STUDIO
ANDREA GHILINO
GEOLOGO

COMUNE DI ORERO

CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA

OGGETTO

**CAVE DI ARDESIA DENOMINATE "FILONE DURO"
SITE IN LOCALITÀ "SERREIE" E "CAUN"**

COMMITTENTE

Spett.le Ditta *"F.LLI DE MARTINI s.r.l."*

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOMINERARIA

In ottemperanza al D.M. 14 gennaio 2008 e alla D.G.R. n°141/2008
successivamente modificata con D.G.R. n°141/2010

Cicagna, 22 agosto 2016

dott. geol. Andrea Ghilino

Via Contrada, 15/C - Cicagna (GE)
Telefono 0185.92252 - Cellulare 347.1062253 - andrea.ghilino@yahoo.it

1. INTRODUZIONE

Su incarico della Ditta *"F.LLI DE MARTINI s.r.l."* è stato eseguito uno studio geologico relativo alla richiesta di rilascio di nuova autorizzazione per l'esercizio estrattivo del complesso estrattivo ardesiaco denominato "*Filone Duro*", sita in loc. *Serreie* e *Caun*, nel *Comune di Orero (Ge).*

Sono state dunque acquisite dal *geom. Ugo Musante* copie dei rilievi topografici del complesso estrattivo, necessari per lo studio relativo alla verifica delle condizioni di stabilità dei pilastri (o "puntelli") di ardesia, dei cantieri sotterranei sia nella situazione attuale che nelle fasi previste per la futura coltivazione e per i rilievi geomeccanici e geostrutturali effettuati nei cantieri sotterranei.

E' stato dunque eseguito un accurato rilievo geomeccanico e geostrutturale per individuare le eventuali problematiche e valutare le possibili situazioni di rischio.

2. ANALISI GEOSTRUTTURALE

Presso il complesso estrattivo "*Filone Duro*" sono state effettuate misure giaciturali in entrambe le cave in sottosuolo (filone inferiore "*Pesca*" e filone superiore "*Duro*") che mettono in evidenza la disposizione indifferente ("traverpoggio") degli strati (*So*) rispetto alla porzione di pendio in esame, con direzioni di 145°, immergenti a SW con inclinazione variabile da circa 16° fino a 36°.

Come rilevato nella cava di ardesia "*Filone Pesca*", occorre evidenziare la variazione di pendenza dell'agro, imposta da una piega a basso angolo: partendo dalla zona sommitale del filone verso il basso si ha un cambiamento di pendenza da 36° fino a 16° (cfr. Tav. 3).

La superficie di scistosità (*S1* – denominata in gergo "*scaggia*") di entrambi i filoni ardesiaci, sulla base delle misure inclinometriche eseguite all'interno delle cave, evidenziano pendenza pressoché omogenea della superficie ardesiaca con angolo di circa 6°-7°.

Nella zona del complesso estrattivo gli strati si presentano in sequenza rovesciata rispetto alla originaria sedimentazione (piega sinclinale), confermata dal fatto che in prossimità del tetto in roccia arenaria ("*agro*") si riscontra l'ardesia più dura e granulosa e al letto ("*soglia*"), l'ardesia più fine.

Riguardo la situazione strutturale a scala di versante, occorre riferire dell'esistenza di un sistema di faglie pseudoparallele; come si evince dall'allegata Tav. 2, si ha la presenza di una tettonica fragile distensiva espressa principalmente su lineamenti N-S e NW-SE, che ha delineato l'attuale assetto morfologico dell'area.

Il filone inferiore ("*Filone Pesca*"), avente potenza di circa 12m, è caratterizzato da una serie di strati arenacei denominati in gergo "andanine" di potenza di circa 38cm presenti a partire dal tetto (o "agro") fino al sottostante banco di ardesia utile; il tetto (o "agro") ha una potenza di circa 1.2m mentre il letto (o "soglia") ha potenza di circa 1.1m.

A partire dalla soglia verso il banco di ardesia utile sono presenti due strati arenacei denominati in gergo "andanine" di potenza rispettivamente di circa 4cm, a contatto con la roccia arenaria e di 14cm a contatto con l'ardesia utile. I due strati arenacei sono separati da un vena carbonatica di circa 5mm di spessore.

Il filone superiore *("Filone Duro"*) presenta una potenza di circa 4m ed è caratterizzato da una sequenza di strati di arenaria a tetto ("agro") di potenza pari a circa 1.85cm: a partire dal banco di ardesia utile sono presenti tre strati di arenaria di spessore di 15cm ciascuno sovrapposti ad altri due strati di arenaria aventi potenza di circa 1m e 40cm. La disposizione geostrutturale misurata nello strato a tetto (*So*) evidenzia direzione di 145°, immergenti a SW con inclinazione di circa 22°; la superficie di scistosità (*S1 – "scaggia"*) è di circa 6°.

- *STRATIGRAFIA*

La successione stratigrafica che caratterizza l'area in oggetto è stata ricostruita sulla base dell'osservazione diretta delle sezioni di terreno presenti in corrispondenza degli imbocchi di cava. Tali sezioni hanno consentito di analizzare direttamente la stratigrafia in quanto si ha una situazione di "messa a nudo" (seppur limitata) della roccia che ha consentito di riconoscere i vari livelli e strati nonché la loro potenza. La stratigrafia dell'area viene riportata nell'allegata Tavola 4, nella quale viene presentata la sezione geologica 3-3, con l'identificazione dei vari livelli litologici nonché la loro potenza.

- *STATO DI FRATTURAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO*

Per l'analisi della distribuzione spaziale delle discontinuità presenti nell'ammasso roccioso, necessaria per le verifiche di stabilità, sono stati realizzati rilievi geomeccanici di dettaglio secondo gli standard *ISRM* (1981), effettuati all'interno di tutti i cantieri sotterranei della cava inferiore "*Filone Pesca"* e della cava "*Filone Duro*" (cfr. Tav. 3).

Con i rilievi geostrutturali effettuati sono state determinate e analizzate le famiglie di discontinuità principali e più importanti, oltre la stratificazione e la scistosità. Le giaciture delle discontinuità presenti nell'ammasso roccioso sono state analizzate mediante la tecnica della proiezione sferica. I dati di orientazione dei piani di discontinuità (direzione di immersione e inclinazione) sono stati riportate su reticolo equiareale, ed analizzati, mediante il software "*Rocks Mechanics*" della ditta *Geostru*. Nella tabella di seguito riportata sono sintetizzati i dati medi risultanti dal rilievo geologico-strutturale delle discontinuità effettuato nelle cave in sotterraneo.

Famiglie di superfici di discontinuità rilevate	*Giacitura Media*	*Persistenza*	*Spaziatura*	*Note*
F1	*45°/65°/SE (135°/65°)*	*Plurimetrica (comprendente sia il tetto o "agro" che tutto il filone di ardesia)*	*Min.1.3m Max.16m*	*"lascio" spessore da 0.1 fino a 0.5mm ondulata senza riempimento*
F2	*45°/65°/NW (315°/65°)*	*Plurimetrica (comprendente sia il tetto o "agro" che tutto il filone di ardesia)*	*Min.7m Max.28m*	*"lascio" spessore da 0.1 fino a 0.5mm ondulata senza riempimento*
F3	*65°/90°*	*Plurimetrica (comprendente esclusivamente il filone di ardesia)*	*42m (rilevate n°2 fratture)*	*"lascio" verticale spessore da 0.1 fino a 0.5mm - senza riempimento*
F4	*111°/90°*	*Plurimetrica (comprendente sia il tetto o "agro" che tutto il filone di ardesia)*	*Min.20m Max.34m*	*"Rissun" ossia corso di roccia sterile con vene bianche. Disloca il filone con rigetto di circa 0.5/1m*
F5	*160°/45°/NE (70°/45°)*	*Plurimetrica (comprendente esclusivamente il banco di ardesia utile)*	*Presente una nel Filone "Pesca"*	*Faglia diretta (o "rotta") avente rigetto di circa 1m*
F6	*45°/30° Filone Pesca 155°/30° Filone Duro*	*Plurimetrica (comprendente sia il tetto o "agro" che tutto il filone di ardesia)*	*Presente una nel Filone Pesca e 2 nel Filone Duro*	*Frattura riempita di quarzo di spessore medio di 2cm*
Superficie di Strato S_0 (tetto o agro)	*Filone "Pesca": 145°/36°-16°/SW (235°/36°-16°) Filone "Duro": 145°/22° (235°/22°)*			*Nel Filone "Pesca" si osserva un cambio di pendenza, da 36°a 16°*
Superficie di Scistosità S_1 ("scaggia")	*6°-7°*			*Situazione rilevata in entrambi i filoni*

