

Comune di **GALLIPOLI**  
PROVINCIA DI LECCE

PROGETTO DI RIATTIVAZIONE PER RECUPERO AMBIENTALE  
(FG. 12 P.LLE 9P-40P-67P E 69P) E AMPLIAMENTO (FG. 12 P.LLE  
6P E 40P) DEI SITI ESTRATTIVI IN LOCALITA' "MATER  
GRATIAE" CON VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE  
(OVE OCCORRE EX ART. 29 D.LGS. 152/2006)

*Relazione di stabilità dei fronti di cava*

Data: gennaio 2025

Aggiorn.: maggio 2025

Visto:

Il Committente:

Ditta LU.PA. CAVE s.n.c.  
di Luigi e Paolo MAURO  
C.da Mater Gratiae - S.P. 361 Km 26  
73014 Gallipoli (LE)  
P.Iva 04252830759

*Il Tecnico*

Dott. Geol. Fabio MACRI'



Studio Tecnico di Geologia

Via O. Andretta, 10 - 73024 MAGLIE (LE)  
Cod. Fisc. MCR FBA 65D15 E815H

Tel. 347-6523624  
P.IVA 03278370758

e-mail: geo.macri@tiscali.it  
PEC: fabiomacri@pec.epap.it

## Indice

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CARATTERISTICHE LITOLOGICHE ED ASSETTO STRUTTURALE DEI LITOTIPI AFFIORANTI.</b>	<b>2</b>
2.1	INQUADRAMENTO MORFOLOGICO E GEOLOGICO.....	2
2.2	CARATTERI LITOSTRATIGRAFICI .....	4
2.2.1	<i>Calcare di Altamura (Cretaceo superiore)</i> .....	4
2.2.2	<i>Calcarenite di Gravina (Pleistocene inf)</i> .....	5
2.2.3	<i>Argille Subappennine (Emiliano-Siciliano)</i> .....	6
2.2.4	<i>Depositi marini terrazzati (post-Siciliano/Tirreniano)</i> .....	6
2.2.4.1	Calcareniti ben cementate tipo “carparo” (post-Siciliano I).....	6
2.2.4.2	Calcareniti a grana fine (post-Siciliano II).....	10
2.2.4.3	Calcareniti a Strombi (Tirreniano).....	10
2.2.5	<i>Depositi dunari antichi e recenti</i> .....	10
2.2.6	<i>Depositi di spiaggia, dune attuali e depositi palustri recenti</i> .....	11
2.3	CARATTERISTICHE LITOLOGICHE ED ASSETTO STRUTTURALE DELLE PARETI DI CAVA.....	12
<b>3</b>	<b>CLASSIFICAZIONE DELL’AMMASSO ROCCIOSO .....</b>	<b>28</b>
3.1	ANALISI MECCANICHE IN SITO.....	28
3.2	CLASSIFICAZIONE DELL’AMMASSO ROCCIOSO: INDICI RMR E GSI.....	31
3.3	PARAMETRI DI RESISTENZA DELL’AMMASSO ROCCIOSO .....	36
<b>4</b>	<b>STABILITÀ DEI FRONTI .....</b>	<b>41</b>
4.1	GENERALITÀ .....	41
4.2	PROCEDURE E METODI DI CALCOLO UTILIZZATI .....	45
4.2.1	<i>Analisi in presenza di sisma (in ambito normativa NTC 2018)</i> .....	48
4.3	CONDIZIONI AL CONTOURNO E RISULTATI DI VERIFICA .....	49
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>53</b>
	Allegato – Report elaborazioni	

## 1 PREMESSA

La presente relazione è stata redatta per conto della Ditta LU.PA. CAVE s.n.c. di Luigi e Paolo MAURO, con sede in Gallipoli in C.da Mater Gratiae - S.P. 361 km 26, in relazione al *PROGETTO DI RIATTIVAZIONE PER RECUPERO AMBIENTALE (FG. 12 P.LLE 9p-40p-67p E 69p) E AMPLIAMENTO (FG. 12 P.LLE 6p E 40p) DEI SITI ESTRATTIVI IN LOCALITA' "MATER GRATIAE" CON VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE (OVE OCCORRE EX ART. 29 D.LGS. 152/2006)* in Gallipoli (LE).

In ossequio alle richieste formulate dal Settore 3 - Sviluppo del Territorio Lavori Pubblici e Ambiente Sezione Ambiente del Comune di Gallipoli in data 16.01.2025, è stato condotto uno studio geologico-tecnico finalizzato alla verifica delle condizioni di stabilità dei fronti cava delle due aree distinte in catasto al Foglio di mappa 12 p.lle 40 parte, 67, 69 parte e 9 parte.

Lo studio si è articolato attraverso le seguenti fasi:

- esecuzione di un rilievo geologico-strutturale finalizzato alla valutazione dello stato di integrità strutturale e di compattezza delle masse rocciose costituenti la parete di cava;
- misura dei parametri di giacitura sia delle superfici di stratificazione che dei principali sistemi di fratturazione;
- misurazioni degli indici di rimbalzo dello sclerometro meccanico per roccia GeoHammer;
- definizione della qualità dell'ammasso roccioso nel suo complesso mediante la classificazione di Bieniawski (1973, Rock Mass Rating) per la successiva restituzione, attraverso i criteri di rottura di Hoek-Brown e di Mohr-Coulomb, dei valori dei parametri che esprimono e quantificano il grado di resistenza e deformabilità dello stesso ammasso roccioso (coesione, angolo di attrito).

Infine, sono state eseguite le verifiche di stabilità del fronte di cava attraverso la valutazione dell'equilibrio limite lungo n. 2 sezioni rappresentative delle condizioni più critiche presenti lungo i fronti d'indagine impiegando il programma SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM (SSAP), versione 4.9.8 (2018).

## **2 CARATTERISTICHE LITOLOGICHE ED ASSETTO STRUTTURALE DEI LITOTIPI AFFIORANTI**

### **2.1 Inquadramento morfologico e geologico**

Le due aree in esame sono pressoché limitrofe e ricadono nell'agro del Comune di Gallipoli (LE) circa 2,5 km a est della periferia urbana, nei pressi della chiesa della Madonna delle Grazie (**Fig. 1**). Nella cartografia ufficiale dell'I.G.M. essa ricade nella Tav. "Gallipoli", III quadrante S.O. del Foglio n° 214 della Carta d'Italia in scala 1:25.000.

La zona in oggetto è inserita in un importante distretto estrattivo, loc. "Mater Gratiae", di litotipi calcarenitici noti con il nome commerciale di "carparo".

L'accesso all'area di cava è assicurato dalla S.P. 361 (ex S.S. 459), **Fig. 1**.

Dal punto di vista morfologico l'area ricade nell'ambito di una zona sub-pianeggiante con quote del piano di campagna originario oscillanti tra 45÷49 metri sul l.m.. Le pendenze dell'area risultano in linea generale inferiori al 5%. La superficie topografica si abbassa progressivamente in direzione della costa, con pendenze local-mente anche piuttosto accentuate.

La morfologia del territorio risulta fortemente condizionata soprattutto dagli eventi che hanno segnato l'evoluzione paleogeografica dell'area durante il Quaternario. Tali vicende, legate alle oscillazioni di origine glacio-eustatica del livello marino, hanno determinato numerosi episodi di ingressione marina. Diversi cordoni di dune fossili, disposti parallelamente all'attuale linea di costa, indicano un progressivo ritiro del mare, testimoniato anche dalla presenza di vari gradini morfologici correlabili con antiche linee di costa. Al primo ordine di dune, disposto a quote non superiori ai 46 metri s.l.m., corrisponderebbe una linea di costa a 35-40 metri sull'attuale livello mare. Al secondo ordine di dune, rinvenibile sino al livello massimo di 26 metri s.l.m., risulta associata una linea di costa ubicata intorno ai 15-20 metri sull'attuale livello mare, che si sarebbe spostata via via a quote minori. Alle dune del terzo ordine, situate a quote comprese tra i 7 metri e poco al di sotto dell'attuale l.m., rinvenibili in lembi lungo tutta la costa, si può riferire una linea di costa posta appunto pochi metri al di sotto dell'attuale livello mare.

La successiva ingressione flandriana ha consentito la formazione delle dune più recenti e portato il livello del mare all'attuale quota.

L'area in esame è situata sul versante ionico della Penisola Salentina, alle pendici di




**SITO 2**  
 (Foglio di mappa 12 p.lle nn. 40 parte, 67 e 69 parte)


**SITO 1**  
 (Foglio di mappa 12 p.lle nn. 69 parte e 9 parte)

Fig. 1 - Inquadramento territoriale delle aree di cava in esame.

blandi rilievi collinari (“Serre Salentine”) che corrispondono ad altrettanti alti strutturali caratterizzati, nelle zone più interne e più elevate, dalla diffusa presenza in affioramento di rocce calcareo-dolomitiche di età mesozoica.

Queste ultime appartengono ad una potente successione stratigrafica che, con uno spessore anche superiore ai 6000 metri, costituisce l’ossatura ed il substrato basale dell’intero territorio salentino (“piattaforma carbonatica apula”).

In corrispondenza della fascia costiera di Gallipoli, le rocce del basamento mesozoico sono dislocate per faglia a profondità superiori ai 100 metri dal p.c. e ricoperte da depositi quaternari a composizione calcarenitica, limoso-argillosa e sabbiosa.

Sistemi di faglie dirette, sub-paralleli alla linea di costa, con prevalente direzione NW-SE, hanno infatti ribassato il substrato calcareo secondo uno schema a “gradinata”, dislocandolo a profondità crescenti in funzione della distanza dall’entroterra.

Le ingressioni marine susseguitesi in epoca quaternaria hanno poi determinato la deposizione, sulle rocce del basamento, di coltri sedimentarie di origine sia marina che continentale.

Dati scaturiti da perforazioni profonde hanno evidenziato la presenza nel sottosuolo di una successione di depositi quaternari di origine marina, riferiti, nella cartografia geologica ufficiale in scala 1:100.000, alla formazione delle “Calcareniti del Salento” ed attribuibili cronologicamente al Pleistocene inferiore.

Il termine basale di tale successione, giacente in trasgressione direttamente sulle rocce del substrato calcareo mesozoico, è costituito da facies prettamente calcarenitiche, sormontate da un livello di terreni limoso-argillosi, che, nella parte sommitale, passano gradualmente verso sedimenti sabbioso-limosi.

Sopra questi ultimi e, in alcune zone, direttamente sulle argille, poggiano in trasgressione delle calcareniti grossolane di colore giallo-grigiastro, localmente denominate “carpari” e riferibili al Pleistocene medio-superiore. Tali depositi si rinvennero nell’area di progetto.

Su tale deposito calcarenitico poggiano, sempre in trasgressione, altre calcareniti, dalla granulometria medio-fine, di colore variabile dal bianco al nocciola, al giallastro, al rosato, anch’esse riferibili al Pleistocene medio-superiore.

## 2.2 Caratteri litostratigrafici

La successione dei terreni presenti nell'hinterland di Gallipoli risulta costituita da un elevato numero di termini di origine sia marina che continentale, sicché la stratigrafia dell'area in esame (cfr. **Fig. 2** - *Carta geologica*) è data dalle seguenti unità:

- “Calcarea di Altamura” (Cretaceo sup.);
- “Calcarenite di Gravina” (Pleistocene inf);
- “Argille Subappennine” (Emiliano-Siciliano);
- “Depositi marini terrazzati” (post-Siciliano/Tirreniano):
  - calcareniti ben cementate tipo “*carparo*” (post-Siciliano I)
  - calcareniti a grana fine (post-Siciliano II)
  - calcareniti a Strombi (Tirreniano)
- dune antiche e recenti;
- depositi di spiaggia e dune attuali.

### 2.2.1 *Calcarea di Altamura (Cretaceo superiore)*

Tale formazione, cronologicamente riferibile al Cretaceo sup., costituisce il basamento carbonatico mesozoico pugliese.

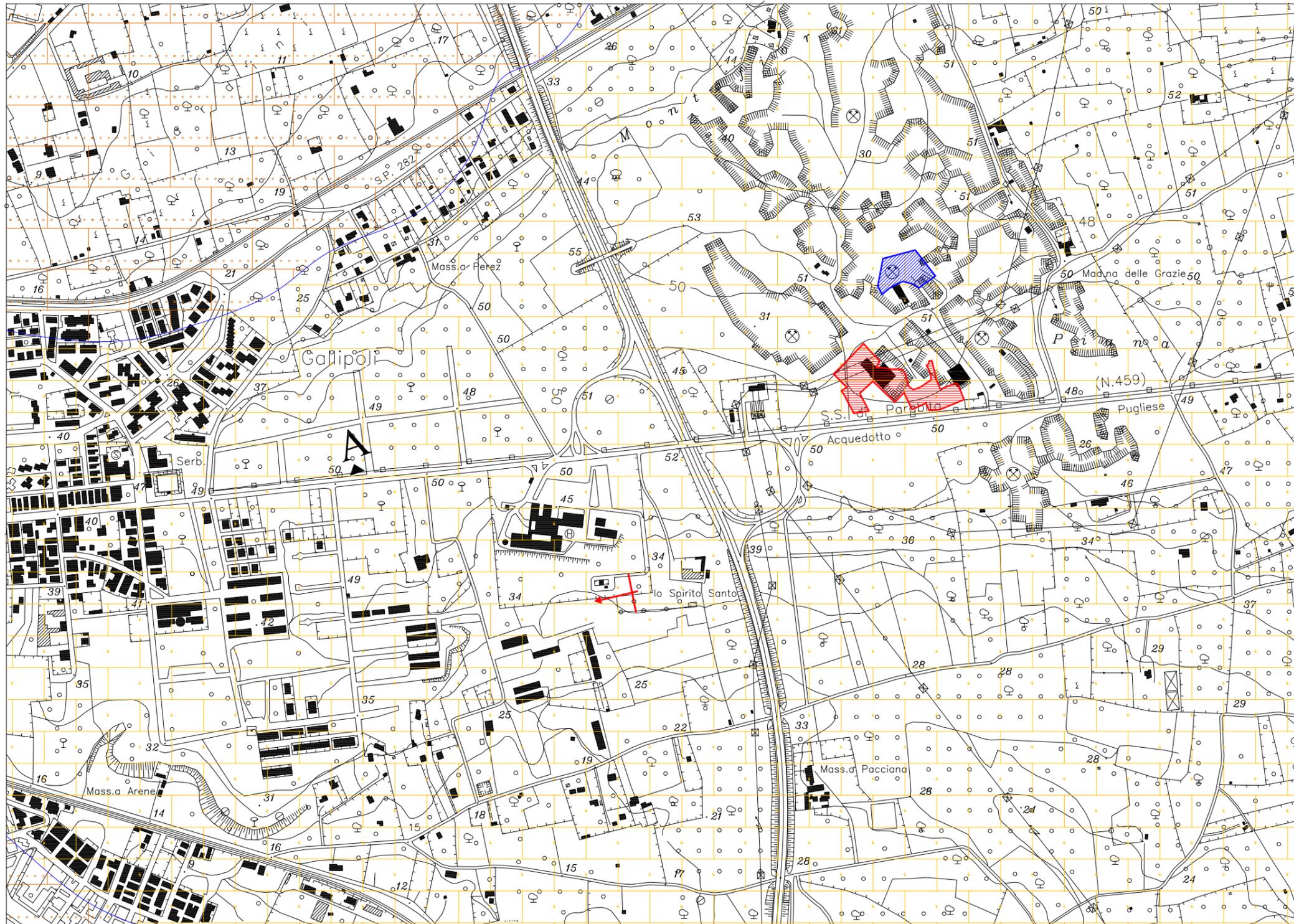
Si tratta di una formazione rappresentata prevalentemente da calcari microcristallini, a grana fine, di solito molto compatti e tenaci, di colore biancastro o grigio chiaro, con intercalati orizzonti dolomitizzati di aspetto sub-cristallino o saccaroide e colore da grigio scuro a nocciola. Possono essere localmente presenti, a varie altezze stratigrafiche, orizzonti bioclastici porosi, di colore biancastro, con abbondanti frammenti di Rudiste.

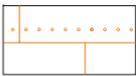
I termini calcarei sono costituiti prevalentemente da piccolissime particelle (del diametro di circa 1÷4 micron) di calcite microcristallina (“micrite”), di norma associata a resti di gusci ed esoscheletri calcarei di microorganismi planctonici e bentonici: il tutto risulta in genere cementato da quantità variabili di calcite spatica (“sparite”).

I termini dolomitici sono invece costituiti, unitamente a frazioni residue di elementi calcitici, da percentuali variabili di cristalli di dolomite. La percentuale di dolomite presente nella roccia è funzione del grado di dolomitizzazione subito dalla roccia stessa.

Gli elementi ed i granuli a composizione carbonatica (costituiti cioè da calcite o dolomite) rappresentano di norma oltre il 98% del totale: il residuo insolubile, composto

Fig. 2 - CARTA GEOLOGICA



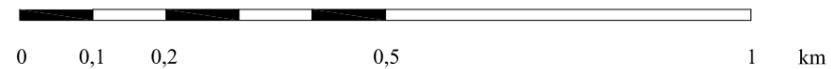
 Calcareni a grana da fine a medio-fine, di colore da bianco a marroncino fino a nocciola, con grado di cementazione variabile  
*Depositi Marini Terrazzati*  
 (Postsiciliano II-Crotoniano?)

 Calcareni e calciruditi organogene ben cementate e tenaci, di colore giallo-marroncino, contenenti frammenti rimaneggiati di Artica islandica (Linné), note con il nome commerciale di "carparo"  
*Depositi Marini Terrazzati*  
 (Postsiciliano I)

 Direzione e immersione degli strati

 SITO 1  
 (Foglio di mappa 12 p.lle nn. 69 parte e 9 parte)

 SITO 2  
 (Foglio di mappa 12 p.lle nn. 40 parte, 67 e 69 parte)



prevalentemente da silico-alluminati, è spesso più abbondante nei termini fortemente dolomitizzati.

La deposizione dei sedimenti costituenti i calcari mesozoici salentini si è esplicata in un ambiente di piattaforma, caratterizzato da un mare poco profondo (ambiente neritico) dominato da processi di sedimentazione di tipo carbonatico.

Nell'area in esame, questa formazione non affiora, ma costituisce il substrato su cui poggiano i depositi di età più recente: la dislocazione delle rocce calcareo-dolomitiche del basamento, desunta da dati di perforazione, risulta superiore a 100 metri rispetto al p.c..

### ***2.2.2 Calcarenite di Gravina (Pleistocene inf)***

Sulle rocce del basamento mesozoico si rinviene un livello di calcareniti che rappresenta la testimonianza della fase trasgressiva dell'importante ciclo sedimentario che interessò ampie porzioni del territorio salentino durante il Pleistocene inferiore.

Tale orizzonte litologico si addossa ai terreni di età cretacea con un netto contatto trasgressivo, generalmente marcato dalla presenza di una netta superficie e/o da un livello di terra rossa.

Nella vecchia cartografia geologica in scala 1:100.000 questi terreni rappresentano i livelli basali delle "Calcareniti del Salento".

Dal punto di vista litologico quest'unità è costituita in assoluta prevalenza da calcareniti organogene di colore biancastro, grigio chiaro o rossastro (per alterazione), a granulometria medio-grossolana e grado di cementazione variabile, di norma mal stratificate, tenere e molto porose, con locali intercalazioni di orizzonti fossiliferi caratterizzati dalla presenza di abbondanti resti di Ostree, pectinidi, echinidi, ecc..

I granuli costituenti la roccia sono quasi interamente costituiti da frammenti di micro e macrofossili, cementati tra loro da quantità variabili di calcite spatica ("sparite"): la composizione mineralogica dei granuli è quasi esclusivamente carbonatica, con il carbonato di calcio che costituisce generalmente oltre il 95% del totale. Il residuo insolubile, di norma molto scarso, è generalmente inferiore al 2%.

L'ambiente di deposizione di queste litofacies è riconducibile a quello di un mare poco profondo.

Nell'area in esame quest'unità non affiora, essendo dislocata nel sottosuolo a profondità

dell'ordine della novantina di metri. Lo spessore di questi depositi è dell'ordine di 10÷15 metri.

### **2.2.3 Argille Subappennine (Emiliano-Siciliano)**

Sui depositi calcarenitici è presente una coltre di terreni argilloso-limosi e limoso-sabbiosi (parte sommitale) che affiorano in alcuni punti della costa a nord di Gallipoli (ad es. in loc. "Fontanelle") e, più diffusamente, nell'entroterra.

L'unità è costituita da argille limoso-sabbiose di colore variabile dal grigio-azzurro al verdolino, al grigio chiaro, al giallino. Questa variazione cromatica è probabilmente dovuta al diverso contenuto in limo e sabbia ed a fenomeni di alterazione.

I termini prettamente argillosi (composti soprattutto da illite) si rinvencono prevalentemente nella parte medio-inferiore dell'unità, mentre in quella superiore si riscontra un graduale incremento delle frazioni limose e sabbiose, queste ultime a composizione prevalentemente carbonatica.

L'ambiente di deposizione è di mare piuttosto profondo, anche se la composizione granulometrica dei depositi sommitali lascia supporre un progressivo assottigliamento della batimetria: ciò potrebbe essere messo in relazione con l'inizio della fase regressiva del ciclo sedimentario infrapleistocenico.

Le argille presentano normalmente un elevato contenuto in macrofossili, soprattutto gusci di lamellibranchi e gasteropodi, echinidi, brachiopodi, dentalium, coralli, ecc..

La presenza di *Arctica islandica* (Linné) fra i macrofossili e di *Hyalinaea baltica* (Schr.) fra i microfossili permette di riferire l'unità al Pleistocene inferiore (Emiliano-Siciliano).

Nell'area in esame questa formazione si rinviene alla profondità di circa 25-30 metri dal piano di campagna (cfr. *Sezione idrogeologica*).

### **2.2.4 Depositi marini terrazzati (post-Siciliano/Tirreniano)**

#### **2.2.4.1 Calcareniti ben cementate tipo "carparo" (post-Siciliano I)**

Come già detto, la fine del ciclo del Pleistocene inferiore è generalmente segnata dalla deposizione sulle argille di sedimenti sabbioso-limosi, che affiorano soprattutto nell'entroterra. Successivamente, altri brevi cicli sedimentari hanno consentito il deposito di sedimenti terrazzati, prevalentemente calcarenitici, che si rinvencono lungo tutta la costa

ionica ed in particolare nell'area di Gallipoli, dove si riconoscono tre ordini di terrazzi.

