

10 FEB. 2016

PROT. N° 5605

ALL. B - B<sub>1</sub>

**COMUNE DI  
CASTRONOVO DI SICILIA**  
(provincia di Palermo)

PROGETTO DI COLTIVAZIONE DI UNA CAVA DI CONGLOMERATI  
E ARENARIAA, SITA IN C./DA "TORTORESÌ", VALIDO PER IL  
RILASCIO DELL'AUTORIZZAZIONE ALL'ESERCIZIO  
ESTRATTIVO, DA DENOMINARE CONVENZIONALMENTE  
**"TORTORESÌ-MICHELANGELO"**

(PREVENTIVAMENTE APPROVATO DALLA SOPRINTENDENZA DI  
PALERMO CON NOTA N° 6512/3167 DEL 22/10/2014 E  
DALL'A.R.T.A. CON D. A. N° 592/GAB. DEL 09/12/2015 ED  
INTEGRATO, GIUSTA NOTA DEL SERVIZIO GEOLOGICO E GEOFISICO DEL  
DIP. "ENERGIA" N° 039035 DEL 17/11/2015)

**"Richiesta di autorizzazione all'esercizio estrattivo,  
artt.9 e 12 della L. r. s. n° 127 del 9/12/1980"**

**OGGETTO:** Studi geologici

**Ditta richiedente:** "Michelangelo P. G. S. r. l."  
Via Giovanni Falcone, n° 17  
90023 CIMINNA (Pa)

**La Ditta**

MICHELANGELO P. G. S. r. l.  
*[Firma]*

**Il Tecnico**



Regione Siciliana



DIPARTIMENTO DELL'ENERGIA  
DISTRETTO AMMINISTRATIVO DI PALERMO

Il presente documento costituisce allegato 18/19  
all'autorizzazione n° 03/16-186 PA del 19/04/2016



Il Dirigente  
*[Signature]*  
V. Scudato

COMUNE DI  
CASTRONOVO DI SICILIA

PROGETTO DI COLTIVAZIONE,  
VALIDO PER IL RILASCIO DELL'AUTORIZZAZIONE  
ALL'ESERCIZIO ESTRATTIVO,  
PER UNA CAVA DI CONGLOMERATI E ARENARIE  
DA DENOMINARE CONVENZIONALMENTE  
"TORTORESI - MICHELANGELO"  
DELLA OMONIMA CONTRADA

INDICE DEGLI ARGOMENTI

1 – Premessa	pag. 3
2 - Caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche	pag. 3
3 – Analisi dell'ammasso roccioso	pag. 8
4 – Classificazione dell'ammasso roccioso	pag. 11
5 – Valutazione dei parametri geotecnici	pag. 14
6 – Analisi delle discontinuità presenti nell'ammasso roccioso	pag. 22
7 – Pericolosità geologica del sito	pag. 29
8 – Caratterizzazione sismica del sito	pag. 30
9 – Verifica della stabilità	pag. 36
10 – Conclusioni	pag. 56

Tavole:

- 1) Ubicazione del sito; scala 1:10.000.
- 2) Carta geologica; scala 1:10.000.
- 3) Profilo geologico; scala 1:10.000.
- 4) Carta Geomorfologica; scala 1:10.000.
- 5) Carta Idrogeologica; scala 1:10.000.
- 6) Planimetria dello stato attuale dei lavori minerari; scala 1:2.000.
- 7) Planimetria dello stato finale dei lavori minerari; scala 1:2.000.

Gennaio 2014

## 1 - PREMESSA

Su incarico ricevuto dal Perito Minerario Valenza Luigi (via F. Paladini, 50 - Caltanissetta) e per conto della Ditta Michelangelo P. G. S.r.l." (Via Giovanni Falcone, n° 17 - 90023 Ciminna) è stato condotto uno studio geologico di un'area sita in Contrada Tortoresi, del territorio comunale di Castronovo di Sicilia.

Tale studio è stato eseguito al fine di fornire al progettista incaricato i dati geologici di base necessari alla redazione di un piano per la coltivazione mineraria di un affioramento di conglomerati ed arenarie. Nel fare ciò si è ritenuto opportuno estendere le indagini ad un'area sufficientemente vasta da definire, con la maggior precisione possibile, la stratigrafia, le condizioni strutturali, la morfologia, l'idrologia e l'idrogeologia del sito in esame. E' stata inoltre eseguita una verifica della stabilità del pendio della cava, nella configurazione finale che essa assumerà sulla base del progetto di coltivazione, di cui la presente relazione sarà parte integrante. Le verifiche di stabilità sono state eseguite ai sensi del D.M. 14/01/2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni).

## 2 - CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, GEOMORFOLOGICHE E IDROGEOLOGICHE

### 2.1 - Inquadramento geografico e geologico

Il sito in esame si colloca in un'area della Sicilia compresa tra le Madonie occidentali e i Sicani nordorientali, circa 3 Km a SO dell'abitato di Alia (PA) e a 1,5 Km a est del Fiume Torto (Tav. 1).

Le coordinate geografiche del sito, espresse in gradi sessa-decimali sono: Long.: 13.684981°, Lat.: 37.756908° (Sist. Rif.: WGS 84). La cartografia ufficiale in cui ricade il sito è la seguente: Tavoleta "Roccapalumba", F° n. 259 III NE della Cartografia d'Italia dell'I.G.M. a scala 1:25.000; Sez. n° 621010, della Carta Tecnica Regionale a scala 1:10.000.

E' stato eseguito un rilevamento geologico a scala 1:1.000 (All.B1 progetto) dell'area sito e, inoltre, di un'area al suo contorno adeguatamente estesa, a scala 1:10.000 (Tavv. 2, 3).

I dati geologici rilevati sono stati confrontati con quelli desunti dalla letteratura scientifica disponibile. In particolare, sono stati consultati i seguenti lavori:

- Abate B., Renda P. & Tramutoli M. (1988) - *Carta Geologica dei Monti di termini Imerese e delle Madonie. Mem. Soc. Geol. It., 41 (1988).*
- Abate B., Renda P. & Tramutoli M. (1988) - *Note illustrative della Carta Geologica dei Monti di termini Imerese e delle Madonie Occidentali (Sicilia centro-settentrionale). Mem. Soc. Geol. It., 41 (1988), 475-505.*

L'area rilevata va inquadrata nel più ampio contesto dell'evoluzione geodinamica di quel settore della Tetide che diede origine al Mediterraneo centrale, la cui evoluzione é stata determinata dalla

collisione tra la placca africana e quella euroasiatica, che trasformò l'antico bacino in un sistema "avampaese-avanfossa-fossa-catena". A partire dal Miocene inferiore, infatti, i depositi che si erano sedimentati nei vari domini paleogeografici che costituivano il bacino della Tetide vengono progressivamente scollati dal substrato originario, traslati e deformati verso l'esterno (da Nord verso sud attuali), formando delle unità tettoniche che si sono impilate le une sulle altre, parte sovrascorrendo sull'avampaese, dando origine all'edificio della "Catena Appennino-Maghrebide".

L'area in esame nella Tav. 2 ricade in un settore della Sicilia geologicamente complesso, situato tra il margine meridionale delle Madonie occidentali e i Monti Sicani. Nell'area esaminata affiorano terreni d'età diversa, compresa tra il Paleozoico e il Messiniano inferiore, appartenenti all'Unità Cerda-Roccapalumba, di età Permo-triassica, e all'Unità Alia-Serra Tignino, del Miocene inferiore-medio e, a ricoprire i termini precedenti, un deposito tardorogeno silico-clastico noto in letteratura come Formazione Terravecchia (Tortoniano sup. - Messiniano inf.).

## 2.2 - Litologia

La successione dei terreni rilevati può essere così schematizzata, dal basso verso l'alto:

a) COMPLESSO LERCARA (Unità Cerda - Roccapalumba): peliti, argilliti e arenarie micacee, con brecce e megabrecce calcaree e vulcaniti intercalate (Permiano inferiore-Trias).

----- contatto tettonico -----

b) FLYSCH NUMIDICO (Unità Alia - Serra Tignino): successione pelitico-arenacea con intercalati livelli conglomeratico-arenacei (Miocene inferiore - medio).

c) FORMAZIONE TERRAVECCHIA: conglomerati, arenarie e sabbie (Messiniano inf. - Tortoniano sup.).

### *Complesso Lercara (Unità Cerda-Roccapalumba)*

I terreni di questa unità sono essenzialmente rappresentati da peliti, argilliti, siltiti e arenarie micacee rossastre, verdastre e subordinatamente grigio-nere, aventi carattere di tipo flyschoido. Torbiditi carbonatiche, brecce calcaree grossolane e vulcaniti s'intercalano localmente. Si tratta di un deposito spesso caoticizzato o in cui le varie porzioni non sono in contatto stratigrafico.

Originariamente interpretati come depositi di età triassica, sedimentatisi in un bacino dentro cui erano franati porzioni di terreni carbonatici paleozoici di piattaforma (brecce e megabrecce), più recentemente (Catalano et alii, 1991) i livelli ad argille ed arenarie micacee sono stati attribuiti al Permiano inferiore (Kunguriano), grazie al ritrovamento di conodonti pelagici e radiolari. L'età del complesso, pertanto, è molto probabilmente permo-triassica.

Lo spessore di questa unità non è localmente noto, sebbene il Complesso Lercara sia stato attraversato in pozzi per ricerche di idrocarburi per oltre 2.000 m. Nell'area esaminata affiorano nel

settore occidentale e lungo le sponde del Fiume Torto (quest'ultimo fuori carta).

#### *Argille, arenarie e conglomerati del Flysch Numidico (Unità Alia-Serra Tignino)*

Questa unità, che affiora estesamente nell'area esaminata, è costituita essenzialmente dal Flysch Numidico, che qui si presenta con una successione pelitico-arenacea (caratterizzata da un'alternanza di sottili strati di argille e arenarie di spessore centimetrico), con intercalati livelli conglomeratico-arenacei (il cui spessore può raggiungere i dieci metri). L'età è Miocene inf.-Langhiano.

#### *Arenarie, sabbie e conglomerati (Formazione Terravecchia)*

I depositi qui descritti appartengono alla Formazione Terravecchia (SCHMIDT DI FRIEDBERG, 1964 - Tortoniano sup. - Messiniano inf.). Si tratta di una formazione molto estesa in Sicilia, caratterizzata da depositi silico-clastici costituiti da argille, sabbie, ghiaie, arenarie e conglomerati, formatisi per erosione della Catena Settentrionale in emersione, principalmente a spese delle formazioni flyschoidi coinvolte nel processo di formazione della Catena. I depositi presentano facies prevalentemente arenaceo-conglomeratiche nei settori settentrionali dell'isola, corrispondenti a paleoambienti fluvio-deltizi, mentre verso sud predominano le facies argilloso-sabbiose, dove gli ambienti deposizionali erano più francamente marini.

Nell'area esaminata tali depositi presentano due facies, con variabili rapporti di giacitura tra loro, una costituita prevalentemente da conglomerati, con intercalati livelli di arenarie, l'altra prevalentemente sabbioso-arenacea con intercalazioni conglomeratiche. Esse affiorano nella parte meridionale e centrale dell'area, in località Cozzo Frà Bernardo - Cozzo Palombaro della Contrada Tortoresi.

#### Facies conglomeratico-arenacea

Conglomerati poligenici di colore giallo oca, talora rossastri, con elementi arrotondati di dimensioni variabili da qualche centimetro a molti decimetri, a matrice sabbiosa, legati da un cemento carbonatico. Gli elementi sono costituiti prevalentemente da quarzareniti del Flysch Numidico e subordinatamente da calcari, selce, graniti, gneiss, scisti e basalti. I conglomerati sono strutturati in banchi stratificati, di spessore variabile da pochi metri ad alcune decine di metri, separati da livelli di arenarie di spessore decimetrico o metrico. Lo spessore in affioramento è di un centinaio di metri. I conglomerati con intercalazioni di arenarie costituiscono il litotipo da coltivare. Nel sito previsto per la cava si presentano in banchi di spessore variabile, talora superiore a 10 m, immergenti di circa 20° - 22° verso Ovest.

#### Facies sabbioso-arenacea

Sabbie giallastre e grigiastre a grana media e grossa, talora micacee, in strati decimetrici o centimetrici, con struttura gradata ed a laminazione parallela e obliqua; in netto subordine, possono essere presenti argille siltose e siltiti; localmente, sono presenti livelli di qualche centimetro ricchi

di frammenti di lamellibranchi e gasteropodi. Lenti conglomeratiche, dello spessore da pochi decimetri a qualche metro ma con scarsa continuità laterale, si rinvengono a più livelli, talora marcati alla base da sciame di ciottoli d'argilla. Lo spessore visibile in affioramento è di un centinaio di metri, ma può raggiungere anche i 300 m.

### **2.3 - Stratigrafia del sito**

Riferendosi alla descrizione dei litotipi effettuata nel paragrafo precedente, ricavata da osservazioni effettuate in campagna, e da dati di letteratura, viene qui di seguito schematicamente riassunta dal basso verso l'alto la successione litostratigrafica presente nel sito della cava:

- Argille e arenarie del Flysch Numidico; Miocene Inferiore-medio; (spessore n.d.);
- Conglomerati e arenarie della Formazione Terravecchia; Messiniano inf. - Tortoniano sup. (spessore complessivo: superiore a 100 m).

### **2.4 - Tettonica**

Dal punto di vista strutturale l'area rilevata va inquadrata nel più ampio contesto dell'evoluzione tettonica della Catena settentrionale, struttura la cui evoluzione è riconducibile a fasi tettoniche compressive di età compresa tra il Miocene inferiore e il Pliocene medio, e di tipo distensivo dal Pliocene superiore al Pleistocene.

Le strutture tettoniche principali, rilevabili in un'area più ampia, sono date da sovrascorrimenti e da faglie inverse e dirette prevalentemente con direzione NE-SO, ONO-ESE e NNO-SSE.

Nell'area studiata gli effetti dell'attività tettonica sono visibili soprattutto nelle inclinazioni delle formazioni litoidi. Possiamo anche distinguere, nel settore occidentale dell'area, il contatto tettonico per sovrascorrimento dell'Unità Alia-Serra Tignino, costituita dal Flysch Numidico, sull'Unità di Cerda-Roccapalumba, costituita dal Complesso Lercara; nel settore orientale è anche presente una faglia con orientamento circa NE-SO.

Nel sito destinato alle attività in oggetto, i conglomerati ed arenarie presentano una giacitura immergente di circa 20°-22° verso Ovest. L'ammasso roccioso appare moderatamente fessurato, con discontinuità orientate prevalentemente NE-SO e NO-SE.

### **2.5 - Aspetti idrogeologici**

L'area esaminata è interessata dalle radici di brevi "valloni" a regime torrentizio stagionale tributarie del Fiume Torto, importante corso d'acqua che sfocia a nord nel Golfo di Termini Imerese. Il sito della cava, situato su un rilievo collinare, non è direttamente interessato dalle aste principali del locale reticolo idrografico. Dal punto di vista idrogeologico i terreni affioranti nell'area rilevata

presentano differente permeabilità in relazione al grado di porosità e di fessurazione della roccia. I terreni prevalentemente argillosi presentano permeabilità da bassa a molto bassa, al contrario delle sabbie, arenarie e conglomerati, dotate di permeabilità da media ad elevata. La successione stratigrafica, caratterizzata dalla sovrapposizione di termini a differente permeabilità, determina condizioni favorevoli alla formazione di un acquifero negli affioramenti a maggiore permeabilità. Nell'area esaminata, tuttavia, non sono state evidenziate emergenze idriche lungo il contatto tra i depositi della Formazione Terravecchia e quelli del Flysch Numidico. E' probabile che questo sia la conseguenza della giacitura del limite di permeabilità (è probabile che il contatto sia una superficie di erosione e comunque non conforme alla stratificazione della F.ne Terravecchia) che tende ad immergersi verso sud e sud-ovest, fino a lambire l'alveo del Fiume Torto (fuori dall'area in esame). Nel sito destinato all'attività in progetto, pertanto, situato nel settore a quota più elevata dell'intero affioramento dei depositi della Formazione Terravecchia, che giacciono tra Contrada Tortoresi e il Fiume Torto, è probabile che la falda idrica sia qui del tutto assente, oppure che sia presente con una modesta altezza al contatto con il substrato argilloso impermeabile. I lavori minerari, comunque, non scenderanno sotto la quota di 560 m s.l.m., oltre 10 m sopra il locale limite di permeabilità, pertanto si possono escludere possibili interferenze tra i lavori minerari e l'eventuale falda idrica. Infine, la buona permeabilità dei conglomerati e delle arenarie, unita alla posizione topografica del sito, determina condizioni favorevoli ad un rapido assorbimento e drenaggio delle acque meteoriche, diminuendo pertanto il ruscellamento e l'erosione. Per questi aspetti vedi Ta. 5.

## **2.6 – Aspetti geomorfologici e stabilità dei versanti**

Nell'area esaminata il paesaggio è dominato da morfologie collinari che insistono su formazioni prevalentemente sabbiose o argillose, con pendenze medie dei versanti del 20 % - 25%. Negli affioramenti della Formazione Terravecchia delle scarpate e dei gradini marcano la presenza di banchi di arenarie e conglomerati che l'erosione selettiva ha messo in risalto. Forme di erosione più accentuata sono evidenti lungo alcuni valloni, ma non sono stati notati gravi fenomeni di dissesto in atto. Al riguardo sono state consultate anche le cartografie del PAI (Piano di Assetto Idrogeologico) della Regione Siciliana, che rilevano la presenza, nel settore occidentale dell'area esaminata, di colamenti e deformazioni superficiali lenti. In particolare, l'area in disponibilità è interessata marginalmente dalla testa di uno di questi fenomeni di colamento lento che, tuttavia, è attualmente definito come inattivo, pertanto, possiamo concludere che nei terreni interessati dal progetto di coltivazione non sono stati osservati fenomeni di dissesto in atto. Per questi aspetti vedi la Tav. 4.

### 3 – ANALISI DELL'AMMASSO ROCCIOSO

#### 3.1 – Caratteristiche principali dell'affioramento rilevabili in campagna

Come si è già detto, l'affioramento oggetto dell'attività estrattiva è costituito da conglomerati prevalenti con intercalazioni di arenarie, di colore giallastro o rossastro. Nei conglomerati gli elementi sono costituiti prevalentemente da quarzareniti del Flysch Numidico e subordinatamente da calcari, selce, graniti, gneiss, scisti e basalti. Il deposito si presenta in banchi stratificati, di spessore variabile da pochi metri ad alcune decine di metri, separati da livelli arenacei di spessore decimetrico o metrico. Lo spessore in affioramento è di un centinaio di metri.

Nella seguente tabella sono riassunti i dati sulle caratteristiche principali, rilevabili in campagna, riguardanti l'affioramento interessato dall'attività estrattiva.

CARATTERISTICHE PRINCIPALI DELL'AFFIORAMENTO ROCCIOSO	
Litotipo	Conglomerati con intercalazioni di arenarie
Colore	da giallastro a rossastro
Struttura	<b>Conglomerati:</b> scheletro costituito da elementi di dimensione da centimetrica a decimetrica, ma non sono infrequenti blocchi più grandi; l'origine dei clasti è prevalentemente da quarzareniti del Flysch Numidico e subordinatamente da calcari, selce, graniti, gneiss, scisti e basalti; i clasti sono immersi in una matrice a granulometria arenitica, legati da un cemento carbonatico. <b>Arenarie:</b> scheletro costituito prevalentemente da granuli di quarzo e subordinatamente da clasti di altra origine, di dimensione arenitica, immersi in una matrice di elementi di dimensione più fine e legati da un cemento carbonatico che conferisce alla roccia una moderata resistenza.
Organismi-fossili	rari frammenti di gusci di lamellibranchi, talora cocentrati in sottili livelli nelle arenarie
Stratificazione	in banchi stratificati, di spessore variabile da pochi metri ad alcune decine di metri, separati da livelli di arenarie di spessore decimetrico o metrico
Fratturazione	Moderata, con piani di discontinuità che presentano una frequenza di circa 0,1 per metro lineare. Fratture generalmente cementate, più raramente beanti. Fratture beanti ampie alcuni centimetri; giunto privo di depositi, molto rugoso; suolo presente nelle parti più superficiali delle fessure.
Spessore	Lo spessore in affioramento è di un centinaio di metri.

#### 3.2 – Resistenza alla compressione

Per la valutazione della resistenza alla compressione della roccia integra, sono stati presi in considerazione quei metodi che potessero fornire dei dati rilevabili direttamente in campagna, come l'uso del comune martello da geologo e del "Martello di Schmidt" (Sclerometro tipo L).

Secondo lo standard ISRM (International Society for Rock Mechanics) una valutazione della resistenza alla compressione può essere stimata osservando la risposta della roccia alla percussione con la punta del martello da geologo. Nella tabella sottostante sono riportati gli effetti della percussione e la relativa resistenza espressa in MPa (Megapascal).

TAB.1	EFFETTI ALLA PERCUSSIONE	RESISTENZA (MPa)
1	La roccia s'incide con l'unghia o si sbriciola con le mani	0,25 – 1 MPa
2	Si sbriciola sotto i colpi della punta, lastre sottili si rompono con facilità con le mani.	1 – 5 MPa

3	La punta lascia deboli buchi, lastre sottili si rompono con forti pressioni delle mani.	5 – 25 MPa
4	La roccia si frattura con un colpo	25 – 50 MPa
5	Si frattura dopo 2-3 colpi	50 – 100 MPa
6	Si frattura solo dopo molti colpi	100 – 200 MPa
7	Si scheggia solamente	> 200 MPa

Questo semplice test è stato effettuato su diversi affioramenti rocciosi, sia dei conglomerati che dei livelli di arenarie intercalati, in corrispondenza di superfici di rottura non alterate, e quindi su roccia integra. Sulla base di tale test, i conglomerati presentano una resistenza alla compressione attribuibile al livello 4 (25-50 MPa), mentre le arenarie al livello 3 (5-25 MPa) della Tabella 1.

L'International Society for Rock Mechanics classifica la resistenza degli ammassi rocciosi rispetto alla resistenza alla compressione uniassiale  $\sigma_c$  nel seguente modo (TAB.2):

TAB. 2	DESCRIZIONE	RESISTENZA $\sigma_c$ (MPa)
1	Molto bassa	1 – 5 MPa
2	Bassa	5 – 25 MPa
3	Moderatamente bassa	25 – 50 MPa
4	Mediamente alta	50 – 100 MPa
5	Alta	100 – 250 MPa
6	Molto alta	> 250 MPa

Sulla base di questa classificazione, possiamo definire la resistenza alla compressione delle rocce esaminate compresa nella classe 2 (bassa), per le arenarie, e nella classe 3 (moderatamente bassa), per i conglomerati.

