qFEM (--)	FS_srmFEM (--)	
14.000	0.000	0.140	23.411	0.0000000000E+000	0.0000000000E+000	2.6460253205E+001	0.063	3.320	3.604		
14.081	3.595	3.799	23.411	2.2733684874E+000	3.3964588772E-002	2.9890710771E+001	0.063	3.320	3.553		
14.161	3.649	3.918	2.083	4.8235270624E+000	3.8798868871E-001	3.1351820164E+001	0.063	2.728	2.886		
14.242	3.803	4.136	3.201	7.3326778552E+000	1.7567429985E+000	3.0963662769E+001	0.063	2.613	2.765		
14.323	4.037	4.434	4.295	9.8201986524E+000	4.1515436496E+000	2.8990697279E+001	0.063	2.534	2.681		
14.403	4.367	4.829	5.405	1.2010967841E+001	8.0065725815E+000	2.6431757467E+001	0.063	2.495	2.667		
14.469	4.711	5.226	5.775	1.3709635051E+001	1.2544982910E+001	2.3717902770E+001	0.063	2.459	2.646		
14.550	5.090	5.674	4.858	1.5412617405E+001	1.8260801070E+001	1.9537553013E+001	0.063	2.419	2.649		
14.631	5.356	6.010	3.442	1.6862451203E+001	2.3058484477E+001	1.4844755189E+001	0.063	2.370	2.617		
14.682	5.430	6.128	1.789	1.7519733881E+001	2.4907129319E+001	1.1714017555E+001	0.063	2.337	2.626		
14.762	5.466	6.245	1.162	1.8317968779E+001	2.6711938603E+001	7.0760564822E+000	0.063	2.285	2.592		
14.824	5.451	6.293	0.709	1.8621980980E+001	2.7211168795E+001	2.6325969153E+000	0.063	2.251	2.570		
14.905	5.408	6.346	0.614	1.8593751929E+001	2.7116874150E+001	-3.2997810767E+000	0.063	2.229	2.539		
14.941	5.383	6.365	0.591	1.8427312697E+001	2.6824425480E+001	-5.7525057909E+000	0.063	2.228	2.548		
15.022	5.319	6.415	0.640	1.7758181359E+001	2.5736799743E+001	-1.0171243826E+001	0.063	2.239	2.531		
15.059	5.291	6.441	0.705	1.7339151061E+001	2.5069654330E+001	-1.1748286825E+001	0.063	2.250	2.518		
15.140	5.220	6.499	0.732	1.6271940955E+001	2.3390255268E+001	-1.4372098312E+001	0.063	2.283	2.511		
15.169	5.196	6.521	0.787	1.5842074029E+001	2.2722510928E+001	-1.5061930657E+001	0.063	2.298	2.501		
15.250	5.117	6.585	0.798	1.4564741574E+001	2.0778555927E+001	-1.5969293241E+001	0.063	2.341	2.496		
15.287	5.081	6.615	0.862	1.3969652524E+001	1.9883348218E+001	-1.6428295203E+001	0.063	2.362	2.487		
15.368	4.998	6.687	0.855	1.2574776239E+001	1.7789166052E+001	-1.5811690815E+001	0.063	2.411	2.488		
15.414	4.946	6.724	0.957	1.1880339549E+001	1.6746894855E+001	-1.6124901066E+001	0.063	2.436	2.495		
15.495	4.866	6.809	1.006	1.0416256665E+001	1.4450646366E+001	-1.6613852289E+001	0.063	2.488	2.506		
15.561	4.794	6.872	1.059	9.3981667894E+000	1.2849845797E+001	-1.6292948667E+001	0.063	2.526	2.501		
15.642	4.714	6.964	1.057	7.9914860420E+000	1.0674766873E+001	-1.4971863849E+001	0.063	2.578	2.507		
15.695	4.649	7.013	1.045	7.2849204327E+000	9.6560428833E+000	-1.4201200881E+001	0.063	2.608	2.512		
15.775	4.558	7.104	1.087	6.0352725552E+000	7.8911565200E+000	-1.4061668049E+001	0.063	2.663	2.515		
15.822	4.501	7.151	1.134	5.4187092868E+000	7.0516686263E+000	-1.3726073075E+001	0.063	2.693	2.518		
15.903	4.406	7.248	1.165	4.2430500801E+000	5.4615438942E+000	-1.3168131337E+001	0.063	2.754	2.521		
15.944	4.353	7.294	1.218	3.7228966477E+000	4.7724229039E+000	-1.2799308739E+001	0.063	2.776	2.517		
16.025	4.255	7.397	1.250	2.6344277285E+000	3.3538047727E+000	-1.2231964525E+001	0.063	2.760	2.469		
16.068	4.199	7.448	1.302	2.1397514097E+000	2.7271179446E+000	-1.1691823256E+001	0.063	2.693	2.408		
16.149	4.097	7.558	1.320	1.1770748371E+000	1.5318603760E+000	-1.0444578436E+001	0.063	2.315	2.164		
16.189	4.042	7.608	1.320	7.8493832166E-001	1.0547607637E+000	-9.6768119233E+000	0.063	2.069	2.000		
16.270	3.931	7.718	1.274	7.8469510713E-003	1.2978452899E-001	-8.3238058400E+000	0.063	1.438	1.598		
16.312	3.861	7.765	0.995	-3.1748328367E-001	-2.3986280847E-001	-7.5953129819E+000	0.063	1.184	1.421		
16.393	3.707	7.841	0.750	-9.2451728997E-001	-8.5372565567E-001	-6.4160762163E+000	0.063	0.813	1.139		