- *RAPPRESENTAZIONE STEREOGRAFICA DELLE FRATTURE O DISCONTINUITÀ E DELLE FAGLIE*

Gli stereogrammi riportati in seguito illustrano la distribuzione dei poli dei piani di discontinuità, le tracce ciclografiche dei piani, le curve di isodensità dei poli dei piani stessi e il diagramma a rosetta che è un istogramma radiale della frequenza (densità) della direzione dei piani di discontinuità.

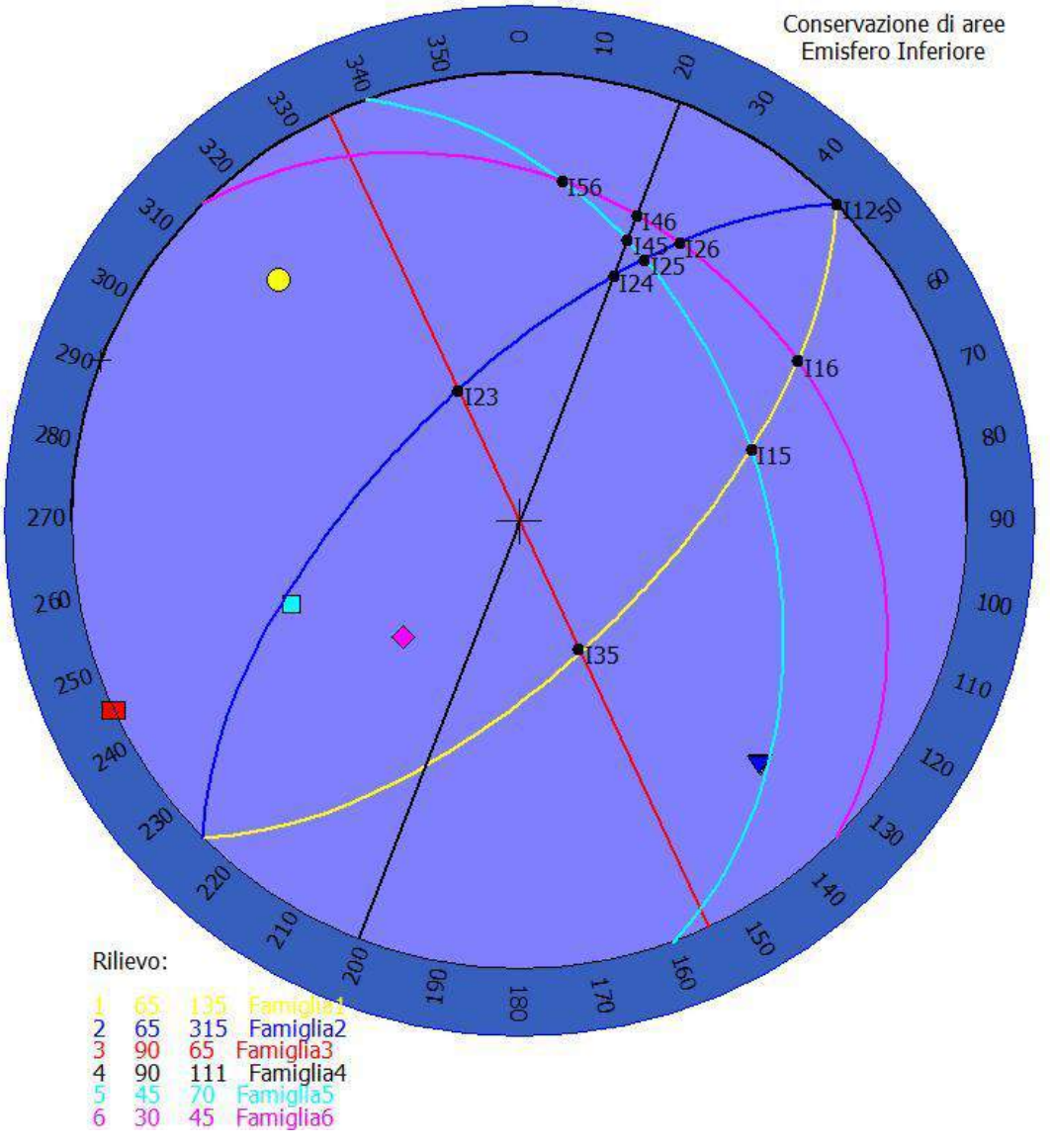


Fig. 1: Stereoproiezione dei poli delle discontinuità o fratture e delle faglie principali con tracce ciclografiche dei relativi piani.

