

COMUNE DI SOLETO E CORIGLIANO D'OTRANTO
Provincia di Lecce

Cava di Calcare ubicata in Località "Parziale Grande"
Autorizzata con Determinazione del Responsabile P.O.
n. 154/DIR/2008/000106 del 09/12/2008 e proroga n. 390 del 26/11/2014)

IL TECNICO

dott. geol. Luca ORLANDUCCI

COMMITTENTE

LUPERO ASFALTI S.r.l.

UBICAZIONE

Soleto e Corigliano d'Otranto (LE) Loc. "Parziale Grande"

DATI CATASTALI

F° 28 – part.ile 92, 96, 97, 102, 234, 230, 200, 232 (Soleto)

F° 5 - part.ile 200, 226, 229, 230, 231, 232, 234 (Corigliano d'Otranto)

INTEGRAZIONE RELAZIONE VERIFICA STABILITA' FRONTE OVEST
DELLE PARETI DI CAVA

CONFERENZA DEI SERVIZI DEL 20/04/2023

Riferimento:

| Data: Maggio 2023

| Aggiornamento:



INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. FRONTE INTERESSATO DAL PERCORSO DI CAVA.....	5
3. SUCCESSIONE STRATIGRAFICA.....	7
4. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA.....	9
4.1 Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso (metodo di Hoek-Brown e metodo equivalente di Mohr-Coulomb).....	15
4.2 ORIENTAZIONE DEI PIANI DI DISCONTINUITÀ NELLO SPAZIO (PROIEZIONI CICLOGRAFICHE).....	21
5 · PERICOLOSITA' SISMICA DELL'AREA.....	25
6 · SISMICITA' STORICA.....	27
7 · CARATTERIZZAZIONE SISMOGENETICA.....	30
8 · PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE.....	33
9 · RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	38
10. STABILITÀ DELLE SCARPATE.....	43
10.1 Generalità.....	43
10.2 Procedure e metodi di calcolo utilizzati.....	48
10.3 Analisi in presenza di sisma (in ambito normativa NTC 2018).....	51
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	53
REPORT ELABORAZIONI DI CALCOLO.....	55

1. PREMESSA

Come da verbale della conferenza dei servizi del 20/04/2023 relativa al “progetto di variante al piano di coltivazione e di ripristino ambientale di una cava di calcare localizzata in territorio amministrativo di Corigliano d'Otranto e Soleto, autorizzata con D.D. n. 390 del 26/11/2014 dell'Ufficio Attività Estrattive della Regione Puglia (di proroga della autorizzazione rilasciata con Decreto dell'Assessorato I.C.A. n. 16/MIN/94) e successiva D.D. dell'Ufficio Attività estrattive della Regione Puglia n.1 del 09/01/2023” è stata eseguita dallo scrivente un approfondimento del rilievo strutturale e verifica stabilità dei versanti ed in particolare sul fronte Ovest di cava **ricadente nel Foglio 5 part.IIIa 234**, in ottemperanza a quanto verbalizzato nella conferenza dei servizi sopra riportata: “ ***E' necessario approfondire la verifica di stabilità dei fronti analizzando la stabilità del fronte Ovest della cava prospiciente il percorso di collegamento al sottostante impianto di frantumazione, prendendo in analisi i tratti caratterizzati da maggiore altezza e pendenza e l'effettivo stato di fessurazione/fratturazione, tanto in relazione alla sicurezza del percorso di cava adiacente al piede di detto fronte***”.

Con riferimento a tale fronte, 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, propedeuticamente è stato eseguito il rilevamento delle caratteristiche geometriche e meccaniche delle discontinuità che interessano l'ammasso roccioso utilizzando il metodo della scanline, messo a punto per ottenere il maggior numero di parametri geomeccanici direttamente rilevabili in situ.

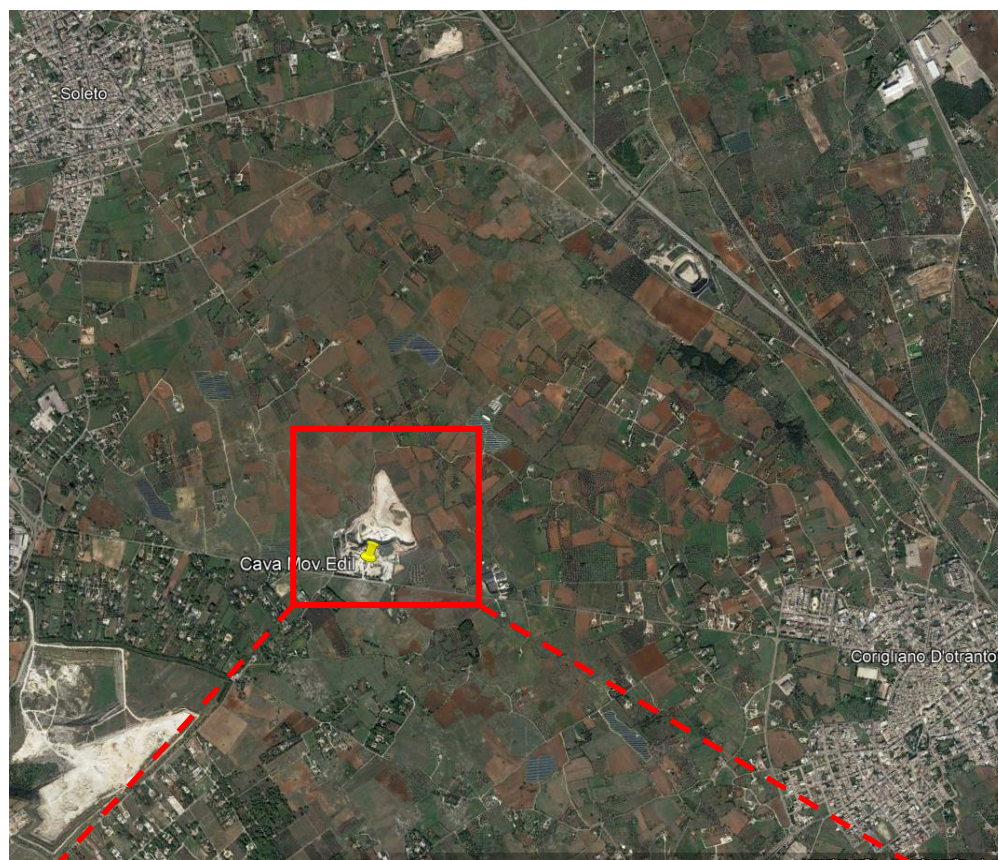
La procedura di calcolo prende in considerazione tutte le forze e/o i momenti agenti lungo il piano di taglio, fornendo una valutazione della stabilità globale attraverso le equazioni d'equilibrio fornite dalla statica.

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



2. FRONTE INTERESSATO DAL PERCORSO DI CAVA

Il fronte in oggetto, ubicato al F 5 part.IIIa 234, interessato dal percorso per l'accesso all'impianto di frantumazione, è riportato nelle foto successive nelle quali sono indicate anche le aree interdette alla fruizione.



Foto 1



Fronte oggetto di approfondimento di verifica



Foto 2



Fronti su strada interdetti all'accesso con blocchi di cemento



Area perimetrata ed interdetta con blocchi di cemento



Fronte oggetto di approfondimento di verifica



Punti di presa

3. SUCCESSIONE STRATIGRAFICA

Così come è evidente dalle pareti di sbancamento nell'intera cava, **il litotipo è costituito da calcari e calcari dolomitici talora microcristallini**, sormontati sul piano campagna 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 del fronte di scavo ad Ovest, è stata fatta considerando i parametri più conservativi, inserendo quindi 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 calcareo-dolomitiche del Cretaceo



4. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA

Nel valutare il comportamento geomeccanico di terreni lapidei (i calcari presenti nell'area in oggetto), 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 (calcari) 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:

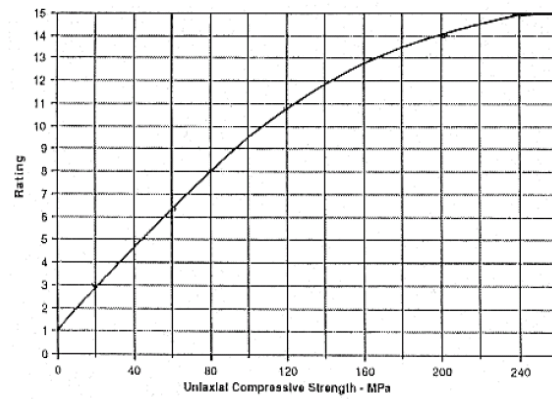
- A1: Resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;
- A2: Indice di qualità RQD (Rock Quality Designation);
- A3: Spaziatura dei giunti;
- A4: Condizioni dei giunti (scabrezza, alterazione delle pareti, apertura, materiale di riempimento);
- A5: Condizioni idrauliche dei giunti;
- Ic: Indice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

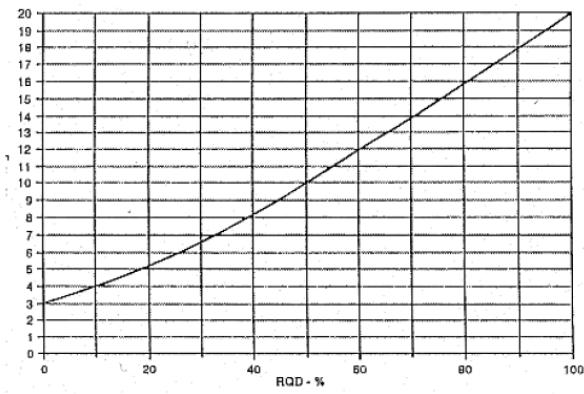
$$RMR = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) - Ic$$

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.

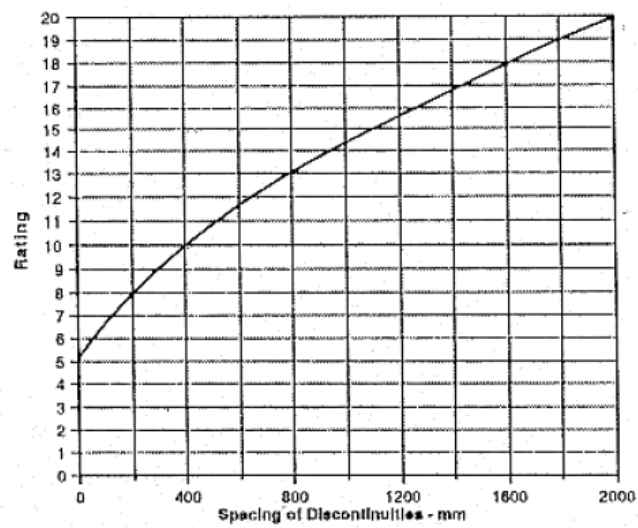
Per classificare l'ammasso roccioso in esame si è fatto quindi riferimento ai grafici ed alle tabelle relative al metodo RMR 89, che, per chiarezza e completezza di trattazione, sono state di seguito allegate.



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	Umidì	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	Indice	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 la parete prospiciente alla strada di collegamento all'impianto di frantumazione, si evince la presenza sia di piani di strato (pressoché planari e pseudo orizzontali) che di giunti di fessurazione/fratturazione (verticali).

- $A1 = 11$ (avendo assunto prudenzialmente il valore più basso di quelli normalmente misurati, ovvero ~ 120 MPa) (cfr prove di compressione uniassiale);
- $A2 = 5$ (in quanto i valori medi di RQD si possono considerarsi attorno al 20%);
- $A3 = 8$ (discontinuità con spaziatura ridotta a 20 cm);
- $A4 = 14$ (giunti lunghi, con apertura >5 mm, lisci, con nessun riempimento e mediamente alterati);
- $A5 = 15$ (giunti asciutti, visto che il livello piezometrico della falda è situato ad oltre 100 metri rispetto al p.c.);
- $Ic = -7$ (correzione per versanti su roccia stratificata con condizioni di orientazione dei giunti discrete).

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

$$RMR = (11 + 5 + 8 + 14 + 15) - 7 = 46$$

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:

$$G.S.I. = BRMR - 7 = 46$$

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. Soli, 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	Leggerm. 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 (σ_{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:

σ_1' ; σ_3' = tensione di rottura secondo l'asse maggiore e minore

σ_{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 (σ_n) agente.

I valori di c' e ϕ' 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 \rightarrow 120 MPa (1200 kg/cm²);

costante di Hoek-Brown per roccia intatta \rightarrow $m_i = 9$ (valore assegnato alle rocce aventi la composizione litologica e la struttura dei calcari);

indice GSI \rightarrow 46 (calcolato precedentemente mediante la classificazione di Bieniawski);

indice di disturbo $D = 1$ (L'esperienza nella progettazione dei versanti in miniere molto grandi a cielo aperto ha dimostrato che il criterio di Hoek-Brown per ammassi rocciosi in situ indisturbati ($D = 0$) determina proprietà dell'ammasso roccioso che sono troppo ottimistiche. Gli effetti del danno della forte esplosione così come la distensione della tensione dovuta all'eliminazione del terreno di copertura risultano di disturbo all'ammasso roccioso. Si ritiene che le proprietà dell'ammasso roccioso 'disturbato', $D=1$ siano più appropriate per questi ammassi rocciosi.)

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

Rock Type: General

GSI Selection: 52 OK

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

VALORI DI GSI

Pick Mi Value

List of Mi Values

- Anhydrite 12 ± 2
- Breccias 20 ± 2
- Chalk 7 ± 2
- Claystones 4 ± 2
- Conglomerates 21 ± 3
- Crystalline Limestone 12 ± 3
- Dolomites 9 ± 3
- Greywackes 18 ± 3
- Gypsum 10 ± 2
- Marls 7 ± 2
- Micritic Limestones 8 ± 3
- Sandstones 17 ± 4
- Shales 6 ± 2
- Siltstones 7 ± 2
- Sparitic Limestones 10 ± 5

Selected Mi Value

Mi Value: 9

Filter List

☒ Rock Type

- ☒ Sedimentary
- ☐ Igneous
- ☐ Metamorphic

☐ Texture

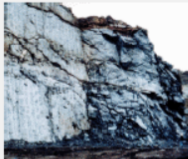
- ☒ Coarse
- ☐ Medium
- ☐ Fine
- ☐ Very Fine

OK Cancel

INDICE M_i

Disturbance Factor D


Application: ☐ Tunnels ☒ Slopes



Small scale blasting in civil engineering slopes results in modest rock mass damage, particularly if controlled blasting is used as shown on the left hand side of the photograph. However, stress relief results in some disturbance.