16.438	3.596	7.860	0.079	-1.1877652744E+000	-1.0585719797E+000	-5.8565483297E+000	0.063	0.723	1.047
16.519	3.348	7.851	-0.259	-1.6695021655E+000	-1.2313668300E+000	-4.9055518241E+000	0.063	0.649	0.946
16.571	3.170	7.826	-0.546	-1.8880253362E+000	-1.1882686068E+000	-3.8354946555E+000	0.063	0.650	0.922
16.652	2.877	7.778	-0.437	-2.1488144040E+000	-9.2681354111E-001	-1.7048605767E+000	0.063	0.672	0.913
16.699	2.725	7.770	0.178	-2.1871307826E+000	-7.5318792857E-001	9.0139408101E-002	0.063	0.686	0.922
16.779	2.503	7.801	0.491	-2.0543450328E+000	-4.2575526576E-001	2.3247850170E+000	0.063	0.714	0.929
16.824	2.393	7.831	1.177	-1.9337173712E+000	-2.9241156063E-001	3.7657955340E+000	0.063	0.729	0.927
16.905	2.248	7.948	1.407	-1.4746262019E+000	-8.6727260898E-002	5.4982686248E+000	0.063	0.751	0.935
16.948	2.165	8.005	1.407	-1.2419092680E+000	-5.1586046848E-002	8.8778012353E+000	0.063	0.789	0.944

-----  
**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)(kN/m) : Forza Tangenziale interconcio  
E' (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)
14.000	0.081	0.103	38.595	131.303	13.555	306.026	31.593
14.081	0.081	0.103	38.595	130.713	13.494	302.326	31.211
14.161	0.081	0.103	38.595	130.123	13.433	300.340	31.006
14.242	0.081	0.103	38.595	129.532	13.372	298.357	30.801
14.323	0.081	0.103	38.595	128.942	13.311	294.074	30.359
14.403	0.066	0.084	38.595	128.407	10.798	290.854	24.459
14.469	0.081	0.107	40.811	129.413	13.796	272.473	29.047
14.550	0.081	0.107	40.811	128.766	13.727	275.447	29.364
14.631	0.051	0.067	40.811	128.238	8.655	278.191	18.776
14.682	0.081	0.115	45.348	128.489	14.751	253.829	29.141
14.762	0.062	0.088	45.348	127.816	11.243	256.330	22.547
14.824	0.081	0.126	50.129	124.585	15.681	230.021	28.951
14.905	0.036	0.056	50.129	123.945	6.969	230.997	12.988
14.941	0.081	0.140	54.824	117.558	16.465	207.420	29.051
15.022	0.038	0.066	54.824	116.823	7.687	208.125	13.695
15.059	0.081	0.152	57.947	110.616	16.818	190.632	28.983
15.140	0.029	0.055	57.947	109.886	6.020	191.106	10.470
15.169	0.081	0.164	60.575	103.628	17.019	175.870	28.884
15.250	0.037	0.076	60.575	102.802	7.767	175.076	13.227
15.287	0.081	0.175	62.508	97.437	17.031	164.020	28.669
15.368	0.046	0.101	62.508	96.514	9.704	161.862	16.274
15.414	0.081	0.183	63.881	92.171	16.893	157.497	28.866
15.495	0.066	0.151	63.881	91.078	13.717	155.587	23.432
15.561	0.081	0.190	64.936	87.281	16.624	149.824	28.536
15.642	0.053	0.125	64.936	86.271	10.772	145.842	18.210
15.695	0.081	0.199	66.054	82.335	16.368	141.132	28.057
15.775	0.047	0.115	66.054	81.356	9.336	138.524	15.896
15.822	0.081	0.208	67.152	77.459	16.096	133.525	27.746
15.903	0.042	0.108	67.152	76.502	8.237	131.228	14.130
15.944	0.081	0.217	68.186	72.763	15.799	126.197	27.402
16.025	0.043	0.115	68.186	71.784	8.263	123.857	14.257
16.068	0.081	0.226	69.094	68.355	15.456	119.096	26.929
16.149	0.040	0.113	69.094	67.382	7.634	118.504	13.426
16.189	0.081	0.235	69.931	64.156	15.086	113.792	26.757
16.270	0.043	0.124	69.931	63.156	7.844	112.950	14.029
16.312	0.081	0.244	70.673	60.177	14.671	108.431	26.435
16.393	0.045	0.137	70.673	59.145	8.122	107.156	14.715

