

REGIONE ABRUZZO

COMUNE DI CAGNANO AMITERNO (AQ)

Tipo d'intervento:

**CONCESSIONE MINERARIA PER MARNA DA CEMENTO
DENOMINATA 'ATERNO'
IN COMUNE DI CAGNANO AMITERNO (AQ)**

(ridelimitata con D.D.R n. DPC 023/33 del 25 luglio 2016 ai sensi
dell'art.34 del R.D. 1443/27 e dell'art.16 del D.P.R. 382/94)

VARIANTE AL PROGRAMMA DEI LAVORI

Oggetto dell'elaborato:

**RELAZIONE
GEOLOGICA MINERARIA**

Committente:

 **ITALSACCI**

Via Stezzano, 87
24126 BERGAMO (BG)

Data:

Luglio 2020

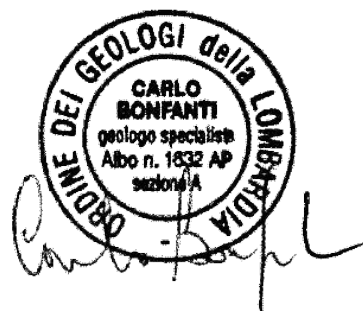
Tavola:

Scala:

Coordinamento:



studio
greenpit s.r.l.
Società di ingegneria Mineraria
Via Volturmo, 58 - 00185 Roma
Tel. 06/4883705 - Fax: 06/48912405
Email: studio@greenpit.it



Progettisti:

Dott. Geol. Carlo Bonfanti

SOMMARIO

1	PREMESSA	3
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOLOGICO E GEOSTRUTTURALE DEL TERRITORIO	3
2.1	Inquadramento geologico a grande scala	3
2.2	Assetto geologico e inquadramento strutturale dell'area	4
2.3	Inquadramento idrogeologico	8
3	SISMICITÀ DELL'AREA	10
4	RILIEVO GEOMECCANICO	12
4.1	ANALISI DI STABILITÀ E RISULTATI	19
4.1.1	Analisi di stabilità locale (giacitura fronte 1 in dip/dipdir = 70/320)	19
4.1.2	Analisi di stabilità locale (giacitura fronte 2 in dip/dipdir = 70/60)	23
4.1.3	Analisi di stabilità locale (giacitura fronte 3 in dip/dipdir = 70/320)	28
4.1.4	Analisi di stabilità globale (giacitura fronte 4 in dip/dipdir = 70/150)	32
5	ESITI DELLA CAMPAGNA DI SONDAGGI	36
5.1	Scelta e ubicazione dei sondaggi geognostici	36
5.2	Volume complessivo investigato	38
6	CONCLUSIONI	38

* . * . *

Allegati:

- PLANIMETRIA CON INDIVIDUAZIONE DELLA SEZIONE DI CONTROLLO E DELLE ZONE INDAGATE PER LE ANALISI DI STABILITÀ
- DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

1 PREMESSA

La presente relazione rappresenta il contributo geologico, giacimentologico e di verifica della stabilità dei versanti della miniera di proprietà della società Italsacci S.p.A. denominata "Aterno" sita nel territorio del Comune di Cagnano Amiterno (AQ). Questa relazione si affianca e completa il contributo già fornito con la relazione geomineraria relativa all'istanza di ampliamento e ridelimitazione della medesima concessione mineraria.

La stratigrafia e la geologia del sito sono note a seguito delle campagne di indagine e della coltivazione svolta nel corso degli anni; tuttavia, al fine di completare la conoscenza del giacimento, all'interno del cantiere di scavo originario, sono stati realizzati 24 nuovi sondaggi che hanno permesso di:

- Definire i rapporti strutturali del contatto tra le marne a medio e basso titolo
- Determinare la ripartizione delle volumetrie ancora disponibili tra marne a medio e basso titolo

mentre i parametri geotecnici relativi all'ammasso roccioso sono stati aggiornati tramite un rilievo geostrutturale appositamente realizzato.

La relazione e le indagini sul campo sono state condotte secondo quanto previsto dalla normativa vigente, ovvero le NTC 2018; sul campo si è proceduto secondo le norme indicate negli ISRM Suggested Methods.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOLOGICO E GEOSTRUTTURALE DEL TERRITORIO

2.1 Inquadramento geologico a grande scala

L'alta Valle dell'Aterno è caratterizzata dalla convergenza di due distinte e sovrapposte unità tettoniche:

- quella superiore (Unità Monte Giano – Monte Gabbia, UGG), posta ad occidente
- quella inferiore, Unità Gran Sasso – Cittareale, nella quale rientra l'area in oggetto di studio.

L'Unità del Gran Sasso è costituita da depositi triassico – cretacici, in generale riferibili a vari settori di una piattaforma carbonatica seguita da successioni cretacico-mioceniche che testimoniano il repentino e rapido annegamento della piattaforma stessa.

Nel settore orientale, quello dove insiste la miniera, il contatto tra le due Unità è segnato dalla sovrapposizione di termini essenzialmente giurassico-cretacici della UGG su quelli cretacico-neogenici della UGS; procedendo verso settentrione e verso occidente, lungo il contatto, sono presenti lembi di successioni cretacico-mioceniche con spessori fortemente ridotti che, come detto, marcano l'annegamento della piattaforma carbonatica della UGG.

Questa Unità comprende termini di età compresa tra il Giurassico medio ed il Miocene, essenzialmente riferibili ad ambienti di sedimentazione compresi tra lo slope ed il bacino. Lungo la Valle del Velino, è riconoscibile un netto cambiamento di facies in corrispondenza della sovrapposizione delle pelagiti della Scaglia sui calcari bioclastici di scarpata del Giurassico e Cretacico inferiore.

Il passaggio è marcato anche da una discordanza angolare, che rappresenta l'appoggio in onlap delle pelagiti stesse su un substrato verosimilmente basculato in concomitanza con un tettonismo realizzatosi tra il Cretacico inferiore e quello superiore. Questa tettonica ha interessato l'area, producendo un rapido annegamento ed una variazione del regime sedimentario in settori sia della scarpata che della piattaforma; anche sul bordo di questa, infatti, è visibile l'appoggio delle già citate successioni cretacico-neogeniche con spesso ridotti su un substrato che però è rappresentato da litofacies neritiche.

Ancora lungo la Valle del Velino, affiora la successione riferibile a questa unità. La porzione inferiore della serie è costituita da calcari oolitici e quindi biodetritici, raramente micritici, avana e nocciola; in discordanza angolare con la formazione cretacico – neogenica è presente una successione di pelagiti facilmente confrontabili per lito e biofacies con quelle della serie Umbro – Marchigiana: si tratta di calcari marnosi e marne riferibili alla Scaglia rossa, variegata e cinerea con intercalazioni discontinue di calcareniti spesso a macroforaminiferi (in successione Orbitoides, Siderolites, Nummulites, Discocyclina, Miogypsina ecc.).

Superiormente, nell' Aquitaniano e parte del Burdigaliano, si depositano micriti e calcareniti con liste di selce e detrito molto fine di glauconite e frammenti di spicole di spugne (Bisciaro).

Al di sopra poggiano marne e marne calcaree con Zoophycos, Cylindrites, Globigerinoides, Globigerina e con frequenti intercalazioni calcarenitiche del Burdigaliano – Tortoniano (Marne con Cerroghna). Questa successione affiora diffusamente lungo tutto il bordo settentrionale ed orientale dell'area esaminata; le differenze di spessori, di facies e di composizione tra questa successione e quella corrispondente, che fa parte della VGG, permettono di distinguere abbastanza agevolmente i termini riferibili alle due unità tettoniche.

I termini più alti che costituiscono la VGS sono marne nerastre (Marne a Pteropodi) che passano alle litofacies arenaceo – argillose della Formazione della Laga.

2.2 Assetto geologico e inquadramento strutturale dell'area

La stratigrafia è composta prevalentemente dalle Marne con Cerroghna, la più antica in affioramento, seguita da limitati volumi di marne a pteropodi e del Flysch della Formazione della Laga che costituisce la porzione NNE della miniera.

L'area in esame si colloca all'interno della fascia di raccordo tra due facies meso-cenozoiche ben note nella letteratura geologica dell'Appennino centrale: la Facies Umbro-Marchigiana, caratterizzata da sedimenti di bacino pelagico, e la Facies Laziale – Abruzzese, di ambiente di acque basse o di piattaforma carbonatica. Il loro raccordo è caratterizzato da un'ampia fascia d'interdigitazione che presenta caratteristiche sedimentarie derivate dall'interferenza dei due ambienti e che prende nome di Facies di transizione.

A queste si sovrappongono, come depositi di colmamento delle depressioni intramontane, sedimenti di ambiente continentale, in facies lacustre o fluvio-lacustre, con granulometria variabile dalle argille alle ghiaie. Ai margini delle depressioni sono presenti imponenti depositi detritici, derivanti dallo smantellamento in ambiente subaereo delle unità del substrato pre-Quaternario.

I depositi più recenti sono rappresentati da sedimenti alluvionali del F. Aterno e dei suoi affluenti e da depositi colluviali.

Dal punto di vista strutturale, nell'area si riconosce una generale immersione ad est e a nordest, anche se non mancano strutture plicative alla mesoscala e a scala minore che evidenziano la generale complessità della regione. Le fasi tettoniche principali riconosciute sono due.

Nel settore occidentale del territorio comunale, la presenza del sovrascorrimento di Colle Benedetto testimonia la prima fase tettonica riconosciuta, quella compressiva legata alla costruzione della catena a thrust. L'alta valle del F. Aterno è ubicata appena ad ovest dell'arco determinato dal sovrascorrimento del Gran Sasso, in un'area in cui la tettonica ha agito in modo consistente.

La seconda fase tettonica riconosciuta, distensiva, è testimoniata da numerosi elementi tra cui il più importante, ai fini della evoluzione tettonico strutturale, è quello determinato dall'allineamento Pizzoli-Barete, che presenta uno sviluppo lineare molto esteso e mostra evidenti segni di tettonica recente.

Nella immagine riportata alla pagina successiva, è riportato uno schema strutturale a grande scala (con individuazione dell'area oggetto di studio) da cui si evince l'estrema complessità degli eventi – anche recenti – che hanno contribuito alla definizione dell'attuale assetto.

Nello specifico, l'area della miniera è caratterizzata dall'affioramento di tre formazioni:

CRR – Marne con Cerroghna (Burdigaliano p.p. - Tortoniano)

L'unità è costituita da marne e marne calcaree, alternate a marne argillose in strati sottili ed a poco frequenti calcareniti bioclastiche torbiditiche. Il colore varia dal grigio-nerastro al bruno. Affiora diffusamente sui rilievi tra Fiugni, Fossatillo e S. Pelino, con spessori complessivi di alcune centinaia di metri. Ai fini del presente studio, vengono accorpate alle marne con Cerroghna anche le marne a pteropodi, una formazione di 10-20 metri di spessore posta al suo tetto, in continuità stratigrafica, costituita da marne e marne argillose di colore bruno scuro.

PTP – Marne a Pteropodi (Burdigaliano p.p. - Tortoniano)

A livello petrografico corrispondono a marne, marne argillose e argilliti variamente distribuite di colore prevalentemente grigiastro e nero. Questa unità litologica costituisce la formazione intermedia tra le Marne con Cerrognia e la Formazione della Laga (Cantalamessa, 1982). In affioramento appaiono sottilmente stratificate (spessori nell'ordine del centimetro o anche meno) e generalmente risultano molto fratturate, talvolta presentano l'aspetto di materiale non consolidato (si notino i tension cracks in Figura 5.8-dettaglio). Nei pochi affioramenti massivi riconducibili a questa litologia riscontrati, è possibile osservare un buon quantitativo di fauna marina, prevalentemente composta da gasteropodi e bivalvi. I litotipi appartenenti a questa unità si estendono principalmente nella parte più sommitale del fronte centrale, affiorando lungo i gradoni posti alle quote più alte, e si abbassano progressivamente verso la parte settentrionale dello stesso. Si ritrovano, così, ribassate fino a circa 820 m. s.l.m. nella parte NO del sito minerario.

LAG – Formazione della Laga (Messiniano inf.)

L'unità è costituita da alternanze di arenarie e peliti, in strati di spessore da sottile a medio. Affiora in un lembo limitato tra gli abitati di Colle e S. Giovanni. Gli spessori complessivi sono dell'ordine del migliaio di metri, ma nell'area sono ridotti a qualche centinaio di metri.

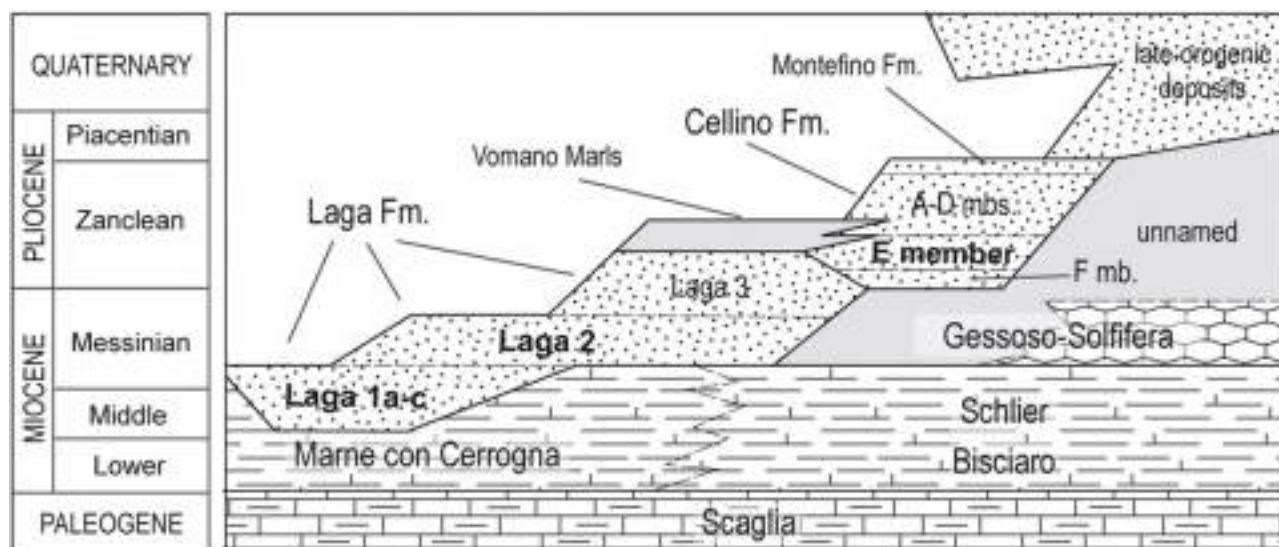


Figura 1 – Schema stratigrafico della zona di interesse. In particolare si notano i rapporti in parte stratigrafici e in parte eteropici delle Marne con Cerrognia e la Formazione della Laga

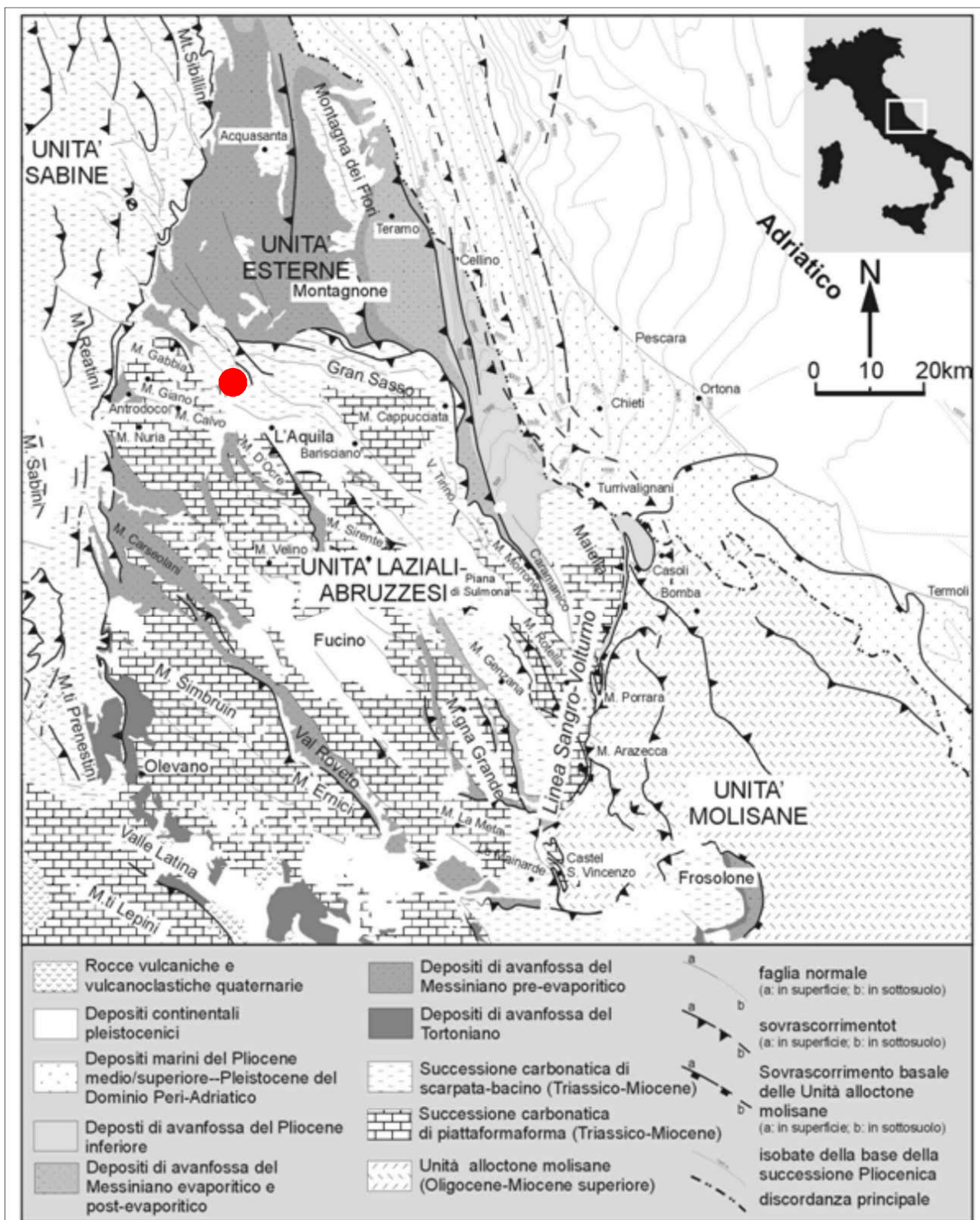


Figura 2 – Schema strutturale a grande scala con individuazione dell'area di studio