Il primo ed il più antico dei depositi marini terrazzati è rappresentato da un corpo allungato in direzione E - W, che poggia trasgressivamente sui sedimenti sabbioso-limosi ed argillosi del Pleistocene inferiore. Il contatto è a luoghi indicato da un sottile strato di terra rossa.

L'area di affioramento è molto estesa: comprende tutta la cittadina di Gallipoli e si allunga poi verso Est sino ad un centinaio di metri dalla chiesa della M.<sup>ma</sup> delle Grazie, allargandosi anche in direzione Nord e Sud. Le migliori esposizioni dell'unità si osservano nell'area in cui la roccia viene cavata, cioè in località Montefiore: dunque nell'area di specifico interesse (Fig. 2).

I depositi sono costituiti da calcareniti grossolane, ben cementate, porose, di colore variabile dal giallino all'ocraceo, note localmente col nome di "*carparo*" (**Foto 1-2**). Nelle cave si nota una netta clinostratificazione con immersione prevalente delle lamine verso SW ed inclinazione di 5° - 20° (**Foto 3**); una sottile laminazione incrociata è osservabile in più punti e, in particolare, nell'Area 3 della cava in esame (**Foto 4**).

Lo spessore degli strati varia da pochi centimetri a qualche metro. Il rapporto trasgressivo con le formazioni sottostanti si nota verso mare dove l'unità poggia direttamente sulle argille. Il corpo calcarenitico degrada verso mare con scarpate più o meno brusche corrispondenti ad antiche linee di costa ed il suo spessore varia da pochi metri sino a 30 metri nell'area in cui viene cavato.

Il contenuto paleontologico, molto scarso, è rilevante solo in corrispondenza di un livello posto quasi al contatto con le sottostanti argille (affiorante ad esempio in località "Fontanelle"), contenente alcuni *Dentalium sp.*, *Glicimeris sp.*, *ostracodi*, *pectinidi*.

L'età di questi depositi, definibile essenzialmente in base alla loro posizione stratigrafica, è riferibile al Pleistocene medio-superiore.



*Foto 1,2 - I depositi calcarenitici quaternari affioranti nella cava in esame, conosciuti col nome di "carparo", sono rappresentati da calcareniti grossolane, ben cementate, porose, di colore giallo-ocraceo.*



*Foto 3 - Nell'area di cava in esame la successione presenta una clinostratificazione verso sud-ovest (N220) e inclinazione attorno a 18-20°.*



*Foto 4 – Particolare della stratificazione incrociata presente lungo un relitto di parete nel Sito 1.*

#### 2.2.4.2 Calcareniti a grana fine (post-Siciliano II)

Questa formazione, trasgressiva sulla precedente, è formata da calcareniti più o meno fini, con caratteristiche variabili da luogo a luogo.

Nei pressi della S.S. 101, a nord dell'area in esame, esse sono ben cementate, di colore biancastro; altrove risultano poco cementate, di colore nocciola; in altre zone ancora sono discretamente cementate ed il colore è giallo-rossastro.

In generale si presentano non stratificate; in alcuni altri casi manifestano invece una stratificazione decimetrica piano-parallela; a luoghi risultano fossilifere con fauna costituita da Ostracodi, Gasteropodi e Foraminiferi.

Il massimo spessore affiorante di questa unità è di un paio di metri, ma in alcuni pozzi esso raggiunge i 7-8 metri; il contatto con il "Carparo" è osservabile 500 metri a Nord del vecchio ospedale di Gallipoli, dove l'unità poggia in discordanza angolare e si presenta bioturbata. In prossimità dello Stabilimento LUPI tale calcarenite si trova sulle argille, separata da un livello calcarenitico rossastro fossilifero.

In base ai rapporti stratigrafici, questo deposito è attribuibile al Pleistocene medio-superiore.

#### 2.2.4.3 Calcareniti a Strombi (Tirreniano)

Lungo la costa nord di Gallipoli, in affioramenti più o meno continui, nel tratto esteso 400-500 metri a nord dell'ospedale e di Torre Sabea, affiorano delle calcareniti e calciruditi dure, compatte, molto fossilifere, di colore dal grigio al rosato, contenenti soprattutto *Glycymeris sp.* e *Strombus bubonius* (Lam.).

Quelle di colore grigiastro sono stratificate con strati di spessore da pochi millimetri a qualche centimetro, mentre le calcareniti rosate sono in genere quasi delle spalmature sulle calcareniti sottostanti.

Questi depositi, di spessore massimo pari a circa due metri, sono trasgressivi sia sulle calcareniti fini che sul Carparo.

Sulla base della presenza dello *Strombus bubonius* (Lam.) esse sono state attribuite al Tirreniano.

#### 2.2.5 ***Depositi dunari antichi e recenti***

Fanno parte di questa unità dei depositi eolici che si rinvengono in 3 ordini andando dall'entroterra verso la costa e parallelamente a quest'ultima.

Il primo, più antico, è situato a quote comprese tra i 18 ed i 28 m; il secondo ordine si rinviene

intorno ai 10 - 15 m s.l.m.; l'ultimo ordine si rinviene in vari lembi lungo la costa a quote intorno ai 5-7 m s.l.m. ed è a luoghi sepolto sotto le dune attuali.

Questi depositi sono generalmente costituiti da calcareniti a grana media, generalmente ben cementate, che presentano di norma un'evidente clinostratificazione o una fitta laminazione incrociata. Il contenuto fossilifero è dato da gasteropodi polmonati.

Le dune fossili poggiano su un livello di terra rossa che evidenzia il rapporto trasgressivo con le sottostanti unità.

### ***2.2.6 Depositi di spiaggia, dune attuali e depositi palustri recenti***

Lungo la costa a nord e a sud di Gallipoli affiorano lembi di depositi di spiaggia ed anche cordoni di dune recenti non cementate.

Si tratta di depositi costituiti da sabbie calcaree sciolte a granulometria media, di colore biancastro, senza alcuna struttura sedimentaria, che poggiano talvolta su depositi dunari più antichi parzialmente spianati dall'erosione.

In corrispondenza di alcune depressioni morfologiche, situate alle spalle dell'attuale fascia costiera, si rinvengono inoltre dei depositi di origine lagunare o palustre, costituiti in prevalenza da sabbie limose e limi sabbioso-argillosi, di colore grigio scuro o brunastro, contenenti abbondante frazione organica.

Questi depositi si sono di norma originati all'interno di depressioni morfologiche impaludate da fenomeni di affioramento della falda freatica.

Lo spessore dei limi palustri può pertanto variare, in funzione della morfologia del substrato, da alcune decine di cm fino a ad alcuni metri.

## 2.3 Caratteristiche litologiche ed assetto strutturale delle pareti di cava

I rilievi condotti nelle due aree di cava cava hanno evidenziato l'esclusiva presenza, lungo le pareti, di rocce calcarenitiche a grana grossolana, ben cementate, porose, di colore giallo-ocraceo note con il nome commerciale di "carparo" e appartenente alla formazione geologica dei "Depositi marini terrazzati" (post-Siciliano I).

### SITO 1

L'area di cava in esame risulta parzialmente colmata con il materiale di sfrido derivante dalla precedente attività estrattiva (**Foto 5**), con aree già rinaturalizzate spontaneamente, come risulta dal rilievo dello stato di fatto.

Esiste un solo relitto (pilastro) avente altezza attorno ai 6÷10 metri (**Foto 6÷8**); esso risulta privo di qualsiasi giunto di fessurazione e si distingue una marcata stratificazione "incrociata" e una giacitura sub-orizzontale.

### SITO 2

In tale area si distinguono due differenti settori, quello occidentale e quello orientale.

Con particolare riferimento al settore occidentale, sia sulla parete nord-ovest (**Foto 9**) che su quelle di sud-est (**Foto 10**) e sud (**Foto 11**) si evince che la successione calcarenitica presenta una giacitura monoclinale immergente verso sud-ovest (N 220) con inclinazioni attorno a 18°-20°.

Lungo tutte le pareti la roccia calcarenitica si presenta compatta e non si rileva alcun giunto di fratturazione.

Anche le pareti di sud-ovest, sia nel tratto più settentrionale (**Foto 12**) che in quello meridionale (**Foto 13**), la roccia calcarenitica si presenta compatta e non si rileva alcun giunto di fratturazione. Per effetto della loro esposizione, la giacitura mononclalica verso sud-ovest si legge in maniera "apparente" sub-orizzontale.

Con particolare riferimento al settore orientale, la parete nord (**Foto 14**) mostra la stessa successione calcarenitica con giacitura monoclinale immergente verso sud-ovest (N 220) con inclinazioni attorno a 18°-20°. Non si rileva alcun giunto di fratturazione. L'estremo settore sud-occidentale rappresenta il setto (**Foto 15**) che si è in procinto di abbattere per colmare il vecchio pozzo di scavo presente nell'area retrostante (**Foto 16**).

Anche la parete sud (**Foto 17**) mostra la stessa successione calcarenitica con giacitura monoclinale immergente verso sud-ovest (N 220) con inclinazioni attorno a 18°-20°.

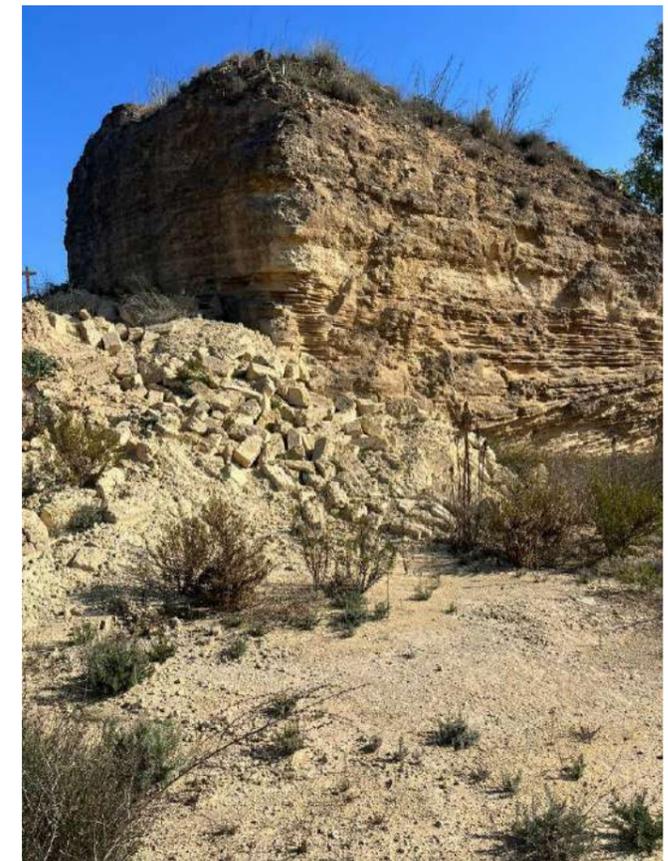
Con riferimento al sistema fessurativo, si rinvennero un icamente n. 2 giunti di fratturazione:

- il primo risulta verticale, con direzione N60 (**Foto 18**);
- il secondo presenta immersione verso SW (N240) ed inclinazione attorno a 75° (**Foto 19**).

Pertanto, la frequenza di tali giunti risulta decametrica.



*Foto 5 – Visione panoramica del Sito 1.*



*Foto 6÷8 Esiste un solo relitto (pilastr) avente altezza attorno ai 6÷10 metri, privo di qualsiasi giunto di fessurazione, in cui si distingue una marcata stratificazione “incrociata” e una giacitura sub-orizzontale.*

SITO 2 – Settore Occidentale



Foto 9 – La parete nord-ovest mostra una successione calcarenitica con giacitura monoclinale immergente verso sud-ovest (N 220) con inclinazioni attorno a 18°-20°. Si presenta compatta e assolutamente priva di giunti di fratturazione.

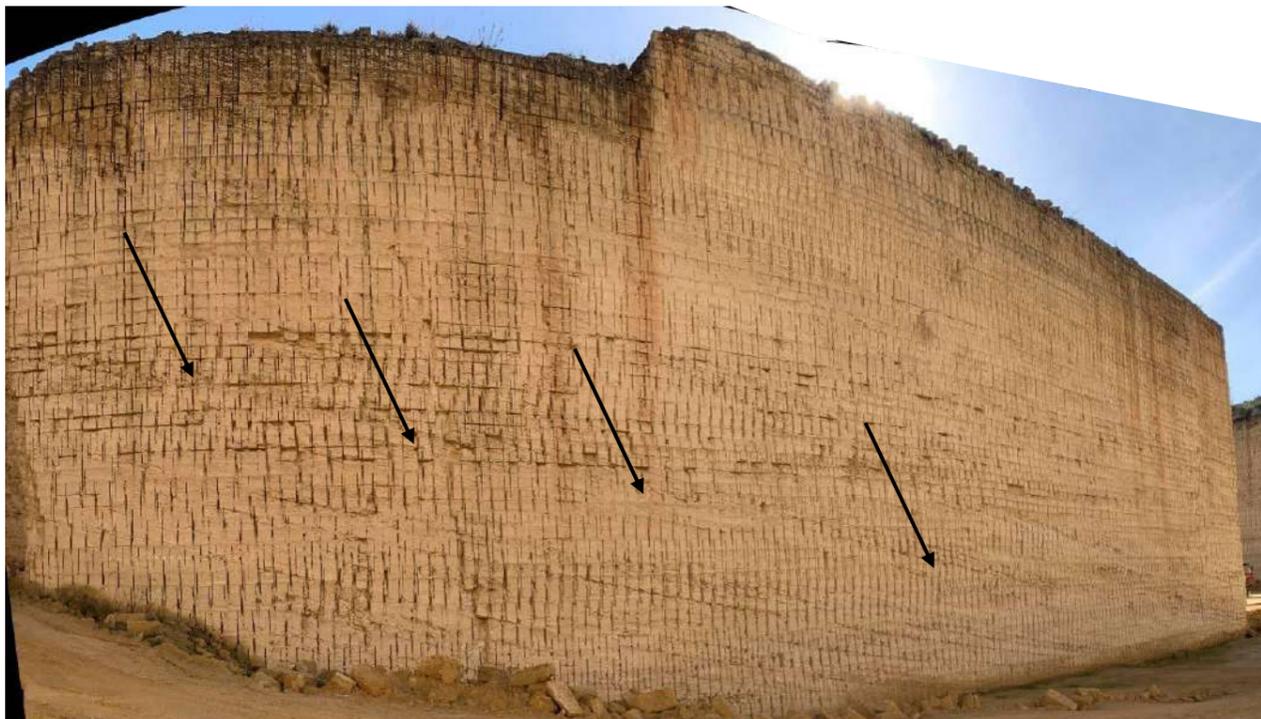
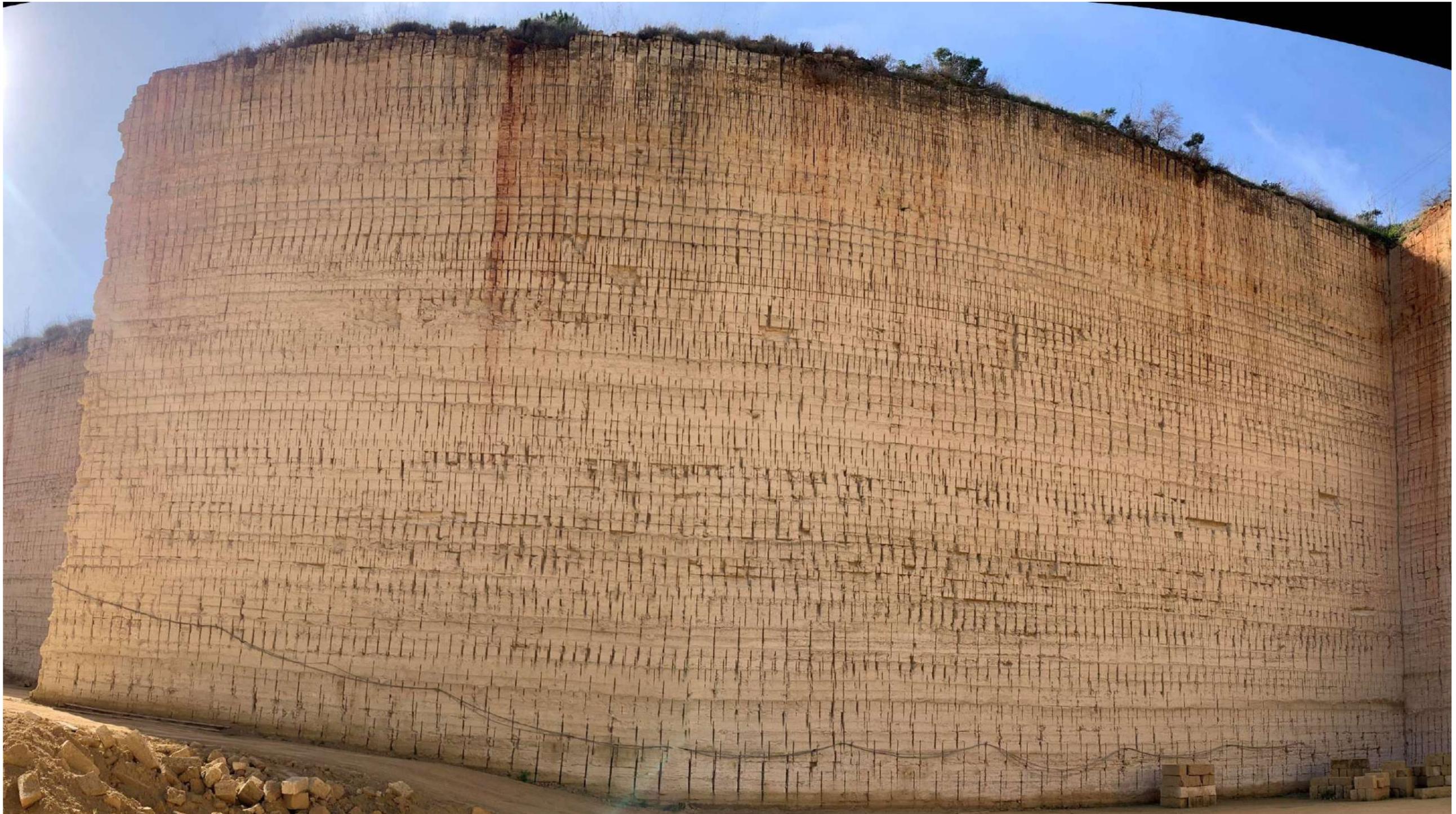


Foto 10



Foto 11

Foto 10, 11 - Anche sulle pareti di sud-est (Foto 10) e sud (Foto 11) si legge la medesima giacitura monoclinale e sono assolutamente prive di qualsiasi giunto di fratturazione.



*Foto 12 - Parete sud-ovest (settentrionale): giacitura "apparente" sub-orizzontale, roccia sempre molto compatta con assenza di giunti di fratturazione.*



*Foto 13 - Parete sud-ovest (meridionale): giacitura “apparente” sub-orizzontale, roccia sempre molto compatta con assenza di giunti di fratturazione.*

SITO 2 – Settore Orientale



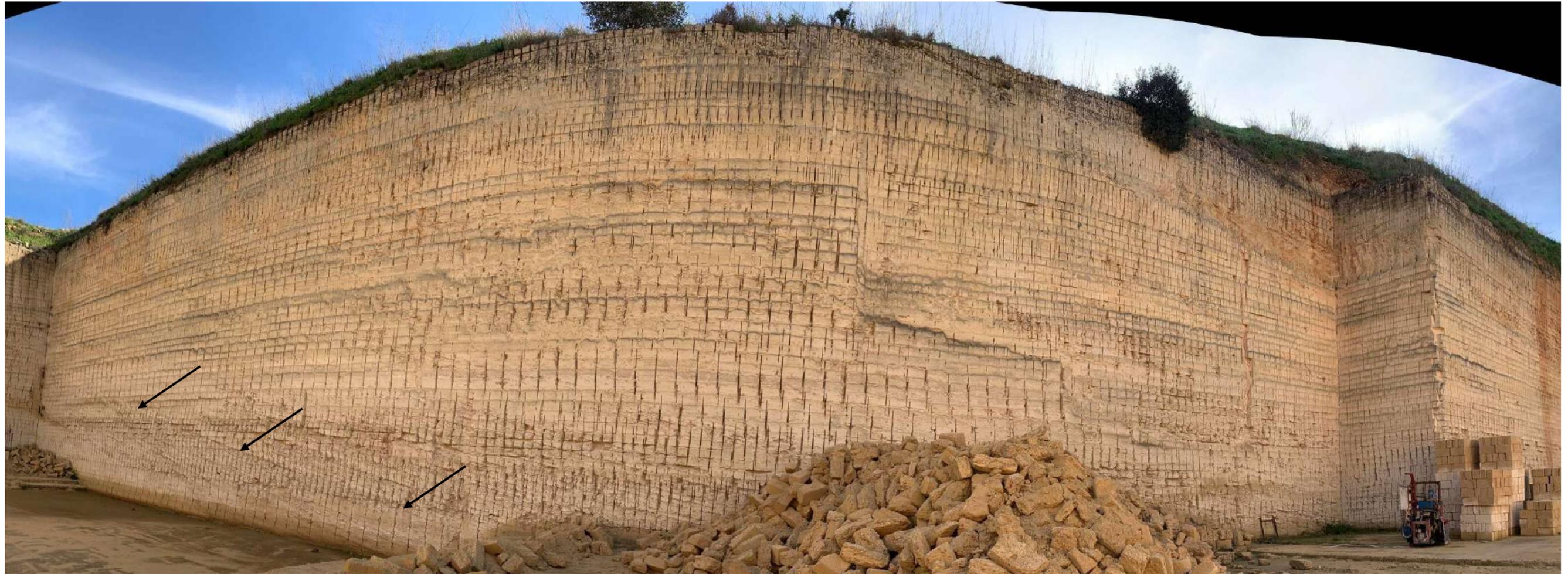
*Foto 14 – La parete nord mostra sempre una successione calcarenitica con giacitura monoclinale immergente verso sud-ovest (N 220) con inclinazioni attorno a 18°-20°. Si presenta compatta e assolutamente priva di giunti di fratturazione.*