Per meglio definire il valore della resistenza alla compressione della roccia, sono stati effettuati diversi rilevamenti con il Martello di Schmidt (Sclerometro tipo L) su affioramenti di roccia integra. I valori di R ottenuti per misurazioni effettuate con lo sclerometro posto in posizione di impatto diversa dall'orizzontale (ma sempre perpendicolare alla superficie di misura), sono stati normalizzati rispetto alla posizione orizzontale teorica mediante tabelle di conversione fornite dalla casa produttrice dello strumento. Nella successiva tabella sono riportati i valori del rimbalzo R rilevati con lo sclerometro.

Tab.4 roccia	RILEVAMENTI CON LO SCLEROMETRO										media
	valori di R rilevati con lo sclerometro										
conglomerati	13	14	12	14	14	16	16	18	14	20	15,1
arenarie	12	10	12	10	14	12	12	14	10	14	12

Per trasformare l'indice R dello sclerometro in un valore di resistenza alla compressione sono state prese in considerazione diverse relazioni o diagrammi proposti da vari autori:

a) relazione di Irfan e Dearman (1978):  $\sigma_c = 0,775 R + 21,3$ ;

b) diagramma di Deere and Miller (1966) (Fig. 1);

c) relazione di Fukui K. et al. (1980):  $\log(\sigma_c) = 0,0165 R + 1,13$ ;

d) relazione di Barton & Choubey (1977):  $\log(\sigma_c) = 0,00088 \times R \times \gamma + 1,01$ .

Nella seguente Tab. 5 sono riportati i valori della resistenza a compressione dedotti con i differenti metodi. Nella successiva Fig. 1 il diagramma di Deere & Miller.

Tab. 5	RESISTENZA ALLA COMPRESSIONE MONOASSIALE $\sigma_c$ (MPa)					
ROCCIA	peso di volume (*) KN/mc	media R	Irfan e Dearman	Fukui et al.	Barton & Choubey	Deere & Miller
conglomerati	27,5	15,1	33,0	23,94	23,73	28
arenarie	23,5	12	30,6	21,28	18,2	22

(\*) Per la determinazione del peso di volume vedi cap.5.

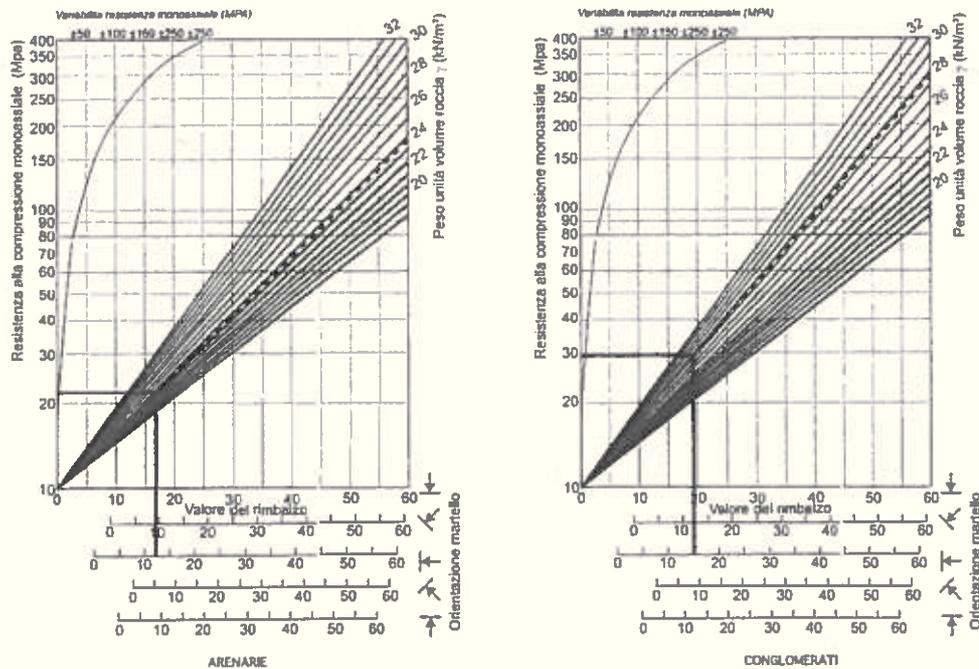


Figura 1 - Diagramma di Deere e Miller (da Deere & Miller, 1966).

Considerando il valore medio dei dati ottenuti:

- per i livelli di arenarie  $\sigma_c = 23,0 \text{ MPa} = 234,53 \text{ Kg/cm}^2$ ;
- per i conglomerati  $\sigma_c = 27,0 \text{ MPa} = 275,32 \text{ Kg/cm}^2$ .

Pertanto, consideriamo la resistenza alla compressione monoassiale dell'ammasso roccioso come la media dei due valori:  $\sigma_c = 25,0 \text{ MPa} = 254,92 \text{ Kg/cm}^2$ .

## 4 – CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO

### 4.1 - Il metodo SRMR

Un metodo di classificazione dell'ammasso roccioso comunemente utilizzato è lo "Slope Rock Mass Rating" (SRMR, Robertson, 1987) derivato dal sistema RMR (Rock Mass Rating - Bieniawski) e modificato per meglio rappresentare le condizioni che si verificano nei versanti rocciosi di scavi o naturali. Tale sistema di classificazione consente anche di definire se la stabilità di un pendio è preferibile che sia verificato con metodi che tengano conto delle discontinuità planari presenti all'interno dell'ammasso roccioso oppure con metodi che prevedano una rottura di tipo rotazionale. Secondo l'autore, infatti, per valori dell'indice superiori a 40, la stabilità della scarpata è governata dall'orientamento e dalla resistenza al taglio delle discontinuità, mentre per valori inferiori (definiti o da una intensa fratturazione e/o da una bassa resistenza alla compressione dell'ammasso roccioso) la rottura avviene indipendentemente dall'orientamento delle discontinuità, lungo superfici circolari o mistilinee.

Il valore dell'indice SRMR è dato dalla:

$$(1) \quad \text{SRMR} = A1 + A2 + A3 + A4 ; \text{ dove:}$$

A1 = valore numerico derivato dalla resistenza della roccia intatta;

A2 = valore numerico derivato dall'indice RQD (Rock Quality Designation Index);

A3 = valore numerico derivato dalla spaziatura delle discontinuità;

A4 = valore numerico derivato dalle condizioni delle discontinuità.

#### A1 – Resistenza della roccia intatta (determinazione del valore numerico)

Il coefficiente A1 viene definito dalla seguente tabella definita dall'autore:

A1 - RESISTENZA DELLA ROCCIA INTATTA											
$\sigma_c$ (MPa)	>250	100	50	25	5	1	0,60	0,15	0,08	0,04	< 0,04
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		250	100	50	25	5	1,00	0,60	0,15	0,15	
COEFFICIENTE	30	27	22	19	17	15	10	6	2	1	0

Visti i valori di  $\sigma_c$  (MPa) determinati con lo sclerometro, per il sito il coefficiente A1 = 18.

#### A2 – Indice RQD (determinazione del valore numerico)

Il coefficiente A2 viene definito dalla seguente tabella:

A2 – INDICE RQD					
RQD	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25
COEFFICIENTE	20	17	13	8	3

Il valore di RQD si ricava normalmente dalla percentuale di recupero da una carota estratta da un sondaggio. In mancanza di carote di sondaggi, il valore di RQD può essere dedotto da un rilievo di superficie dei giunti di discontinuità. Priest e Hudson (1981) hanno proposto la seguente relazione:

$$(2) \quad RQD = (100 \times e^{-0,1N}) \times (N+1)$$

con: l = numero medio di giunti per metro; N = valore di soglia comunemente uguale a 0,1.

Nell'area della cava sono stati effettuati alcuni rilevamenti dell'orientamento, della immersione e delle caratteristiche dei piani di discontinuità che interessano l'ammasso roccioso. Le spazature riscontrate sono mediamente di un gruppo di 1 - 2 giunti ogni 10 m, pertanto possiamo assumere una frequenza di 0,1 - 0,2 per metro lineare.

Per il sito in oggetto, pertanto risulta essere  $RQD = (100 \times e^{-(0,1 \times 0,2)}) \times (0,1 \times 0,2 + 1) = 99,98$ .

Pertanto il coefficiente da adottare per il sito,  $A_2 = 20$ .

### A3 – Spaziatura delle discontinuità (determinazione del valore numerico)

Il coefficiente A3 viene definito dalla seguente tabella:

A3 – SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITA'					
SPAZIATURA "s" (cm)	> 200	60 - 200	20 - 60	6 - 20	< 6
COEFFICIENTE	20	15	10	8	5

Per il sito in oggetto abbiamo visto che la spaziatura assume una frequenza di 0,2 discontinuità per metro lineare, pertanto il coefficiente da adottare è  $A_3 = 20$ .

### A4 – Condizioni delle discontinuità (determinazione del valore numerico)

Il coefficiente A4 viene definito dai rilievi fatti in campagna sulle discontinuità confrontati con la seguente tabella:

A4 – CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'					
CONDIZIONE	Molto scabre, non continue, chiuse, pareti non alterate	Leggermente scabre, continue, apertura <1mm, pareti leggermente alterate	Leggermente scabre, continue, apertura <1mm, pareti alterate	Piane o lisce, continue, apertura 1-5 mm, riempimento <5mm	Continue, apertura >5mm, riempimento >5mm (da applicare sempre se $\sigma_c < 1$ (MPa))
COEFFICIENTE	30	25	20	10	0

Dall'analisi delle discontinuità (vedi paragrafo precedente) risulta evidente che le fratture risultano aperte ma senza deposito e con superfici scabre. Questa condizione non è contemplata nella tabella precedente, pertanto per la valutazione del coefficiente A4, si ritiene che le condizioni delle discontinuità dell'ammasso roccioso suggeriscono di adottare per il sito il valore di 10, da considerarsi cautelativo. Il valore pertanto è  $A_4 = 10$ .

### Valutazione dell'indice SRMR

Il valore dell'indice  $SRMR = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 = 18 + 20 + 20 + 10 = 68$

Per valori dell'indice  $SRMR < 40$ , Robertson ritiene che l'ammasso roccioso, fortemente e omogeneamente fratturato, alla scala dell'ammasso, si rompe lungo superfici circolari o mistilinee.

Per valori superiori, invece, la stabilità della scarpata o versante roccioso è governata dalle caratteristiche di resistenza al taglio e di orientamento delle discontinuità.

Nel caso esaminato, il valore ricavato sembrerebbe indicare che la stabilità dell'ammasso roccioso potrebbe essere determinato principalmente dalle caratteristiche delle sue discontinuità, sulle quali torneremo più avanti.

#### 4.2 - Geological Strength Index (GSI, Hoek)

Il concetto, sviluppato da Hoek, alla base del GSI (Geological Strength Index) è molto semplice: incrociare i dati sull'assetto dell'ammasso roccioso con le caratteristiche delle discontinuità che lo separano per giungere ad un valore indice che permetta il suo utilizzo per una valutazione accurata della resistenza e della deformabilità di un ammasso roccioso. Tale parametro viene quantificato con l'utilizzo del grafico seguente, dove le caratteristiche strutturali dell'ammasso (grado di fratturazione e disturbo tettonico) sono incrociate con le caratteristiche della superficie delle discontinuità (rugosità, alterazione e riempimento della frattura).

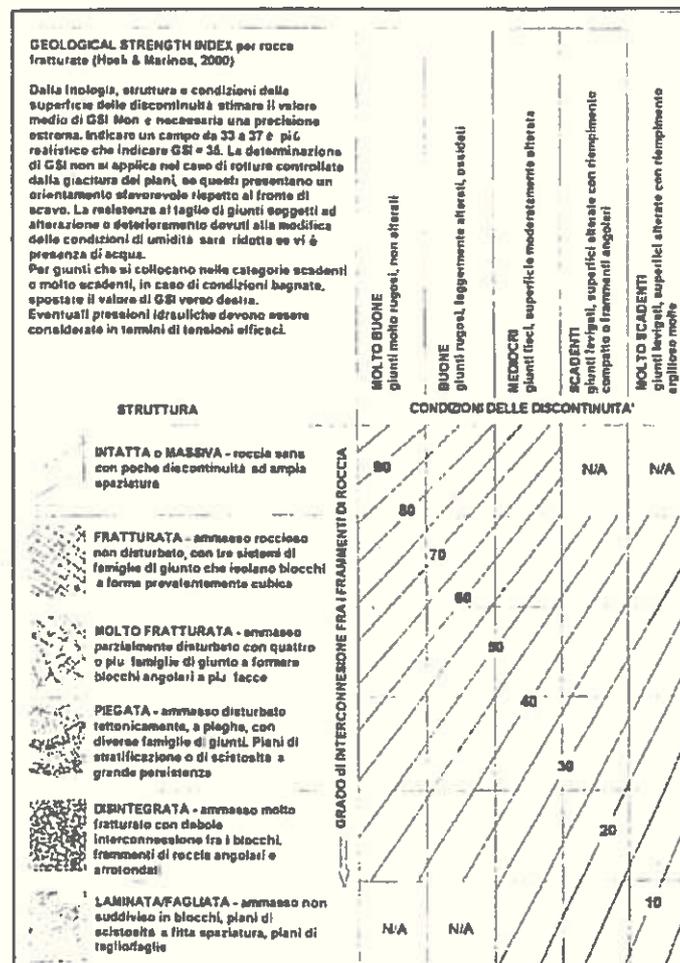


Fig. 2 - Geological Strength Index (Hoek e Marinos, 2000)

Per le caratteristiche dei Conglomerati e Arenarie, già definite in precedenza, il valore del Geological Strength Index è:  $GSI = 75$ .

## 5 – VALUTAZIONE DEI PARAMETRI GEOTECNICI

### 5.1 - Parametri geotecnici della roccia intatta

Per procedere alla verifica della stabilità dei fronti di scavo occorre definire i parametri geotecnici di coesione ( $c'$ ), angolo di attrito interno ( $\phi'$ ) e peso di volume ( $\gamma'$ ) dei terreni interessati, da utilizzare in seguito nei calcoli.

#### *Peso di volume*

Su alcuni campioni di conglomerati e arenarie raccolti nel sito, sono state eseguite dallo scrivente delle misure del peso di volume  $\gamma$ , sia in condizioni di ritenzione d'acqua ( $\gamma_w$ ), sia a secco ( $\gamma_d$ ), e della percentuale dei vuoti comunicanti o porosità. I risultati sono raccolti nella seguente tabella.

N°	DESCRIZIONE	( $\gamma_w$ )	( $\gamma_d$ )	% dei vuoti
1	Conglomerati	2,8	2,68	11,7 %
2	Arenarie	2,31	2,20	11,3

Per l'ammasso roccioso abbiamo utilizzato il peso di volume dei conglomerati, inoltre, per le nostre valutazioni, agendo a favore della sicurezza, abbiamo considerato il peso di volume comprensivo dell'acqua di ritenzione  $\gamma_w = 2.800 \text{ Kg/m}^3$ . Per i livelli di arenarie  $\gamma_w = 2.300 \text{ Kg/m}^3$ .

#### *Coesione e angolo di attrito interno della roccia integra*

Per quanto concerne la valutazione della coesione e l'angolo d'attrito interno, si è proceduto utilizzando il "Criterio di rottura di Hoek - Brown".

Il criterio empirico di Hoek-Brown, formulato nel 1980, prende avvio dal concetto che in alcune condizioni l'ammasso roccioso, sia esso più o meno intensamente fratturato, possa essere considerato come isotropo. Queste condizioni si raggiungono quando nell'ammasso roccioso non vi siano dei sistemi di fratture che prevalgono sugli altri e che quindi possano orientare i movimenti lungo superfici preferenziali. E' evidente che queste caratteristiche devono tener conto anche della scala cui ci riferiamo. Se si considera, ad esempio, un affioramento di poche decine di metri cubi, intersecato solo da alcune fratture, evidentemente saranno questi piani a governare la sua mobilità complessiva. Se invece consideriamo un affioramento di milioni di metri cubi, in cui sono presenti migliaia di fratture simili, appartenenti a diverse famiglie, che suddividono la massa rocciosa in elementi prismatici variabili la cui grandezza è piccola rispetto alla scala dell'affioramento, allora possiamo considerare questo sistema come isotropo.

In tali condizioni l'equazione sviluppata da Hoek - Brown risulta:

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sqrt{m} \sigma_c \sigma_3 + s \sigma_c^2$$

dove  $\sigma_1$  e  $\sigma_3$  sono le tensioni principali maggiore e minore a rottura e  $\sigma_c$  la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta. Le costanti  $m$  e  $s$  sono costanti empiriche adimensionali della roccia, che non hanno un preciso significato fisico ma sono legate al suo assetto geologico e strutturale. Per una roccia intatta  $s$  assume il valore di 1 mentre  $m$  è variabile con l'assetto tessiturale e la natura della roccia.

A partire dagli anni '80 il criterio di Hoek-Brown ha subito una serie di modifiche e attualmente esso è espresso dalla seguente equazione:

$$\sigma_1 = \sigma_3 \sigma_c (m_b \sigma_3 / \sigma_c + s)^2$$

dove  $m_b$  è il valore ridotto del parametro  $m$ , proprio della roccia intatta, definito dalla relazione:

$$m_b = m_i \exp [(GSI-100)/(28-14D)]$$

$\sigma_c$  è il valore della resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta mentre  $s$  e  $a$  sono costanti dell'ammasso roccioso date dalle espressioni:

$$s = \exp [(GSI-100)/(9-3D)]$$

$$a = 1/2 + 1/6 (e^{-GSI/15} - e^{-203})$$

$D$  è un fattore numerico che tiene conto del grado di disturbo subito dall'ammasso a seguito di uno scavo, variabile tra 0, per ammassi non disturbati, a 1 per ammassi fortemente disturbati.

I valori tipici di  $D$  riscontrati da casi reali sono illustrati nella seguente tabella:

APPLICAZIONE	CONDIZIONI DELL'AMMASSO	D
Gallerie	Scavo con esplosivo con microritardi o scavo con TBM	0
Gallerie	Scavo meccanizzato in ammassi di scarsa qualità senza uso di esplosivo	0
Gallerie	Idem in presenza di rocce spingenti o rigonfanti	0.5
Gallerie	Utilizzo di esplosivo non controllato in rocce competenti	0.8
Versanti	Taglio di scarpate per opere di ingegneria civile (ad esempio strade, imposte di dighe) con uso di esplosivo con cariche controllate	0.7
Versanti	Taglio di scarpate per opere di ingegneria civile (ad esempio strade, imposte di dighe) con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato	1.0
Versanti	Cave o lavori minerari a cielo aperto con coltivazione con uso di esplosivo	1.0
Versanti	Cave o lavori minerari a cielo aperto con coltivazione a scavo meccanizzato	0.7
		per altezze fino a 50 m
		1.0 per altezze superiori
Versanti	Scarpate naturali non disturbate da frange o zone di taglio	0

Ponendo  $\sigma_3 = 0$  si deriva la resistenza a compressione monoassiale:

$$\sigma_{cm} = \sigma_c s^2$$

e la resistenza a trazione:

$$\sigma_t = \sigma_c s / m_b$$

Senza addentrarci ulteriormente nella teoria del criterio di rottura di Hoek - Brown, risulta evidente che i parametri fondamentali che partecipano alla determinazione dell'involuppo di rottura secondo

il criterio di Hoek-Brown sono, oltre allo stato tensionale, la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta  $\sigma_c$ , il valore di Geological Strength Index (GSI), di cui si è già trattato, e la costante m, il cui valore è riferito alla roccia intatta.

In mancanza di prove triassiali, fra l'altro di non facile esecuzione, è possibile e comunemente accettato fare riferimento a valori di m, tabulati da Hoek in funzione della litologia della roccia.

Nelle successive tabelle sono indicati valori medi di m ed il campo di variabilità (deviazione standard) suggeriti da Hoek e altri autori.

ROCCIE SEDIMENTARIE			ROCCIE IGNEE			ROCCIE METAMORFICHE		
Roccia	m	±	Roccia	m	±	Roccia	m	±
Conglomerato	21	3	Granito	32	3	Marmo	9	3
Arenaria	17	4	Granodiorite	29	3	Comulante	19	4
Siltite	7	2	Diorite	25	5	Metaquarzite	20	3
Argillite	4	2	Gabbro	27	3	Quarzite	20	3
Argilloscisto	6	2	Porfiro	20	5	Migmatite	29	3
Chalk	7	2	Dolerite	16	5	Anfibolite	26	6
Breccia	20	2	Riolite	25	5	Gneiss	28	5
Calcare cristallino	12	3	Dacite	25	3	Scisti argillosi	7	4
Calcare sparitico	10	5	Peridotite	25	5	Scisti	10	3
Calcare micritico	8	3	Porfiro	20	5	Filladi	7	3
Dolomia	9	3	Andesite	25	5			
Marna	7	2	Basalto	25	5			
Gesso	10	2	Diabaso	15	5			
Anidride	12	2	Ossidiana	19	3			

LITOTIPO	m (Hoek)	m (MEDIO LESI BATO)
Granito	32 ± 3	25,3 ± 9
Calcarea	12 ± 3	11,2 ± 9
Dolomia	9 ± 3	11,4 ± 4
Arenaria	17 ± 4	16,0 ± 9
Marmo	9 ± 3	8,0 ± 3
Quarzite	20 ± 3	18,2 ± 7
Calcarea cristallino	12 ± 3	9,5
Calcarea cristallino	12 ± 3	16,5
Calcarea micritico	8 ± 3	14,0
Calcarea brecciato	20 ± 2	15,8
Arenaria	17 ± 4	10,4
Arenaria	17 ± 4	10,2
Arenaria	17 ± 4	14,7
Arenaria	17 ± 4	8,3
Marmo	9 ± 3	10,8
Marmo	9 ± 3	10,4
Argilloscisto	6 ± 2	7,5
Argilloscisto	6 ± 2	5,5
Scisto	10 ± 3	14,0

Per eseguire i calcoli relativi al "Criterio di rottura di Hoek-Brown è stato utilizzato il programma "RocLab" della Ditta RocScience, liberamente scaricabile dal sito [www.rocscience.com](http://www.rocscience.com). Il programma di calcolo consente di introdurre i parametri della successiva tabella, che noi abbiamo già valutato o che sono deducibili dalle tabelle di Hoek visualizzabili nel programma.

parametri		
sigci (Uniaxial Compressive Strength);		
GSI (Geological Strength Index, Hoek);		
mi (costante empirica adimensionale legata all'assetto geologico e strutturale);		
D (fattore numerico che tiene conto degli effetti indotti dallo scavo);		
Ei (Ei = MR * sigci, dove MR = coefficiente che tiene conto della natura della roccia);		
Unit Weight (Peso di volume della roccia g');		
Slope Height (Altezza della scarpata o del versante)		

Nella seguente tabella del programma RocLab, sono riassunti tutti i dati, in entrata ed uscita, del calcolo.

ammasso roccioso (conglomerati + arenarie)		
Hoek Brown Classification		
sigci	25	MPa
GSI	75	
mi	21	
D	0,7	
Ei	9500	
MR	380	
Hoek Brown Criterion		
mb	5,31693	
s	0,0266974	
a	0,500911	
Failure Envelope Range		
Application	Slopes	
sig3max	1,78022	MPa
Unit Weight	0,02745	MN/m3
Slope Height	80	m
Mohr-Coulomb Fit		
c	0,914231	MPa
phi	50,3201	degrees
Rock Mass Parameters		
sigt	-0,12553	MPa
sigc	4,07138	MPa
sigcm	8,2025	MPa
Erm	3900,37	MPa

In particolare, la tabella mostra i valori che ci interessano: coesione (c) e angolo di attrito interno (phi) derivati dal calcolo e qui di seguito evidenziati:

ammasso roccioso (conglomerati + arenarie)		
c	0,914231	MPa
phi	50,3201	degrees

## 5.2 - Caratteristiche geotecniche delle discontinuità

Quando localmente la resistenza dell'ammasso roccioso dipende dalla presenza di una o più discontinuità, è alle loro caratteristiche di resistenza al taglio che occorre fare riferimento.