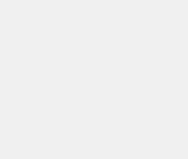
D=0.7
Good Blasting

D=1.0
Poor Blasting



Very large open pit mine slopes suffer significant disturbance due to heavy production blasting and also due to stress relief from overburden removal.

D=1.0
Production Blasting



In some softer rocks excavation can be carried out by ripping and dozing and the degree of damage to the slopes is less.

D=0.7
Mechanical Excavation

FATTORE DI DISTURBO

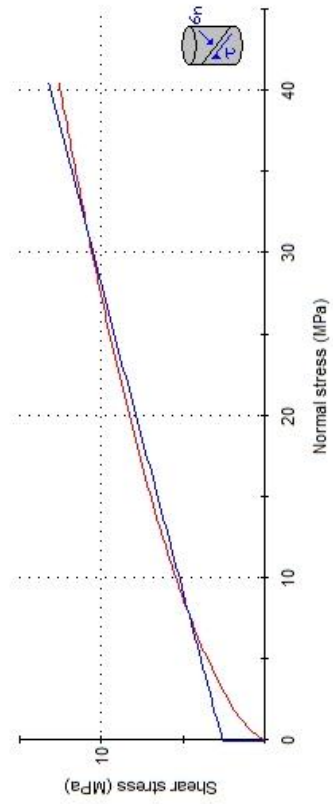
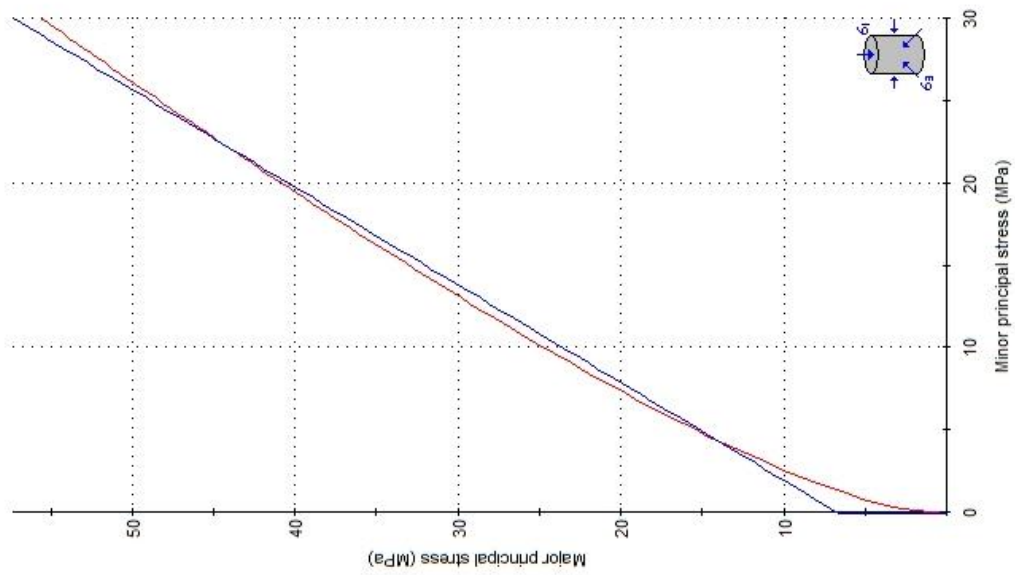
Analysis of Rock Strength using RocLab

Hoek-Brown Classification
 intact uniaxial compressive strength = 120 MPa
 GSI = 46 mI = 9 Disturbance factor = 1

Hoek-Brown Criterion
 mb = 0.190 s = 0.0001 a = 0.508

Mohr-Coulomb Fit
 cohesion = 2.589 MPa friction angle = 14.79 deg

Rock Mass Parameters
 tensile strength = -0.078 MPa
 uniaxial compressive strength = 1.245 MPa
 global strength = 6.724 MPa
 modulus of deformation = 3971.64 MPa





POINT LOAD TEST

DATA: gennaio 2023

CERT. n°:

COMMITTENTE: Luperto Asfalti s.r.l.

LOCALITA': loc. "Parziale Grande" Soleto - Corigliano d'Otranto

CAMPIONE: Calcari e calcari dolomitici di colore nocciola (lump test)

Norma ASTM D 5731

RESISTENZA A COMPRESSIONE

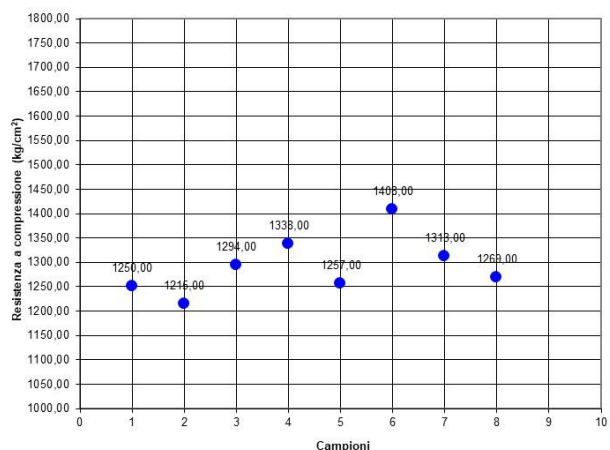
$$R_c = I_{s(50)} \cdot k \quad k = 22,72$$

Prove eseguite 8

Valore massimo (kg/cm²) 1407

Valore medio (kg/cm²) 1293

Valore minimo (kg/cm²) 1215



Campione	Sondaggio	Profondità (m dal p.c.)	Dist. punte D (cm)	Carico applicato P (kg)	Indice Point Load Is (kg/cm ²)	Indice di resistenza Is (kg/cm ²) lump test	Resist. a compress. Rc = Is ₍₅₀₎ • k
1			6	1980	55,00	55,00	1250,00
2			7	2620	53,47	53,47	1215,21
3			6	2050	56,94	56,94	1294,19
4			6	2120	58,89	58,89	1338,38
5			7	2710	55,31	55,31	1256,96
6			6	2230	61,94	61,94	1407,83
7			6	2080	57,78	57,78	1313,13
8			6	2010	55,83	55,83	1268,94

D = distanza tra le due punte
P = pressione applicata
 $I_s = P/D^2$

PIANI DI DEBOLEZZA PROVINI

A – Assenti

B – Perpendicolari alla direzione di carico

C – Paralleli alla direzione di carico

Descrizione	Resistenza a compressione monoassiale R _c (kg/cm ²)	Indice Point-Load I _r (kg/cm ²)
Molto bassa	< 250	<11
Bassa	250-500	11-22
Media	500-1000	22-44
Elevata	1000-2000	44-88

4.2 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.

Nel caso specifico la scanline è stata eseguita sulla pareti E-W, N-S oggetto di verifica

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 sul fronte di cava ad Ovest prospiciente la viabilità di accesso all'impianto di frantumazione, non evidenziano poliedri isolati tali da innescare meccanismi di traslazione rototraslazione e/o gravitativi.

4.3 Scanline

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.



Foto 3 fronte oggetto di rilievo strutturale



Foto 4 traccia delle scanlines



Foto 5 dettaglio dei piani di strato prossimi all'orizzontalità



Foto 6 - 7 dettaglio delle fratture principali con inclinazioni prossime a 70-80°

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).

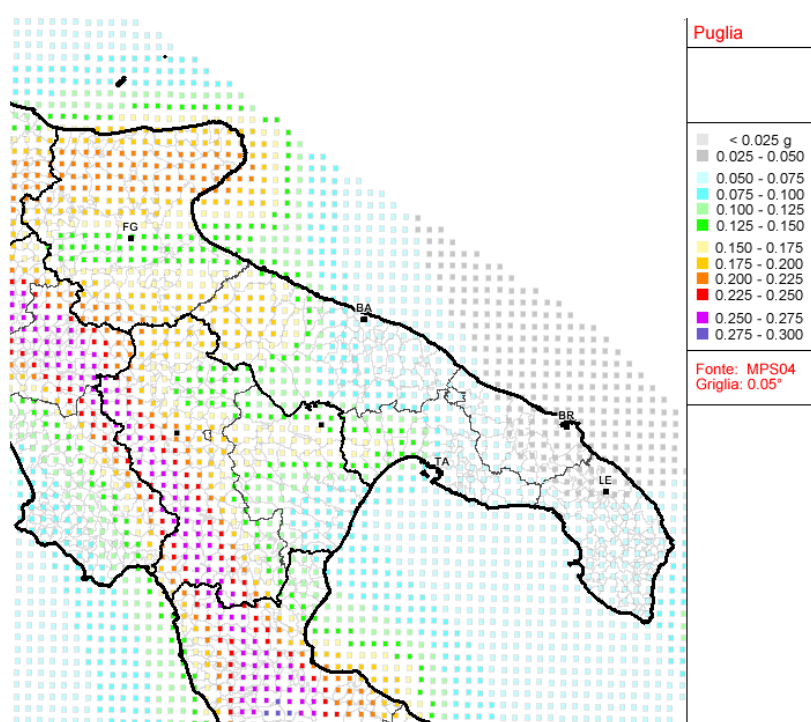


Fig.1 Pericolosità sismica regionale



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

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)

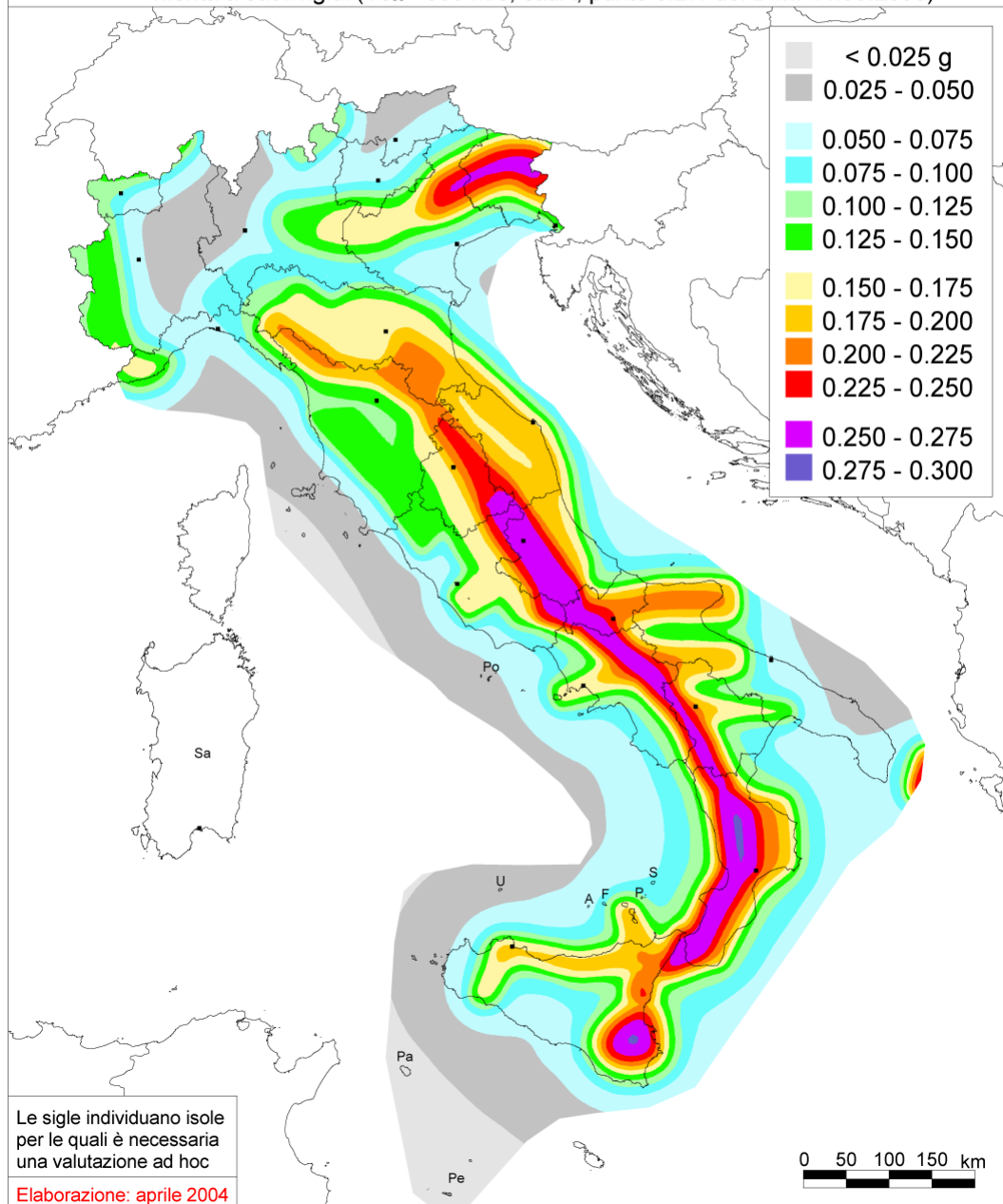


Fig.2 Mapa della pericolosità sismica

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).