16.438	0.081	0.252	71.317	56.424	14.212	102.561	25.833
16.519	0.052	0.162	71.317	55.332	8.939	101.065	16.328
16.571	0.081	0.259	71.837	52.909	13.695	97.041	25.118
16.652	0.047	0.151	71.837	51.850	7.814	96.333	14.518
16.699	0.081	0.266	72.356	49.499	13.176	94.924	25.269
16.779	0.045	0.147	72.356	48.453	7.140	94.654	13.948
16.824	0.081	0.274	72.859	46.191	12.646	91.726	25.112
16.905	0.043	0.146	72.859	45.153	6.608	91.684	13.417
16.948	0.081	0.281	73.340	42.994	12.100	90.604	25.499

-----  
**LEGENDA SIMBOLI**

X(m)	: Ascissa sinistra concio
dx(m)	: Larghezza concio
dl(m)	: lunghezza base concio
alpha( )	: 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

-----

Strato 1 -- Parametri di resistenza al taglio equivalenti dell'ammasso roccioso stimati secondo criterio di rottura non lineare Hoek et al.(2002)  
**CRITERIO DI ROTTURA Hoek et al.(2002,2006) - Generalizzato secondo Lei et al.(2016)**  
 Fattore di riduzione NTC2018 gammaPHI=1.25 e gammaC=1.25 - ATTIVATO

SigmaN'(kPa)	TauStrength(kPa)	Phi'(deg)	c'(kPa)
25.00	143.36	60.84	69.89
50.00	197.49	57.91	78.27
75.00	245.86	55.77	86.45
100.00	288.47	54.15	92.38
125.00	330.43	52.73	100.08
150.00	371.14	51.48	108.44
175.00	410.03	50.39	116.53
200.00	446.58	49.45	123.55
225.00	484.61	48.52	133.17
250.00	519.69	47.73	140.76
275.00	551.37	47.04	145.76
300.00	583.99	46.37	152.45
325.00	617.56	45.72	160.80
350.00	647.10	45.17	165.66
375.00	682.47	44.53	177.06
400.00	708.34	44.09	179.23
425.00	740.07	43.56	187.91
450.00	772.54	43.04	197.82
475.00	800.18	42.61	203.17
500.00	828.35	42.19	209.47
600.00	940.40	40.63	237.54
700.00	1041.13	39.36	258.69
800.00	1141.12	38.21	283.09
900.00	1239.53	37.17	309.27
1000.00	1335.51	36.22	335.91
1100.00	1420.34	35.44	353.40
1200.00	1508.62	34.67	376.88
1300.00	1591.99	33.98	397.26
1400.00	1678.45	33.31	422.85
1500.00	1758.99	32.71	443.90
2000.00	2140.45	30.20	548.35

# REPORT ELABORAZIONI DI CALCOLO

## Sezione C-D

\_\_ 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	-	-	-	-	-	-
16.00	0.00	-	-	-	-	-	-
16.00	8.50	-	-	-	-	-	-
19.90	8.50	-	-	-	-	-	-
19.90	15.50	-	-	-	-	-	-
45.00	15.50	-	-	-	-	-	-

## ASSENZA DI FALDA ##

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

	fi`	C`	Cu	Gamm	Gamm_sat	STR_IDX	sgci	GSI	mi	D
STRATO 1	0.00	0.00	0.00	18.00	18.50	9.298	12.00	60.00	17.00	0.50

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^3)

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

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 Roccia 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 - ATTIVATO (solo per ROCCE)

Dai parametri sopra indicati, relativi al criterio di rottura Hoek et alii (2002),

sono stati ricavati i parametri equivalenti geomeccanici CARATTERISTICI di resistenza

al taglio dell'ammasso roccioso considerato (c',Phi')00; tali parametri equivalenti sono stati

infine ridotti, per ricavare i valori di PROGETTO, tramite i coefficienti parziali

di cui alla tab. 6.2.II delle NTC 2018.

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): 1.8 (+/-) 50%

INTERVALLO ASCISSE RANDOM STARTING POINT (Xmin .. Xmax): 0.90 41.40

LIVELLO MINIMO CONSIDERATO (Ymin): 0.00

INTERVALLO ASCISSE AMMESSO PER LA TERMINAZIONE (Xmin .. Xmax): 5.40 44.10

\*\*\* TOTALE SUPERFICI GENERATE : 10000

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

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

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kh : 0.0250

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kv (assunto Positivo): 0.0125

COEFFICIENTE c=Kv/Kh 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)	2.6780 - Min. -	X	Y	Lambda= 1.5000
		16.00	0.14	
		16.80	0.52	
		17.17	0.71	
		17.42	0.86	
		17.63	1.00	
		17.83	1.17	
		18.02	1.34	
		18.23	1.54	
		18.44	1.77	
		18.70	2.05	
		18.93	2.31	
		19.15	2.58	
		19.36	2.84	
		19.57	3.12	
		19.78	3.40	
		19.99	3.70	
		20.22	4.03	
		20.46	4.39	
		20.68	4.74	
		20.89	5.10	
		21.09	5.48	
		21.30	5.90	
		21.50	6.34	
		21.50	15.50	