### *Coesione e angolo di attrito interno delle discontinuità*

Patton (1966) fu il primo a notare che lo scivolamento lungo una discontinuità è condizionato dalla presenza di asperità lungo il piano e quindi dalla sua "rugosità". Patton assimilò queste asperità a dei "denti di sega" che, in condizioni di pressioni litostatiche moderate, per consentire il movimento

lungo il giunto, costringono questo a dilatarsi prima di scorrere. Lo scivolamento pertanto non avviene sul piano del giunto, ma ad un angolo "  $i$  " rispetto al giunto. Patton descrive lo stato tensionale con la seguente equazione:

$$\tau = \sigma \tan (\phi_b + i)$$

La resistenza al taglio è pertanto funzione della tensione normale " $\sigma$ " agente sul piano, dell'angolo di attrito del materiale considerato senza asperità (liscio) su cui avviene lo scivolamento " $\phi_b$ " e dell'angolo effettivo delle asperità, " $i$ ". Ad un livello tensionale alto, le asperità vengono tagliate durante lo spostamento e di conseguenza la relazione viene ricondotta al criterio di Mohr - Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \tan (\phi_b)$$

dove  $c$  è una coesione apparente determinata dal taglio delle asperità.

Date le difficoltà esistenti nel poter misurare l'angolo della rugosità  $i$ , Barton (1973) ha proposto di sostituire tale angolo con un parametro dimensionale dipendente dallo stato tensionale, denominato JRC (Joint Roughness Coefficient o Coefficiente di Rugosità), con valore variabile da 0 a 20, giungendo alla seguente equazione:

$$\tau = \sigma \tan (\phi_b + JRC \log \sigma_c / \sigma)$$

Per la determinazione del valore di  $JRC$ , nel corso del tempo sono state proposte varie soluzioni, a iniziare dal "Pettine di Barton", uno strumento che consente di registrare, su una lunghezza di 20 cm, la rugosità della superficie del giunto, per poi confrontarla con dei profili standard. Questo metodo, tuttavia non tiene conto dell'effetto scala, ossia di ondulazioni a più ampia scala. Per ovviare a questo problema Barton ha introdotto il concetto di rapporto tra ampiezza della asperità e lunghezza del tratto di superficie considerata " $a/L$ ". La seguente tabella descrive le condizioni dei giunti sulla base del rapporto  $a/L$ :

$a/L$ %	
> 2	Giunti curvi
1 ÷ 2	Giunti ondulati
< 1	Giunti piani

L'esame delle discontinuità rilevate nel sito in esame ha mostrato che esse si presentano aperte e senza depositi di materiale argilloso.

Il valore dell'ampiezza " $a$ ", su una lunghezza di 1 m, nelle discontinuità esaminate, è mediamente di 25 - 30 mm.

Pertanto, nel nostro caso:  $a/L (\%) = 0,025 * 100 = 2,5$  corrispondenti a dei giunti curvi.

L'utilizzo del seguente nomogramma di Barton, permette di risalire al valore di  $JRC$  dei giunti che, nel nostro caso presentano un valore di  $JRC = 12$ .

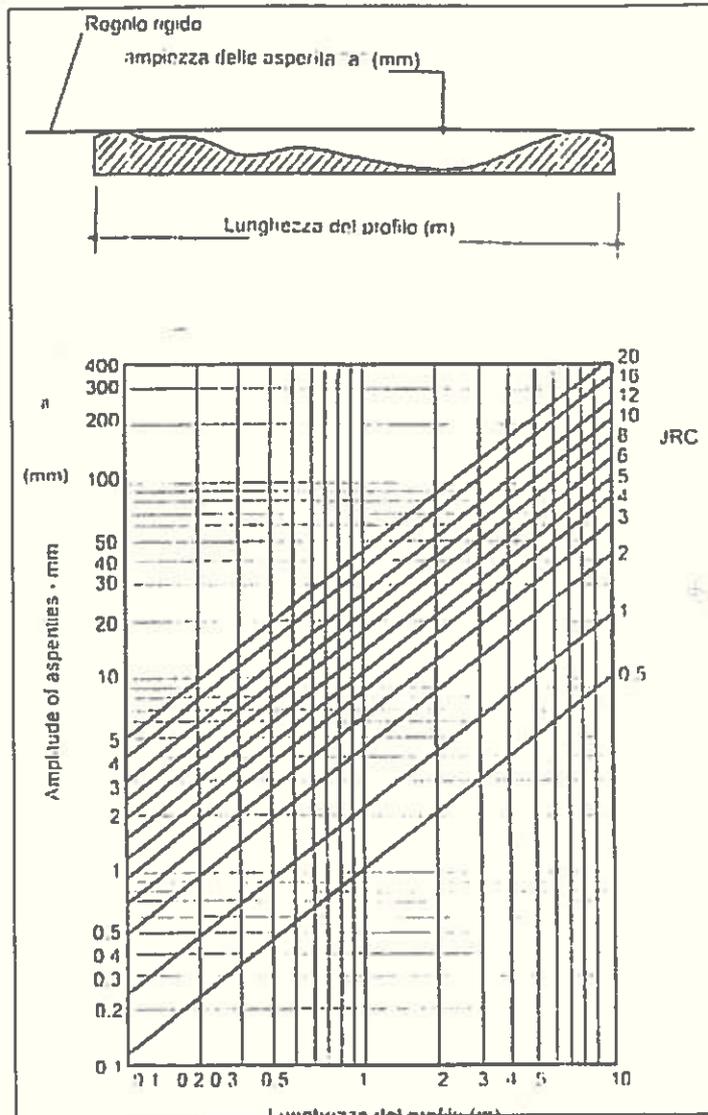


Fig. 3 - Nomogramma di Barton per determinare il valore di  $JRC$

Tornando alla precedente equazione per determinare il valore della resistenza al taglio del giunto

$$\tau = \sigma \tan (\phi_b + JRC \log \sigma_c / \sigma)$$

l'altra incognita è il valore di  $\phi_b$ , ossia dell'angolo di attrito di base.

Il valore dell'angolo d'attrito di base da utilizzare nell'espressione di Barton dovrebbe essere determinato da specifiche e complesse prove di taglio eseguite su provini di roccia aventi superfici lisce. In mancanza di tali prove, una stima di  $\phi_b$  si può avere utilizzando i valori proposti da Barton o derivati da esperienze di ricercatori, riportati nella successiva tabella:

ROCCIA	$\phi_b$ PER GIUNTO ASCIUTTO (°)	$\phi_b$ PER GIUNTO UMIDO (°)
Conglomerato	35	35
Arenaria	26 - 35	25 - 33
Arenaria liscioide	27 - 30	
Calcare	31 - 37	27 - 35
Calcare microcristallino	37 - 41	-
Marna	28 - 31	-
Marna scagliosa	31 - 33	27 - 31
Siltite	31 - 33	27 - 31
Argillite	27	27
Basalto	35 - 38	31 - 36
Granito a grana fine	31 - 35	29 - 31
Granito a grana grossa	31 - 35	31 - 33
Porfiro	31	31
Dolerite	38	32
Anfibolite	32	30
Gneiss	25 - 29	23 - 26
Calcescisti	29 - 33	-
Argilloscisti	26 - 30	-
Scisti	25 - 30	21

Per i conglomerati il valore medio riportato in tabella è 35°.

Il valore di  $\sigma$ , ossia della tensione normale sul giunto, è al massimo quella della colonna litostatica di massima altezza, che nel caso specifico sarà di circa 80 m, pertanto corrispondente a:

$$\sigma = 22,4 \text{ Kg/cm}^2 = 2,196 \text{ MPa.}$$

Il valore della resistenza a compressione uniassiale  $\sigma_c$  dell'ammasso roccioso è stato già determinato (vedi cap. 3) e corrisponde a un valore medio di  $\sigma_c = 25,0 \text{ MPa}$ .

Nella relazione:

$$\tau = \sigma \tan (\phi_b + JRC \log \sigma_c / \sigma)$$

il termine tra parentesi può essere assimilato al valore dell'angolo di attrito delle arenarie in una relazione tipo Mohr - Coulomb, con  $c = 0$ .

$$\tau = \sigma \tan (\phi)$$

Pertanto,  $\tau = \sigma \tan (35 + 12 \log (25/2,196)) = \sigma \tan (47,74)$ ;

e quindi possiamo definire il valore di  $\phi_R = 47,74$ , angolo di attrito residuo per il giunto.

#### *Quadro riassuntivo dei dati geotecnici adottati nei calcoli di verifica*

Di seguito riportiamo, in una tabella riassuntiva, i dati geotecnici adottati per la verifica di stabilità.

LITOTIPO	peso di volume	resistenza a compressione	angolo attrito ammasso roccioso	coesione ammasso roccioso	angolo attrito di base giunto	angolo attrito giunto
Conglomerati con arenarie intercalate	2,8 g/cm <sup>3</sup>	25 MPa = 254,929 Kg/cm <sup>2</sup>	50,3°	0,914 MPa = 9,320 Kg/cm <sup>2</sup>	35°	47,74°



### 6.1.1 Analisi dei dati sulle discontinuità rilevate

Nella successiva tabella sono elencati i dati del rilievo effettuato (Staz. A,B,C).

STAZIONE A						
No.	Type	Dip	Direction	Latitude	Longitude	Description
1	Plane	88.0518	275.93	37.75640856	13.68387654	-frattura
2	Plane	88.8259	140.27	37.75648452	13.68376713	-frattura
3	Plane	22.3429	261.896	37.75673052	13.68395683	Stratificazione

STAZIONE B						
No.	Type	Dip	Direction	Latitude	Longitude	Description
1	Plane	20.6087	270.096	37.75671217	13.68547692	stratificazione e livello arenaceo
2	Plane	84.5193	334.444	37.75659761	13.68567153	frattura
3	Plane	76.3225	341.607	37.75657695	13.68535806	Frattura parz. cementata

STAZIONE C						
No.	Type	Dip	Direction	Latitude	Longitude	Description
1	Plane	87.9898	189.087	37.75623539	13.68634030	-frattura
2	Plane	84.8399	222.567	37.75623539	13.68634030	-frattura
3	Plane	81.0463	219.816	37.75624090	13.68633692	Frattura beante
4	Plane	78.4858	329.485	37.75638623	13.68564508	-frattura
5	Plane	80.1019	157.44	37.75638623	13.68564508	-frattura
6	Plane	84.4774	323.323	37.75638623	13.68564508	-frattura
7	Plane	86.2533	155.531	37.75638956	13.68571112	-frattura

Nella successiva figura è riportata la rappresentazione stereografica dei piani di discontinuità.

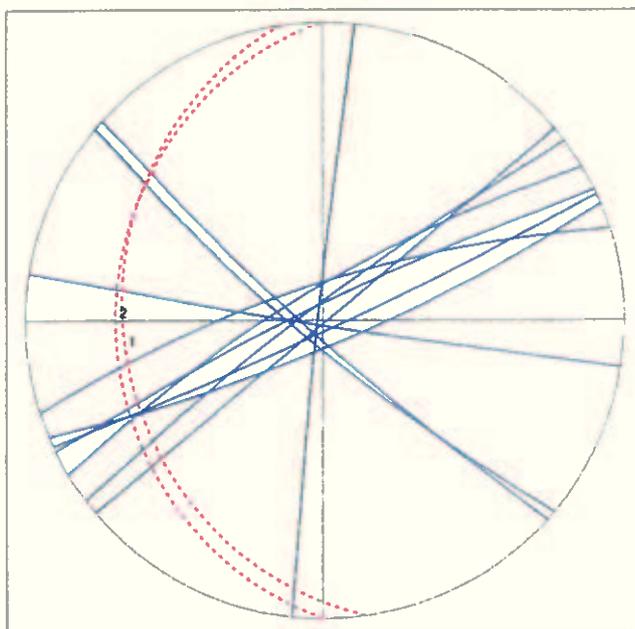


Fig. 5 – Rappresentazione stereografica dei piani di discontinuità. Proiezione emisfero inferiore e Nord in alto. I piani sono rappresentati con i grandi cerchi; la stratificazione a tratteggio. Molto evidente il raggruppamento prevalente dei piani nella direzione circa NE-SO e NO-SE.

L'analisi dei diagrammi mostra l'esistenza di due famiglie di discontinuità principali, con direzione NE-SO e NO-SE.

## 6.2 – Orientamento delle discontinuità rispetto ai fronti

L'orientamento delle discontinuità rispetto ai fronti della cava è molto importante poichè da esso dipendono delle criticità che possono portare allo scivolamento o al crollo di blocchi o volumi anche importanti dell'ammasso roccioso. Nella successiva Fig.6 sono stati individuati i principali orientamenti dei fronti nella fase finale dei lavori di coltivazione.

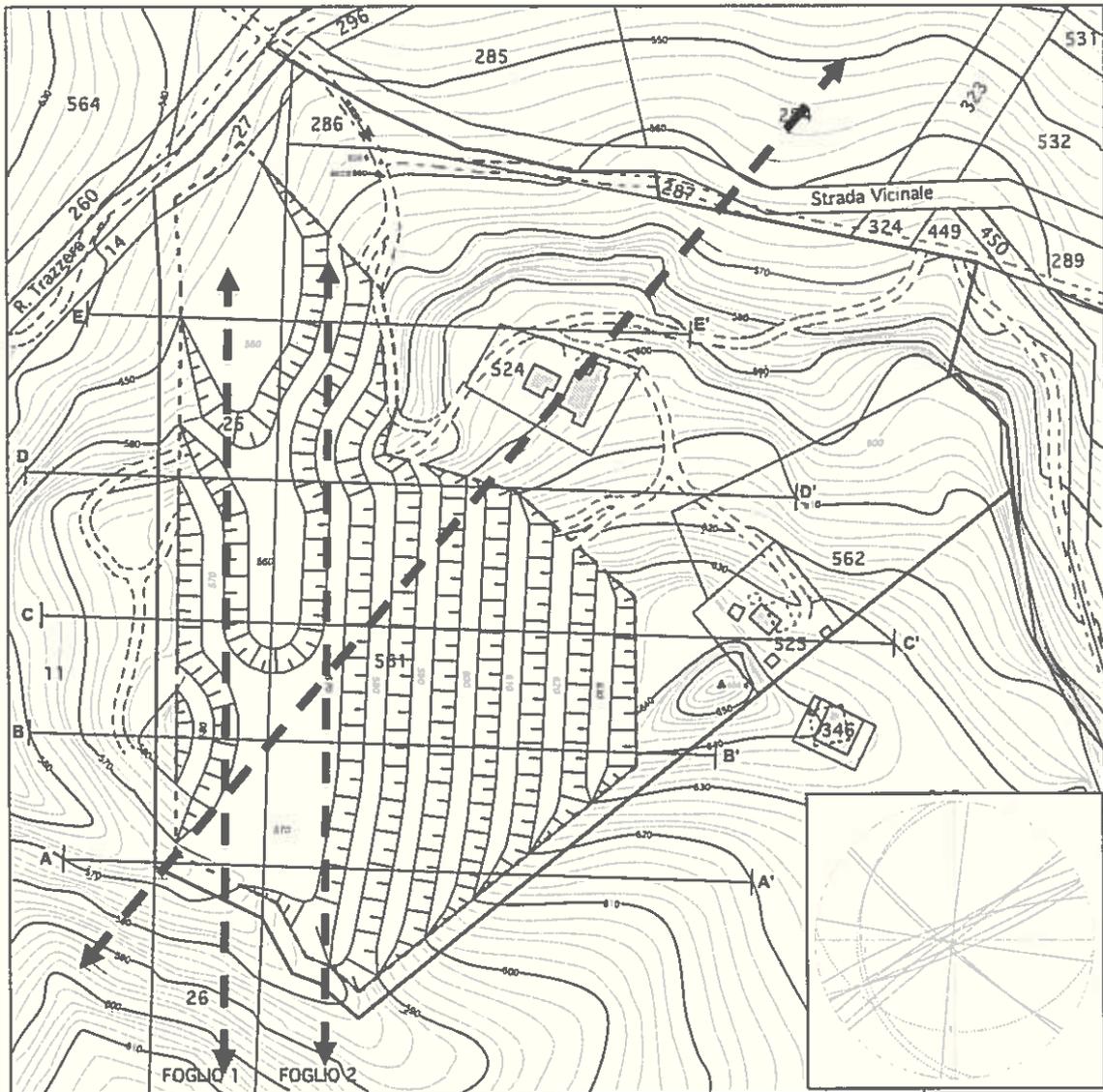


Fig. 6 – Planimetria della Fase Finale con riportate le direzioni principali dei Fronti di scavo (tratteggio forte); in basso a destra la proiezione stereografica di Fig.5.

Una stima di queste criticità può essere valutata attraverso un test eseguito mediante lo stesso programma di calcolo con cui sono state generate le proiezioni stereografiche dei piani di discontinuità rilevati. Non si tratta di una "verifica di stabilità", ma di un metodo che consente di poter effettuare, sulla proiezione stereografica, una prima valutazione circa la possibilità che si

determinino le condizioni per potenziali scivolamenti di volumi rocciosi, tenendo conto dell'orientamento delle discontinuità e del pendio (o fronte della cava) rispetto alle caratteristiche di resistenza (o angolo di attrito) dei giunti. In particolare, sono state considerate le interazioni che si potrebbero generare tra piani di discontinuità e scarpate di cava e tra cunei rocciosi (derivati dall'intersezione tra due piani) e scarpate.

Nella sua configurazione finale la cava presenterà un orientamento completo dei fronti. Per la valutazione delle criticità abbiamo semplificato l'andamento curvilineo del fronte principale in tre piani prevalenti: Fronte a NO: DIP (310°; 40°); Fronte a Ovest: DIP (270°; 40°); Fronte a Est: DIP (90° - 40°).

I parametri utilizzati per questa valutazione sono:

- Pendenza della scarpata del fronte = 40° rispetto all'orizzontale;
- Angolo di attrito del giunto = 47,7°.

Di seguito vengono descritte le analisi effettuate.

### CAVA TORTORESIS - TEST DI CINEMATISMO DEI PIANI E DEI CUNEI

**Fronte NO; DIP: (310°, 40°).**

**Test di cinematicismo dei piani rispetto al fronte**

Project : Tortoresi unione  
 Total data : 14  
 Plane : 14 (100%)  
 Lineation : 0 (0%)  
 Intersection : 91

Failure analysis result

=====

Analysis type:

Plane failure analysis

Analysis criteria

- Dip of slope : 40
- Dip direction of slope : 310
- Friction angle : 47.7

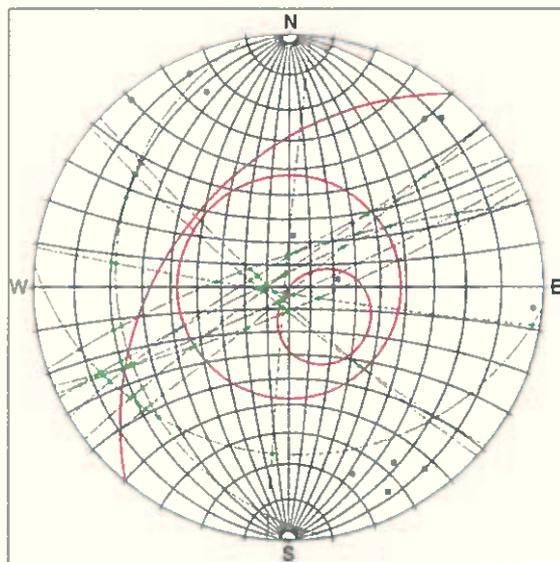
• There is no points in the envelope with the criteria above.

=====

Fig. 7 - Fronte NO - Test di cinematicismo dei piani.

Rappresentazione stereografica. Proiezione emisfero

inferiore. I piani sono rappresentati sia con i grandi cerchi che con i poli. Grande cerchio rosso = fronte; cerchio al centro = angolo di attrito; ellisse in rosso = area critica; punti rossi = poli dei piani critici individuati.



Tra i dati inseriti, l'analisi non ha individuato piani che potrebbero rappresentare criticità. Nel diagramma (Fig. 7) sono rappresentati gli elementi descritti.

**Fronte NO; DIP: (310°, 40°).**

**Test di cinematico dei cunei rispetto al fronte**

Project : Tortoresi unione

Total data : 14

Plane : 14 (100%)

Lineation : 0 (0%)

Intersection : 91

**Failure analysis result**

=====

Analysis type :

Wedge failure analysis

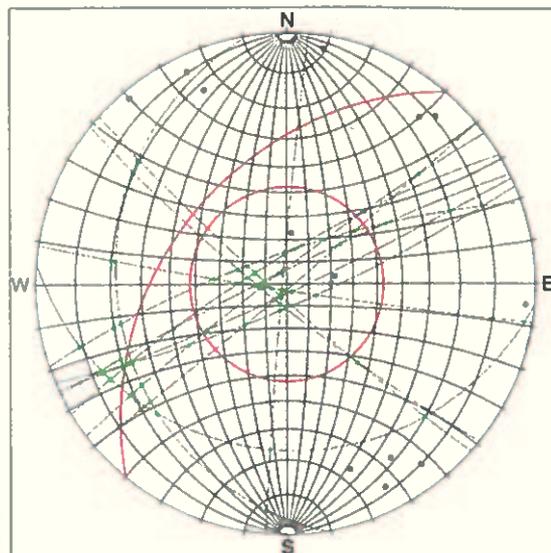
Analysis criteria

- Dip of slope : 40

- Dip direction of slope : 310

- Friction angle : 47.7

• There is no points in the envelope with the criteria above.



*Fig. 8 - Fronte NO - Test di cinematico dei cunei.*

*Rappresentazione stereografica. Proiezione emisfero inferiore.*

*I piani sono rappresentati con i grandi cerchi. Grande cerchio rosso = fronte; cerchio al centro = angolo di attrito; punti rossi = poli delle intersezioni critiche individuate che generano cunei potenzialmente instabili; punti verdi = intersezioni tra piani.*

Tra i dati inseriti, l'analisi non ha individuato intersezioni che potenzialmente possono generare dei cunei in condizione di scivolare rispetto al fronte di cava. Nel diagramma (Fig. 8) sono rappresentati gli elementi descritti.