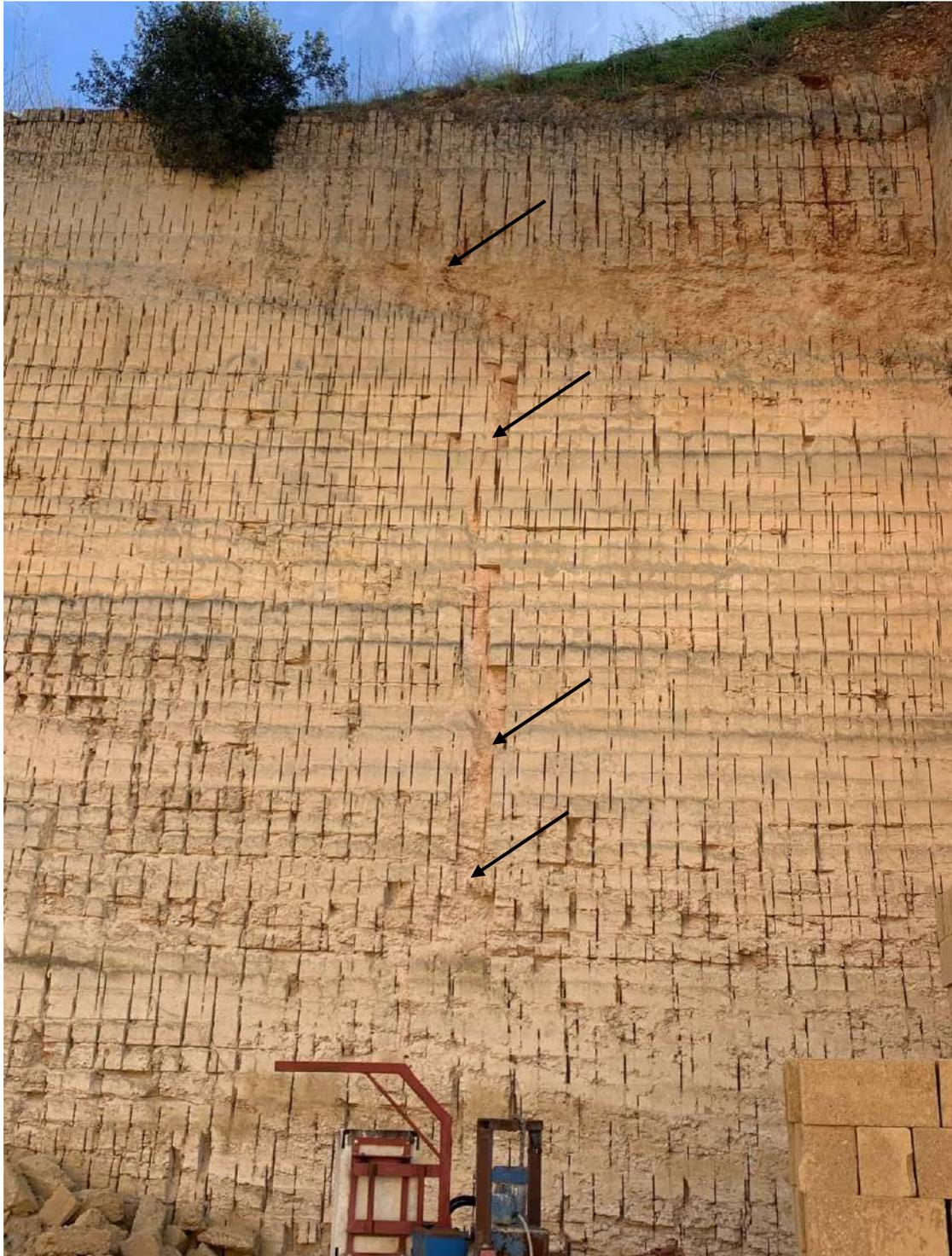
*Foto 15 – L'estremo settore sud-occidentale della parete nord rappresenta il setto che si è in procinto di abbattere.*



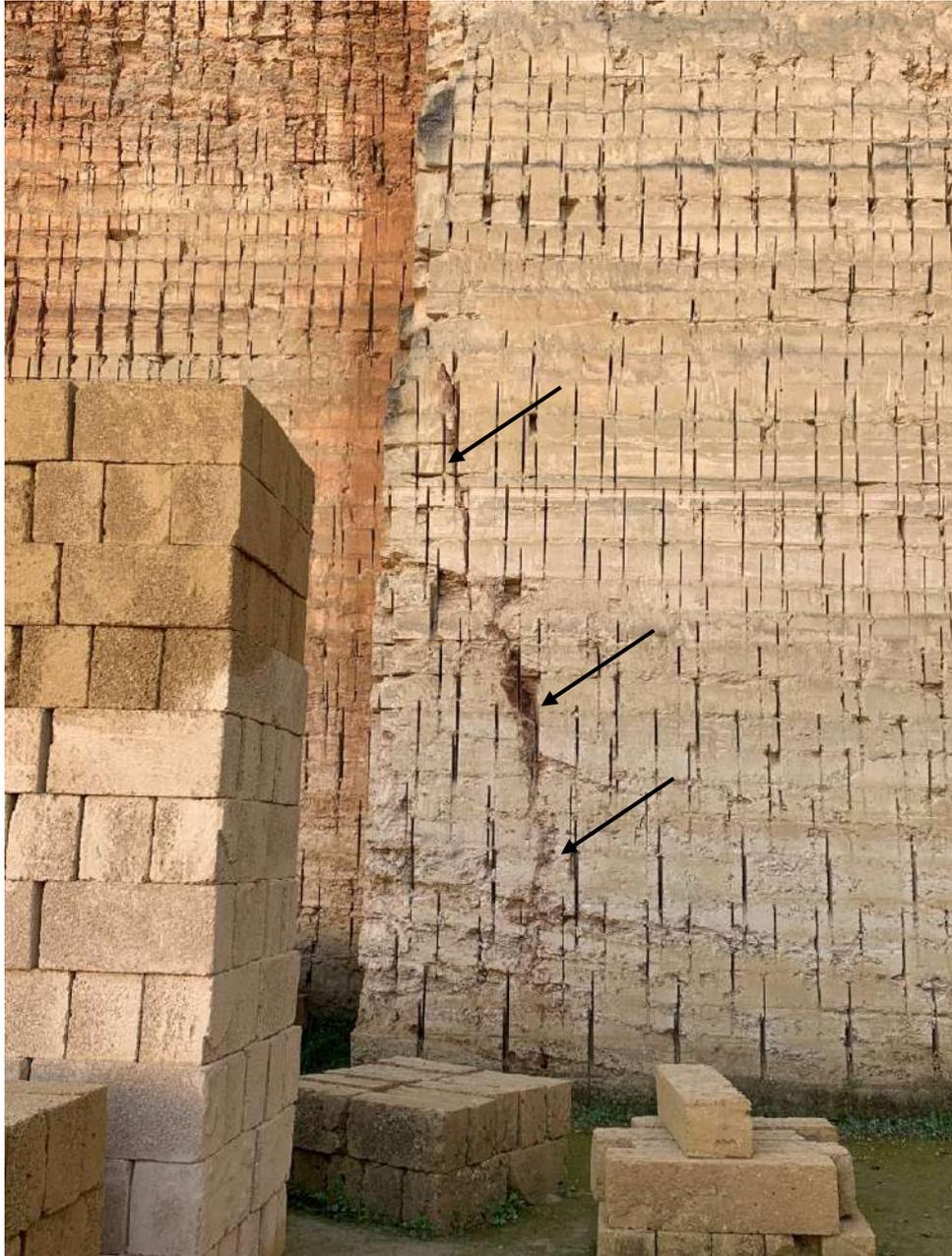
*Foto 16 – Il vecchio pozzo di scavo presente nell'area retrostante del setto da abbattere per il suo colmamento.*



*Foto 17 – La parete sud mostra sempre una successione calcarenitica con giacitura monoclinale immergente verso sud-ovest (N 220) con inclinazioni attorno a 18°-20°. Si presente compatta.*



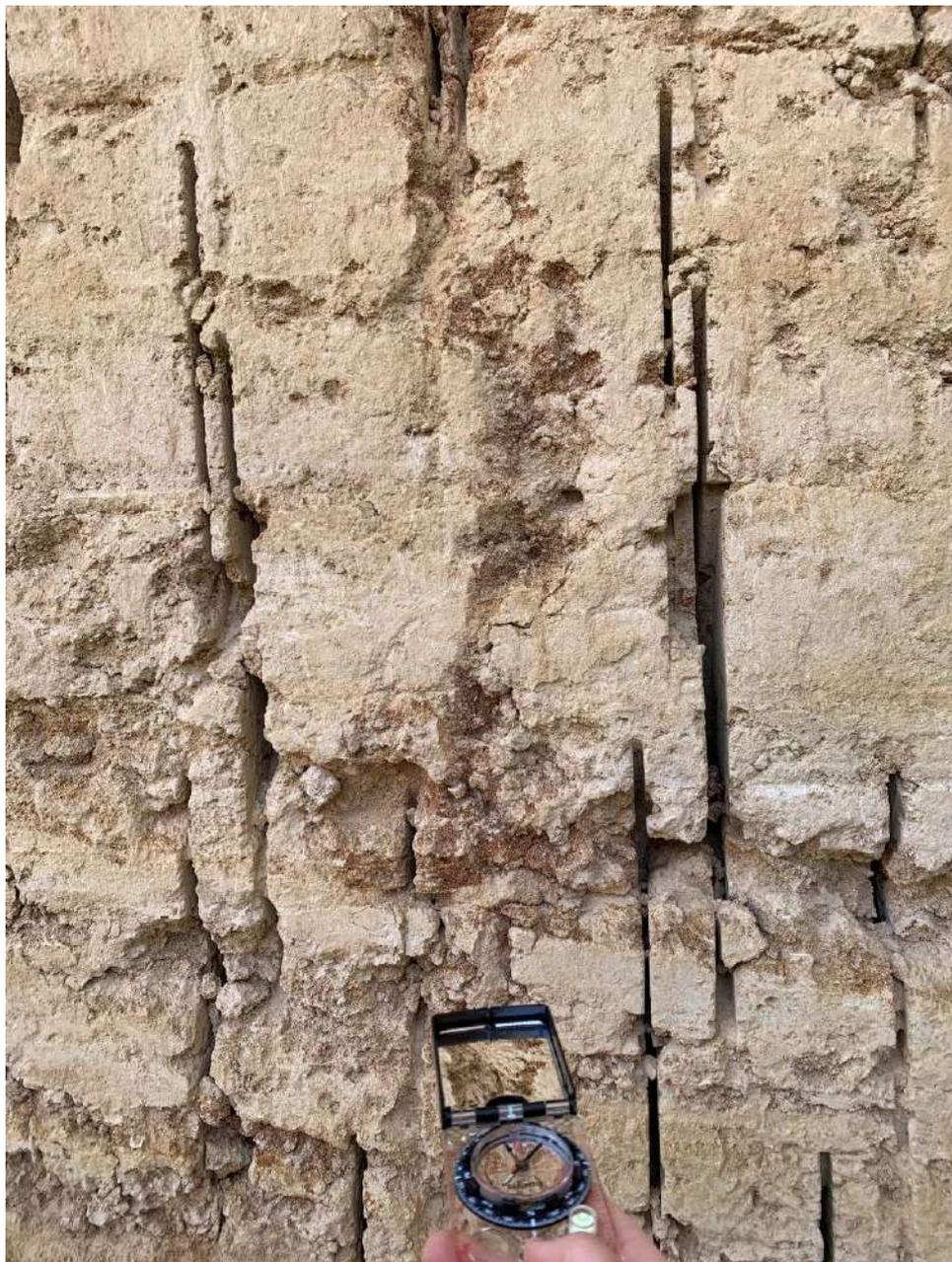
*Foto 18 – Giunto di fessurazione sub-verticale presente sulla parete sud del settore orientale del Sito 1.*



*Foto 19 – Modesto giunto di fessurazione immergente a SW con inclinazione di 75° presente sulla parete sud del settore orientale del Sito 1.*



*Foto 20,21 – Rilievo delle giaciture dei piani di stratificazione.*



*Foto 22 – Rilievo delle giaciture dei giunti di fratturazione.*

Il rilevamento delle caratteristiche geometriche 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 sono state eseguite n. 2 scanlines lungo i due fronti di cava studiati in particolare ed oggetto di verifiche (**Foto 23-24**).



*Foto 23 - Ubicazione della sezione di verifica A-A' lungo il fronte nord-occidentale del settore occidentale del Sito 2.*



*Foto 24 - Ubicazione della sezione di verifica B-B' lungo il setto d'abbattere della parete nord del settore orientale del Sito 2. Per la sua conformazione (setto molto alto e sottile), risulta consigliabile l'esecuzione di specifica verifica di stabilità.*

### 3 CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

#### 3.1 Analisi meccaniche in sito

Al fine di risalire al valore della resistenza a compressione uniassiale della matrice rocciosa costituente le pareti della cava di calcarenite in esame, sono state condotte prove non distruttive di durezza superficiale mediante *sclerometro* noto anche come *Schmidt Hammer* (**Foto 25-26**).

Le indagini sclerometriche sono prove non distruttive eseguite in sito allo scopo di stimare la resistenza meccanica superficiale delle rocce. Lo sclerometro è uno strumento costituito da un'asta che viene premuta, fino all'arresto, contro la superficie da esaminare liscia e priva di materiali di finitura; in questo modo si carica una molla che, nel momento in cui l'asta è completamente all'interno dello strumento, sgancia una massa che colpisce la superficie. Tale massa, rimbalzando, segna il valore del punto massimo di ritorno in termini di durezza superficiale. Mediante opportune curve che correlano l'indice di battitura con valori di resistenza meccanica determinati sperimentalmente (**Fig. 3.1**) si risale, in base alla durezza misurata, al valore corrispondente della resistenza a compressione monoassiale della roccia.

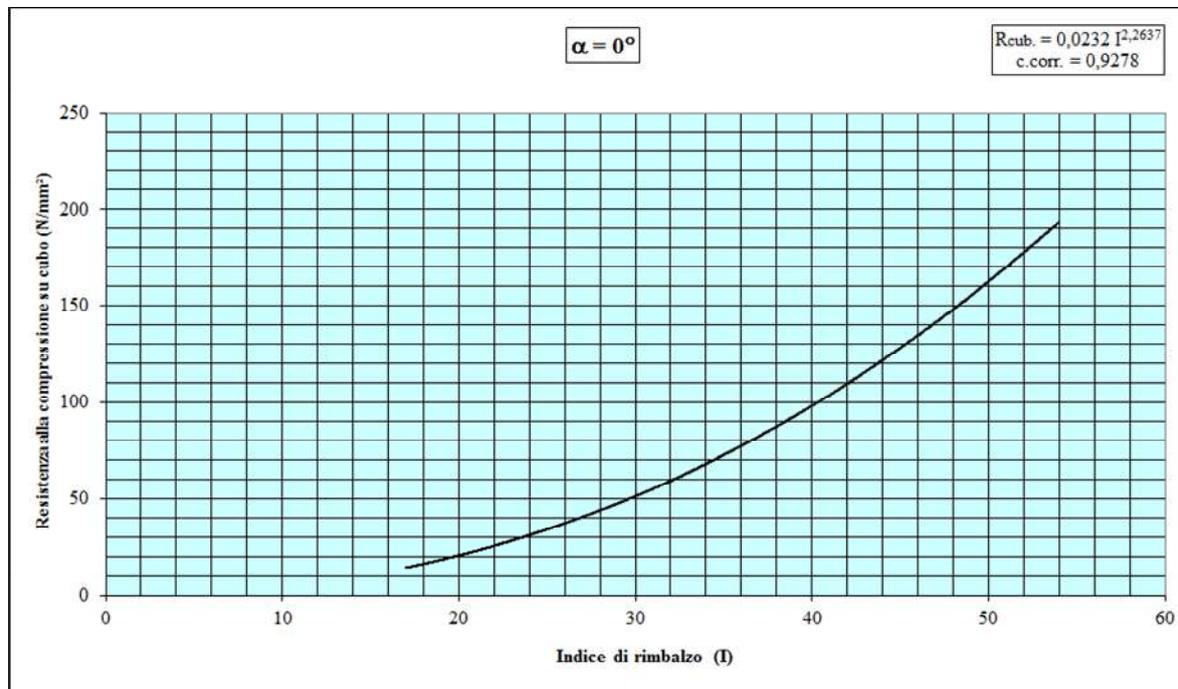


Fig 3.1 – La curva di correlazione tra indice di rimbalzo e resistenza a compressione monoassiale.



*Foto 25 – Esecuzione delle misure sclerometriche sui fronti del settore occidentale.*



*Foto 26 – Esecuzione delle misure sclerometriche sui fronti del settore orientale.*

Sono state eseguite n° 20 “battute” su diversi punti delle pareti di cava e a diverse altezze stratigrafiche ottenendo i relativi valori dell’indice sclerometrico. Si riporta di seguito la tabella con i risultati delle indagini.

Battute	Litotipo	Indice sclerometrico	Resistenza a compressione (MPa)
1	calcarenite organogena	18	8
2	calcarenite organogena	20	10
3	calcarenite organogena	24	15
4	calcarenite organogena	20	10
5	calcarenite organogena	25	17
6	calcarenite organogena	24	15
7	calcarenite organogena	22	13
8	calcarenite organogena	18	8
9	calcarenite organogena	21	11
10	calcarenite organogena	18	8
11	calcarenite organogena	20	10
12	calcarenite organogena	25	17
13	calcarenite organogena	22	13
14	calcarenite organogena	24	15
15	calcarenite organogena	20	10
16	calcarenite organogena	21	11
17	calcarenite organogena	25	17
18	calcarenite organogena	24	15
19	calcarenite organogena	18	8
20	calcarenite organogena	22	13
<b>MEDIA</b>		<b>21,5</b>	<b>12,2</b>

L’indice sclerometrico caratteristico della successione (21,5) è stato calcolato come media degli indici di rimbalzo rilevati nelle suddette battute. Ad esso corrisponde un valore medio di resistenza a compressione monoassiale pari a 12,2 MPa.

### 3.2 Classificazione dell'ammasso roccioso: Indici RMR e GSI

Nel valutare il comportamento geomeccanico di rocce lapidee (ad es. le rocce calcarenitiche tipo "carparo" presenti nella cava in esame), a differenza di quanto accade per un terreno sciolto (sabbie, limi, argille) occorre tenere presente 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 una roccia lapidea 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 in quanto è legata alla presenza di discontinuità sedimentologiche (variazioni del grado di cementazione), stratigrafiche (giunti di stratificazione), strutturali (piani di fatturazione, 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). Per tale motivo risulta necessario determinare le condizioni qualitative globali dell'ammasso roccioso presente lungo una parete, così da ricavare i parametri di resistenza reali che ne condizioneranno la stabilità.

I sistemi di classificazione si basano sull'esame degli indici di qualità e di 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).

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	200-500 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>B. FATTORI CORRETTIVI IN FUNZIONE DELL'ORIENTAMENTO DEI GIUNTI (vedi F)</b>									
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				
<b>C. CLASSI DI AMMASSO ROCCIOSO SULLA BASE DELLA SOMMA DEGLI INDICI</b>									
Indice RMR	100-81		80-61	60-41	40-21	<21			
Classe	I		II	III	IV	V			
Descrizione	Ottimo		Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente			
<b>D. SIGNIFICATO DELLE CLASSI DI AMMASSO</b>									
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			
<b>E. LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE DISCONTINUITÀ</b>									
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				
<b>F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITÀ SULLA STABILITÀ DI UNA GALLERIA</b>									
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				

Fig 3.2 – CLASSIFICAZIONE DI BIENIAWSKI RMR '79-'89

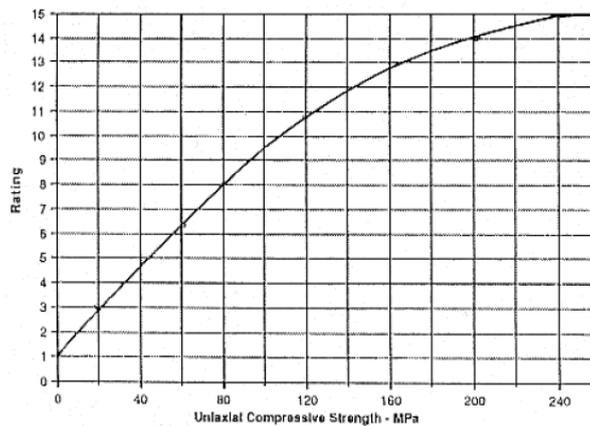
I parametri sono:

- 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.

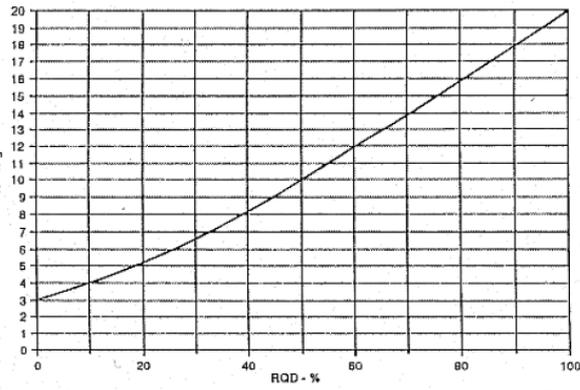
Ad ogni parametro è associata una scala di valori parziali la cui somma algebrica fornisce il valore dell'indice complessivo dell'ammasso roccioso (denominato RMR), ovvero:

$$\mathbf{RMR = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + Ic}$$

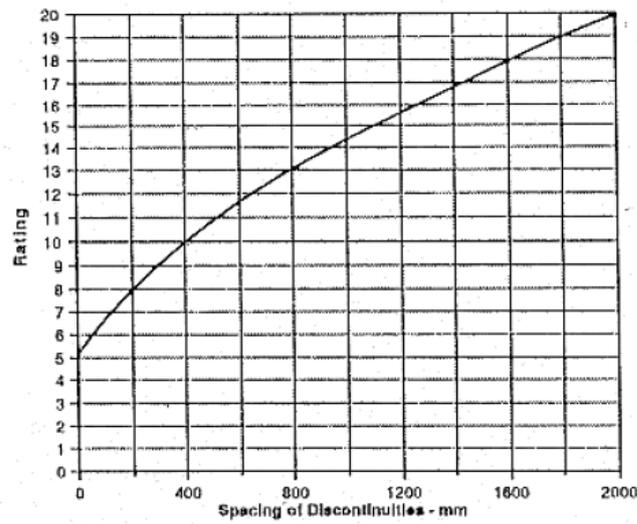
La formulazione originaria del metodo di classificazione di Bieniawski (1973), ha subito diverse modifiche, integrazioni ed aggiornamenti, che hanno portato alla definizione di varie versioni, di cui le più usate sono quelle del 1976, del 1979 e del 1989. Nel presente studio è stata adottata la versione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

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 A4*

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

Parametro A5

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 dell'ammasso roccioso calcarenitico (tipo "carparo") presente lungo le pareti della cava in esame i valori scelti per tali parametri, alla luce sia del rilievo geologico-strutturale effettuato che delle prove meccaniche in sito, sono i seguenti:

- A1 = 2 (avendo assunto il valore di resistenza a compressione medio tra quelli registrati pari a 12 MPa);
- A2 = 18 (in quanto il valore medio di RQD ottenibile è dell'ordine dell'80% stante il grado di cementazione della roccia e la quasi assoluta assenza di fratture);
- A3 = 20 (le discontinuità di cui sopra hanno una spaziatura media decametrica);
- A4 = 14 (giunti mediamente lunghi, con apertura > 5 mm, rugosi, con riempimenti compatti >5 mm, mediamente alterati);
- A5 = 15 (giunti asciutti, visto che il livello della falda superficiale è situato a profondità di una decina di metri rispetto al fondo cava);
- Ic = -5 (correzione per versanti con condizioni di orientazione dei giunti ritenute favorevoli, trattandosi di una cava a fossa in un'area sub-orizzontale).