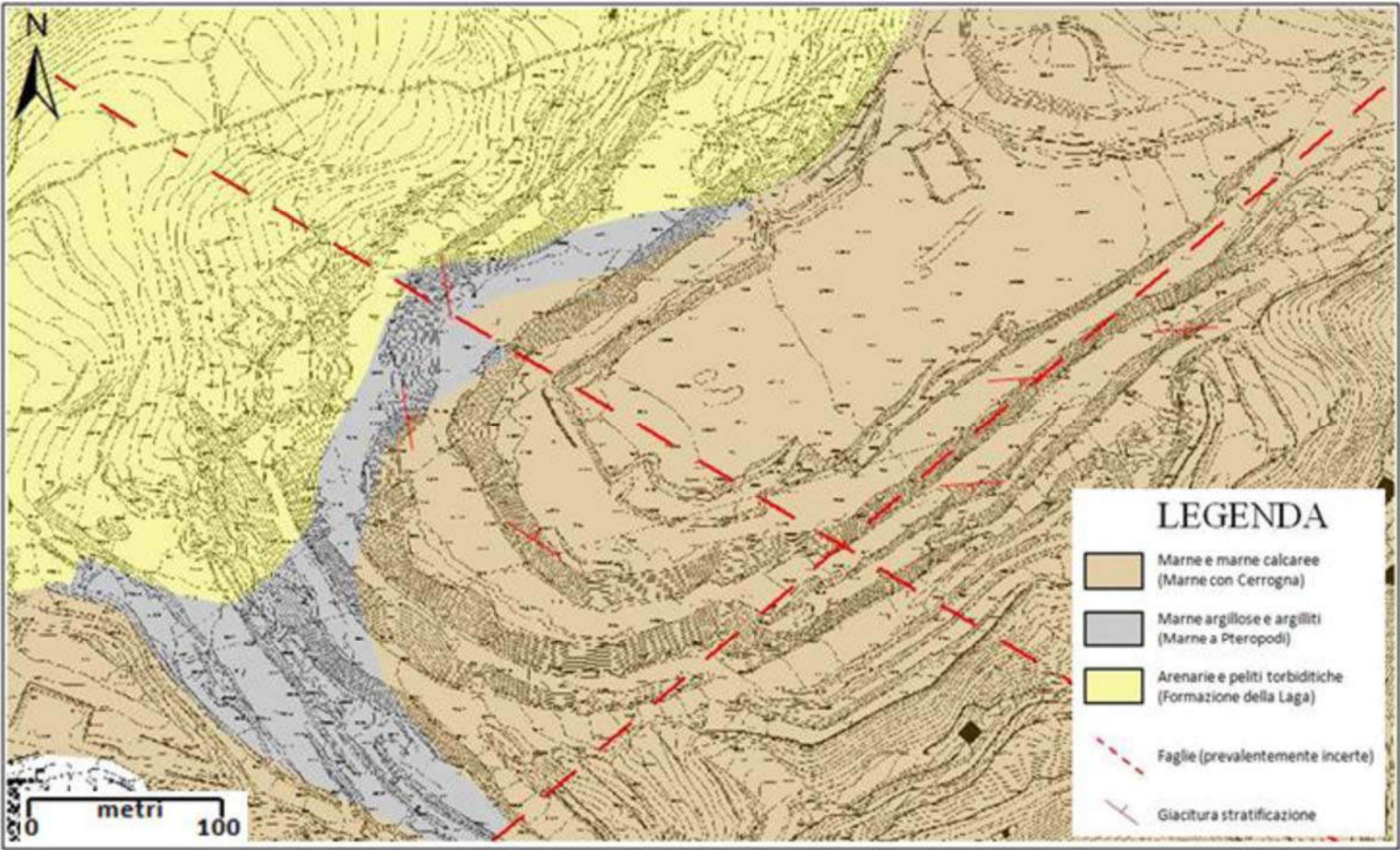
CRR – Marne con Cerrogna
Spessore: > 20 m



PTP – Marne a Pteropodi
Spessore: < 20 m



LAG –
Formazione della Laga
Spessore: 0-20 m



Carta geologica della Miniera "Aterno"

2.3 Inquadramento idrogeologico

L'area di studio è contenuta al margine orientale dell'unità idrogeologica del M. Velino – M. Cornacchia - M. della Meta, un'enorme sistema che copre 1640 km² che presenta, come recapito principale, le sorgenti del Peschiera in Provincia di Rieti.

L'area in oggetto di studio è marginale sia per la posizione sia per l'affioramento di successioni a scarsa affinità acquifera rispetto a quelle schiettamente calcaree che caratterizzano l'Unità.

Tale condizione favorisce condizioni di ruscellamento a quelle di infiltrazione con la conseguenza di costituire acquiferi di modeste dimensioni che alimentano sorgenti con portate limitate. Nello specifico l'area di interesse è inserita nella sub unità di M. Giano – M. Nuria la quale drena, principalmente, presso le sorgenti del Peschiera, di Canestra e di Antrodoto e che, in questa zona, trova uno sbocco secondario che fornisce un contributo del tutto indifferente al bacino idrografico dell'alto Aterno tamponato ed isolato ad oriente, dalle faglie e dai flysch, dalla struttura idrogeologica del Gran Sasso.

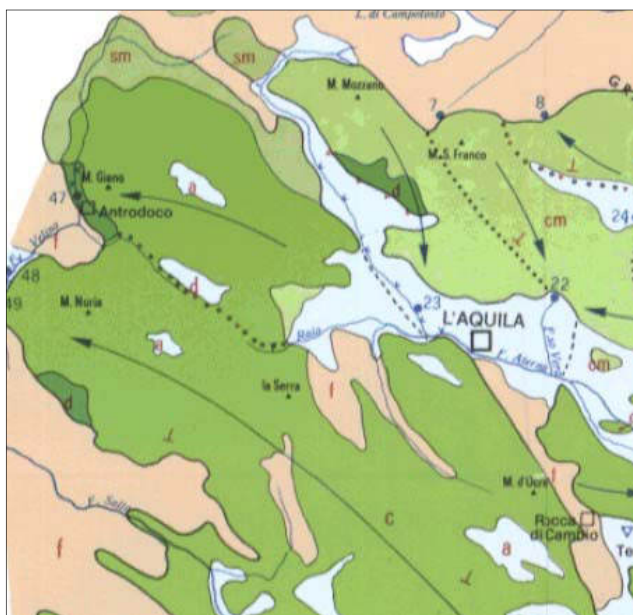
La miniera in oggetto di studio, e i terreni ove si richiede l'ampliamento della concessione, presentano una ridotta affinità idrogeologica essendo composti da marne, calcari marnosi e orizzonti pelitici. Le formazioni prettamente acquifere, invece, sono rappresentate da quelle schiettamente calcaree che non affiorano in superficie, ma si riscontrano nel sottosuolo (vedi stratigrafia sondaggio e sezioni geologiche – Tav.). Il complesso idrogeologico delle marne con Cerrognà può essere sede pertanto di falde di modeste dimensioni a circolazione superficiale, come riscontrato nel sondaggio tra -10 e -30 m dal p.c.) oppure possono ospitare travasi, altrettanto modesti, da parte di complessi idrogeologici limitrofi.

Nell'area si riscontra una modesta sorgente, Fonte S. Giovanni, captata dall'acquedotto ed oggi sostituita da un pozzo profondo realizzato dalla Italsacci S.p.A. e messo a disposizione del Comune.

La risorgiva dell'acquedotto, situata a quota 780 m s.l.m. è contenuta nell'alveo di un fosso e sgorga dalle Marne con Cerrognà; le polle del piazzale di cava sgorgano, invece, all'interno della formazione del Flysch della Laga e/o delle Marne con Pteropodi.

Per mezzo di una sonda multiparametrica è stata effettuata, in sito, una determinazione delle caratteristiche chimiche delle acque. La sonda è stata immersa nelle polle, sul piazzale di cava, denominate Sorg. 1, 2, 3 e sul bottino di presa della sorgente S. Giovanni.

L'alimentazione di queste sembra, quindi, provenire da acquiferi differenti o da profondità differenti dello stesso.



LEGENDA	
COMPLESSO SABBIOSO-LIMOSO-GHIAIOSO	
	Alluvioni antiche e recenti, depositi fluvio-lacustri, sabbie dunari e di spiaggia, detriti di falda, depositi morenici, terre rosse, piroclastiti risedimentate (a): permeabilità per porosità variabile, da bassa a media, in relazione alla granulometria dei depositi.
	Travertini (t): permeabilità alta, per porosità e fratturazione.
COMPLESSO DELLE PIROCLASTITI E DELLE LAVE	
	Lave, prodotti scoriaei (p): permeabilità alta, per porosità e fratturazione.
	Materiali piroclastici sciolti, tuffi (g): permeabilità variabile da bassa a media, per porosità nei termini sciolti ed anche per fratturazione in quelli litidi.
COMPLESSO ARGILLOSO-SABBIOSO-CONGLOMEFATICO	
	Argille, sabbie, conglomerati (a): permeabilità per porosità variabile, da bassa a media, in relazione alla granulometria dei depositi.
COMPLESSI ARENACEO-MARNOSO; ARGILLOSO-CALCAREO; ARGILLOSO-SCISTOSO	
	Terreni in facies di flysch e di molassa (Flysch della Laga; Flysch di Frosinone; Flysch di Fietrarola; Flysch di Agnone; Flysch di Castelvitale; Flysch Numidico, ecc.): Unità dei Complessi Sicilide o Liguride (f): permeabilità scarsa, prevalentemente per porosità.
COMPLESSI CALCAREO-MARNOSO, CALCAREO-SILICO-MARNOSO	
	Calcarei con intercalazioni di calcari marnosi, calcari siliciferi, diaspri, mame (rocce carbonatiche in facies di transizione delle aree periferiche di molti massicci carsici) (cm): permeabilità alta, per fratturazione e carsismo, legata ad una marcata prevalenza di termini permeabili.
	Altemanze di calcari, calcari marnosi, calcari siliciferi, diaspri, mame (Facies Molisano-Sannitica; Serie Lagonegrese s.l.; Flysch della Daunia; ecc.) (sm): permeabilità per porosità e fratturazione, variabile da bassa a media, legata ad una generale prevalenza di termini impermeabili.
COMPLESSO CARBONATICO	
	Rocce carbonatiche (calcari prevalenti con intercalazioni dolomitiche e calcareo-dolomitiche) (c): permeabilità altissima per fratturazione e carsismo.
	Rocce carbonatiche (dolomie prevalenti con intercalazioni calcaree e calcareo-dolomitiche) (d): permeabilità alta per fratturazione.
CASSA PER IL MEZZOGIORNO	
Progetto speciale n. 29 Schemi idici dell'Appennino centro-meridionale	
A cura della Divisione Stampa e P.R. Printed in Italy - Grafiche Magliana - Roma, 1983	

3 SISMICITÀ DELL'AREA

Sulla base della collocazione geografica del sito in esame e con l'utilizzo di software specialistici, è possibile determinare i coefficienti di accelerazione sismica orizzontale e verticale per il sito in esame.

Il calcolo prevede l'inserimento di parametri sito – specifici per determinare:

- la classe d'uso e la vita nominale della cava
- la categoria di sottosuolo
- la categoria topografica del versante

Per lo stato limite si fa riferimento alla prevenzione di collasso (SLC) come previsto dalle NTC 2018.

Di seguito è riportato l'estratto del calcolo per la determinazione dello stato limite, come fornito dal software reperibile su internet utilizzato per il calcolo.

i
Ag,475 >= 0.25g (sismicità alta)

Dati Generali

Località

Indirizzo

Lat. Long.

Dati opera

Tipo opera

Classe d'uso

V. Nominale V. Rif.

Parametri sismici su sito di riferimento

SL	TR [Anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
SLO	30,00	0,76	2,40	0,27
SLD	35,00	0,83	2,38	0,27
SLV	332,00	2,24	2,34	0,33
SLC	682,00	2,88	2,38	0,35

Zona sismica

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera

SL	amax [m/s²]	β	khk [-]	kvk [-]
SLO	1,0944	0,2	0,0223	0,0112
SLD	1,1952	0,2	0,0244	0,0122
SLV	3,1885	0,28	0,091	0,0455
SLC	3,8721	0,28	0,1106	0,0553

Stato limite di riferimento

Ai sensi dell'Ord. P.C.M.28/4/2006 n. 3519, all. 1b, per l'intero territorio di Cagnano Amiterno il valore della pericolosità sismica espresso in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni è pari a 0,250-0,275 g.

Questo dato è rappresentato nelle Mappe interattive di pericolosità sismica redatte da INGV, come riportato nella figura che segue.

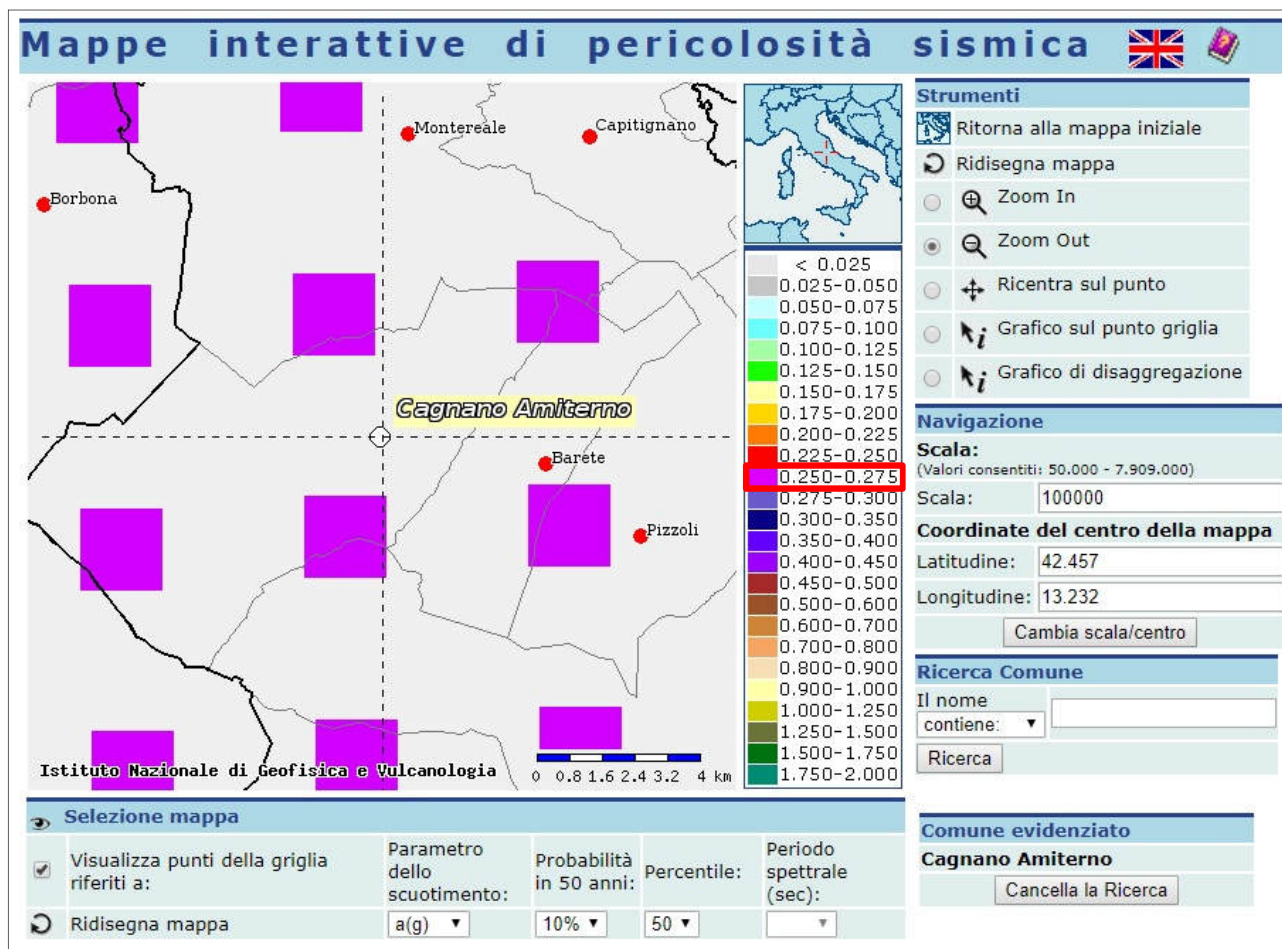


Figura 3 – Mappa interattiva di pericolosità sismica per il Comune di Cagnano Amiterno (AQ)

4 RILIEVO GEOMECCANICO

La raccolta dei dati utili per la ricostruzione dell'andamento geostrutturale del giacimento è stata fatta integrando con un apposito rilievo i dati e gli studi già compiutamente eseguiti sia in occasione dello studio strutturale del 2007 sia nei periodi successivi. Mediante questo aggiornamento, a partire dai dati di precedenti analisi e dalla bibliografia, è stato possibile confermare l'andamento degli strati e delle relative discontinuità.

Nel presente elaborato sono state considerate tutte le discontinuità rilevate, valutando il loro comportamento nei confronti delle superfici libere generate sia nella condizione attuale dei fronti, sia in quella di progetto.

Prima di procedere, è necessario fornire la classificazione geomeccanica degli ammassi rocciosi, come sotto riportato:

FORMAZIONE GEOLOGICA	RMR	CLASSE	QUALITA' DELL'AMMASSO	GSI ⁽¹⁾
Marne con Cerroghna	55	III	Discreta	50
Formazione della Laga	30	IV	Scadente	66

⁽¹⁾ Dei due approcci possibili per la determinazione di GSI, ovvero dalle GSI Charts o dalla classificazione RMR; si è scelto di utilizzare queste ultime, fornendo tuttavia anche le GSI Charts al fine di confrontare i risultati ottenuti.

Il peso di volume medio dei materiali oggetto di escavazione è pari a 2,2 t/m³ per i materiali appartenenti alla Formazione della Laga e 2,4 t/m³ per quelli appartenenti alle Marne con Cerroghna.

Nelle pagine che seguono si riporta la sintesi delle osservazioni svolte con il metodo di Beniauskas per lo stop 1 – 2 – 3, grazie alle quali è stato possibile determinare il valore di RMR e di GSI riportato nella tabella soprastante.

In allegato si riporta una planimetria con l'ubicazione degli STOP geo-strutturali eseguiti.