**Fronte O; DIP: (270°, 40°).**

**Test di cinematico dei piani rispetto al fronte**

Project : Tortoresi unione

Total data : 14

Plane : 14 (100%)

Lineation : 0 (0%)

Intersection : 91

**Failure analysis result**

=====

Analysis type :

Plane failure analysis

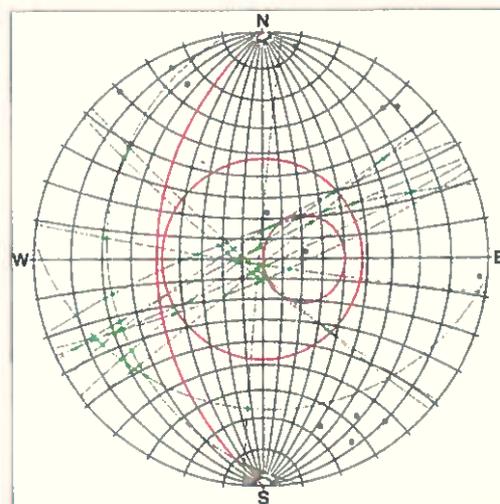
Analysis criteria

- Dip of slope : 40

- Dip direction of slope : 270

- Friction angle : 47.7

• There is no points in the envelope with the criteria above.



*Fig. 9 - Fronte O - Test di cinematico dei piani. Rappresentazione stereografica. Proiezione emisfero inferiore. I piani sono rappresentati sia con i grandi cerchi che con i poli. Grande cerchio rosso = fronte; cerchio al centro = angolo di attrito; ellisse in rosso = area critica; punti rossi = poli dei piani critici individuati.*

Tra i dati inseriti, l'analisi non ha individuato piani che potrebbero rappresentare criticità. Nel diagramma (Fig.9) sono rappresentati gli elementi descritti.

**Fronte O; DIP: (270°, 40°).**

**Test di cinematico dei cunei rispetto al fronte**

Project : Tortoresi unione  
Total data : 14  
Plane : 14 (100%)  
Lineation : 0 (0%)  
Intersection : 91

**Failure analysis result**

=====  
Analysis type : Wedge failure analysis

Analysis criteria

- Dip of slope : 40
- Dip direction of slope : 270
- Friction angle : 47.7
- There is no points in the envelope with the criteria above.

*Fig. 10 - Fronte O - Test di cinematico dei cunei.*

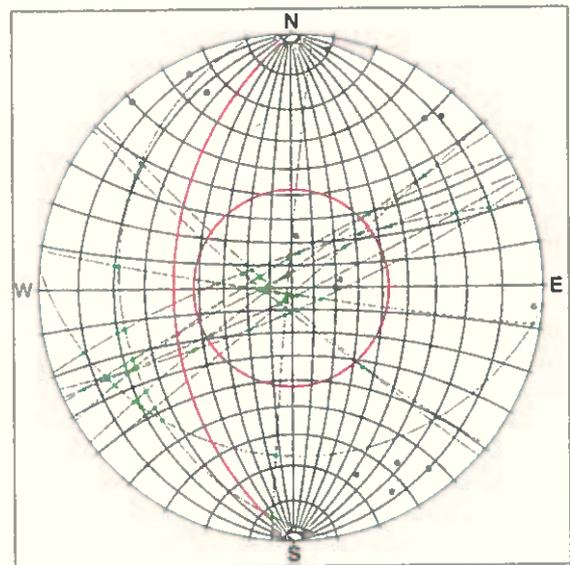
*Rappresentazione stereografica. Proiezione emisfero inferiore.*

*I piani sono rappresentati con i grandi cerchi. Grande cerchio*

*rosso = fronte; cerchio al centro = angolo di attrito; punti*

*rossi = poli delle intersezioni critiche individuate che generano cunei potenzialmente instabili; punti verdi =*

*intersezioni tra piani.*



Tra i dati inseriti, l'analisi non ha individuato intersezioni che potenzialmente possono generare dei cunei in condizione di scivolare rispetto al fronte di cava. Nel diagramma (Fig. 10) sono rappresentati gli elementi descritti.

**Fronte E; DIP: (90°, 40°).**

**Test di cinematico dei piani rispetto al fronte**

Project : Tortoresi unione  
Total data : 14  
Plane : 14 (100%)  
Lineation : 0 (0%)  
Intersection : 91

**Failure analysis result**

=====  
Analysis type : Plane failure analysis

Analysis criteria

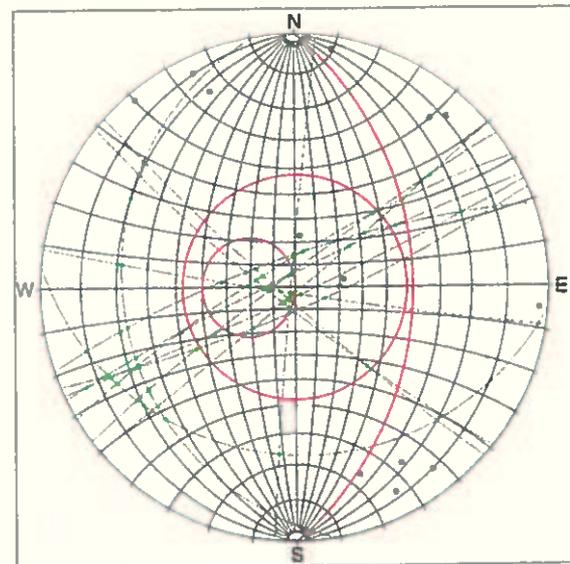
- Dip of slope : 40
- Dip direction of slope : 90
- Friction angle : 47.7
- There is no points in the envelope with the criteria above.

*Fig. 11 - Fronte E - Test di cinematico dei piani.*

*Rappresentazione stereografica. Proiezione emisfero*

*inferiore. I piani sono rappresentati sia con i grandi cerchi che con i poli. Grande cerchio rosso = fronte; cerchio al*

*centro = angolo di attrito; ellisse in rosso = area critica; punti rossi = poli dei piani critici individuati.*



Tra i dati inseriti, l'analisi non ha individuato piani che potrebbero rappresentare criticità. Nel diagramma (Fig.11) sono rappresentati gli elementi descritti.

**Fronte E; DIP: (90°, 40°).**

**Test di cinematico dei cunei rispetto al fronte**

Project : Tortoresi unione

Total data : 14

Plane : 14 (100%)

Lineation : 0 (0%)

Intersection : 91

**Failure analysis result**

=====  
Analysis type : Wedge failure analysis

Analysis criteria

- Dip of slope : 40

- Dip direction of slope : 90

- Friction angle : 47.7

• There is no points in the envelope with the criteria above.

*Fig. 12 - Fronte E - Test di cinematico dei cunei.*

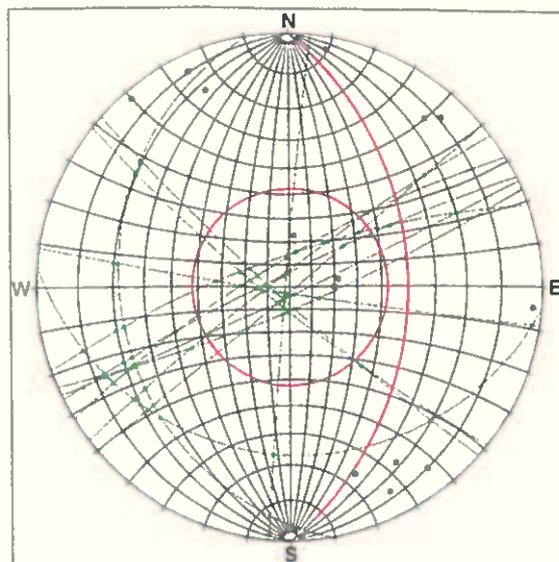
*Rappresentazione stereografica. Proiezione emisfero*

*inferiore. I piani sono rappresentati con i grandi cerchi.*

*Grande cerchio rosso = fronte; cerchio al centro = angolo di*

*attrito; punti rossi = poli delle intersezioni critiche individuate che generano cunei potenzialmente instabili; punti verdi*

*= intersezioni tra piani.*



Tra i dati inseriti, l'analisi non ha individuato intersezioni che potenzialmente possono generare dei cunei in condizione di scivolare rispetto al fronte di cava. Nel diagramma (Fig. 12) sono rappresentati gli elementi descritti.

### 6.3 - Considerazioni derivanti dai test eseguiti

I test appena eseguiti mostrano che dall'interazione tra i sistemi di discontinuità che si sono potuti rilevare nell'ammasso roccioso e l'orientamento dei fronti della cava non scaturiscono delle criticità.

Il valore dell'inclinazione delle scarpate di cava di 40°, insieme all'elevato angolo di inclinazione delle fratture, maggiore delle scarpate, determina condizioni di buona stabilità delle stesse.

Va sottolineato comunque il fatto che i test eseguiti non costituiscono una verifica di stabilità, ma hanno solamente un valore di orientamento, utili per la predisposizione delle effettive verifiche, che saranno trattate più avanti. Essi, infatti, non tengono conto né dell'azione sismica, né dei coefficienti parziali previsti dalla normativa vigente.

## 7 - PERICOLOSITA' GEOLOGICA DEL SITO

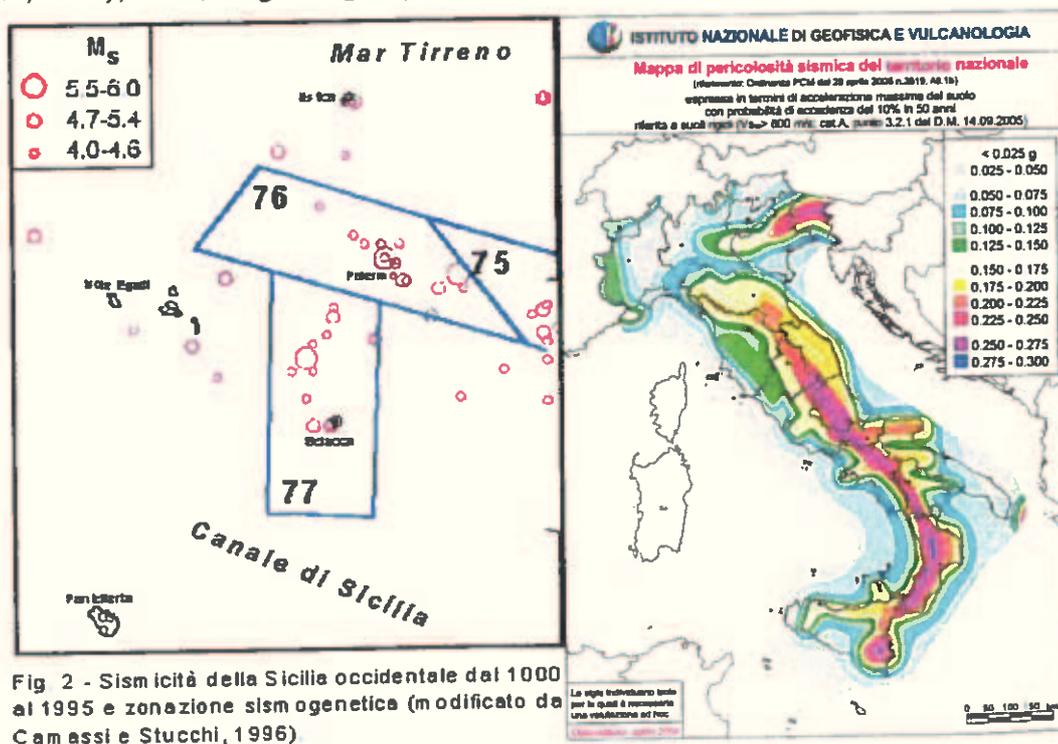
Nell'area in cui ricade il sito in esame la pericolosità di natura geologica è riconducibile, in ordine d'importanza, a:

Dissesti idrogeologici.

Sismicità;

La pericolosità indotta dai dissesti idrogeologici (in atto o potenziali), sono limitati prevalentemente ai settori dell'area esaminata in cui affiorano le formazioni argillose descritte, dove sono presenti fenomeni di erosione, accentuata lungo le incisioni e i corsi d'acqua, e fenomeni di movimenti superficiali lenti. Il sito destinato alle attività minerarie in progetto non risulta interessato da fenomeni di dissesto idrogeologico in atto.

Per quanto riguarda la sismicità, nell'area in cui ricade il sito non sono presenti faglie attive né strutture sismogenetiche che abbiano generato terremoti negli ultimi 1000 anni (fig.13/a). L'area pertanto risente della sismicità proveniente dalle zone sismogenetiche della Sicilia occidentale e settentrionale. Nella fig. 13/b è riportata la Pericolosità sismica derivata dall'analisi della sismicità storica. Per l'area in esame l'accelerazione massima al suolo espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat.A), è di 0,075 g - 0,1 g, e quindi ricade in una fascia a pericolosità moderata.



## 8 – CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

### 8.1– La normativa

Il D.M. 14/01/2008 ha posto particolare attenzione all'influenza che ha il sottosuolo nelle modalità di trasmissione dell'energia sismica ed in particolare ai fenomeni di amplificazione indotti dai terreni meno consistenti. Nella sottostante tabella sono classificate le categorie del sottosuolo sulla base di una descrizione litologica e delle caratteristiche deducibili da indagini geognostiche (sismica  $V_{s,30}$ ; prove penetrometriche standard  $N_{STP,30}$ ; coesione non drenata  $C_{u,30}$ ).

CATEGORIA SOTTOSUOLO	DESCRIZIONE
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, con velocità di propagazione entro 30 metri di profondità, delle onde di taglio $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, comprendendo eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo di 3 metri.
B	B) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa (ghiaie e sabbie) molto addensati o terreni a grana fino (argille, limi) molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, che abbiano un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori di $V_{s,30}$ tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica standard media su strato di 30 metri, $N_{STP,30}>50$ , nei terreni a grana grossa e coesione non drenata $C_{u,30}>250$ KPa (2,50 daN/cm <sup>2</sup> ) nei terreni a grana fina).
C	C) Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fino mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, che abbiano un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori $V_{s,30}$ tra 180 m/s e 360 m/s ovvero $15<N_{STP,30}<50$ nei terreni a grana grossa, o coesione non drenata $70<C_{u,30}<250$ KPa nei terreni a grana fina).
D	D) Depositi di terreni granulari a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fino scarsamente consistenti, che abbiano un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{STP,30}<15$ , ovvero $C_{u,30}<70$ KPa)
E	E) Terreni di tipo C o D per spessori inferiori a 20 m, posti su substrato più rigido con $V_{s,30}>800$ m/s
Terreni particolarmente pericolosi per i quali si richiede uno studio approfondito	S1) Depositi di terreni con valori $V_{s,30}<100$ m/s (ovvero $0<C_{u,30}<20$ KPa), che includono uno strato di spessore di almeno 8 metri di terreni a grana fina da bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o argille altamente organiche. S2) Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

La norma prevede che l'accelerazione sismica massima prevista per il sito può essere valutata facendo riferimento alla situazione stratigrafica e topografica, utilizzando a tale scopo i coefficienti *Stratigrafico Ss* e *Topografico ST*, secondo la seguente espressione:

$$a_{max} = Ss \times ST \times a_g$$

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima per il sito e per terreno rigido (tipo A);

Nel D.M. 14/01/2008, il coefficiente stratigrafico Ss è valutato secondo la seguente tabella, in cui Fo = Fattore di amplificazione massima (per Fo vedi avanti):

CATEGORIA SOTTOSUOLO	COEFF. STRATIGRAFICO SS
A	1
B	$1,0 \leq 1,4 - 0,4 \times F_0 \times a_g/g \leq 1,2$
C	$1,0 \leq 1,7 - 0,6 \times F_0 \times a_g/g \leq 1,5$
D	$0,9 \leq 2,4 - 1,5 \times F_0 \times a_g/g \leq 1,8$
E	$1,0 \leq 2,0 - 1,1 \times F_0 \times a_g/g \leq 1,6$

E' noto che la condizione topografica del sito influenza l'accelerazione sismica. Il coefficiente topografico  $S_T$  assume valore 1 per condizioni topografiche pianeggianti e per lievi pendenze, mentre assume valori compresi tra 1,2 e 1,4 per le altre condizioni, come da tabella sottostante.

CATEGORIA TOPOGRAFICA	UBICAZIONE DELL'OPERA O INTERVENTO	COEFFICIENTE TOPOGRAFICO - $S_T$
T1 - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$	-----	1
T2 - Pendii con inclinazione media $> 15^\circ$	Sommità del pendio	1,2
T3 - Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	In cresta al rilievo	1,2
T4 - Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione $i > 30^\circ$	In cresta al rilievo	1,4

La zonizzazione sismica del territorio italiano prevede l'uso di 4 classi, d'intensità decrescente da 1 a 4. I valori di accelerazione al suolo e di altri importanti parametri sismici, sono stati inoltre geolocalizzati, mediante l'uso di coordinate (latitudine e longitudine), in un reticolo geografico avente maglie di circa 5 Km di lato. I parametri sismici del reticolo anzidetto, sono forniti dal Consiglio Superiore dei lavori Pubblici (Ministero delle Infrastrutture).

Accedendo al sito [www.cslp.it](http://www.cslp.it), è infatti possibile scaricare ed utilizzare liberamente il foglio elettronico "Spettri-NTC.xls", con il quale si può effettuare la ricerca automatica ed interpolata dei dati sismici di tutto il territorio nazionale.

Il procedimento consiste inizialmente (Fase 1) nell'introdurre nel foglio di calcolo "Spettri-NTC.xls" le coordinate geografiche del sito (in gradi sessadecimali). In questa prima fase è possibile visualizzare, per ogni periodo di ritorno di riferimento (35-50-72-101-140-201-475-975-2475 anni), il valore dell'accelerazione orizzontale massima ( $a_g$ ), il fattore di accelerazione massima del suolo ( $F_0$ ), ed il periodo caratteristico ( $T_c^*$ ) dello spettro, il tutto per un suolo rigido di tipo A. La normativa prevede che la valutazione delle azioni sismiche per i pendii naturali e artificiali vengano effettuate agli Stati Limite Ultimi (SLU) (§ 6.8 NTC 2008 ).

Per poter definire il “Periodo di Riferimento Sismico” e il “Periodo di Ritorno Sismico” relativamente all'opera in progetto (Fase 2), occorre introdurre una serie di dati che riguardano l'opera:

- a) Vita Nominale dell'opera ( $V_N$ ): rappresenta il numero di anni nei quali l'opera deve poter essere usata per la sua destinazione d'uso;
- b) Classe d'uso dell'opera e coefficiente d'uso  $C_U$ : la classe d'uso ed il coefficiente d'uso sono legati alle conseguenze di collasso e di operatività dell'opera;

Nella tabella seguente sono riportate le classi d'uso ed il relativo coefficiente d'uso  $C_U$ .

CLASSE	DESCRIZIONE	$C_U$
I	Costruzioni con presenza occasionale di persone ed edifici agricoli.	0,7
II	Costruzioni con normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente, senza funzioni pubbliche sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti; opere infrastrutturali; reti viarie ordinarie.	1
III	Costruzioni con affollamenti significativi; industrie con attività pericolose per l'ambiente. Ponti e reti ferroviarie, la cui interruzione provochi situazioni di emergenza.	1,5
IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità; industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Ponti e reti viarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico.	2

Le azioni sismiche vengono valutate in relazione al “Periodo di riferimento sismico”  $V_R$ , ottenuto dal prodotto della Vita Nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$

$$V_R = V_N \times C_U$$

La “Probabilità di Superamento”  $P_{VR}$  dello stato limite di progetto, nel periodo di riferimento  $V_R$ , viene definito dalla tabella:

STATO LIMITE		Probabilità di superamento - $P_{VR}$
di esercizio (SLE)	Stato limite di operatività - SLO	81,00%
	Stato limite di danno - SLD	63,00%
Ultimi (SLU)	Stato limite di salvaguardia della vita - SLV	10,00%
	Stato limite di collasso - SLC	5,00%

Il “Periodo di Ritorno Sismico”  $T_R$ , si ottiene dal periodo di riferimento sismico e dalla probabilità di superamento dello stato limite attraverso la relazione:

$$T_R = - V_R / \ln(1 - P_{VR})$$

Il foglio di calcolo fornisce automaticamente i dati relativi agli Stati Limite, rispettivamente di Esercizio e Ultimi, ed anche la tabella dei parametri di azione  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$ .

## 8.2 – I dati caratteristici del sito in esame

Il sito in esame ricade in località Contrada Tortoresi del Comune di Castronuovo in provincia di Palermo. Le coordinate geografiche del sito (Sist. Rif.: WGS 84), espresse in gradi sessa-decimali sono: Long.: 13.684981°, Lat.: 37.756908°.

Il territorio del Comune di Castronuovo ricade, secondo la normativa sismica vigente, in Zona 2.

Per quanto concerne la definizione della categoria del sottosuolo ai sensi dell'attuale normativa, vista la destinazione delle opere di scavo in progetto, non si è ritenuto indispensabile eseguire delle indagini geognostiche in quanto la formazione conglomeratico-arenacea è interamente affiorante per tutta l'estensione verticale dell'affioramento destinato ai lavori estrattivi. Date le sue caratteristiche litologiche e stratigrafiche, già descritte nei capitoli precedenti, si ritiene che i conglomerati con intercalazioni di arenarie potrebbero essere attribuiti, come "Categoria di sottosuolo", alla classe "B", tuttavia, in via cautelativa e a favore della sicurezza, vengono qui attribuiti alla classe "C".

Per quanto concerne la "Categoria Topografica", viste le caratteristiche del sito, situato su un versante caratterizzato da locali pendenze superiori a 15°, può essere attribuita a "T2", con un "Coefficiente Topografico" di 1,2.

Per quel che riguarda la "Classe d'Uso", trattandosi di un'attività di tipo industriale non pericolosa per l'ambiente, con la sola presenza del personale di lavoro, costituito da poche unità lavorative, possiamo attribuire la cava alla Classe II, con un "Coefficiente d'Uso" pari a 1.

La "Vita Nominale" della cava, nella fase d'esercizio sarà di 15 anni e il "Periodo di Riferimento" di 35 anni (val. minimo).

Nella successiva tabella sono riassunti i dati caratteristici del sito, ai sensi del D:M: 14/01/2008.