Fattore di sicurezza (FS)	2.6898 - N.2 --	X	Y	Lambda= 1.5000
		16.00	0.33	
		16.67	0.73	
		16.99	0.93	
		17.20	1.08	
		17.39	1.22	
		17.57	1.37	
		17.74	1.53	
		17.91	1.71	
		18.11	1.92	
		18.32	2.16	
		18.51	2.39	
		18.69	2.62	
		18.87	2.86	
		19.05	3.13	
		19.22	3.41	
		19.40	3.71	
		19.59	4.04	
		19.80	4.42	
		19.99	4.79	
		20.17	5.17	
		20.35	5.56	
		20.53	5.98	
		20.71	6.41	
		20.89	6.87	
		20.89	15.50	

Fattore di sicurezza (FS)	2.6943 - N.3 --	X	Y	Lambda= 1.5000
		16.00	0.27	
		16.66	0.69	
		16.99	0.90	
		17.22	1.06	

17.42	1.21
17.61	1.35
17.79	1.50
17.98	1.65
18.17	1.82
18.38	2.02
18.58	2.20
18.76	2.39
18.94	2.59
19.12	2.80
19.30	3.02
19.48	3.26
19.67	3.52
19.87	3.81
20.07	4.09
20.26	4.37
20.45	4.65
20.64	4.94
20.83	5.22
20.96	5.44
20.96	15.50

Fattore di sicurezza (FS) 2.7194 - N.4 -- X Y Lambda= 1.5000

16.00	0.04
16.89	0.45
17.29	0.66
17.57	0.82
17.79	0.97
18.02	1.16
18.23	1.35
18.45	1.57
18.69	1.84
18.97	2.16
19.22	2.47
19.47	2.77
19.70	3.06
19.94	3.37
20.17	3.68
20.41	4.01
20.65	4.36
20.91	4.73
21.15	5.09
21.39	5.46
21.53	5.70
21.53	15.50

Fattore di sicurezza (FS) 2.7236 - N.5 -- X Y Lambda= 1.5000

16.00	0.32
16.62	0.59
16.92	0.73
17.13	0.84
17.30	0.94
17.47	1.05
17.62	1.16
17.79	1.29
17.96	1.43
18.15	1.60
18.34	1.76
18.51	1.92
18.68	2.08
18.86	2.24
19.03	2.41
19.20	2.58
19.39	2.76
19.59	2.97

19.76	3.15
19.92	3.36
20.07	3.57
20.24	3.83
20.39	4.10
20.56	4.40
20.73	4.75
20.93	5.16
21.11	5.56
21.29	5.96
21.45	6.37
21.63	6.81
21.75	7.14
21.75	15.50

Fattore di sicurezza (FS) 2.7337 - N.6 -- X Y Lambda= 1.5000

16.00	0.05
16.93	0.52
17.36	0.76
17.65	0.94
17.89	1.12
18.13	1.33
18.35	1.55
18.59	1.81
18.84	2.11
19.14	2.49
19.41	2.85
19.66	3.20
19.90	3.56
20.15	3.94
20.39	4.34
20.63	4.76
20.88	5.21
21.15	5.71
21.15	15.50

Fattore di sicurezza (FS) 2.7766 - N.7 -- X Y Lambda= 1.5000

16.00	0.51
16.81	0.93
17.20	1.14
17.47	1.30
17.70	1.45
17.92	1.60
18.13	1.76
18.35	1.94
18.58	2.13
18.84	2.36
19.07	2.58
19.30	2.79
19.52	3.01
19.74	3.25
19.96	3.49
20.18	3.75
20.42	4.03
20.68	4.34
20.90	4.64
21.12	4.95
21.33	5.28
21.55	5.65
21.69	5.90
21.69	15.50

Fattore di sicurezza (FS) 2.7931 - N.8 -- X Y Lambda= 1.5000

16.00	0.02
-------	------

16.60	0.22
16.88	0.32
17.07	0.40
17.23	0.47
17.38	0.57
17.53	0.66
17.68	0.78
17.84	0.91
18.03	1.08
18.20	1.24
18.37	1.39
18.53	1.54
18.70	1.70
18.86	1.85
19.03	2.02
19.20	2.19
19.38	2.38
19.54	2.55
19.70	2.74
19.84	2.94
20.00	3.17
20.15	3.42
20.31	3.69
20.47	4.01
20.66	4.39
20.83	4.75
20.99	5.12
21.15	5.51
21.31	5.94
21.47	6.39
21.62	6.88
21.75	7.27
21.75	15.50