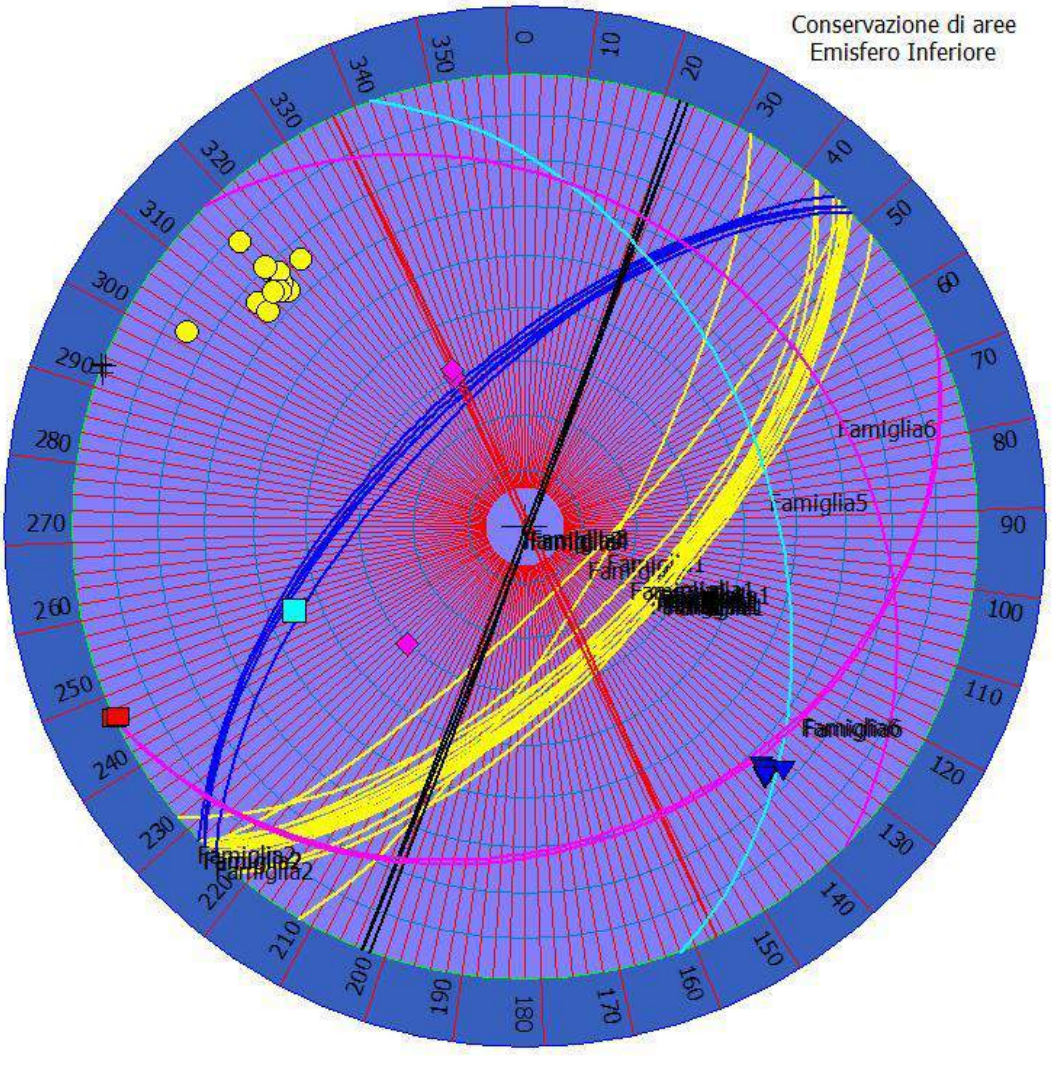


Fig. 2: Stereoproiezione dei poli delle discontinuità e delle faglie e tracce ciclografiche di tutti i relativi piani.

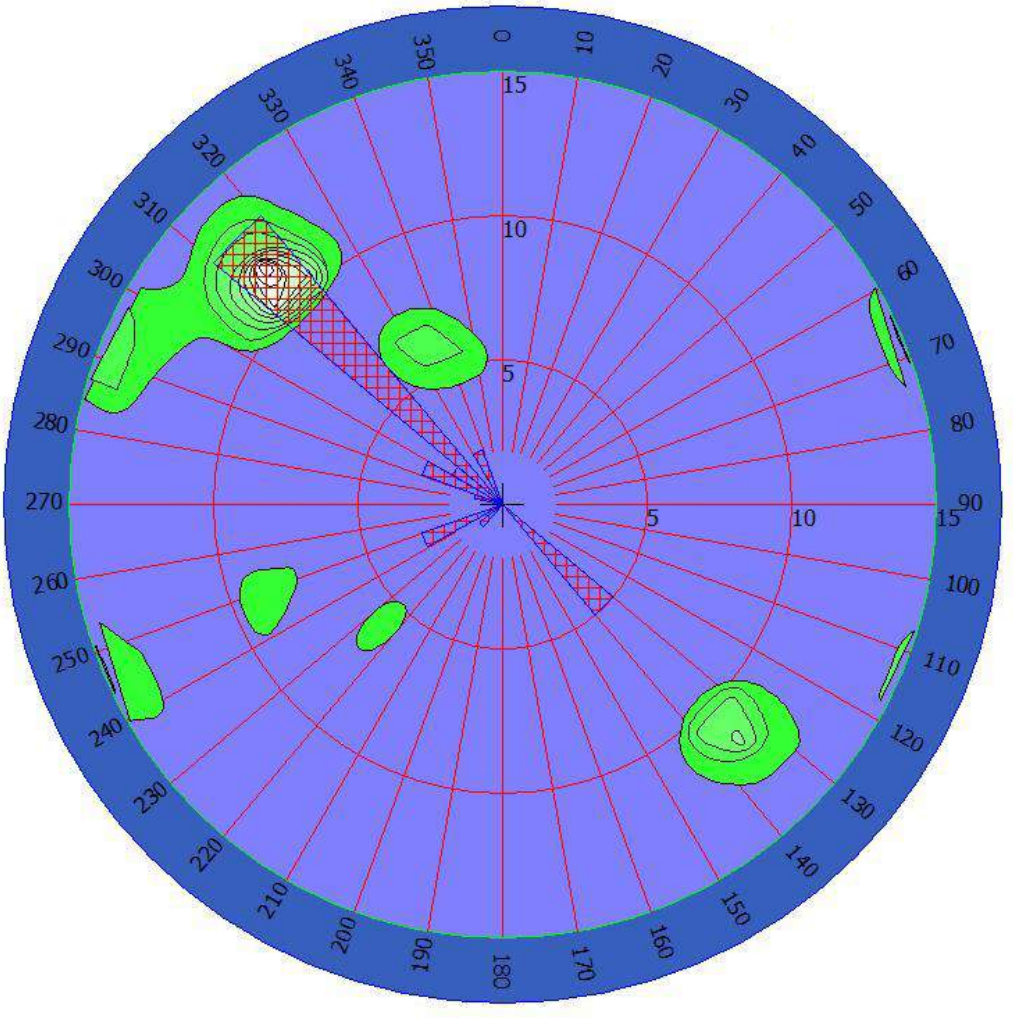


Fig. 3: Aree di isodensità dei poli delle varie famiglie di discontinuità rilevate con diagramma a rosetta o a stella.

3. PARAMETRIZZAZIONE GEOMECCANICA

L'ammasso roccioso viene classificato con il metodo proposto da *Bieniawski*: questa classificazione si basa sul rilievo di cinque parametri che determinano un valore base dell'indice *RMR (Rock Mass Rating*).

Il rilievo e l'analisi dei principali parametri da inserire nella classificazione proposta da *Bieniawski* sono stati effettuati all'interno dei cantieri sotterranei in corrispondenza di varie postazioni geomeccaniche.

Sono stati dunque ricavati i dati necessari che vengono elencati di seguito, suddivisi per il litotipo Ardesia e la roccia a tetto Arenaria (o "agro"). Dalla somma algebrica dei coefficienti numerici dei cinque parametri si ottiene rispettivamente:

ARDESIA : *RMR = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 =* ***83*** *(I classe – ammasso roccioso ottimo)*

ARENARIA : *RMR = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 =* ***80*** *(II classe – ammasso roccioso buono)*

Dal valore *RMR* è possibile ricavare i parametri di resistenza al taglio (coesione e angolo di attrito) e i valori di deformabilità dell'ammasso roccioso; la classificazione di *Bieniawski* è stata integrata con quella di *Romana* permettendo così di ricavare l'indice di qualità dell'ammasso roccioso *G.S.I. (Geological Strenght Index)*. Tali valori vengono in seguito riportati:

ARDESIA

- *Coesione: c = 0.42 Mpa*
- *angolo di attrito:* φ *= 47°*
- *modulo di deformazione:* E_d *= 66 GPa*
- *indice di qualità dell'ammasso roccioso: G.S.I. = 78*
- *resistenza a compressione uniassiale:* S_u *= 152 Mpa*

***A**RENARIA*

- *coesione: c = 0.40 Mpa*
- *angolo di attrito: φ = 46°*
- *modulo di deformazione: E_d = 65 GPa*
- *indice di qualità dell'ammasso roccioso G.S.I. = 77*
- *resistenza a compressione uniassiale: S_u = 180 Mpa*

CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DI BARTON

Il sistema *Q* di *Barton* et al. (1974), sviluppato al *Norwegian Geotechnical Institute* essenzialmente per l'applicazione in campo sotterraneo, negli ultimi anni è stata estesa a diversi campi e di recente, nel 2002, lo stesso *Barton* ha proceduto ad una revisione totale del sistema, classifica l'ammasso roccioso in modo quantitativo ed è basato su una stima numerica della qualità dell'ammasso, mediante l'utilizzo di 6 distinti parametri, raggruppati in tre quozienti, il cui prodotto fornisce il valore dell'indice Q dell'ammasso roccioso, secondo la seguente relazione:

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n}\right)\left(\frac{J_r}{J_a}\right)\left(\frac{J_w}{SRF}\right)$$

dove sono presenti i seguenti indici e fattori:
B. indice *RQD*, che tiene conto della suddivisione della massa rocciosa
C. indice *Jn*, connesso con il numero di famiglie di discontinuità;
D. indice *Jr*, connesso con la rugosità delle superfici di discontinuità;
E. indice *Ja*, connesso con lo stato di alterazione/degradazione delle discontinuità;
F. indice *Jw*, connesso con le condizioni idrauliche delle discontinuità;
G. fattore di riduzione *SRF*, connesso con le condizioni di sollecitazione e lo stato tensionale delle rocce.