Tabella dei dati caratteristici del sito	
Località	Contrada Tortoresi
Comune	CASTRONUOVO DI SICILIA
Provincia	PALERMO
Longitudine del sito (gradi sessa-decimali)	13,684981° E
Latitudine del sito (gradi sessa-decimali)	37,756908° N
Zona sismica	2
Categoria del sottosuolo	C
Categoria topografica	T2
Coefficiente topografico $S_T$	1,2
Classe d'uso (CL)	II
Coefficiente d'uso (Cu)	1
Vita nominale dell'opera nella fase di esercizio anni (VN)	15
Periodo di riferimento per l'opera (VR), anni (val. minimo 35 a)	35

### 8.3 – Calcolo dei parametri $a_g$ , $F_o$ e $T_c^*$ agli Stati Limite per il sito in esame

Il foglio di calcolo "Spettri-NTC.xls" (scaricabile dal sito [www.csip.it](http://www.csip.it)) fornisce i valori di  $T_R$ ,  $a_g$ ,  $F_o$  e  $T_c^*$  relativi agli Stati Limite: di Esercizio (SLO, SLD) e Ultimi (SLV, SLC).

Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno SL

STATO LIMITE	$T_R$ [ann]	$B_o$ [g]	$F_o$ [g]	$T_c^*$ [s]
SLO	30	0,034	2,416	0,221
SLD	35	0,036	2,424	0,233
SLV	332	0,084	2,559	0,333
SLC	682	0,104	2,617	0,351

Considerando un  $T_R$  di 332 anni, corrispondente ad una vita nominale di 15 anni e ad una Classe d'Uso (CL) II, allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) avremo i seguenti valori:

$$a_g = 0,084$$

$$F_o = 2,559$$

$$T_c^* = 0,333$$

dove  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima prevista su un terreno rigido, di classe A.

### 8.4 – Calcolo delle forze sismiche orizzontali e verticali

Le forze sismiche che agiscono sul sito sono di tipo orizzontale ( $K_h$ ) e verticale ( $K_v$ ) e sono calcolabili con le seguenti espressioni:

$$K_h = \beta_s \times a_{max} / g$$

$$K_v = \pm 0,5 K_h$$

dove,  $\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima legato alle caratteristiche del sottosuolo del sito;  $a_{max}$  = accelerazione massima prevista per il sito in esame;  $g$  = accelerazione di gravità ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).

I coefficienti riduttivi  $\beta_s$ , definiti dalla normativa, sono riportati nella seguente tabella:

ACCELERAZIONE $a_g$	CATEGORIA SOTTOSUOLO	
	A	B, C, D, E
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0,2 \text{ g} \leq a_g \leq 0,4 \text{ g}$	0,3	0,28
$0,1 \text{ g} \leq a_g \leq 0,2 \text{ g}$	0,27	0,24
$a_g \leq 0,1 \text{ g}$	0,2	0,2

Per il sito in esame:  $\beta_s = 0,2$ .

L'accelerazione massima  $a_{max}$  è correlata ai coefficienti Stratigrafico  $Ss$  e Topografico  $St$ , secondo la seguente espressione:

$$a_{max} = Ss \times St \times a_g$$

dove:  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima per il sito e per terreno rigido (tipo A);

Il Coeff. Stratigrafico  $Ss = 1,7 - 0,6 \times Fo \times a_g/g$ , deve essere compreso tra 1,0 e 1,5 (v. par. 6.1).

Per il sito in oggetto è:

$$Ss = 1,7 - 0,6 \times 2,559 \times 0,084/9,81 = 1,6868, \text{ che si pone } = 1,5$$

$$St = 1,2 \quad (\text{vedi par. 6.1})$$

$$a_g = 0,084$$

Pertanto,  $a_{max} = Ss \times St \times a_g = 1,5 \times 1,2 \times 0,084 = 0,1512$ , e quindi:

$$Kh = \beta_s \times a_{max}/g = 0,2 \times 0,1512 / 9,81 = 0,003082$$

$$Kv = \pm 0,5 Kh = \pm 0,001541$$

## 9 – VERIFICHE DELLA STABILITÀ

### 9.1 – Generalità sui metodi di analisi della stabilità e su quello utilizzato

I terreni sono dei sistemi multifase (solido/liquido/gas), caratterizzati spesso da spiccata anisotropia, la cui trattazione matematica è alquanto complessa. Per la verifica della stabilità di un pendio, naturale o artificiale, pertanto, sono state introdotte dagli studiosi delle ipotesi semplificative.

#### *Metodo dell'equilibrio limite (LEM)*

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb; da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza  $F = \tau_f / \tau$ . Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu, ecc.).

#### *Metodo dell'equilibrio limite dei conci*

Il metodo delle strisce o dei conci, inizialmente dovuto a PETERSON (1916), fu successivamente sviluppato da FELLENIUS per rotture circolari e poi perfezionato da BISHOP (1960) e da altri autori. Questo metodo consiste nell'ipotizzare delle potenziali superfici di scorrimento (circolari o di altra forma) che, intersecando una sezione del pendio, definiscono un'area che viene suddivisa in strisce verticali. Per ciascuna sezione, il peso della massa di terreno, considerato nel suo baricentro, genera una forza normale ed una tangente alla superficie di scorrimento. Nel metodo di Fellenius, considerato più semplificato ma da alcuni anche più cautelativo, per ciascuna di queste strisce si trascurano le forze agenti sulle superfici verticali, ponendole uguali a zero. A queste forze si sommano quelle generate dall'azione sismica. La somma di tutte le forze di taglio (forza destabilizzante), deve essere compensata dalla resistenza al taglio opposta dal terreno. Il coefficiente di sicurezza ( $F$ ) è dato dal rapporto tra forze stabilizzanti e forze destabilizzanti.

#### *Valutazione dell'azione sismica*

La stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene verificata con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

Essendo:

- $F_H, F_V$ : rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- $W$ : peso concio
- $K_x = K_h$ : Coefficiente sismico orizzontale

### *I metodi di analisi utilizzati*

In questa verifica di stabilità sono stati utilizzati due metodi: quello di FELLENIUS, utilizzato per superfici di scorrimento circolari, e quello di MORGENSTERN e PRICE, utilizzato per superfici di forma generica.

Con il *Metodo di FELLENIUS (1927)* (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia, pertanto le incognite si riducono a:

$n$  valori delle forze normali  $N_i$ ;

$n$  valori delle forze da taglio  $T_i$ ;

$1$  fattore di sicurezza.

*Incognite (2n+1)*

Le equazioni a disposizione sono:

$n$  equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;

$n$  equazioni relative al criterio di rottura;

$1$  equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \varphi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

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

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

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

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

Una seconda equazione, detta "equazione dei momenti", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzzeria della base:

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

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento. Il metodo di calcolo, che implica l'uso di un calcolatore, soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma.

## 9.2 - Caratteristiche geotecniche dei terreni interessati

L'affioramento interessato dall'attività di estrazione è costituito da Conglomerati prevalenti con intercalazioni di Arenarie che passano, verso il basso, ad Arenarie prevalenti con intercalazioni sabbiose. I lavori minerari, tuttavia, non interessano queste ultime e nell'analisi di stabilità esse non sono coinvolte. Poichè non può essere esclusa la presenza di sottili intercalazioni sabbiose nei livelli conglomeratici, nella verifica di stabilità abbiamo considerato anche tale ipotesi e a tale scopo sono state definite le caratteristiche geotecniche di tali sabbie, in modo ampiamente cautelativo (si tratta in genere di sabbie addensate e debolmente cementate), sulla base di dati di letteratura.

Nella seguente tabella riassumiamo i dati geotecniche dei terreni interessati alla verifica:

Conglomerati e Arenarie		
$\gamma'$	2,8 g/cm <sup>3</sup>	bagnati
c'	0,914 MPa	9.320 Kg/cm <sup>2</sup>
$\phi'$	50,3°	su roccia intatta
$\phi_R$	47,7°	residuo su giunto
livelli sabbiosi		
$\gamma'$	2,3 g/cm <sup>3</sup>	
c'	0	
$\phi'$	30°	

### 9.3 – Coefficienti parziali

Le verifiche sono state effettuate secondo l'Approccio 1: – Combinazione 2 : (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.8.I delle NTC 2008 che si riportano qui di seguito.

**Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.**

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali (1)	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{c_u}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_r$	1,0	1,0

**Tabella 6.8.I – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo**

Coefficiente	R2
$\gamma_R$	1,1

Nella tabella che segue si riportano tutti i parametri utilizzati nelle verifiche, corretti secondo i coefficienti parziali dell'approccio scelto.

roccia/terreno	Azioni / parametro	grandezza	Valore	Coeff. parziale	Valore corretto
ammasso roccioso (conglomerati + arenarie)	Peso unità di volume	$\gamma'$	2800 Kg/m <sup>3</sup>	1	2800 Kg/m <sup>3</sup>
	Coesione efficace	$c'$	93.200 Kg/m <sup>2</sup>	1,25	74.560 Kg/m <sup>2</sup>
	angolo resistenza al taglio	$\phi'$	50,3 gradi	1,25	43,93 gradi
	angolo residuo di resistenza al taglio su giunto	$\phi_R$	47,74 gradi	1,25	41,36 gradi
	Coefficiente di sicurezza	$\gamma_R$	$\geq 1$		1,1
livelli sabbiosi intercalati	Peso unità di volume	$\gamma'$	2300 Kg/m <sup>3</sup>	1	2300 Kg/m <sup>3</sup>
	Coesione efficace	$c'$	0 Kg/m <sup>2</sup>	1,25	0 Kg/m <sup>2</sup>
	angolo resistenza al taglio	$\phi'$	30 gradi	1,25	24,8 gradi

#### **9.4 – Caratteristiche delle sezioni scelte per la verifica**

Il metodo di coltivazione è per fette discendenti e determina, nella fase finale (vedi Tav.3), la creazione di un ampio piazzale a quota 560 m s.l.m., di forma circa trapezoidale, e di un secondo piazzale minore a quota 570 m s.l.m., di forma quadrangolare, posto nell'angolo meridionale della cava, tra due gradonature che si fronteggiano. Il piazzale principale è delimitato da una gradonatura che si sviluppa da quota 560 m a quota 640 m, per un dislivello complessivo di 80 m, suddiviso in 8 scarpate di 10 m di altezza massima ciascuna, che presentano un'inclinazione di 40° (rispetto all'orizzontale) e risultano separate da pedate di 10 m di ampiezza.

Per la verifica di stabilità è stato preso in considerazione lo stato finale dei lavori (Tav. 3) e dato che la cava non presenta ovunque la stessa altezza, è stata utilizzata parte della sezione D-D' di progetto (Tav. 3) che risulta quasi ortogonale al fronte e presenta il massimo dislivello dell'intero fronte di cava. Dato che la stratificazione dei conglomerati e arenarie immerge di circa 22° verso Ovest e non presenta, rispetto alla geometria della sezione D-D', la massima pendenza a franapoggio, si è adottato per la verifica una inclinazione superiore a quella naturale riscontrabile lungo detta sezione e, inoltre, superiore alla pendenza massima (di 22°) riscontrata nel sito. Infine, oltre al fronte di cava nella sua interezza, si è anche scelto di verificare la singola "scarpata tipo".

#### **9.5 – Scelta delle superfici potenziali di scorrimento**

La scelta delle superfici di potenziale scorrimento sono una diretta conseguenza del percorso di lavoro seguito nella presente relazione. Secondo quanto esposto nel par. 4, nel quale si è calcolato un Indice SRMR = 68, per valori di quest'indice inferiori a 40, l'autore (Robertson) ritiene che l'ammasso roccioso, fortemente e omogeneamente fratturato, alla scala dell'ammasso si rompe lungo superfici circolari o mistilinee. Per valori superiori a 40, invece, la stabilità della scarpata o versante roccioso è governata dalle caratteristiche di resistenza al taglio e di orientamento delle discontinuità presenti.

Date le caratteristiche dell'ammasso roccioso descritte in precedenza, che presenta uno stato di fratturazione moderato, con delle discontinuità tettoniche aperte e altre cementate o parzialmente cementate, ma anche dei giunti di stratificazione che, come le suddette fratture, potrebbero essere in taluni casi aperti, si è ritenuto opportuno eseguire la verifica di stabilità simulandone la presenza nelle condizioni potenzialmente più critiche.

Sebbene sia poco probabile che uno scorrimento avvenga lungo superfici diverse da quelle di discontinuità già esistenti, come fratture di origine tettonica e giunti di strato, è stata presa in considerazione anche la possibilità che l'ammasso roccioso si fratturi lungo superfici di tipo

circolare.

### 9.6 – Presenza di falda idrica

Non ci sono evidenze della sua esistenza (vedi cap.2) e comunque, per ragioni topografiche e geologiche, non potrebbe raggiungere le quote dei lavori di estrazione.

### 9.7 – Relazioni di verifica e calcoli

Le verifiche, eseguite in osservanza del D. M. 14 Gennaio 2008 (Norme Tecniche per le Costruzioni), sono state effettuate su quattro configurazioni:

- A) Intero fronte (sezione D-D'), per potenziali rotture circolari su roccia integra.
- B) Intero fronte (sezione D-D'), per scorrimento su superfici planari (giunto di strato + frattura).
- C) Intero fronte (sezione D-D'), per scorrimento su superfici planari (strato di sabbia + frattura).
- D) Gradone tipo (scarpa a 40°); per scorrimento su superfici planari (giunto di strato + frattura).
- E) Gradone tipo (scarpa a 40°); per scorrimento su superfici planari (strato di sabbia + frattura).

La pendenza della stratificazione (e quindi anche dello strato di sabbia) è stata considerata nelle condizioni più gravose e con angoli simili o superiori a quelli riscontrati in campagna. Per ogni configurazione è stata prodotta una relazione di calcolo contenente tutti gli elementi di valutazione.

### CALCOLI

#### Verifica configurazione A) – Intero Fronte di Cava - Sezione D-D' Superficie circolare passante per la testa ed il piede del pendio.

#### Analisi di stabilità dei pendii con FELLENIUS

Numero di strati	1,0
Numero dei conci	50,0
Zona Sismica	2
Categoria profilo stratigrafico	C
Coefficiente di amplificazione topografica ST	1,2
Coefficiente azione sismica Kx	0,003
Coefficiente azione sismica Ky	0,002
Superficie di forma circolare	

#### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	(m)	198,65
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	(m)	149,17
Ascissa vertice destro superiore xs	(m)	222,2
Ordinata vertice destro superiore ys	(m)	170,9
Passo di ricerca		10,0
Numero di celle lungo x		10,0
Numero di celle lungo y		10,0

#### Vertici profilo

N	X (m)	y (m)
1	12,25	3,79
2	22,37	5,69
3	32,5	7,8
4	42,2	9,69
5	49,79	11,59
6	56,54	13,7
7	138,17	13,7
8	150,19	23,61
9	160,31	23,61

10	172,14	33,74
11	182,46	33,74
12	194,69	43,86
13	204,82	43,86
14	217,05	53,78
15	227,17	53,78
16	239,2	63,9
17	249,12	63,9
18	261,55	73,81
19	271,47	73,81
20	283,49	83,73
21	293,61	83,73
22	305,85	92,16
23	318,5	93,64
24	319,98	95,33
25	321,24	97,22
26	322,72	99,33
27	323,99	101,44
28	325,88	103,55
29	328,41	105,45
30	331,58	107,56
31	335,59	107,56
32	339,8	105,45
33	344,44	103,34
34	346,13	101,44
35	349,93	99,33
36	353,3	97,44
37	358,16	95,54
38	363,64	93,43

#### Stratigrafia

c: coesione, Fi: Angolo di attrito, G: Peso Specifico, Gs: Peso Specifico Saturo, K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	9,120	50,3	2800		0,00	

#### Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato		5,11
Ascissa centro superficie	(m)	209,25
Ordinata centro superficie	(m)	163,29
Raggio superficie	(m)	152,65

B: Larghezza del conico; Alfa: Angolo di inclinazione della base del conico; Li: Lunghezza della base del conico; Wi: Peso del conico; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento, Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento, Fi: Angolo di attrito; c: coesione

Analisi dei conici: superficie...xc = 209,248 yc = 163,29 Rc = 152,651 Fs=5,1113

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	Ni (Kg)	Ti (Kg)
1	0,87	-22,9	0,95	1329,18	7,46	43,94	0,0	1228,08	-514,36
2	7,09	-21,3	7,61	50049,93	7,46	43,94	0,0	46768,43	-18067,79
3	3,98	-19,1	4,21	50807,96	7,46	43,94	0,0	48152,59	-16493,56
4	3,98	-17,5	4,17	92995,84	7,46	43,94	0,0	88932,92	-27762,39
5	3,98	-16,0	4,14	143680,5	7,46	43,94	0,0	138522,5	-39144,0
6	3,12	-14,6	3,13	147363,7	7,46	43,94	0,0	143002,8	-36714,14
7	4,84	-13,1	4,96	259319,1	7,46	43,94	0,0	253290,8	-57848,91
8	3,98	-11,4	4,06	223999,3	7,46	43,94	0,0	220176,2	-43494,86
9	3,98	-9,8	4,04	238578,7	7,46	43,94	0,0	235655,5	-40101,83
10	3,98	-8,3	4,02	282364,4	7,46	43,94	0,0	280062,7	-40098,72
11	5,58	-6,5	5,62	467837,0	7,46	43,94	0,0	465894,5	-51779,79
12	2,17	-5,0	2,18	216998,7	7,46	43,94	0,0	216654,5	-18353,45
13	3,98	-3,8	3,99	366363,7	7,46	43,94	0,0	366350,6	-23365,44
14	3,98	-2,3	3,98	368750,9	7,46	43,94	0,0	369227,3	-13902,17
15	3,98	-0,8	3,98	389825,6	7,46	43,94	0,0	390580,6	-4532,94
16	3,98	0,7	3,98	425823,7	7,46	43,94	0,0	426632,8	6151,27
17	4,07	2,2	4,07	471097,6	7,46	43,94	0,0	471649,2	19215,02
18	3,89	3,7	3,9	466723,8	7,46	43,94	0,0	466613,2	31203,8
19	3,98	5,1	4,0	473759,1	7,46	43,94	0,0	472667,7	43887,74
20	3,98	6,6	4,01	469184,3	7,46	43,94	0,0	466801,8	55689,75
21	3,98	8,2	4,02	498293,1	7,46	43,94	0,0	494033,0	72134,68

22	3,98	9,7	4,04	528681,2	7,46	43,94	0,0	521956,5	90303,59
23	2,34	10,9	2,38	324214,5	7,46	43,94	0,0	318853,1	62083,5
24	5,62	12,4	5,76	782266,1	7,46	43,94	0,0	765059,8	170191,5
25	3,98	14,2	4,11	541120,4	7,46	43,94	0,0	525132,1	134724,9
26	3,98	15,8	4,14	542461,8	7,46	43,94	0,0	522589,5	149190,3
27	3,98	17,3	4,17	565195,1	7,46	43,94	0,0	540053,5	170160,9
28	4,8	19,1	5,08	710009,8	7,46	43,94	0,0	671628,3	234168,1
29	3,16	20,7	3,38	471927,7	7,46	43,94	0,0	441926,8	167923,3
30	3,98	22,1	4,3	578785,6	7,46	43,94	0,0	536635,9	219471,0
31	3,98	23,7	4,35	560044,1	7,46	43,94	0,0	513029,2	226945,6
32	3,98	25,4	4,4	569136,1	7,46	43,94	0,0	514518,7	245451,9
33	3,98	27,0	4,47	583867,1	7,46	43,94	0,0	520285,0	266999,0
34	2,86	28,5	3,25	427720,8	7,46	43,94	0,0	376062,1	205155,8
35	5,1	30,2	5,9	747630,8	7,46	43,94	0,0	646272,9	378096,4
36	3,98	32,2	4,7	552814,6	7,46	43,94	0,0	467850,4	295968,3
37	3,98	34,0	4,8	531177,4	7,46	43,94	0,0	440457,5	298202,1
38	3,98	35,8	4,91	530844,4	7,46	43,94	0,0	430464,8	311831,6
39	5,32	38,0	6,75	705613,2	7,46	43,94	0,0	555916,6	435989,2
40	2,64	39,9	3,44	340712,4	7,46	43,94	0,0	261241,8	219343,6
41	3,98	41,5	5,32	486596,8	7,46	43,94	0,0	363942,8	323811,3
42	3,98	43,6	5,49	451074,9	7,46	43,94	0,0	326518,3	311901,6
43	2,06	45,2	2,92	218442,2	7,46	43,94	0,0	153892,0	155336,5
44	1,48	46,1	2,13	153131,5	7,46	43,94	0,0	106062,4	110658,2
45	1,27	46,8	1,85	132494,9	7,46	43,94	0,0	90510,3	96931,55
46	1,48	47,6	2,19	156737,1	7,46	43,94	0,0	105539,1	116072,4
47	1,27	48,4	1,91	136424,9	7,46	43,94	0,0	90497,78	102248,9
48	1,9	49,3	2,91	206235,3	7,46	43,94	0,0	134348,2	156704,1
49	2,53	50,6	3,99	270529,4	7,46	43,94	0,0	171533,8	209477,3
50	19,86	58,5	37,97	1354321,0	7,46	43,94	0,0	706303,0	1156433,0

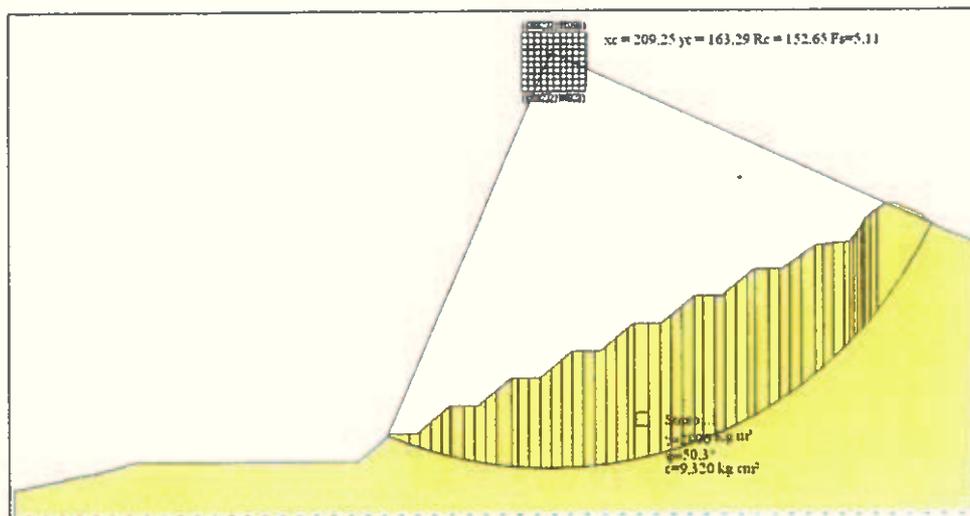


Fig. 14 – Fronte di cava intero lungo la sezione D-D'. Superficie di rottura circolare.