Fattore di sicurezza (FS) 2.7968 - N.9 -- X Y Lambda= 1.5000

16.00	0.04
16.77	0.33
17.15	0.48
17.40	0.60
17.62	0.71
17.83	0.83
18.03	0.95
18.24	1.09
18.46	1.25
18.71	1.44
18.94	1.62
19.15	1.80
19.35	1.99
19.56	2.19
19.76	2.40
19.98	2.64
20.21	2.90
20.46	3.21
20.68	3.49
20.88	3.80
21.08	4.12
21.28	4.51
21.48	4.92
21.69	5.39
21.91	5.93
22.15	6.56
22.28	6.92
22.28	15.50

Fattore di sicurezza (FS) 2.7986 - N.10 -- X Y Lambda= 1.5000

16.00	0.23
16.67	0.55
17.00	0.72
17.22	0.84
17.41	0.96
17.59	1.09
17.76	1.22
17.94	1.37
18.14	1.55
18.37	1.76
18.56	1.96
18.74	2.17
18.90	2.39
19.08	2.65
19.25	2.92
19.43	3.24
19.62	3.61
19.83	4.04
20.03	4.46
20.22	4.89
20.40	5.32
20.58	5.78
20.76	6.25
20.95	6.76
21.06	7.09
21.06	15.50

----- 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	2.678	1561.3	583.0	861.7	Surplus
2	2.690	1300.7	483.6	720.4	Surplus
3	2.694	1331.3	494.1	738.3	Surplus
4	2.719	1592.5	585.6	889.8	Surplus
5	2.724	1664.8	611.2	931.3	Surplus
6	2.734	1464.1	535.6	821.4	Surplus
7	2.777	1596.5	575.0	906.5	Surplus
8	2.793	1749.1	626.2	997.6	Surplus
9	2.797	1951.4	697.7	1114.1	Surplus
10	2.799	1428.8	510.5	816.1	Surplus

Esito analisi: SURPLUS di RESISTENZA!

Valore minimo di SURPLUS di RESISTENZA (kN/m): 720.4

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)
16.000	0.131	25.63	19.86	0.00	0.00	52.85	100.63
16.131	0.131	25.63	19.71	0.00	0.00	52.96	98.30
16.262	0.131	25.63	19.56	0.00	0.00	52.96	99.52
16.393	0.131	25.63	19.41	0.00	0.00	52.96	100.74
16.523	0.131	25.63	19.26	0.00	0.00	53.08	99.05

16.654	0.131	25.63	19.11	0.00	0.00	53.20	97.45
16.785	0.011	25.63	1.56	0.00	0.00	53.20	99.67
16.796	0.131	27.24	18.94	0.00	0.00	53.31	96.47
16.927	0.131	27.24	18.78	0.00	0.00	53.43	96.17
17.058	0.109	27.24	15.57	0.00	0.00	53.55	97.26
17.167	0.131	30.60	18.48	0.00	0.00	53.79	95.86
17.298	0.119	30.60	16.70	0.00	0.00	54.15	93.28
17.417	0.131	34.38	18.11	0.00	0.00	54.52	90.90
17.548	0.077	34.38	10.58	0.00	0.00	54.89	89.80
17.625	0.131	38.57	17.75	0.00	0.00	55.14	88.72
17.756	0.076	38.57	10.14	0.00	0.00	55.52	87.77
17.832	0.131	41.57	17.35	0.00	0.00	55.77	86.66
17.963	0.060	41.57	7.87	0.00	0.00	56.29	82.52
18.023	0.131	44.31	16.93	0.00	0.00	56.42	82.89
18.153	0.073	44.31	9.34	0.00	0.00	56.82	80.97
18.227	0.131	46.49	16.44	0.00	0.00	56.95	81.80
18.358	0.087	46.49	10.79	0.00	0.00	57.36	78.98
18.445	0.131	48.11	15.88	0.00	0.00	57.49	79.66
18.576	0.122	48.11	14.49	0.00	0.00	57.77	78.90
18.698	0.131	49.12	15.20	0.00	0.00	58.04	77.22
18.829	0.098	49.12	11.20	0.00	0.00	58.32	75.92
18.927	0.131	50.24	14.57	0.00	0.00	58.47	76.01
19.058	0.087	50.24	9.52	0.00	0.00	58.75	74.53
19.145	0.131	51.39	13.93	0.00	0.00	58.89	74.47
19.276	0.079	51.39	8.26	0.00	0.00	59.04	75.74
19.356	0.131	52.50	13.30	0.00	0.00	59.18	74.78
19.486	0.082	52.50	8.12	0.00	0.00	59.18	74.50
19.568	0.131	53.54	12.63	0.00	0.00	59.04	74.27
19.699	0.079	53.54	7.37	0.00	0.00	58.47	75.70
19.778	0.122	54.52	11.17	0.00	0.00	58.04	77.24
19.900	0.093	54.52	20.10	0.00	0.00	57.49	78.53
19.993	0.131	55.41	27.91	0.00	0.00	57.09	81.81
20.124	0.093	55.41	19.58	0.00	0.00	56.95	81.38
20.217	0.131	56.17	27.13	0.00	0.00	56.95	81.62
20.348	0.112	56.17	22.77	0.00	0.00	57.22	79.41
20.459	0.131	58.06	26.25	0.00	0.00	57.49	78.51
20.590	0.086	58.06	16.90	0.00	0.00	57.91	76.90
20.676	0.131	60.04	25.40	0.00	0.00	58.04	78.65
20.807	0.078	60.04	14.96	0.00	0.00	58.47	77.41
20.885	0.131	61.94	24.51	0.00	0.00	58.75	76.24
21.016	0.070	61.94	12.95	0.00	0.00	59.18	74.93
21.086	0.131	63.62	23.59	0.00	0.00	59.48	73.21
21.217	0.080	63.62	14.09	0.00	0.00	59.77	73.80
21.297	0.131	65.12	22.55	0.00	0.00	60.07	72.79
21.428	0.073	65.12	12.23	0.00	0.00	60.38	71.24

