



MAFFEI SARDA SILICATI S.p.A.



**REGIONE SARDEGNA - PROVINCIA DI NUORO
COMUNI DI ORANI E SARULE**

PROGETTO:

VALUTAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE

Rinnovo della Concessione Mineraria Monte Cuccureddu

progetto di prosecuzione della coltivazione mineraria e di recupero ambientale

nei cantieri di Cuccuru Mannu e Ispaduleddas

Concessionario: Maffei Sarda Silicati S.p.A.

OGGETTO:

**RELAZIONE GEOLOGICA PER VERIFICA COMPATIBILITA'
CON IL PAI (CANTIERE ISPADULEDDAS)**

IL COMMITTENTE:

I PROGETTISTI:

DATA	SCALA	ELAB. N.°	REVISORE	DATA REVISIONE	N° REVISIONE
Marzo 2022		B3			

SOMMARIO

1	Premessa	2
2	Inquadramento geologico generale.....	2
3	Pianificazione del PAI.....	4
3.1	Inquadramento geomorfologico.....	5
3.2	Idrogeologia	6
4	Caratterizzazione geologica - geomeccanica, rilevamento geologico – strutturale e stabilità dei fronti di scavo.....	6
4.1	Rilievo geomeccanico – verifiche di stabilità dei fronti in roccia	9
4.2	Classificazione dell’ammasso roccioso	12
4.3	Test di Markland	15
4.4	Calcolo dei parametri sismici sito specifici	18
4.5	Categoria di suolo e condizioni topografiche	20
4.6	Verifica Fronte F1	20
4.7	Verifica Fronte F2.....	22
4.8	Verifica Fronte F3.....	24
5	Conclusioni.....	26

1 Premessa

Nel seguito si espongono le caratteristiche geologiche e di stabilità della miniera di Ispaduleddas.

L'intero progetto della miniera è stato oggetto di giudizio positivo di compatibilità ambientale nell'ambito di una procedura di VIA terminata con deliberazione G.R. R.A.S. n° 13533 del 10 maggio 2002.

Nel 2017 R.A.S., Servizio Tutela del paesaggio e vigilanza Province Nuoro e Ogliastra, con determinazione n. 38420 del 09/10/2017 ha autorizzato ai sensi del D.Lgs. 42/2004 il progetto di coltivazione mineraria per una durata 5 anni.

Successivamente lo stesso servizio ha prorogato di ulteriori 5 anni, fino al 2026, l'autorizzazione paesaggistica. L'attuale progetto in corso è autorizzato in virtù della proroga ottenuta con determinazione RAS Assessorato industria n. 108 del 25/02/2021.

Nel progetto allegato vengono prese in considerazione alcune modifiche progettuali che consistono essenzialmente nella parziale revisione del progetto di recupero ambientale e del progetto di coltivazione che viene leggermente modificato, ma che rimane compreso nel limite di quello precedentemente oggetto di giudizio positivo di compatibilità ambientale. Spicca in particolar modo la rinuncia alla coltivazione del giacimento in corrispondenza del cantiere denominato la "Cavetta" (si veda più avanti la descrizione delle caratteristiche progettuali). Con questa modifica la Ditta rinuncia ad uno scavo di ca. 1 000 000 t di T.V. di ottima qualità.

Programma di fabbricazione di Orani

Il piano di fabbricazione di Orani prevede la possibilità di aprire e/o ampliare concessioni minerarie, miniere e cave, in forza dell'art. 33 delle Disposizioni generali. Anche in questo caso, quindi, non risulta incompatibilità con il vincolo minerario e lo sviluppo della coltivazione in atto rispetto alla pianificazione comunale.

L'obiettivo della presente relazione è quello di delineare il quadro geologico dell'area vasta e definire l'assetto geologico e giacimentologico del sito in esame, con elementi di idrologia e idrogeologia e con un richiamo alle caratteristiche gomeccaniche dell'ammasso roccioso.

Lo studio tiene conto inoltre dell'art 23 e 25 e dell'allegato F delle Norme di Attuazione del PAI.

2 Inquadramento geologico generale

Il territorio del Nuorese, come quello di gran parte della Sardegna, è costituito da formazioni geologicamente molto antiche.

Gli affioramenti più arcaici sono situati nel settore sud occidentale del territorio: si tratta di metamorfiti paleozoiche di basso-medio grado e costituite prevalentemente da un melting-point di meta peliti e meta arenarie scistose non databili coi comuni metodi radiometrici a uno

specifico intervallo temporale ma attribuite generalmente secondo altri validi metodi a una età compresa tra il Cambrico-Ordoviciano e il Siluro-Devonico.

La parte preponderante del territorio è però costituita da rocce granitiche sub affioranti o a tratti affioranti in piccoli e grandi lembi.

Nell'area Colle Neunele – Cuccuru Mannu affiorano in prevalenza granitoidi ercinici a tratti ricoperti da rocce metamorfiche paleozoiche (calcari, micascisti).

Le rocce metamorfiche, quasi dappertutto erose e smantellate, sono il relitto delle formazioni in cui si intruse il granito.

I graniti costituiscono l'incassante delle mineralizzazioni albitiche che s'intende sfruttare.

A W sono presenti estesi affioramenti di ignimbriti oligo – mioceniche venute a giorno in corrispondenza di centri di emissione o fratture del basamento, ad E si osserva un affioramento di quarziti correlato alla genesi delle mineralizzazioni albitiche.

Non sono presenti rilevanti formazioni sedimentarie terziarie e quaternarie essendo trascurabili sia per estensione che per spessori sia le coltri eluviali che i depositi alluvionali recenti.

I granitoidi, intrusi all'interno delle metamorfiti, sono rappresentati in prevalenza da granodioriti, riferibili alla seconda fase intrusiva (tardo - tettonica) dell'orogenesi ercinica responsabile della messa in posto del batolite sardo – corso; essi costituiscono generalmente l'incassamento delle mineralizzazioni feldspatiche.

Le differenziazioni acide dei graniti costituite prevalentemente da albite, sono intruse sia all'interno del complesso granitoide, che nelle metamorfiti di copertura sui graniti.

Successivamente le vulcaniti oligomioceniche (ignimbriti e piroclastici) hanno riempito la fossa tettonica terziaria di Ottana, giungendo a ricoprire la sommità di alcuni rilievi. La formazione è costituita da placche isolate sovrastanti i graniti, disposte secondo una fascia larga circa 2 - 3 km ed estesa in lunghezza per circa 20 km, diretta NE-SW (parallelamente alla linea tettonica regionale denominata Faglia di Nuoro).