**Verifica configurazione B) – Intero Fronte Cava - Sezione D-D'**  
**Superficie planare composta (giunto di strato + frattura).**

**Analisi di stabilità dei pendii con MORGENSTERN-PRICE**

Numero di strati	1,0
Numero dei conci	50,0
Zona Sismica	2
Categoria profilo stratigrafico	C
Coefficiente di amplificazione topografica ST	1,2
Coefficiente azione sismica Kx	0,003
Coefficiente azione sismica Ky	0,002
Superficie di forma generica	

**Vertici profilo**

N	X (m)	y (m)
1	12,25	3,79

2	22,37	5,69
3	32,5	7,8
4	42,2	9,69
5	49,79	11,59
6	56,54	13,7
7	138,17	13,7
8	150,19	23,61
9	160,31	23,61
10	172,34	33,74
11	182,46	33,74
12	194,69	43,86
13	204,82	43,86
14	217,05	53,78
15	227,17	53,78
16	239,2	63,9
17	249,32	63,9
18	261,55	73,81
19	271,47	73,81
20	283,49	83,73
21	293,61	83,73
22	305,85	92,16
23	318,5	93,64
24	319,98	95,33
25	321,24	97,22
26	322,72	99,33
27	323,99	101,44
28	325,88	103,55
29	328,41	105,45
30	331,58	107,56
31	335,59	107,56
32	339,8	105,45
33	344,44	103,34
34	346,13	101,44
35	349,93	99,33
36	353,3	97,44
37	358,36	95,54
38	363,64	93,43

**Vertici superficie Nr...1**

N	X (m)	y (m)
1	138,72	14,27
2	139,41	14,18
3	333,24	96,56
4	335,46	107,64

**Vertici superficie Nr...2**

N	X (m)	y (m)
1	138,8	14,34
2	139,4	14,12
3	339,67	79,29
4	346,23	101,5

**Vertici superficie Nr...3**

N	X (m)	y (m)
1	138,79	14,33
2	139,38	14,06
3	344,57	61,53
4	358,0	95,78

**Stratigrafia**

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	0,0	47,7	2800		0,00	

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

**Fattore di sicurezza**

Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza=1,96

Superficie Nr...2 Fattore di sicurezza=2,41

Superficie Nr...3 Fattore di sicurezza=3,08

Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza=1,96

Lambda = 0,491

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)
1	3,93	18,98	4,16	10405,9
2	3,93	23,03	4,27	29460,37
3	3,93	23,03	4,27	46757,48
4	3,93	23,03	4,27	42144,66
5	3,93	23,03	4,27	23744,09
6	3,93	23,03	4,27	6768,35
7	3,93	23,03	4,27	24824,96
8	3,93	23,03	4,27	42881,52
9	3,93	23,03	4,27	60938,11
10	3,93	23,03	4,27	43206,73
11	3,93	23,03	4,27	24806,21
12	3,93	23,03	4,27	20986,7
13	3,93	23,03	4,27	38414,68
14	3,93	23,03	4,27	55842,7
15	3,93	23,03	4,27	62669,39
16	3,93	23,03	4,27	44268,87
17	3,93	23,03	4,27	25868,34
18	3,93	23,03	4,27	32769,45
19	3,93	23,03	4,27	49451,05
20	3,93	23,03	4,27	66132,65
21	3,93	23,03	4,27	61409,27
22	3,93	23,03	4,27	43008,75
23	3,93	23,03	4,27	25900,89
24	3,93	23,03	4,27	43957,48
25	3,93	23,03	4,27	62014,11
26	3,93	23,03	4,27	80070,7
27	3,93	23,03	4,27	62471,4
28	3,93	23,03	4,27	44070,83
29	3,93	23,03	4,27	39820,25
30	3,93	23,03	4,27	56501,89
31	3,93	23,03	4,27	73183,45
32	3,93	23,03	4,27	79612,02
33	3,93	23,03	4,27	61211,57
34	3,93	23,03	4,27	42811,05
35	3,93	23,03	4,27	51940,8
36	3,93	23,03	4,27	69237,82
37	3,93	23,03	4,27	86534,84
38	3,93	23,03	4,27	78352,36
39	3,93	23,03	4,27	59951,92
40	3,93	23,03	4,27	45703,58
41	3,93	23,03	4,27	57160,11
42	3,93	23,03	4,27	68616,73
43	3,93	23,03	4,27	79379,09
44	3,93	23,03	4,27	66029,45
45	3,93	23,03	4,27	52679,74
46	3,93	23,03	4,27	39330,2
47	3,93	23,03	4,27	68314,49
48	3,93	23,03	4,27	109374,3
49	3,93	23,03	4,27	123461,7
50	3,93	71,47	12,37	64577,52

**Sforzi sui conci**

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	472,47	962,8	0,0	0,0	9716,23	4363,82	0,0
2	724,77	1476,93	472,47	962,8	27101,61	12172,04	0,0
3	1125,2	2292,92	724,77	1476,93	43013,82	19318,63	0,0
4	1486,13	3028,41	1125,2	2292,92	38770,33	17412,77	0,0
5	1689,47	3442,78	1486,13	3028,41	21843,01	9810,27	0,0
6	1747,44	3560,9	1689,47	3442,78	6226,44	2796,46	0,0
7	1960,04	3994,13	1747,44	3560,9	22837,33	10256,84	0,0
8	2327,27	4742,48	1960,04	3994,13	39448,19	17717,21	0,0
9	2849,14	5805,94	2327,27	4742,48	56059,07	25177,6	0,0
10	3219,16	6559,96	2849,14	5805,94	39747,36	17851,58	0,0
11	3431,61	6992,87	3219,16	6559,96	22820,09	10249,1	0,0

12	3611,33	7359,11	3431,61	6992,87	19306,39	8671,0	0,0
13	3940,32	8029,52	3611,33	7359,11	35339,0	15871,67	0,0
14	4418,57	9004,09	3940,32	8029,52	51371,63	23072,34	0,0
15	4955,25	10097,73	4418,57	9004,09	57651,72	25892,9	0,0
16	5334,38	10870,31	4955,25	10097,73	40724,46	18290,42	0,0
17	5555,91	11321,74	5334,38	10870,31	23797,17	10687,93	0,0
18	5836,55	11893,63	5555,91	11321,74	30145,75	13539,25	0,0
19	6260,04	12756,6	5836,55	11893,63	45491,71	20431,52	0,0
20	6826,41	13910,74	6260,04	12756,6	60837,71	27323,81	0,0
21	7352,33	14982,45	6826,41	13910,74	56492,51	25372,27	0,0
22	7720,64	15733,0	7352,33	14982,45	39565,22	17769,78	0,0
23	7942,46	16185,02	7720,64	15733,0	23827,12	10701,38	0,0
24	8318,9	16952,12	7942,46	16185,02	40437,99	18161,76	0,0
25	8850,0	18034,39	8318,9	16952,12	57048,92	25622,16	0,0
26	9535,74	19431,77	8850,0	18034,39	73659,8	33082,54	0,0
27	10070,73	20521,96	9535,74	19431,77	57469,59	25811,1	0,0
28	10448,16	21291,08	10070,73	20521,96	40542,29	18208,6	0,0
29	10789,17	21985,99	10448,16	21291,08	36632,01	16452,4	0,0
30	11273,08	22972,1	10789,17	21985,99	51978,05	23344,71	0,0
31	11899,9	24249,42	11273,08	22972,1	67324,02	30236,98	0,0
32	12581,77	25638,93	11899,9	24249,42	73237,89	32893,05	0,0
33	13106,0	26707,19	12581,77	25638,93	56310,64	25290,59	0,0
34	13472,67	27454,39	13106,0	26707,19	39383,39	17688,11	0,0
35	13917,54	28360,95	13472,67	27454,39	47782,16	21460,22	0,0
36	14510,51	29569,28	13917,54	28360,95	63694,27	28606,76	0,0
37	15251,68	31079,62	14510,51	29569,28	79606,44	35753,33	0,0
38	15922,76	32447,15	15251,68	31079,62	72079,09	32372,6	0,0
39	16436,2	33493,43	15922,76	32447,15	55151,84	24770,14	0,0
40	16827,65	34291,12	16436,2	33493,43	42044,32	18883,21	0,0
41	17317,18	35288,67	16827,65	34291,12	52583,56	23616,65	0,0
42	17904,88	36486,28	17317,18	35288,67	63122,93	28350,16	0,0
43	18584,76	37871,73	17904,88	36486,28	73023,6	32796,81	0,0
44	19150,25	39024,07	18584,76	37871,73	60742,78	27281,17	0,0
45	19601,45	39943,52	19150,25	39024,07	48461,94	21765,53	0,0
46	19938,31	40629,97	19601,45	39943,52	36181,23	16249,94	0,0
47	20523,37	41822,19	19938,31	40629,97	62844,86	28225,27	0,0
48	21460,16	43731,16	20523,37	41822,19	100617,3	45189,85	0,0
49	22517,6	45886,01	21460,16	43731,16	113576,8	51010,3	0,0
50	0,03	0,05	22517,6	45886,01	-15968,82	-7172,02	0,0

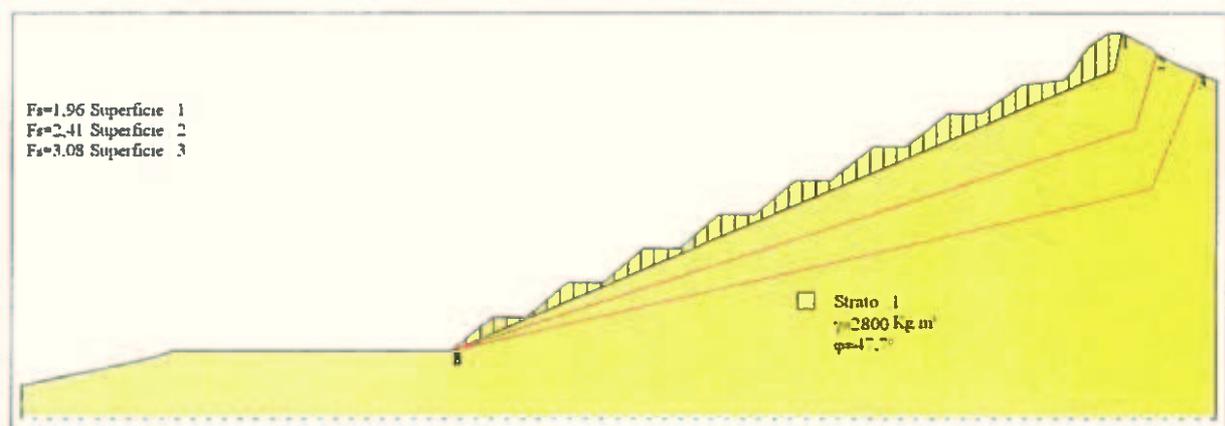


Fig. 15 – Fronte di cava intero. Superfici composte da possibili piani di stratificazione e da fratture subverticali; il giunto di strato della superficie critica (n° 1) ha un angolo di 23° rispetto all'orizzontale; punto di vincolo alla base del pendio.

**Verifica configurazione C) - Intero Fronte di Cava - Sezione D-D'**  
**Superficie planare composta (strato di sabbia inclinato di 22° + frattura).**

**Analisi di stabilità dei pendii con MORGENSTERN-PRICE**

Numero di strati	4,0
Numero dei conci	50,0
Zona Sismica	2
Categoria profilo stratigrafico	C
Coefficiente di amplificazione topografica ST	1,2
Coefficiente azione sismica Kx	0,003
Coefficiente azione sismica Ky	0,002

Superficie di forma generica

Vertici profilo

N	X (m)	y (m)
1	-188,88	-19,9
2	-179,23	-18,2
3	-169,21	-16,5
4	-159,75	-14,23
5	-151,81	-12,52
6	-145,18	-10,63
7	-64,81	-10,63
8	-52,89	-0,23
9	-42,87	-0,23
10	30,76	9,61
11	-20,93	9,61
12	-8,82	19,44
13	1,2	19,44
14	12,93	29,46
15	22,95	29,46
16	35,25	39,49
17	45,08	39,49
18	57,0	49,32
19	67,02	49,32
20	78,75	59,35
21	88,77	59,35
22	100,5	67,29
23	112,98	68,81
24	114,5	70,7
25	116,01	72,78
26	117,52	74,86
27	119,22	76,94
28	120,55	78,45
29	123,2	80,34
30	126,6	82,23
31	130,19	82,23
32	134,16	80,53
33	138,89	78,83
34	140,6	76,75

Vertici strato .....1

N	X (m)	y (m)

Vertici strato .....2

N	X (m)	y (m)
1	-188,99	-60,12
2	140,92	72,58

Vertici strato .....3

N	X (m)	y (m)
1	-188,99	-63,81
2	140,92	68,89

Vertici superficie Nr...1

N	X (m)	y (m)
1	-63,98	9,79
2	-57,21	9,89
3	130,58	65,45
4	136,48	79,84

Stratigrafia

c. coesione, Fi: Angolo di attrito, G: Peso Specifico, Gs: Peso Specifico Saturo, K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	0	47,7	2800		0,00	conglomerati
2	0	30	2300		0,00	sabbie
3	0	47,7	2800		0,00	conglomerati

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

Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza=2,06  
 Lambda = 0,445

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)
1	4,01	-0,81	4,01	18239,83
2	4,01	7,31	4,04	52128,04
3	4,01	21,86	4,32	78353,65
4	4,01	21,86	4,32	69519,91
5	4,01	21,86	4,32	51486,63
6	4,01	21,86	4,32	43052,07
7	4,01	21,86	4,32	61522,72
8	4,01	21,86	4,32	79993,36
9	4,01	21,86	4,32	89664,33
10	4,01	21,86	4,32	71631,02
11	4,01	21,86	4,32	53597,73
12	4,01	21,86	4,32	64248,32
13	4,01	21,86	4,32	82718,98
14	4,01	21,86	4,32	101189,6
15	4,01	21,86	4,32	91775,43
16	4,01	21,86	4,32	73742,15
17	4,01	21,86	4,32	65747,55
18	4,01	21,86	4,32	86120,38
19	4,01	21,86	4,32	106493,2
20	4,01	21,86	4,32	114041,2
21	4,01	21,86	4,32	96007,91
22	4,01	21,86	4,32	77974,59
23	4,01	21,86	4,32	90399,32
24	4,01	21,86	4,32	108999,6
25	4,01	21,86	4,32	127599,8
26	4,01	21,86	4,32	118273,7
27	4,01	21,86	4,32	100240,4
28	4,01	21,86	4,32	93592,91
29	4,01	21,86	4,32	112642,9
30	4,01	21,86	4,32	131693,0
31	4,01	21,86	4,32	138418,1
32	4,01	21,86	4,32	120384,8
33	4,01	21,86	4,32	102351,5
34	4,01	21,86	4,32	116189,8
35	4,01	21,86	4,32	136562,6
36	4,01	21,86	4,32	156935,5
37	4,01	21,86	4,32	142650,6
38	4,01	21,86	4,32	124617,2
39	4,01	21,86	4,32	118754,9
40	4,01	21,86	4,32	131156,7
41	4,01	21,86	4,32	143558,4
42	4,01	21,86	4,32	144154,1
43	4,01	21,86	4,32	131566,6
44	4,01	21,86	4,32	118979,2
45	4,01	21,86	4,32	124451,8
46	4,01	21,86	4,32	166543,0
47	4,01	21,86	4,32	191576,0
48	4,01	21,86	4,32	199883,2
49	4,01	53,39	6,72	164411,8
50	4,01	67,7	10,56	63202,5

Sforzi sui conci

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-l (Kg)	Ei-l (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	4453,72	10018,61	0,0	0,0	13672,72	5833,82	0,0
2	11882,88	26730,46	4453,72	10018,61	46521,07	19849,4	0,0
3	12540,92	28210,72	11882,88	26730,46	72682,02	31011,63	0,0
4	13124,78	29524,1	12540,92	28210,72	64487,73	27515,33	0,0
5	13557,19	30496,8	13124,78	29524,1	47759,77	20377,92	0,0
6	13918,76	31310,14	13557,19	30496,8	39935,75	17039,6	0,0
7	14435,45	32472,44	13918,76	31310,14	57069,41	24350,11	0,0
8	15107,26	33983,69	14435,45	32472,44	74203,05	31660,62	0,0
9	15860,3	35677,64	15107,26	33983,69	83173,98	35488,29	0,0
10	16461,89	37030,9	15860,3	35677,64	66446,02	28350,88	0,0
11	16912,02	38043,48	16461,89	37030,9	49718,07	21213,47	0,0
12	17451,61	39257,27	16912,02	38043,48	59597,71	25428,88	0,0
13	18146,31	40820,0	17451,61	39257,27	76731,38	32739,39	0,0

14	18996,14	42731,69	18146,31	40820,0	93865,02	40049,9	0,0
15	19766,91	44465,53	18996,14	42731,69	85132,28	36323,85	0,0
16	20386,23	45858,68	19766,91	44465,53	68404,33	29186,45	0,0
17	20938,4	47100,78	20386,23	45858,68	60988,42	26022,26	0,0
18	21661,67	48727,77	20938,4	47100,78	79886,57	34085,63	0,0
19	22556,06	50739,7	21661,67	48727,77	98784,73	42149,02	0,0
20	23513,82	52894,17	22556,06	50739,7	105786,3	45136,42	0,0
21	24320,13	54707,95	23513,82	52894,17	89058,38	37999,02	0,0
22	24974,98	56181,05	24320,13	54707,95	72330,41	30861,6	0,0
23	25734,21	57888,92	24974,98	56181,05	83855,79	35779,2	0,0
24	26649,6	59948,1	25734,21	57888,92	101109,7	43141,0	0,0
25	27721,26	62358,78	26649,6	59948,1	118363,5	50502,81	0,0
26	28714,56	64593,21	27721,26	62358,78	109712,4	46811,59	0,0
27	29556,42	66486,96	28714,56	64593,21	92984,47	39674,18	0,0
28	30342,46	68255,16	29556,42	66486,96	86818,21	37043,2	0,0
29	31288,46	70383,16	30342,46	68255,16	104489,3	44583,0	0,0
30	32394,49	72871,18	31288,46	70383,16	122160,5	52122,86	0,0
31	33557,0	75486,24	32394,49	72871,18	128398,7	54784,58	0,0
32	34568,01	77760,51	33557,0	75486,24	111670,8	47647,16	0,0
33	35427,62	79694,18	34568,01	77760,51	94942,8	40509,76	0,0
34	36403,4	81889,2	35427,62	79694,18	107779,4	45986,8	0,0
35	37550,32	84469,2	36403,4	81889,2	126677,6	54050,21	0,0
36	38868,36	87434,1	37550,32	84469,2	145575,7	62113,58	0,0
37	40066,36	90129,01	38868,36	87434,1	132324,8	56459,74	0,0
38	41112,96	92483,34	40066,36	90129,01	115596,9	49322,34	0,0
39	42110,34	94726,91	41112,96	92483,34	110158,8	47002,07	0,0
40	43211,81	97204,68	42110,34	94726,91	121662,9	51910,56	0,0
41	44417,49	99916,85	43211,81	97204,68	133167,0	56819,09	0,0
42	45628,13	102640,2	44417,49	99916,85	133719,5	57054,83	0,0
43	46733,09	105125,8	45628,13	102640,2	122043,2	52072,84	0,0
44	47732,35	107373,6	46733,09	105125,8	110366,9	47090,85	0,0
45	48777,52	109724,7	47732,35	107373,6	115443,4	49256,86	0,0
46	50176,24	112871,1	48777,52	109724,7	154487,8	65916,15	0,0
47	51785,13	116490,3	50176,24	112871,1	177708,8	75823,96	0,0
48	53463,85	120266,6	51785,13	116490,3	185414,7	79111,89	0,0
49	19350,16	43528,05	53463,85	120266,6	56544,29	24126,06	0,0
50	0,11	0,26	19350,16	43528,05	9093,73	-3880,07	0,0

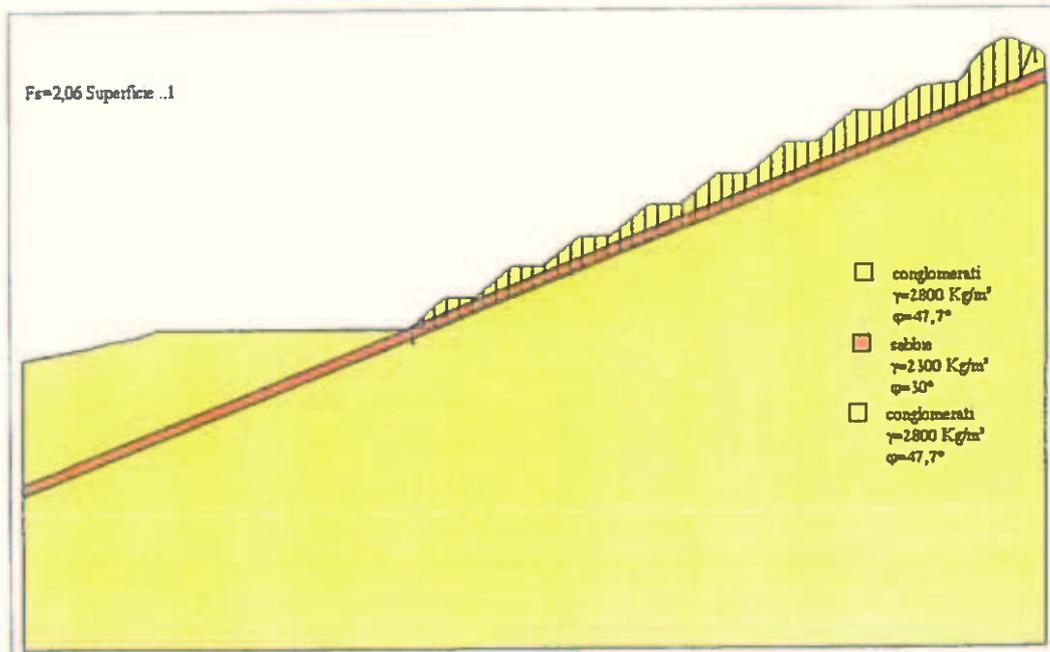


Fig. 16 - Fronte di cava intero Superficie composta da un piano passante per un livello di sabbie intercalate e da fratture subverticali; lo strato sabbioso ha un angolo di 23° rispetto all'orizzontale

**Verifica configurazione D) - Gradone tipo (scarpata a 40°)  
Superficie planare composta (giunto di strato + frattura).**

**Analisi di stabilità dei pendii con MORGENSTERN-PRICE**

Numero di strati	1,0
Numero dei conci	50,0
Zona Sismica	2
Categoria profilo stratigrafico	C
Coefficiente di amplificazione topografica ST	1,2
Coefficiente azione sismica Kx	0,003
Coefficiente azione sismica Ky	0,002
Superficie di forma generica	

**Vertici profilo**

N	X (m)	y (m)
1	-55,89	-19,06
2	-51,83	-19,06
3	-39,91	-9,05
4	-29,88	-9,05
5	-27,01	-6,64