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

$$\text{RMR} = (2 + 18 + 20 + 14 + 15) - 5 = 64$$

ovvero si tratta di un **ammasso roccioso di II classe, di qualità "buona"**.

Il valore ottenuto sommando i 5 parametri descrittivi dell'ammasso roccioso senza applicare l'indice di correzione definisce l'indice **BRMR** ("Basic Rock Mass Rating"):

$$\mathbf{BRMR} = 64 + 5 = \mathbf{69}$$

L'indice BRMR in condizioni di giunti asciutti ( $A5 = 15$ ) risulta direttamente correlato all'indice **G.S.I.** ("Geological Strength Index"), richiesto per la determinazione dei parametri di resistenza dell'ammasso roccioso mediante il criterio di rottura di Hoek-Brown.

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

$$\mathbf{G.S.I.} = \mathbf{BRMR} - 5 = \mathbf{64}$$

Come si illustrerà di seguito tale indice di classificazione G.S.I. consente di ricavare i parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso in esame.

### **3.3 Parametri di resistenza dell'ammasso roccioso**

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.

I criteri di rottura degli ammassi rocciosi consentono di valutare la resistenza degli stessi a partire dagli sforzi applicati e dalle proprietà intrinseche del materiale roccioso ottenendo (Cherubini C., 2006)<sup>1</sup>:

- la risposta della roccia intatta in diverse condizioni di sforzo;
- la previsione dell'influenza delle discontinuità nel comportamento dell'ammasso;
- la previsione del comportamento globale dell'ammasso roccioso.

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.

---

<sup>1</sup> "Caratterizzazione dei terreni e delle rocce finalizzata alla modellazione geotecnica alla luce del testo Unico". Seminario di aggiornamento professionale organizzato dall'Ordine Regionale dei Geologi della Puglia, Otranto 26 giugno 2006

La forma generale del criterio di rottura di Hoek & Brown è la seguente:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c \left[ m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s \right]^a ;$$

dove “ $m_b$ ”, “ $s$ ” ed “ $a$ ” sono costanti dipendenti dalle caratteristiche dell’ammasso roccioso,  $\sigma_c$  è la resistenza alla compressione monassiale della roccia intatta, mentre  $\sigma_1$   $\sigma_3$  sono gli sforzi principali in termini di tensioni efficaci;  $\alpha = 0,5$ .

La determinazione dei parametri  $a$ ,  $s$  e  $m_b$  viene fatta in funzione della qualità dell’ammasso roccioso, espressa numericamente dall’**indice G.S.I.** (“Geological Strength Index”) ricavato in precedenza.

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

I valori di  $c$  e  $\varphi$  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 (cava di calcarenite tipo “carparo”) 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 sclerometriche;
- 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 calcarenitico (tipo "carparo") presente nella cava in esame, alla luce del modello geologico locale in precedenza ricostruito (cfr. par. precedente) e dei risultati delle prove sclerometriche eseguite (cfr. par. 3.1) sono stati inseriti i seguenti dati di input:

- resistenza a compressione monoassiale: 12 MPa (valore medio tra quelli ricavati per i litotipi sottoposti a misure sclerometriche);
- costante di Hoek-Brown per roccia intatta:  $m_i = 10$  (valore assegnato alle rocce aventi la composizione litologica e la struttura delle calcareniti);
- indice GSI: 64 (calcolato precedentemente mediante la classificazione di Bieniawski);
- indice di disturbo:  $D = 0,7$  (limitato, in quanto le operazioni di scavo avvengono senza l'impiego di esplosivo);

Tali parametri caratterizzanti l'ammasso roccioso verranno impiegati nelle verifiche di stabilità che seguono. 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.

Field Estimate of Strength	Examples	Strength (MPa)
Specimen can only be chipped with a geological hammer.	Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite.	>250
Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it.	Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff.	100-250
Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it.	Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale.	50-100
Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer.	Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone.	25-50
Can be peeled with a pocket knife with difficulty, shallow indentation made by firm blow with point of a geological hammer.	Chalk, rocksalt, potash.	5-25
Crumbles under firm blows with point of a geological hammer, can be peeled by a pocket knife.	Highly weathered or altered rock.	1-5
Indented by thumbnail.	Stiff fault gouge.	0.25-1

Uniaxial Compressive Strength [sig]:  MPa

#### VALORI DI RESISTENZA A COMPRESSIONE MONOASSIALE

Pick GSI Value

Rock Type:

GSI Selection:

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

Filter List

Rock Type

- Sedimentary
- Igneous
- Metamorphic

Texture

- Coarse
- Medium
- Fine
- Very Fine

*VALORI DI M<sub>i</sub>*

Disturbance Factor D

Application:  Tunnels  Slopes

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

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

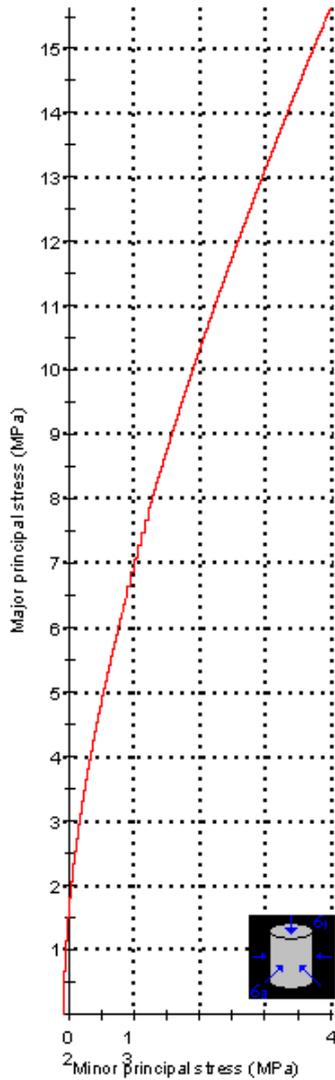
 Where squeezing problems result in significant floor heave, disturbance can be severe unless a temporary invert, as shown in the photograph, is placed.

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

Disturbance Factor:

*FATTORE DI DISTURBO*

### Analysis of Rock Strength using RocLab



**Hoek-Brown Classification**

intact uniaxial compressive strength = 12 MPa  
 GSI = 64  $m_i = 10$  Disturbance factor = 0

**Hoek-Brown Criterion**

$m_b = 2.765$   $s = 0.0183$   $a = 0.502$

**Mohr-Coulomb Fit**

cohesion = 0.900 MPa friction angle = 32.23 deg

**Rock Mass Parameters**

tensile strength = -0.080 MPa  
 uniaxial compressive strength = 1.610 MPa  
 global strength = 2.885 MPa  
 modulus of deformation = 7755.16 MPa

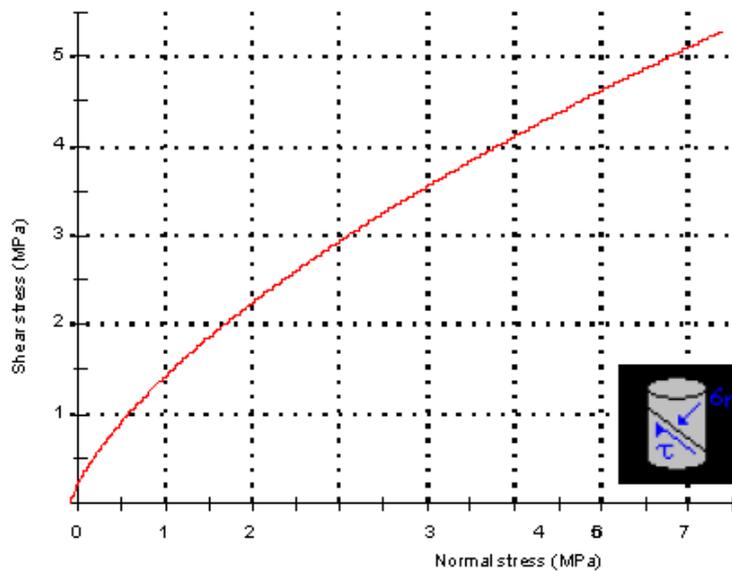


Fig 3.2 – Elaborazione con gli involuipi a rottura di Hoek-Brown e di Mohr-Coulomb per la determinazione dei parametri di resistenza dell'ammasso roccioso calcarenitico (tipo "carpareo") presente lungo le pareti della cava in esame.

## 4 STABILITÀ DEI FRONTI

### 4.1 Generalità

Come indicato in precedenza, nel caso di fronti in roccia (quali sono quelli in calcarenite tipo “carparo” della cava in esame) 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 giaciturali 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 “*crollò*”, di “*ribaltamento*” e di “*scivolamento*”.

I crolli interessano massi e frammenti di varie dimensioni che, superata la condizione di equilibrio, divengono instabili e scendono verso il basso con estrema rapidità (**Fig. 4.1a**). Il fenomeno comprende la caduta libera, il movimento a salti e rimbalzi ed il rotolamento di frammenti di roccia.

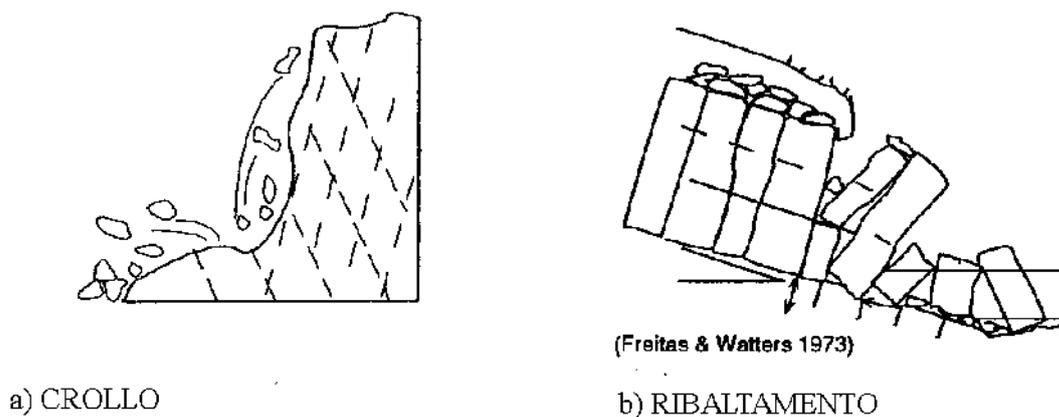
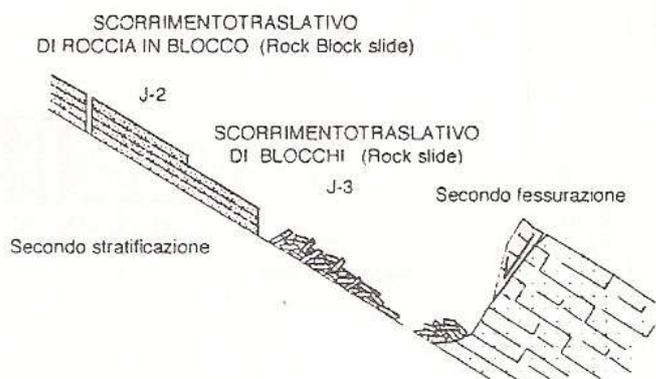


Fig. 4.1 a-b

I distacchi di blocchi per ribaltamento (**Fig. 4.1b**), assai pericolosi e frequenti lungo il fronte di abbattimento delle cave, 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. 4.1c**) comportano uno spostamento per taglio lungo una o più superfici oppure dentro un livello abbastanza sottile.



### c) SCORRIMENTO TRASLATIVO

*Fig. 4.1c*

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.

In linea generale, nell'ambito dell'intero territorio pugliese le cave attestate in roccia calcarea o calcarenitica non presentano di norma situazioni o fenomeni di particolare instabilità: ciò è in prevalenza legato alla presenza di giaciture quasi sempre sub-orizzontali, o comunque debolmente inclinate.

Dissesti di minore entità (distacco, ribaltamento o scorrimento di blocchi di modeste dimensioni volumetriche) sono, al contrario, possibili e frequenti essendo legati sia allo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso che al rinvenimento di strutture e fenomenologie carsiche (cavità, sacche di terra rossa) o alla presenza di irregolarità del grado di cementazione della roccia (nel caso di ammassi calcarenitici).

Le verifiche di stabilità di scarpate in roccia non possono dunque prescindere dalla disponibilità di dati precisi relativi alle condizioni strutturali dell'ammasso roccioso e, in

particolare, di quei parametri giacitureali 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 specifico alla cava di calcarenite tipo “carparo” di loc. “Mater Gratiae” in agro di Gallipoli (LE) di proprietà della ditta LU.PA. CAVE snc, 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 sia sul fronte nord-occidentale del settore occidentale del Sito 2 (Sezione A-A') che sul setto d’abbattere (molto alto e sottile) della parete nord del settore orientale del Sito 2 (Sezione B-B').**

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

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

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

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

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

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

Usando ad esempio il criterio di rottura Mohr-Coulomb:  $F_s$  è il fattore per cui occorre

dividere i parametri della resistenza al taglio del terreno lungo i vari tratti della superficie, per provocare la rottura del pendio lungo tutta la superficie considerata e nel medesimo tempo, ovvero:

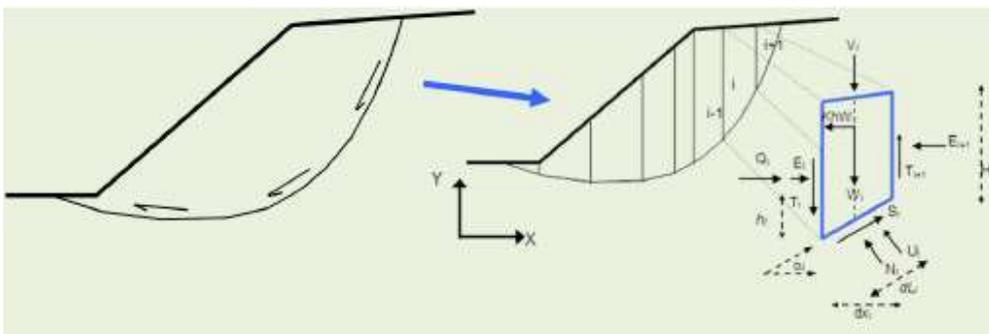
$$\tau_f = \frac{c'}{F_s} + \frac{\sigma' \tan \phi'}{F_s}$$

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

Se  $F_s > 1,0$  siamo in condizioni di stabilità, mentre per  $F_s \leq 1,0$  siamo in condizioni instabili dovuti a un generalizzato deficit di resistenza. Un altro assunto fondamentale dei metodi LEM è che nel caso di variabilità delle caratteristiche di resistenza al taglio lungo la superficie di scivolamento, sebbene  $F_s$  possa essere in realtà localmente variabile, si assume che  $F_s$  sia costante lungo tutta la superficie di potenziale scivolamento assunta. Ovvero abbiamo dovunque la medesima frazione di resistenza al taglio mobilitata rispetto a quella massima mobilitabile.

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

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



Le forze agenti sono le componenti tangenziali del peso proprio della massa e degli eventuali sovraccarichi superficiali agenti sulla superficie di scivolamento, mentre le forze resistenti sono le resistenze al taglio mobilitate nei vari punti di detta superficie che dipendono dagli sforzi normali

applicati e dalla resistenza al taglio locale del suolo. Sistemi di forze interne e esterne (es. opere di rinforzo) influiscono nella stabilità globale del pendio e devono essere considerate opportunamente; cosa che viene effettuata in tutti i metodi di calcolo rigorosi che verranno trattati più avanti. Per procedere con il calcolo di  $F_s$  la massa potenzialmente instabile viene suddivisa in "Fette" detti Conci delimitate da superficie verticali. Su ogni concio vengono valutate singolarmente le forze agenti e resistenti. L'insieme delle forze agenti sul concio singolo è presentato in figura. Queste forze sono  $W$ =Peso del concio,  $S$ =Forza di taglio mobilitata sulla base del concio,  $N$ =Forza peso normale alla base del concio,  $U$ =Forza esercitata dal carico idraulico agente sulla base,  $T$ =Forza verticale interconci,  $E$ =Forza orizzontale interconci.  $F_s$  può essere determinato mediante gruppi di equazioni per l'equilibrio dei corpi rigidi, ovvero l'equilibrio alla traslazione nelle direzioni verticali e orizzontali e l'equilibrio alla rotazione rispetto a un punto:

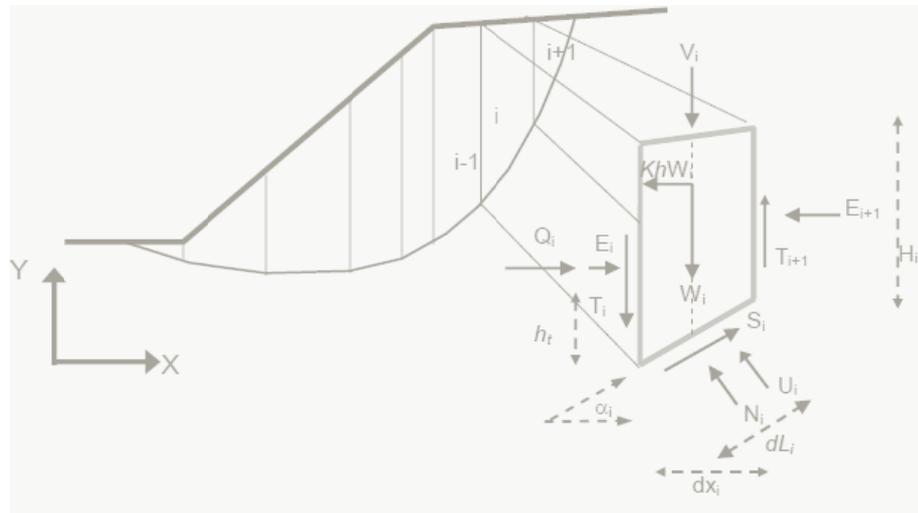
$$\begin{cases} \sum V_i = 0 \\ \sum H_i = 0 \\ \sum M_i = 0 \end{cases}$$

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

## 4.2 Procedure e metodi di calcolo utilizzati

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

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



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

$i$  = indice numerico del concio

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

$dL$  = lunghezza della base del concio

$dx$  = larghezza del concio

$H$  = altezza verticale del concio

$h_t$  = altezza punto di applicazione delle forze interconco

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

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

$W$  = forza peso agente sulla base del concio

$K_h$  = Coefficiente sismico orizzontale

$U$  = pressione interstiziale alla base del concio

$T$  = forza tangenziale verticale interconco

$E$  = forza orizzontale interconco

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

In SSAP sono state implementate le strategie computazionali proposte da Zhu et al (2003) per eliminare i problemi di convergenza che notoriamente affliggono i vari metodi e in particolare il

metodo di calcolo JANBU RIGOROSO (Janbu,1973).

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

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

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

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

tabella: relazione funzionale che esprime $t(x)$ per i vari modelli di calcolo implementati		
Gruppo	Modello di calcolo adottato per la risoluzione di FS	Relazione funzionale che esprime $T(x)$
I	Spencer (1967)	$T(x) = \lambda E(x)$
I	Sarma I (1973)	$T(x) = \lambda \left[ c' H(x) + \left( (E(x) - P_{W(x)}) \tan \bar{\phi} \right) \right]$
II	Morgestern & Price (1965)	$T(x) = \lambda f(x) E(x)$
II	Correia (1988)	$T(x) = \lambda f(x)$
II	Sarma II (1979)	$T(x) = \lambda f(x) \left[ c' H(x) + \left( (E(x) - P_{W(x)}) \tan \bar{\phi} \right) \right]$
III	Janbu Rigoroso (1973)	$T(x) = E(x) \tan \alpha_t + h_t \frac{dE(x)}{dx} + \dots$

#### 4.2.1 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 conco e pari a  $K W$  dove  $K$  è il coefficiente sismico orizzontale che è corrispondente ad una frazione del valore della accelerazione orizzontale efficace indotta dal sisma; generalmente dipende dalle caratteristiche sismiche dell'area cioè dalla accelerazione massima orizzontale  $a$  (espressa in frazione di  $g$  ovvero

in frazione di  $9.81 \text{ m/s}^2$  che è la accelerazione di gravità  $K_h = \beta_a S_a S_t a_g$  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.

### 4.3 Condizioni al contorno e risultati di verifica

Le verifiche di stabilità sono state condotte lungo n. 2 sezioni significative dei fronti di cava, nelle condizioni più gravose, e precisamente nelle seguenti condizioni:

1) Fronte nord-occidentale del settore occidentale del Sito 2: Sezione A-A', Fig. 4.2 e Foto 23.

Sono state assunte le seguenti condizioni al contorno (Fig. 4.3):

- presenza di n° 1 “strato” (bed-rock costituito da calcarenite bioclastica a grana grossolana tipo “carparo”, con assetto massivo e giacitura monoclinale (incl. massima  $20^\circ$ );
- assenza di falda (rinvenendosi circa 10 metri dal fondo cava);
- inclinazione scarpata: prossima a  $90^\circ$ .

2) Setto d’abbattere (molto alto e sottile) della parete nord del settore orientale del Sito 2: Sezione B-B', Fig. 4.2 e Foto 24. Sono state assunte le seguenti condizioni al contorno (Fig. 4.4):

- presenza di n° 1 “strato” (bed-rock costituito da calcarenite bioclastica a grana grossolana tipo “carparo”, con assetto massivo e giacitura monoclinale (incl. massima  $20^\circ$ );
- assenza di falda (rinvenendosi circa 10 metri dal fondo cava);
- inclinazione scarpata: prossima a  $90^\circ$ .