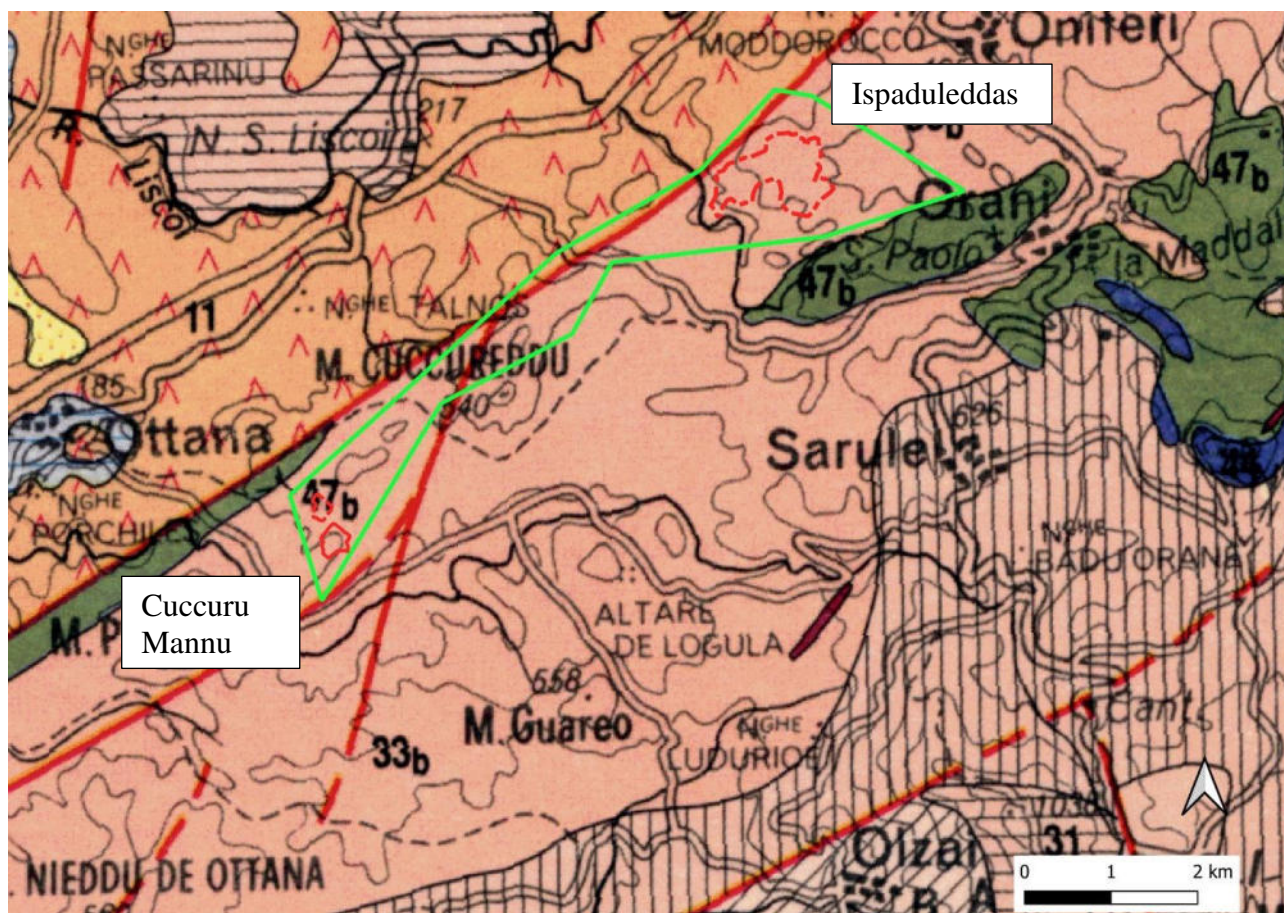


Figura 1 – Stralcio Carta Geologica della Sardegna (Foglio Nord) e indicazione della concessione mineraria

Come si può vedere dalla Figura 1, la concessione mineraria denominata Monte Cuccureddu ricade interamente in litotipi tonalitici (sigla 33b) e sfrutta alcuni filoni tardo magmatici a composizione prevalentemente sodica, la cui componente alcalina è verosimilmente legata alla circolazione di fluidi in ambiente metasomatico.

Le mineralizzazioni sodiche sono difficilmente mappabili per la tipologia dei limiti molto spesso poco evidenti, tuttavia, in linea di massima, esse seguono un andamento sud ovest – nord est, parallelo ai principali contatti litologici e strutturali della zona (v. Figura 1).

3 Pianificazione del PAI

L'area ricade principalmente in classe di pericolosità Hg3 del PAI. Nel seguito si espongono le verifiche di stabilità eseguite per la progettazione della miniera a conferma che l'intervento in progetto non pregiudica le condizioni di stabilità generali dell'area e delle zone limitrofe.

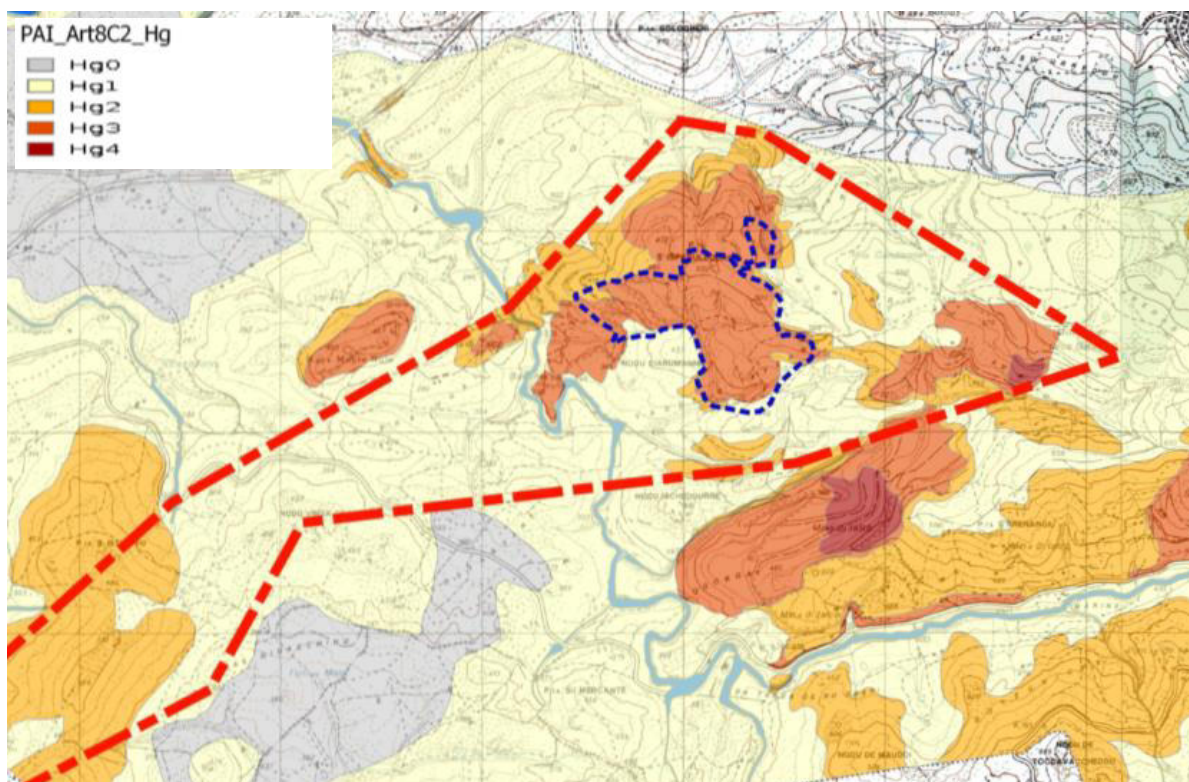


Figura 2: stralcio della carta della pericolosità del PAI con individuazione del perimetro della miniera di Ispaduledas

3.1 Inquadramento geomorfologico

Dal punto di vista geomorfologico la regione si presenta come un'associazione di rilievi collinari con basse pendenze dei versanti; si differenziano i soli affioramenti granitici e feldspatici, essendo più tenaci all'azione degli agenti atmosferici.

L'aspetto dei rilievi è assai variabile con i tipici e frequenti segni di erosione (localmente denominati tafoni e tor) strettamente legati ai graniti ercinici.

L'altimetria della zona è compresa tra i 300 e i 500 m s.l.m.

Dal punto di vista idrologico, la zona è caratterizzata da una rete di compluvi, in cui il deflusso avviene solo in corrispondenza di eventi meteorici.

In ambiente GIS è stato elaborato il DTM a passo 10 m del INGV e ha consentito di evidenziare:

- le classi di pendenza dell'area;
- la rete idrografica,

Queste due caratteristiche morfologiche sono evidenziate nella **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, dove sono riportati i limiti di intervento del sito estrattivo.