I significati associati ai vari fattori del prodotto sono (*Bieniawski*, 1989):
H. il rapporto *RQD/Jn* è il fattore geometrico e fornisce una misura della dimensione dei blocchi costituenti l'ammasso.
I. il rapporto *Jr/Ja* è il fattore meccanico e indica la resistenza al taglio fra i vari blocchi.
J. il rapporto *Jw/SRF* è il fattore ambientale.

Il valore finale dell'indice Q è compreso in questo metodo tra 0.001 e 1000 e questo intervallo è stato suddiviso in 7 classi che definiscono la qualità dell'ammasso roccioso.

Nel nostro caso, come riportato nella tabella sottostante, è risultato attraverso l'apposito software "*Rock Mechanics*" della *Geostru* un valore di Q = 41 corrispondente ad una qualità molto buona dell'ammasso roccioso.

Q System		*Valori*
Rock quality designation	*RQD*	*99%*
Joint set number	*Jn*	*6*
Joint roughness number	*Jr*	*2.5*
Joint alteration number	*Ja*	*2*
Joint water reduction factor	*Jw*	*1*
Stress reduction factor	*SFR*	*1*
Rock quality tunneling index Q	*Q*	*Classe III – Qualità Molto Buona Q = 41*

PARAMETRI DI PROGETTO DEI MATERIALI

Le verifiche di stabilità di seguito esposte, sono state eseguite utilizzando le parametrizzazioni fornite nel presente elaborato, sulla base dei parametri caratteristici, divisi per i rispettivi coefficienti parziali definiti nelle *Norme Tecniche* (*D.M. 14 gennaio 2008).* Si ottengono così i parametri di progetto, in modo che, ai fini della situazione schematizzata, i parametri utilizzati nelle verifiche di stabilità siano, oltre che rappresentativi, adeguatamente cautelativi. Sulla base dei risultati ottenuti con rilievi geomeccanici effettuati, sono stati ottenuti i valori medi *(V_M)* dei parametri di resistenza al taglio (coesione e angolo di attrito) e di resistenza a compressione uniassiale, sia per l'ardesia che per l'arenaria.

Secondo quando definito dalla *Norme Tecniche e dalle Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CNLP)*, nel caso in cui il volume significativo sia notevole e/o quando è coinvolto un notevole volume di terreno, i parametri caratteristici possono essere considerati uguali ai parametri medi (V_M = V_K). Le Norme Tecniche stabiliscono inoltre l'assoluta responsabilità del progettista sui parametri geotecnici da utilizzare, sulla base della precisione del modello geologico (s.l.) ottenuto. Ciò premesso, sulla base del rilievo geologico di dettaglio effettuato, si è ritenuto corretto considerare uguali i valori dei parametri medi a quelli caratteristici (V_M = V_K).

I valori di progetto, come indicato nel *D.M. 14 gennaio 2008*, vengono divisi per i coefficienti parziali previsti dalla combinazione di carico A2+M2+R2 (dimensionamento *GEOtecnico*), secondo quanto indicato nella *Tabella 6.2.II delle Norme Tecniche.* La tabella seguente riassume i valori medi ed indica i valori di progetto relativi al litotipo Ardesia ed Arenaria.

Parametro	***u.m.***	***Valore Medio***	***Valore di Progetto***
Ardesia			
peso dell'unità di volume (γ)	*t/m^3*	*2.8*	*2.8*
coesione (c)	*MPa*	*0.42*	*0.3*
angolo di attrito (φ)	*°*	*47*	*41*
resistenza a Compressione Uniassiale (s_u)	*MPa*	*152*	*95*
Arenaria			
peso dell'unità di volume (γ)	*t/m^3*	*2.6*	*2.6*
coesione (c)	*MPa*	*0.40*	*0.28*
angolo di attrito (φ)	*°*	*46*	*40*
resistenza a Compressione Uniassiale (s_u)	*Mpa*	*180*	*112*

4. SISMICITA' DELL'AREA

Ai sensi dell'*Ordinanza* della *Presidenza* del *Consiglio* dei *Ministri n°3519/2006*, ed alla *D.G.R. n°1362 del 19/11/2010*, il territorio comunale di *Orero (Ge) è stato classificato sismico ed inserito in zona **3** (p.g.a. = 0.150g)* e contrassegnato con il *Numero Identificativo 42 nella mappa sismica*.

La normativa definisce l'accelerazione sismica orizzontale (*ag*) relativamente alle diverse zone simiche: tale valore è attribuito a formazioni litoidi con velocità media di propagazione nei primi 30m di profondità delle onde sismiche di taglio (*Vs30*) maggiore di 800m/s.

Per il complesso estrattivo in oggetto si ritiene corretto associare il sito ad un profilo stratigrafico tipico della Categoria di suolo ***A***, che comprende formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi, caratterizzati da valori di *Vs30* superiori a 800m/s, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 3.0m.

La normativa *(D.M. 14 gennaio 2008)*, inoltre, tiene conto anche degli *"effetti di sito"* indotti dal profilo stratigrafico e della morfologia dell'area di progetto. In relazione alle caratteristiche litotecniche e stratigrafiche dei terreni sopra menzionate, è stata quindi valutata la zonazione di massima in prospettiva sismica.

Per quanto attiene all'amplificazione determinata dalle condizioni morfologiche del sito, essendo situato entro un pendio ad elevata acclività peraltro in prossimità della zona sommitale, si ritiene necessario considerare l'effetto d'amplificazione topografica dell'onda sismica: viene pertanto assegnato un coefficiente di amplificazione topografica T_2*=1.20.*

Sulla base delle disposizioni previste dalle *"Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 14/01/2008),* le tabelle seguenti riepilogano le considerazioni sismiche per le verifiche di stabilità a progetto, le caratteristiche sismiche del sito, l'analisi dei parametri e dei coefficienti sismici, calcolati con il programma *"GEOSTRU PS"*:

COORDINATE GEOGRAFICHE DELLA LOCALITA' IN ESAME				
Longitudine:			9,27534967814825	
Latitudine:			44,4186094669819	
COORDINATE GEOGRAFICHE DEI 4 PUNTI DEL RETICOLO (SITI DI RIFERIMENTO)				
	ID	LON	LAT	DIST m
Sito 1	16922	9,2215	44,4081	4434,546
Sito 2	16923	9,2914	44,4106	1552,431
Sito 3	16701	9,2879	44,4605	4767,228
Sito 4	16700	9,2180	44,4581	6323,390

VITA DELLA STRUTTURA	
Vita nominale delle opere:	$V_N \geq 50$ anni
Classe d'uso:	II (Costruzioni il cui uso preveda presenza normale di persone)
Coefficiente d'uso:	$C_U = 1$
Periodo di riferimento per le azioni sismiche strutturali:	$V_R = V_N \times C_U = 50$
CARATTERISTICHE SISMICHE DEL SITO	
Topografia:	T2
Coefficiente Topografico:	$S_T = 1.20$
Categoria Suolo:	A

	PARAMETRI SISMICI						COEFFICIENTI SISMICI			
	SL	**P_{vr}**	**T_r**	**a_g**	**F_o**	**T_c***	**Kh**	**Kv**	**Amax**	**Beta**
sle	*Operatività (SLO)*	81%	30	0,033g	2,499	0,205	0.008	0.004	0.387	0.200
sle	*Danno (SLD)*	63%	50	0.041g	2,533	0,226	0.010	0.005	0.478	0.200
slu	*Salv.Vita (SLV)*	10%	475	0.099g	2,513	0,285	0.023	0.012	1.160	0.200
slu	*Collasso (SLC)*	5%	975	0.130g	2,473	0,289	0.042	0.021	1.525	0.270

SL = Stato Limite Considerato (sle = stato limite di esercizio; slu = stato limite ultimo); **P_{vr}** = Probabilità di superamento dello Stato Limite Considerato**; T_r** = Tempo di Ritorno (anni); **a_g** = Accelerazione massima al sito; **F_o** = Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; **T_c*=** Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (sec); **Kh** = coefficiente sismico orizzontale; **Kh** = coefficiente sismico verticale; **Amax =** accelerazione massima attesa al sito.