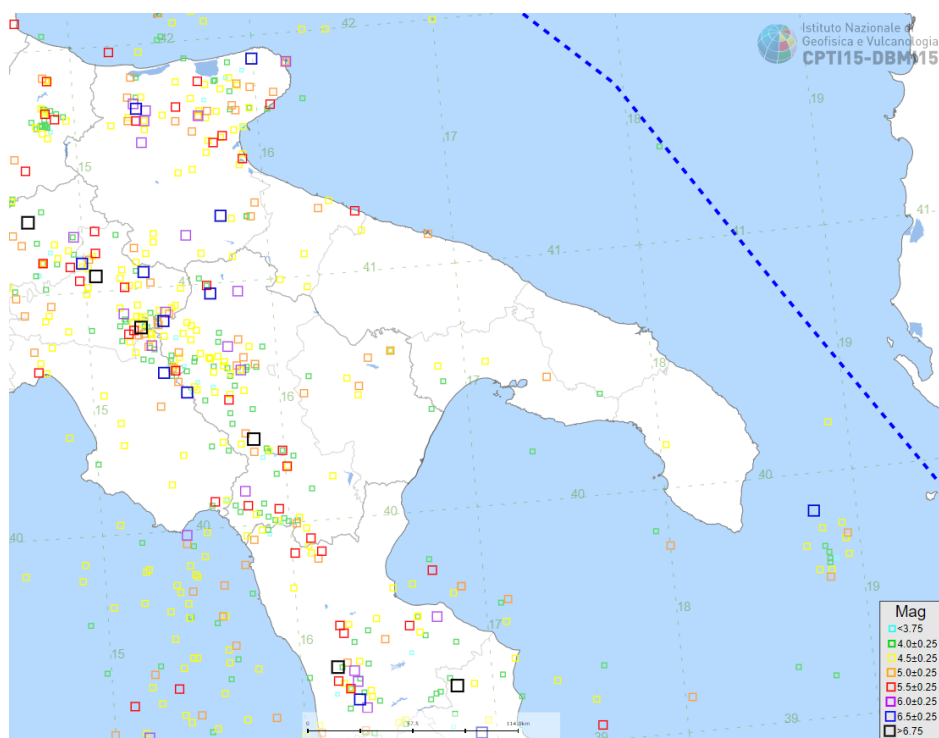


Fig.3 Mappa con la localizzazione degli eventi sismici storici avvenuti in Puglia
(fonte: catalogo parametrico dei terremoti italiani CPTI15, INGV)

Questo catalogo riporta dati parametrici omogenei, sia macrosismici che strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 o con magnitudo (M_w) ≥ 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}) ≥ 5 avvenuti nel territorio nazionale e in alcuni paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

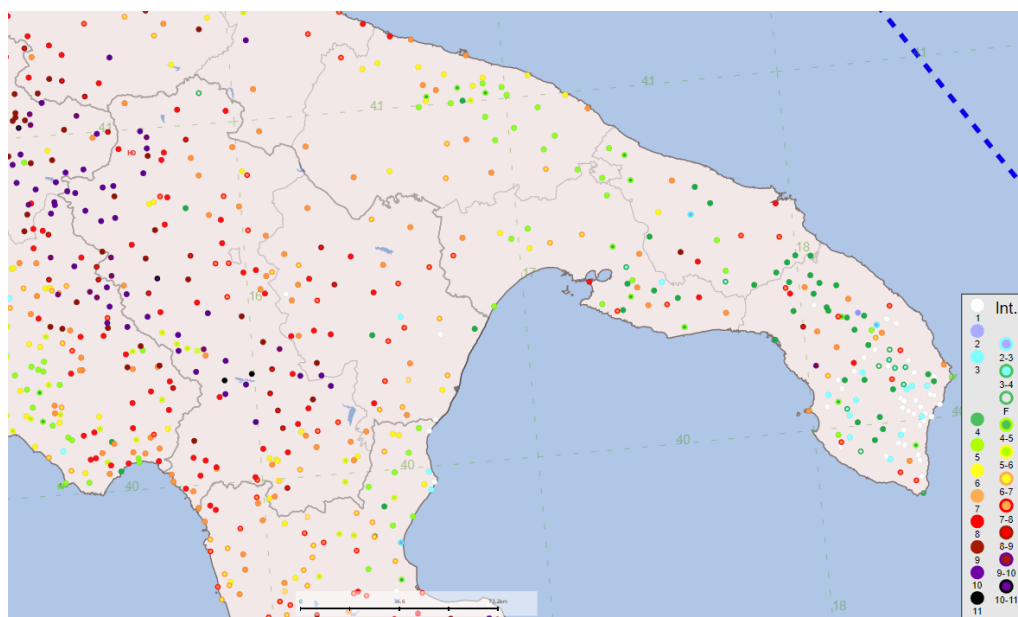
La finestra cronologica coperta dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15 va dall'anno 1000 d.C. circa a tutto il 2014 d.C., ed offre per ogni terremoto una stima il più possibile omogenea della localizzazione epicentrale (Latitudine, Longitudine), dei valori di Intensità massima ed epicentrale, della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

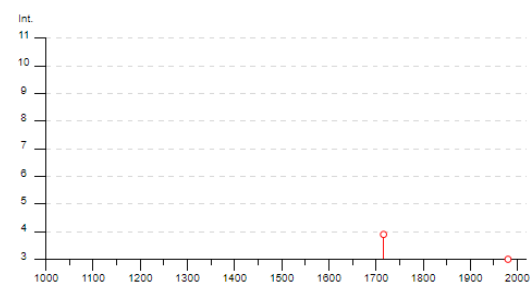
In generale, dalla consultazione di questo catalogo si evidenzia che l'area interessata dal progetto presenta una sismicità storica molto bassa.

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.



Corigliano d'Otranto

PlaceID IT_62685
 Coordinate (lat, lon) 40.159, 18.257
 Comune (ISTAT 2015) Corigliano d'Otranto
 Provincia Lecce
 Regione Puglia
 Numero di eventi riportati 5



Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
F	1716	11					Adriatico meridionale	5		
3	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
NF	1984	04	29	05	02	5	Umbria settentrionale	709	7	5.62
NF	1988	04	13	21	28	2	Golfo di Taranto	272	6-7	4.86
NF	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1378		5.77

Località vicine (entro 10km)

Località	EQs	Distanza (km)
Melpignano	4	3
Castrignano de' Greci	4	4
Cursi	4	5
Zollino	2	5
Soleto	3	5
Sogliano Cavour	1	5
Maglie	12	6
Martano	5	6
Cutrofiano	4	6
Sternatia	3	7
Galatina	12	8
Noha	1	8
Carpignano Salentino	4	8
Bagnolo del Salento	4	8
Scorrano	2	8
Martignano	2	9
Cannole	4	9
Muro Leccese	6	9

**Fig.4 – Grafico delle intensità di sito (Is) risentite a Calimera (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.

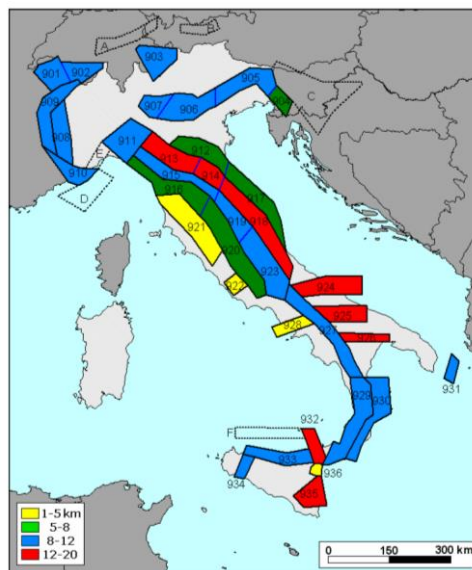


Fig.5 – Classi di profondità efficace assegnate alle diverse zone sismogenetiche di ZS9

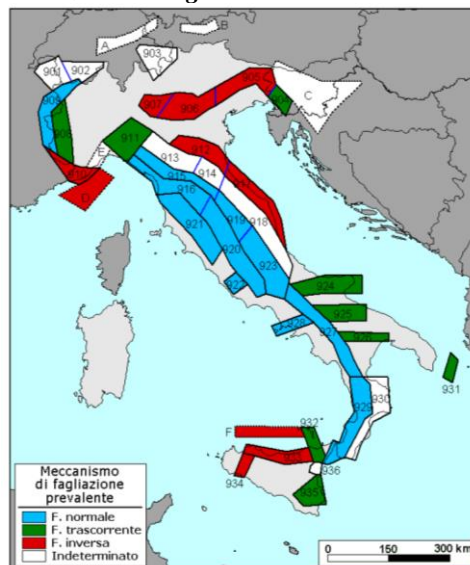


Fig.6 – Meccanismo di fagliazione prevalente atteso per le diverse zone sismogenetiche che compongono ZS9

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 (Decreti 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 "A", $V_{s,eq} > 800$ 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:

- ✓ **a_g** accelerazione orizzontale massima attesa al bedrock con superficie topografica orizzontale;
- ✓ **F_o** valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- ✓ **T_c^*** 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 (a_g) 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. CORIGLIANO D'OTRANTO - SOLETO

latitudine: 40,168153

longitudine: 18.224752

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento ID	Lat	Lon	Distanza (m)
35703	40,1857	18,2021	2576,837
35704	40,1829	18,2674	4051,399
35926	40,1330	18,2637	5287,856
35925	40,1358	18,1984	4264,672

Coordinate dei vertici della griglia di riferimento

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: A

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

Stato limite	Probabilità di superamento	Tr	ag	Fo	Tc*
SLO	81 %	30[anni]	0,014 g	2,411	0,158[s]
SLD	63%	50[anni]	0,019 g	2,418	0,198[s]
SLV	10%	475[anni]	0,055 g	2,488	0,429[s]
SLC	5%	975[anni]	0,073g	2,530	0,495[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	1,000	1,000	1,000	0,003	0,001	0,141	0,200
SLD	1,000	1,000	1,000	0,004	0,002	0,188	0,200
SLV	1,000	1,000	1,000	0,011	0,005	0,536	0,200
SLC	1,000	1,000	1,000	0,015	0,007	0,720	0,200

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_v) 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_v) 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:

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

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), come riportato in Figura 8, Corigliano d'Otranto.