Per entrambe le verifiche sono stati considerati i seguenti parametri geomeccanici/geotecnici.

Bed-rock calcarenitico. Si assumono i valori precedentemente ricavati, ovvero:

- resistenza a compressione monoassiale: 12 MPa (valore medio tra quelli ricavati per i litotipi sottoposti a misure sclerometriche);
- costante di Hoek-Brown per roccia intatta:  $m_i = 10$  (valore assegnato alle rocce aventi la composizione litologica e la struttura delle calcareniti tipo “carparo”);
- indice GSI = 64 (calcolato precedentemente mediante la classificazione di Bieniawski);
- indice di disturbo  $D = 0,7$  (limitato, in quanto le operazioni di scavo avvengono senza l’impiego di esplosivo);
- peso di volume naturale:  $17,55 \text{ kN/m}^3$ ;
- peso di volume saturo:  $19,60 \text{ kN/m}^3$ .



Fig. 4.2 - Ubicazione delle sezioni di verifica dei fronti di cava.

SSAP 4.9.8 (2018) - Slope Stability Analysis Program  
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu  
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.2 (2018)

Committente: LU.PA. CAVE snc

Data: 31/1/2025

Localita': cava di "carparo" in Gallipoli loc. Mater Gratiae

Descrizione: Sezione A-A', fronte settore occidentale del *Sito 2*

[n] = N. strato o lente

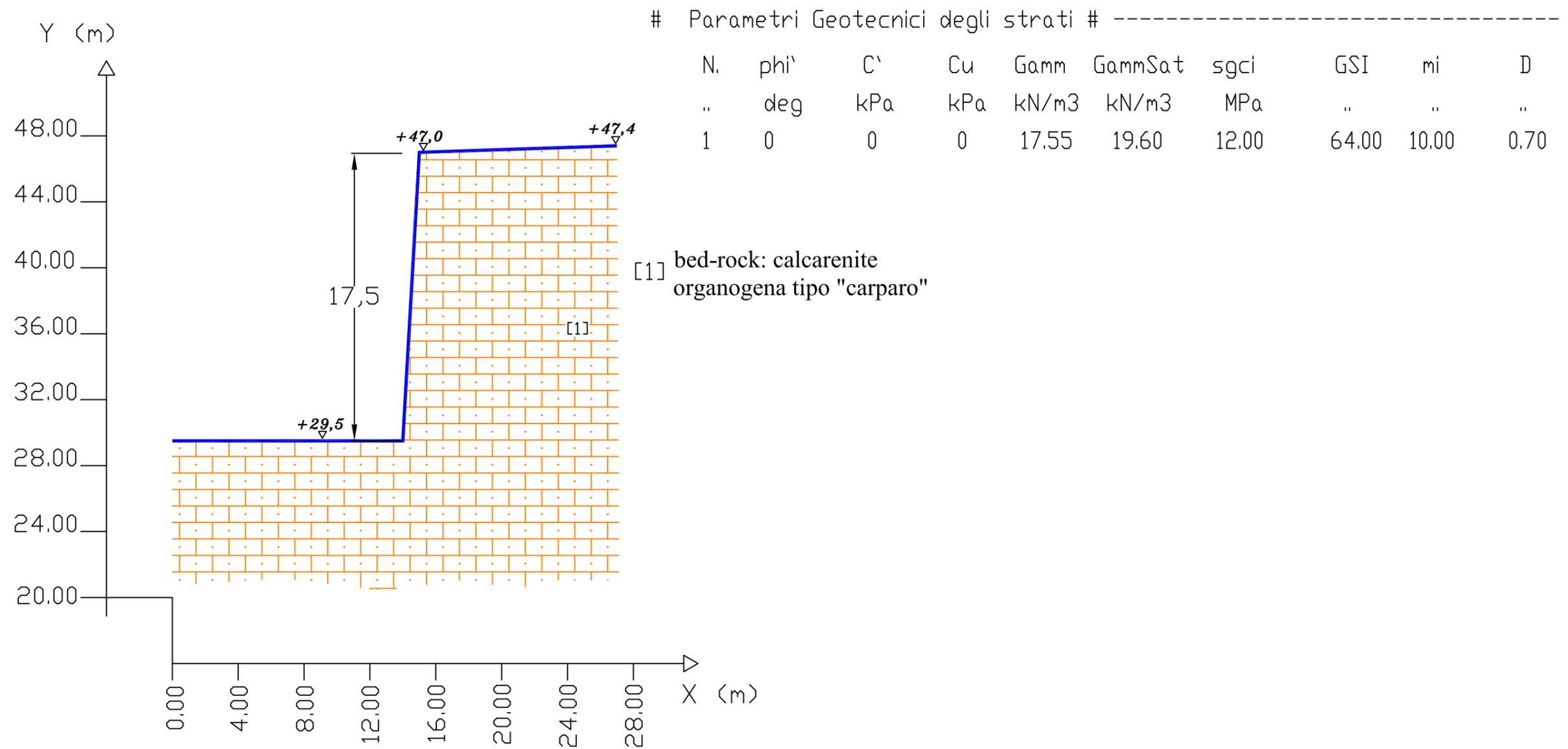


Fig. 4.3 - Modello della Sezione A-A' di verifica nella zona occidentale dell'Area 1.

SSAP 4.9.8 (2018) - Slope Stability Analysis Program  
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu  
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.2 (2018)

Committente: LU.PA. CAVE snc

Data: 31/1/2025

Localita': cava di "carparo" in Gallipoli loc. Mater Gratiae

Descrizione: Sezione B-B', setto zona orientale del *Sito 2*

[n] = N. strato o lente

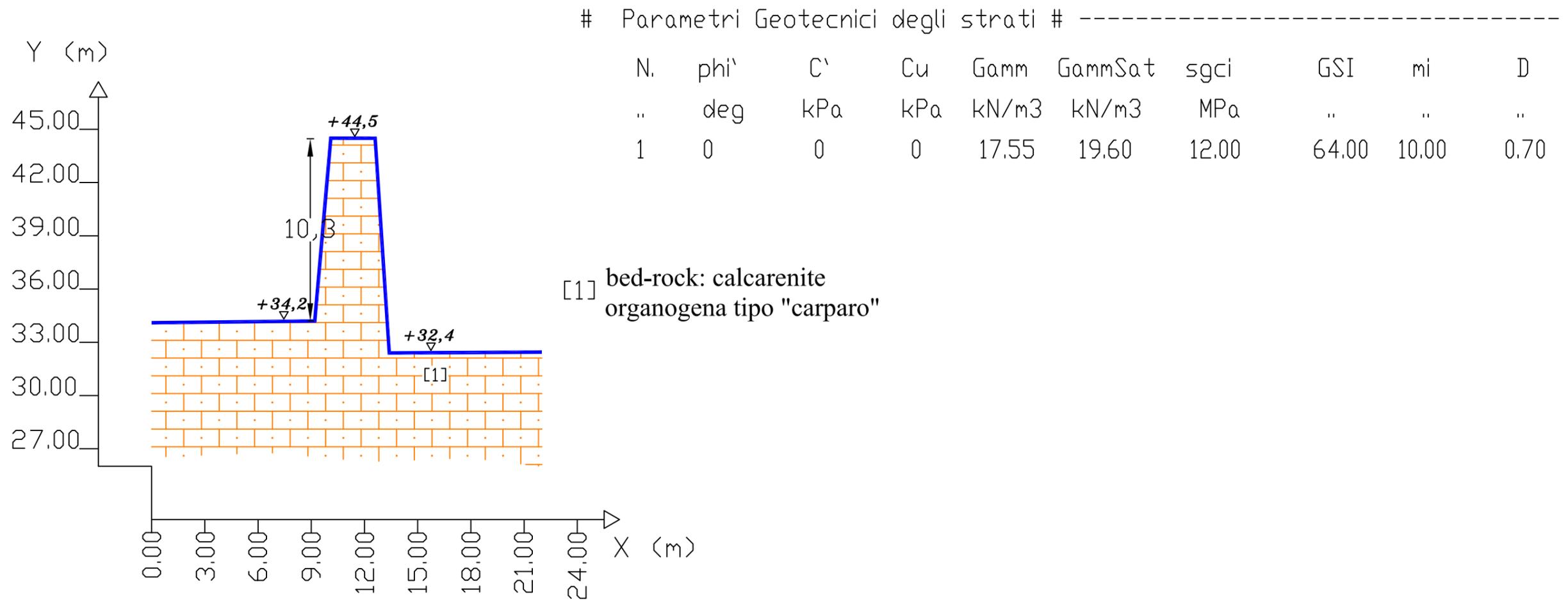


Fig. 4.4 - Modello della Sezione B-B' di verifica nella zona orientate dell'Area 1.

Di seguito si allegano gli schemi delle sezioni di verifica con la relativa parametrizzazione geomeccanica sia con riferimento alla Sezione A-A' (**Fig. 4.3**) che alla Sezione B-B' (**Fig. 4.4**).

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.

I calcoli eseguiti hanno evidenziato quanto segue:

- Sezione A-A': SURPLUS DI RESISTENZA (minimo 760.7 kN/m), essendo i valori del coefficiente di sicurezza  $F_S$  relativo alle 10 superfici più critiche pari a  $2,2 \div 2,3$  (cfr. **Fig. 4.5**).
- Sezione B-B': SURPLUS DI RESISTENZA (minimo 354.1 kN/m), essendo i valori del coefficiente di sicurezza  $F_S$  relativo alle 10 superfici più critiche pari a 2,7 (cfr. **Fig. 4.6**).

Si ricorda che il valore di  $F_S$  perché siano soddisfatte le condizioni di stabilità deve essere superiore a 1,0.

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

Nell'*Allegato* si riportano i report relativi alle verifiche con i dati inseriti nel calcolo e i risultati ottenuti in condizioni dinamiche e sismiche.

SSAP 4.9.8 (2018) - Slope Stability Analysis Program  
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu  
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.2 (2018)

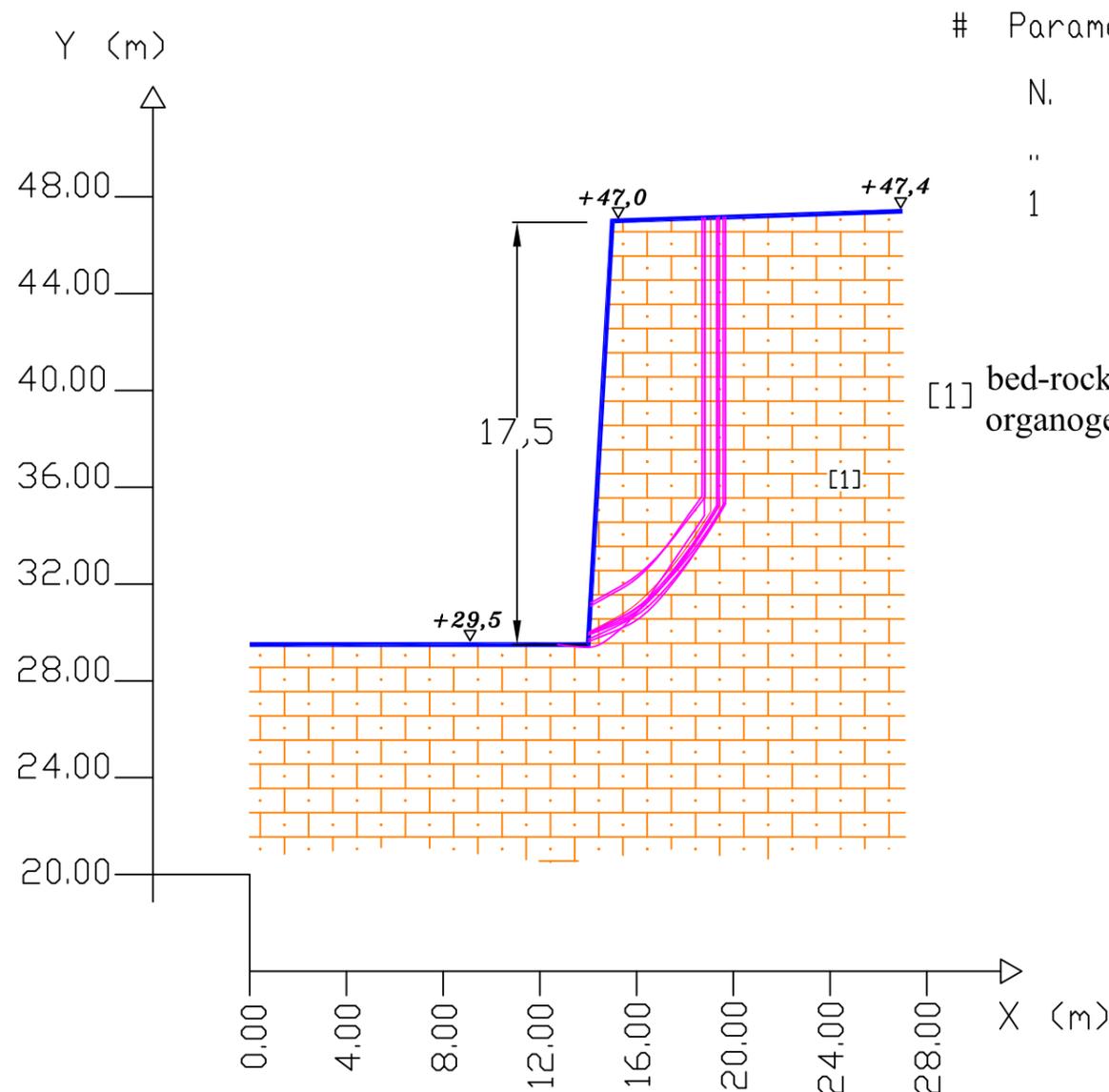
Committente: LU.PA. CAVE snc

Data: 31/1/2025

Localita': cava di "carparo" in Gallipoli loc. Mater Gratiae

Descrizione: Sezione A-A', fronte settore occidentale del Sito 2

[n] = N. strato o lente



# Parametri Geotecnici degli strati # -----									
N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..
1	0	0	0	17.55	19.60	12.00	64.00	10.00	0.70

[1] bed-rock: calcarenite  
 organogena tipo "carparo"

**DATI 10 SUP. CON MINOR Fs**

Fs minimo : 2.2227

Range Fs : 2.2227 2.3474

Differenza % Range Fs : 5.31

Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0110

**GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM**

Campione Superfici - N: 10000

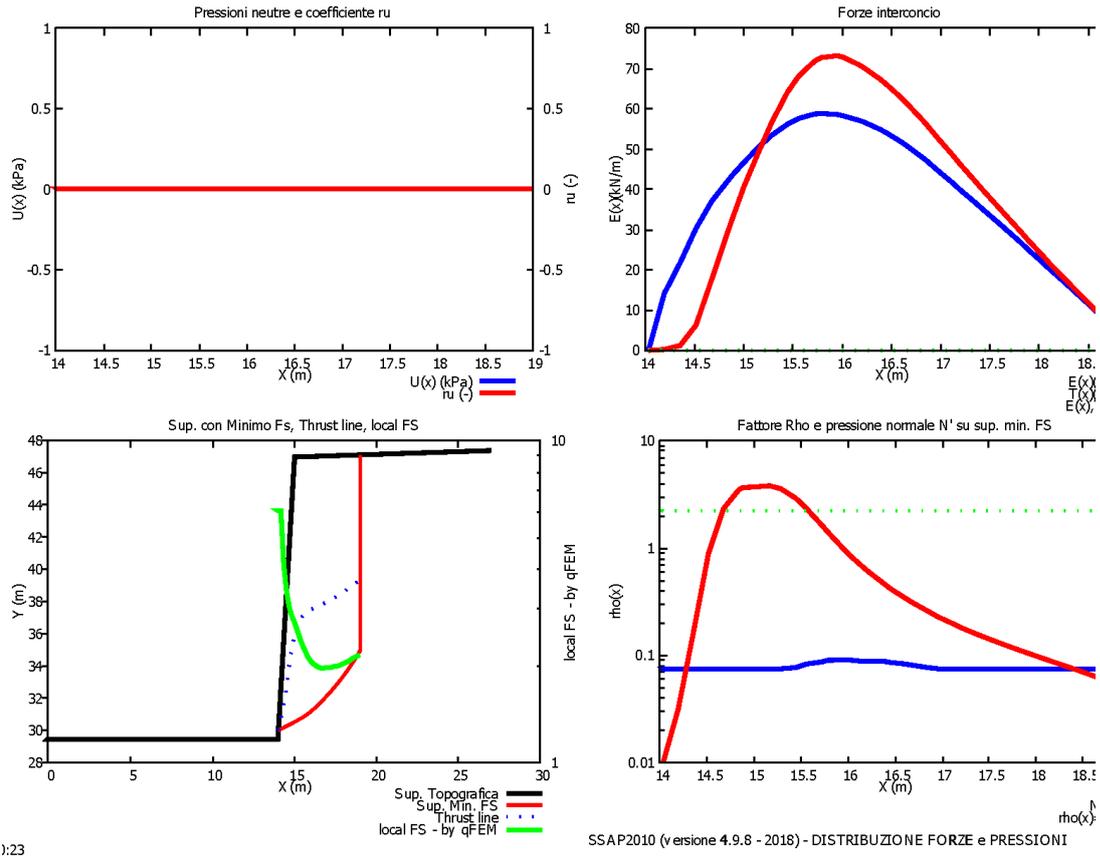
Lunghezza media segmenti (m) : 1.1

Range X inizio generazione : 0.5 - 24.8

Range X termine generazione : 3.2 - 26.5

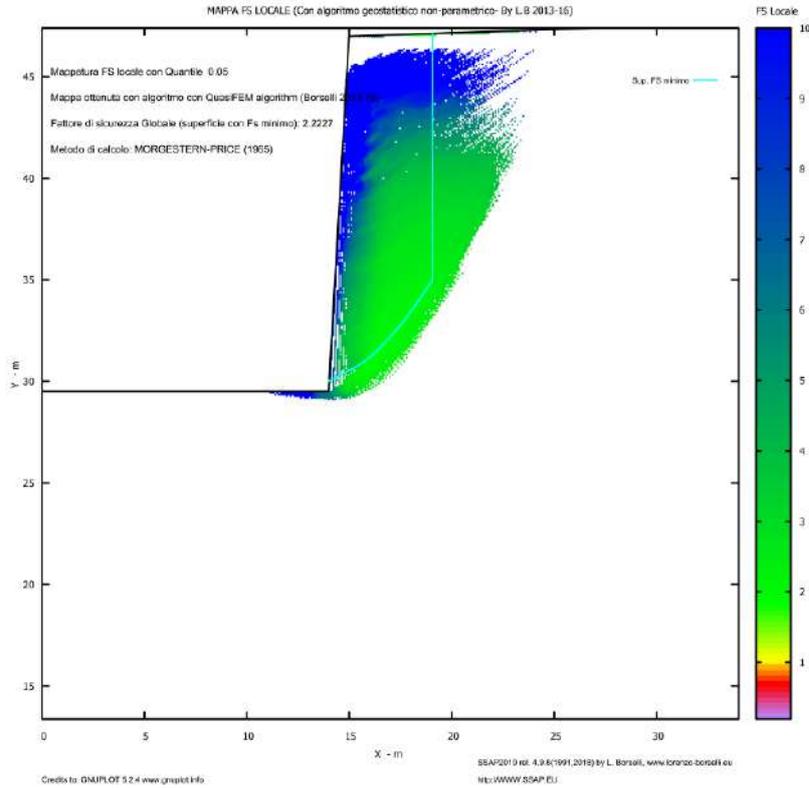
Livello Y minimo considerato : 13.4

Fig. 4.5 - Valori di Fs relativi alla fascia delle 10 superfici più critiche (su 10.000 verificate) relativamente alla Sezione A-A' di verifica nella zona occidentale dell'Area 1.



);23

a)



b)

Sezione di verifica A-A': distribuzione delle forze e delle pressioni (a) e mappatura dei coeff. di sicurezza Fs (b).