5. ANALISI CINEMATICA DELLA STABILITA DEI FRONTI DI SCAVO

I fenomeni di instabilità che coinvolgono il movimento di blocchi di roccia secondo i piani di discontinuità presenti nell'ammasso risultano da una, o dalla combinazione, di tre modalità fondamentali:

- lo scivolamento di un blocco su di un piano;
- lo scivolamento di un cuneo;
- il ribaltamento di blocchi.

Affinché una delle tre tipologie basiche di rottura possa avvenire devono essere soddisfatte alcune condizioni geometriche:

Perché avvenga lo scivolamento di un blocco di roccia su di un piano per effetto della gravità è necessario che il piano di scivolamento abbia una inclinazione tale da intercettare la superficie libera del fronte roccioso e che l'inclinazione del piano di rottura sia maggiore della resistenza attritiva disponibile sul piano di rottura. E' inoltre necessario che il blocco sia libero lateralmente ovvero che venga superata la resistenza della roccia che lo confina oppure che il blocco sia delimitato da superfici di discontinuità deboli.

Per lo scivolamento di un cuneo di roccia è necessario che esistano due piani di discontinuità che si intersecano a definire un tetraedro, che la linea intersezione dei due piani intercetti la luce libera del fronte e che l'inclinazione della linea intersezione che delimita il blocco sia maggiore dell'angolo di attrito disponibile lungo i piani di scorrimento.

Una rottura per ribaltamento presuppone la presenza sul fronte di discontinuità verticali o subverticali delimitate alla base da altre discontinuità con orientazione tale da poter scivolare, in questo caso gli elementi verticali possono ribaltarsi sia come colonne rigide sia a seguito di flessione sotto l'azione del peso proprio.

Le verifiche dei fronti rocciosi esaminati nei riguardi dell'instaurarsi di possibili meccanismi di rottura a carico della roccia in posto sono effettuate analizzando i rapporti geometrici (di orientazione) che intercorrono tra i diversi sistemi di discontinuità che pervadono l'ammasso roccioso e l'orientazione del fronte.

Al fine di condurre le analisi è necessario definire alcune proprietà dei giunti di discontinuità presenti nell'ammasso roccioso; oltre ai dati geomeccanici già riportati, sulla base di numerose prove effettuate su campioni di ardesia (cfr. *Rock Mechanics* di *Barton* e *Ghoubey*) si possono assumere i seguenti valori di progetto: 30° per l'angolo di attrito e 0.7-0.8Kg/cmq per la coesione.

Sulla base dei dati raccolti e successivamente elaborati, sia attraverso considerazioni di carattere geometrico che per mezzo di diagrammi polari, ove sono stati proiettati i cerchi massimi rappresentativi dei vari sistemi di discontinuità ed i vari fronti di scavo così da individuare graficamente i potenziali cinematismi, si esclude la possibilità di cinematismi a cuneo e per ribaltamento nei fronti, nelle "ceppe" e nei pilastri di ardesia in loco; potenzialmente possono essere esclusivamente possibili scivolamenti planari.

CINEMATISMI PLANARI

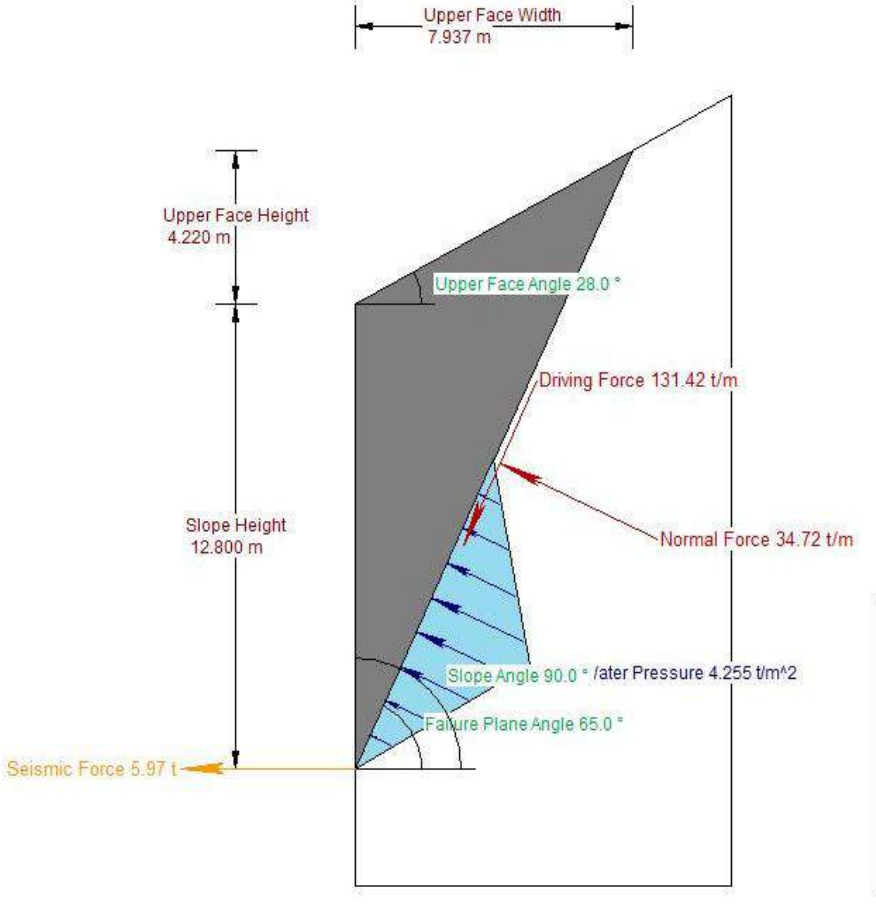
Nel caso di cinematismo planare, a favore della sicurezza, si ipotizza che direzione di scivolamento e direzione della discontinuità siano perfettamente perpendicolari, non tenendo conto del contributo dovuto alla differenza tra le due, che nel caso risulti superiore a 20° esclude l'attivarsi del cinematismo stesso.

L'analisi è riferita a tutti i fronti in coltivazione sia attuali che di futura coltivazione in quanto è stata elaborata sistema per sistema e le verifiche numeriche sono state effettuate considerando la peggiore situazione che è quella di parallelismo tra immersione del fronte e del sistema di scivolamento.

Condizione essenziale al verificarsi del cinematismo è che lateralmente la frattura venga isolata da altre fratture o da tagli di coltivazione. L'ipotesi di seguito illustrata pone la situazione in maniera tale che la frattura sia completamente isolata e perfettamente parallela alla direzione del fronte (in caso di differenza pari a ±20° il cinematismo non si attiva).