ID	LON	LAT	T _R =30			T _R =50			T _R =72			T _R =101			T _R =140			T _R =201			T _R =475			T _R =975			T _R =2475		
			a _g	F ₀	T _c	a _g	F ₀	T _c	a _g	F ₀	T _c	a _g	F ₀	T _c	a _g	F ₀	T _c	a _g	F ₀	T _c	a _g	F ₀	T _c	a _g	F ₀	T _c	a _g	F ₀	T _c
34148	18.162	40.538	0.103	2.74	0.10	0.149	2.37	0.16	0.184	2.38	0.21	0.222	2.31	0.25	0.263	2.29	0.32	0.305	2.38	0.35	0.418	2.48	0.46	0.537	2.54	0.54	0.714	2.66	0.58
33926	18.165	40.588	0.094	2.74	0.10	0.142	2.37	0.16	0.176	2.38	0.20	0.212	2.33	0.24	0.253	2.28	0.31	0.294	2.38	0.35	0.400	2.52	0.45	0.515	2.58	0.54	0.680	2.72	0.56
37479	18.173	39.786	0.165	2.39	0.16	0.222	2.38	0.22	0.271	2.37	0.27	0.316	2.39	0.31	0.360	2.49	0.34	0.413	2.54	0.37	0.599	2.64	0.42	0.790	2.71	0.46	1.102	2.75	0.54
37257	18.177	39.836	0.164	2.39	0.16	0.221	2.38	0.22	0.269	2.36	0.27	0.315	2.39	0.31	0.359	2.48	0.34	0.412	2.55	0.37	0.597	2.64	0.42	0.793	2.69	0.47	1.107	2.74	0.54
37035	18.18	39.886	0.163	2.40	0.16	0.218	2.38	0.22	0.267	2.36	0.27	0.313	2.38	0.31	0.357	2.47	0.34	0.409	2.54	0.37	0.593	2.64	0.42	0.793	2.68	0.47	1.105	2.73	0.54
36813	18.184	39.936	0.161	2.40	0.16	0.215	2.39	0.22	0.264	2.35	0.27	0.310	2.37	0.31	0.354	2.46	0.34	0.405	2.54	0.37	0.588	2.63	0.42	0.788	2.66	0.47	1.096	2.72	0.54
36591	18.188	39.986	0.158	2.40	0.16	0.211	2.39	0.22	0.260	2.35	0.27	0.306	2.35	0.30	0.351	2.44	0.34	0.400	2.53	0.37	0.580	2.61	0.42	0.780	2.64	0.46	1.081	2.71	0.54
36369	18.191	40.036	0.155	2.40	0.16	0.206	2.40	0.21	0.256	2.34	0.27	0.302	2.35	0.30	0.346	2.42	0.33	0.395	2.50	0.37	0.570	2.58	0.43	0.767	2.62	0.46	1.060	2.71	0.54
36147	18.195	40.086	0.151	2.40	0.16	0.200	2.42	0.21	0.250	2.33	0.26	0.296	2.34	0.29	0.340	2.40	0.33	0.390	2.48	0.37	0.561	2.53	0.43	0.751	2.57	0.51	1.034	2.71	0.55
35925	18.198	40.136	0.147	2.40	0.16	0.195	2.42	0.21	0.243	2.32	0.24	0.289	2.33	0.29	0.334	2.38	0.33	0.383	2.46	0.37	0.550	2.48	0.43	0.732	2.53	0.51	1.004	2.71	0.55
35703	18.202	40.186	0.142	2.42	0.16	0.190	2.42	0.20	0.236	2.32	0.24	0.282	2.32	0.29	0.326	2.36	0.32	0.376	2.44	0.36	0.537	2.44	0.44	0.711	2.49	0.52	0.973	2.67	0.55
35481	18.206	40.236	0.137	2.43	0.16	0.184	2.42	0.20	0.227	2.33	0.23	0.273	2.32	0.29	0.318	2.34	0.32	0.366	2.41	0.35	0.523	2.40	0.45	0.687	2.48	0.53	0.940	2.61	0.56
35259	18.209	40.286	0.131	2.44	0.15	0.178	2.37	0.18	0.218	2.36	0.23	0.264	2.31	0.29	0.309	2.32	0.32	0.356	2.40	0.35	0.507	2.36	0.46	0.659	2.47	0.54	0.899	2.60	0.57
35037	18.213	40.335	0.125	2.46	0.15	0.170	2.38	0.17	0.207	2.39	0.22	0.254	2.30	0.29	0.298	2.31	0.32	0.345	2.38	0.35	0.490	2.36	0.46	0.633	2.46	0.55	0.867	2.56	0.58
34815	18.217	40.385	0.118	2.48	0.15	0.163	2.40	0.16	0.197	2.41	0.22	0.243	2.29	0.28	0.287	2.29	0.32	0.333	2.37	0.35	0.469	2.38	0.46	0.605	2.46	0.56	0.831	2.55	0.59
34593	18.22	40.435	0.110	2.51	0.14	0.155	2.41	0.16	0.189	2.42	0.21	0.231	2.31	0.28	0.276	2.28	0.32	0.321	2.36	0.35	0.448	2.41	0.45	0.580	2.48	0.56	0.792	2.56	0.60
34371	18.224	40.485	0.102	2.80	0.10	0.147	2.41	0.16	0.181	2.41	0.21	0.220	2.33	0.24	0.265	2.27	0.31	0.308	2.36	0.35	0.427	2.45	0.45	0.555	2.50	0.56	0.755	2.59	0.60
34149	18.227	40.535	0.093	2.83	0.10	0.140	2.42	0.16	0.173	2.41	0.20	0.208	2.37	0.24	0.253	2.26	0.31	0.296	2.36	0.34	0.406	2.49	0.45	0.530	2.53	0.56	0.717	2.64	0.59
37480	18.238	39.784	0.167	2.39	0.16	0.224	2.39	0.22	0.272	2.39	0.27	0.318	2.40	0.31	0.370	2.47	0.33	0.437	2.56	0.35	0.618	2.63	0.43	0.843	2.66	0.48	1.199	2.68	0.54
37258	18.242	39.833	0.165	2.39	0.16	0.222	2.39	0.22	0.270	2.39	0.27	0.316	2.40	0.31	0.373	2.44	0.33	0.435	2.57	0.35	0.616	2.63	0.43	0.846	2.66	0.48	1.202	2.67	0.54
37036	18.245	39.883	0.163	2.39	0.16	0.219	2.40	0.22	0.268	2.39	0.27	0.313	2.40	0.30	0.370	2.43	0.33	0.431	2.57	0.34	0.611	2.63	0.43	0.843	2.65	0.48	1.196	2.67	0.54
36814	18.249	39.933	0.161	2.39	0.16	0.215	2.40	0.22	0.264	2.38	0.27	0.310	2.39	0.30	0.366	2.43	0.33	0.425	2.58	0.34	0.603	2.63	0.43	0.836	2.64	0.48	1.184	2.67	0.54
36592	18.253	39.983	0.158	2.39	0.16	0.211	2.41	0.21	0.260	2.37	0.25	0.305	2.39	0.29	0.356	2.44	0.33	0.416	2.57	0.34	0.594	2.62	0.42	0.825	2.63	0.48	1.166	2.66	0.54
36370	18.256	40.033	0.154	2.39	0.16	0.205	2.43	0.21	0.254	2.36	0.24	0.300	2.38	0.29	0.345	2.44	0.33	0.406	2.56	0.34	0.583	2.61	0.42	0.809	2.61	0.48	1.141	2.66	0.54
36148	18.26	40.083	0.150	2.39	0.16	0.199	2.44	0.20	0.248	2.36	0.23	0.294	2.37	0.29	0.339	2.42	0.32	0.395	2.51	0.35	0.572	2.58	0.42	0.791	2.59	0.48	1.111	2.66	0.54
35926	18.264	40.133	0.145	2.40	0.16	0.193	2.44	0.20	0.240	2.36	0.23	0.287	2.36	0.29	0.332	2.39	0.32	0.386	2.48	0.35	0.561	2.55	0.42	0.769	2.57	0.47	1.078	2.66	0.53
35704	18.267	40.183	0.140	2.42	0.16	0.187	2.40	0.18	0.232	2.35	0.23	0.279	2.34	0.28	0.324	2.37	0.32	0.374	2.46	0.35	0.548	2.52	0.42	0.746	2.55	0.46	1.041	2.66	0.54
35482	18.271	40.233	0.134	2.44	0.15	0.180	2.40	0.17	0.222	2.37	0.22	0.269	2.34	0.28	0.315	2.35	0.32	0.366	2.43	0.35	0.533	2.46	0.42	0.721	2.53	0.45	1.003	2.66	0.55
35260	18.275	40.283	0.128	2.46	0.15	0.173	2.41	0.16	0.211	2.40	0.22	0.259	2.33	0.27	0.304	2.33	0.31	0.354	2.41	0.35	0.514	2.39	0.43	0.693	2.45	0.52	0.960	2.64	0.55
35038	18.278	40.333	0.120	2.48	0.15	0.165	2.42	0.16	0.199	2.44	0.21	0.247	2.32	0.27	0.293	2.30	0.30	0.342	2.38	0.34	0.490	2.38	0.44	0.661	2.43	0.53	0.916	2.58	0.56
34816	18.282	40.383	0.113	2.51	0.15	0.157	2.44	0.16	0.191	2.44	0.20	0.234	2.33	0.24	0.280	2.29	0.30	0.329	2.36	0.34	0.467	2.38	0.44	0.610	2.49	0.54	0.854	2.60	0.57
34594	18.286	40.433	0.104	2.81	0.10	0.148	2.44	0.16	0.182	2.44	0.20	0.222	2.35	0.23	0.268	2.30	0.29	0.315	2.34	0.33	0.444	2.41	0.44	0.582	2.49	0.55	0.808	2.61	0.58
34372	18.289	40.482	0.095	2.86	0.10	0.140	2.46	0.16	0.173	2.39	0.18	0.208	2.39	0.23	0.255	2.28	0.29	0.302	2.33	0.33	0.420	2.44	0.44	0.555	2.48	0.56	0.768	2.60	0.59
37703	18.299	39.731	0.169	2.37	0.16	0.229	2.38	0.22	0.278	2.40	0.27	0.331	2.41	0.29	0.382	2.56	0.31	0.451	2.56	0.34	0.643	2.63	0.44	0.905	2.61	0.48	1.309	2.61	0.54
37481	18.303	39.781	0.169	2.38	0.16	0.229	2.39	0.22	0.277	2.40	0.27	0.336	2.44	0.28	0.383	2.56	0.31	0.451	2.56	0.34	0.646	2.63	0.45	0.915	2.60	0.48	1.324	2.61	0.54
37259	18.307	39.831	0.168	2.38	0.16	0.226	2.39	0.22	0.275	2.41	0.25	0.334	2.48	0.28	0.381	2.55	0.30	0.449	2.56	0.33	0.645	2.63	0.45	0.918	2.59	0.48	1.328	2.61	0.53
37037	18.31	39.881	0.165	2.38	0.16	0.223	2.40	0.22	0.271	2.41	0.25	0.331	2.49	0.27	0.378	2.59	0.29	0.445	2.56	0.33	0.640	2.63	0.45	0.913	2.58	0.48	1.320	2.61	0.53
36815	18.314	39.931	0.162	2.38	0.16	0.218	2.42	0.22	0.267	2.41	0.25	0.327	2.48	0.27	0.373	2.58	0.29	0.437	2.57	0.33	0.630	2.63	0.45	0.903	2.58	0.49	1.303	2.61	0.53
36593	18.318	39.98	0.158	2.39	0.16	0.212	2.43	0.22	0.261	2.41	0.24	0.321	2.44	0.27	0.367	2.58	0.29	0.427	2.58	0.33	0.617	2.63	0.45	0.886	2.58	0.49	1.277	2.61	0.53
36371	18.322	40.03	0.154	2.39	0.16	0.205	2.45	0.21	0.254	2.41	0.24	0.308	2.42	0.28	0.359	2.57	0.28	0.415	2.59	0.33	0.600	2.63	0.44	0.864	2.57	0.49	1.243	2.61	0.53
36149	18.325	40.08	0.149	2.39	0.16																								

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	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.
B	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.
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	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.

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 A.**

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

Fig.9: 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 10).

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.10: 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.

In tab. 2 sono riportati i valori di accelerazione orizzontale massima attesi al suolo a_{gs} (PGA), in accordo alle NTC 2018.

STATO LIMITE	a_{gs} (PGA) (g)
SLD ($T_r=50$ anni)	0.019
SLV ($T_r=475$ anni)	0.055

Tab.2: Valori di accelerazione orizzontale massima attesi al suolo a_{gs} (PGA) NTC 2018

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:

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

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).

In Tabella 3 sono riportati i valori di velocità orizzontale massimi attesi al suolo V_g (PGV) nell'area in esame definiti mediante la suddetta relazione.

STATO LIMITE	V_g (PGV) (m/s)
SLD (Tr=50 anni)	0.0006
SLV (Tr=475 anni)	0.0037

Tab.3: Valori di velocità orizzontale massima attesi al suolo V_g (PGV) NTC 2018

La sismicità storica dell'area interessata è stata studiata consultando i più recenti e dettagliati cataloghi di riferimento (CPTI15 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.

Lo studio delle accelerazioni sismiche orizzontali massime attese al bedrock ed in superficie e delle velocità orizzontali di picco nell'area di progetto è stato eseguito, in accordo alle vigenti norme NTC 2018, per differenti stati limite e ha fornito i valori indicati in Tabella 4 riportata di seguito:

STATO LIMITE	a_g (g)	a_{gs} (PGA) (g)	V_g (PGV) (m/s)
SLD (Tr=50 anni)	0.019	0.019	0.0006
SLV (Tr=475 anni)	0.055	0.055	0.0037

Tab. 4: Valori massimi di accelerazione e velocità orizzontale attesi per i due stati limite in accordo alle NTC 2018



Indagine sismica alla base dei fronti di cava

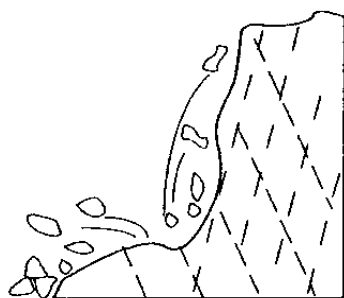
10. STABILITÀ DELLE SCARPATE

10.1 Generalità

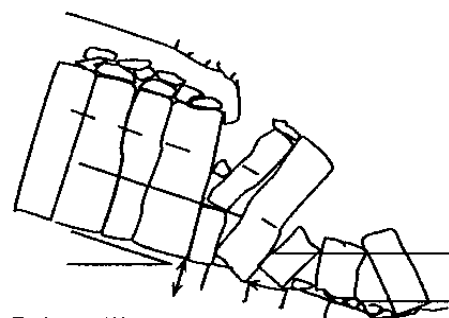
Nel caso di scarpate in roccia, particolare importanza assumono i piani di discontinuità presenti in seno all'ammasso roccioso (superfici di stratificazione, giunti di fratturazione, faglie, ecc.): il numero, la densità, l'orientazione, la spaziatura, la giacitura e le caratteristiche (rugosità, continuità, 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 giacitureali 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 scorrono 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



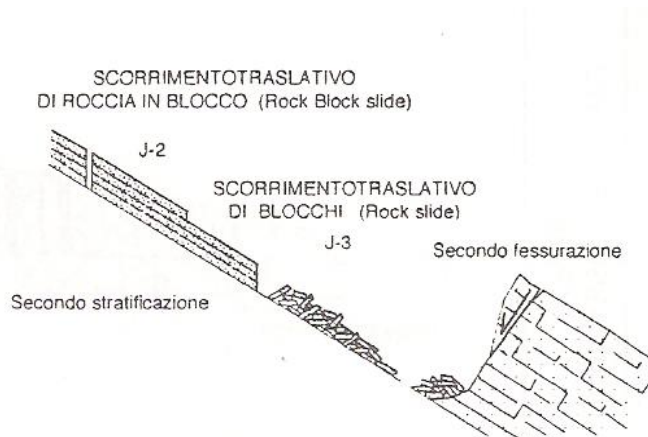
b) RIBALTAMENTO

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 particolare instabilità: ciò è in prevalenza legato alla presenza di giaciture quasi sempre sub-orizzontali, o comunque più rare discontinuità disposte verticalmente al piano di sedimentazione interpretate come fessure e fratture di origine tettonica.

Il rilievo condotto, valuta in maniera efficace l'ammasso roccioso nella sua totalità ed in termini di stabilità e relativo fattore di sicurezza, prendendo in giusta considerazione lo stato di fratturazione alterazione ed anche frammentazione dello stesso ammasso roccioso, non può in nessun caso prendere in considerazione

piccoli massi di dimensione decimetriche che in ogni caso a causa dello stato di fratturazione potrebbero subire naturali processi gravitativi tale considerazione suggerisce le dovute cautele in termini di sicurezza dei lavoratori.

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 giaciturali 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 Luperto, in agro di Corigliano d'Otranto/Soletto, 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 τ_m (domanda) e la resistenza al taglio disponibile τ_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:

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

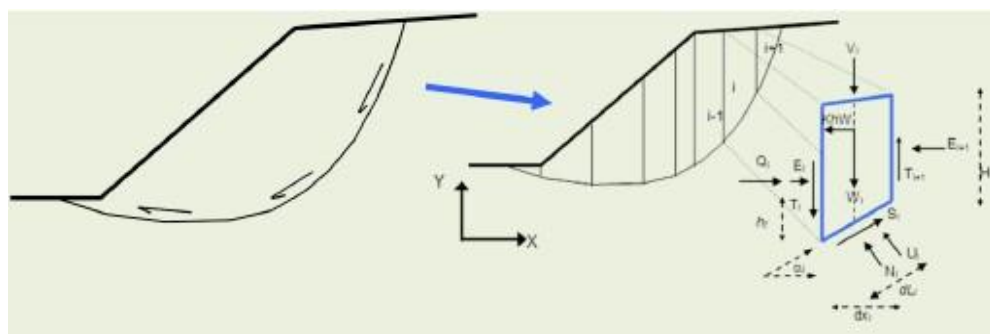
che avverrà qualora sia verificata la condizione di eguaglianza tra sforzi mobilitati e disponibili, ovvero tra domanda e capacità.