-----  
**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'( ) : 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 (m)	ht (m)	yt (m)	yt' (--)	E(x) (kN/m)	T(x) (kN/m)	E' (kN)	rho(x) (kN)	FS_qFEM (--)	FS_srmFEM (--)		
16.000	0.000	0.141	8.562	0.0000000000E+000	0.0000000000E+000	8.6218276815E+001	0.089	5.281	4.251			
16.131	2.087	2.291	8.562	9.0398201446E+000	1.4096097473E-001	5.1940813729E+001	0.089	5.281	4.187			
16.262	2.115	2.382	0.999	1.3594056314E+001	1.1041304607E+000	3.5186181825E+001	0.089	4.204	3.265			

16.393	2.223	2.552	1.552	1.8248819828E+001	5.1625396999E+000	3.8795730565E+001	0.089	3.938	3.113
16.523	2.396	2.788	1.686	2.3747754497E+001	1.2504034839E+001	3.8338806641E+001	0.089	3.731	2.985
16.654	2.538	2.993	1.422	2.8282930945E+001	1.9836124410E+001	3.2311607023E+001	0.089	3.610	2.938
16.785	2.642	3.160	1.270	3.2204414567E+001	2.6839759404E+001	3.1468076774E+001	0.089	3.515	2.962
16.796	2.650	3.173	0.923	3.2542950069E+001	2.7427933835E+001	3.1274753316E+001	0.090	3.504	2.919
16.927	2.700	3.291	0.817	3.6130201977E+001	3.3484604079E+001	2.8631904184E+001	0.111	3.400	2.917
17.058	2.729	3.387	0.663	4.0036550764E+001	3.9286068988E+001	3.0077291687E+001	0.129	3.272	2.934
17.167	2.736	3.450	0.512	4.3345548356E+001	4.3523720886E+001	2.8954600191E+001	0.145	3.135	2.917
17.298	2.719	3.510	0.410	4.6929130255E+001	4.7400955581E+001	2.4071096651E+001	0.162	2.982	2.885
17.417	2.691	3.553	0.371	4.9442477051E+001	4.9668420618E+001	1.9375679897E+001	0.174	2.857	2.855
17.548	2.651	3.603	0.385	5.1738261417E+001	5.1477028394E+001	1.4705004808E+001	0.183	2.751	2.845
17.625	2.629	3.633	0.408	5.2743632294E+001	5.2117758291E+001	1.2078299455E+001	0.188	2.701	2.834
17.756	2.579	3.688	0.435	5.4112643082E+001	5.2814749257E+001	9.1628870240E+000	0.194	2.636	2.828
17.832	2.554	3.723	0.472	5.4748348415E+001	5.3012586537E+001	7.5739850806E+000	0.198	2.606	2.817
17.963	2.500	3.785	0.478	5.5549342400E+001	5.3030995231E+001	4.9010377608E+000	0.209	2.569	2.770
18.023	2.476	3.814	0.509	5.5810050558E+001	5.2932758124E+001	3.9764441787E+000	0.209	2.561	2.780
18.153	2.416	3.882	0.534	5.6226402069E+001	5.2507305492E+001	2.6610705778E+000	0.215	2.552	2.766
18.227	2.386	3.923	0.567	5.6399923292E+001	5.2171741000E+001	2.1192086473E+000	0.213	2.555	2.784
18.358	2.323	3.998	0.579	5.6618639636E+001	5.1443748145E+001	1.4993875282E+000	0.220	2.567	2.760
18.445	2.282	4.050	0.638	5.6739596696E+001	5.0899939056E+001	1.3870044949E+000	0.218	2.579	2.780
18.576	2.224	4.137	0.661	5.6921576800E+001	4.9902842560E+001	1.3913356307E+000	0.219	2.605	2.789
18.698	2.167	4.217	0.690	5.7091304135E+001	4.8988541934E+001	1.5108103314E+000	0.222	2.630	2.783