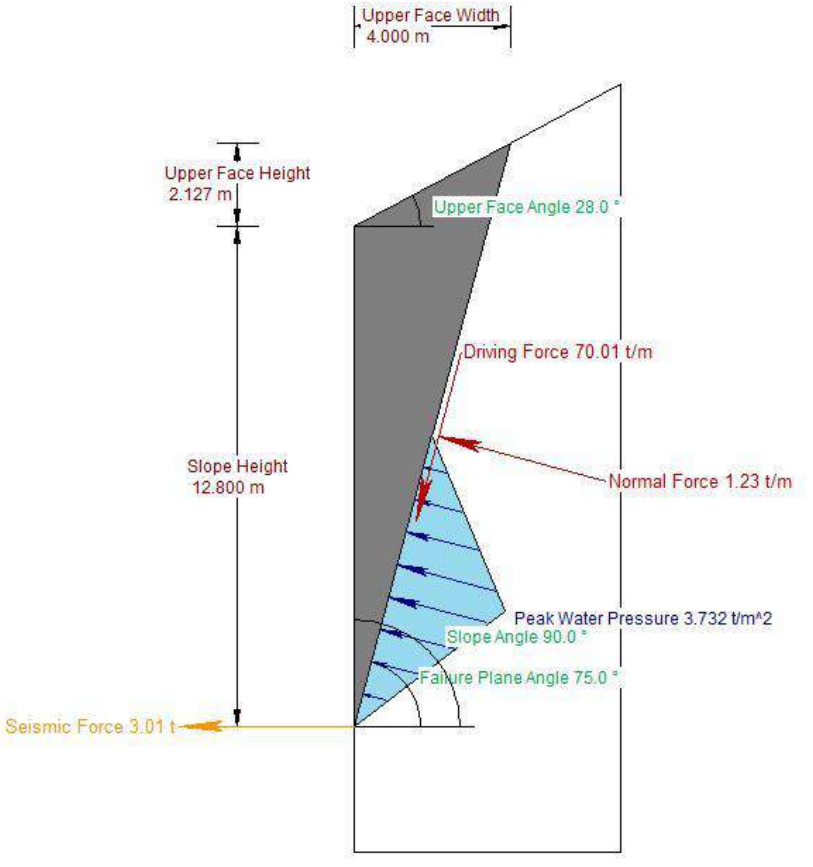
Il calcolo è stato condotto in condizioni sismiche *(SLU-SLC)* e con sovrappressione di acqua (50%); nell'analisi il valore del fattore di sicurezza *FS* viene ridotto di un coefficiente *R2=1.1* come previsto dalle norme tecniche. Con il metodo deterministico proposto da *Mohr-Coulomb*, attraverso il programma di calcolo "*RocPlane2*" della *RocScience* per scivolamenti planari, sono state effettuate varie verifiche di stabilità. Oltre ai dati geometrici (altezza pilastri, inclinazione tetto, ecc.) sono stati inseriti nel programma di calcolo i parametri geomeccanici di progetto dell'ammasso roccioso e delle relative discontinuità.

Le simulazioni effettuate hanno mostrato superfici di scorrimento con fattori di sicurezza confortanti: per la famiglia di fratture *F1* ed *F2* (analoghe in quanto aventi stessa inclinazione) si ottiene un coefficiente di sicurezza minimo *Fs di 1.18* per il filone *"Pesca" e di 3.05* per il filone *"Duro"*; per la famiglia di fratture *F1* nel caso in cui essa presenti inclinazione di 75° (situazione riscontrata in taluni casi nel filone "*Pesca*") si ottiene un coefficiente *Fs di 1.62;* per la famiglia di fratture *F6* si ottiene un coefficiente *Fs di 1.43* nel filone *"Pesca" e di 3.10* nel filone *"Duro".* Le verifiche effettuate confortano circa la stabilità dei pilastri ove sono presenti tali fratture. Si riportano in seguito gli schemi di verifica (bidimensionali) utilizzati ed i relativi dati ottenuti dal software.



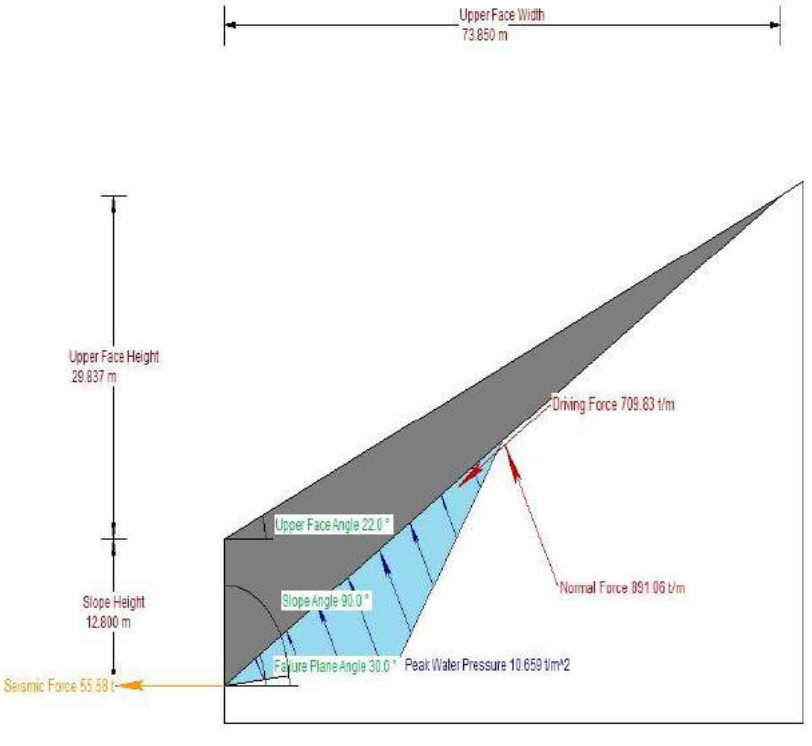
Factor of Safety	1.30
Driving Force	131.42t/m
Resisting Force	170.28t/m
Wedge Weight	142.22t/m
Wedge Volume	50.79m^3/m
Shear Strength	170.28t/m^2
Normal Force	34.72t/m
Seismic Force	5.97t
Plane Waviness	0.0°
Water Force on Failure Plane	19.98t/m

Fig. 4: Schema relativo alla famiglia di fratture *F1* e *F2* nel filone inferiore ("*Pesca*").



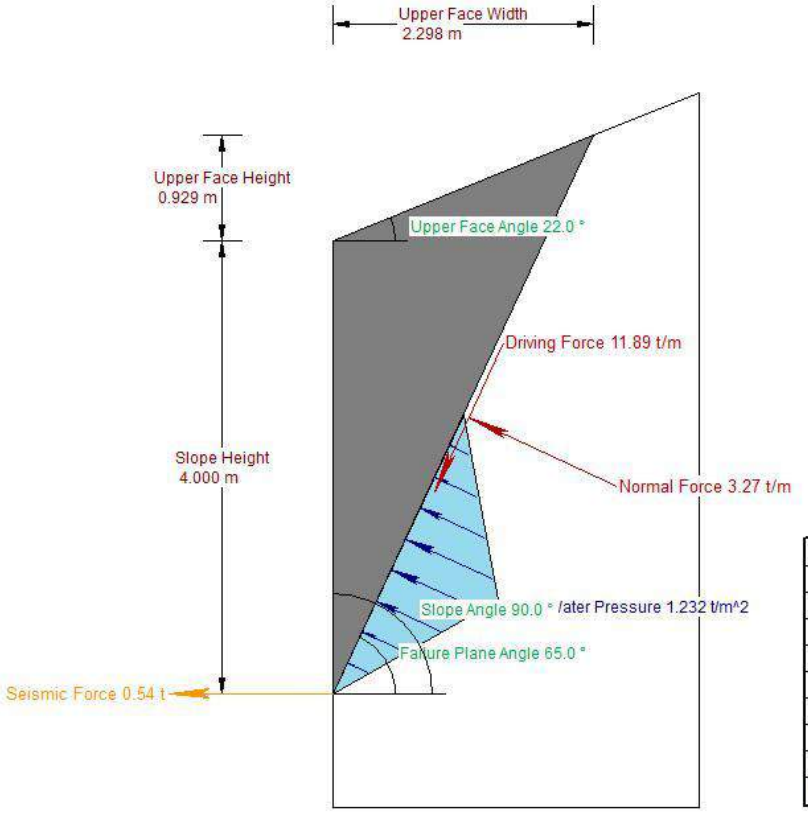
Factor of Safety	1.78
Driving Force	70.01t/m
Resisting Force	124.33t/m
Wedge Weight	71.67t/m
Wedge Volume	25.60m^3/m
Shear Strength	124.33t/m^2
Normal Force	1.23t/m
Seismic Force	3.01t
Plane Waviness	0.0°
Water Force on Failure Plane	14.42t/m

Fig. 5: Schema relativo alla famiglia di fratture *F1* aventi inclinazione di 75° nel filone inferiore ("*Pesca*").