STOP 1

PARAMETRI				INTERVALLO VALORI							Indice ricavato
A1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale (Mpa)		>10	4-10	2-4	1-2	Non applicabile			
		Compressione monoassiale JCS (Mpa)		>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1	
		Indice		15	12	7	4	2	1	0	
A2	RQD (%)			90-100	75-90	50-75	25-50	<25			
	Indice			20	17	13	8	3			
A3	SPAZIATURA GIUNTI (m)			>2	0,6-2	0,6-0,2	0,06-0,2	<0,06			
	Indice			20	15	10	8	5			
A4 _a	PERSISTENZA GIUNTI (m)			<1	1-3	3-10	10-20	>20			
	Indice			6	4	2	1	0			
A4 _b	APERTURA GIUNTI (mm)			Chiuso	<0,1	0,1-1	1-5	>5			
	Indice			6	5	4	1	0			
A4 _c	RUGOSITA' GIUNTI			molto rug.	rugoso	legg. rug.	liscio	laminato			
	JRC			20-17	17-10	10-4	4-2	1			
	Indice			6	5	3	1	0			
A4 _d	ALTERAZIONE GIUNTI			non alt.	legg. alt.	med. alt.	molto alt.	decomposti			
	JCS _{sana} /JCS _{alterata}			1-1,5	1,5-2	2-3	3-4	5			
	Indice			6	5	3	1	0			
A4 _e	RIEMPIMENTO (mm)			nessuno	comp. <5	comp. >5	molle <5	molle >5			
	Indice			6	4	2	2	0			
A5	CONDIZIONI IDRAULICHE DEI GIUNTI			asciutti	umidi	bagnati	stillicidio	venute d'acqua			
	Indice			15	10	7	4	0			
A6	ORIENTAMENTO DEI GIUNTI	planare	αj - αf	>30°	30°-20°	20°-10°	10°-5°	<5°			
		cuneo	αi - αf								
		toppling	αj - αf - 180°								
		Indice	F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1			
		planare	βj	<20°	20°-30°	30°-35°	35°-45°	>45°			
		cuneo	βi								
		Indice	F2	0,15	0,4	0,7	0,85	1			
		toppling	F2	1	1	1	1	1			
		planare	βj - βf	>10°	10°-0°	0°	0°-(10°)	<-10°			
		cuneo	βi - βf								
		toppling	βj + βf	<110°	110°-120°	>120°	-	-			
		Indice	F3	0	-2 / -5	-7 / -25	-15 / -50	-25 / -60			
		METODO DI SCAVO				sacrata naturale	pretaglio	controllato	esplosivo e meccanico	non controllato	
Indice		F4	15	10	8	0	-8				

Parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso (RMR-Beniawsky)								
RMR =	55	Discreta	E [MPa]=	10870	$\Phi(^{\circ})=$	33	c[MPa]=	0,277
RMR _r =	44	Discreta	E _r [MPa]=	7223	$\Phi_r(^{\circ})=$	27	c _r [MPa]=	0,222

SMR =	55	Classificazione dell'ammasso roccioso (SMR-Beniawsky e Romana)
CLASSE	III	
DESCRIZIONE	Discreta	
STABILITA'	Parzialmente stabile	
MODO DI ROTTURA	Planare su alcuni giunti o per cunei	
STABILIZZAZ.	Sistematica	

Q =	3,563	Indice Q di Barton
E [MPa] =	13795	Modulo di young
E [MPa] =	5125	

Velocità onde P	4052	3705	m/sec
-----------------	------	------	-------

GSI =	50	Geological Strength Index
-------	----	---------------------------

Campo di applicazione	versanti
-----------------------	----------

σ_{ci} [Mpa] =	45	$m_i (-) =$	8	D (-) =	0,7
-----------------------	----	-------------	---	---------	-----

γ [Kg/m ³] =	2300	H [m]=	9
---------------------------------	------	--------	---

STOP 2

PARAMETRI				INTERVALLO VALORI							Indice ricavato
A1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale (Mpa)		>10	4-10	2-4	1-2	Non applicabile			
		Compressione monoassiale JCS (Mpa)		>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1	
		Indice		15	12	7	4	2	1	0	
A2	RQD (%)			90-100	75-90	50-75	25-50	<25			
	Indice			20	17	13	8	3			
A3	SPAZIATURA GIUNTI (m)			>2	0,6-2	0,6-0,2	0,06-0,2	<0,06			
	Indice			20	15	10	8	5			
A4 _a	PERSISTENZA GIUNTI (m)			<1	1-3	3-10	10-20	>20			
	Indice			6	4	2	1	0			
A4 _b	APERTURA GIUNTI (mm)			Chiuso	<0,1	0,1-1	1-5	>5			
	Indice			6	5	4	1	0			
A4 _c	RUGOSITA' GIUNTI			molto rug.	rugoso	legg. rug.	liscio	laminato			
	JRC			20-17	17-10	10-4	4-2	1			
	Indice			6	5	3	1	0			
A4 _d	ALTERAZIONE GIUNTI			non alt.	legg. alt.	med. alt.	molto alt.	decomposti			
	JCS _{sana} /JCS _{alterata}			1-1,5	1,5-2	2-3	3-4	5			
	Indice			6	5	3	1	0			
A4 _e	RIEMPIMENTO (mm)			nessuno	comp. <5	comp. >5	molle <5	molle >5			
	Indice			6	4	2	2	0			
A5	CONDIZIONI IDRAULICHE DEI GIUNTI			asciutti	umidi	bagnati	stillicidio	venute d'acqua			
	Indice			15	10	7	4	0			
A6	ORIENTAMENTO DEI GIUNTI	planare	αj - αf	>30°	30°-20°	20°-10°	10°-5°	<5°			
		cuneo	αi - αf								
		toppling	αj - αf - 180°								
		Indice	F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1			
		planare	βj	<20°	20°-30°	30°-35°	35°-45°	>45°			
		cuneo	βi								
		Indice	F2	0,15	0,4	0,7	0,85	1			
		toppling	F2	1	1	1	1	1			
		planare	βj - βf	>10°	10°-0°	0°	0°-(10°)	<-10°			
		cuneo	βi - βf								
		toppling	βj + βf	<110°	110°-120°	>120°	-	-			
		Indice	F3	0	-2 / -5	-7 / -25	-15 / -50	-25 / -60			
	METODO DI SCAVO				sacrata naturale	pretaglio	controllato	esplosivo e meccanico	non controllato		
Indice				F4	15	10	8	0	-8		

Parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso (RMR-Beniawsky)							
RMR =	59	Discreta	E [MPa]=	18798	$\Phi(^{\circ})=$	35	c[MPa]= 0,297
RMR _r =	48	Discreta	E _r [MPa]=	8669	$\Phi_r(^{\circ})=$	29	c _r [MPa]= 0,238

SMR =	59	Classificazione dell'ammasso roccioso (SMR-Beniawsky e Romana)
CLASSE	III	
DESCRIZIONE	Discreta	
STABILITA'	Parzialmente stabile	
MODO DI ROTTURA	Planare su alcuni giunti o per cunei	
STABILIZZAZ.	Sistematica	

Q =	5,534	Indice Q di Barton
E [MPa] =	18577	Modulo di young
E [MPa] =	13031	

Velocità onde P	4243	4021	m/sec
-----------------	------	------	-------

GSI =	54	Geological Strength Index
-------	----	---------------------------

Campo di applicazione	versanti
-----------------------	----------

σ_{ci} [Mpa] =	60	$m_i (-) =$	8	D (-) =	1,0
-----------------------	----	-------------	---	---------	-----

γ [Kg/m ³] =	2300	H [m]=	9
---------------------------------	------	--------	---

STOP 3

PARAMETRI				INTERVALLO VALORI							Indice ricavato	
A1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale (Mpa)		>10	4-10	2-4	1-2	Non applicabile				
		Compressione monoassiale	JCS	>250	100-250	50-100	25-50	5-25	1-5	<1		
		(Mpa)										
		Indice		15	12	7	4	2	1	0	7	
A2		RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	<25			12	
		Indice		20	17	13	8	3				
A3		SPAZIATURA GIUNTI (m)		>2	0,6-2	0,6-0,2	0,06-0,2	<0,06			18	
		Indice		20	15	10	8	5				
A4 _a		PERSISTENZA GIUNTI (m)		<1	1-3	3-10	10-20	>20			0	
		Indice		6	4	2	1	0				
A4 _b		APERTURA GIUNTI (mm)		Chiuso	<0,1	0,1-1	1-5	>5			4	
		Indice		6	5	4	1	0				
A4 _c		RUGOSITA' GIUNTI		molto rug.	rugoso	legg. rug.	liscio	laminato			5	
		JRC		20-17	17-10	10-4	4-2	1				
		Indice		6	5	3	1	0				
A4 _d		ALTERAZIONE GIUNTI		non alt.	legg. alt.	med. alt.	molto alt.	decomposti			6	
		JCS _{sana} /JCS _{alterata}		1-1,5	1,5-2	2-3	3-4	5				
		Indice		6	5	3	1	0				
A4 _e		RIEMPIMENTO (mm)		nessuno	comp. <5	comp. >5	molle <5	molle >5			4	
		Indice		6	4	2	2	0				
A5		CONDIZIONI IDRAULICHE DEI GIUNTI		asciutti	umidi	bagnati	stillicidio	venute d'acqua			15	
		Indice		15	10	7	4	0				
A6	ORIENTAMENTO DEI GIUNTI	planare	αj - αf	>30°	30°-20°	20°-10°	10°-5°	<5°			0,97	
		cuneo	αi - αf									
		toppling	αj - αf - 180°									
			Indice	F1	0,15	0,4	0,7	0,85	1			0,70
		planare	βj	<20°	20°-30°	30°-35°	35°-45°	>45°				
		cuneo	βi									
			Indice	F2	0,15	0,4	0,7	0,85	1			
			toppling	F2	1	1	1	1	1			
			planare	βj - βf	>10°	10°-0°	0°	0°-(10°)	<-10°			-60
			cuneo	βi - βf								
			toppling	βj + βf								
				Indice	F3	0	-2 / -5	-7 / -25	-15 / -50	-25 / -60		
			METODO DI SCAVO			sacripata naturale	pretaglio	controllato	esplosivo e meccanico	non controllato		
Indice		F4	15	10	8	0	-8					

Parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso (RMR-Beniawsky)							
RMR =	71	Buona	E [MPa]=	41534	$\Phi(^{\circ})=$	40	c[MPa]= 0,354
RMR _r =	57	Discreta	E _r [MPa]=	13227	$\Phi_r(^{\circ})=$	33	c _r [MPa]= 0,283

SMR =	30	Classificazione dell'ammasso roccioso (SMR-Beniawsky e Romana)
CLASSE	IV	
DESCRIZIONE	Scadente	
STABILITA'	Instabile	
MODO DI ROTTURA	Planare su molti giunti o per grandi cunei	
STABILIZZAZ.	Estesa e correttiva	

Q =	19,572	Indice Q di Barton
E [MPa] =	32291	Modulo di young
E [MPa] =	27614	

Velocità onde P	4792	4605	m/sec
-----------------	------	------	-------

GSI =	66	Geological Strength Index
-------	----	---------------------------

Campo di applicazione	versanti
-----------------------	----------

σ_{ci} [Mpa] =	65	$m_i (-) =$	8	D (-) =	1,0
-----------------------	----	-------------	---	---------	-----

γ [Kg/m ³] =	2300	H [m]=	9
---------------------------------	------	--------	---

Per la determinazione del GSI si riporta anche l'approccio grafico proposto appositamente per ammassi rocciosi eterogenei (Hoek e Marinos, 2000). Il grafico fornisce un range di valori di GSI relazionando la struttura dell'ammasso indagato con le caratteristiche fisiche delle discontinuità che lo interessano. Attraverso l'uso di questo strumento sono state valutate anche le parti più intensamente fratturate (zone cataclastiche e brecciose, quindi materiale molto scadente) che si ritrovano talvolta alternate a zone più massive, di qualità valutata mediocre, in bande di spessore da decimetrico a metrico.

I risultati elaborati sembrano essere in linea con i precedenti valori di GSI ricavati da RMR, come mostrato nella figura che segue.

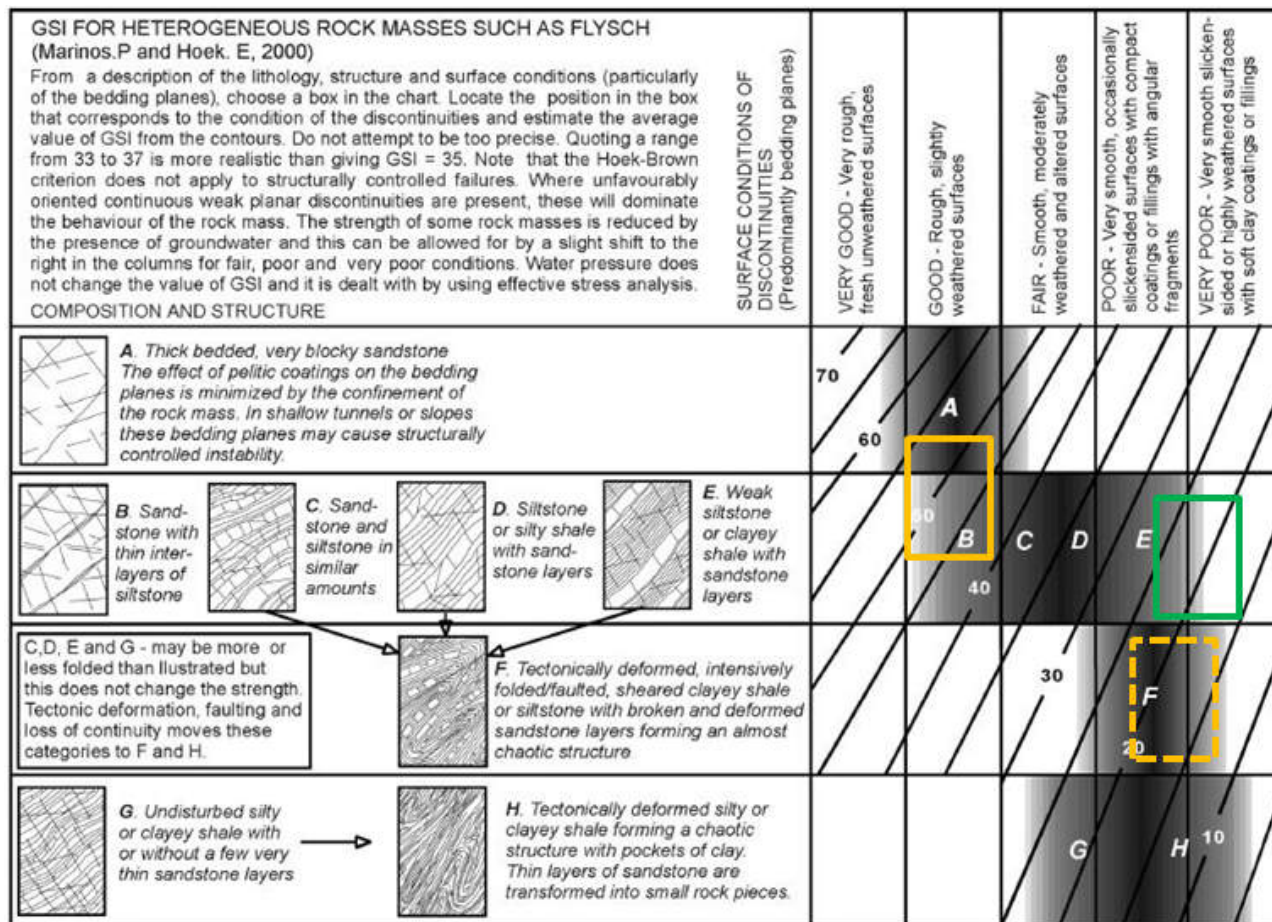


Figura 4 – Tavola GSI per ammassi rocciosi eterogenei e determinazione della qualità geomeccanica di marne e marne calcaree (giallo), parti di affioramenti di marne e marne calcaree costituiti prevalentemente da materiale breccioso (giallo tratteggiato) e depositi di molassa e peliti (verde).

FORMAZIONE GEOLOGICA	GSI RANGE
Marne e marne calcaree	46-51
Marne brecciate e fratturate	17-22
Marne, areniti e peliti	19-24

Tavola 1 – Classificazione geomeccanica degli ammassi rilevati tramite diagramma GSI

E' possibile operare a questo punto una semplice analisi tramite il software *RocLab*, con l'obiettivo di determinare valori di resistenza degli ammassi indagati quali coesione, resistenza a compressione monoassiale, resistenza a trazione e modulo elastico di deformabilità.

Alcuni dei parametri che consentono di operare il calcolo e che vengono inseriti nel modello sono quelli elaborati dal rilievo geomeccanico. Questo permette l'analisi di resistenza degli ammassi rocciosi nella loro totalità, dunque considerando caratteri meccanici dettati contemporaneamente dalle proprietà della roccia intatta e dalle caratteristiche delle fratture. Il programma inoltre elabora e restituisce una relazione grafica

tra assi principali dello sforzo, mostrando attraverso piani di Mohr i criteri di rottura lineare di Coulomb ed il criterio non lineare di Hoek e Brown. Quest'ultimo criterio di rottura (Hoek e Brown, 1980) nasce proprio dalla necessità di voler descrivere la resistenza meccanica del materiale alla scala dell'ammasso.

Partendo dunque dalle proprietà della roccia intatta e dalla sua resistenza, questa è scalata progressivamente tenendo conto di condizioni geologiche incontrate spostandosi da roccia ad ammasso roccioso.

Negli anni il criterio di Hoek e Brown ha subito notevoli modifiche ed integrazioni, dove in particolare nel 2002 è stato introdotto il parametro 'D' detto fattore di disturbo. Questo parametro tiene conto del grado di disturbo procurato all'ammasso in fase di scavo e varia da 0 ad 1, rispettivamente da ammasso indisturbato ad ammasso fortemente disturbato. La classificazione di qualità geomeccanica GSI proposta da Hoek nasce proprio a supporto di questo criterio di analisi, e rappresenta un altro dato in ingresso fornito al programma.

Si inserisce inoltre il valore di 'mi' ovvero una costante propria del materiale intatto, valore tabellato per i vari litotipi e calcolato empiricamente da numerose prove triassiali. Infine, calcolando una media dei valori di R relativamente a misure prese su superfici non alterate, si ottiene un valore stimato di resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta e lo si inserisce nel modello.

Il valore di resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta è calcolato a partire dai molteplici valori elaborati di JCS (Jointwall compressive strenght) su superfici fresche o comunque non presentanti segni di alterazione. Attraverso il martello di Schmidt è stato registrato un valore di rimbalzo 'R' relativo ad una massa battente in acciaio azionata da una molla che contrasta un'asta di percussione a diretto contatto con la superficie rocciosa da analizzare. La misura della durezza del materiale da indagare si basa sul principio che il rimbalzo della massa metallica che percuote la superficie è funzione della durezza della superficie stessa.