SSAP 4.9.8 (2018) - Slope Stability Analysis Program  
 Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu  
 SSAP/DXF generator rel. 1.5.2 (2018)

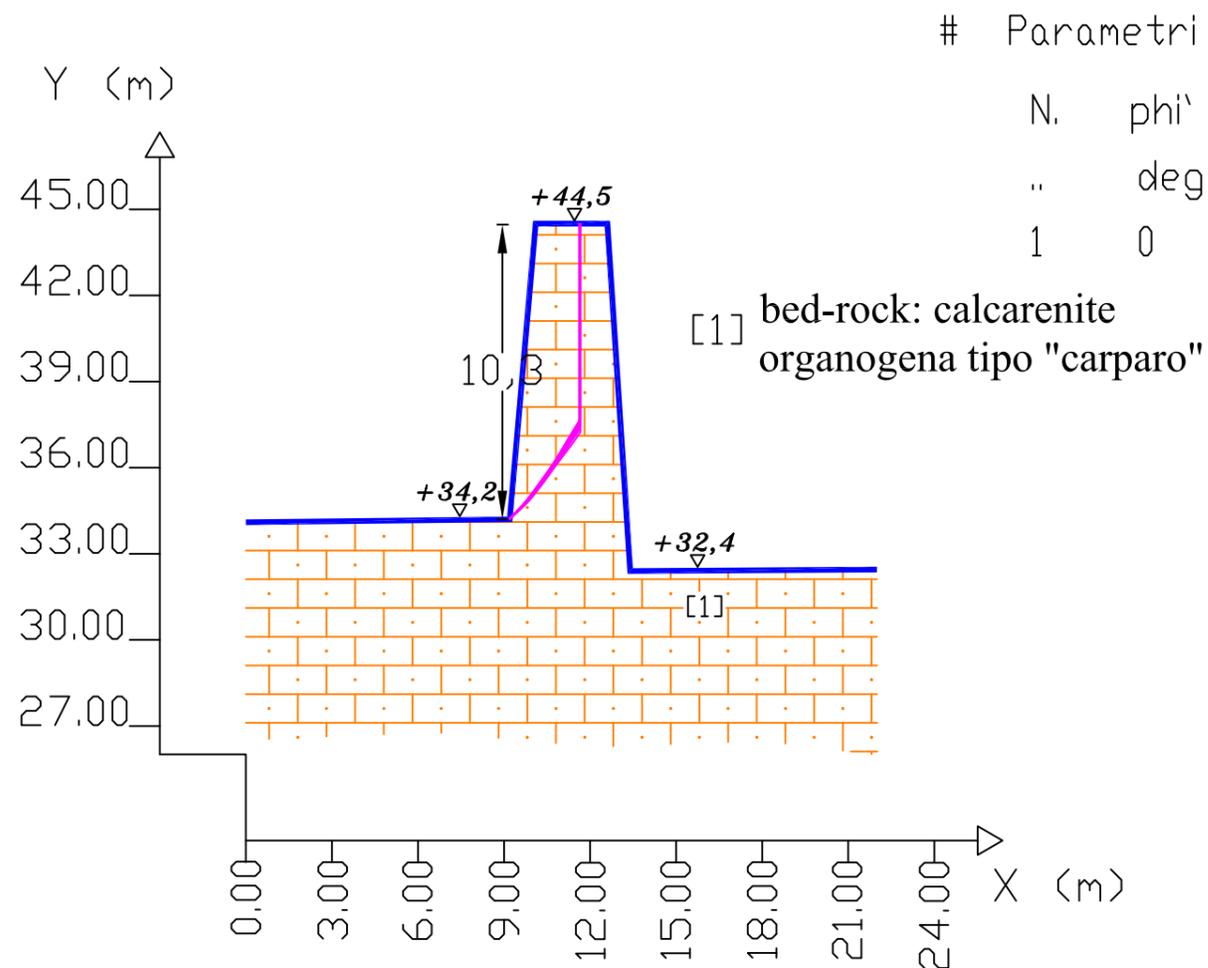
Committente: LU.PA. CAVE snc

Data: 31/1/2025

Localita': cava di "carparo" in Gallipoli loc. Mater Gratiae

Descrizione: Sezione B-B', setto zona orientale del *Sito 2*

[n] = N. strato o lente



#	Parametri Geotecnici degli strati #									
N.	phi'	C'	Cu	Gamm	GammSat	sgci	GSI	mi	D	
..	deg	kPa	kPa	kN/m3	kN/m3	MPa	..	..	..	
1	0	0	0	17.55	19.60	12.00	64.00	10.00	0.70	

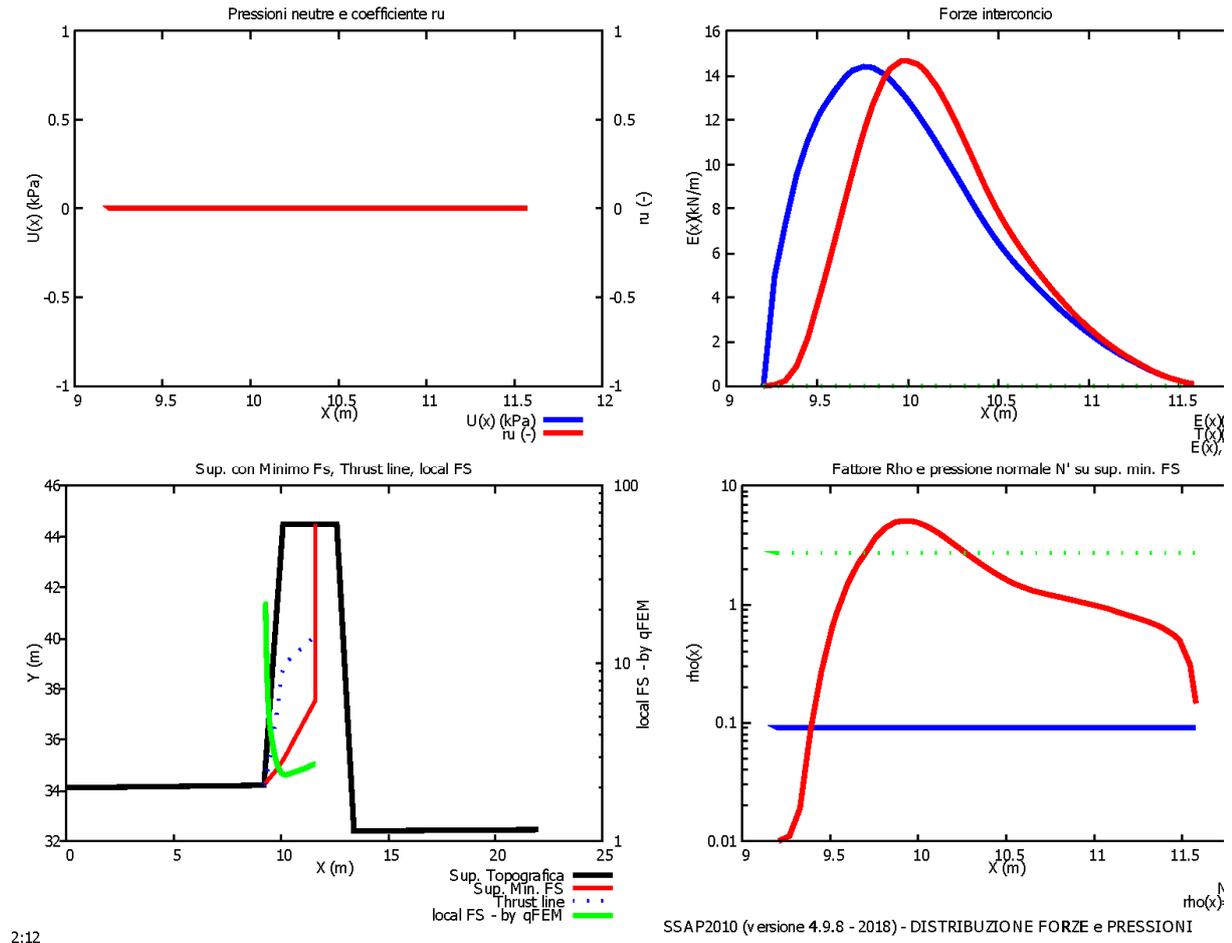
**DATI 10 SUP. CON MINOR Fs**

Fs minimo : 2.6997  
 Range Fs : 2.6997 2.7043  
 Differenza % Range Fs : 0.17  
 Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0110

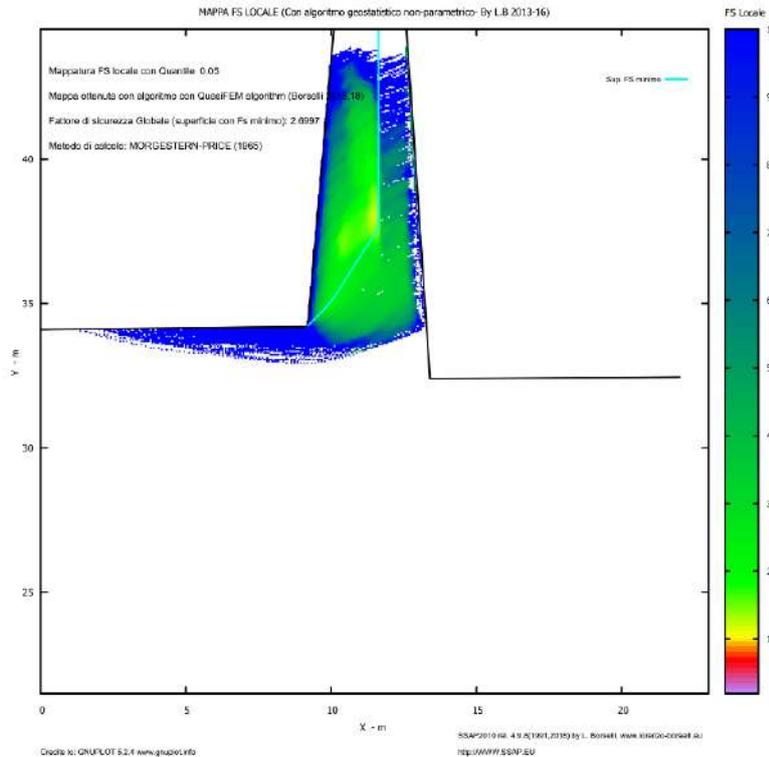
**GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM**

Campione Superfici - N: 10000  
 Lunghezza media segmenti (m) : 0.9  
 Range X inizio generazione : 0.4 - 20.2  
 Range X termine generazione : 2.6 - 21.6  
 Livello Y minimo considerato : 21.5

Fig. 4.6 - Valori di Fs relativi alla fascia delle 10 superfici più critiche (su 10.000 verificate) relativamente alla Sezione B-B' di verifica nella zona orientate dell'Area 1.



a)



b)

Sezione di verifica B-B': distribuzione delle forze e delle pressioni (a) e mappatura dei coeff. di sicurezza Fs (b).

## 5 CONCLUSIONI

Lo studio geologico-strutturale condotto in cava e le verifiche di stabilità dei fronti eseguite consentono di formulare le considerazioni conclusive di seguito riportate.

- Le pareti di cava sono costituite esclusivamente da rocce calcarenitiche a grana grossolana, ben cementate, porose, di colore giallo-ocraceo note con il nome commerciale di “carparo” e appartenenti alla formazione geologica dei “Depositi marini terrazzati” (post-Siciliano I), **Foto 1÷4**.
- Il Sito 1 risulta parzialmente colmata con il materiale di sfrido derivante dalla precedente attività estrattiva (**Foto 5**), con aree già rinaturalizzate spontaneamente, come risulta dal rilievo dello stato di fatto. Esiste un solo relitto (pilastro) avente altezza attorno ai 6÷10 metri (**Foto 6÷8**); esso risulta privo di qualsiasi giunto di fessurazione e si distingue una marcata stratificazione “incrociata” e una giacitura sub-orizzontale.
- Nel Sito 2 si distinguono due differenti settori, quello occidentale e quello orientale. Con particolare riferimento al settore occidentale, sia sulla parete nord-ovest (**Foto 9**) che su quelle di sud-est (**Foto 10**) e sud (**Foto 11**) si evince che la successione calcarenitica presenta una giacitura monoclinale immergente verso sud-ovest (N 220) con inclinazioni attorno a 18°-20°. Lungo tutte le pareti la roccia calcarenitica si presenta compatta e non si rileva alcun giunto di fratturazione. Anche le pareti di sud-ovest, sia nel tratto più settentrionale (**Foto 12**) che in quello meridionale (**Foto 13**), la roccia calcarenitica si presenta compatta e non si rileva alcun giunto di fratturazione. Per effetto della loro esposizione, la giacitura monoclinale verso sud-ovest si legge in maniera “apparente” sub-orizzontale. Con particolare riferimento al settore orientale, la parete nord (**Foto 14**) mostra la stessa successione calcarenitica con giacitura monoclinale immergente verso sud-ovest (N 220) con inclinazioni attorno a 18°-20°. Non si rileva alcun giunto di fratturazione. L'estremo settore sud-occidentale rappresenta il setto (**Foto 15**) che si è in procinto di abbattere per colmare il vecchio pozzo di scavo presente nell'area retrostante (**Foto 16**). Anche la parete sud (**Foto 17**) mostra la stessa successione calcarenitica con giacitura monoclinale immergente verso sud-ovest (N 220) con inclinazioni attorno a 18°-20°. Con riferimento al sistema fessurativo, si rinvennero unicamente n. 2 giunti di fratturazione: il primo risulta verticale, con direzione N60 (**Foto 18**), il secondo presenta immersione verso SW (N240) ed inclinazione attorno a 75° (**Foto 19**): pertanto, la frequenza di tali giunti risulta decametrica.
- L'indice sclerometrico caratteristico della successione (21,5) è stato calcolato come media degli indici di rimbalzo rilevati nelle battute che sono state condotte.
- È stata definita la qualità dell'ammasso roccioso (bed rock in calcarenite tipo “carparo”) nel suo complesso mediante la classificazione di Bieniawski (1973, Rock Mass Rating) per la

successiva restituzione, attraverso i criteri di rottura di Hoek-Brown e di Mohr-Coulomb, dei valori dei parametri che esprimono e quantificano il grado di resistenza e deformabilità dello stesso ammasso roccioso:

- resistenza a compressione monoassiale: 12 MPa (valore medio tra quelli ricavati per i litotipi sottoposti a misure sclerometriche);
  - costante di Hoek-Brown per roccia intatta:  $m_i = 10$  (valore assegnato alle rocce aventi la composizione litologica e la struttura delle calcareniti tipo “carparo”);
  - indice GSI = 64 (calcolato precedentemente mediante la classificazione di Bieniawski);
  - indice di disturbo  $D = 0,7$  (limitato, in quanto le operazioni di scavo avvengono senza l’impiego di esplosivo);
  - peso di volume naturale:  $17,55 \text{ kN/m}^3$ ;
  - peso di volume saturo:  $19,60 \text{ kN/m}^3$ .
- Le verifiche di stabilità sono state condotte lungo n. 2 sezioni significative dei fronti di cava, nelle condizioni più gravose, e precisamente:
    - 1) Fronte nord-occidentale del settore occidentale del Sito 2: Sezione A-A’, Fig. 4.2 e Foto 23. Sono state assunte le seguenti condizioni al contorno (**Fig. 4.3**):
      - presenza di n° 1 “strato” (bed-rock costituito da calcarenite bioclastica a grana grossolana tipo “carparo”, con assetto massivo e giacitura monoclinale (incl. massima  $20^\circ$ );
      - assenza di falda (rinvenendosi circa 10 metri dal fondo cava);
      - inclinazione scarpata: prossima a  $90^\circ$ .
    - 2) Setto d’abbattere (molto alto e sottile) della parete nord del settore orientale del Sito 2: Sezione B-B’, Fig. 4.2 e Foto 24. Sono state assunte le seguenti condizioni al contorno (**Fig. 4.4**):
      - presenza di n° 1 “strato” (bed-rock costituito da calcarenite bioclastica a grana grossolana tipo “carparo”, con assetto massivo e giacitura monoclinale (incl. massima  $20^\circ$ );
      - assenza di falda (rinvenendosi circa 10 metri dal fondo cava);
      - inclinazione scarpata: prossima a  $90^\circ$ .
- Le analisi della stabilità sono state condotte attraverso la valutazione dell’equilibrio limite, consistente nella stima di un coefficiente di sicurezza (Fs) alla traslazione e/o alla rotazione del volume di terra compreso fra la superficie del versante ed una superficie di taglio potenziale imposta. In particolare, 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).

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.

I calcoli eseguiti hanno evidenziato quanto segue:

- Sezione A-A': SURPLUS DI RESISTENZA (minimo 760.7 kN/m), essendo i valori del coefficiente di sicurezza  $F_S$  relativo alle 10 superfici più critiche pari a  $2,2 \div 2,3$  (cfr. **Fig. 4.5**).
- Sezione B-B': SURPLUS DI RESISTENZA (minimo 354.1 kN/m), essendo i valori del coefficiente di sicurezza  $F_S$  relativo alle 10 superfici più critiche pari a 2,7 (cfr. **Fig. 4.6**).

Si ricorda che il valore di  $F_S$  perché siano soddisfatte le condizioni di stabilità deve essere superiore a 1,0. Si sottolinea il fatto che entrambe le verifiche sono state fatte considerando un numero elevatissimo di superfici di potenziale instabilità (10.000).

Pertanto, i fronti della cava esaminata risultano stabili.

Maglie, gennaio 2025

agg.: maggio 2025

Dott. Geol. Fabio MACRI'



*ALLEGATO*

**Report elaborazioni**

**REPORT VERIFICHE**

SSAP 4.9.8 - Slope Stability Analysis Program (1991,2018)

WWW.SSAP.EU

Build No. 10564

BY

Dr. Geol. LORENZO BORSELLI \*,\*\*

\*UASLP, San Luis Potosi, Mexico

e-mail: lborselli@gmail.com

CV e WEB page personale: WWW.LORENZO-BORSELLI.EU

\*\* Gia' Ricercatore CNR-IRPI fino a Luglio 2011

-----  
Ultima Revisione struttura tabelle del report: 21 agosto 2018  
-----

File report: C:\SSAP2010\VERIFICHE\Lupa Cave Siti 1 e 2 \report\_sezioneAA'.txt

Data: 31/1/2025

Localita': cava di "carparo" in Gallipoli loc. Mater Gratiae

**Descrizione: Sezione A-A', fronte settore occidentale del Sito 2**

Modello pendio: Modello\_SezioneAA'.mod

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

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

SUP T.		SUP 2		SUP 3		SUP 4	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0.00	29.50	-	-	-	-	-	-
14.00	29.50	-	-	-	-	-	-
15.00	47.00	-	-	-	-	-	-
27.00	47.40	-	-	-	-	-	-

## ASSENZA DI FALDA ##

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

	fi'	C'	Cu	Gamm	Gamm_sat	TR_IDX	sgci	GSI	mi	D
STRATO 1	0.00	0.00	0.00	17.55	19.60	7.369	12.00	64.00	10.00	0.70

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)-

sigci \_\_\_\_\_ 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)

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

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

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

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

FILTRAGGIO SUPERFICI : ATTIVATO  
 COORDINATE X1,X2,Y OSTACOLO : 0.00 0.00 0.00  
 LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI (m): 1.1 (+/-) 50%  
 INTERVALLO ASCISSE RANDOM STARTING POINT (Xmin .. Xmax): 0.54 24.84  
 LIVELLO MINIMO CONSIDERATO (Ymin): 13.39  
 INTERVALLO ASCISSE AMMESSO PER LA TERMINAZIONE (Xmin .. Xmax): 3.24 26.46

\*\*\* TOTALE SUPERFICI GENERATE: 10.000

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

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

**COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kh : 0.0110**

**COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kv (assunto Nnegativo) : -0.0055**

**COEFFICIENTE  $c=Kv/Kh$  UTILIZZATO : 0.5000**

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

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

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

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

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

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

Fattore di sicurezza (FS)	2.2227	- Min.	-	X	Y	Lambda=	1.2500
	14.03	30.02					
	14.88	30.46					
	15.28	30.68					
	15.56	30.85					
	15.79	31.01					
	16.01	31.19					
	16.22	31.37					
	16.44	31.59					
	16.68	31.83					
	16.95	32.12					
	17.20	32.40					
	17.43	32.67					
	17.66	32.95					
	17.89	33.25					
	18.11	33.56					
	18.34	33.88					
	18.57	34.23					
	18.82	34.62					
	19.06	34.99					
	19.06	47.14					
Fattore di sicurezza (FS)	2.2552	- N.2	--	X	Y	Lambda=	1.2500
	14.02	29.94					
	15.09	30.48					
	15.58	30.74					
	15.91	30.95					
	16.18	31.16					
	16.46	31.40					
	16.71	31.64					
	16.98	31.93					
	17.27	32.28					
	17.61	32.70					
	17.92	33.10					
	18.20	33.49					
	18.48	33.90					

	18.76	34.33			
	19.03	34.77			
	19.31	35.24			
	19.31	47.14			
Fattore di sicurezza (FS)	2.2948	- N.3 --	X	Y	Lambda= 1.2500
	14.01	29.72			
	15.10	30.22			
	15.60	30.47			
	15.93	30.66			
	16.21	30.86			
	16.48	31.08			
	16.74	31.32			
	17.01	31.60			
	17.31	31.93			
	17.66	32.35			
	17.97	32.73			
	18.26	33.12			
	18.54	33.51			
	18.83	33.93			
	19.10	34.35			
	19.39	34.81			
	19.68	35.31			
	19.68	47.16			
Fattore di sicurezza (FS)	2.2991	- N.4 --	X	Y	Lambda= 1.2500
	14.09	31.09			
	15.16	31.69			
	15.65	31.99			
	15.98	32.22			
	16.25	32.44			
	16.52	32.71			
	16.77	32.98			
	17.03	33.30			
	17.31	33.67			
	17.64	34.13			
	17.95	34.56			
	18.25	34.98			
	18.54	35.40			
	18.71	35.63			
	18.71	47.12			
Fattore di sicurezza (FS)	2.3165	- N.5 --	X	Y	Lambda= 1.2500
	14.03	29.99			
	15.10	30.50			
	15.60	30.76			
	15.93	30.95			
	16.21	31.14			
	16.49	31.36			
	16.75	31.59			
	17.02	31.86			
	17.32	32.17			
	17.67	32.56			
	17.98	32.92			
	18.27	33.28			
	18.54	33.65			
	18.82	34.05			
	19.10	34.47			
	19.38	34.92			
	19.67	35.40			
	19.67	47.16			

Fattore di sicurezza (FS)	2.3224	- N.6 --	X	Y	Lambda= 1.2500
	14.02	29.92			
	15.14	30.41			
	15.64	30.66			
	15.97	30.86			
	16.24	31.05			
	16.51	31.30			
	16.76	31.55			
	17.03	31.87			
	17.33	32.24			
	17.67	32.70			
	17.99	33.14			
	18.30	33.57			
	18.59	34.00			
	18.88	34.43			
	19.17	34.87			
	19.34	35.13			
	19.34	47.14			
Fattore di sicurezza (FS)	2.3232	- N.7 --	X	Y	Lambda= 1.2500
	12.74	29.50			
	13.53	29.41			
	13.87	29.38			
	14.08	29.38			
	14.23	29.41			
	14.41	29.47			
	14.56	29.54			
	14.73	29.66			
	14.94	29.81			
	15.21	30.03			
	15.43	30.22			
	15.63	30.41			
	15.82	30.60			
	16.01	30.82			
	16.19	31.04			
	16.38	31.29			
	16.58	31.56			
	16.79	31.88			
	17.00	32.18			
	17.21	32.48			
	17.41	32.77			
	17.61	33.06			
	17.81	33.36			
	18.01	33.65			
	18.21	33.94			
	18.41	34.24			
	18.61	34.53			
	18.81	34.83			
	18.81	47.13			
Fattore di sicurezza (FS)	2.3280	- N.8 --	X	Y	Lambda= 1.2500
	14.02	29.90			
	14.89	30.23			
	15.29	30.40			
	15.55	30.53			
	15.77	30.66			
	15.99	30.82			
	16.19	30.99			
	16.41	31.19			
	16.64	31.43			
	16.92	31.73			
	17.17	32.01			

	17.40	32.29			
	17.63	32.57			
	17.86	32.87			
	18.08	33.17			
	18.30	33.50			
	18.54	33.84			
	18.79	34.23			
	19.03	34.60			
	19.26	34.98			
	19.42	35.24			
	19.42	47.15			
Fattore di sicurezza (FS)	2.3388	- N.9 --	X	Y	Lambda= 1.2500
	14.10	31.21			
	15.15	31.81			
	15.64	32.10			
	15.98	32.33			
	16.25	32.54			
	16.53	32.79			
	16.78	33.04			
	17.05	33.34			
	17.33	33.67			
	17.66	34.08			
	17.96	34.46			
	18.26	34.84			
	18.55	35.21			
	18.83	35.58			
	18.83	47.13			
Fattore di sicurezza (FS)	2.3474	- N.10 --	X	Y	Lambda= 1.2500
	14.01	29.62			
	15.09	30.06			
	15.58	30.27			
	15.90	30.45			
	16.16	30.62			
	16.43	30.85			
	16.68	31.08			
	16.94	31.37			
	17.23	31.71			
	17.59	32.15			
	17.89	32.56			
	18.18	32.96			
	18.46	33.37			
	18.74	33.81			
	19.01	34.26			
	19.29	34.74			
	19.58	35.26			
	19.58	47.15			