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 interconcio, E =Forza orizzontale interconcio. 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:

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

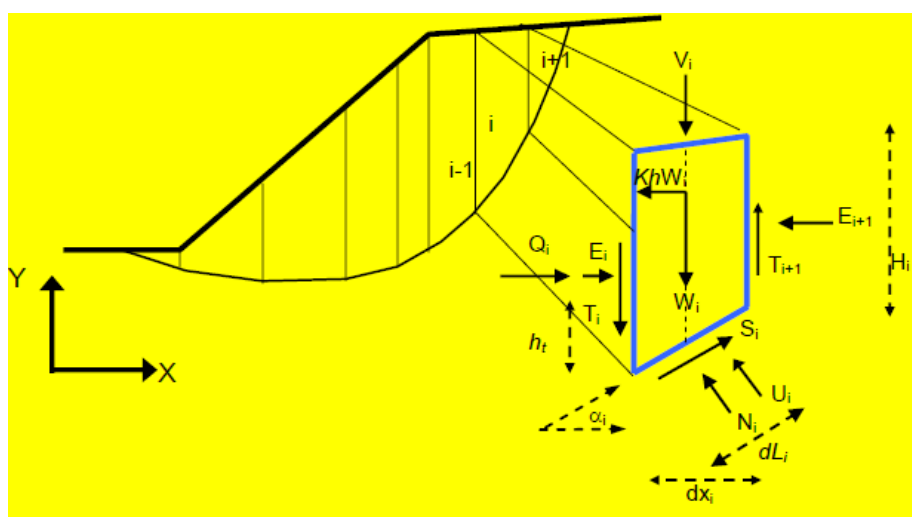
In pratica tutto il sistema di forze verticali, orizzontali e dei momenti devono garantire una somma 0. Quando tutti i parametri di interesse sono noti si passa al calcolo di F_s . L'algoritmo di calcolo può implementare uno dei diversi metodi

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

α_i = angolo di inclinazione della base del concio

dl = lunghezza della base del concio

dx = larghezza del concio

H = altezza verticale del concio

h_i = altezza punto di applicazione delle forze interconcio

c' = coesione del terreno sulla base del concio

ϕ' = 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 λ) espresse in forma implicita (ovvero in entrambi i membri delle equazioni). λ è una variabile ausiliaria che è utilizzata nella relazione funzionale delle forze interconcio $T(x)$, $E(x)$ inizialmente incognite (Zhu et al. ,2005). Utilizzando la notazione dell'algoritmo di Zhu et al. (2005) avremo che F_s e λ 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 λ 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 interconcio 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 interconcio. Vengono inoltre fatte alcune assunzioni aggiuntive sulla posizione del punto di applicazione (thrust line) e in alcuni casi sulla funzione di interazione interconcio $f(x)$ (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 λ viene ricavato mediante un procedimento numerico iterativo mediante un algoritmo particolare ottimizzato dall'autore di SSAP.

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

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

Il gruppo I (Spencer e Sarma I) non fa uso della funzione interconcio $f(x)$ ma $T(x)$ è

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

Nel gruppo II (Sarma II, Morgestern & Price, Correia) invece $T(x)$ è sempre espressione sia di λ che di $f(x)$ e di $E(x)$. Un caso particolare è il metodo Correia del gruppo II dove λ 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 λ né di $f(x)$ perché nella sua formulazione originale è garantito in modo automatico l'equilibrio di tutte le forze e di tutti i momenti.

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

$$K_h = \beta_a S_a S_i a_g$$

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: 120 MPa (valore più basso tra quelli ricavati per i litotipi sottoposti al Point Load Test);

costante di Hoek-Brown per roccia intatta: $m_i = 9$ (valore assegnato alle rocce aventi la composizione litologica e la struttura dei calcari);

indice GSI = 46 (calcolato precedentemente mediante la classificazione di Bieniawski);

indice di disturbo $D = 1,0$ (in quanto le operazioni di scavo avvengono con l'impiego di esplosivo);

peso di volume naturale: 24,0 kN/m³;

peso di volume saturo: 24,50 kN/m³.

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

Nell' area 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 calcari e calcari dolomitici di colore avana-nocciola e grigiastri, interessati da locali fenomeni di carsificazione con giaciture sub orizzontali e meno frequentemente da giunti tettonici pseudo-verticali.

Lo scopo principale della presente relazione, è stata quella di analizzare il fronte esposto e sormontante il percorso che consente l'accesso al sottostante impianto di frantumazione.

Le ciclografiche tracciate attraverso il reticolo di Wulff riportate a pag 21, 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.

L'ammasso roccioso in definitiva, è caratterizzato da piani di strato pseudo orizzontali, con deboli variazioni in termini di strike rispetto al N e con blandi angoli di inclinazione, oltre a giunti verticali pseudo concordi nella direzione e verso (strike) ma con immersione dei piani prossimi alla verticale.

I parametri fisico-meccanici valutati ed inseriti nei codici di calcolo, si riferiscono alle condizioni più conservative e quindi peggiori, riferite 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.

Inoltre, poiché i pendii delle grandi miniere a cielo aperto risentono di un notevole disturbo dovuto alla forte esplosione e anche al rilascio delle sollecitazioni generate dalla rimozione della copertura, il parametro di disturbo D inserito nel calcolo è stato pari a 1 (parametro conservativo massimo) riducendo notevolmente i parametri fisico meccanici dell'ammasso roccioso.

Il fattore di sicurezza minimo ottenuto per la sezione della cava analizzata, è pari a $F_s = 2,5$ per la sezione C-C'

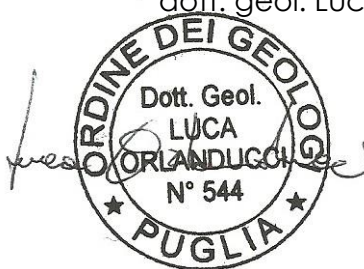
Il rilievo condotto valuta in maniera efficace l'ammasso roccioso nella sua totalità ed in termini di stabilità e relativo fattore di sicurezza, prendendo in giusta considerazione lo stato di fratturazione alterazione ed anche frammentazione dello

stesso ammasso roccioso, non può in nessun caso prendere in considerazione piccoli massi di dimensione centi/decimetrici che in ogni caso a causa dello stato di fratturazione potrebbero subire naturali processi gravitativi, tale considerazione suggerisce le dovute cautele in termini di sicurezza dei lavoratori.

Dal punto di vista idrogeologico non si evidenziano particolari problematiche. Il livello statico della falda si attesta a +3,0 m s.l.m., e considerando il punto più basso del fondo cava con quote prossime a + 55 m s.l.m. di conseguenza, ad una profondità, tale da non originare sostanziali differenziazioni nell'ambito idrogeologico generale ed in considerazione delle quote di attestazione degli scavi, non si intercetta alcuna falda idrica.

Lecce, maggio 2023

dott. geol. Luca ORLANDUCCI

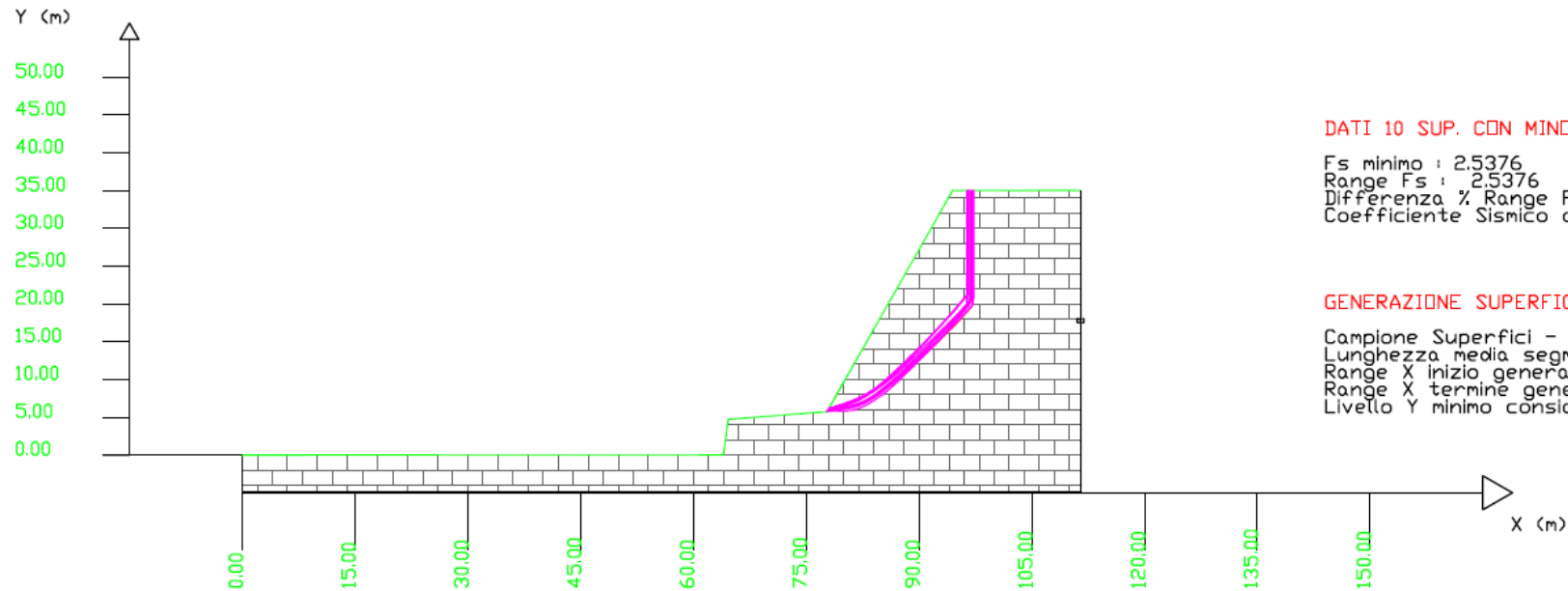


SEZIONE C-C' Lato Ovest

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)

Data : 16/5/2023
Localita' : Cava loc. "Parziale grande"

Modello di calcolo : Morgenstern - Price (1965)



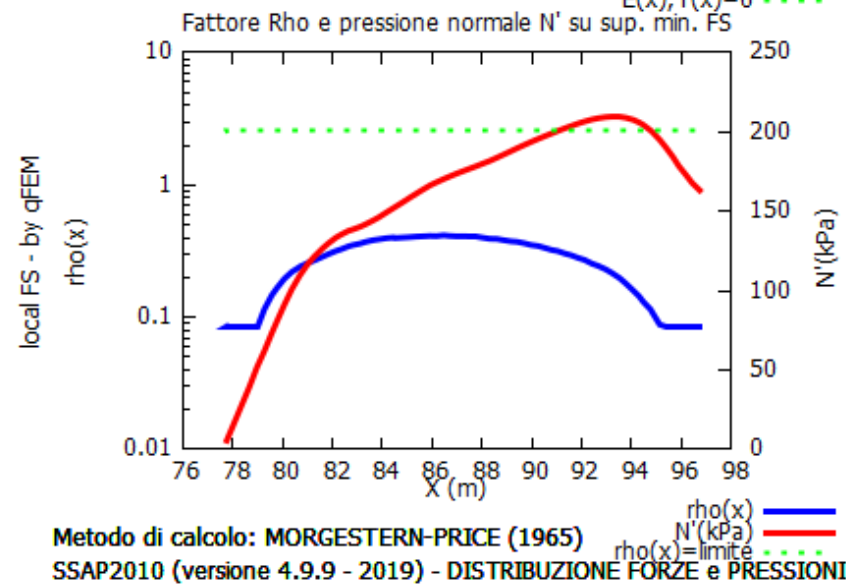
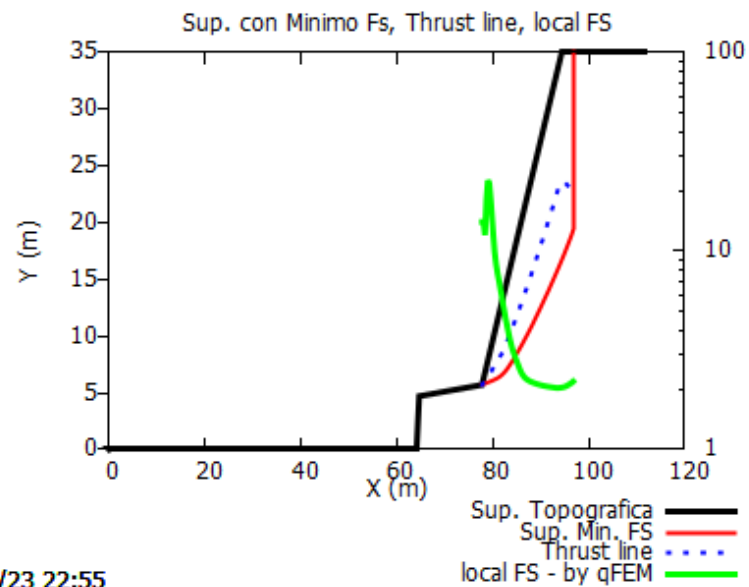
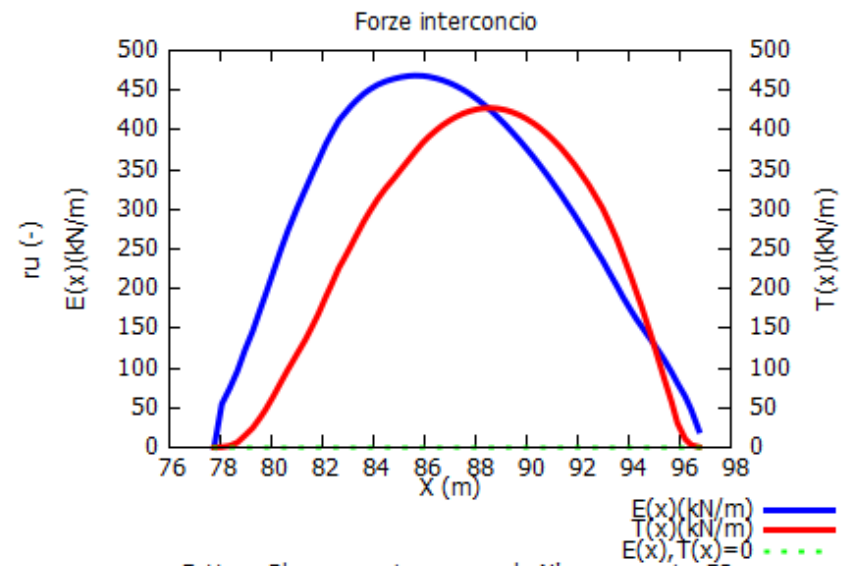
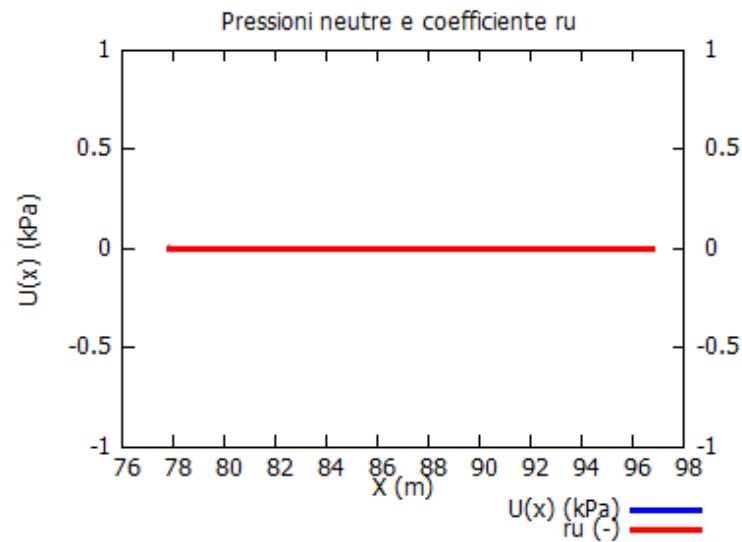
DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 2.5376
Range Fs : 2.5376 - 2.5450
Differenza % Range Fs : 0.29
Coefficiente Sismico orizzontale - Kh : 0.0150