Prima di ogni misura, quindi, si carica lo strumento poi si procede liberando la massa con una quantità di energia prestabilita. Dal valore di rimbalzo ricavato R si procede calcolando il valore di JCS utilizzando l'equazione proposta da Miller:

$$JCS = 10^{0,00088\gamma R} + 1,01$$

dove γ è il peso di volume del materiale. E' stato utilizzato per il peso di volume il valore medio di 2,3 KN/m³. Sono stati calcolati valori di JCS anche utilizzando un metodo grafico tramite un diagramma, che consente di ricavare un valore di resistenza parametrizzato tenuto conto anche dell'angolo di inclinazione dello strumento durante la prova.

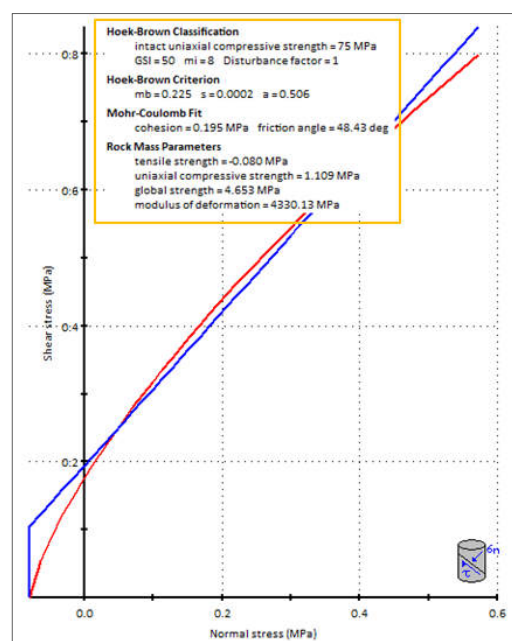


Figura 5 – Relazione tra assi dello sforzo normale e tangenziale agenti su una ipotetica superficie di rottura per gli ammassi rocciosi costituiti da marne e marne calcaree. In rosso il criterio di Hoek e Brown, in blu il criterio di Coulomb. In alto parametri geomeccanici in ingresso e parametri di resistenza dell'ammasso, elaborati dal programma nel caso di applicazione pendii.

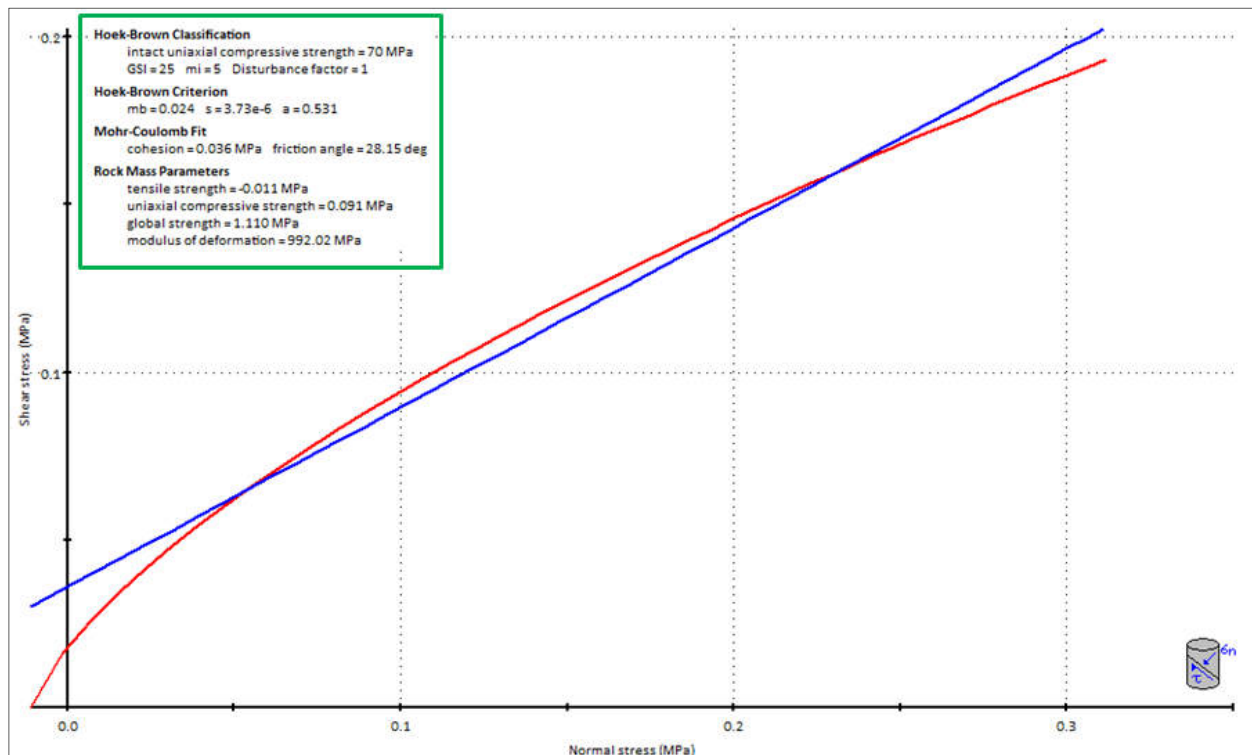


Figura 6 – Relazione tra assi dello sforzo normale e tangenziale agenti su una ipotetica superficie di rottura per gli ammassi rocciosi costituiti da marne, areniti e peliti. In rosso il criterio di Hoek e Brown, in blu il criterio di Coulomb. In alto a sinistra parametri geomeccanici in ingresso e parametri di resistenza dell'ammasso, elaborati dal programma nel caso di applicazione pendii.

La giacitura degli strati cambia in modo sostanziale tra i versanti della miniera esposti a NO (zona rilevata tramite Stop 1 e 3) ed i versanti esposti a NE ed ESE (Stop 2 e 4), dove rispettivamente la stratificazione passa da un andamento generale a reggipoggio ad uno a franapoggio. Le ipotesi strutturali sono state trattate in modo più articolato nel capitolo relativo all'introduzione geologica e strutturale, tuttavia si vuole brevemente contestualizzare il motivo per il quale si rinvencono formazioni geologiche con andamenti di stratificazione molto variabili anche alla scala dello stesso giacimento, richiamando alcuni concetti.

A partire da circa 30 MA fa la regione centro – Appenninica è stata fortemente interessata da movimenti litosferici superficiali aventi carattere prevalentemente estensionale, manifestatisi con l'instaurarsi di sistemi di faglie normali orientati principalmente NO-SE, i quali dissezionano la catena Appenninica in grossi blocchi crostali. Oltre alle faglie principali estese su scala regionale, gli stress presenti nella litosfera vengono dissipati in modo locale tramite strutture fragili minori.

Analizzando la geologia strutturale alla scala della miniera infatti, si osserva una faglia normale avente andamento NO-SE, dunque in linea con la direzionalità delle strutture regionali maggiori. Nella parte NO della miniera è possibile osservarne in sezione lo specchio di faglia immergere verso SO e marcare il contatto tra la formazione calcareo – marnosa e la formazione arenaceo – argillosa. Questa struttura ribassa ed isola il materiale a basso titolo costituito dalla facies di molassa, prevalentemente formata da unità pelitiche più giovani ed in alto stratigrafico rispetto al materiale calcareo – marnoso.

La diretta conseguenza sulle differenti unità geologiche è una variazione laterale della stratigrafia e soprattutto una variazione delle giaciture degli strati tra il blocco a letto (zona Est) ed il blocco a tetto (zona OSO, in particolare verso lo specchio di faglia). Gli strati del blocco a tetto sono stati inclinati dal cinematismo prodotto rispetto alla stratificazione originaria del blocco a letto, o più probabilmente blandamente piegati lungo lo specchio di faglia, come da modello classico in letteratura del blocco di tetto

ruotato verso il piano di faglia listrica con conseguente genesi di una sorta di “antiforme”. Nei pressi degli Stop 1, 2 e 3, dove in affioramento troviamo principalmente marna e marna calcarea, sono presenti dei piani di faglia, alcuni dei quali presentano indicatori cinematici quali strie di movimento, gradini in roccia e fibre di accrescimento, che se interpretati suggeriscono movimenti estensionali. Inoltre, intervallate a zone più massive e dunque di maggior qualità geomeccanica, affiorano molte fasce cataclastiche e zone di materiale breccioso poco o per nulla consolidato. Tutto questo suggerisce una complessità geo – strutturale, soprattutto delle unità relativamente più vecchie, ed aiuta a contestualizzare l’eterogeneità geometrica delle stratificazioni e delle differenti famiglie di fratture presenti nell’intero giacimento.

Proprio a causa di questa variabilità strutturale osservata alla scala del fronte estrattivo, è difficoltoso l’operare correlazioni tra famiglie di discontinuità rilevate nei differenti stop.

Per questo motivo verranno successivamente trattate in dettaglio ed in modo separato le varie situazioni geomeccaniche riscontrate sui fronti in corrispondenza dei 4 differenti stop.

4.1 ANALISI DI STABILITA’ E RISULTATI

La scelta delle zone di indagine, come già accennato, è stata fatta in modo omogeneo su tutta l’area della miniera.

Dopo aver presentato per ogni STOP la tabella delle giaciture rilevate in campo e il relativo diagramma di Schimdt, si esaminano le condizioni statiche di quei cunei di roccia e/o delle superfici planari potenzialmente instabili che si potrebbero formare a seguito dell’intersezione tra le discontinuità presenti nell’ammasso roccioso e le superfici libere generate dal fronte di scavo in esame.

Tutti i dati sperimentali di partenza rilevati sul terreno sono già stati riportati in specifici diagrammi equiareali o di Schmidt. I modi base di rottura più diffusi negli ammassi rocciosi si dividono nelle seguenti categorie:

- scivolamenti planari: un monolito scivola su di una superficie piana o assimilabile a piana, avente direzione di immersione simile a quella del pendio
- scivolamenti lungo intersezioni: implicano scivolamento di blocchi a forma di cuneo delimitati da superfici piane con direzioni di immersione diverse da quella del pendio, del fronte del pendio e di una eventuale frattura di trazione sub-verticale e con direzione di scivolamento data dalla linea di intersezione tra due piani
- ribaltamenti: coinvolgono blocchi prismatici definiti da uno o due sistemi di discontinuità di cui uno, necessariamente presente, ha direzione di immersione opposta a quella del fronte; l’altro, se esiste, ha direzione simile a quella del fronte.

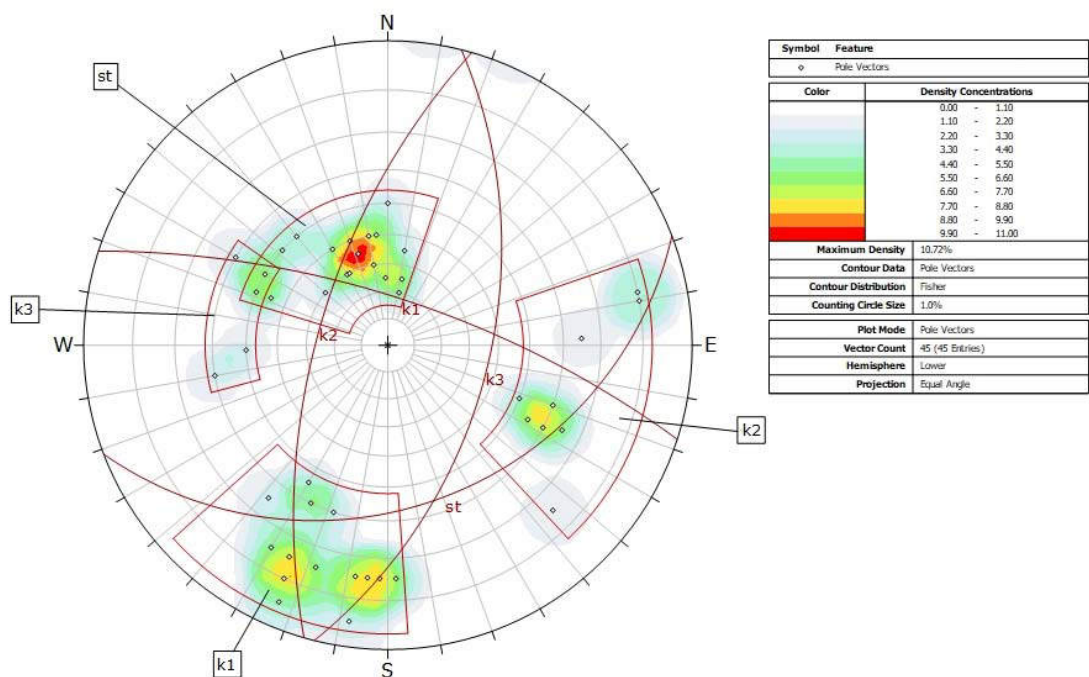
Per i fronti 1, 2 e 3 sono state eseguite analisi di stabilità puntuale, andando cioè a verificare la stabilità dell’ammasso roccioso locale, mentre per il fronte 4 – costituito da un pendio prevalentemente di natura terrigena – è stata eseguita un’analisi di stabilità globale.

..*

4.1.1 Analisi di stabilità locale (giacitura fronte 1 in dip/dipdir = 70/320)

L’analisi di stabilità eseguita in corrispondenza del fronte 1 analizzato prende in considerazione l’analisi della stabilità locale, dovuta al fatto che le discontinuità presenti nell’ammasso, unitamente alle condizioni di giacitura del fronte di scavo, possano intersecarsi tra loro isolando blocchi potenzialmente instabili.

Nel diagramma di Schmidt sotto riportato, è rappresentata la situazione delle discontinuità e i loro reciproci rapporti.

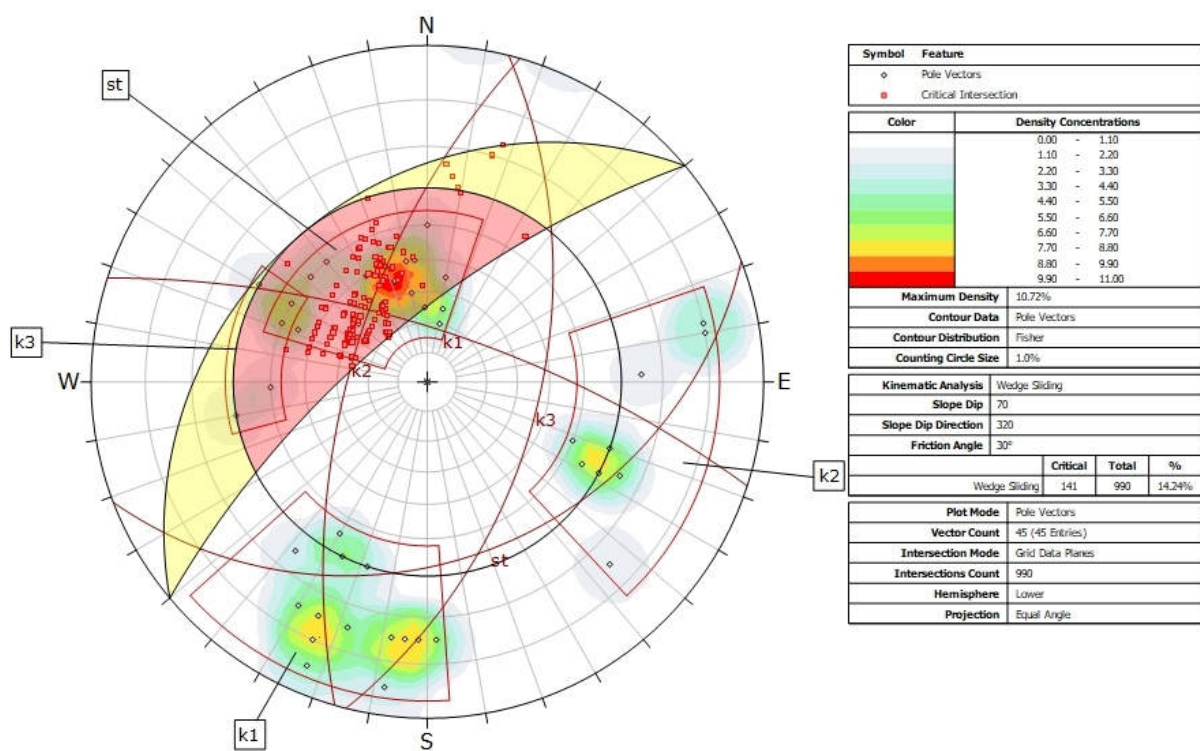


In corrispondenza di questo stop, l'ammasso roccioso presenta le discontinuità riportate nella tabella sottostante.

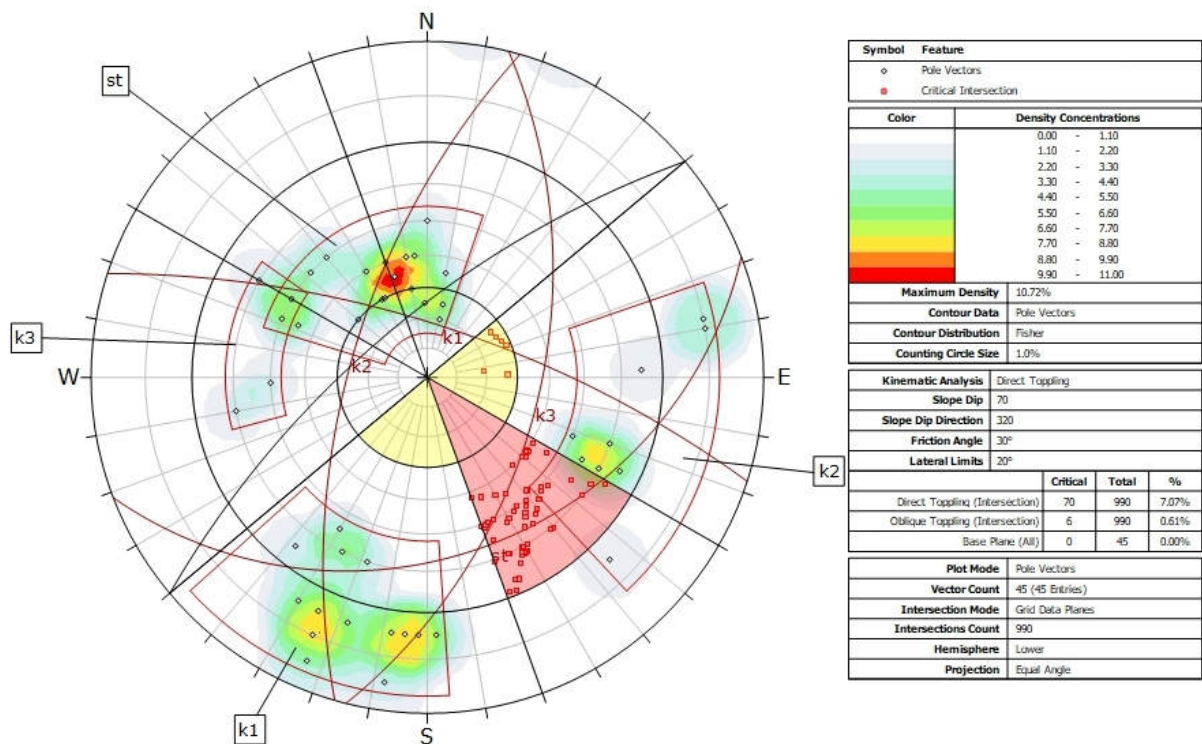
	st	k1	k2	k3
Dip	34	72	64	53
Dip Dir	159	18	286	104

Dall'analisi cinematica svolta sui dati raccolti è emersa la possibile formazione di:

- scivolamento di cunei



- ribaltamento



La situazione analizzata mostra la possibilità che si formino cunei instabili e ribaltamenti, che pertanto è necessario indagare e approfondire per determinare se effettivamente si formano e, se si formano, qual è il rapporto tra le forze stabilizzanti e quelle instabilizzanti attraverso la determinazione del fattore di sicurezza.