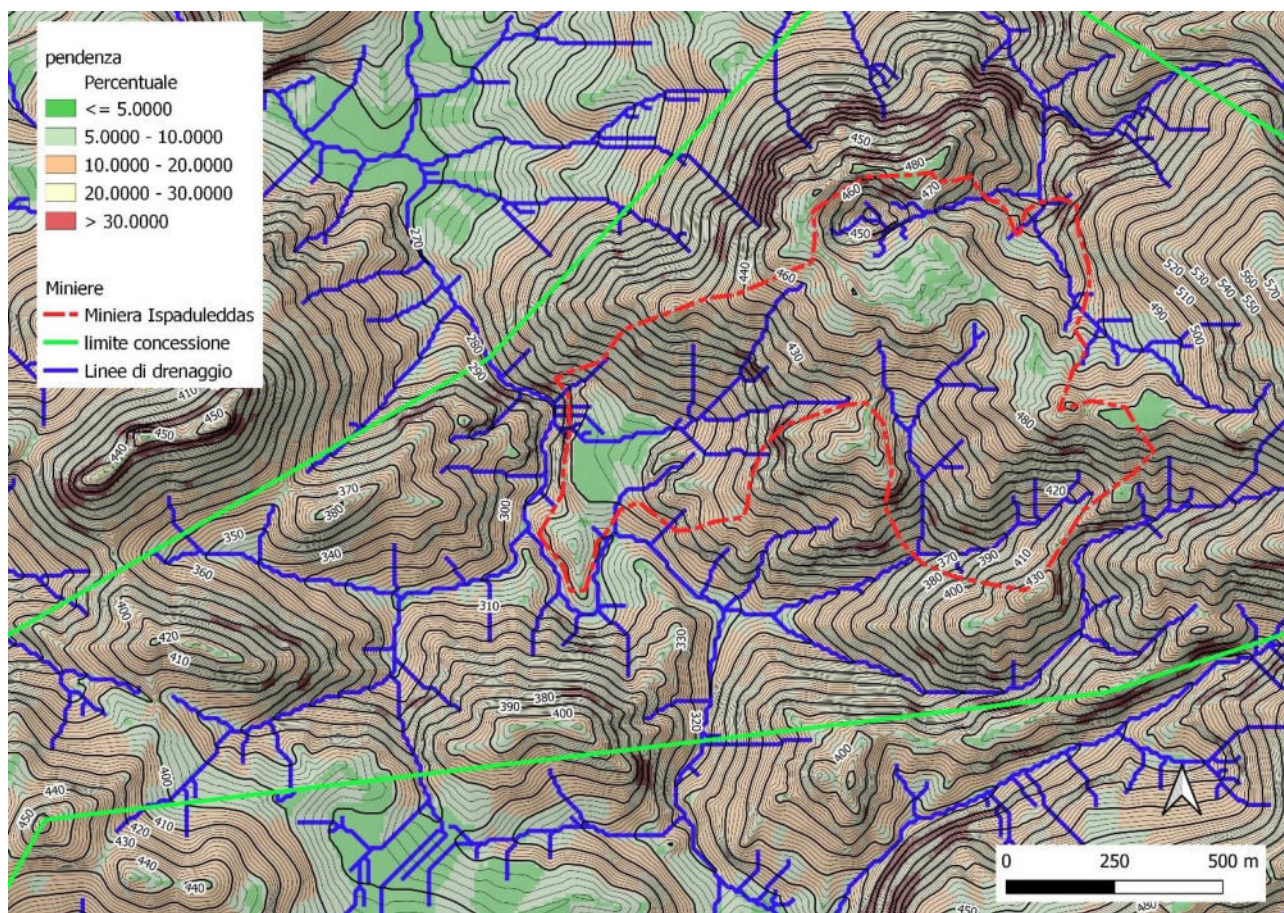


Figura 3: geomorfologia del sito di Ispaduleddas

3.2 Idrogeologia

I graniti si presentano compatti e massivi in limitati affioramenti, per la maggior parte debolmente alterati, talora arcosizzati anche in profondità; si tratta di una permeabilità secondaria per fessurazione ed è limitata alle porzioni più superficiali di ammasso roccioso.

Anche nei filoni mineralizzati, non si osserva circolazione idrica, anche in considerazione del fatto che le fessure chiuse hanno subito un lieve processo di argillificazione.

Per quanto riguarda in particolare il versante su cui verrà impostata la struttura di deposito degli sterili, esso si presenta in buone condizioni di stabilità e con assenza di significative tracce di ruscellamento nel terreno. Il materiale di discarica sarà di pezzatura grossolana, tale per cui non si prevede la formazione di pressioni neutre legate alla formazione permanente di una zona satura. Da notare che

4 Caratterizzazione geologica - geomeccanica, rilevamento geologico – strutturale e stabilità dei fronti di scavo.

Nel corso del sopralluogo eseguito in miniera è stata aggiornata la carta geologica del giacimento e sono stati eseguiti rilievi strutturali geomeccanici per eseguire le verifiche di stabilità sui fronti in progetto

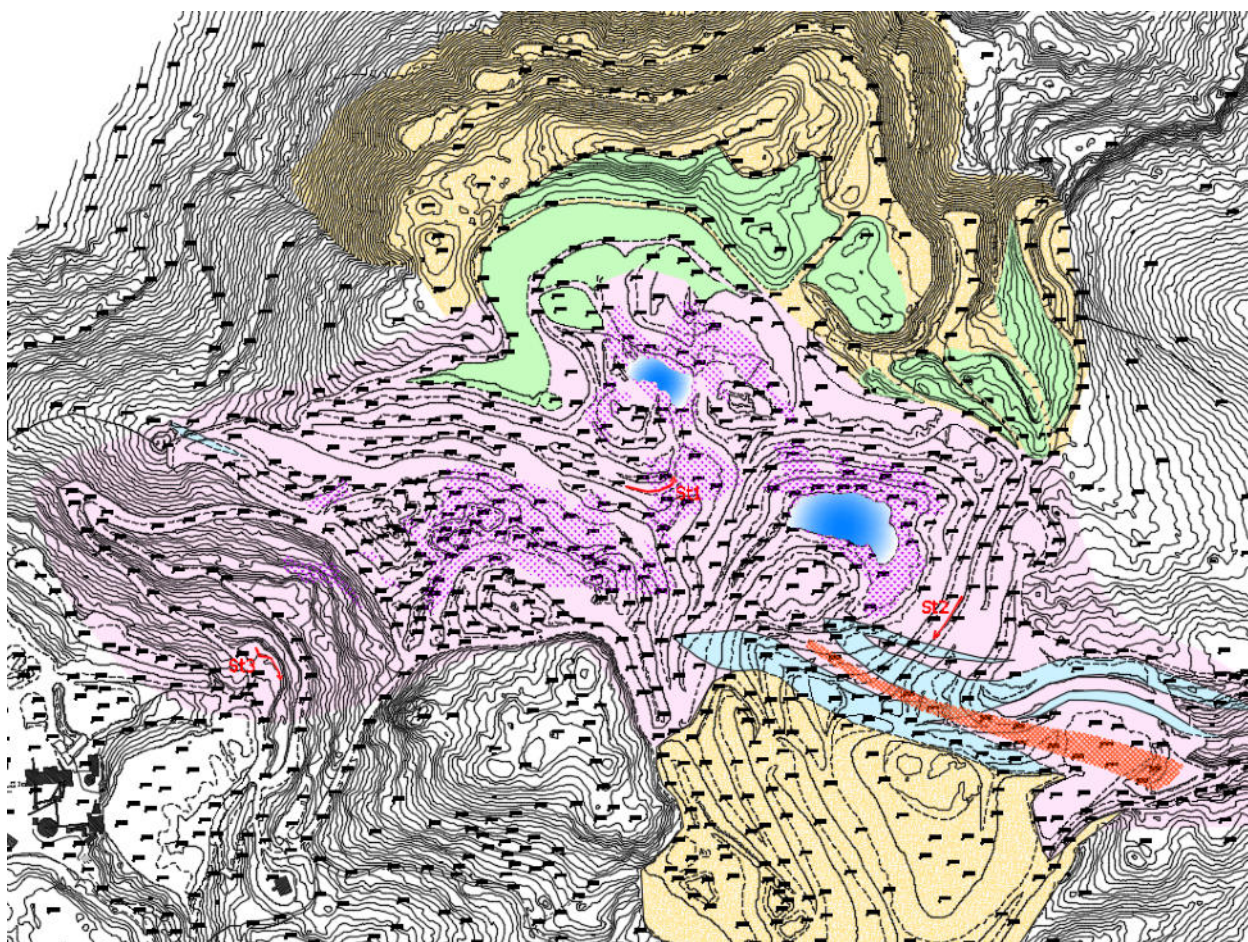








Figura 4: stralcio della carta geologica della miniera

Il rilievo geologico di superficie ha permesso di riconoscere i seguenti litotipi:

	Aree già recuperate
	Aree adibite ad accumuli di sterili (discariche minerarie)
	Granodioriti e tonaliti incassanti
	Scisti scuri
	Mineralizzazioni ad albite
	Zona di faglia

In particolare si osserva che il litotipo oggetto della coltivazione mineraria è una roccia ricca in feldspato sodico (albite) che si è originata per fenomeni legati alla veicolazione e lisciviazione di determinati elementi a partire da un incassante granitico – tonalitico di età ercinica. A sua volta l'incassante ha intruso a seguito dell'orogenesi ercinica un basamento crostale paleozoico ora rappresentato da litotipi micascistosi, con locali livelli di rocce basiche (anfiboliti) presenti verso il margine orientale della miniera (soprattutto cantiere S' Ifferru).

I contatti con i micascisti incassanti delle rocce magmatiche sono ripiegati a testimonianza che l'intrusione, molto probabilmente, non è completamente post ercinica, ma è avvenuta nelle ultime fasi orogenetiche, caratterizzate da deformazioni ancora in campo duttile.



Foto 1: la parte alta della miniera dove sono evidenti le intercalazioni tettonizzate di micascisti incassanti delle plutoniti tardo erciniche



Foto 2: il cantiere S'Ifferru dove sono molto evidenti le intercalazioni scistose all'interno della magmatite tardo ercinica

4.1 Rilievo geomeccanico – verifiche di stabilità dei fronti in roccia

La caratterizzazione geomeccanica del giacimento oggetto di coltivazione è stata eseguita sui fronti di coltivazione e sulla pista che porta ai cantieri (v. Figura 5).