18.829	2.111	4.312	0.691	5.7305698360E+001	4.7898768399E+001	1.6029486258E+000	0.225	2.662	2.787
18.927	2.061	4.375	0.678	5.7460868804E+001	4.7195667722E+001	1.7186067913E+000	0.224	2.688	2.803
19.058	1.996	4.467	0.700	5.7710518500E+001	4.6180977879E+001	1.9260115586E+000	0.227	2.730	2.802
19.145	1.951	4.528	0.727	5.7879977924E+001	4.5503280588E+001	1.8913390981E+000	0.227	2.762	2.814
19.276	1.885	4.626	0.761	5.8118299227E+001	4.4450524282E+001	1.1345399759E+000	0.223	2.812	2.851
19.356	1.848	4.688	0.856	5.8175306626E+001	4.4038673589E+001	-1.5110974120E-002	0.226	2.827	2.837
19.486	1.795	4.806	0.961	5.8015278129E+001	4.4112660084E+001	-2.9888576693E+000	0.233	2.806	2.805
19.568	1.775	4.892	2.068	5.7679718387E+001	4.5152792869E+001	-6.2771030379E+000	0.244	2.744	2.755
19.699	1.952	5.246	2.617	5.6402250434E+001	4.8527968087E+001	-1.4703534867E+001	0.267	2.590	2.668
19.778	2.040	5.440	1.481	5.5014929831E+001	5.1152625064E+001	-2.1703394945E+001	0.284	2.493	2.617
19.900	1.971	5.543	7.776	5.1592376036E+001	5.5521253681E+001	-3.3229962415E+001	0.195	2.351	2.525
19.993	3.411	7.114	10.862	4.8133093601E+001	5.7599336674E+001	-4.0062978783E+001	0.172	2.280	2.500
20.124	4.082	7.975	5.613	4.2365722207E+001	5.7776102417E+001	-4.1783077259E+001	0.153	2.215	2.442
20.217	4.344	8.371	3.068	3.8627470563E+001	5.5760215475E+001	-3.9089359621E+001	0.150	2.197	2.429
20.348	4.439	8.662	1.334	3.3708093894E+001	4.9656308363E+001	-3.1879486959E+001	0.140	2.202	2.411
20.459	4.306	8.695	-0.047	3.0693841814E+001	4.3366779127E+001	-2.5267825269E+001	0.126	2.223	2.413
20.590	4.051	8.650	-0.504	2.7654118968E+001	3.4281203533E+001	-2.0322602468E+001	0.104	2.264	2.415
20.676	3.849	8.586	-0.925	2.6077262350E+001	2.8666632115E+001	-1.8725276709E+001	0.089	2.294	2.440
20.807	3.487	8.450	-0.997	2.3566127242E+001	1.9662343882E+001	-2.0464363492E+001	0.089	2.343	2.446
20.885	3.278	8.377	-0.753	2.1901432611E+001	1.4869147745E+001	-2.2590089489E+001	0.089	2.373	2.446
21.016	2.948	8.293	-0.476	1.8647916405E+001	8.2243469336E+000	-2.8052996613E+001	0.089	2.426	2.451
21.086	2.804	8.281	0.018	1.6550430790E+001	5.5733287520E+000	-3.0190700576E+001	0.089	2.453	2.444
21.217	2.555	8.296	0.372	1.2497583750E+001	1.8575955210E+000	-3.6929297743E+001	0.089	2.515	2.467
21.297	2.458	8.360	1.133	9.2566620100E+000	6.1489313629E-001	-4.2348401642E+001	0.089	2.555	2.466
21.428	2.351	8.535	1.133	3.3330747573E+000	7.7775581866E-002	-4.5667999704E+001	0.089	2.595	2.472

-----  
**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)(kN/m) : Forza Tangenziale interconcio  
E' (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 dx dl alpha TauStress TauF TauStrength TauS