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

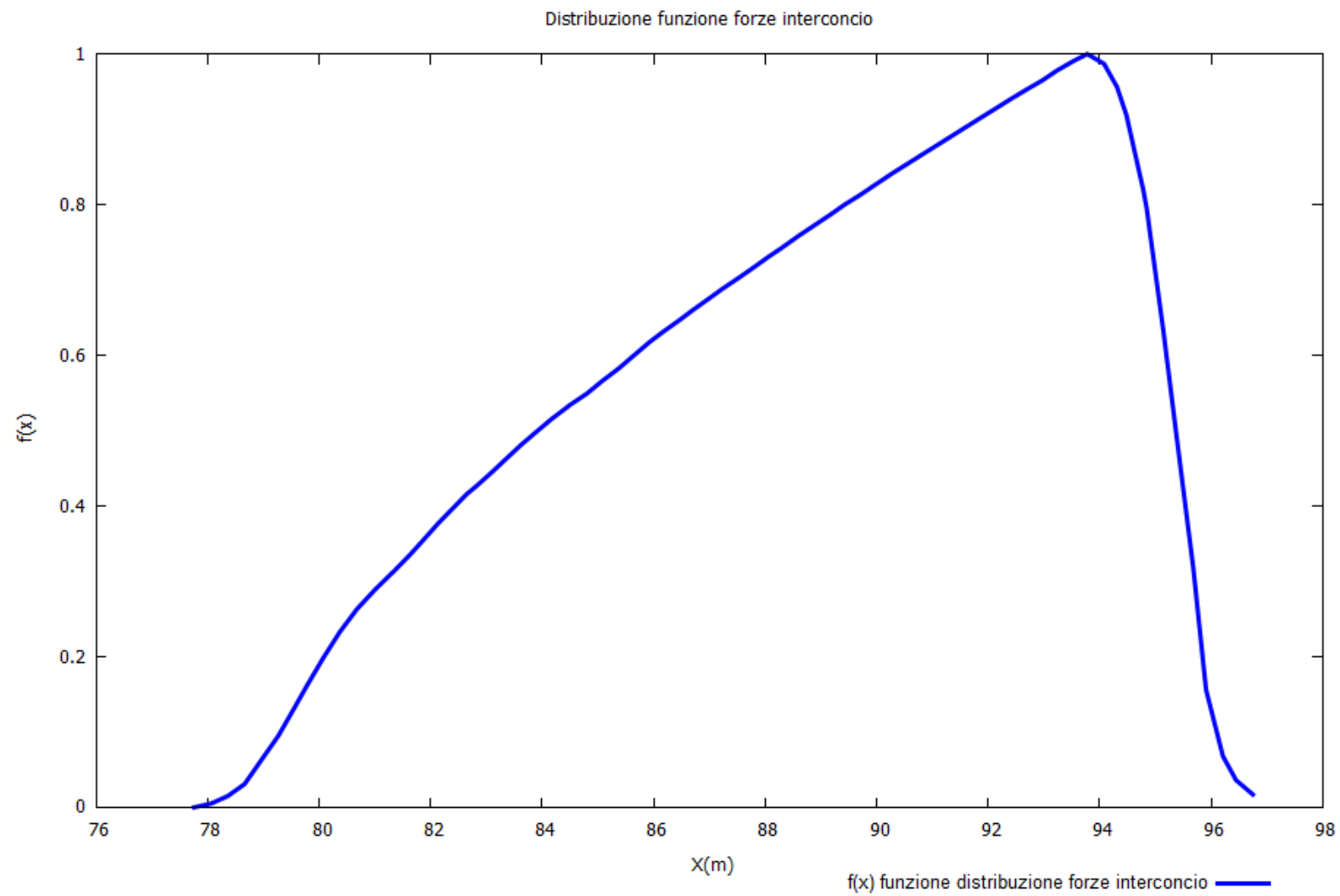
Campione Superfici - N : 10000
Lunghezza media segmenti (m) : 4.5
Range X inizio generazione : 2.2 - 102.6
Range X termine generazione : 13.4 - 109.3
Livello Y minimo considerato : 0.0

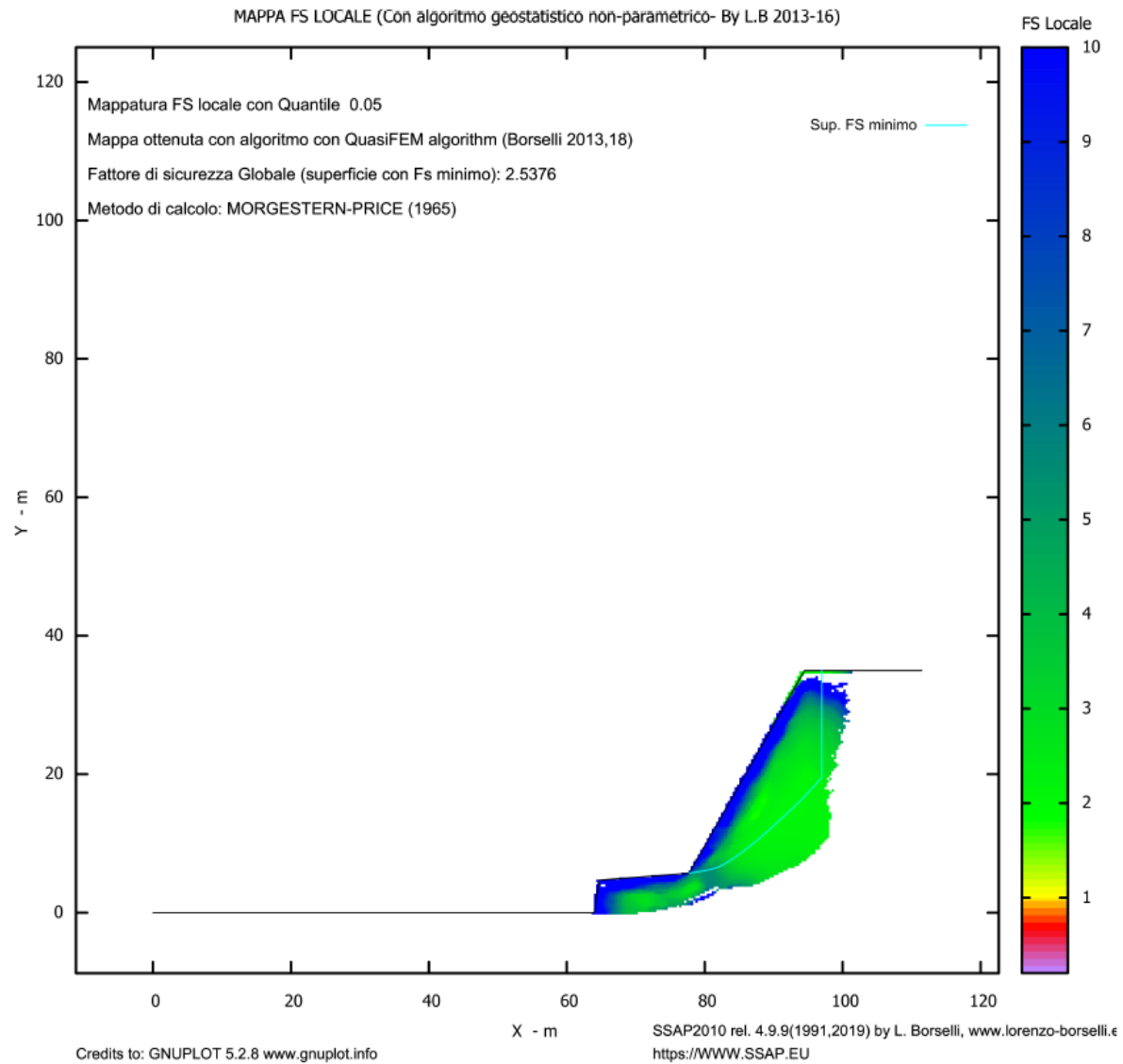
# Parametri Geotecnici degli strati #						
N.	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
"	kN/m3	kN/m3	MPa	"	"	"
1	24.00	24.50	120.00	46.00	9.00	1.00



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

16/05/23 22:55





REPORT ELABORAZIONI DI CALCOLO

Sezione C-C' lato Ovest

__ 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	-	-	-	-	-	-
64.00	0.00	-	-	-	-	-	-
64.64	4.70	-	-	-	-	-	-
77.75	5.70	-	-	-	-	-	-
94.48	35.00	-	-	-	-	-	-
111.48	35.00	-	-	-	-	-	-

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	24.00	24.50	7.329	120.00	46.00	9.00	1.00

LEGENDA: fi` _____ Angolo di attrito interno efficace(in gradi)

C` _____ Coesione efficace (in Kpa)

Cu _____ Resistenza al taglio Non drenata (in Kpa)

Gamm _____ Peso di volume terreno fuori falda (in KN/m^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): 4.5 (+/-) 50%

INTERVALLO ASCISSE RANDOM STARTING POINT (Xmin .. Xmax): 2.23 102.56

LIVELLO MINIMO CONSIDERATO (Ymin): 0.00

INTERVALLO ASCISSE AMMESSO PER LA TERMINAZIONE (Xmin .. Xmax): 13.38 109.25

*** TOTALE SUPERFICI GENERATE : 10000

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

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

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kh : 0.0150

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kv (assunto Positivo): 0.0075

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 F_s *

Fattore di sicurezza (F_s)	2.5376	- Min. -	X	Y	Lambda= 1.3277
			77.76	5.72	
			79.77	6.05	
			80.70	6.23	
			81.32	6.38	
			81.84	6.55	
			82.35	6.77	
			82.82	7.01	
			83.32	7.30	
			83.86	7.65	
			84.50	8.09	
			85.08	8.50	
			85.63	8.91	
			86.17	9.31	
			86.70	9.73	
			87.23	10.15	
			87.76	10.59	
			88.31	11.05	
			88.87	11.55	
			89.42	12.03	
			89.97	12.52	
			90.50	13.00	
			91.04	13.49	
			91.58	13.99	
			92.12	14.50	
			92.67	15.02	
			93.23	15.57	
			93.78	16.10	
			94.31	16.64	
			94.84	17.19	
			95.38	17.75	
			95.91	18.33	
			96.45	18.92	
			97.00	19.54	
			97.00	35.00	

Fattore di sicurezza (F_s)	2.5384	- N.2 --	X	Y	Lambda= 1.4892
			77.97	6.08	
			79.92	6.54	
			80.82	6.78	
			81.41	6.98	
			81.90	7.19	
			82.39	7.46	
			82.84	7.74	
			83.32	8.08	
			83.84	8.49	
			84.45	9.00	
			85.02	9.49	
			85.56	9.96	
			86.08	10.43	
			86.60	10.90	
			87.12	11.38	
			87.63	11.87	
			88.16	12.37	
			88.70	12.89	

89.23	13.41
89.75	13.93
90.27	14.45
90.79	14.98
91.31	15.51
91.84	16.05
92.37	16.59
92.91	17.16
93.43	17.71
93.95	18.27
94.46	18.84
94.98	19.43
95.49	20.03
96.01	20.64
96.53	21.27
96.53	35.00

Fattore di sicurezza (FS)	2.5397	- N.3 --	X	Y	Lambda= 1.4438
			77.78	5.74	
			80.08	6.54	
			81.17	6.95	
			81.91	7.27	
			82.53	7.58	
			83.14	7.93	
			83.70	8.30	
			84.30	8.72	
			84.92	9.21	
			85.64	9.80	
			86.31	10.36	
			86.96	10.91	
			87.59	11.45	
			88.22	12.00	
			88.84	12.56	
			89.47	13.13	
			90.10	13.72	
			90.75	14.33	
			91.39	14.94	
			92.02	15.55	
			92.65	16.16	
			93.28	16.77	
			93.91	17.40	
			94.54	18.03	
			95.18	18.67	
			95.83	19.33	
			96.46	19.99	
			97.07	20.62	
			97.07	35.00	

Fattore di sicurezza (FS)	2.5409	- N.4 --	X	Y	Lambda= 1.3415
			77.84	5.85	
			80.15	6.34	
			81.22	6.60	
			81.93	6.82	
			82.51	7.05	
			83.09	7.35	
			83.62	7.66	
			84.19	8.04	
			84.80	8.50	
			85.52	9.07	
			86.19	9.62	
			86.84	10.14	
			87.47	10.66	
			88.08	11.17	
			88.70	11.70	
			89.33	12.23	

89.96	12.78
90.62	13.35
91.24	13.91
91.84	14.48
92.44	15.06
93.05	15.69
93.64	16.32
94.25	16.99
94.87	17.70
95.53	18.47
96.17	19.23
96.76	19.95
96.76	35.00

Fattore di sicurezza (FS)	2.5432	- N.5 --	X	Y	Lambda= 1.3842
			77.78	5.76	
			80.43	6.77	
			81.70	7.29	
			82.57	7.69	
			83.31	8.07	
			84.02	8.49	
			84.69	8.92	
			85.39	9.42	
			86.13	9.98	
			86.97	10.65	
			87.74	11.28	
			88.48	11.91	
			89.19	12.54	
			89.92	13.21	
			90.63	13.88	
			91.35	14.58	
			92.09	15.32	
			92.88	16.13	
			93.62	16.91	
			94.36	17.70	
			95.08	18.49	
			95.81	19.31	
			96.53	20.14	
			96.82	20.49	
			96.82	35.00	