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

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

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

Sup N.	FS	FTR(kN/m)	FTA(kN/m)	Bilancio(kN/m)	ESITO
1	2.223	1798.3	809.1	827.4	Surplus
2	2.255	1913.2	848.4	895.1	Surplus
3	2.295	2085.4	908.8	994.9	Surplus
4	2.299	1591.2	692.1	760.7	Surplus
5	2.316	2047.3	883.8	986.8	Surplus
6	2.322	1955.1	841.8	944.9	Surplus
7	2.323	1993.5	858.1	963.8	Surplus
8	2.328	2003.3	860.5	970.7	Surplus

9	2.339	1618.5	692.0	788.0	Surplus
10	2.347	2106.2	897.2	1029.5	Surplus

**Esito analisi: SURPLUS di RESISTENZA!**

Valore minimo di SURPLUS di RESISTENZA (kN/m): 760.7

Note: FTR --> Forza totale Resistente rispetto alla superficie di scivolamento (componente Orizzontale)

FTA --> Forza totale Agente rispetto alla superficie di scivolamento (componente Orizzontale)

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

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

X (m)	dx (m)	alpha (°)	W (kN/m)	ru (-)	U (kPa)	phi' (°)	(c',Cu) (kPa)
14.030	0.161	27.38	3.83	0.00	0.00	54.03	98.34
14.190	0.161	27.38	11.49	0.00	0.00	50.18	106.14
14.351	0.161	27.38	19.16	0.00	0.00	47.53	114.72
14.512	0.161	27.38	26.82	0.00	0.00	45.44	124.84
14.673	0.161	27.38	34.48	0.00	0.00	43.73	135.21
14.834	0.047	27.38	11.49	0.00	0.00	42.78	141.76
14.880	0.120	28.80	32.27	0.00	0.00	42.19	145.97
15.000	0.161	28.80	46.12	0.00	0.00	41.77	148.26
15.161	0.122	28.80	34.81	0.00	0.00	41.77	149.26
15.283	0.161	31.71	45.69	0.00	0.00	42.02	147.41
15.443	0.113	31.71	31.86	0.00	0.00	42.11	145.35
15.556	0.161	34.94	45.23	0.00	0.00	42.36	145.16
15.717	0.069	34.94	19.36	0.00	0.00	42.44	143.09
15.786	0.161	38.56	44.77	0.00	0.00	42.78	141.78
15.947	0.064	38.56	17.69	0.00	0.00	42.87	139.85
16.011	0.161	41.20	44.28	0.00	0.00	43.13	139.68
16.172	0.049	41.20	13.53	0.00	0.00	43.21	137.82
16.221	0.161	43.62	43.76	0.00	0.00	43.47	137.57
16.382	0.062	43.62	16.87	0.00	0.00	43.56	135.91
16.444	0.161	45.60	43.17	0.00	0.00	43.82	134.84
16.605	0.077	45.60	20.47	0.00	0.00	43.91	133.37
16.682	0.161	47.11	42.50	0.00	0.00	44.17	131.23
16.843	0.112	47.11	29.33	0.00	0.00	44.17	132.88
16.955	0.161	48.39	41.69	0.00	0.00	44.44	130.42
17.115	0.084	48.39	21.61	0.00	0.00	44.53	129.19
17.199	0.161	49.81	40.92	0.00	0.00	44.80	127.28
17.360	0.072	49.81	18.27	0.00	0.00	44.80	128.79
17.433	0.161	51.24	40.16	0.00	0.00	45.07	127.11
17.593	0.063	51.24	15.62	0.00	0.00	45.17	125.94
17.657	0.161	52.62	39.38	0.00	0.00	45.44	124.25
17.817	0.068	52.62	16.56	0.00	0.00	45.53	123.20
17.886	0.161	53.87	38.55	0.00	0.00	45.72	123.95
18.047	0.061	53.87	14.57	0.00	0.00	45.81	122.94
18.108	0.161	55.06	37.70	0.00	0.00	46.09	120.99
18.269	0.067	55.06	15.52	0.00	0.00	46.18	120.12
18.336	0.161	56.11	36.79	0.00	0.00	46.37	120.45
18.497	0.073	56.11	16.51	0.00	0.00	46.47	119.70
18.570	0.161	57.02	35.83	0.00	0.00	46.66	119.68
18.730	0.089	57.02	19.48	0.00	0.00	46.75	119.13
18.819	0.161	57.42	34.77	0.00	0.00	46.95	117.53
18.980	0.080	57.42	16.98	0.00	0.00	47.04	116.96

---

 LEGENDA SIMBOLI

X(m) : Ascissa sinistra concio  
 dx(m) : Larghezza concio  
 alpha(°) : Angolo pendenza base concio  
 W(kN/m) : Forza peso concio  
 ru(-) : Coefficiente locale pressione interstiziale  
 U(kPa) : Pressione totale dei pori base concio  
 phi'(°) : Angolo di attrito efficace base concio  
 c'/Cu (kPa) : Coesione efficace o Resistenza al taglio in condizioni non drenate

---

 TABELLA DIAGRAMMA DELLE FORZE DELLA SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS
 

---

	X (m)	ht (m)	yt (m)	yt' (--)	E(x) (kN/m)	T(x) (kN/m)	E' (kN)	rho(x) (--)	FS_FEM (--)	FS_p-qFEM (--)
14.030	0.000	30.018	4.981	0.0000000000E+000	0.0000000000E+000	1.0760654308E+002	0.074	6.048	3.938	
14.190	0.687	30.789	4.981	1.4097205588E+001	2.0709944091E-001	6.7746591353E+001	0.074	6.048	4.318	
14.351	1.435	31.620	5.787	2.1785470315E+001	1.1950812386E+000	5.0282257801E+001	0.074	4.102	3.023	
14.512	2.382	32.650	7.401	3.0266618880E+001	6.2605532078E+000	4.7571126409E+001	0.074	3.412	2.579	
14.673	3.649	34.000	7.488	3.7083057124E+001	1.7676402930E+001	3.6771914368E+001	0.074	3.055	2.410	
14.834	4.623	35.058	6.398	4.2091471362E+001	2.9412682268E+001	3.0030728770E+001	0.074	2.852	2.319	
14.880	4.870	35.329	5.003	4.3483563749E+001	3.2603824532E+001	2.8972472783E+001	0.074	2.814	2.326	
15.000	5.366	35.891	4.117	4.6724761373E+001	4.0701402955E+001	2.6305580447E+001	0.074	2.729	2.286	
15.161	5.870	36.483	3.324	5.0781690943E+001	4.9941953893E+001	2.3273302195E+001	0.074	2.583	2.239	
15.283	6.150	36.830	2.001	5.3437683622E+001	5.6677179753E+001	1.9786614663E+001	0.074	2.472	2.201	
15.443	6.269	37.049	1.280	5.6194544922E+001	6.4155502135E+001	1.4504099026E+001	0.077	2.354	2.166	
15.556	6.331	37.180	1.034	5.7620070038E+001	6.8143812767E+001	1.0277100094E+001	0.083	2.276	2.162	
15.717	6.370	37.331	0.858	5.8727349817E+001	7.1844073911E+001	3.3017041057E+000	0.087	2.186	2.149	
15.786	6.368	37.378	0.682	5.8849051178E+001	7.2735166627E+001	7.5746554358E-001	0.090	2.147	2.144	
15.947	6.351	37.488	0.610	5.8596272981E+001	7.3208311694E+001	-4.0119531002E+000	0.091	2.083	2.138	
16.011	6.326	37.515	0.498	5.8278089313E+001	7.2847611641E+001	-5.5427838856E+000	0.091	2.059	2.141	
16.172	6.271	37.600	0.480	5.7159611796E+001	7.0939564962E+001	-8.6451380159E+000	0.089	2.024	2.135	
16.221	6.243	37.616	0.450	5.6706693596E+001	7.0212196475E+001	-9.5933114440E+000	0.089	2.012	2.138	
16.382	6.169	37.695	0.456	5.4939782740E+001	6.7431430420E+001	-1.2553627133E+001	0.088	1.989	2.135	
16.444	6.132	37.717	0.467	5.4118827405E+001	6.6197800651E+001	-1.3676577284E+001	0.086	1.980	2.132	
16.605	6.049	37.799	0.483	5.1705973495E+001	6.2619746890E+001	-1.6618761695E+001	0.083	1.968	2.132	
16.682	6.004	37.832	0.505	5.0369828686E+001	6.0701443722E+001	-1.7729683484E+001	0.081	1.964	2.123	
16.843	5.918	37.919	0.535	4.7404579961E+001	5.6475965374E+001	-2.0272262054E+001	0.077	1.970	2.147	
16.955	5.856	37.978	0.553	4.4990515422E+001	5.3173334259E+001	-2.0981600970E+001	0.074	1.971	2.140	
17.115	5.767	38.070	0.547	4.1747532899E+001	4.8713256313E+001	-2.1619820244E+001	0.074	1.970	2.144	
17.199	5.714	38.112	0.561	3.9865803351E+001	4.6217792251E+001	-2.1788219423E+001	0.074	1.973	2.138	
17.360	5.619	38.207	0.555	3.6543970858E+001	4.1802190368E+001	-2.1699911960E+001	0.074	1.986	2.162	
17.433	5.568	38.241	0.600	3.4937728911E+001	3.9732623508E+001	-2.1759436962E+001	0.074	1.990	2.157	
17.593	5.473	38.347	0.607	3.1585087034E+001	3.5430093944E+001	-2.1697271162E+001	0.074	1.995	2.161	
17.657	5.425	38.377	0.648	3.0194570337E+001	3.3692515254E+001	-2.1859378369E+001	0.074	1.998	2.155	
17.817	5.329	38.492	0.653	2.6749470291E+001	2.9427002304E+001	-2.3440003892E+001	0.074	2.011	2.161	
17.886	5.274	38.527	0.685	2.5089162300E+001	2.7442497063E+001	-2.3466195873E+001	0.074	2.021	2.174	
18.047	5.177	38.649	0.696	2.1629942410E+001	2.3304783318E+001	-2.3305752443E+001	0.074	2.037	2.181	
18.108	5.125	38.682	0.718	2.0155943354E+001	2.1595309368E+001	-2.3268280058E+001	0.074	2.043	2.173	
18.269	5.022	38.809	0.725	1.6718515503E+001	1.7619885128E+001	-2.2587701709E+001	0.074	2.061	2.182	
18.336	4.964	38.847	0.746	1.5171761246E+001	1.5883311096E+001	-2.2774627897E+001	0.074	2.073	2.192	
18.497	4.856	38.979	0.763	1.1632134802E+001	1.1961508077E+001	-2.2751049537E+001	0.074	2.098	2.203	
18.570	4.794	39.025	0.743	9.9447959895E+000	1.0145767017E+001	-2.2344274291E+001	0.074	2.111	2.211	
18.730	4.674	39.153	0.819	6.6144526253E+000	6.6186886167E+000	-2.1382165411E+001	0.074	2.133	2.226	
18.819	4.614	39.230	0.838	4.6844394587E+000	4.6393088577E+000	-2.1025908399E+001	0.074	2.141	2.222	
18.980	4.494	39.362	0.838	1.5151761387E+000	1.4699139406E+000	-1.9244148240E+001	0.074	2.159	2.238	

---

## 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\_FEM(x) (-) : fattore di sicurezza locale stimato (locale in X) by qFEM  
 FS\_SRM(x) (-) : fattore di sicurezza locale stimato (locale in X) by SRM Procedure

TABELLA SFORZI DI TAGLIO DISTRIBUITI LUNGO SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

X (m)	dx (m)	dl (m)	alpha (°)	TauStress (kPa)	TauF (kN/m)	TauStrength (kPa)	TauS (kN/m)
14.030	0.161	0.181	27.378	9.937	1.799	124.312	22.509
14.190	0.161	0.181	27.378	29.811	5.398	173.598	31.433
14.351	0.161	0.181	27.378	49.685	8.996	215.305	38.985
14.512	0.161	0.181	27.378	69.559	12.595	250.048	45.276
14.673	0.161	0.181	27.378	89.433	16.193	284.890	51.584
14.834	0.047	0.053	27.378	102.266	5.397	307.571	16.232
14.880	0.120	0.136	28.802	116.210	15.859	316.253	43.157
15.000	0.161	0.183	28.802	123.515	22.663	329.291	60.420
15.161	0.122	0.139	28.802	122.967	17.106	329.986	45.904
15.283	0.161	0.189	31.705	129.327	24.442	315.611	59.648
15.443	0.113	0.132	31.705	128.692	17.042	317.053	41.987
15.556	0.161	0.196	34.939	134.134	26.309	306.276	60.072
15.717	0.069	0.084	34.939	133.498	11.263	308.283	26.010
15.786	0.161	0.206	38.564	137.610	28.297	296.430	60.956
15.947	0.064	0.082	38.564	136.870	11.181	298.571	24.391
16.011	0.161	0.214	41.196	138.187	29.528	291.082	62.199
16.172	0.049	0.066	41.196	137.411	9.025	290.448	19.077
16.221	0.161	0.222	43.622	137.496	30.539	281.980	62.631
16.382	0.062	0.086	43.622	136.591	11.770	281.329	24.243
16.444	0.161	0.230	45.603	135.661	31.177	273.821	62.929
16.605	0.077	0.110	45.603	134.626	14.786	273.485	30.036
16.682	0.161	0.236	47.115	133.145	31.457	266.064	62.862
16.843	0.112	0.165	47.115	131.893	21.713	268.717	44.238
16.955	0.161	0.242	48.393	129.989	31.475	259.774	62.902
17.115	0.084	0.127	48.393	128.818	16.313	259.147	32.816
17.199	0.161	0.249	49.807	126.642	31.552	249.922	62.266
17.360	0.072	0.112	49.807	125.477	14.087	251.226	28.205
17.433	0.161	0.257	51.245	123.000	31.593	242.420	62.266
17.593	0.063	0.101	51.245	121.834	12.285	241.127	24.314
17.657	0.161	0.265	52.620	119.151	31.557	233.119	61.741
17.817	0.068	0.113	52.620	117.911	13.273	233.140	26.243
17.886	0.161	0.273	53.872	115.086	31.385	226.182	61.682
18.047	0.061	0.104	53.872	113.841	11.864	225.968	23.548
18.108	0.161	0.281	55.057	110.933	31.141	217.019	60.922
18.269	0.067	0.117	55.057	109.618	12.820	216.283	25.294
18.336	0.161	0.288	56.112	106.701	30.769	211.010	60.848
18.497	0.073	0.131	56.112	105.316	13.805	209.838	27.507
18.570	0.161	0.295	57.022	102.471	30.269	203.831	60.210
18.730	0.089	0.163	57.022	100.961	16.458	202.729	33.047
18.819	0.161	0.299	57.417	98.803	29.500	197.250	58.893
18.980	0.080	0.148	57.417	97.335	14.404	195.024	28.861

## LEGENDA SIMBOLI

X(m) : Ascissa sinistra concio  
 dx(m) : Larghezza concio  
 dl(m) : lunghezza base concio  
 alpha(°) : Angolo pendenza base concio  
 TauStress(kPa) : Sforzo di taglio su base concio

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

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

SigmaN'(kPa)	TauStrength(kPa)	Phi'(deg)	c'(kPa)
25.00	167.09	53.55	99.82
50.00	206.97	51.26	103.25
75.00	243.94	49.45	107.51
100.00	281.36	47.82	114.71
125.00	313.69	46.56	118.94
150.00	345.10	45.44	123.76
175.00	378.06	44.35	131.36
200.00	406.74	43.47	135.79
225.00	436.55	42.61	142.25
250.00	464.36	41.86	147.53
275.00	493.14	41.11	154.49
300.00	519.55	40.47	159.70
325.00	546.75	39.83	166.31
350.00	571.21	39.28	170.66
375.00	596.32	38.74	176.14
400.00	622.07	38.21	182.75
425.00	644.68	37.76	186.54
450.00	671.68	37.24	195.26
475.00	695.38	36.80	200.93
500.00	715.53	36.44	203.26
600.00	808.62	34.88	228.66
700.00	890.49	33.64	246.53
800.00	972.87	32.51	268.44
900.00	1049.92	31.53	287.70
1000.00	1125.76	30.64	308.27
1100.00	1199.79	29.83	329.20
1200.00	1271.38	29.09	349.57
1300.00	1339.91	28.42	368.49
1400.00	1404.74	27.82	385.08
1500.00	1472.12	27.23	405.93
2000.00	1777.77	24.87	495.29

File report: C:\SSAP2010\VERIFICHE\Lupa Cave Siti 1 e 2\report\_sezioneBB'.txt

Data: 31/1/2025

Localita': cava di "carparo" in Gallipoli loc. Mater Gratiae

**Descrizione: Sezione B-B', setto zona orientale del Sito 2**

Modello pendio: Modello\_SezioneBB'.mod

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

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

SUP T.		SUP 2		SUP 3		SUP 4	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0.00	34.10	-	-	-	-	-	-
9.20	34.20	-	-	-	-	-	-
10.10	44.50	-	-	-	-	-	-
12.60	44.50	-	-	-	-	-	-
13.40	32.40	-	-	-	-	-	-
22.00	32.45	-	-	-	-	-	-

## 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	17.55	19.60	7.369	12.00	64.00	10.00	0.70

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)-

sigci \_\_\_\_\_ 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)

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: RANDOM SEARCH - Siegel (1981)

FILTRAGGIO SUPERFICI : ATTIVATO

COORDINATE X1,X2,Y OSTACOLO : 0.00 0.00 0.00

LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI (m): 0.9 (+/-) 50%

INTERVALLO ASCISSE RANDOM STARTING POINT (Xmin .. Xmax): 0.44 20.24

LIVELLO MINIMO CONSIDERATO (Ymin): 21.51

INTERVALLO ASCISSE AMMESSO PER LA TERMINAZIONE (Xmin .. Xmax): 2.64 21.56

\*\*\* TOTALE SUPERFICI GENERATE : 10.000

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

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

**COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kh : 0.0110****COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kv (assunto Nnegativo) : -0.0055****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 (FS)	2.6997 - Min. -	X	Y	Lambda= 1.2500
	9.20		34.23	
	9.53		34.55	
	9.69		34.71	
	9.81		34.84	
	9.90		34.95	
	9.99		35.06	
	10.08		35.18	
	10.17		35.31	
	10.26		35.45	
	10.36		35.61	
	10.46		35.76	
	10.55		35.91	
	10.65		36.06	
	10.74		36.20	
	10.83		36.35	
	10.93		36.49	
	11.02		36.64	
	11.11		36.78	
	11.20		36.93	
	11.30		37.08	
	11.39		37.22	
	11.48		37.36	
	11.58		37.51	
	11.64		37.60	
	11.64		44.50	
Fattore di sicurezza (FS)	2.7001 - N.2 --	X	Y	Lambda= 1.2500
	9.20		34.22	
	9.53		34.52	
	9.70		34.66	
	9.81		34.77	
	9.90		34.88	
	9.99		34.99	
	10.08		35.09	
	10.17		35.22	
	10.26		35.35	
	10.36		35.50	
	10.46		35.64	
	10.55		35.78	
	10.65		35.92	
	10.74		36.06	
	10.83		36.20	
	10.93		36.33	
	11.02		36.47	
	11.11		36.60	
	11.21		36.74	
	11.30		36.87	
	11.39		36.99	
	11.48		37.12	
	11.58		37.25	
	11.64		37.33	
	11.64		44.50	

Fattore di sicurezza (FS)	2.7003	- N.3 --	X	Y	Lambda= 1.2500
	9.20	34.20			
	9.52	34.55			
	9.68	34.73			
	9.80	34.86			
	9.90	34.98			
	9.99	35.10			
	10.08	35.21			
	10.17	35.34			
	10.26	35.47			
	10.36	35.61			
	10.45	35.74			
	10.54	35.87			
	10.64	36.01			
	10.73	36.13			
	10.82	36.26			
	10.92	36.39			
	11.01	36.52			
	11.11	36.65			
	11.20	36.78			
	11.29	36.91			
	11.38	37.05			
	11.47	37.19			
	11.56	37.33			
	11.62	37.43			
	11.62	44.50			
Fattore di sicurezza (FS)	2.7016	- N.4 --	X	Y	Lambda= 1.2500
	9.20	34.22			
	9.53	34.52			
	9.69	34.68			
	9.80	34.79			
	9.90	34.90			
	9.99	35.00			
	10.08	35.10			
	10.17	35.22			
	10.26	35.34			
	10.36	35.47			
	10.46	35.60			
	10.55	35.73			
	10.64	35.85			
	10.74	35.98			
	10.83	36.12			
	10.92	36.25			
	11.01	36.39			
	11.11	36.53			
	11.20	36.68			
	11.30	36.82			
	11.39	36.96			
	11.48	37.11			
	11.57	37.26			
	11.63	37.36			
	11.63	44.50			
Fattore di sicurezza (FS)	2.7024	- N.5 --	X	Y	Lambda= 1.2500
	9.20	34.25			
	9.54	34.55			
	9.70	34.70			
	9.81	34.82			
	9.91	34.92			
	10.00	35.03			
	10.08	35.14			

	10.17	35.26			
	10.26	35.39			
	10.36	35.53			
	10.46	35.68			
	10.56	35.82			
	10.65	35.95			
	10.75	36.09			
	10.84	36.22			
	10.93	36.36			
	11.03	36.49			
	11.12	36.63			
	11.21	36.76			
	11.31	36.90			
	11.40	37.03			
	11.49	37.17			
	11.59	37.31			
	11.65	37.40			
	11.65	44.50			
Fattore di sicurezza (FS)	2.7028	-N.6 --	X	Y	Lambda= 1.2500
	9.20	34.20			
	9.53	34.54			
	9.69	34.72			
	9.80	34.84			
	9.90	34.96			
	9.99	35.08			
	10.08	35.20			
	10.17	35.32			
	10.27	35.45			
	10.37	35.60			
	10.46	35.75			
	10.56	35.89			
	10.65	36.04			
	10.74	36.18			
	10.84	36.33			
	10.93	36.48			
	11.02	36.63			
	11.12	36.79			
	11.21	36.95			
	11.31	37.10			
	11.40	37.26			
	11.49	37.41			
	11.59	37.57			
	11.65	37.67			
	11.65	44.50			
Fattore di sicurezza (FS)	2.7034	-N.7 --	X	Y	Lambda= 1.2500
	9.20	34.21			
	9.53	34.55			
	9.69	34.72			
	9.80	34.85			
	9.90	34.97			
	9.99	35.08			
	10.08	35.20			
	10.17	35.32			
	10.27	35.45			
	10.37	35.60			
	10.46	35.74			
	10.55	35.88			
	10.65	36.02			
	10.74	36.17			
	10.83	36.32			