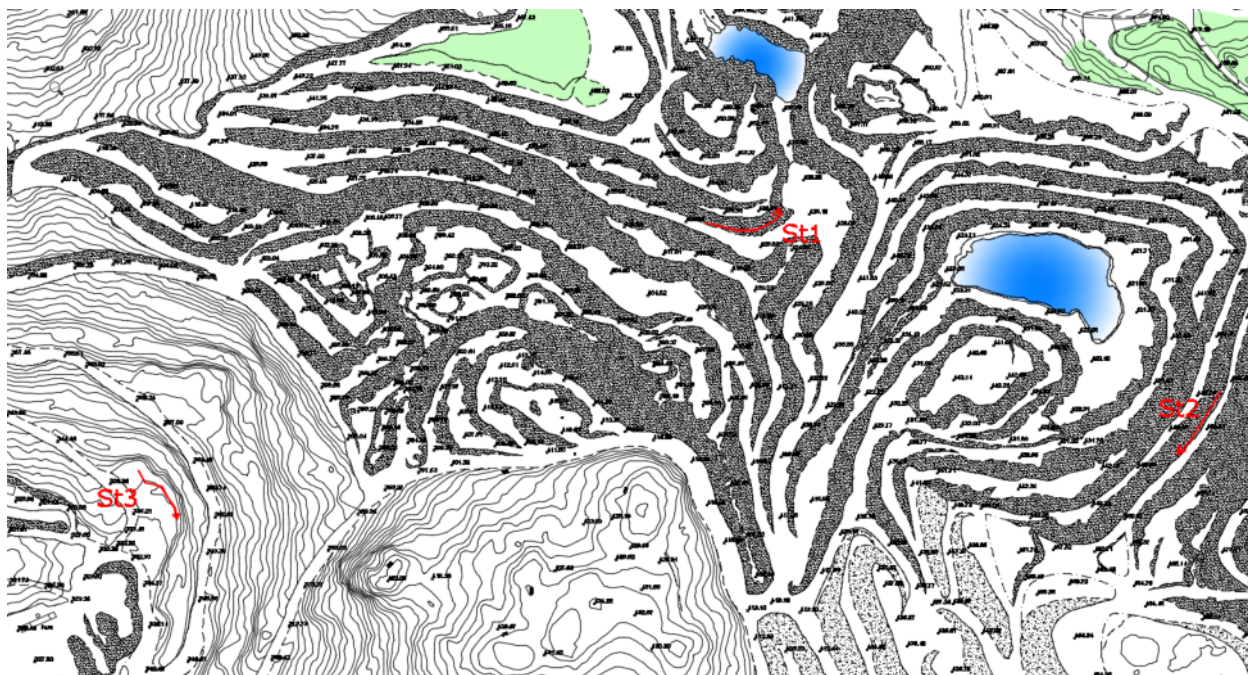


Figura 5: ubicazione degli stendimenti strutturali eseguiti

In generale l'ammasso roccioso si presenta con un grado fratturazione piuttosto scarso con riempimento generalmente assente.

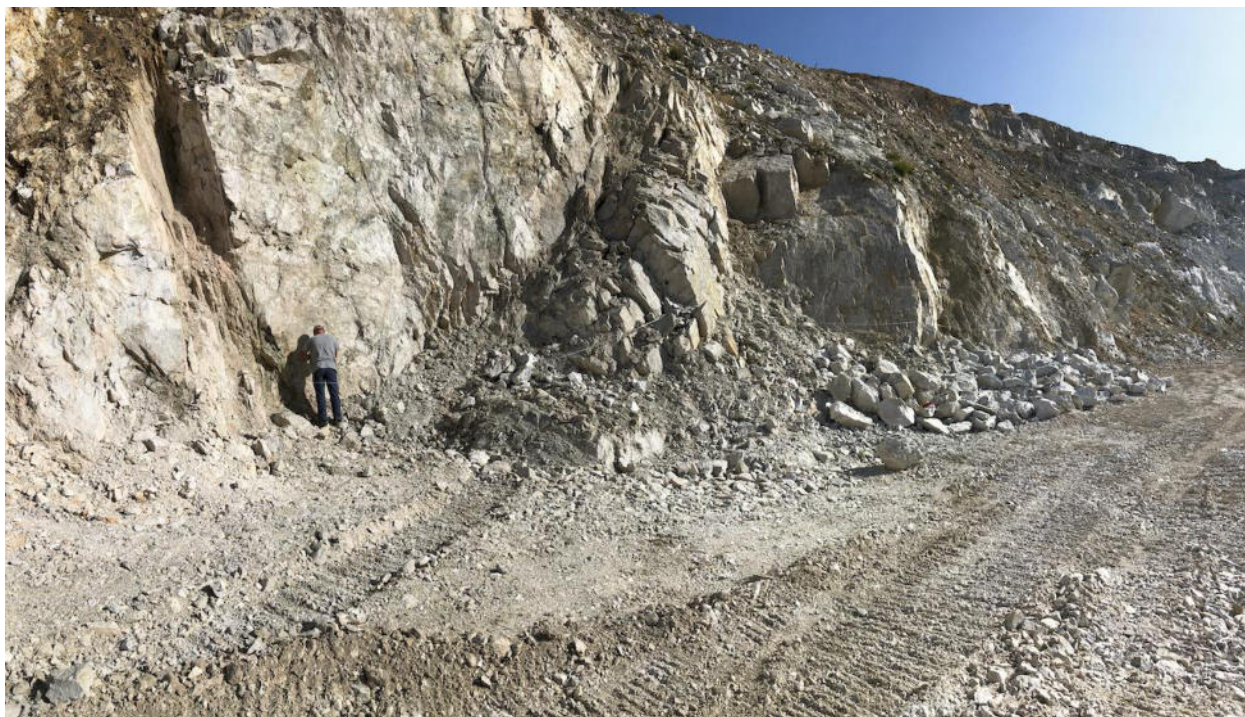


Foto 3: stendimento geomeccanico St1

Durante l'esecuzione del rilievo geomeccanico, si è posta particolare attenzione nella valutazione di alcuni parametri caratterizzanti le discontinuità in conformità con quanto suggerito dalle norme I.S.R.M.. In particolare di ciascuna frattura sono stati presi in considerazione:

- orientazione nello spazio (giacitura definita da inclinazione del piano e verso di immersione lungo la linea di massima pendenza dello stesso);
- continuità e dimensioni; si è preso in considerazione, come valore caratteristico di un sistema di discontinuità, il valore più frequente e non il valore medio;
- spaziatura: è intesa come la distanza tra due discontinuità adiacenti misurata lungo una linea di riferimento prefissata e viene in genere definita come spaziatura media di un sistema di giunti;
- rugosità: rappresenta una misura dell'irregolarità delle fratture. Sul terreno è stata misurata con il "pettine di Barton" ottenendo dei profili caratteristici che vengono raffrontati a dei profili pre-calcolati per arrivare ad una stima numerica (variabile da 0 a 20: JRC = Joint Roughness Coefficient) della rugosità della frattura;
- resistenza di parete (MPa): misurata con il "martello di Schmidt" (sclerometro). Dal valore misurato si ottiene la resistenza a compressione monoassiale su giunto tramite l'utilizzo di un apposito grafico che tiene anche conto delle eventuali correzioni da apportare alla misura per effetto dell'inclinazione della superficie analizzata;
- apertura: risulta definita come la distanza, misurata perpendicolarmente, tra le due pareti adiacenti di una discontinuità. Questo parametro viene definito solo nel caso in cui lo spazio tra le pareti sia vuoto o vi sia acqua;
- riempimento: è stato esaminato e descritto l'eventuale materiale presente tra le due superfici.

L'elaborazione dei valori giaciturali viene riportata nella Figura 6.

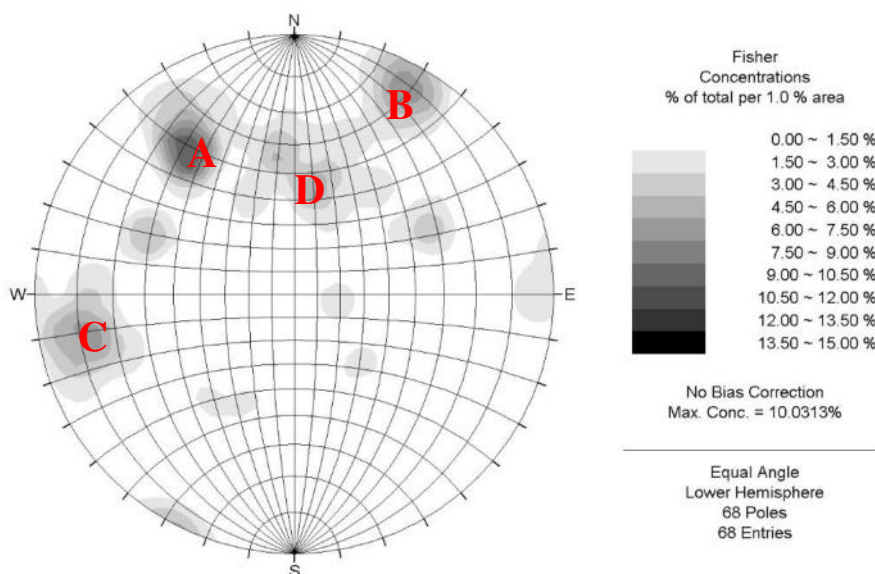


Figura 6: proiezione dei poli dei piani totali rilevati negli stendimenti

In totale è stato possibile rilevare 4 sistemi di discontinuità prevalenti oltre ad altri sistemi poco rappresentati che si è preferito non considerare perché valutati assolutamente ininfluenti nel determinare le condizioni di stabilità dell'ammasso roccioso.