Fattore di sicurezza (FS)	2.5433	- N.6 --	X	Y	Lambda= 1.3069
			77.84	5.86	
			79.62	5.83	
			80.43	5.84	
			80.95	5.88	
			81.38	5.96	
			81.81	6.08	
			82.20	6.22	
			82.63	6.42	
			83.11	6.68	
			83.70	7.02	
			84.21	7.34	
			84.68	7.65	
			85.13	7.97	
			85.58	8.32	
			86.02	8.68	
			86.47	9.07	
			86.94	9.49	
			87.45	9.98	
			87.94	10.45	
			88.41	10.91	
			88.88	11.37	
			89.35	11.83	
			89.82	12.29	

90.28	12.76
90.75	13.24
91.22	13.72
91.70	14.21
92.17	14.69
92.64	15.17
93.11	15.65
93.58	16.14
94.05	16.62
94.52	17.11
95.00	17.60
95.47	18.08
95.93	18.57
96.40	19.07
96.87	19.57
97.17	19.89
97.17	35.00

Fattore di sicurezza (FS) 2.5434 - N.7 -- X Y Lambda= 1.3785

77.79	5.77
80.05	6.14
81.07	6.34
81.74	6.52
82.28	6.72
82.84	6.99
83.33	7.29
83.88	7.66
84.47	8.11
85.18	8.70
85.83	9.25
86.45	9.78
87.04	10.30
87.63	10.84
88.22	11.37
88.80	11.93
89.40	12.51
90.02	13.12
90.62	13.72
91.22	14.32
91.82	14.92
92.41	15.53
93.00	16.14
93.60	16.76
94.21	17.40
94.83	18.06
95.43	18.71
96.01	19.37
96.59	20.03
96.59	35.00

Fattore di sicurezza (FS) 2.5445 - N.8 -- X Y Lambda= 1.3267

78.02	6.17
80.47	6.49
81.57	6.67
82.29	6.85
82.86	7.05
83.45	7.33
83.98	7.64
84.56	8.05
85.21	8.54
85.99	9.19
86.69	9.80
87.36	10.39
87.99	10.97
88.63	11.57

89.25	12.17
89.88	12.80
90.51	13.46
91.18	14.17
91.84	14.86
92.49	15.55
93.14	16.24
93.78	16.92
94.42	17.61
95.07	18.29
95.72	18.98
96.37	19.67
97.01	20.36
97.31	20.69
97.31	35.00

Fattore di sicurezza (FS)	2.5445	- N.9 --	X	Y	Lambda= 1.3116
			77.81	5.80	
			79.72	6.03	
			80.61	6.16	
			81.20	6.28	
			81.68	6.42	
			82.17	6.60	
			82.62	6.80	
			83.10	7.05	
			83.62	7.36	
			84.24	7.76	
			84.79	8.12	
			85.31	8.49	
			85.81	8.85	
			86.31	9.25	
			86.80	9.65	
			87.30	10.08	
			87.82	10.55	
			88.37	11.06	
			88.90	11.56	
			89.42	12.06	
			89.93	12.56	
			90.45	13.07	
			90.96	13.58	
			91.47	14.10	
			91.99	14.64	
			92.53	15.21	
			93.05	15.76	
			93.56	16.32	
			94.06	16.89	
			94.57	17.48	
			95.08	18.07	
			95.58	18.69	
			96.10	19.33	
			96.40	19.71	
			96.40	35.00	

Fattore di sicurezza (FS)	2.5450	- N.10 --	X	Y	Lambda= 1.4339
			78.01	6.16	
			79.88	6.76	
			80.78	7.06	
			81.40	7.30	
			81.93	7.53	
			82.43	7.78	
			82.91	8.04	
			83.41	8.34	
			83.94	8.68	
			84.54	9.08	
			85.08	9.46	

85.60 9.85
86.09 10.24
86.60 10.67
87.09 11.10
87.60 11.56
88.12 12.06
88.68 12.62
89.22 13.17
89.74 13.71
90.26 14.25
90.77 14.80
91.28 15.35
91.80 15.92
92.32 16.50
92.85 17.11
93.38 17.71
93.90 18.31
94.42 18.91
94.94 19.50
95.46 20.10
95.98 20.71
96.50 21.32
96.50 35.00

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

DATI RELATIVI ALLE 10 SUPERFICIE 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	2.538	8596.7	3387.8	4531.4	Surplus
2	2.538	7831.8	3085.3	4129.4	Surplus
3	2.540	8199.9	3228.6	4325.5	Surplus
4	2.541	8384.8	3299.9	4424.9	Surplus
5	2.543	8177.4	3215.4	4318.9	Surplus
6	2.543	8925.9	3509.6	4714.4	Surplus
7	2.543	8309.5	3267.1	4389.0	Surplus
8	2.545	8714.1	3424.6	4604.5	Surplus
9	2.545	8364.9	3287.4	4420.0	Surplus
10	2.545	7821.2	3073.2	4133.4	Surplus

Esito analisi: SURPLUS di RESISTENZA!

Valore minimo di SURPLUS di RESISTENZA (kN/m): 4129.4

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)
77.760	0.302	9.28	1.75	0.00	0.00	54.03	148.76
78.062	0.302	9.28	5.26	0.00	0.00	53.08	149.16
78.364	0.302	9.28	8.76	0.00	0.00	52.27	149.01
78.667	0.302	9.28	12.27	0.00	0.00	51.37	152.39
78.969	0.302	9.28	15.78	0.00	0.00	50.61	153.71
79.271	0.302	9.28	19.28	0.00	0.00	50.07	153.28
79.573	0.198	9.28	14.52	0.00	0.00	49.45	154.99
79.771	0.302	10.85	25.05	0.00	0.00	49.03	157.12

80.073	0.302	10.85	28.50	0.00	0.00	48.52	158.57
80.375	0.302	10.85	31.94	0.00	0.00	48.02	161.35
80.678	0.025	10.85	2.80	0.00	0.00	47.63	163.64
80.703	0.302	14.29	35.60	0.00	0.00	47.63	163.02
81.005	0.302	14.29	38.90	0.00	0.00	47.33	164.23
81.307	0.018	14.29	2.38	0.00	0.00	47.14	164.33
81.325	0.302	18.41	42.31	0.00	0.00	47.14	164.03
81.627	0.209	18.41	31.13	0.00	0.00	46.95	165.03
81.836	0.302	23.17	47.51	0.00	0.00	46.85	164.97
82.138	0.211	23.17	34.92	0.00	0.00	46.66	167.13
82.349	0.302	26.71	52.39	0.00	0.00	46.56	168.16
82.651	0.164	26.71	29.54	0.00	0.00	46.47	168.66
82.815	0.302	30.07	56.55	0.00	0.00	46.47	167.79
83.117	0.201	30.07	39.06	0.00	0.00	46.37	169.06
83.318	0.302	32.74	60.79	0.00	0.00	46.37	167.57
83.621	0.238	32.74	49.59	0.00	0.00	46.28	168.17
83.858	0.302	34.71	65.11	0.00	0.00	46.18	169.12
84.161	0.302	34.71	67.45	0.00	0.00	46.09	169.11
84.463	0.034	34.71	7.62	0.00	0.00	46.00	169.15
84.496	0.302	35.44	70.03	0.00	0.00	45.90	172.00
84.799	0.281	35.44	67.11	0.00	0.00	45.81	172.14
85.079	0.302	36.26	74.43	0.00	0.00	45.72	172.39
85.381	0.251	36.26	63.58	0.00	0.00	45.62	172.55
85.633	0.302	37.11	78.52	0.00	0.00	45.53	173.32
85.935	0.233	37.11	61.92	0.00	0.00	45.44	173.73
86.167	0.302	37.97	82.38	0.00	0.00	45.35	175.25
86.469	0.233	37.97	64.94	0.00	0.00	45.35	173.02
86.702	0.302	38.77	86.15	0.00	0.00	45.26	174.76
87.005	0.224	38.77	65.09	0.00	0.00	45.17	176.05
87.228	0.302	39.55	89.77	0.00	0.00	45.17	174.74
87.530	0.232	39.55	70.17	0.00	0.00	45.07	176.22
87.762	0.302	40.29	93.35	0.00	0.00	45.07	174.90
88.064	0.241	40.29	75.92	0.00	0.00	44.98	176.36
88.305	0.302	40.97	96.92	0.00	0.00	44.89	178.19
88.607	0.265	40.97	86.65	0.00	0.00	44.89	176.12
88.872	0.302	41.33	100.57	0.00	0.00	44.80	177.57
89.175	0.249	41.33	84.39	0.00	0.00	44.71	178.75
89.424	0.302	41.71	104.07	0.00	0.00	44.71	176.91
89.726	0.240	41.71	84.10	0.00	0.00	44.62	178.16
89.966	0.302	42.09	107.46	0.00	0.00	44.53	179.92
90.268	0.235	42.09	84.97	0.00	0.00	44.53	177.93
90.504	0.302	42.47	110.78	0.00	0.00	44.44	179.85
90.806	0.236	42.47	87.81	0.00	0.00	44.35	181.42
91.042	0.302	42.85	114.05	0.00	0.00	44.35	180.01
91.344	0.235	42.85	89.94	0.00	0.00	44.26	181.69
91.579	0.302	43.21	117.27	0.00	0.00	44.26	180.36
91.881	0.239	43.21	94.15	0.00	0.00	44.17	182.22
92.121	0.302	43.57	120.47	0.00	0.00	44.17	181.08
92.423	0.248	43.57	100.00	0.00	0.00	44.09	183.31
92.670	0.302	43.91	123.67	0.00	0.00	44.09	182.51
92.973	0.262	43.91	108.61	0.00	0.00	44.09	181.87
93.234	0.302	44.56	126.90	0.00	0.00	44.09	181.59
93.537	0.241	44.56	102.48	0.00	0.00	44.09	181.63
93.778	0.302	45.23	129.92	0.00	0.00	44.09	182.21
94.080	0.233	45.23	101.41	0.00	0.00	44.09	183.51
94.313	0.167	45.91	73.10	0.00	0.00	44.17	181.59
94.480	0.302	45.91	131.74	0.00	0.00	44.17	183.06
94.782	0.060	45.91	25.86	0.00	0.00	44.35	179.68
94.842	0.302	46.56	128.98	0.00	0.00	44.35	180.49
95.144	0.234	46.56	98.26	0.00	0.00	44.53	178.44
95.378	0.302	47.21	124.82	0.00	0.00	44.62	179.53
95.680	0.229	47.21	92.81	0.00	0.00	44.89	175.70
95.909	0.302	47.84	120.60	0.00	0.00	45.07	174.69
96.211	0.236	47.84	92.51	0.00	0.00	45.26	173.93
96.447	0.302	48.43	116.24	0.00	0.00	45.44	172.26
96.749	0.247	48.43	93.13	0.00	0.00	45.53	173.73

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/m)	rho(x) (kN)	FS_qFEM (--)	FS_srmFEM (--)	
77.760	0.000	5.718	0.565	0.0000000000E+000	0.0000000000E+000	2.3903944724E+002	0.085	13.999	3.537		
78.062	0.120	5.887	0.565	5.4625248161E+001	3.9519018270E-001	1.2250307087E+002	0.085	13.999	3.585		
78.364	0.243	6.059	0.577	7.4035670070E+001	1.8221959365E+000	6.8336954192E+001	0.085	12.015	2.853		
78.667	0.370	6.236	0.632	9.5925210342E+001	6.0573653175E+000	8.0497902503E+001	0.085	18.250	3.137		
78.969	0.526	6.441	0.637	1.2268519460E+002	1.4972429868E+001	8.3619457671E+001	0.085	22.701	3.622		
79.271	0.657	6.621	0.642	1.4646127067E+002	2.4544570004E+001	8.5226575524E+001	0.115	21.941	4.058		
79.573	0.815	6.829	0.686	1.7419252892E+002	3.7729162410E+001	9.1760470329E+001	0.147	18.063	4.671		
79.771	0.918	6.965	0.693	1.9233970809E+002	4.7437660047E+001	9.2246343301E+001	0.166	15.491	5.125		
80.073	1.071	7.176	0.712	2.2044210515E+002	6.3948176803E+001	9.3920813956E+001	0.195	12.170	5.736		
80.375	1.233	7.395	0.708	2.4910147206E+002	8.2020711216E+001	9.0858429936E+001	0.220	9.928	6.223		
80.678	1.383	7.604	0.683	2.7535309386E+002	9.9442752648E+001	7.5035484581E+001	0.239	8.601	6.474		
80.703	1.394	7.619	0.667	2.7720455573E+002	1.0070392876E+002	7.4435949780E+001	0.241	8.527	6.465		
81.005	1.520	7.822	0.672	3.0108529444E+002	1.1749616596E+002	7.5654278156E+001	0.256	7.673	6.456		
81.307	1.646	8.025	0.671	3.2292679875E+002	1.3405325668E+002	6.7421984443E+001	0.270	7.024	6.244		
81.325	1.653	8.036	0.776	3.2411561535E+002	1.3499022603E+002	6.7436040795E+001	0.271	6.993	6.225		
81.627	1.789	8.273	0.804	3.4603385246E+002	1.5394249542E+002	7.1336629135E+001	0.287	6.362	5.869		
81.836	1.894	8.447	0.906	3.6078334454E+002	1.6771012631E+002	7.0442088382E+001	0.299	5.963	5.582		
82.138	2.053	8.736	0.948	3.8204080019E+002	1.8982046553E+002	6.4259608279E+001	0.316	5.377	5.154		
82.349	2.160	8.934	0.997	3.9470668620E+002	2.0440294394E+002	5.8748143126E+001	0.326	5.036	4.875		
82.651	2.323	9.248	0.972	4.1191437572E+002	2.2643916346E+002	4.4922187646E+001	0.343	4.566	4.465		
82.815	2.379	9.387	0.929	4.1820298261E+002	2.3547804292E+002	3.8274696210E+001	0.350	4.384	4.288		
83.117	2.498	9.681	1.033	4.2969472981E+002	2.5360303838E+002	3.5370168099E+001	0.360	4.048	3.998		
83.318	2.608	9.907	1.139	4.3644966836E+002	2.6616059841E+002	3.1940057262E+001	0.370	3.833	3.783		
83.621	2.761	10.254	1.127	4.4534691591E+002	2.8446282019E+002	2.5708801767E+001	0.381	3.545	3.525		
83.858	2.869	10.515	1.108	4.5076445436E+002	2.9716298735E+002	2.1260400339E+001	0.387	3.365	3.368		
84.161	2.997	10.852	1.081	4.5661041676E+002	3.1256304243E+002	1.6613680322E+001	0.395	3.166	3.181		
84.463	3.104	11.169	1.033	4.6080505943E+002	3.2574904246E+002	1.0673697441E+001	0.400	3.009	3.031		
84.496	3.111	11.199	1.002	4.6115081177E+002	3.2696336350E+002	1.0249411982E+001	0.396	2.995	3.043		
84.799	3.202	11.505	1.074	4.6406108870E+002	3.3856139171E+002	8.6348759083E+000	0.399	2.865	2.917		
85.079	3.322	11.826	1.158	4.6622515875E+002	3.5006635646E+002	6.2742379707E+000	0.402	2.745	2.800		
85.381	3.455	12.180	1.220	4.6765417897E+002	3.6206792797E+002	3.2836091276E+000	0.406	2.628	2.686		
85.633	3.591	12.500	1.281	4.6817717437E+002	3.7233814345E+002	5.9975431020E-001	0.408	2.535	2.599		
85.935	3.751	12.889	1.243	4.6781956890E+002	3.8385331815E+002	-2.9095585436E+000	0.411	2.442	2.511		
86.167	3.852	13.165	1.191	4.6683405200E+002	3.9123716880E+002	-5.5122924229E+000	0.410	2.388	2.468		
86.469	3.976	13.525	1.201	4.6466796245E+002	3.9971045849E+002	-8.5734091211E+000	0.415	2.333	2.400		
86.702	4.076	13.808	1.210	4.6241946328E+002	4.0559123376E+002	-1.0847423143E+001	0.411	2.298	2.379		
87.005	4.199	14.173	1.214	4.5867448052E+002	4.1203890943E+002	-1.3838388233E+001	0.408	2.265	2.356		
87.228	4.292	14.446	1.222	4.5534134258E+002	4.1609611150E+002	-1.5936923680E+001	0.409	2.244	2.328		
87.530	4.413	14.816	1.236	4.5010518834E+002	4.2063073519E+002	-1.9068274470E+001	0.404	2.221	2.317		
87.762	4.511	15.106	1.252	4.4538101699E+002	4.2330353066E+002	-2.1337213512E+001	0.404	2.206	2.295		
88.064	4.633	15.484	1.272	4.3856450252E+002	4.2582522493E+002	-2.4403758192E+001	0.398	2.189	2.288		
88.305	4.742	15.797	1.292	4.3232507129E+002	4.2695361502E+002	-2.6659503723E+001	0.391	2.176	2.287		
88.607	4.868	16.185	1.315	4.2397267516E+002	4.2734257468E+002	-2.9566254007E+001	0.390	2.162	2.261		
88.872	4.996	16.543	1.314	4.1568518471E+002	4.2664249547E+002	-3.1443218980E+001	0.382	2.150	2.258		
89.175	5.118	16.931	1.318	4.0611922041E+002	4.2480001492E+002	-3.3719567028E+001	0.374	2.138	2.252		
89.424	5.238	17.270	1.321	3.9729172144E+002	4.2227555042E+002	-3.5400201782E+001	0.371	2.128	2.232		
89.726	5.357	17.659	1.310	3.8660212741E+002	4.1832276063E+002	-3.7051277180E+001	0.361	2.118	2.229		
89.966	5.465	17.981	1.317	3.7737947565E+002	4.1424320277E+002	-3.8608249682E+001	0.351	2.111	2.230		
90.268	5.584	18.373	1.324	3.6562769345E+002	4.0823059345E+002	-4.0715063649E+001	0.345	2.102	2.210		