Con apposito software sono stati determinati i fattori di sicurezza, che sono riportati nella seguente tabella.

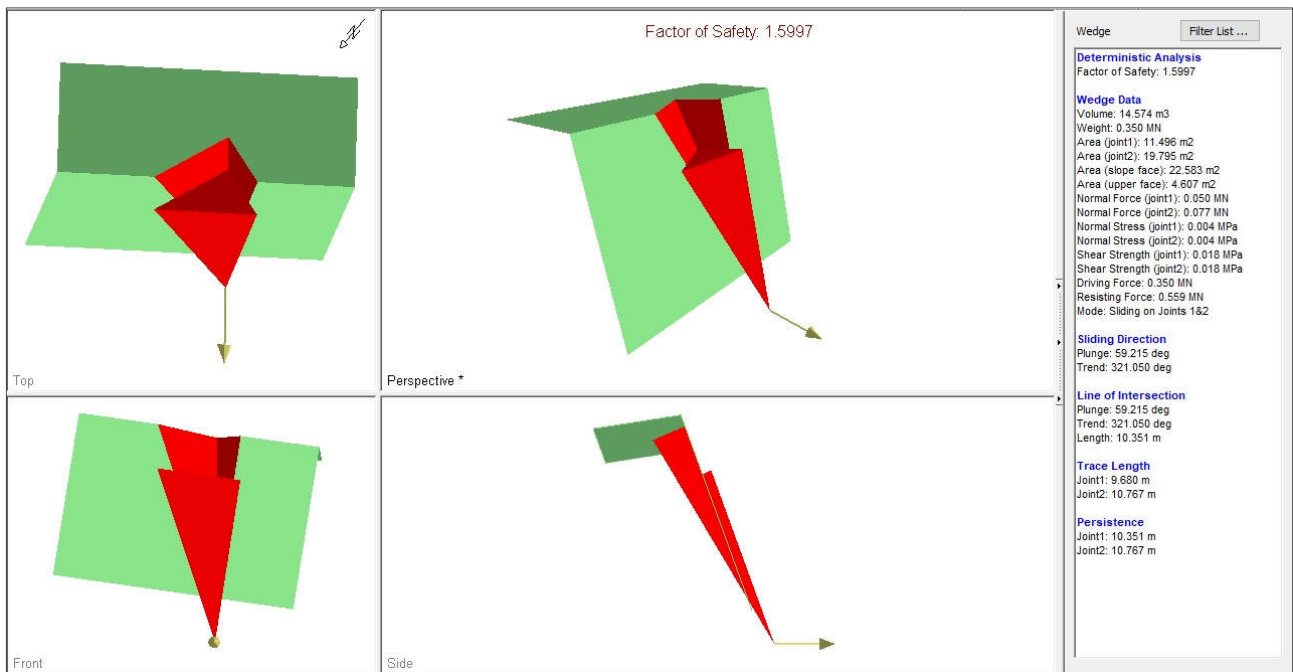
Tipologia di instabilità	Piani di scivolamento	Fs
Scivolamento cunei	St – k2	Non si forma
	St – k1	Non si forma
	k1 – k2	1,599
Ribaltamento	Ribaltamento k1	1,195

Tabella 2 – Fattori di sicurezza determinati per le discontinuità rilevate nello STOP 1

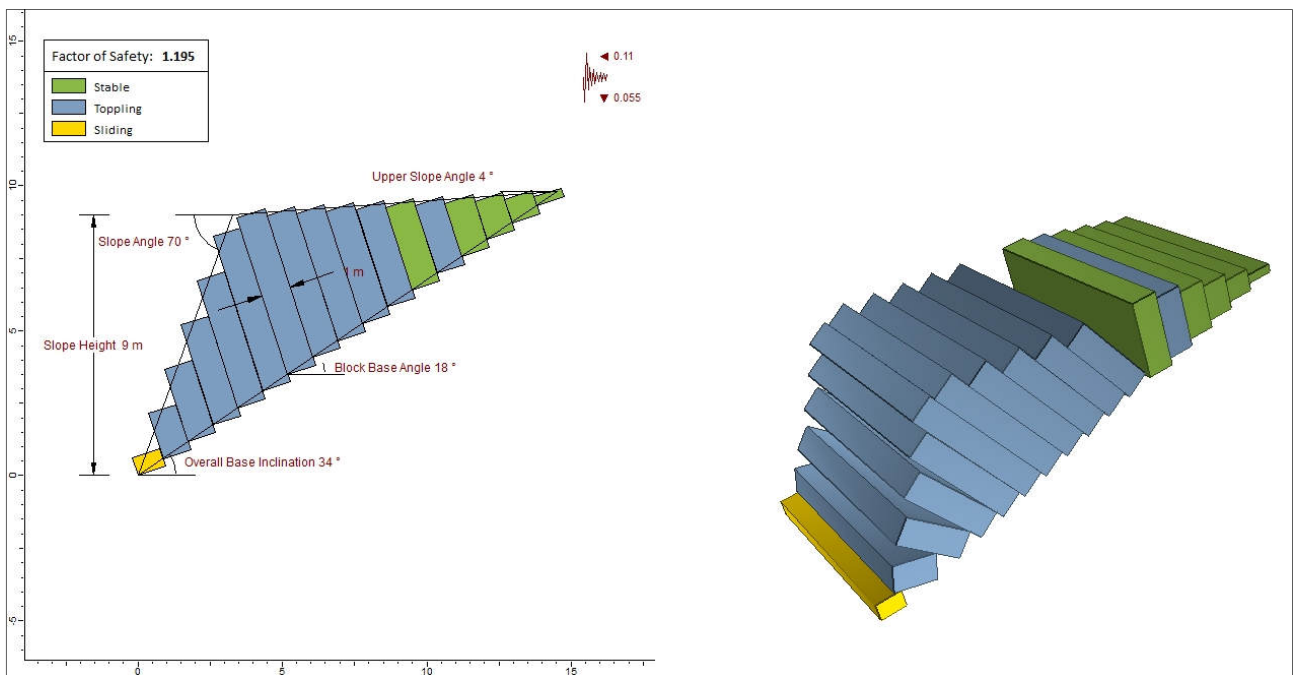
Nelle figure seguenti si riportano i risultati grafici delle analisi che hanno permesso di determinare il fattore di sicurezza per quanto individuato in tab. 2.

* . * . *

Scivolamento cunei k1-k2



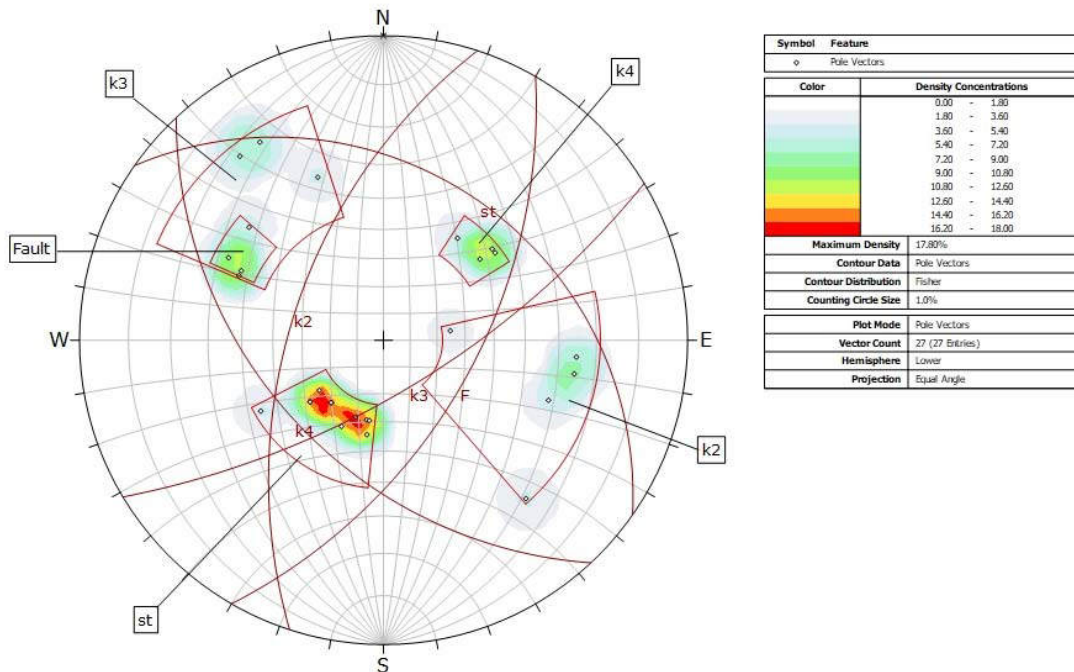
Ribaltamento lungo k1



4.1.2 Analisi di stabilità locale (giacitura fronte 2 in dip/dipdir = 70/60)

L'analisi di stabilità eseguita in corrispondenza del fronte 2 analizzato prende in considerazione l'analisi della stabilità locale, dovuta al fatto che le discontinuità presenti nell'ammasso, unitamente alle condizioni di giacitura del fronte di scavo, possano intersecarsi tra loro isolando blocchi potenzialmente instabili.

Nel diagramma di Schmidt sotto riportato, è rappresentata la situazione delle discontinuità e i loro reciproci rapporti.

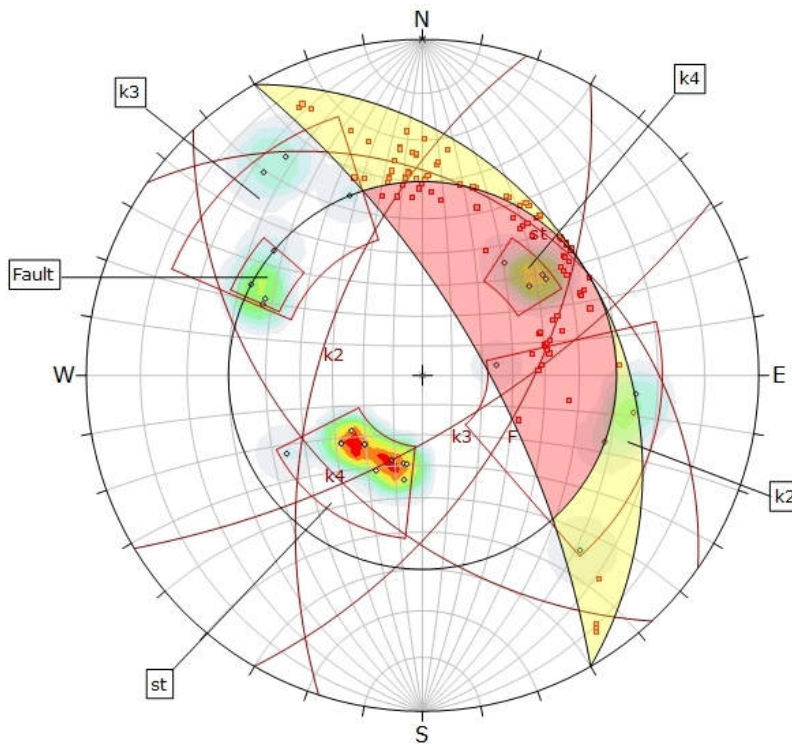


In corrispondenza di questo stop, l'ammasso roccioso presenta le discontinuità riportate nella tabella sottostante.

	st	k2	k3	K4	F
Dip	32	56	70	47	57
Dip Dir	35	288	149	227	120

Dall'analisi cinematica svolta sui dati raccolti è emersa la possibile formazione di:

- scivolamento di cunei



Symbol	Feature
○	Pole Vectors
■	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.80
	1.80 - 3.60
	3.60 - 5.40
	5.40 - 7.20
	7.20 - 9.00
	9.00 - 10.80
	10.80 - 12.60
	12.60 - 14.40
	14.40 - 16.20
	16.20 - 18.00

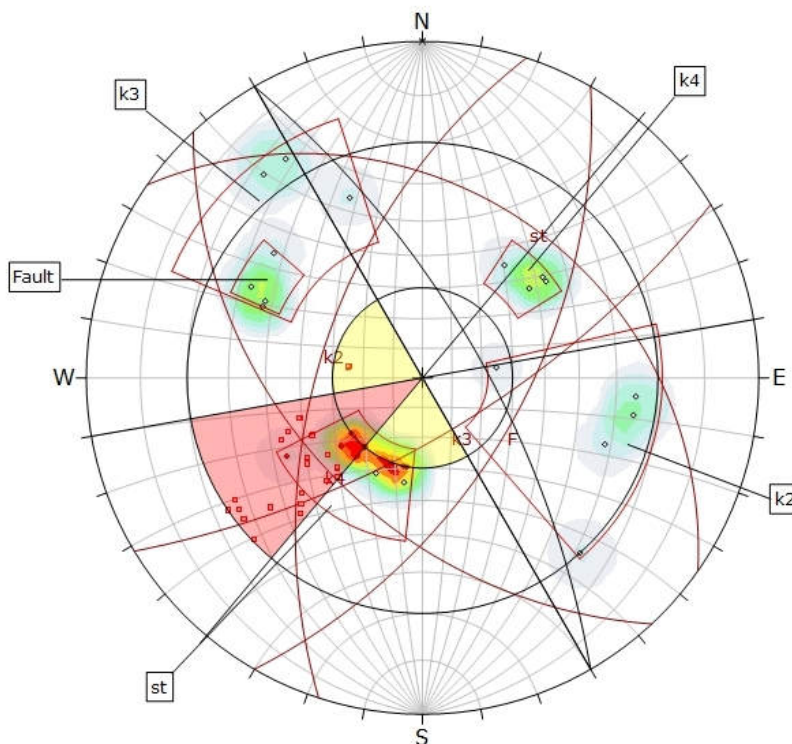
Maximum Density	17.80%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	60
Friction Angle	30°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	137	349	39.26%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	27 (27 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	349
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

- ribaltamento



Symbol	Feature
○	Pole Vectors
●	Critical Vectors
■	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.80
	1.80 - 3.60
	3.60 - 5.40
	5.40 - 7.20
	7.20 - 9.00
	9.00 - 10.80
	10.80 - 12.60
	12.60 - 14.40
	14.40 - 16.20
	16.20 - 18.00

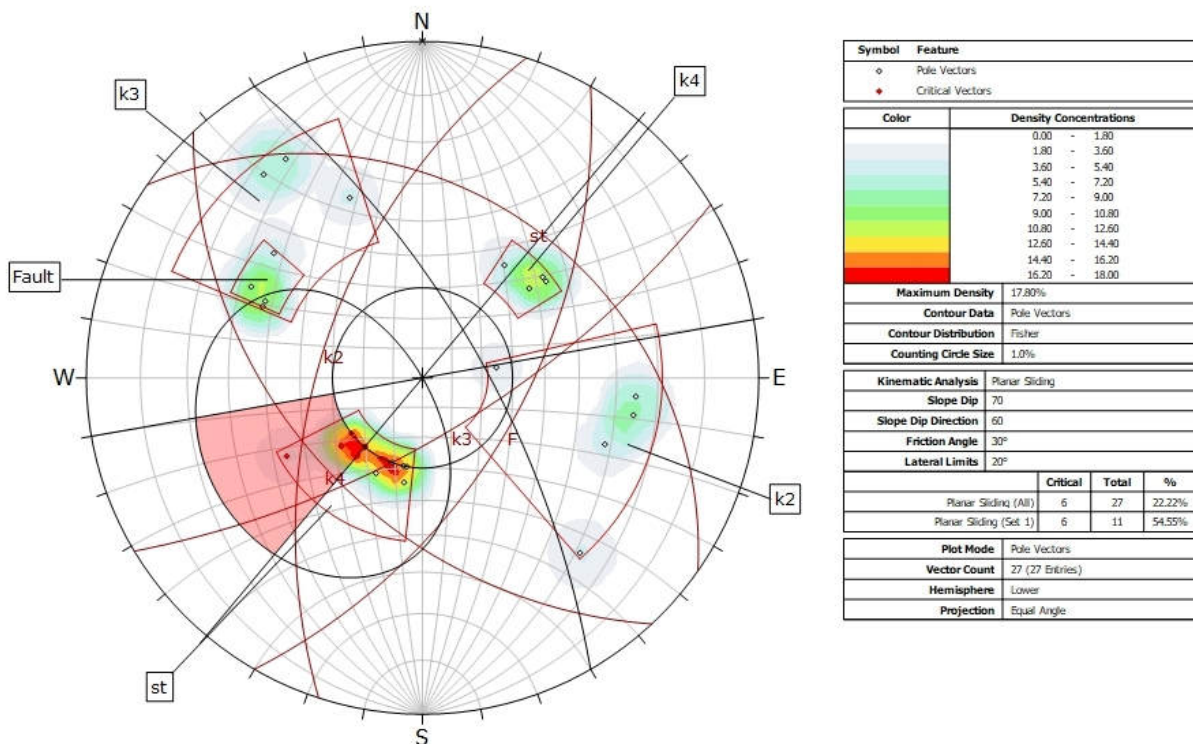
Maximum Density	17.80%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Direct Toppling
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	60
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Direct Toppling (Intersection)	24	349	6.88%
Oblique Toppling (Intersection)	3	349	0.86%
Base Plane (All)	9	27	33.33%
Base Plane (Set 1)	9	11	81.82%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	27 (27 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	349
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

- scivolamento planare



La situazione analizzata mostra la possibilità che si formino cunei instabili, ribaltamenti e scivolamenti, che pertanto è necessario indagare e approfondire per determinare se effettivamente si formano e, se si formano, qual è il rapporto tra le forze stabilizzanti e quelle instabilizzanti attraverso la determinazione del fattore di sicurezza.