PARAMETRI	A	B	C	D
ORIENTAZIONE	68/143	83/208	77/078	45/189
LUNGHEZZA	0.5 – 2 m			
SPAZIATURA	Valore più frequente compreso tra 1 e 0,5 m			
JRC + FREQUENTE	10			
APERTURA	In genere chiuse, talora 2 – 3 mm	In genere chiuse, talora 2 – 3 mm	In genere chiuse, talora 2 – 3 mm	In genere chiuse, talora 2 – 3 mm
ALTERAZIONE	da debolmente alterata a non alterata	da debolmente alterata a non alterata	da debolmente alterata a non alterata	da debolmente alterata a non alterata
RIEMPIMENTO	Assente	Assente	Assente	Assente

4.2 Classificazione dell'ammasso roccioso

L'ammasso roccioso è stato classificato tramite la classificazione RMR di Bieniawsky. La resistenza alla compressione monoassiale è stata stimata sulla base dei dati ricavati dalle misure sclerometriche. Il valore di RQD è stato calcolato mediante la relazione empirica proposta da ISRM (1978):

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

THE ROCK MASS RATING SYSTEM (GEOMECHANICS CLASSIFICATION OF ROCK MASSES)

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS

Parameter		Range of Values					
1	Strength of intact rock mineral	Point-load strength index (MPa)	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	For this low range, uniaxial compressive test is preferred
		Uniaxial compressive strength (MPa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25 1 - 5 < 1
	Rating		15	12	7	4	2 1 0
2	Drill core quality RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25
	Rating		20	17	13	8	3
3	Spacing of discontinuities		> 2 m	0.5 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm
	Rating		20	15	10	8	5
4	Condition of discontinuities		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surface Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Slickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1 - 5 mm Continuous	Soft gouge > 5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous
	Rating		30	25	20	10	0
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (L/min)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125
		Joint water pressure	or	or	or	or	or
		Ratio	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5
		Major principal stress	or	or	or	or	or
	General conditions		Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing
Rating			15	10	7	4	0

Figura 7: tabella per la classificazione dell'ammasso roccioso

C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS

Rating	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 – 21	< 20
Class no.	I	II	III	IV	V
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock

con J_v somma del numero di discontinuità per metro per ciascun sistema di discontinuità, risultando uguale al 50%.

Nella Figura 7 sono riportati i valori base della classificazione. L'indice BRMR è dato dalla somma dei vari "rating" ed è pari a **65 (classe II)**. I parametri di resistenza dell'ammasso roccioso, ottenuti impiegando le espressioni:

$$c \text{ (kPa)} = 5 \text{ BMRM} = 5 \cdot 57 = 325 \text{ kPa}$$

$$\varphi(^{\circ}) = 5 + (0.5 \text{ BMRM}) = 37.5^{\circ}$$

Il valore dell'angolo di attrito su giunto è stato ottenuto applicando il criterio di Barton, a partire **dall'angolo di resistenza al taglio di base considerato cautelativamente pari a 35°**, tramite la seguente formula:

$$\varphi_p = \varphi_b + JRC \cdot \left(\log^{JCS} / \sigma_N \right)$$

Vengono eseguite le verifiche di stabilità sui fronti in roccia previsti in progetto.

Il tutto viene eseguito in adempimento alle NTC2018 e tenendo conto della **Circ. 21 gennaio N°7/2019 del C.S.LL.PP.** *“Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018”*.

La **Circ. Applicativa N°7/2019**, nel capitolo C6.8.6.2 CRITERI GENERALI DI PROGETTO E VERIFICHE DI SICUREZZA precisa che le verifiche di sicurezza si intendono soddisfatte se la condizione (6.2.1) delle NTC 2018 risulta soddisfatta per tutti i possibili cinematismi di collasso. Bisogna quindi ricercare la condizione di minimo per il rapporto R_d/E_d . Le verifiche devono essere effettuate utilizzando l'Approccio 1 con riferimento alla Combinazione 2 dei coefficienti parziali di cui al § 6.8.2 delle NTC. In sostanza occorre applicare i coefficienti A_2 , M_2 di amplificazione delle azioni e di riduzione delle resistenze e il coefficiente R_2 ($\gamma_R > 1.1$).

Nel paragrafo C7.11.4 (il capitolo 7 tratta la progettazione per azioni sismiche) *“Fronti di scavo e rilevati”* vengono prese in considerazione le modalità esecutive delle verifiche in condizioni sismiche specificando che i coefficienti parziali dei gruppi A ed M vanno considerati di valore unitario e il coefficiente parziale R_2 (γ_R) deve essere > 1.2 .

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

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ_γ	γ_γ	1,0	1,0

Figura 8: coefficienti correttivi dei parametri di resistenza dei terreni e delle rocce

La verifica dei possibili cinatismi è stata eseguita tramite l'utilizzo dell'algoritmo di Hoek & Bray implementato in ambiente Excel.

L'algoritmo consente di verificare la stabilità allo scivolamento di cunei di roccia partendo dai soli dati geomeccanici e fisici dell'ammasso, nonché dalle azioni presenti. Il calcolo dell'angolo di attrito viene effettuato in modo automatico dal foglio di calcolo utilizzato, tramite il criterio di Barton e sulla base della geometria e delle condizioni statiche del blocco analizzato. Viene considerata l'eventuale coesione derivante dalla eventuale presenza dei ponti in roccia.

Il foglio di calcolo effettua contemporaneamente la verifica sismica e quella non sismica ai sensi delle NTC 2018. L'azione sismica viene considerata utilizzando il metodo di calcolo pseudostatico e tenendo conto dei coefficienti di amplificazione sismica locale. Viene considerata in automatico l'azione sismica più sfavorevole.

Nelle verifiche la coesione lungo i piani di discontinuità si è considerata assente.

Le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso sono state determinate come descritto.

Questa classificazione ha portato alla determinazione dei seguenti parametri di resistenza su giunto da inserire nel foglio di calcolo per la verifica:

- peso di volume: 26 kN/m³;
- coesione: assente;
- angolo di resistenza al taglio: 35°

Non sono state considerate le condizioni di stabilità dell'involuppo dei fronti residui in roccia poiché l'involuppo presenta una pendenza modestissima, dell'ordine dei 40° e non si possono formare cunei instabili.

Inoltre nella maggior parte dell'area estrattiva non verranno più eseguiti lavori di coltivazione, ma solo ripristini morfologici atti ad addolcire le pendenze dei gradoni ed a permettere un miglior recupero ambientale dell'area.

4.3 Test di Markland

Per analizzare i possibili meccanismi di instabilità sono stati eseguiti i *test* di Markland, utilizzando i valori medi di giacitura dei sistemi di discontinuità principali e l'orientazione media dei fronti prevista dal progetto di coltivazione.

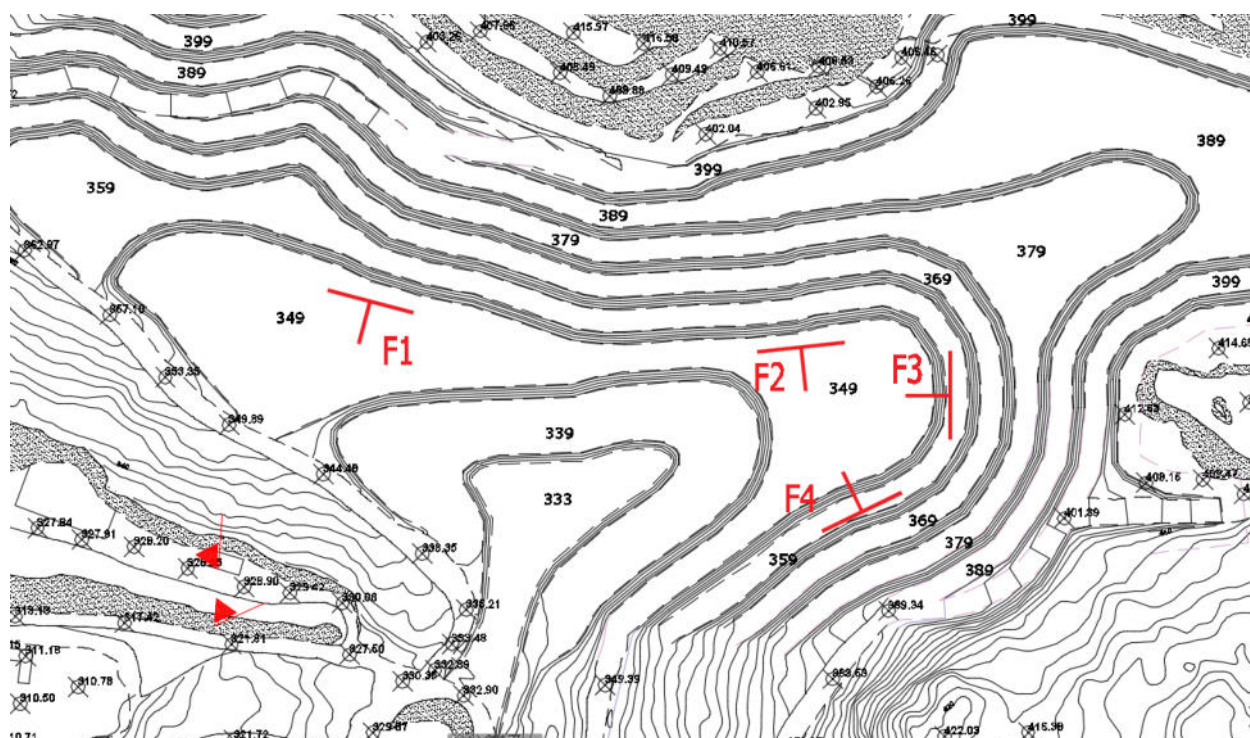


Figura 9: i fronti in progetto verificati

In pratica si evidenziano quattro fronti con diverse giaciture:

Orientazione del fronte	Verso di immersione	Inclinazione (°)
F1	195	65
F2	173	65
F3	270	65
F4	334	65

Fronte F1

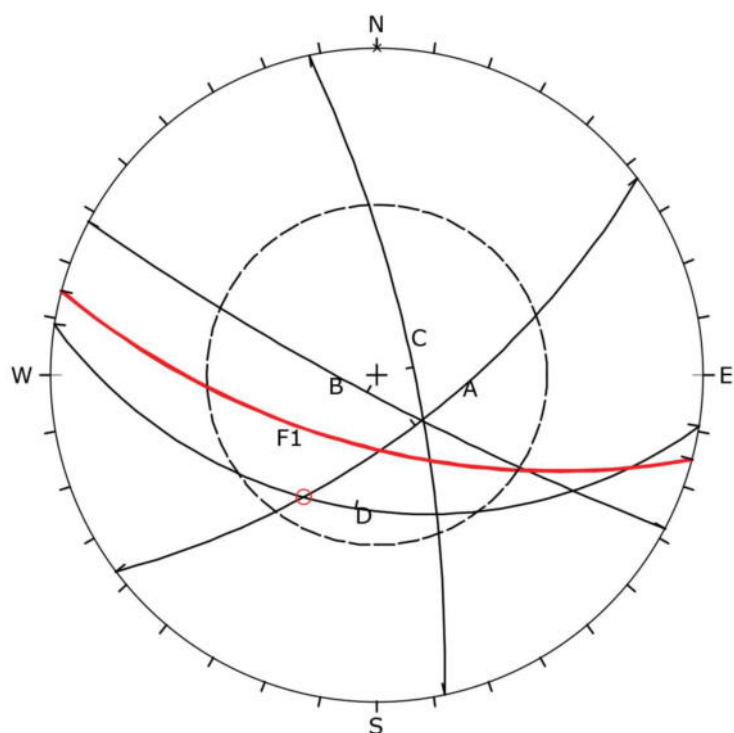


Figura 10: Fronte F1

Si individua un'intersezione che può dare origine a cunei determinata dai piani A(68/143) e D(45/189)

Fronte F2

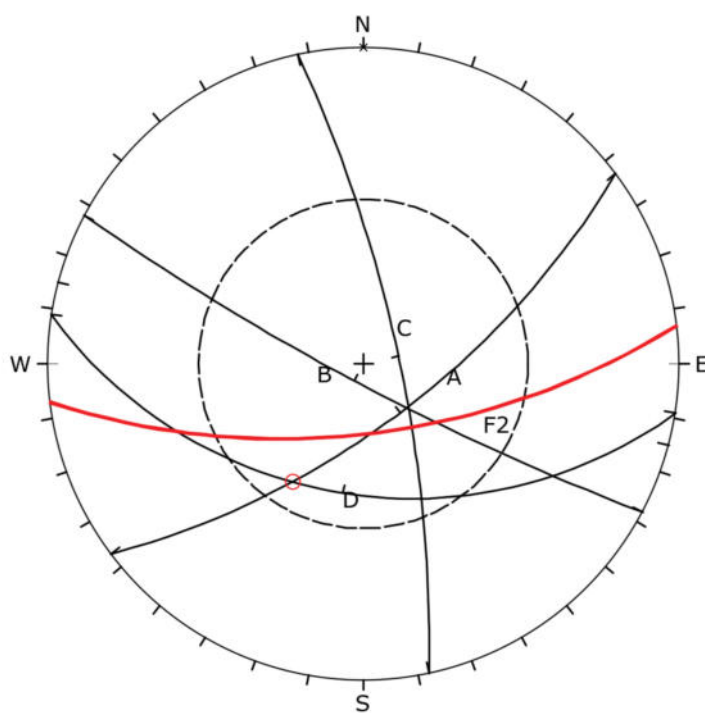


Figura 11: fronte F2

Anche per questo fronte si individua un'unica intersezione che può dare origine a cunei determinata dai piani A(68/143) e D(45/189)

Fronte F3

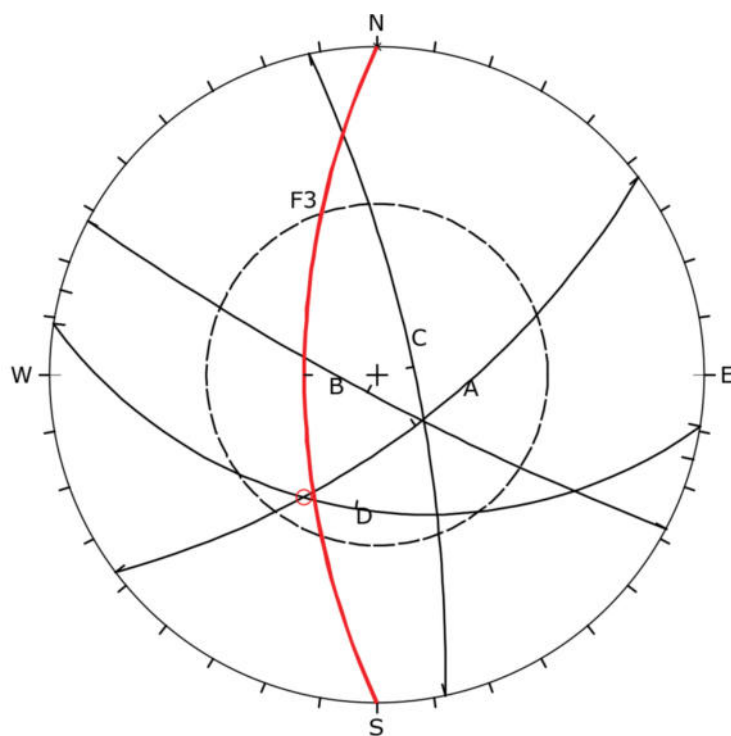


Figura 12: fronte F3

Anche per questo fronte si individua un'unica intersezione che può dare origine a cunei determinata dai piani A(68/143) e D(45/189)

Fronte F4

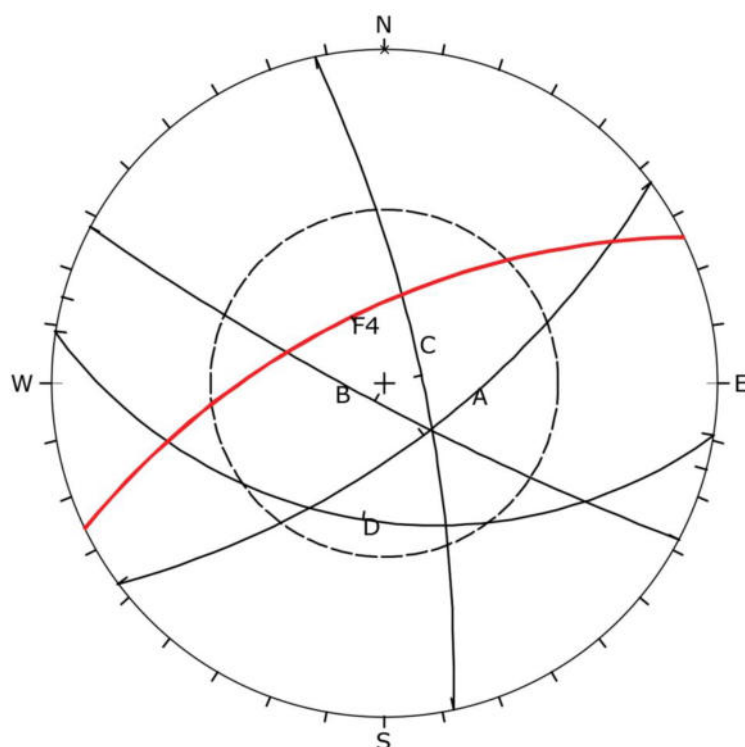


Figura 13: fronte F4

Non si individuano cinematismi possibili

4.4 Calcolo dei parametri sismici sito specifici

L'azione sismica è stata valutata tramite il software della Geostru e i risultati sono esposti nelle righe seguenti:

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Fronti di scavo e rilevati
Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 40,0872004462762
longitudine: 8,98100200328476
Classe: 0
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito	ID	Lat	Lon	Distanza
Sito 1	0	0,0000	0,0000	0,000
Sito 2	0	0,0000	0,0000	0,000
Sito 3	0	0,0000	0,0000	0,000
Sito 4	0	0,0000	0,0000	0,000

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: A
Categoria topografica: T2
Periodo di riferimento: 35anni
Coefficiente cu: 0,7

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	30	[anni]
ag:	0,019	g
Fo:	2,610	
Tc*:	0,273	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	35	[anni]
ag:	0,020	g
Fo:	2,628	
Tc*:	0,280	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	332	[anni]
ag:	0,045	g
Fo:	2,855	
Tc*:	0,332	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	682	[anni]
ag:	0,055	g
Fo:	2,930	
Tc*:	0,356	[s]

Coefficienti Sismici Fronti di scavo e rilevati

SLO:

Ss:	1,000
Cc:	1,000
St:	1,200
Kh:	0,000
Kv:	0,000
Amax:	0,219
Beta:	0,000

SLD:

Ss:	1,000
Cc:	1,000
St:	1,200
Kh:	0,011
Kv:	0,006
Amax:	0,235
Beta:	0,470

SLV:

Ss:	1,000
Cc:	1,000
St:	1,200
Kh:	0,021
Kv:	0,010
Amax:	0,532
Beta:	0,380

SLC:

Ss:	1,000
Cc:	1,000

St: 1,200
Kh: 0,000
Kv: 0,000
Amax: 0,647
Beta: 0,000

Tabella 1: Parametri sismici ottenuti per le condizioni degli stati limite del collasso (SLC), del danno (SLD), di operatività (SLO) e di salvaguardia della vita (SLV). (Vr periodo di riferimento, Tr tempo di ritorno, ag accelerazione massima di riferimento, Fo fattore di amplificazione spettrale, Tc periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro)

Parametri	SLO	SLD	SLV	SLC
Probabilità di superamento nel Vr	0.81	0.63	0.1	0.05
Tr	30 anni	35 anni	332 anni	682 anni
ag	0.019	0.020	0.045	0.055
Fo	2.610	2.628	2.855	2.930
Tc	0.273	0.280	0.332	0.356

4.5 Categoria di suolo e condizioni topografiche

Il profilo stratigrafico del substrato roccioso nei fronti di cava è assimilabile ai sottosuoli compresi nella categoria A, per la quale il parametro di amplificazione stratigrafica SS vale 1.

Per pendii con inclinazione media superiore ai 15°, le condizioni topografiche del sito rientrano nella categoria T2 della tabella 3.2.VI delle citate Norme Tecniche per le Costruzioni, cui corrisponde un valore di ST = 1,20.

categoria di sottosuolo = cat sottosuolo A
categoria topografica = categoria T2

Secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni, il rispetto degli stati ultimi in condizioni sismiche si considera soddisfatto quando siano state eseguite le verifiche relative agli stati limite SLD, stato limite di danno, e SLV, stato limite di salvaguardia della vita. Non essendo valutabile per un fronte in roccia uno stato limite di esercizio, nelle verifiche di stabilità è stato preso in considerazione solo lo stato limite ultimo SLV.

kv e kh ricavati:

Kh: 0,021
Kv: 0,010

4.6 Verifica Fronte F1

Si individua un unico cinematismo definito dall'intersezione tra i piani A e i piani D. Per questo cinematismo il fattore di sicurezza calcolato è:

condizioni sismiche: 11.922

condizioni statiche: 10.372

VERIFICA DI STABILITA' SCIVOLAMENTI DI CUNEI

Comune: Orani	Località: Ispaduleddas	Rif. verifica: Fronte F1
----------------------	-------------------------------	---------------------------------

DATI DI INGRESSO

DATI GEOMETRICI FRONTE		
immersione fronte	(°)	195.00
inclinazione fronte	(°)	65.00
immersione piano superiore	(°)	195.00
inclinazione piano superiore	(°)	5.00
immersione giunto di trazione	(°)	195.00
inclinazione giunto di trazione	(°)	85.00
altezza fronte	(m)	10.00
distanza giunto di trazione	(m)	

CARICHI APPLICATI E SPINTE IDRAULICHE		
componente vert. carico	(kN)	0.0
componente orizz. carico	(kN)	0.0
peso di volume acqua	(kN/mc)	10.00
altezza falda Hw/H (%)	(%)	0.00%

DATI SISMICI		
accelerazione sismica a_g		0.045
coeff. di amplific. topog S_T		1.20
coeff. di amplific. stratig S_s		1.00
coeff. di riduzione b_s		0.38
coeff. sismico orizzontale k_h		0.021
coeff. sismico verticale k_v		0.010

DATI GEOMECCANICI E STRUTTURALI		
peso di volume roccia	(kN/mc)	26.00
angolo di attrito di base j_{base}	(°)	35.00

<i>giunto A</i>		
immersione	(°)	146.00
inclinazione	(°)	68.00
Joint Compression Strenght JCS	(MPa)	60.00
Joint Roughness Coefficient JRC		10.00
		100.00 %
persistenza (%)	%	
resistenza al taglio della roccia	(MPa)	
angolo di attrito di picco j_p	(°)	84.08
coesione app.(ponti di roccia)	(kPa)	0.00

<i>giunto B</i>		
immersione	(°)	189.00
inclinazione	(°)	65.00
Joint Compression Strenght JCS	(MPa)	60.00
Joint Roughness Coefficient JRC		10.00
		100.00 %
persistenza (%)	%	
resistenza al taglio della roccia	(MPa)	
angolo di attrito di picco j_p	(°)	87.89
coesione app.(ponti di roccia)	(kPa)	0.00

RISULTATI

coefficiente geometrico K		0.60
volume del cuneo di roccia V	(mc)	0.21
peso del cuneo di roccia W	(kN)	6
superficie cuneo su giunto A	(mq)	0.87
superficie cuneo su giunto B	(mq)	6.44

convezione segni carichi ed
azioni sismiche



superficie cuneo su giunto trazione	(mq)	0.00
immersione linea di intersezione	(°)	177.80
inclinazione linea di intersezione	(°)	64.58

Forze normali alle superfici di scivolamento		
	giunto A	giunto B
peso cuneo (kN)	1	2
sotto spinta idraulica (kN)	0	0
spinta giunto trazione (kN)	0	0
azione sismica (kN)	0	0
carichi applicati (kN)	0	0
forza risultante (N) (kN)	1	2

Calcolo risultanti lungo la direzione di scivolamento		
	forze mobilizzanti (kN)	forze stabilizzanti (kN)
verifica sismica	5	60
verifica non sismica	5	52

ATTENZIONE cinematisimo impossibile			
verifica sismica	11.922	Ipotizzando perfetta persistenza dei giunti (coesione apparente = 0)	11.922
verifica non sismica	10.372		10.372

Cunei-Barton-2018 - data: maggio 2019 - conforme NTC 2018 e Circolare 21/01/2019 n.7/C.S.LL.PP.

Software freeware distribuito da geologi.it

4.7 Verifica Fronte F2

Si individua un unico cinematisimo definito dall'intersezione tra i piani A e i piani D. Per questo cinematisimo il fattore di sicurezza calcolato è:

condizioni sismiche: 15.649

condizioni statiche: 15.211

VERIFICA DI STABILITA' SCIVOLAMENTI DI CUNEI

Comune: Orani	Località: Ispaduleddas	Rif. verifica: Fronte F2
----------------------	-------------------------------	---------------------------------

DATI DI INGRESSO

DATI GEOMETRICI FRONTE		
immersione fronte	(°)	173.00
inclinazione fronte	(°)	65.00
immersione piano superiore	(°)	173.00

DATI GEOMECCANICI E STRUTTURALI		
peso di volume roccia	(kN/mc)	26.00
angolo di attrito di base j_{base}	(°)	34.00

inclinazione piano superiore	(°)	5.00
immersione giunto di trazione	(°)	173.00
inclinazione giunto di trazione	(°)	85.00
altezza fronte	(m)	10.00
distanza giunto di trazione	(m)	

CARICHI APPLICATI E SPINTE IDRAULICHE		
componente vert. carico	(kN)	0.0
componente orizz. carico	(kN)	0.0
peso di volume acqua	(kN/mc)	10.00
altezza falda Hw/H (%)	(%)	0.00%