	10.92	36.47			
	11.02	36.63			
	11.11	36.80			
	11.21	36.96			
	11.30	37.12			
	11.39	37.27			
	11.48	37.42			
	11.58	37.56			
	11.64	37.66			
	11.64	44.50			
Fattore di sicurezza (FS)	2.7041	- N.8 --	X	Y	Lambda= 1.2500
	9.20	34.24			
	9.48	34.52			
	9.61	34.67			
	9.71	34.78			
	9.79	34.87			
	9.87	34.97			
	9.94	35.06			
	10.02	35.17			
	10.10	35.27			
	10.18	35.39			
	10.26	35.51			
	10.34	35.62			
	10.42	35.73			
	10.49	35.83			
	10.57	35.94			
	10.65	36.05			
	10.73	36.16			
	10.81	36.26			
	10.88	36.37			
	10.96	36.48			
	11.04	36.58			
	11.12	36.69			
	11.20	36.80			
	11.27	36.91			
	11.35	37.02			
	11.43	37.14			
	11.51	37.25			
	11.59	37.36			
	11.65	37.46			
	11.65	44.50			
Fattore di sicurezza (FS)	2.7041	- N.9 --	X	Y	Lambda= 1.2500
	9.20	34.22			
	9.53	34.53			
	9.70	34.68			
	9.81	34.80			
	9.91	34.91			
	10.00	35.01			
	10.09	35.12			
	10.18	35.24			
	10.27	35.36			
	10.37	35.50			
	10.47	35.63			
	10.57	35.76			
	10.66	35.89			
	10.75	36.01			
	10.85	36.14			
	10.94	36.26			
	11.04	36.38			
	11.13	36.51			

	11.23	36.63			
	11.32	36.76			
	11.41	36.88			
	11.51	37.01			
	11.60	37.15			
	11.66	37.24			
	11.66	44.50			
Fattore di sicurezza (FS)	2.7043	- N.10 --	X	Y	Lambda= 1.2500
	9.20	34.23			
	9.53	34.57			
	9.69	34.75			
	9.80	34.87			
	9.90	34.99			
	9.99	35.11			
	10.08	35.22			
	10.17	35.35			
	10.27	35.48			
	10.36	35.62			
	10.46	35.76			
	10.56	35.90			
	10.65	36.04			
	10.74	36.18			
	10.84	36.32			
	10.93	36.46			
	11.02	36.60			
	11.12	36.74			
	11.21	36.88			
	11.30	37.03			
	11.40	37.17			
	11.49	37.31			
	11.58	37.46			
	11.64	37.55			
	11.64	44.50			

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

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

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

Sup N.	FS	FTR(kN/m)	FTA(kN/m)	Bilancio(kN/m)	ESITO
1	2.700	647.7	239.9	359.8	Surplus
2	2.700	641.7	237.6	356.5	Surplus
3	2.700	637.2	236.0	354.1	Surplus
4	2.702	642.6	237.9	357.2	Surplus
5	2.702	643.5	238.1	357.7	Surplus
6	2.703	654.3	242.1	363.8	Surplus
7	2.703	650.0	240.4	361.5	Surplus
8	2.704	641.4	237.2	356.8	Surplus
9	2.704	643.0	237.8	357.7	Surplus
10	2.704	646.0	238.9	359.3	Surplus

**Esito analisi: SURPLUS di RESISTENZA!**

Valore minimo di SURPLUS di RESISTENZA (kN/m): 354.1

Note: FTR --> Forza totale Resistente rispetto alla superficie di scivolamento (componente Orizzontale)

FTA --> Forza totale Agente rispetto alla superficie di scivolamento (componente Orizzontale)

**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)
9.203	0.061	44.11	0.34	0.00	0.00	56.16	97.47
9.264	0.061	44.11	1.02	0.00	0.00	55.14	97.28
9.324	0.061	44.11	1.69	0.00	0.00	54.15	98.38
9.385	0.061	44.11	2.37	0.00	0.00	53.31	98.99
9.446	0.061	44.11	3.05	0.00	0.00	52.50	100.55
9.507	0.027	44.11	1.55	0.00	0.00	51.93	102.16
9.534	0.061	45.20	4.02	0.00	0.00	51.48	103.45
9.595	0.061	45.20	4.69	0.00	0.00	50.93	103.30
9.655	0.039	45.20	3.38	0.00	0.00	50.39	105.36
9.695	0.061	47.29	5.80	0.00	0.00	50.07	106.77
9.755	0.050	47.29	5.31	0.00	0.00	49.65	106.94
9.806	0.061	49.47	7.02	0.00	0.00	49.34	109.18
9.867	0.035	49.47	4.33	0.00	0.00	49.03	109.15
9.902	0.061	51.91	8.06	0.00	0.00	48.93	109.96
9.962	0.030	51.91	4.19	0.00	0.00	48.62	110.88
9.992	0.061	53.62	9.04	0.00	0.00	48.52	111.50
10.053	0.026	53.62	3.99	0.00	0.00	48.22	113.15
10.079	0.021	55.21	3.41	0.00	0.00	48.32	112.23
10.100	0.061	55.21	9.82	0.00	0.00	48.32	111.52
10.161	0.007	55.21	1.15	0.00	0.00	48.32	112.07
10.168	0.061	56.57	9.71	0.00	0.00	48.52	111.72
10.229	0.031	56.57	4.94	0.00	0.00	48.62	110.25
10.260	0.061	57.71	9.56	0.00	0.00	48.83	109.60
10.321	0.039	57.71	6.03	0.00	0.00	48.83	110.45
10.360	0.061	57.66	9.40	0.00	0.00	48.93	108.97
10.420	0.036	57.66	5.58	0.00	0.00	48.93	109.80
10.457	0.061	57.61	9.23	0.00	0.00	48.93	110.50
10.518	0.034	57.61	5.15	0.00	0.00	49.03	109.13
10.552	0.061	57.56	9.07	0.00	0.00	49.03	109.81
10.613	0.033	57.56	4.94	0.00	0.00	49.13	108.45
10.646	0.061	57.51	8.92	0.00	0.00	49.13	109.13
10.707	0.032	57.51	4.65	0.00	0.00	49.13	109.92
10.739	0.061	57.46	8.76	0.00	0.00	49.24	108.43
10.800	0.032	57.46	4.62	0.00	0.00	49.24	109.23
10.832	0.061	57.41	8.61	0.00	0.00	49.34	107.77
10.893	0.032	57.41	4.51	0.00	0.00	49.34	108.57
10.925	0.061	57.35	8.45	0.00	0.00	49.34	109.25
10.986	0.032	57.35	4.45	0.00	0.00	49.45	107.92
11.019	0.061	57.30	8.30	0.00	0.00	49.45	108.60
11.079	0.032	57.30	4.31	0.00	0.00	49.55	107.28
11.111	0.061	57.29	8.14	0.00	0.00	49.55	108.06
11.172	0.032	57.29	4.31	0.00	0.00	49.65	106.76
11.205	0.061	57.28	7.99	0.00	0.00	49.65	107.55
11.266	0.032	57.28	4.20	0.00	0.00	49.65	108.36
11.298	0.061	57.27	7.84	0.00	0.00	49.76	107.05
11.359	0.033	57.27	4.16	0.00	0.00	49.76	107.87
11.391	0.061	57.26	7.68	0.00	0.00	49.86	106.58
11.452	0.032	57.26	4.00	0.00	0.00	49.86	107.39
11.484	0.061	57.25	7.53	0.00	0.00	49.97	106.11
11.545	0.033	57.25	4.00	0.00	0.00	49.97	106.93
11.578	0.061	57.24	7.37	0.00	0.00	50.07	105.67

LEGENDA SIMBOLI

X(m) : Ascissa sinistra concio  
dx(m) : Larghezza concio  
alpha(°) : Angolo pendenza base concio  
W(kN/m) : Forza peso concio  
ru(-) : Coefficiente locale pressione interstiziale  
U(kPa) : Pressione totale dei pori base concio  
phi'(°) : Angolo di attrito efficace base concio  
c'/Cu (kPa) : Coesione efficace o Resistenza al taglio in condizioni non drenate

TABELLA DIAGRAMMA DELLE FORZE DELLA SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

	X (m)	ht (m)	yt (m)	yt' (--)	E(x) (kN/m)	T(x) (kN/m)	E'	rho(x) (kN)	FS_FEM (--)	FS_p-qFEM (--)
9.203	0.000	34.232	3.654	0.0000000000E+000	0.0000000000E+000	0.0000000000E+000	1.0261436663E+002	0.090	21.620	18.467
9.264	0.160	34.451	3.654	4.9523297031E+000	5.0916802801E-002	6.0158884352E+001	0.090	21.620	18.822	
9.324	0.327	34.676	4.183	7.3212675445E+000	2.3743150883E-001	3.7447643235E+001	0.090	9.518	8.531	
9.385	0.551	34.960	4.493	9.5096651323E+000	8.8855585027E-001	3.0651098327E+001	0.090	6.173	5.489	
9.446	0.756	35.223	4.243	1.1051471218E+001	2.1351071602E+000	2.2127414776E+001	0.090	4.691	4.509	
9.507	0.950	35.476	4.211	1.2202546248E+001	3.8785252942E+000	1.5444922803E+001	0.090	4.100	3.933	
9.534	1.039	35.592	4.616	1.2574504134E+001	4.6534022978E+000	1.3379167325E+001	0.090	3.973	3.793	
9.595	1.267	35.881	5.058	1.3313627290E+001	6.5248206782E+000	1.1355054072E+001	0.090	3.547	3.439	
9.655	1.532	36.208	5.502	1.3956401251E+001	8.4534929314E+000	8.5615913556E+000	0.090	3.211	3.218	
9.695	1.716	36.431	5.845	1.4241369624E+001	9.6477009067E+000	5.5087890823E+000	0.090	3.084	3.088	
9.755	2.012	36.792	5.915	1.4409911415E+001	1.1437656235E+001	8.0395232103E-001	0.090	2.883	2.895	
9.806	2.254	37.089	6.248	1.4368408483E+001	1.2685197495E+001	-2.5806812889E+000	0.090	2.721	2.803	
9.867	2.581	37.487	6.313	1.4082257620E+001	1.3850748430E+001	-6.3391404785E+000	0.090	2.595	2.678	
9.902	2.747	37.694	6.395	1.3827905452E+001	1.4309350084E+001	-7.9227272783E+000	0.090	2.538	2.627	
9.962	3.075	38.100	6.414	1.3277595888E+001	1.4651869809E+001	-9.7920987567E+000	0.090	2.467	2.564	
9.992	3.212	38.275	5.425	1.2974644653E+001	1.4683756376E+001	-1.0569542133E+001	0.090	2.435	2.543	
10.053	3.446	38.592	4.813	1.2280500193E+001	1.4518802036E+001	-1.1650719796E+001	0.090	2.397	2.520	
10.079	3.511	38.691	3.548	1.1979969846E+001	1.4358179664E+001	-1.2037649607E+001	0.090	2.384	2.497	
10.100	3.547	38.758	2.673	1.1718963897E+001	1.4173176736E+001	-1.2420430612E+001	0.090	2.378	2.479	
10.161	3.612	38.911	2.448	1.0937767907E+001	1.3495060362E+001	-1.3485875956E+001	0.090	2.366	2.467	
10.168	3.616	38.924	1.521	1.0840961786E+001	1.3399249555E+001	-1.3561662548E+001	0.090	2.365	2.461	
10.229	3.613	39.014	1.422	1.0015842537E+001	1.2493325326E+001	-1.3445510468E+001	0.090	2.363	2.435	
10.260	3.607	39.055	1.095	9.5984012570E+000	1.1998001571E+001	-1.3550542482E+001	0.090	2.368	2.426	
10.321	3.571	39.115	0.968	8.7544194157E+000	1.0926727184E+001	-1.3689824266E+001	0.090	2.378	2.436	
10.360	3.546	39.152	0.873	8.2286001264E+000	1.0236521891E+001	-1.3542039604E+001	0.090	2.385	2.425	
10.420	3.500	39.202	0.782	7.4077378946E+000	9.1301547519E+000	-1.2841626002E+001	0.090	2.399	2.444	
10.457	3.469	39.228	0.729	6.9539379196E+000	8.5136774174E+000	-1.2028280003E+001	0.090	2.410	2.459	
10.518	3.418	39.273	0.724	6.2652108163E+000	7.5820305017E+000	-1.0511222868E+001	0.090	2.421	2.457	
10.552	3.387	39.297	0.721	5.9206669633E+000	7.1182163477E+000	-9.9281635363E+000	0.090	2.428	2.472	
10.613	3.337	39.341	0.728	5.3304324767E+000	6.3362123566E+000	-9.0213060585E+000	0.090	2.440	2.471	
10.646	3.308	39.365	0.732	5.0411630961E+000	5.9561003160E+000	-8.6701279632E+000	0.090	2.450	2.486	
10.707	3.257	39.410	0.736	4.5111723607E+000	5.2699182712E+000	-8.2771177445E+000	0.090	2.465	2.509	
10.739	3.230	39.434	0.740	4.2536856221E+000	4.9395856073E+000	-8.0412413717E+000	0.090	2.473	2.499	
10.800	3.181	39.479	0.743	3.7653513306E+000	4.3224804140E+000	-7.6559187074E+000	0.090	2.485	2.523	
10.832	3.153	39.503	0.748	3.5237045874E+000	4.0201993656E+000	-7.4183536054E+000	0.090	2.493	2.513	
10.893	3.104	39.549	0.749	3.0769785736E+000	3.4696655532E+000	-6.9730349870E+000	0.090	2.510	2.537	
10.925	3.078	39.573	0.753	2.8589838674E+000	3.2037850327E+000	-6.7112663309E+000	0.090	2.521	2.553	
10.986	3.029	39.619	0.755	2.4583236671E+000	2.7221677389E+000	-6.2455154098E+000	0.090	2.534	2.553	
11.019	3.003	39.643	0.759	2.2621217424E+000	2.4889354940E+000	-5.9906861904E+000	0.090	2.543	2.569	
11.079	2.954	39.690	0.761	1.9061362245E+000	2.0719517539E+000	-5.5167462314E+000	0.090	2.555	2.568	
11.111	2.929	39.713	0.765	1.7358902220E+000	1.8748291807E+000	-5.2594656119E+000	0.090	2.565	2.586	
11.172	2.881	39.761	0.768	1.4254519241E+000	1.5206292417E+000	-4.7727378266E+000	0.090	2.580	2.586	
11.205	2.855	39.785	0.773	1.2760683323E+000	1.3522283257E+000	-4.4984344715E+000	0.090	2.594	2.604	
11.266	2.808	39.833	0.775	1.0135762163E+000	1.0606260177E+000	-4.1350245733E+000	0.090	2.615	2.632	
11.298	2.782	39.857	0.780	8.8305183662E-001	9.1782580495E-001	-4.0419789690E+000	0.090	2.626	2.623	
11.359	2.736	39.905	0.783	6.3688524780E-001	6.5351955064E-001	-3.4863671627E+000	0.090	2.643	2.651	
11.391	2.710	39.931	0.787	5.3302000548E-001	5.4316088665E-001	-3.1348024272E+000	0.090	2.652	2.644	
11.452	2.664	39.979	0.761	3.4818657524E-001	3.5019559710E-001	-2.5086784018E+000	0.090	2.670	2.672	
11.484	2.636	40.001	0.788	2.7674068826E-001	2.7641053168E-001	-2.2469901349E+000	0.090	2.680	2.664	

11.545	2.593	40.052	0.738	1.3807716050E-001	1.3608306399E-001	-1.5757970705E+000	0.090	2.706	2.695
11.578	2.560	40.070	0.738	9.8923696512E-002	9.6793505192E-002	-1.3476315823E+000	0.090	2.700	2.684

---

**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\_FEM(x) (-) : fattore di sicurezza locale stimato (locale in X) by qFEM  
 FS\_SRM(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)
9.203	0.061	0.085	44.113	2.811	0.238	101.218	8.578
9.264	0.061	0.085	44.113	8.434	0.715	107.627	9.122
9.324	0.061	0.085	44.113	14.057	1.191	111.202	9.425
9.385	0.061	0.085	44.113	19.680	1.668	112.162	9.506
9.446	0.061	0.085	44.113	25.303	2.144	114.386	9.694
9.507	0.027	0.037	44.113	29.348	1.092	119.904	4.462
9.534	0.061	0.086	45.205	33.385	2.883	121.839	10.522
9.595	0.061	0.086	45.205	38.988	3.367	126.535	10.928
9.655	0.039	0.056	45.205	43.594	2.424	133.658	7.433
9.695	0.061	0.090	47.287	47.990	4.305	135.118	12.121
9.755	0.050	0.074	47.287	53.054	3.941	143.415	10.652
9.806	0.061	0.094	49.472	57.528	5.387	149.039	13.956
9.867	0.035	0.054	49.472	61.811	3.324	157.535	8.471
9.902	0.061	0.099	51.910	64.891	6.401	162.093	15.989
9.962	0.030	0.048	51.910	68.832	3.327	169.813	8.209
9.992	0.061	0.103	53.618	71.519	7.337	172.166	17.661
10.053	0.026	0.043	53.618	75.181	3.241	179.366	7.732
10.079	0.021	0.037	55.211	75.674	2.820	177.736	6.624
10.100	0.061	0.107	55.211	76.190	8.126	179.625	19.157
10.161	0.007	0.013	55.211	75.787	0.948	181.919	2.276
10.168	0.061	0.110	56.573	73.917	8.165	178.979	19.770
10.229	0.031	0.057	56.573	73.354	4.152	178.169	10.086
10.260	0.061	0.114	57.705	71.466	8.139	175.734	20.015
10.321	0.039	0.072	57.705	70.841	5.136	176.329	12.783
10.360	0.061	0.114	57.657	70.273	7.993	175.030	19.908
10.420	0.036	0.068	57.657	69.663	4.745	174.297	11.872
10.457	0.061	0.114	57.608	69.110	7.850	173.266	19.681
10.518	0.034	0.064	57.608	68.515	4.382	170.050	10.875
10.552	0.061	0.113	57.557	67.976	7.710	169.833	19.264
10.613	0.033	0.062	57.557	67.386	4.202	166.883	10.405
10.646	0.061	0.113	57.506	66.854	7.572	167.197	18.938
10.707	0.032	0.060	57.506	66.274	3.946	166.729	9.928
10.739	0.061	0.113	57.455	65.749	7.437	164.955	18.658
10.800	0.032	0.060	57.455	65.166	3.924	164.613	9.913
10.832	0.061	0.113	57.405	64.638	7.301	162.765	18.385
10.893	0.032	0.060	57.405	64.058	3.824	162.451	9.698
10.925	0.061	0.113	57.355	63.531	7.166	162.525	18.333
10.986	0.032	0.060	57.355	62.950	3.775	160.308	9.613
11.019	0.061	0.113	57.304	62.422	7.032	160.379	18.066
11.079	0.032	0.059	57.304	61.845	3.649	158.205	9.334

11.111	0.061	0.113	57.293	61.279	6.901	158.263	17.822
11.172	0.032	0.060	57.293	60.698	3.650	156.130	9.389
11.205	0.061	0.113	57.282	60.128	6.769	156.170	17.581
11.266	0.032	0.060	57.282	59.548	3.559	156.222	9.338
11.298	0.061	0.113	57.271	58.980	6.638	154.601	17.400
11.359	0.033	0.060	57.271	58.398	3.520	154.140	9.292
11.391	0.061	0.113	57.260	57.828	6.506	152.410	17.148
11.452	0.032	0.059	57.260	57.250	3.391	152.028	9.005
11.484	0.061	0.112	57.249	56.683	6.376	150.501	16.928
11.545	0.033	0.060	57.249	56.101	3.388	149.916	9.054
11.578	0.061	0.112	57.238	55.530	6.244	148.742	16.725

---

**LEGENDA SIMBOLI**

X(m)	: Ascissa sinistra concio
dx(m)	: Larghezza concio
dl(m)	: lunghezza base concio
alpha(°)	: Angolo pendenza base concio
TauStress(kPa)	: Sforzo di taglio su base concio
TauF (kN/m)	: Forza di taglio su base concio
TauStrength(kPa)	: Resistenza al taglio su base concio
TauS (kN/m)	: Forza resistente al taglio su base concio

---

Strato 1 -- Parametri di resistenza al taglio equivalenti dell'ammasso roccioso stimati secondo criterio di rottura non lineare Hoek et al.(2002)

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

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

---

SigmaN'(kPa)	TauStrength(kPa)	Phi'(deg)	c'(kPa)
25.00	167.09	53.55	99.82
50.00	206.97	51.26	103.25
75.00	243.94	49.45	107.51
100.00	281.36	47.82	114.71
125.00	313.69	46.56	118.94
150.00	345.10	45.44	123.76
175.00	378.06	44.35	131.36
200.00	406.74	43.47	135.79
225.00	436.55	42.61	142.25
250.00	464.36	41.86	147.53
275.00	493.14	41.11	154.49
300.00	519.55	40.47	159.70
325.00	546.75	39.83	166.31
350.00	571.21	39.28	170.66
375.00	596.32	38.74	176.14
400.00	622.07	38.21	182.75
425.00	644.68	37.76	186.54
450.00	671.68	37.24	195.26
475.00	695.38	36.80	200.93
500.00	715.53	36.44	203.26
600.00	808.62	34.88	228.66
700.00	890.49	33.64	246.53
800.00	972.87	32.51	268.44
900.00	1049.92	31.53	287.70
1000.00	1125.76	30.64	308.27
1100.00	1199.79	29.83	329.20
1200.00	1271.38	29.09	349.57
1300.00	1339.91	28.42	368.49
1400.00	1404.74	27.82	385.08
1500.00	1472.12	27.23	405.93
2000.00	1777.77	24.87	495.29