Con apposito software sono stati determinati i fattori di sicurezza, che sono riportati nella seguente tabella.

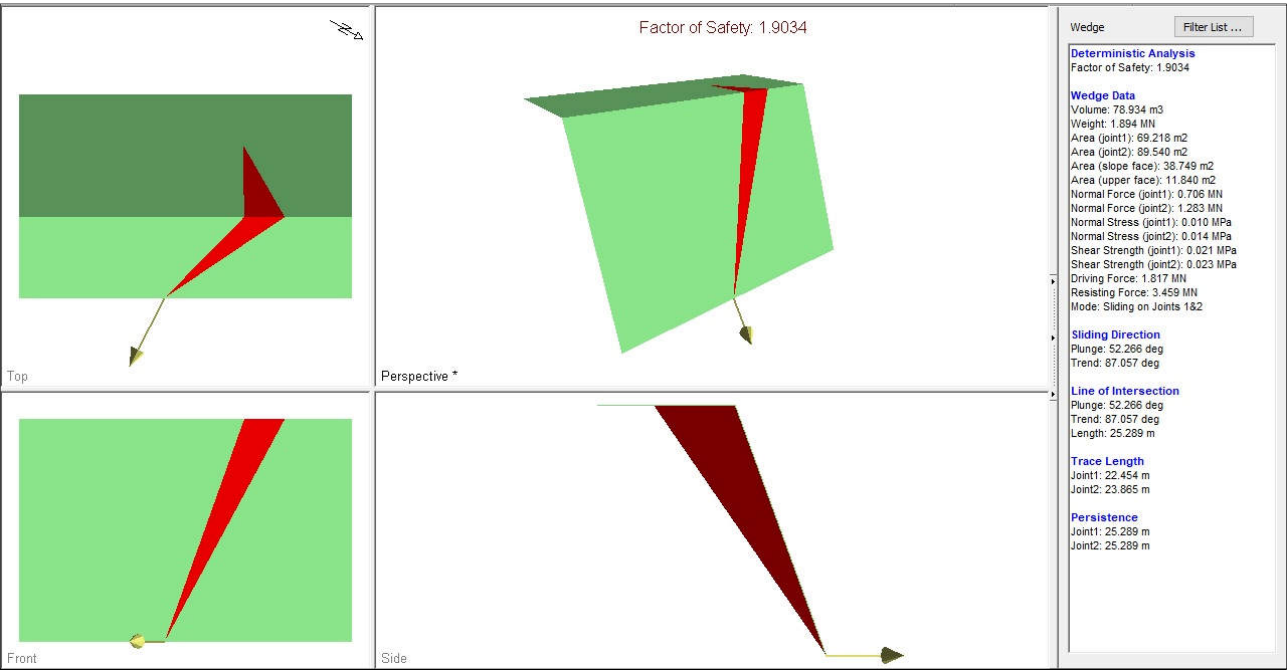
Tipologia di instabilità	Piani di scivolamento	Fs
Scivolamento cunei	St – k3 – F	1,903
	St – F	1,281
Ribaltamento	Ribaltamento k3	No ribaltamento/solo scivolamento 1,11
Scivolamento planare	Lungo st/k2	8,39

Tabella 3 – Fattori di sicurezza determinati per le discontinuità rilevate nello STOP 2

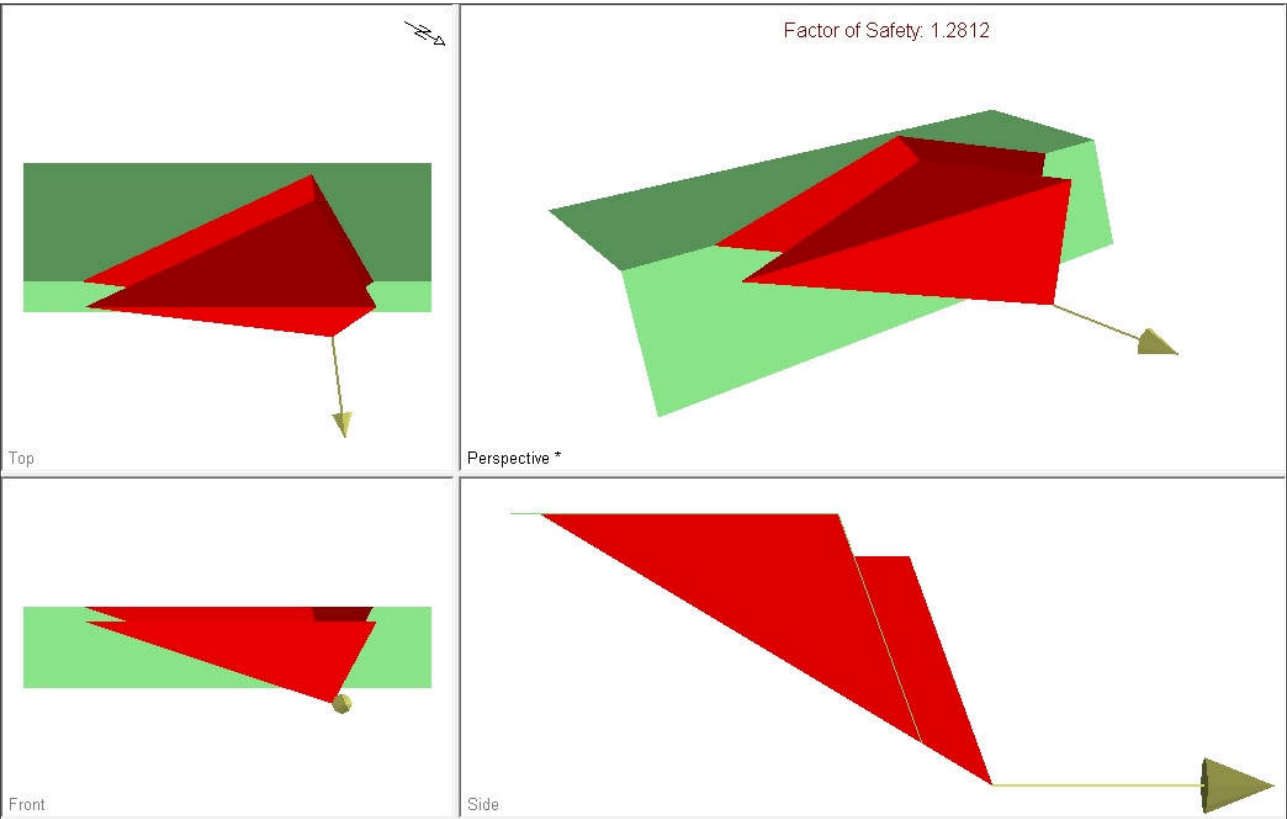
Nelle figure seguenti si riportano i risultati grafici delle analisi che hanno permesso di determinare il fattore di sicurezza per quanto individuato in tab. 3.

..*

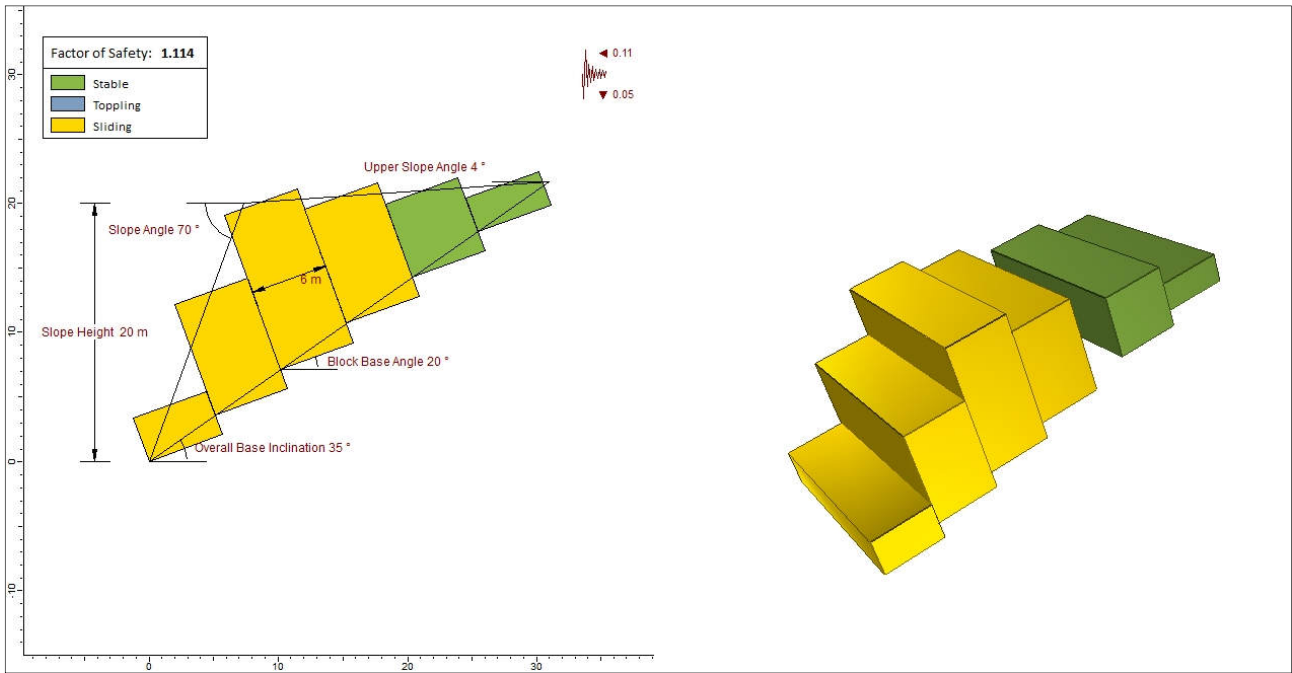
Scivolamento cunei St – k3 – F



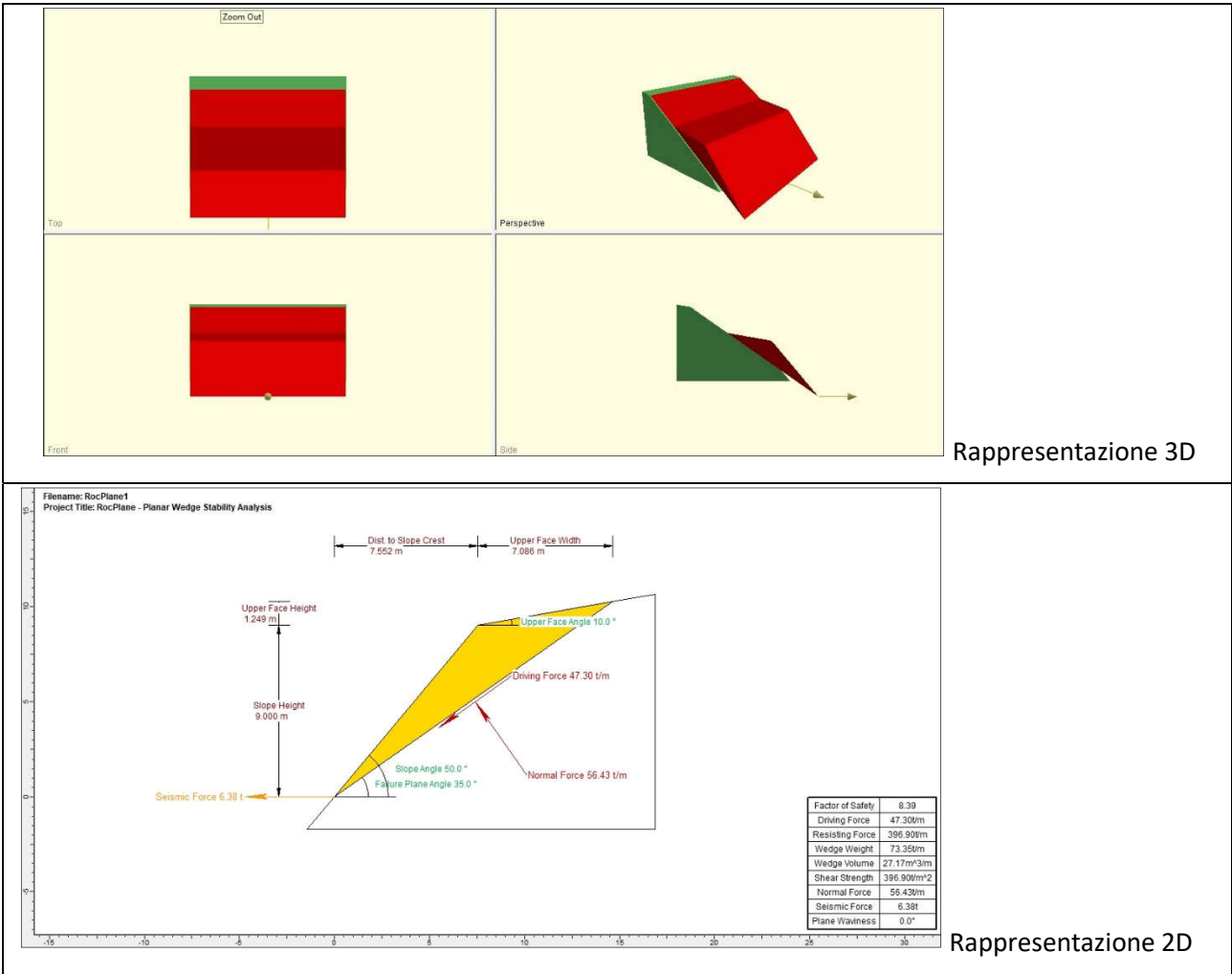
Scivolamento cunei St – F



Ribaltamento lungo k3 (solo scivolamento)



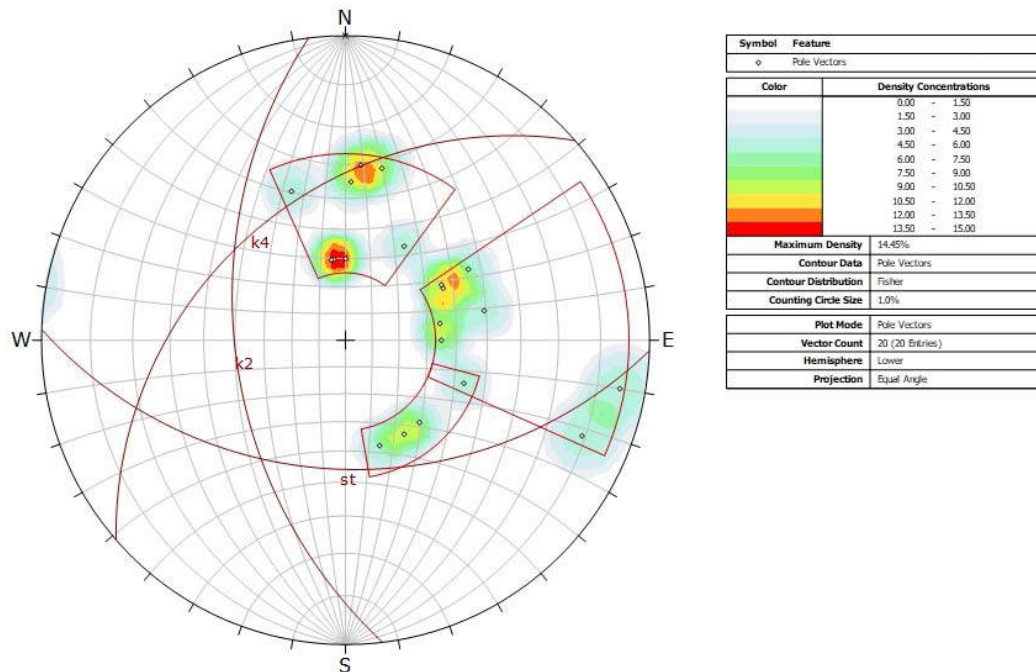
Scivolamento planare lungo st/k2



4.1.3 Analisi di stabilità locale (giacitura fronte 3 in dip/dipdir = 70/320)

L'analisi di stabilità eseguita in corrispondenza del fronte 3 analizzato prende in considerazione l'analisi della stabilità locale, dovuta al fatto che le discontinuità presenti nell'ammasso, unitamente alle condizioni di giacitura del fronte di scavo, possano intersecarsi tra loro isolando blocchi potenzialmente instabili.

Nel diagramma di Schmidt sotto riportato, è rappresentata la situazione delle discontinuità e i loro reciproci rapporti.

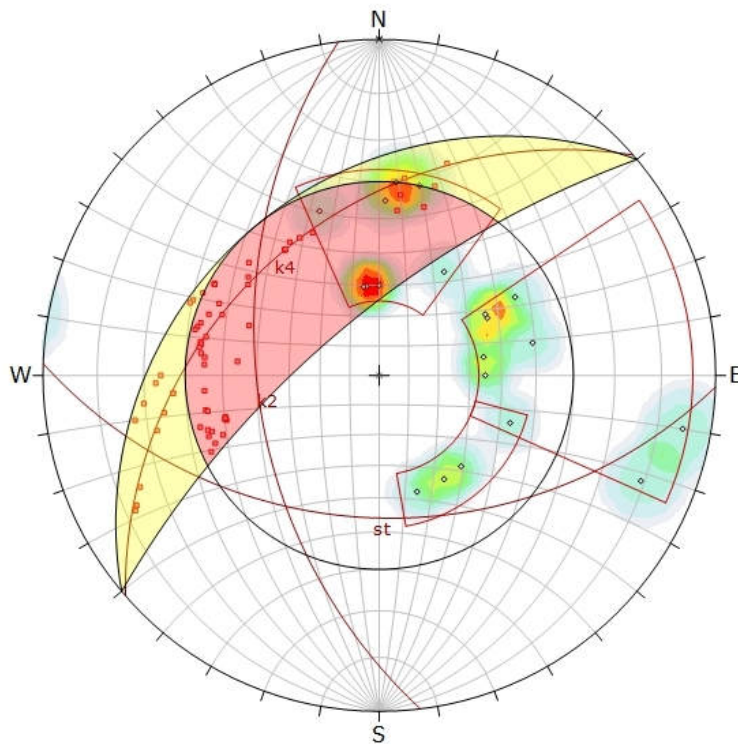


In corrispondenza di questo stop, l'ammasso roccioso presenta le discontinuità riportate nella tabella sottostante.