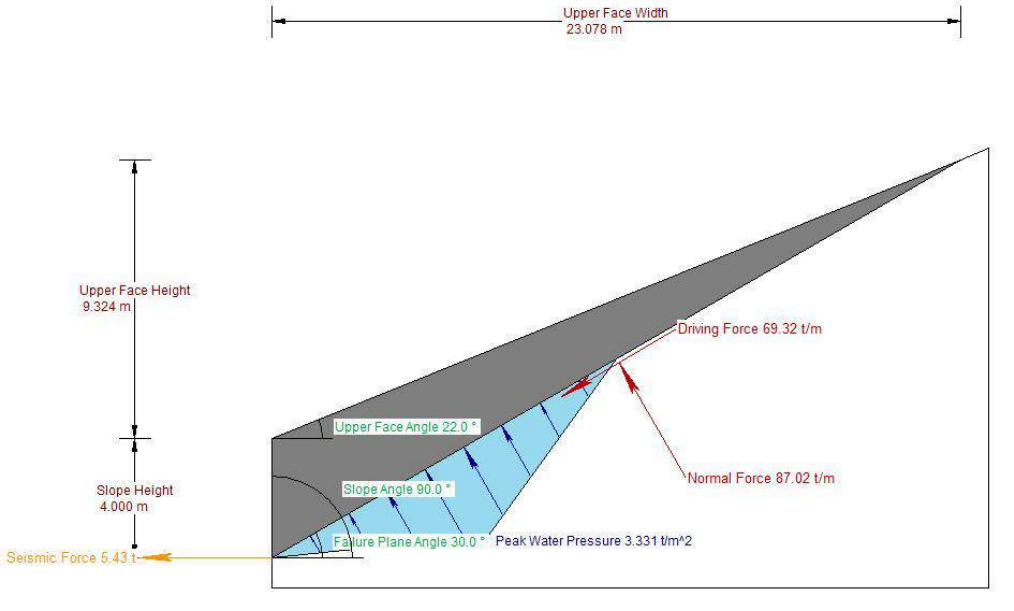
Factor of Safety	1.57
Driving Force	709.83t/m
Resisting Force	1111.38t/m
Wedge Weight	1323.39t/m
Wedge Volume	472.64m^3/m
Shear Strength	1111.38t/m^2
Normal Force	891.06t/m
Seismic Force	55.58t
Plane Waviness	0.0°
Water Force on Failure Plane	227.24t/m

Fig. 6: Schema relativo alla famiglia di fratture *F6* nel filone inferiore ("*Pesca*").



Factor of Safety	3.36
Driving Force	11.89t/m
Resisting Force	39.96t/m
Wedge Weight	12.87t/m
Wedge Volume	4.60m^3/m
Shear Strength	39.96t/m^2
Normal Force	3.27t/m
Seismic Force	0.54t
Plane Waviness	0.0°
Water Force on Failure Plane	1.68t/m

Fig. 7: Schema relativo alla famiglia di fratture *F1* nel filone superiore ("*Duro*").



Factor of Safety	3.42
Driving Force	69.32t/m
Resisting Force	236.78t/m
Wedge Weight	129.24t/m
Wedge Volume	46.16m^3/m
Shear Strength	236.78t/m^2
Normal Force	87.02t/m
Seismic Force	5.43t
Plane Waviness	0.0°
Water Force on Failure Plane	22.19t/m

Fig. 8: Schema relativo alla famiglia di fratture *F6* nel filone superiore ("*Duro*").

6. PROGETTAZIONE DEI PILASTRI

La progettazione dei pilastri di ardesia da lasciare in loco durante le fasi di coltivazione è stata avviata attraverso l'analisi di *Salamon e Munro (1967)* utilizzando una nozione probabilistica di fattore di sicurezza, definito come:

Fattore di sicurezza = forza / resistenza intrinseca del pilastro

La forza di un pilastro (S), con superficie di base quadratica o rettangolare è generalmente definito da una costante di materiale (k), che rappresenta la forza unità del materiale in kPa/m3, la dimensione del pilastro (w) e l'altezza (h) in metri e costante adeguamento coefficienti (α, β), il tutto in funzione della tensione assiale della tensione assiale media del pilastro, al carico litostatico ed alla dimensione del vuoto. La notazione comune della formula forza pilastro è dato dalla seguente equazione:

$S = k\, h^{\alpha}\, w^{\beta}$

dove k = 7.18 kPa,
α = -0.66
β = 0.46.

Salamon (1967) afferma che i valori di resistenza e di carico devono essere considerati come predizioni che sono soggette ad errori. Lo stesso autore ha dunque ritenuto ragionevole supporre che la maggior parte degli ingegneri minerari arrivato ad un compromesso accettabile tra sicurezza e miniera economica, con la sicurezza ottimale fattore che giace nel range in cui il 50 per cento dei casi stabili sono più densamente concentrate; questo accade fra fattori di sicurezza da 1.3 a 1.9.

Sulla scorta dei dati rilevati e sulla base della precisione del modello geomeccanico ottenuto, nonché sull'esperienza maturata nell'ambito della coltivazione di ardesia in sotterraneo, il sottoscritto ha scelto nel considerare come coefficiente di sicurezza, il valore di 1.3.

<u>Calcoli relativi alla situazione attuale del filone inferiore "Pesca"</u>

Considerando un'altezza media di copertura di 40 metri, larghezza media pilastro pari a 9m, altezza pilastro pari a 12.8m, inclinazione strato di tetto 36°, interasse tra i pilastri di 8m, peso di volume della roccia 0.027MN/mq, vengono calcolate le seguenti formule.

- *Calcolo della sollecitazione o pressione litostatica θz*

$\theta z = \rho \times h \cos i \longrightarrow \theta z = 0.8\ MN/mq$

Dove: ρ = peso di volume della roccia;
h = profondità sotto la superficie in metri;
i = inclinazione strato di tetto.

- *Calcolo della sollecitazione media pilastro*

$(\delta_P) = \theta z\,[(w_0+w_p)/\,w_p]^2 = 2.8$ *MN/mq*

Dove:
w_p *= dimensione del pilastro = 9m*
w_0 *= interasse tra i pilastri = 8m*

- *Calcolo forza media Pilastro*

$S = k\,h^{\alpha}\,w^{\beta} \longrightarrow S = 3.7$ *MN/mq*

dove k = 7.18 kPa,
α = -0.66
β = 0.46
w = larghezza del pilastro
h = altezza del pilastro

- *Calcolo del fattore di sicurezza*

Fattore di sicurezza (Fs) = Forza media Pilastro (S) / Sollecitazione media Pilastro (δ_P)

Pertanto: Fs = 1.32

<u>Calcoli relativi alla situazione di futura lavorazione del filone inferiore "Pesca"</u>

In questa fase di progettazione si considera l'area di attuale lavorazione, pertanto un'altezza media di copertura di 50 metri, larghezza pilastro pari a 14m, altezza pilastro pari a 12.8m, inclinazione strato di tetto 30°, interasse tra i pilastri di 11m, peso di volume della roccia 0.027MN/mq; vengono dunque calcolate le seguenti formule.

- *Calcolo della sollecitazione o pressione litostatica θz*

$\theta z = \rho \times h \cos i \longrightarrow \theta z = 1.16$ *MN/mq*

Dove: ρ = peso di volume della roccia;
h = profondità sotto la superficie in metri;
i = inclinazione strato di tetto.