**Vertici superficie Nr...1**

N	X (m)	y (m)
1	-51,83	-18,95
2	-51,77	-19,04
3	-39,58	-10,48
4	-39,27	-8,97

**Vertici superficie Nr...2**

N	X (m)	y (m)
1	-51,83	-18,94
2	-51,78	-19,05
3	-38,89	-11,58
4	-38,07	-8,97

**Vertici superficie Nr...3**

N	X (m)	y (m)
1	-51,84	-18,94
2	-51,79	-19,05
3	-38,3	-12,74
4	-36,77	-8,97

**Vertici superficie Nr...4**

N	X (m)	y (m)
1	-51,85	-18,95
2	-51,79	-19,05
3	-37,81	-13,94
4	-35,29	-8,98

**Stratigrafia**

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia	
1	0	47,7	2800		0,00		resistenza residua discontinuità

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

**Fattore di sicurezza**

Superficie Nr...1	Fattore di sicurezza=1,20
Superficie Nr...2	Fattore di sicurezza=1,42
Superficie Nr...3	Fattore di sicurezza=1,67
Superficie Nr...4	Fattore di sicurezza=1,93

Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza=1,20  
 Lambda = 0,812

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)
1	0,25	30,67	0,29	21,57
2	0,25	35,08	0,31	55,17
3	0,25	35,08	0,31	79,21
4	0,25	35,08	0,31	103,26
5	0,25	35,08	0,31	127,31
6	0,25	35,08	0,31	151,35
7	0,25	35,08	0,31	175,4
8	0,25	35,08	0,31	199,45
9	0,25	35,08	0,31	223,5
10	0,25	35,08	0,31	247,55
11	0,25	35,08	0,31	271,59
12	0,25	35,08	0,31	295,64
13	0,25	35,08	0,31	319,69
14	0,25	35,08	0,31	343,74
15	0,25	35,08	0,31	367,79
16	0,25	35,08	0,31	391,83
17	0,25	35,08	0,31	415,88
18	0,25	35,08	0,31	439,93
19	0,25	35,08	0,31	463,97
20	0,25	35,08	0,31	488,02
21	0,25	35,08	0,31	512,07
22	0,25	35,08	0,31	536,12
23	0,25	35,08	0,31	560,17
24	0,25	35,08	0,31	584,21
25	0,25	35,08	0,31	608,26
26	0,25	35,08	0,31	632,31
27	0,25	35,08	0,31	656,36
28	0,25	35,08	0,31	680,4
29	0,25	35,08	0,31	704,45
30	0,25	35,08	0,31	728,5
31	0,25	35,08	0,31	752,55
32	0,25	35,08	0,31	776,59
33	0,25	35,08	0,31	800,64
34	0,25	35,08	0,31	824,69
35	0,25	35,08	0,31	848,74
36	0,25	35,08	0,31	872,78
37	0,25	35,08	0,31	896,83
38	0,25	35,08	0,31	920,88
39	0,25	35,08	0,31	944,93
40	0,25	35,08	0,31	968,98
41	0,25	35,08	0,31	993,02
42	0,25	35,08	0,31	1017,07
43	0,25	35,08	0,31	1041,12
44	0,25	35,08	0,31	1065,17
45	0,25	35,08	0,31	1089,21
46	0,25	35,08	0,31	1113,26
47	0,25	35,08	0,31	1137,31
48	0,25	35,08	0,31	1161,36
49	0,25	55,54	0,44	975,32
50	0,25	78,35	1,24	423,97

Sforzi sui concil

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	1,79	2,21	0,0	0,0	18,14	13,28	0,0
2	2,56	3,15	1,79	2,21	45,06	32,99	0,0
3	3,66	4,51	2,56	3,15	64,7	47,37	0,0
4	5,09	6,27	3,66	4,51	84,34	61,75	0,0
5	6,86	8,45	5,09	6,27	103,98	76,13	0,0
6	8,96	11,04	6,86	8,45	123,62	90,51	0,0
7	11,4	14,04	8,96	11,04	143,26	104,89	0,0
8	14,17	17,46	11,4	14,04	162,9	119,27	0,0
9	17,28	21,28	14,17	17,46	182,55	133,65	0,0
10	20,71	25,52	17,28	21,28	202,19	148,04	0,0
11	24,49	30,17	20,71	25,52	221,83	162,42	0,0
12	28,59	35,23	24,49	30,17	241,47	176,8	0,0
13	33,03	40,7	28,59	35,23	261,11	191,18	0,0
14	37,81	46,58	33,03	40,7	280,75	205,56	0,0
15	42,92	52,87	37,81	46,58	300,39	219,94	0,0

16	48,36	59,58	42,92	52,87	320,03	234,32	0,0
17	54,14	66,69	48,36	59,58	339,68	248,7	0,0
18	60,25	74,22	54,14	66,69	359,32	263,08	0,0
19	66,69	82,16	60,25	74,22	378,96	277,46	0,0
20	73,47	90,52	66,69	82,16	398,6	291,84	0,0
21	80,59	99,28	73,47	90,52	418,24	306,22	0,0
22	88,03	108,45	80,59	99,28	437,88	320,61	0,0
23	95,82	118,04	88,03	108,45	457,52	334,99	0,0
24	103,93	128,04	95,82	118,04	477,16	349,37	0,0
25	112,38	138,45	103,93	128,04	496,81	363,75	0,0
26	121,16	149,27	112,38	138,45	516,45	378,13	0,0
27	130,28	160,5	121,16	149,27	536,09	392,51	0,0
28	139,73	172,14	130,28	160,5	555,73	406,89	0,0
29	149,52	184,2	139,73	172,14	575,37	421,27	0,0
30	159,64	196,66	149,52	184,2	595,01	435,65	0,0
31	170,09	209,54	159,64	196,66	614,65	450,03	0,0
32	180,88	222,83	170,09	209,54	634,3	464,41	0,0
33	192,0	236,54	180,88	222,83	653,94	478,79	0,0
34	203,46	250,65	192,0	236,54	673,58	493,17	0,0
35	215,25	265,17	203,46	250,65	693,22	507,55	0,0
36	227,37	280,11	215,25	265,17	712,86	521,94	0,0
37	239,83	295,46	227,37	280,11	732,5	536,32	0,0
38	252,62	311,22	239,83	295,46	752,14	550,7	0,0
39	265,75	327,39	252,62	311,22	771,78	565,08	0,0
40	279,21	343,97	265,75	327,39	791,43	579,46	0,0
41	293,0	360,96	279,21	343,97	811,07	593,84	0,0
42	307,13	378,37	293,0	360,96	830,71	608,22	0,0
43	321,59	396,18	307,13	378,37	850,35	622,6	0,0
44	336,39	414,41	321,59	396,18	869,99	636,98	0,0
45	351,52	433,05	336,39	414,41	889,63	651,36	0,0
46	366,99	452,1	351,52	433,05	909,27	665,74	0,0
47	382,78	471,57	366,99	452,1	928,91	680,13	0,0
48	398,92	491,44	382,78	471,57	948,56	694,51	0,0
49	180,49	222,35	398,92	491,44	452,3	331,16	0,0
50	0,0	0,0	180,49	222,35	-96,78	-70,86	0,0

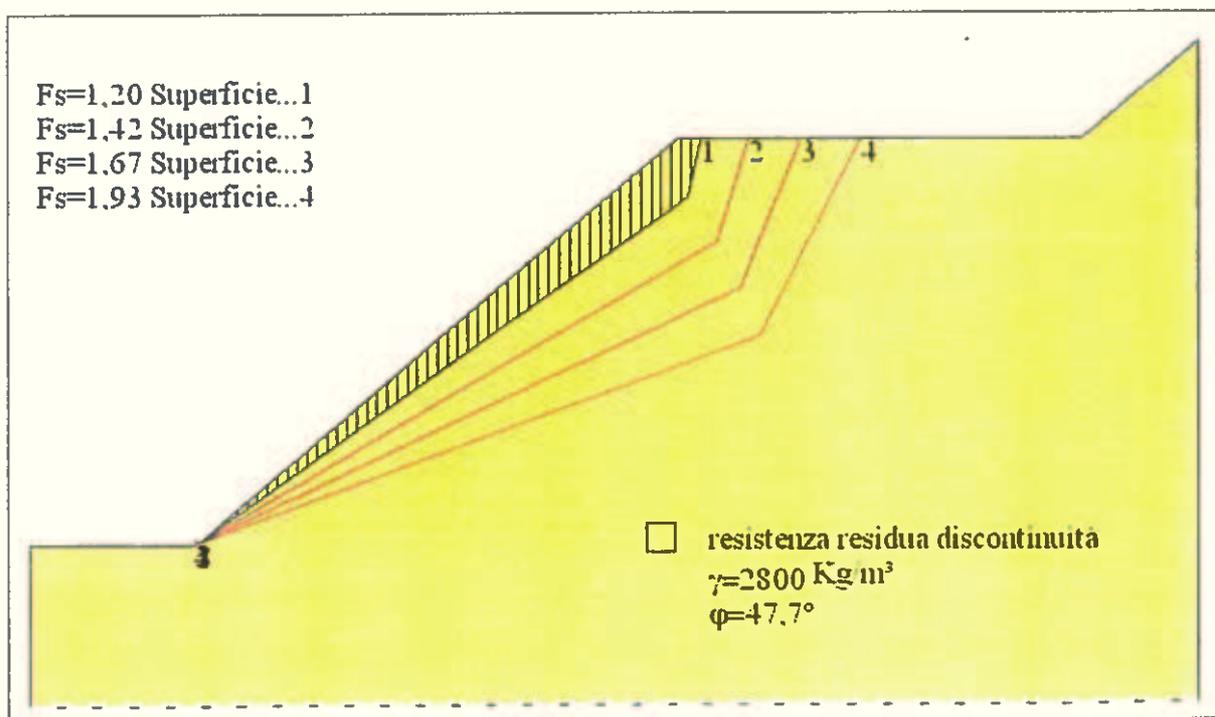


Fig. 17 - Gradone tipo. Superfici composte da possibili piani di stratificazione e da fratture subverticali, con punto di vincolo alla base del pendio; il giunto di strato della superficie critica (n° 1) ha un angolo di  $35^\circ$  rispetto all'orizzontale; l'inclinazione naturale riscontrata in campagna è quella compresa tra le superfici 3 e 4, rispettivamente di  $20^\circ$  e  $25^\circ$ .

**Verifica configurazione E) - Gradone tipo (scarpata a 40°)  
Superficie planare composta (strato di sabbia + frattura).**

**Analisi di stabilità dei pendii con MORGENSTERN-PRICE**

Numero di strati	4,0
Numero dei conci	50,0
Zona Sismica	2
Categoria profilo stratigrafico	C
Coefficiente di amplificazione topografica ST	1,2
Coefficiente azione sismica Kx	0,003
Coefficiente azione sismica Ky	0,002
Superficie di forma generica	

**Vertici profilo**

N	X (m)	y (m)
1	-55,89	-19,06
2	-51,83	-19,06
3	-39,91	-9,05
4	-29,88	-9,05
5	-27,01	-6,64

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

N	X (m)	y (m)

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

N	X (m)	y (m)
1	55,9	-20,79
2	-27,01	-8,69

**Vertici strato .....3**

N	X (m)	y (m)
1	55,9	-21,63
2	-27,01	-9,65

**Vertici superficie Nr...1**

N	X (m)	y (m)
1	-51,78	-18,9
2	-50,16	-18,99
3	-31,7	-11,39
4	-31,12	8,97

**Stratigrafia**

c: coesione, Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo, K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm²)	Fi (°)	G (Kg/m³)	Gs (Kg/m³)	K (Kg/cm³)	Litologia
1	0	47,7	2800		0,00	conglomerati e arenarie
2	0	30	2300		0,00	sabbie intercalate
3	0	47,7	2800		0,00	conglomerati e arenarie

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

Superficie Nr...1 Fattore di sicurezza=2,10  
Lambda = 0,476

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)
1	0,41	-3,37	0,41	211,62
2	0,41	-3,37	0,41	595,73
3	0,41	-3,37	0,41	978,79
4	0,41	6,78	0,41	1327,48
5	0,41	22,38	0,44	1585,15
6	0,41	22,38	0,44	1786,13
7	0,41	22,38	0,44	1987,12
8	0,41	22,38	0,44	2188,11

9	0,41	22,38	0,44	2389,1
10	0,41	22,38	0,44	2590,09
11	0,41	22,38	0,44	2791,08
12	0,41	22,38	0,44	2992,06
13	0,41	22,38	0,44	3193,05
14	0,41	22,38	0,44	3394,04
15	0,41	22,38	0,44	3595,03
16	0,41	22,38	0,44	3796,02
17	0,41	22,38	0,44	3997,01
18	0,41	22,38	0,44	4198,0
19	0,41	22,38	0,44	4398,98
20	0,41	22,38	0,44	4599,97
21	0,41	22,38	0,44	4800,96
22	0,41	22,38	0,44	5001,95
23	0,41	22,38	0,44	5202,94
24	0,41	22,38	0,44	5403,92
25	0,41	22,38	0,44	5604,91
26	0,41	22,38	0,44	5805,9
27	0,41	22,38	0,44	6006,89
28	0,41	22,38	0,44	6207,88
29	0,41	22,38	0,44	6408,87
30	0,41	22,38	0,44	6259,07
31	0,41	22,38	0,44	6064,52
32	0,41	22,38	0,44	5869,97
33	0,41	22,38	0,44	5675,42
34	0,41	22,38	0,44	5480,87
35	0,41	22,38	0,44	5286,32
36	0,41	22,38	0,44	5091,77
37	0,41	22,38	0,44	4897,22
38	0,41	22,38	0,44	4702,67
39	0,41	22,38	0,44	4508,12
40	0,41	22,38	0,44	4313,57
41	0,41	22,38	0,44	4119,02
42	0,41	22,38	0,44	3924,47
43	0,41	22,38	0,44	3729,92
44	0,41	22,38	0,44	3535,37
45	0,41	22,38	0,44	3340,82
46	0,41	22,38	0,44	3146,27
47	0,41	22,38	0,44	2951,73
48	0,41	22,38	0,44	2757,18
49	0,41	61,25	0,85	2289,69
50	0,41	76,44	1,75	976,21

**Sforzi sui conci**

Nr.	Xi (Kg)	Ei (Kg)	Xi-1 (Kg)	Ei-1 (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)	Ui (Kg)
1	64,06	134,58	0,0	0,0	139,87	58,58	0,0
2	244,38	513,42	64,06	134,58	393,74	164,92	0,0
3	540,65	1135,88	244,38	513,42	646,91	270,96	0,0
4	747,91	1571,31	540,65	1135,88	1165,94	488,35	0,0
5	750,22	1576,16	747,91	1571,31	1466,58	614,27	0,0
6	752,82	1581,63	750,22	1576,16	1652,54	692,16	0,0
7	755,72	1587,71	752,82	1581,63	1838,49	770,05	0,0
8	758,91	1594,41	755,72	1587,71	2024,45	847,93	0,0
9	762,39	1601,73	758,91	1594,41	2210,41	925,82	0,0
10	766,16	1609,65	762,39	1601,73	2396,36	1003,71	0,0
11	770,23	1618,2	766,16	1609,65	2582,32	1081,59	0,0
12	774,59	1627,36	770,23	1618,2	2768,27	1159,48	0,0
13	779,24	1637,14	774,59	1627,36	2954,23	1237,37	0,0
14	784,18	1647,52	779,24	1637,14	3140,18	1315,25	0,0
15	789,42	1658,53	784,18	1647,52	3326,14	1393,14	0,0
16	794,96	1670,16	789,42	1658,53	3512,09	1471,03	0,0
17	800,78	1682,4	794,96	1670,16	3698,05	1548,91	0,0
18	806,9	1695,24	800,78	1682,4	3884,0	1626,8	0,0
19	813,31	1708,71	806,9	1695,24	4069,96	1704,69	0,0
20	820,01	1722,8	813,31	1708,71	4255,91	1782,57	0,0
21	827,01	1737,5	820,01	1722,8	4441,87	1860,46	0,0
22	834,3	1752,81	827,01	1737,5	4627,82	1938,35	0,0
23	841,88	1768,74	834,3	1752,81	4813,78	2016,23	0,0
24	849,75	1785,28	841,88	1768,74	4999,73	2094,12	0,0
25	857,93	1802,45	849,75	1785,28	5185,69	2172,01	0,0
26	866,38	1820,22	857,93	1802,45	5371,64	2249,89	0,0
27	875,14	1838,61	866,38	1820,22	5557,6	2327,78	0,0
28	884,18	1857,61	875,14	1838,61	5743,55	2405,67	0,0

29	893,52	1877,24	884,18	1857,61	5929,51	2483,55	0,0
30	902,64	1896,4	893,52	1877,24	5790,91	2425,5	0,0
31	911,48	1914,97	902,64	1896,4	5610,91	2350,11	0,0
32	920,04	1932,95	911,48	1914,97	5430,92	2274,72	0,0
33	928,31	1950,32	920,04	1932,95	5250,91	2199,33	0,0
34	936,3	1967,1	928,31	1950,32	5070,92	2123,94	0,0
35	944,0	1983,28	936,3	1967,1	4890,92	2048,55	0,0
36	951,42	1998,87	944,0	1983,28	4710,92	1973,16	0,0
37	958,55	2013,86	951,42	1998,87	4530,92	1897,76	0,0
38	965,41	2028,26	958,55	2013,86	4350,93	1822,37	0,0
39	971,98	2042,06	965,41	2028,26	4170,93	1746,98	0,0
40	978,26	2055,27	971,98	2042,06	3990,93	1671,59	0,0
41	984,26	2067,88	978,26	2055,27	3810,93	1596,2	0,0
42	989,98	2079,9	984,26	2067,88	3630,94	1520,81	0,0
43	995,42	2091,31	989,98	2079,9	3450,94	1445,41	0,0
44	1000,57	2102,14	995,42	2091,31	3270,94	1370,02	0,0
45	1005,44	2112,37	1000,57	2102,14	3090,94	1294,63	0,0
46	1010,03	2122,0	1005,44	2112,37	2910,94	1219,24	0,0
47	1014,33	2131,04	1010,03	2122,0	2730,95	1143,85	0,0
48	1018,34	2139,48	1014,33	2131,04	2550,95	1068,46	0,0
49	385,54	809,99	1018,34	2139,48	236,39	99,01	0,0
50	0,0	0,0	385,54	809,99	-470,43	197,04	0,0

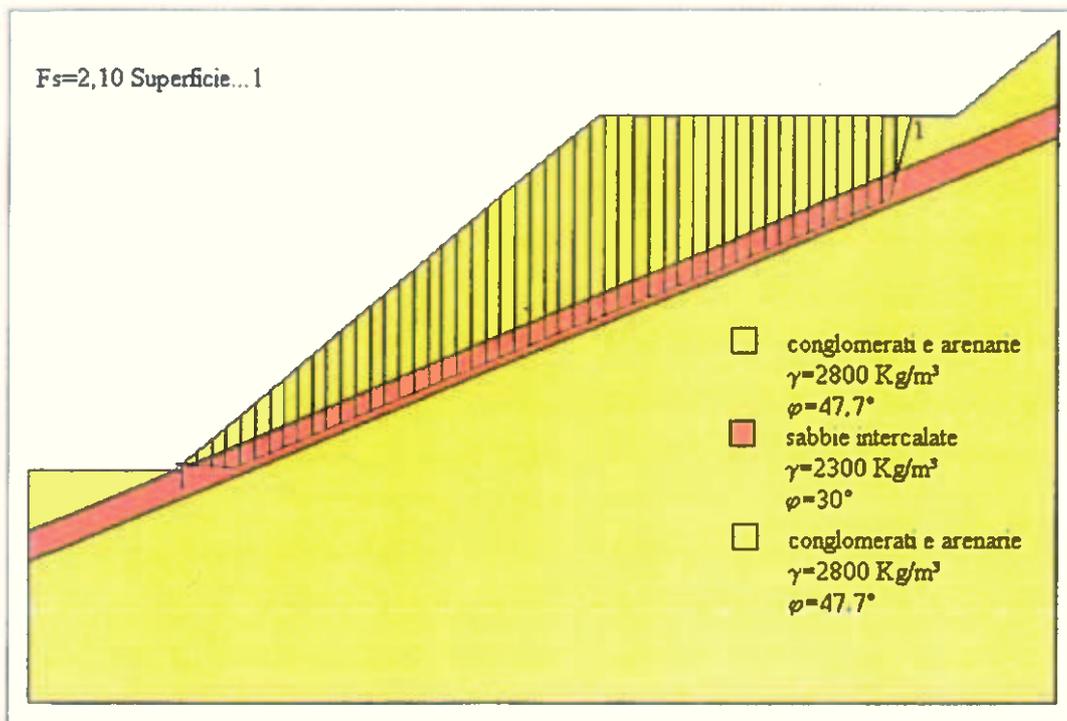


Fig. 18 - Gradone tipo. Superficie composta da un piano passante per un livello di sabbie intercalate ai conglomerati e da fratture, lo strato sabbioso ha un angolo di circa  $23^\circ$  rispetto all'orizzontale, compatibile con quelli naturali riscontrati in campagna.

## 9.8 - Coefficienti di sicurezza

Tutte le configurazioni hanno superato la verifica; esse, infatti, mostrano tutte un coefficiente o fattore di sicurezza  $YR \geq 1,1$ , pertanto entro i limiti previsti dall'attuale normativa (D.M. 14/01/2008 Norme Tecniche per le Costruzioni).

## 10 - CONCLUSIONI

Su incarico ricevuto dal Perito Minerario Valenza Luigi (via F. Paladini, 50 - Caltanissetta) e per conto della Ditta Michelangelo P. G. S.r.l." (Via Giovanni Falcone, n° 17 - 90023 Ciminna) è stato condotto uno studio geologico di un'area sita in Contrada Tortoresi, del territorio comunale di Castronovo di Sicilia (PA). Tale studio è stato eseguito per conseguire i seguenti risultati:

- Fornire al progettista incaricato, i dati geologici di base necessari alla redazione di un progetto per la coltivazione mineraria di un affioramento di conglomerati ed arenarie.
- Eseguire una verifica della stabilità del pendio di cava nella configurazione finale che essa assumerà sulla base del progetto di coltivazione.

Lo studio è stato condotto attraverso quattro distinte fasi di lavoro:

*a) La prima fase* è stata definita in campagna, con l'acquisizione dei dati geologici di base sull'area, sulle caratteristiche litologiche e geotecniche della formazione rocciosa interessata, sulle caratteristiche delle discontinuità tettoniche esistenti;

*b) La seconda fase* ha comportato l'elaborazione dei dati rilevati e la loro integrazione con quei dati scientifici della letteratura disponibili, ritenuti sufficienti, per completare la definizione di un modello geologico dell'area di cava coerente con il contesto geologico in cui essa si inserisce;

*c) La terza fase* è servita a definire le caratteristiche dell'ammasso roccioso e a quantificare quei parametri fisici e geotecnici da utilizzare per il calcolo della stabilità dei fronti e del pendio;

*d) La quarta fase* ha richiesto la caratterizzazione sismica del sito e la verifica di stabilità del pendio di cava nella sua configurazione finale, anche attraverso il controllo delle possibili interazioni tra sistemi di fratture, giunti di strato e possibili intercalazioni sabbiose presenti nell'ammasso roccioso e la geometria delle gradonature dalla cava.