	St	k2	K4
Dip	44	50	40
Dip Dir	182	263	319

Dall'analisi cinematica svolta sui dati raccolti è emersa la possibile formazione di:

- scivolamento di cunei



Symbol	Feature
○	Pole Vectors
●	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.50
	1.50 - 3.00
	3.00 - 4.50
	4.50 - 6.00
	6.00 - 7.50
	7.50 - 9.00
	9.00 - 10.50
	10.50 - 12.00
	12.00 - 13.50
	13.50 - 15.00

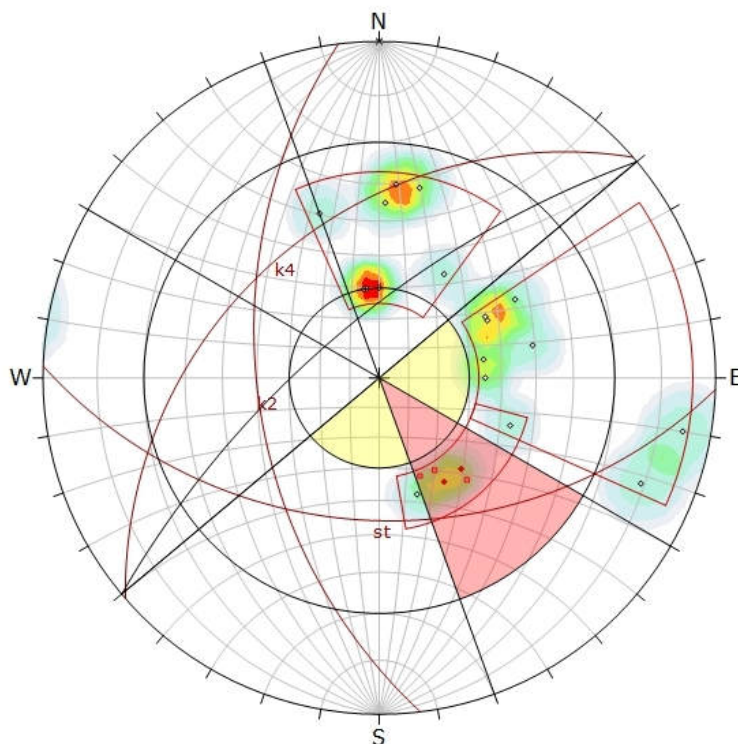
Maximum Density	14.45%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Wedge Sliding
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	320
Friction Angle	30°

	Critical	Total	%
Wedge Sliding	64	190	33.68%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	20 (20 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	190
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

- ribaltamento



Symbol	Feature
○	Pole Vectors
●	Critical Vectors
●	Critical Intersection

Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.50
	1.50 - 3.00
	3.00 - 4.50
	4.50 - 6.00
	6.00 - 7.50
	7.50 - 9.00
	9.00 - 10.50
	10.50 - 12.00
	12.00 - 13.50
	13.50 - 15.00

Maximum Density	14.45%
Contour Data	Pole Vectors
Contour Distribution	Fisher
Counting Circle Size	1.0%

Kinematic Analysis	Direct: Toppling
Slope Dip	70
Slope Dip Direction	320
Friction Angle	30°
Lateral Limits	20°

	Critical	Total	%
Direct Toppling (Intersection)	3	190	1.58%
Oblique Toppling (Intersection)	0	190	0.00%
Base Plane (All)	2	20	10.00%
Base Plane (Set 3)	2	4	50.00%

Plot Mode	Pole Vectors
Vector Count	20 (20 Entries)
Intersection Mode	Grid Data Planes
Intersections Count	190
Hemisphere	Lower
Projection	Equal Angle

La situazione analizzata mostra la possibilità che si formino cunei instabili, ribaltamenti e scivolamenti, che pertanto è necessario indagare e approfondire per determinare se effettivamente si formano e, se si formano, qual è il rapporto tra le forze stabilizzanti e quelle instabilizzanti attraverso la determinazione del fattore di sicurezza.

Con apposito software sono stati determinati i fattori di sicurezza, che sono riportati nella seguente tabella.

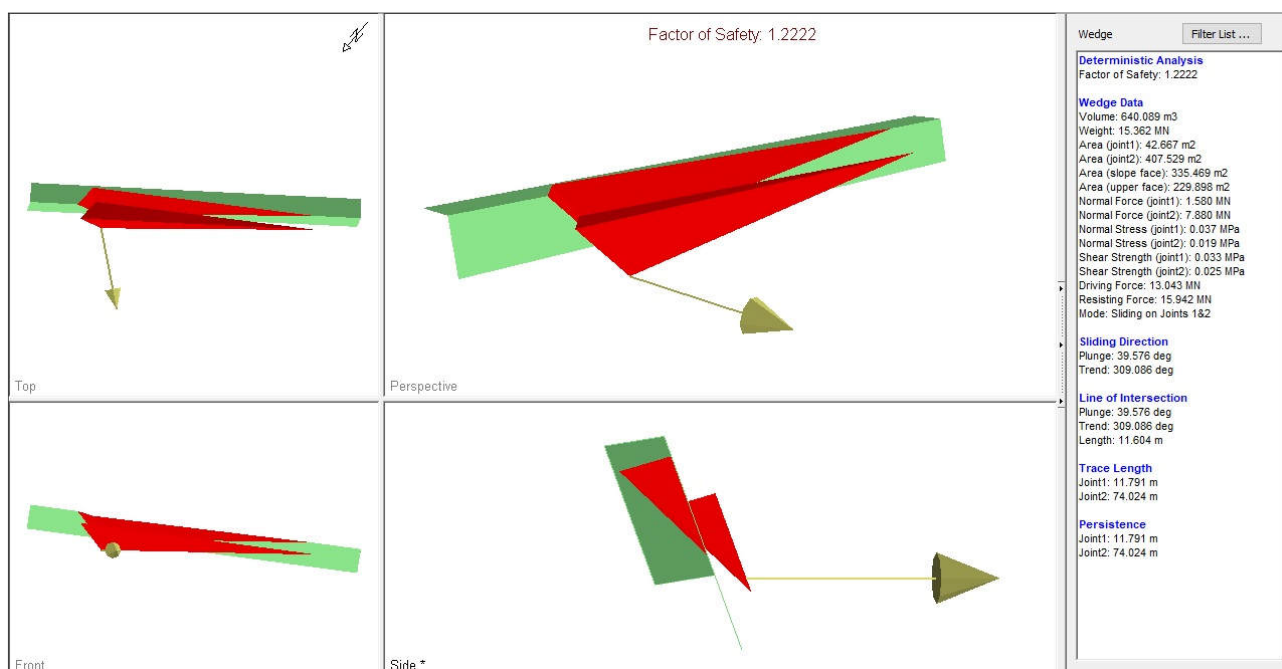
Tipologia di instabilità	Piani di scivolamento	Fs
Scivolamento cunei	St – k2 – k4	1,222
Ribaltamento	St/k4	1,26

Tabella 4 – Fattori di sicurezza determinati per le discontinuità rilevate nello STOP 3

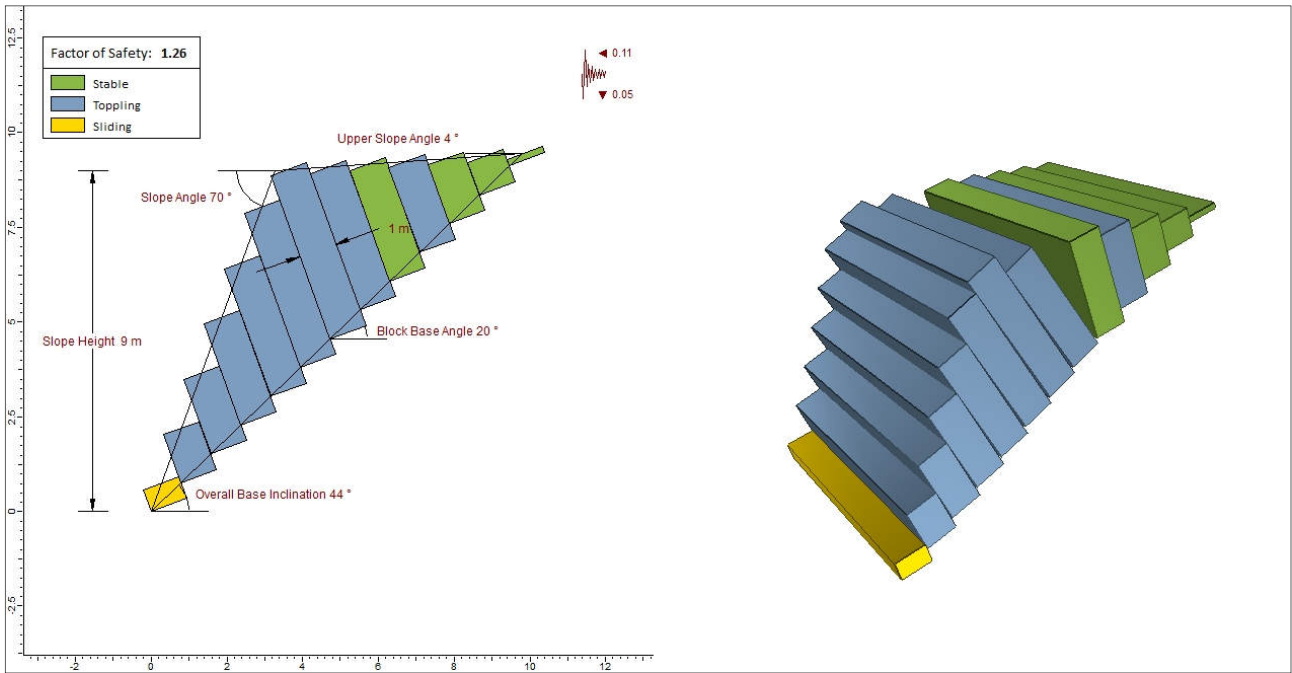
Nelle figure seguenti si riportano i risultati grafici delle analisi che hanno permesso di determinare il fattore di sicurezza per quanto individuato in tab. 4.

* * *

Scivolamento cunei St – k2 – k4



Ribaltamento lungo st/k4



4.1.4 Analisi di stabilità globale (giacitura fronte 4 in dip/dipdir = 70/150)

In corrispondenza del fronte 4 affiora la Formazione della Laga, con l'espressione di un membro francamente terrigeno (pelitico), intercalato da alcuni strati di natura calcarenitica e di aspetto più massivo.

Pertanto, ritenendo più sensato considerare questa zona più come un sedimento che come un affioramento roccioso, l'analisi di stabilità è stata eseguita considerando il gradone nella sua totalità, con il metodo di Bishop semplificato.

La definizione dei parametri geomeccanici del materiale secondo i quali si simula il comportamento delle porzioni di versante analizzate è un aspetto di rilevante importanza, in quanto piccole variazioni dei parametri caratteristici potrebbero influenzare la risposta del modello in modo anche significativo.

In questo caso, considerando le caratteristiche del materiale oggetto di indagine, a grande scala il comportamento del versante non risente dell'influenza di una o più discontinuità, ma si comporta come un mezzo continuo, la cui deformazione può essere assunta perfettamente elastica e la rigidità costante al variare dello stato tensionale.

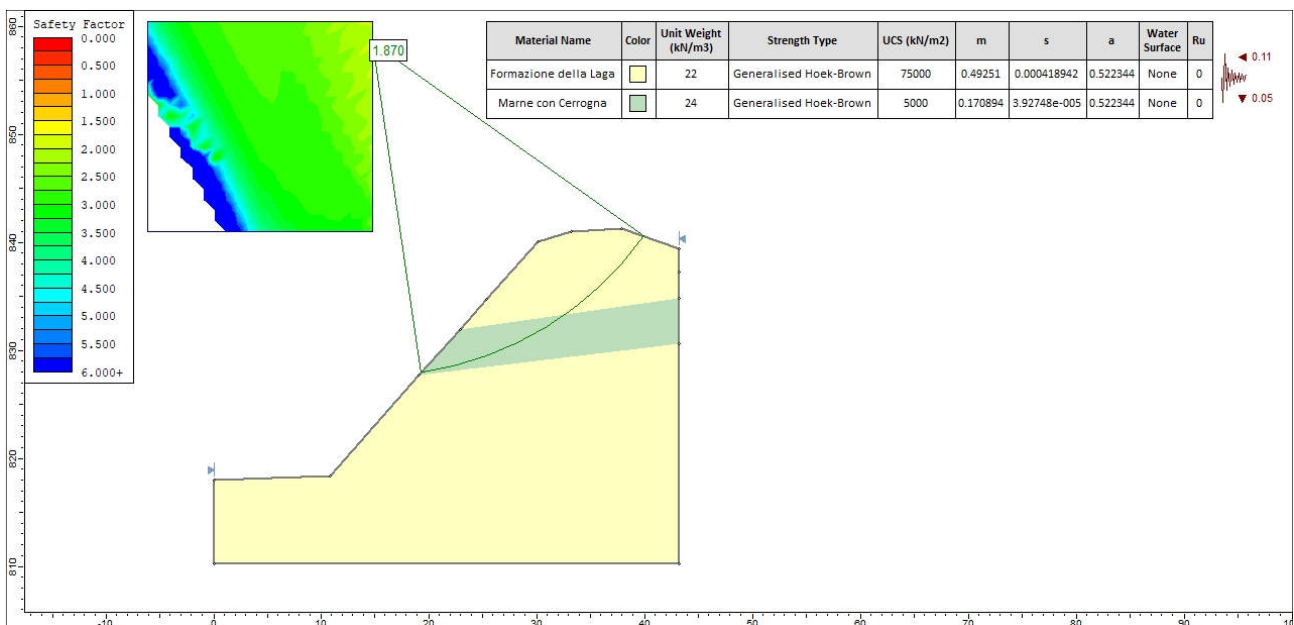
Le caratteristiche del mezzo sono le seguenti:

- φ (angolo di attrito) = 30°
- accelerazione sismica per il sito: $k_h = 0,110$ / $K_v = 0,05$

Il risultato dell'analisi e i calcoli che hanno permesso di determinare il FS lungo la sezione A-B analizzata è riportato di seguito.

Profilo	Fs minimo calcolato con Bishop
Sezione A – B	1,870

* * *



Slide Analysis Information

SLIDE - An Interactive Slope Stability Program

Project Summary

- File Name: sezione_A-8.slim
- Slide Modeler Version: 6.005
- Project Title: SLIDE - An Interactive Slope Stability Program
- Date Created: 10/05/2018, 13:53:08

General Settings

- Units of Measurement: Metric Units
- Time Units: days
- Permeability Units: meters/second
- Failure Direction: Right to Left
- Data Output: Standard
- Maximum Material Properties: 20
- Maximum Support Properties: 20

Design Standard

- Selected Type: Eurocode 7 - Design Approach 1, Combination 2

Type	Partial Factor
Permanent Actions: Unfavourable	1
Permanent Actions: Favourable	1
Variable Actions: Unfavourable	1.3
Variable Actions: Favourable	0
Effective cohesion	1.25
Coefficient of shearing resistance	1.25
Undrained strength	1.4
Weight density	1
Shear strength (other models)	1.25
Earth resistance	1
Tensile and plate strength	1.1
Shear strength	1.1
Compressive strength	1.1
Bond strength	1.1
Seismic Coefficient	1

Analysis Options

Analysis Methods Used

Bishop simplified

- Number of slices: 25
- Tolerance: 0.005
- Maximum number of iterations: 50
- Check $m\alpha < 0.2$: Yes
- Initial trial value of FS: 1
- Steffensen iteration: Yes

Groundwater Analysis

- Groundwater Method: Water Surfaces
- Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³
- Advanced Groundwater Method: None

Random Numbers

- Pseudo-random Seed: 10116
- Random Number Generation Method: Park and Miller v.3



Surface Options

- Surface Type: Circular
- Search Method: Grid Search
- Radius Increment: 10
- Composite Surfaces: Disabled
- Reverse Curvature: Create Tension Crack
- Minimum Elevation: Not Defined
- Minimum Depth: Not Defined

Loading

- Seismic Load Coefficient (Horizontal): 0.11
- Seismic Load Coefficient (Vertical): 0.05

Material Properties

Property	Formazione della Laga	Marne con Cerroigna
Color		
Strength Type	Generalised Hoek-Brown	Generalised Hoek-Brown
Unit Weight [kN/m ³]	22	24
Unconfined Compressive Strength (intact) [kPa]	75000	5000
nmb	0.49251	0.170894
ns	0.000418942	3.92748e-005
na	0.522344	0.522344
Water Surface	None	None
Ru Value	0	0

Global Minimums

Method: bishop simplified

FS: 1.870090
 Center: 14.724, 858.481
 Radius: 30.946
 Left Slip Surface Endpoint: 19.220, 827.863
 Right Slip Surface Endpoint: 39.935, 840.535
 Resisting Moment=81776.2 kN-m
 Driving Moment=43728.4 kN-m
 -102 = Two surface / slope intersections, but resulting arc is actually outside soil region.
 -108 = Total driving moment or total driving force < 0.1. This is to limit the calculation of extremely high safety factors if the driving force is very small (0.1 is an arbitrary number).
 -111 = safety factor equation did not converge
 -1000 = No valid slip surfaces are generated at a grid center. Unable to draw a surface.