90.504	5.691	18.692	1.329	3.5571349476E+002	4.0256287696E+002	-4.2164420176E+001	0.335	2.096	2.213
90.806	5.810	19.087	1.331	3.4296127790E+002	3.9451385952E+002	-4.3958251592E+001	0.322	2.089	2.212
91.042	5.915	19.409	1.339	3.3226170860E+002	3.8717157204E+002	-4.5374442259E+001	0.316	2.083	2.198
91.344	6.034	19.808	1.346	3.1853367816E+002	3.7708631456E+002	-4.7328709065E+001	0.302	2.077	2.199
91.579	6.140	20.132	1.354	3.0706673266E+002	3.6806658687E+002	-4.8629639225E+001	0.294	2.072	2.186
91.881	6.259	20.535	1.358	2.9243999947E+002	3.5595760306E+002	-5.0101783058E+001	0.280	2.067	2.187
92.121	6.367	20.867	1.366	2.8012723193E+002	3.4513307146E+002	-5.1125162537E+001	0.271	2.062	2.176
92.423	6.486	21.275	1.386	2.6480080719E+002	3.3097514077E+002	-5.2721092851E+001	0.254	2.057	2.179
92.670	6.606	21.629	1.393	2.5134489801E+002	3.1773407175E+002	-5.3371471445E+001	0.244	2.052	2.170
92.973	6.726	22.040	1.419	2.3558202346E+002	3.0121304070E+002	-5.5648424990E+001	0.230	2.048	2.161
93.234	6.863	22.430	1.404	2.2021480524E+002	2.8336842697E+002	-5.7277703462E+001	0.215	2.044	2.155
93.537	6.968	22.832	1.292	2.0339161505E+002	2.6196612598E+002	-5.7789690391E+001	0.197	2.043	2.151
93.778	7.030	23.132	1.049	1.8904877976E+002	2.4147574343E+002	-5.6813290972E+001	0.180	2.043	2.153
94.080	6.996	23.403	0.769	1.7289036557E+002	2.1561197292E+002	-5.1782609168E+001	0.159	2.047	2.160
94.313	6.902	23.544	0.476	1.6111628124E+002	1.9469133644E+002	-4.8083033685E+001	0.144	2.050	2.155
94.480	6.779	23.593	0.127	1.5338203992E+002	1.7962612882E+002	-4.6347501026E+001	0.131	2.054	2.165
94.782	6.477	23.603	0.014	1.3938946693E+002	1.5012499847E+002	-4.5022973972E+001	0.114	2.062	2.158
94.842	6.410	23.598	-0.285	1.3670581803E+002	1.4424387614E+002	-4.5032298536E+001	0.109	2.064	2.163
95.144	5.993	23.500	-0.390	1.2269622358E+002	1.1280996513E+002	-4.8206637669E+001	0.088	2.077	2.167
95.378	5.635	23.389	-0.491	1.1108388362E+002	8.7991373860E+001	-5.1942188085E+001	0.085	2.090	2.185
95.680	5.156	23.236	-0.577	9.4487511017E+001	5.6991187165E+001	-5.7563719383E+001	0.085	2.109	2.186
95.909	4.755	23.082	-0.460	8.0876658568E+001	3.0703918590E+001	-5.7888300697E+001	0.085	2.127	2.198
96.211	4.331	22.992	-0.077	6.4052507386E+001	1.0496071216E+001	-6.3711367525E+001	0.085	2.152	2.216
96.447	4.119	23.041	0.457	4.7533653341E+001	3.0310576355E+000	-7.7355195645E+001	0.085	2.165	2.221
96.749	3.975	23.238	0.457	2.1308193218E+001	4.9288667661E+001	-8.6516516094E+001	0.085	2.201	2.252

----- 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)
77.760	0.302	0.306	9.284	1.008	0.309	157.750	48.301
78.062	0.302	0.306	9.284	3.025	0.926	175.876	53.851
78.364	0.302	0.306	9.284	5.042	1.544	197.410	60.445
78.667	0.302	0.306	9.284	7.059	2.161	225.803	69.139
78.969	0.302	0.306	9.284	9.075	2.779	240.256	73.564
79.271	0.302	0.306	9.284	11.092	3.396	260.501	79.763
79.573	0.198	0.200	9.284	12.761	2.557	274.360	54.984
79.771	0.302	0.308	10.853	16.531	5.086	283.986	87.377
80.073	0.302	0.308	10.853	18.803	5.785	298.334	91.792
80.375	0.302	0.308	10.853	21.075	6.485	309.073	95.096
80.678	0.025	0.025	10.853	22.305	0.568	311.221	7.923
80.703	0.302	0.312	14.286	29.831	9.302	307.293	95.821
81.005	0.302	0.312	14.286	32.600	10.165	317.460	98.991
81.307	0.018	0.018	14.286	34.066	0.622	321.374	5.872
81.325	0.302	0.318	18.407	43.845	13.963	312.341	99.472
81.627	0.209	0.220	18.407	46.591	10.272	321.059	70.784
81.836	0.302	0.329	23.174	58.872	19.351	304.564	100.110
82.138	0.211	0.230	23.174	61.947	14.223	312.745	71.805
82.349	0.302	0.338	26.713	71.691	24.252	300.265	101.575
82.651	0.164	0.183	26.713	74.599	13.674	309.117	56.660
82.815	0.302	0.349	30.065	83.250	29.067	295.326	103.115

83.117	0.201	0.232	30.065	86.423	20.075	300.732	69.856
83.318	0.302	0.359	32.739	93.656	33.646	290.470	104.351
83.621	0.238	0.283	32.739	97.026	27.447	298.721	84.504
83.858	0.302	0.368	34.709	103.048	37.879	294.632	108.303
84.161	0.302	0.368	34.709	106.747	39.239	302.954	111.362
84.463	0.034	0.041	34.709	108.802	4.435	308.979	12.595
84.496	0.302	0.371	35.441	111.787	41.462	309.313	114.724
84.799	0.281	0.345	35.441	115.321	39.732	312.452	107.651
85.079	0.302	0.375	36.261	119.873	44.923	313.181	117.366
85.381	0.251	0.312	36.261	123.187	38.376	316.566	98.618
85.633	0.302	0.379	37.111	127.508	48.315	317.895	120.457
85.935	0.233	0.292	37.111	130.663	38.102	325.460	94.906
86.167	0.302	0.383	37.970	134.770	51.659	327.844	125.668
86.469	0.233	0.295	37.970	137.875	40.725	331.198	97.829
86.702	0.302	0.388	38.769	141.792	54.954	334.158	129.510
87.005	0.224	0.287	38.769	144.789	41.521	340.507	97.646
87.228	0.302	0.392	39.552	148.507	58.201	340.446	133.422
87.530	0.232	0.300	39.552	151.493	45.495	347.103	104.239
87.762	0.302	0.396	40.289	155.081	61.435	347.242	137.559
88.064	0.241	0.316	40.289	158.060	49.963	353.990	111.898
88.305	0.302	0.400	40.966	161.522	64.639	357.122	142.915
88.607	0.265	0.351	40.966	164.573	57.789	361.150	126.816
88.872	0.302	0.402	41.333	167.856	67.550	365.725	147.178
89.175	0.249	0.332	41.333	170.787	56.684	372.364	123.587
89.424	0.302	0.405	41.711	173.939	70.408	373.646	151.248
89.726	0.240	0.322	41.711	176.787	56.901	380.163	122.360
89.966	0.302	0.407	42.092	179.834	73.231	384.317	156.499
90.268	0.235	0.317	42.092	182.621	57.905	388.287	123.116
90.504	0.302	0.410	42.472	185.579	76.027	392.239	160.691
90.806	0.236	0.320	42.472	188.332	60.266	399.383	127.802
91.042	0.302	0.412	42.847	191.228	78.815	400.318	164.991
91.344	0.235	0.320	42.847	193.938	62.150	407.935	130.727
91.579	0.302	0.415	43.214	196.760	81.582	408.462	169.359
91.881	0.239	0.328	43.214	199.455	65.500	416.351	136.727
92.121	0.302	0.417	43.571	202.229	84.344	417.027	173.930
92.423	0.248	0.342	43.571	204.926	70.012	426.418	145.684
92.670	0.302	0.419	43.909	207.673	87.106	427.168	179.170
92.973	0.262	0.364	43.909	210.402	76.497	439.498	159.790
93.234	0.302	0.424	44.559	213.147	90.395	440.123	186.655
93.537	0.241	0.338	44.559	215.702	73.001	453.612	153.518
93.778	0.302	0.429	45.230	218.158	93.606	453.171	194.444
94.080	0.233	0.331	45.230	220.599	73.063	459.984	152.349
94.313	0.167	0.240	45.906	222.219	53.265	456.711	109.473
94.480	0.302	0.434	45.906	221.043	95.991	462.940	201.038
94.782	0.060	0.086	45.906	218.751	18.845	458.806	39.525
94.842	0.302	0.440	46.564	216.131	94.991	458.428	201.481
95.144	0.234	0.340	46.564	212.665	72.365	455.811	155.102
95.378	0.302	0.445	47.211	208.777	92.872	447.723	199.165
95.680	0.229	0.336	47.211	205.273	69.055	452.108	152.091
95.909	0.302	0.450	47.840	201.274	90.615	406.256	182.899
96.211	0.236	0.352	47.840	197.650	69.503	374.713	131.766
96.447	0.302	0.455	48.435	193.487	88.124	348.134	158.558
96.749	0.247	0.372	48.435	189.721	70.609	341.637	127.147

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)	TauSrength(kPa)	Phi'(deg)	c'(kPa)
25.00	226.81	52.50	148.87
50.00	268.06	50.72	153.32
75.00	303.96	49.34	155.85
100.00	339.05	48.12	159.70
125.00	372.88	47.04	164.06
150.00	408.35	46.00	171.36
175.00	438.61	45.17	174.88
200.00	470.01	44.35	180.48
225.00	498.91	43.65	184.51
250.00	528.74	42.95	190.24
275.00	559.53	42.27	197.62
300.00	587.28	41.69	202.63
325.00	615.79	41.11	208.97
350.00	640.85	40.63	212.39
375.00	666.49	40.15	216.87
400.00	692.72	39.67	222.39
425.00	719.56	39.21	228.94
450.00	747.02	38.74	236.52
475.00	770.37	38.36	240.31
500.00	794.18	37.99	244.89
600.00	888.79	36.58	265.70
700.00	979.32	35.37	286.56
800.00	1069.91	34.26	311.08
900.00	1153.72	33.31	331.61
1000.00	1229.12	32.51	345.97
1100.00	1307.99	31.73	366.30
1200.00	1383.48	31.02	385.16
1300.00	1462.17	30.33	409.32
1400.00	1529.05	29.76	422.64
1500.00	1606.12	29.15	448.39
2000.00	1937.07	26.82	538.70