L'indagine geologica ha consentito di giungere alle seguenti conclusioni:

1) Per quanto riguarda gli aspetti geologici generali del sito, finalizzati a definire le condizioni di stabilità e quindi di pericolosità geologica, che potrebbero anche essere amplificate dalla realizzazione della cava in progetto, le indagini riguardanti le caratteristiche litologiche, geomorfologiche e idrogeologiche, hanno messo in evidenza che sia i terreni direttamente interessati dai lavori come anche i terreni affioranti al contorno del sito, non presentano fenomeni di dissesto idrogeologico o geomorfologico in atto. I lavori di coltivazione in progetto non interferiranno con l'idrografia esistente e, data l'elevata permeabilità dei conglomerati, gli effetti del ruscellamento sulle nuove superfici di taglio, saranno limitati e presenti solo in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi. Le bassissime pendenze delle pedate e dei piazzali contribuiranno a limitare i fenomeni erosivi da parte delle acque e a favorire la deposizione dell'eventuale carico

solido. Le acque eccedenti saranno indirizzate nel locale reticolo idrografico. Il recupero ambientale in corso d'opera potrà contribuire a limitare i fenomeni erosivi sulle scarpate di cava inattive.

2) Per quanto concerne le verifiche di stabilità, eseguite ai sensi del D.M. 14/01/2008, queste sono state effettuate su quattro configurazioni:

- A) Intero fronte (sezione D-D'), per potenziali rotture circolari su roccia integra.
- B) Intero fronte (sezione D-D'), per scorrimento su superfici planari (giunto di strato + frattura).
- C) Intero fronte (sezione D-D'), per scorrimento su superfici planari (strato di sabbia + frattura).
- D) Gradone tipo (scarpa a 40°); per scorrimento su superfici planari (giunto di strato + frattura).
- E) Gradone tipo (scarpa a 40°); per scorrimento su superfici planari (strato di sabbia + frattura).

La pendenza della stratificazione (e quindi anche dello strato di sabbia) è stata considerata nelle condizioni più gravose e con angoli simili o superiori a quelli riscontrati in campagna. Per ogni configurazione è stata prodotta una relazione di calcolo contenente tutti gli elementi di valutazione. Tutte le configurazioni hanno superato la verifica, esse, infatti, mostrano tutte un coefficiente o *Fattore di Sicurezza*  $YR \geq 1,1$ , pertanto entro i limiti previsti dall'attuale normativa (D.M. 14/01/2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni).

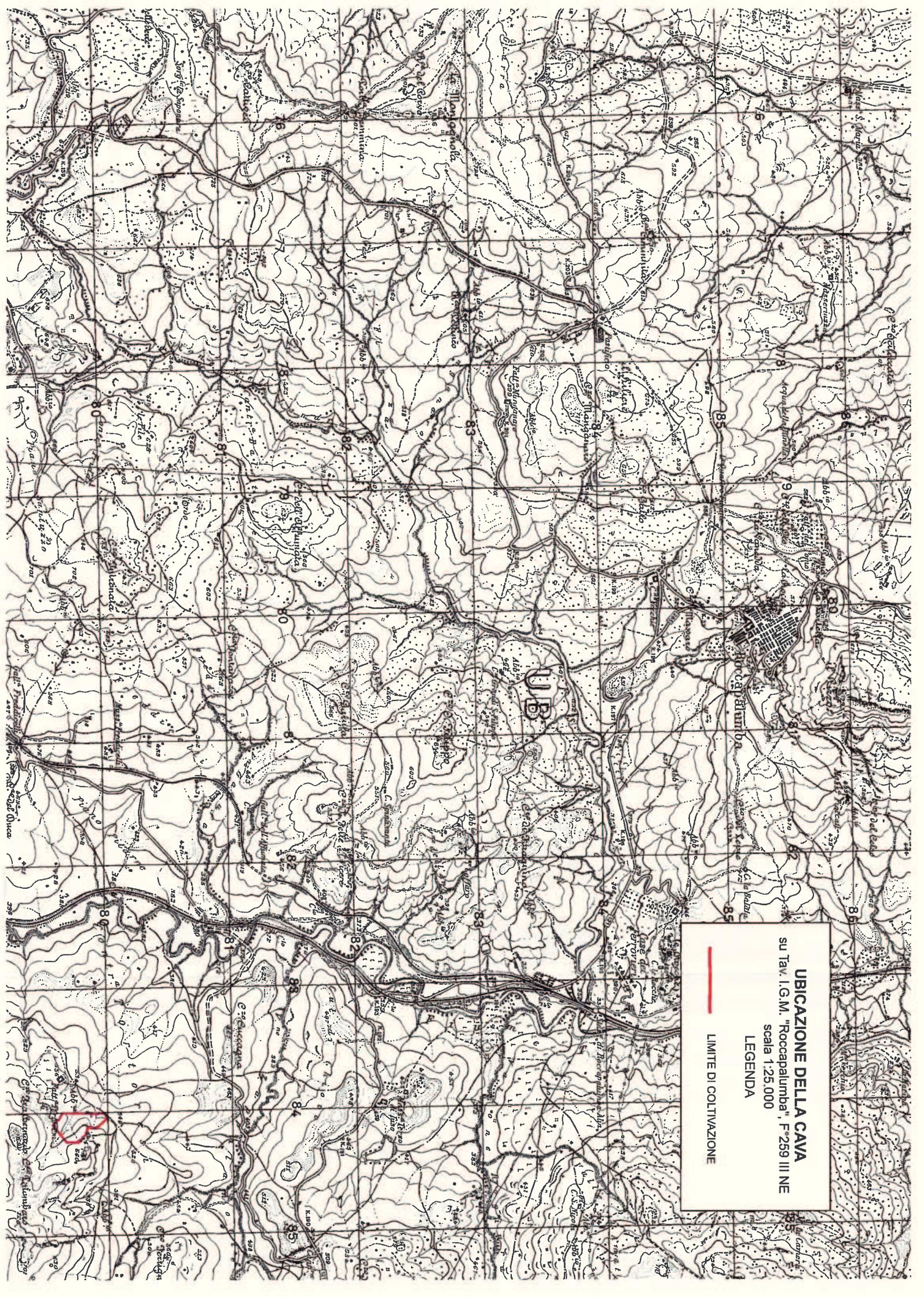
3) Stante le considerazioni effettuate ai punti 1, 2, conclusive a quanto esposto nei paragrafi precedenti, non vi sono elementi di natura geologica avversi alla fattibilità del progetto.

Gennaio 2014

Il Geologo

dott. Francesco Cavallaro





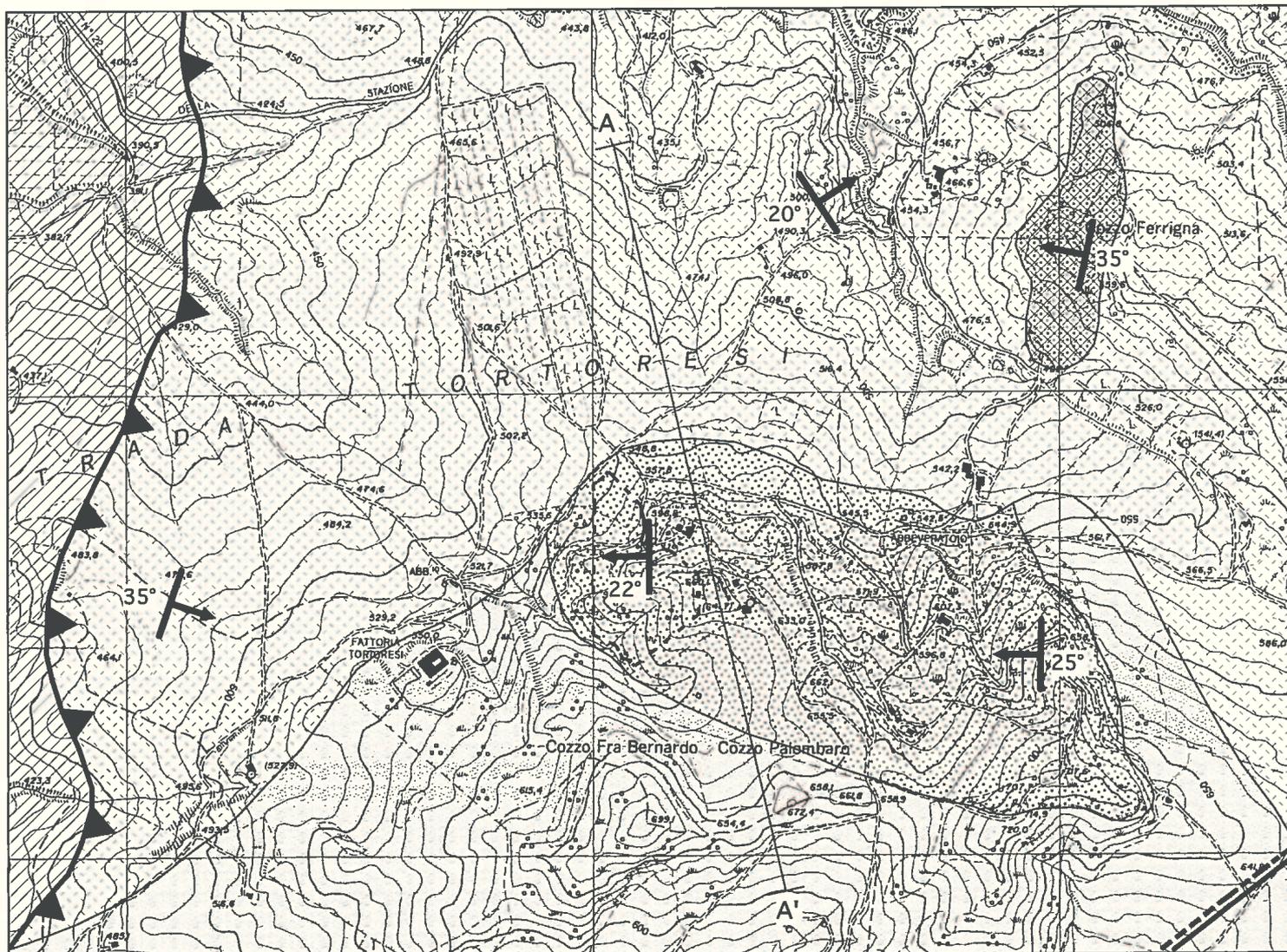
**UBICAZIONE DELLA CAVA**  
su Tav. I.G.M. "Roccapalumba", F. 259 III NE  
scala 1:25.000  
**LEGENDA**  
— LIMITE DI COLTIVAZIONE



**UBICAZIONE DELLA CAVA**  
su Carta Tecnica Regionale - SEZ. 6210110  
scala 1:10.000

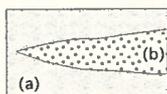
**LEGENDA**

— LIMITE DI COLTIVAZIONE

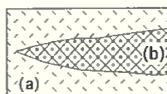


**CARTA GEOLOGICA**  
scala 1:10.000

**LEGENDA**



**FORMAZIONE TERRAVECCHIA**  
Arenarie e sabbie prevalenti alternate con livelli conglomeratici (a);  
conglomerati prevalenti alternati ad arenarie (b):  
- (Messiniano inferiore - Tortoniano superiore)



**FLYSCH NUMIDICO (UNITA' ALIA - SERRA TIGNINO)**  
Facies pelitico-arenacee (a) associate a facies conglomeratico-arenacee (b)  
- (Miocene inferiore - medio)



**COMPLESSO LERCARA (UNITA' CERDA - ROCCAPALUMBA)**  
Argilliti e marne, calcareniti e calcilutiti, con vulcaniti intercalate e  
breccie e megabreccie calcaree con fossili paleozoici.  
- (Permiano inferiore - Trias)



**FAGLIA**  
(a tratteggio lato ribassato)



**SOVRASCORRIMENTO**



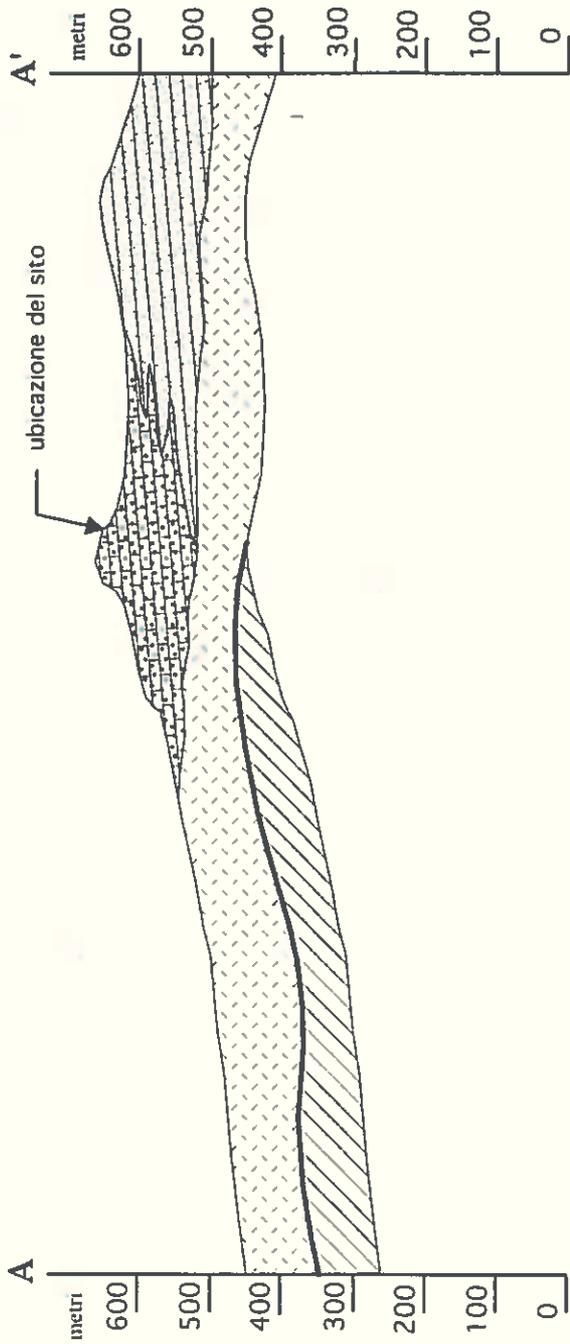
**STRATI**  
(direzione ed immersione)



**TRACCIA DEL PROFILO**



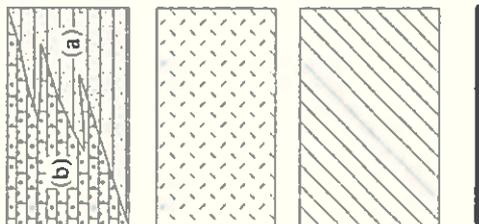
**UBICAZIONE SITO (area di coltivazione)**



### PROFLO GEOLOGICO

scala 1:10.000

#### LEGENDA



#### FORMAZIONE TERRAVECCHIA

Arenarie e sabbie prevalenti alternate con livelli conglomeratici (a);  
conglomerati prevalenti alternati ad arenarie (b):

- (Messiniano inferiore - Tortoniano superiore)

#### FLYSCH NUMIDICO (UNITA' ALIA - SERRA TIGNINO)

Facies pelitico-arenacee associate a facies conglomeratico-arenacee  
- (Miocene inferiore - medio)

#### COMPLESSO LERCARA (UNITA' CERDA - ROCCAPALUMBA)

Argilliti e marne, calcareniti e calcinituti, con vulcaniti intercalate e  
breccie e megabreccie calcaree con fossili paleozoici.  
- (Permiano inferiore - Trias)

#### CONTATTO TETTONICO CON SOVRASCORRIMENTO



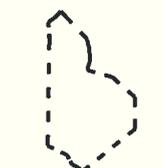


**CARTA GEOMORFOLOGICA**  
scala 1:10.000

**LEGENDA**

- 
**AREE AD EROSIONE CONTENUTA**  
 caratterizzate prevalentemente da affioramenti litoidi  
 (conglomerati arenarie e sabbie - Formaz. Terravecchia)
- 
**AREE AD EROSIONE MODERATAMENTE INTENSA**  
 di tipo diffuso (areale) e concentrato (nelle incisioni), su  
 formazioni prevalentemente argillose; diffusi i fenomeni di soliflusso.
- 
**AREE AD EROSIONE ACCELERATA**  
 di tipo concentrato (nelle incisioni),  
 su formazioni prevalentemente argillose

**ELEMENTI TRATTI DALLA CARTOGRAFIA DEI DISSESTI IDROGEOLOGICI DEL PAI**

- 
**AREE A DEFORMAZIONE SUPERFICIALE LENTA**
- 
**AREE CON FENOMENI DI COLAMENTO LENTO ATTUALMENTE INATTIVE**
- 
**SCARPATE MORFOLOGICHE**  
 su affioramenti conglomeratici e banchi di arenarie
- 
**LINEE DI EROSIONE CONCENTRATA**  
 fenomeni di erosione più accentuata lungo le incisioni idrografiche,  
 prevalentemente su formazioni argillose.
- 
**UBICAZIONE SITO (area di coltivazione)**
- 
**LAGHETTI COLLINARI ARTIFICIALI**



**CARTA IDROGEOLOGICA**  
scala 1:10.000

**LEGENDA**

PERMEABILITA'		
bassa	media	alta
	(a)	(b)
(a)		(b)

**FORMAZIONE TERRAVECCHIA**

Arenarie e sabbie prevalenti alternate con livelli conglomeratici (a);  
conglomerati prevalenti alternati ad arenarie (b):  
- (Messiniano inferiore - Tortoniano superiore)

**FLYSCH NUMIDICO (UNITA' ALIA - SERRA TIGNINO)**

Facies pelitico-arenacee (a) associate a facies conglomeratico-arenacee (b)  
- (Miocene inferiore - medio)

**COMPLESSO LERCARA (UNITA' CERDA - ROCCAPALUMBA)**

Argilliti e marne, calcareniti e calcilutiti, con vulcaniti intercalate e  
breccie e megabreccie calcaree con fossili paleozoici.  
- (Permiano inferiore - Trias)



**FAGLIA**  
(a tratteggio lato ribassato)



**SOVRASCORRIMENTO**



**STRATI**  
(direzione ed immersione)



**TRACCIA DEL PROFILO**



**UBICAZIONE SITO** (area di coltivazione)



**PROBABILI DEFLUSSI SOTTERRANEI**



**LAGHETTI COLLINARI ARTIFICIALI**



**LINEA SPARTIACQUE SUPERFICIALE**

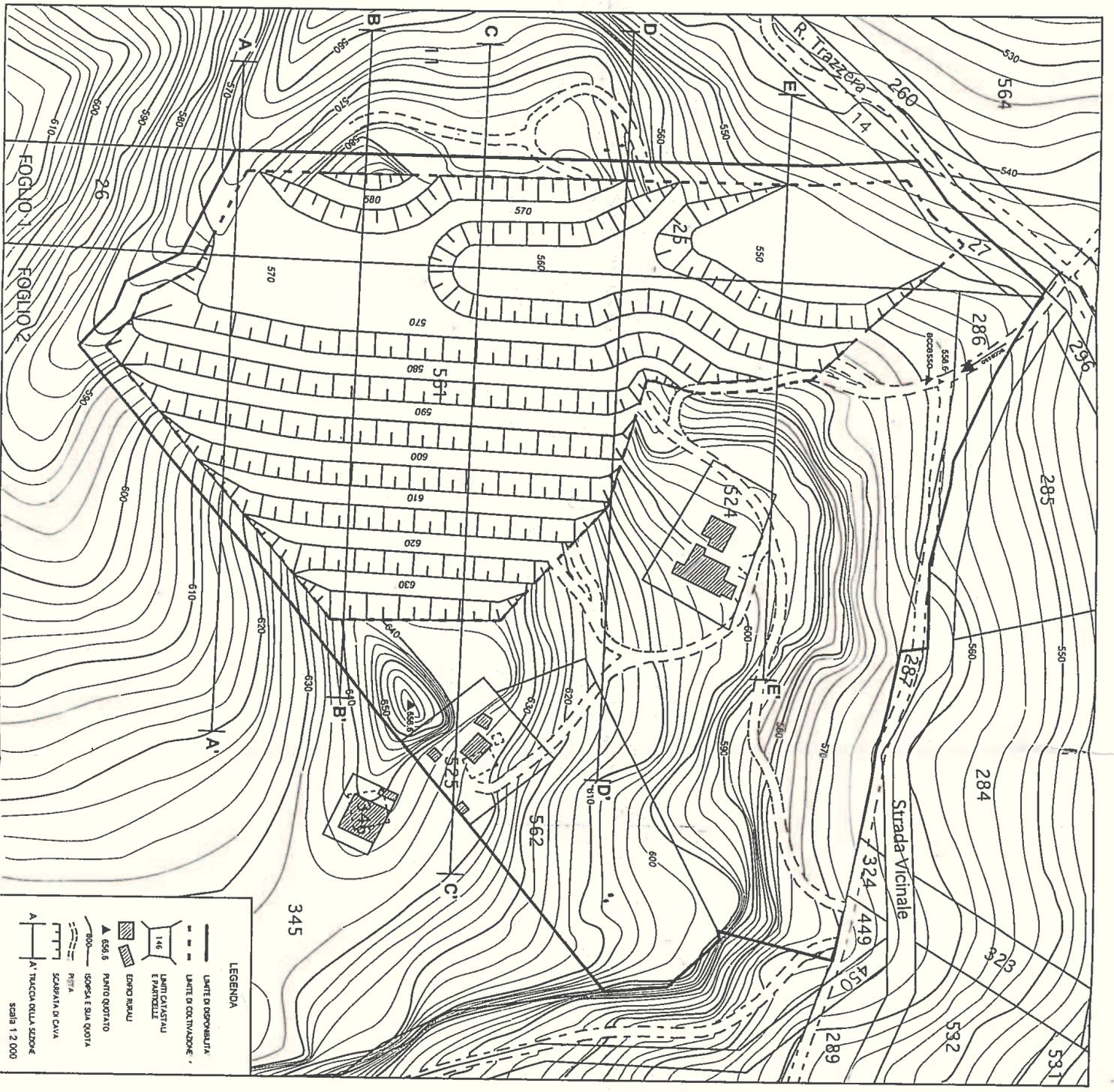


**ASTA RETE IDROGRAFICA SUPERFICIALE**

# PLANIMETRIA DELLO STATO ATTUALE



**PLANIMETRIA  
DELLO STATO FINALE**



**LEGENDA**

- LINEE DI DISPERIURTA
- - - LINEE DI CANTINAZIONE
- ▨ EDIFICI
- ▨ EDIFICI INALZI
- ▲ PUNTO QUOTATO
- ▲ 556.6
- ISOPESA E SUA QUOTTA
- PIVIA
- SCARINATA DI CAVA
- A A' TRACCIA DELLA SEZIONE

scala 1:2.000