Slice Data

- Global Minimum Query (bishop simplified) - Safety Factor: 1.87009

Slice Number	Width [m]	Weight [kN]	Base Material	Base Cohesion [kPa]	Base Friction Angle [degrees]	Shear Stress [kPa]	Shear Strength [kPa]	Base Normal Stress [kPa]	Pore Pressure [kPa]	Effective Normal Stress [kPa]
1	0.846183	8.31939	Marne con Cerroigna	4.59737	42.442	6.9586	13.0132	9.20298	0	9.20298
2	0.846183	24.7123	Marne con Cerroigna	8.72067	33.685	14.6057	27.314	27.8953	0	27.8953
3	0.846183	40.6094	Marne con Cerroigna	12.2523	29.6175	20.5067	38.3493	45.9064	0	45.9064
4	0.846183	56.0022	Marne con Cerroigna	15.3793	27.0469	25.4693	47.6298	63.1674	0	63.1674
5	0.846183	70.4219	Marne con Cerroigna	18.1058	25.269	29.6539	55.4555	79.1247	0	79.1247
6	0.846183	83.1587	Marne con Cerroigna	20.3675	24.0215	33.0457	61.7985	92.9614	0	92.9614
7	0.846183	95.3	Marne con Cerroigna	22.4166	23.0274	36.0664	67.4474	105.945	0	105.945
8	0.846183	106.928	Marne con Cerroigna	24.2899	22.2103	38.7898	72.5405	118.174	0	118.174
9	0.846183	118.076	Marne con Cerroigna	26.0083	21.5254	41.2597	77.1594	129.686	0	129.686
10	0.846183	128.634	Marne con Cerroigna	27.5658	20.9508	43.4769	81.3057	140.357	0	140.357
11	0.846183	138.577	Marne con Cerroigna	28.9684	20.4666	45.4576	85.0098	150.157	0	150.157
12	0.846183	147.878	Marne con Cerroigna	30.2205	20.058	47.2139	88.2942	159.054	0	159.054
13	0.846183	156.331	Marne con Cerroigna	31.2971	19.7232	48.7155	91.1023	166.817	0	166.817
14	0.846183	155.911	Marne con Cerroigna	30.9782	19.8209	48.2715	90.272	164.507	0	164.507
15	0.846183	150.292	Marne con Cerroigna	29.8484	20.1772	46.693	87.3202	156.396	0	156.396
16	0.846183	143.881	Marne con Cerroigna	28.5833	20.5966	44.9153	83.9956	147.449	0	147.449
17	0.797338	128.895	Formazione della Laga	145.962	52.6191	129.588	242.34	73.6357	0	73.6357
18	0.797338	119.478	Formazione della Laga	143.725	53.3088	120.928	226.146	61.4148	0	61.4148
19	0.797338	108.897	Formazione della Laga	141.573	54.0962	111.623	208.745	48.6311	0	48.6311
20	0.797338	97.5007	Formazione della Laga	139.653	54.9778	101.9	190.562	35.6764	0	35.6764
21	0.797338	85.2099	Formazione della Laga	138.084	55.9749	91.7359	171.554	22.5973	0	22.5973
22	0.797338	71.9302	Formazione della Laga	137.047	57.1168	81.1053	151.674	9.4567	0	9.4567
23	0.797338	56.0939	Formazione della Laga	136.86	58.5528	69.1453	129.308	-4.61839	0	-4.61839
24	0.797338	34.8378	Formazione della Laga	138.753	60.6361	54.2893	101.526	-20.9457	0	-20.9457
25	0.797338	11.8725	Formazione della Laga	145.071	63.3468	38.7766	72.5158	-36.4171	0	-36.4171

List Of Coordinates

External Boundary

X	Y
0	810.229
43.13	810.229
43.13	830.585
43.13	834.795
43.13	837.262
43.13	839.4
37.78	841.3
33.15	841
30.08	840.05
25.329	834.721
22.824	831.933
19.0695	827.693
10.84	818.4
0	818

Material Boundary

X	Y
19.0695	827.693
43.13	830.585

Material Boundary

X	Y
22.824	831.933
43.13	834.795

5 ESITI DELLA CAMPAGNA DI SONDAGGI

Tra il mese di aprile e giugno del 2018, è stata organizzata una campagna di sondaggi geognostici a recupero di nucleo, finalizzata alla definizione delle caratteristiche geochimiche dei materiali che costituiscono il giacimento dell'originario cantiere minerario. Con questa attività è stato altresì possibile definire i volumi di materiale ancora utilizzabile all'interno di questo giacimento, e valutare la fattibilità del proseguimento della coltivazione per un'adeguata miscelazione con il materiale proveniente dal nuovo cantiere.

Il risultato delle analisi ha inoltre permesso di definire un modello del giacimento in cui, accanto ai risultati geochimici, fosse possibile discriminare i reciproci rapporti tra le formazioni affioranti e la loro geometria.

5.1 Scelta e ubicazione dei sondaggi geognostici

Per classificare il giacimento si è quindi optato per la realizzazione di sondaggi geognostici a recupero di nucleo; il materiale perforato è stato riportato in superficie, catalogato in cassette e sottoposto ad analisi chimica per la determinazione dei seguenti parametri:

P.a.f.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Mn ₃ O ₄	TiO ₂	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	(Cl-)	TOC
--------	------------------	--------------------------------	--------------------------------	------------------	-------------------------------	--------------------------------	-----	-----	-----------------	-------------------	------------------	-------	-----

Le analisi sono state svolte su un totale di circa 260 campioni, prelevando dalle cassette catalogatrici un campione ogni 2,5 metri; questa scelta è stata dettata dal fatto che, non essendo perfettamente a conoscenza della geochimica del giacimento e trovandosi, dal punto di vista geologico in una zona di passaggio di facies, si è ritenuto necessario discriminare il più possibile le variazioni verticali ed orizzontali delle singole formazioni affioranti.

Anche per questo si è provveduto ad impostare le verticali dei sondaggi utilizzando i gradoni esistenti per fornire anche una classificazione tridimensionale, oltre che bidimensionale del giacimento.

I sondaggi sono stati realizzati – su uno stesso gradone – ad una distanza reciproca di circa 35 metri. I gradoni utilizzati come piano di posa per le verticali dei sondaggi si trovano alla quota di:

- 844 m slm (V1)
- 860 m slm (V2)
- 890 m slm (V3)

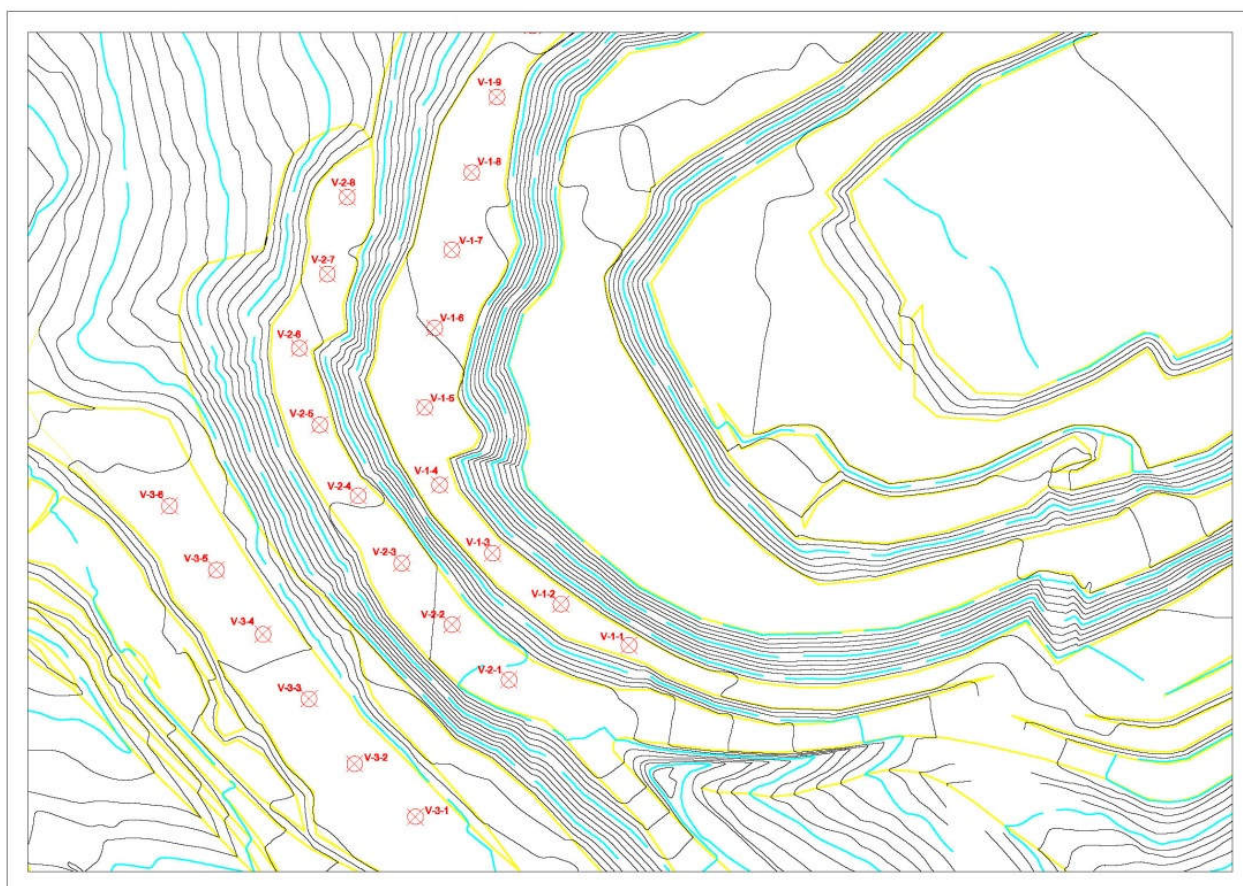


Figura 7 – Planimetria riportante l'ubicazione dei sondaggi realizzati

Ogni sondaggio è stato classificato in base al numero progressivo e ulteriormente definito sulla scorta della profondità di prelievo dei campioni soggetti ad analisi, come di seguito mostrato:

V-1-1-2,5

1 = gradone di riferimento (crescente a partire dal basso)

1 = sondaggio di riferimento (da S a N con inizio nuova numerazione a partire da 1 ad ogni gradone)

2,5 = profondità di prelievo dalla bocca foro

Quindi si è provveduto a definire le profondità dei sondaggi; per fare questo, dopo un'attenta osservazione dell'assetto geostrutturale, è stata ipotizzata la giacitura del piano di contatto tra le marne a basso e medio titolo e sull'ipotesi che il piano fosse immergente verso NE con inclinazione compresa tra 25° e 30°, sono state definite le massime profondità di indagine per ogni sondaggio, come nella tabella seguente:

Drilling number	Elevation asl (meters)	Estimated elevation of the contact between low-Al marl and high-Al marl	Drilling depth (meters)
V-1-1	844,61	832,47	32
V-1-2	844,75	834,10	31
V-1-3	844,96	836,14	29
V-1-4	844,91	839,98	25
V-1-5	845,19	841,18	24
V-1-6	843,73	838,28	25
V-1-7	842,99	841,64	21
V-1-8	843,48	838,51	25
V-1-9	842,79	837,19	26

V-1-10	843,83	838,63	25
V-2-1	860,00	855,17	25
V-2-2	861,14	854,36	27
V-2-3	862,06	856,75	25
V-2-4	864,51	858,30	26
V-2-5	864,60	854,60	30
V-2-6	865,30	855,30	30
V-2-7	862,87	852,87	30
V-2-8	862,88	852,88	30
V-3-1	890,85	880,85	30
V-3-2	890,96	880,96	30
V-3-3	891,37	890,29	21
V-3-4	892,81	890,09	23
V-3-5	892,67	882,67	30
V-3-6	892,84	882,84	30
Total meters amount			650

5.2 Volume complessivo investigato

Il volume complessivo investigato è pari a circa 1.400.000 m³.

Considerando:

- il volume complessivo ancora estraibile dal giacimento originario è pari a **4.608.430 m³**
- la percentuale di ingresso della marna a basso titolo nella miscela pari a **45%**
- la prescrizione con cui l'Ente autorizzatore ha decretato la necessità di finalizzare il recupero ambientale dell'area dell'originario cantiere con profili di abbandono analoghi a quelli del nuovo cantiere

risulta che quando sia stata idealmente esaurita la coltivazione della marna a medio titolo dell'originario cantiere, rimanga qui ancora una porzione di giacimento a basso titolo tale da permettere l'ulteriore miscelazione della marna più ad alto titolo proveniente dal cantiere autorizzato, mantenendo costanti i rapporti geochimici degli elementi all'interno della farina da destinare al forno.

6 CONCLUSIONI

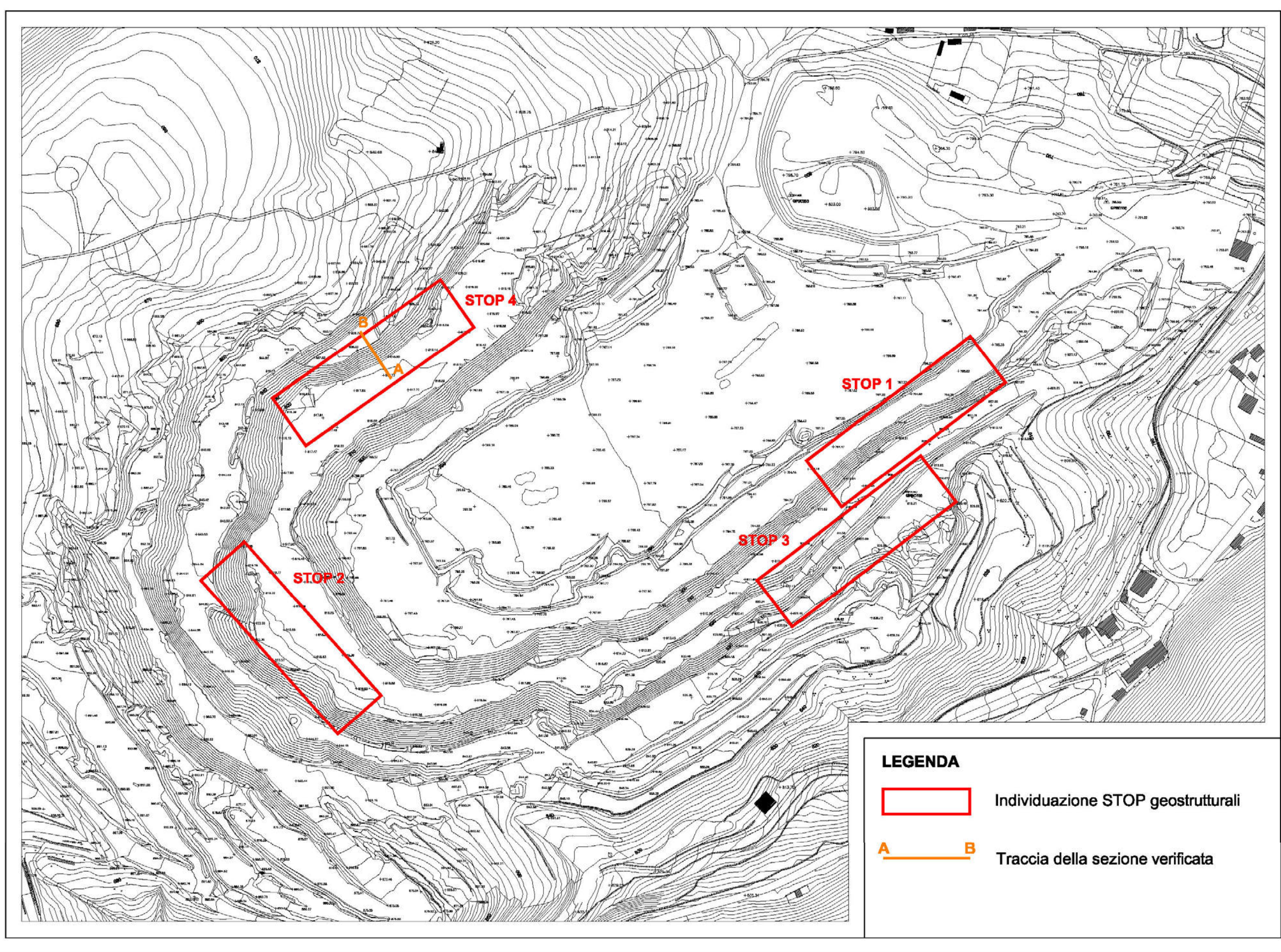
Non si riscontrano problematiche relative alla stabilità dei fronti, né secondo le attuali geometrie, né secondo quelle previste dal progetto.

Si suggerisce comunque il continuo controllo dei fronti di cava, intervenendo ove e quando necessario con opportuni interventi di disgaggio.

Quanto al giacimento, i sondaggi eseguiti hanno permesso di classificarlo dal punto di vista geochimico, fornendo le necessarie indicazioni per la gestione dei rimanenti volumi di materiale marnoso (a medio e basso titolo) e per la loro miscelabilità finalizzata alla produzione presso il cementificio di Cagnano Amiterno.

Allegato

PLANIMETRIA CON INDIVIDUAZIONE DELLA SEZIONE DI CONTROLLO E DELLE ZONE INDAGATE PER LE
ANALISI DI STABILITÀ



Allegato

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1 – Panoramica della zona STOP 1 e 3



Foto 2 – Panoramica della zona STOP 2



Foto 3 – Panoramica della miniera da E verso W, con indicazione degli STOP 1-3-4



Foto 4 – Particolare della zona dello STOP 2



Foto 5 – Panoramica della zona dello STOP 4

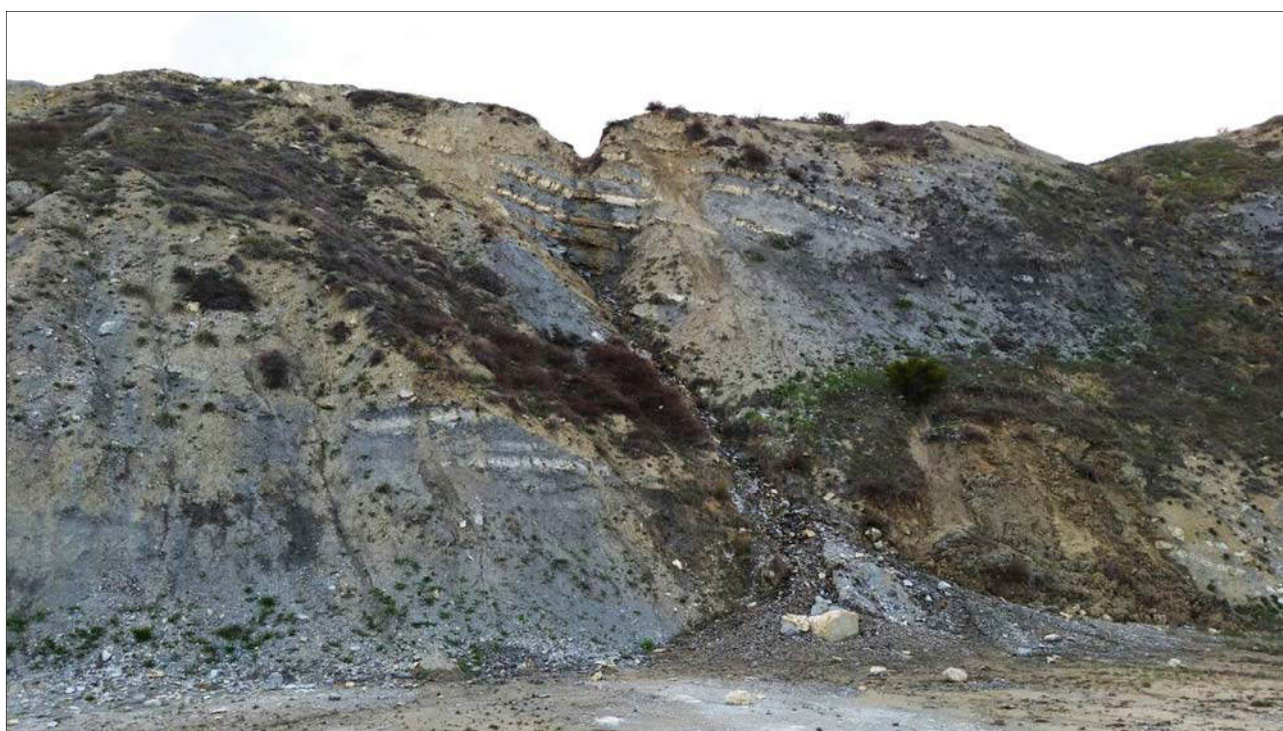


Foto 6 – Altra panoramica della zona adiacente allo STOP 4