DATI SISMICI	
accelerazione sismica a_g	0.045
coeff. di amplific. topog S_T	1.20
coeff. di amplific. stratig S_s	1.00
coeff. di riduzione b_s	0.38
coeff. sismico orizzontale k_h	0.021
coeff. sismico verticale k_v	0.010

giunto A		
immersione	(°)	146.00
inclinazione	(°)	68.00
Joint Compression Strenght JCS	(MPa)	60.00
Joint Roughness Coefficient JRC		10.00
		100.00 %
persistenza (%)	%	
resistenza al taglio della roccia	(MPa)	
angolo di attrito di picco j_p	(°)	89.03
coesione app.(ponti di roccia)	(kPa)	0.00

giunto B		
immersione	(°)	189.00
inclinazione	(°)	65.00
Joint Compression Strenght JCS	(MPa)	60.00
Joint Roughness Coefficient JRC		10.00
		100.00 %
persistenza (%)	%	
resistenza al taglio della roccia	(MPa)	
angolo di attrito di picco j_p	(°)	86.99
coesione app.(ponti di roccia)	(kPa)	0.00

RISULTATI

convezione segni carichi ed azioni sismiche



coefficiente geometrico K		0.61
volume del cuneo di roccia V	(mc)	0.05
peso del cuneo di roccia W	(kN)	1
superficie cuneo su giunto A	(mq)	0.88
superficie cuneo su giunto B	(mq)	1.48
superficie cuneo su giunto trazione	(mq)	0.00
immersione linea di intersezione	(°)	177.80
inclinazione linea di intersezione	(°)	64.58

Forze normali alle superfici di scivolamento		
	giunto A	giunto B
peso cuneo (kN)	0	0
sotto spinta idraulica (kN)	0	0
spinta giunto trazione (kN)	0	0
azione sismica (kN)	0	0
carichi applicati (kN)	0	0
forza risultante (N)	0	0

	Calcolo risultanti lungo la direzione di scivolamento	
	forze mobilizzanti (kN)	forze stabilizzanti (kN)
verifica sismica	1	18
verifica non sismica	1	18

Fattori di sicurezza		
verifica sismica	15.649	Ipotizzando perfetta persistenza dei giunti (coesione apparente = 0) 15.649 15.211
verifica non sismica	15.211	

Cunei-Barton-2018 - data: maggio 2019 - conforme NTC 2018 e Circolare 21/01/2019 n.7/C.S.LL.PP.

Software freeware distribuito da geologi.it

4.8 Verifica Fronte F3

Si individua un unico cinematisimo definito dall'intersezione tra i piani A e i piani D. Per questo cinematisimo il fattore di sicurezza calcolato è:

condizioni sismiche: 1.736

condizioni statiche: 1.421

VERIFICA DI STABILITA' SCIVOLAMENTI DI CUNEI

Comune: Orani	Località: Ispaduleddas	Rif. verifica: Fronte F3
----------------------	-------------------------------	---------------------------------

DATI DI INGRESSO

DATI GEOMETRICI FRONTE		
immersione fronte	(°)	270.00
inclinazione fronte	(°)	65.00
immersione piano superiore	(°)	270.00
inclinazione piano superiore	(°)	5.00
immersione giunto di trazione	(°)	270.00
inclinazione giunto di trazione	(°)	85.00
altezza fronte	(m)	10.00
distanza giunto di trazione	(m)	

CARICHI APPLICATI E SPINTE IDRAULICHE		
componente vert. carico	(kN)	0.0
componente orizz. carico	(kN)	0.0
peso di volume acqua	(kN/mc)	10.00
altezza falda Hw/H (%)	(%)	0.00%

DATI GEOMECCANICI E STRUTTURALI		
peso di volume roccia	(kN/mc)	26.00
angolo di attrito di base ϕ_{base}	(°)	35.00

<i>giunto A</i>		
immersione	(°)	146.00
inclinazione	(°)	68.00
Joint Compression Strenght JCS	(MPa)	60.00
Joint Roughness Coefficient JRC		10.00
persistenza (%)	%	100.00 %
resistenza al taglio della roccia	(MPa)	
angolo di attrito di picco ϕ_p	(°)	79.02
coesione app.(ponti di roccia)	(kPa)	0.00

<i>giunto B</i>		
immersione	(°)	189.00

DATI SISMICI		inclinazione	(°)	65.00
accelerazione sismica a_g	0.045	Joint Compression Strenght JCS	(MPa)	60.00
coeff. di amplific. topog S_T	1.20	Joint Roughness Coefficient JRC		10.00
coeff. di amplific.stratig S_s	1.00			100.00 %
coeff. di riduzione β_s	0.38	persistenza (%)	%	
coeff. sismico orizzontale k_h	0.021	resistenza al taglio della roccia	(MPa)	
coeff. sismico verticale k_v	0.010	angolo di attrito di picco ϕ_p	(°)	72.24
		coesione app.(ponti di roccia)	(kPa)	0.00

RISULTATI

convezione segni carichi ed azioni sismiche	coefficiente geometrico K		0.61
	volume del cuneo di roccia V	(mc)	31.22
	peso del cuneo di roccia W	(kN)	812
	superficie cuneo su giunto A	(mq)	30.19
	superficie cuneo su giunto B	(mq)	25.92
	superficie cuneo su giunto trazione	(mq)	0.00
	immersione linea di intersezione	(°)	177.80
	inclinazione linea di intersezione	(°)	64.58

Forze normali alle superfici di scivolamento		
	giunto A	giunto B
peso cuneo (kN)	97	268
sotto spinta idraulica (kN)	0	0
spinta giunto trazione (kN)	0	0
azione sismica (kN)	-25	25
carichi applicati (kN)	0	0
forza risultante (N) (kN)	72	293

Calcolo risultanti lungo la direzione di scivolamento		
	forze mobilizzanti (kN)	forze stabilizzanti (kN)
verifica sismica	741	1286
verifica non sismica	733	1042

ATTENZIONE cinematisimo impossibile			
verifica sismica	1.736	Ipotizzando perfetta persistenza dei giunti (coesione apparente = 0)	1.736
verifica non sismica	1.421		1.421

Cunei-Barton-2018 - data: maggio 2019 - conforme NTC 2018 e Circolare 21/01/2019 n.7/C.S.LL.PP.
Software freeware distribuito da geologi.it

Dai calcoli eseguiti si evidenziano condizioni di stabilità soddisfacenti dei cunei individuati. Si sottolinea che il software restituisce il messaggio “**attenzione cinematisimo impossibile**” per le intersezioni dove lo scivolamento avviene solo su uno dei due piani. In realtà il fattore di sicurezza è calcolato come scivolamento su piano singolo.

5 Conclusioni

Per quanto riguarda il piano di bacino di assetto idrogeologico l'area, attualmente occupata attualmente dalla miniera Ispaduleddas si trova quasi interamente in area a pericolosità da frana elevata Hg3. Il presente studio di compatibilità geologica e geotecnica, fa riferimento agli artt. 23, 25 ed all'allegato F delle Norme di Attuazione del PAI.

Si evidenzia però che nell'area non sono presenti movimenti gravitativi, ma i fronti di coltivazione mineraria.

Si è, inoltre, constatata l'assenza di una circolazione idrica profonda, per cui la circolazione idrica superficiale è limitata al ruscellamento diffuso in concomitanza con le precipitazioni meteoriche rilevanti.

Per quanto riguarda la stabilità dei depositi, le verifiche allegate al piano di gestione dei rifiuti minerari evidenziano una condizione stabile, a patto che vengano rispettate le indicazioni previste dal progetto e che le condizioni di stabilità dell'ammasso roccioso e dei depositi sia monitorata periodicamente.

Per quanto riguarda i fronti di coltivazione si può rilevare che l'ammasso roccioso sul quale è impostata la miniera non è interessato da strutture geologiche che possono determinare instabilità dell'intero fronte di scavo, coinvolgendo grandi volumi di roccia.

Tuttavia, fonte localizzata di instabilità è rappresentata dai blocchi sconnessi dalle volate, pertanto è necessario un accurato disaggio delle superfici dopo ogni abbattimento.

In ogni caso si raccomanda di:

- durante la normale coltivazione di mantenere l'altezza dei fronti entro i 10 m con inclinazioni inferiori a 65°;
- di realizzare sempre gradoni con pedate larghe più di 5 m;
- di procedere con l'avanzamento delle fronti in modo da non unire mai due gradoni sovrapposti;
- di eseguire una verifica costante dei fronti, soprattutto dopo gli eventi meteorologici intensi.

Per quanto non di seguito riportato, ad esempio: la descrizione dettagliata del progetto di coltivazione e di recupero ambientale, il piano di monitoraggio ambientale, il piano di gestione dei rifiuti minerari si fa riferimento alla totalità degli elaborati progettuali allegati al presente documento.