(m)	(m)	(m)	( )	(kPa)	(kN/m)	(kPa)	(kN/m)
16.000	0.131	0.145	25.631	62.274	9.039	261.500	37.955
16.131	0.131	0.145	25.631	61.804	8.970	258.847	37.570
16.262	0.131	0.145	25.631	61.335	8.902	259.613	37.681
16.393	0.131	0.145	25.631	60.865	8.834	260.425	37.799
16.523	0.131	0.145	25.631	60.396	8.766	258.437	37.510
16.654	0.131	0.145	25.631	59.926	8.698	256.441	37.221
16.785	0.011	0.012	25.631	59.672	0.709	258.050	3.067
16.796	0.131	0.147	27.240	61.774	9.092	246.741	36.316
16.927	0.131	0.147	27.240	61.250	9.015	246.063	36.217
17.058	0.109	0.123	27.240	60.769	7.473	246.936	30.365
17.167	0.131	0.152	30.597	64.475	9.802	231.823	35.244
17.298	0.119	0.139	30.597	63.859	8.859	231.740	32.149
17.417	0.131	0.159	34.384	66.851	10.600	216.796	34.377
17.548	0.077	0.093	34.384	66.225	6.191	217.981	20.378
17.625	0.131	0.167	38.566	68.197	11.414	203.114	33.994
17.756	0.076	0.097	38.566	67.443	6.518	203.705	19.686
17.832	0.131	0.175	41.568	67.654	11.833	193.225	33.797
17.963	0.060	0.080	41.568	66.866	5.367	190.795	15.315
18.023	0.131	0.183	44.310	66.315	12.127	182.069	33.296
18.153	0.073	0.102	44.310	65.384	6.691	180.949	18.516
18.227	0.131	0.190	46.487	64.221	12.206	174.316	33.131
18.358	0.087	0.127	46.487	63.150	8.013	171.717	21.788
18.445	0.131	0.196	48.108	61.681	12.088	167.026	32.734
18.576	0.122	0.183	48.108	60.376	11.025	165.246	30.175
18.698	0.131	0.200	49.124	58.736	11.745	160.006	31.995
18.829	0.098	0.150	49.124	57.516	8.651	157.119	23.634
18.927	0.131	0.205	50.245	55.859	11.430	153.004	31.309
19.058	0.087	0.137	50.245	54.659	7.473	150.711	20.604
19.145	0.131	0.210	51.387	52.949	11.103	146.351	30.689
19.276	0.079	0.127	51.387	51.756	6.586	144.581	18.399
19.356	0.131	0.215	52.503	50.009	10.751	135.461	29.121
19.486	0.082	0.135	52.503	48.765	6.565	125.503	16.896
19.568	0.131	0.220	53.543	46.965	10.343	111.289	24.508
19.699	0.079	0.132	53.543	45.708	6.040	104.335	13.787
19.778	0.122	0.211	54.522	43.954	9.261	98.910	20.840
19.900	0.093	0.160	54.522	104.001	16.657	172.307	27.596
19.993	0.131	0.230	55.407	101.397	23.372	183.149	42.215
20.124	0.093	0.164	55.407	99.990	16.396	198.182	32.498
20.217	0.131	0.235	56.166	97.487	22.912	212.290	49.894
20.348	0.112	0.200	56.166	95.936	19.231	216.657	43.429
20.459	0.131	0.247	58.059	91.454	22.621	216.088	53.450
20.590	0.086	0.162	58.059	90.011	14.563	211.086	34.153
20.676	0.131	0.262	60.039	85.192	22.323	205.138	53.752
20.807	0.078	0.157	60.039	83.740	13.149	197.608	31.028
20.885	0.131	0.278	61.942	78.786	21.919	179.281	49.879
21.016	0.070	0.150	61.942	77.338	11.584	167.815	25.137
21.086	0.131	0.295	63.619	72.646	21.395	151.302	44.559
21.217	0.080	0.180	63.619	71.086	12.781	141.881	25.510
21.297	0.131	0.311	65.119	66.547	20.698	125.868	39.149
21.428	0.073	0.173	65.119	65.003	11.221	121.582	20.988

-----  
**LEGENDA SIMBOLI**

X(m) : Ascissa sinistra concio  
dx(m) : Larghezza concio  
dl(m) : lunghezza base concio  
alpha( ) : 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  
-----

Strato 1 -- Parametri di resistenza al taglio equivalenti dell'ammasso roccioso  
stimati secondo criterio di rottura non lineare Hoek et al.(2002)  
CRITERIO DI ROTTURA Hoek et al.(2002,2006) - Generalizzato secondo Lei et al.(2016)

Fattore di riduzione NTC2018 gammaPHI=1.25 e gammaC=1.25 - ATTIVATO

SigmaN'(kPa)	TauStrength(kPa)	Phi'(deg)	c'(kPa)
25.00	143.36	60.84	69.89
50.00	197.49	57.91	78.27
75.00	245.86	55.77	86.45
100.00	288.47	54.15	92.38
125.00	330.43	52.73	100.08
150.00	371.14	51.48	108.44
175.00	410.03	50.39	116.53
200.00	446.58	49.45	123.55
225.00	484.61	48.52	133.17
250.00	519.69	47.73	140.76
275.00	551.37	47.04	145.76
300.00	583.99	46.37	152.45
325.00	617.56	45.72	160.80
350.00	647.10	45.17	165.66
375.00	682.47	44.53	177.06
400.00	708.34	44.09	179.23
425.00	740.07	43.56	187.91
450.00	772.54	43.04	197.82
475.00	800.18	42.61	203.17
500.00	828.35	42.19	209.47
600.00	940.40	40.63	237.54
700.00	1041.13	39.36	258.69
800.00	1141.12	38.21	283.09
900.00	1239.53	37.17	309.27
1000.00	1335.51	36.22	335.91
1100.00	1420.34	35.44	353.40
1200.00	1508.62	34.67	376.88
1300.00	1591.99	33.98	397.26
1400.00	1678.45	33.31	422.85
1500.00	1758.99	32.71	443.90
2000.00	2140.45	30.20	548.35