- *Calcolo della sollecitazione media pilastro*

$(\delta_P) = \theta z\,[(w_0+w_p)/\,w_p]^2 = 3.3$ *MN/mq*

Dove:

w_p *= dimensione del pilastro = 14.5m*
w_0 *= interasse tra i pilastri = 11m*

- *Calcolo forza media Pilastro*

$S = k\,h^{\alpha}\,w^{\beta} \longrightarrow S = 4.6$ *MN/mq*

dove k = 7.18 kPa
α *= -0.66*
β *= 0.46*
w = larghezza del pilastro
h = altezza del pilastro

- *Calcolo del fattore di sicurezza.*

Fattore di sicurezza (Fs) = Forza media Pilastro (S) / Sollecitazione media Pilastro (δ_P)

Pertanto: Fs = 1.4

Calcoli relativi alla situazione di futura lavorazione del filone superiore "Duro"

Considerando un'altezza media di copertura di 40 metri, larghezza media pilastro pari a 7m, altezza pilastro pari a 5.3m, inclinazione strato di tetto 30°, interasse tra i pilastri di 8m, peso di volume della roccia 0.027MN/mq, vengono calcolate le seguenti formule.

- *Calcolo della sollecitazione o pressione litostatica* θz

$\theta z = \rho \times h \cos i \longrightarrow \theta z = 0.9$ *MN/mq*

Dove: ρ *= peso di volume della roccia;*
h = profondità sotto la superficie in metri;
i = inclinazione strato di tetto.

- *Calcolo della sollecitazione media pilastro*

$(\delta_P) = \theta z\,[(w_0+w_p)/\,w_p]^2 = 4.1$ MN/mq

Dove:
w_p *= dimensione del pilastro = 7m*
w_0 *= interasse tra i pilastri = 8m*

- *Calcolo forza media Pilastro*

$S = k\,h^{\alpha}\,w^{\beta} \longrightarrow S = 5.9$ MN/mq

dove k = 7.18 kPa,
$\alpha = -0.66$
$\beta = 0.46$
w = larghezza del pilastro
h = altezza del pilastro

- *Calcolo del fattore di sicurezza*

Fattore di sicurezza (Fs) = Forza media Pilastro (S) / Sollecitazione media Pilastro (δ_P)

Pertanto: Fs = 1.4

7. PROGRAMMA DI MONITORAGGIO E CONTROLLO

Il monitoraggio delle camere in coltivazione consiste nell'installazione di un'appropriata strumentazione e nella misura di grandezze fisiche significative - quali spostamenti, tensioni, forze e pressioni interstiziali - prima, durante e/o dopo la coltivazione.

Il monitoraggio ha lo scopo di verificare la corrispondenza tra le ipotesi progettuali e i comportamenti osservati e di controllare la funzionalità del complesso camere-pilastri nel tempo.

Esso è riferito principalmente al controllo degli spostamenti di punti significativi, da effettuare con periodicità e durata tali da consentire di definirne le variazioni periodiche e stagionali. Il controllo deve comprendere la definizione delle soglie di attenzione e di allarme e dei provvedimenti da assumere in caso del relativo superamento.

Operazione fondamentale per il controllo degli effetti prodotti dalle opere progettate e la programmazione delle attività future è una corretta attività di monitoraggio. Tale attività dovrà espletarsi in varie fasi:

Fase 1

Installazione immediata di numero 6 fessurimetri nel filone inferiore "*Pesca*", così come indicato nell'allegata planimetria tecnica (cfr. Tav. 6).

Installazione immediata nel filone inferiore "*Duro*" di numero 2 fessurimetri e numero 2 nella futura coltivazione, per un totale di 4 fessurimetri, così come indicato nell'allegata planimetria tecnica (cfr. Tav. 6.1).

I fessurimetri dovranno essere posizionati in sovrapposizione alle fratture o superfici di discontinuità ed infissi nella roccia attraverso viti e/o apposite resine chimiche. L'installazione dei fessurimetri servirà per il controllo degli eventuali spostamenti e/o cedimenti dei pilastri, del tetto e dei fronti.

Fase 2

Lettura dei fessurimetri da ripetere con periodicità assegnata dal direttore dei lavori. Si prescrive una cadenza delle letture almeno una volta all'anno, così come previsto dalla normativa.

Fase 3

Studi a "tavolino": realizzazione di un grafico tempo-spostamento. Si definisce pertanto una soglia di allarme di 1cm di spostamento massimo. In caso di superamento di tale valore si dovranno assumere dei provvedimenti con comunicazioni agli organi preposti. Si dovranno dunque valutare interventi di manutenzione straordinaria oppure decidere l'evacuazione.

8. CONCLUSIONI

Dalle analisi effettuate, si evince che i dimensionamenti dei pilastri (o "puntelli") delle camere dei cantieri sotterranei attuali del complesso estrattivo in oggetto, sono compatibili alla situazione analizzata e calcolata.

Come riportato nelle analisi condotte per i vari fronti di lavoro, la coincidenza progressiva dei fronti di scavo con discontinuità dei sistemi maggiormente rappresentati, consente di escludere (sicuramente di limitare) l'insorgenza di cinematismi anche solo potenziali.

Le analisi condotte hanno scopo previsionale come indicatori delle potenziali combinazioni che potrebbero determinare situazioni potenzialmente problematiche; tali analisi dovranno essere confermate ed aggiornate progressivamente dal direttore dei lavori con lo sviluppo dei lavori previsti.

Si ricorda che comunque da sempre le maestranze svolgono giornalmente sui fronti in coltivazione controlli e relative manutenzioni del caso, operazioni che sono la condizione primaria ed essenziale per il mantenimento della sicurezza.

Dallo studio è emerso che nella situazione prevista per la futura coltivazione, dovranno essere adottati pilastri di ardesia lasciata in loco aventi dimensioni minime di circa 14.5m (impronta rettangolare di 5.5m per 14.5m – area pari a circa 80mq) per il filone inferiore *"Pesca"* e di dimensioni minime di 7m (base quadrata di 7m per 7m – area pari a circa 49mq) ed interasse di 8m per il *"Filonetto Superiore".*

L'allegata Tavola 5 illustra l'ubicazione indicativa di massima dei pilastri o "puntelli" di ardesia da lasciare in loco; qualora si dovesse verificare un imprevisto geologico (ad esempio per fratture, ecc.), si dovrà effettuare un'ulteriore verifica puntuale.

L'allegata Tavola 5 illustra l'ubicazione indicativa di massima dei pilastri o "puntelli" di ardesia da lasciare in loco per entrambi i filoni; tale elaborato evidenzia la sovrapposizione di massima dei pilastri o "puntelli" fra i due filoni, condizione necessaria per la stabilità in grande del complesso estrattivo e che dovrà essere garantita nel corso dei lavori.

Per quanto riguarda la coltivazione dei filoni ardesiaci, si adotterà la metodologia tradizionale a camere e pilastri naturali con avanzamento in sotterraneo procedendo dall'agro (tetto) alla soglia (letto), mediante segagione con macchina a catena.

Questo metodo di coltivazione viene denominato "a camere e pilastri", e si intende il processo di estrazione che consiste nell'asportare il materiale lapideo dal sottosuolo secondo uno schema che lascia in posto un sistema di vuoti (camere) separati tra loro od alternati a porzioni di roccia lasciata in posto (pilastri).

Così come rappresentato nell'allegate Tavole 6 e 6.1, al fine di garantire in ogni momento la sicurezza del personale impegnato nell'attività di coltivazione in sotterraneo, si prescrive che vengano realizzate opportune chiodature (ortogonali alla direzione di scivolamento delle fratture) e disgaggi, nei punti indicati dalle tavole stesse. Durante le fasi di avanzamento si raccomanda vengano realizzati sempre opportuni disgaggi di eventuali porzioni disarticolate.

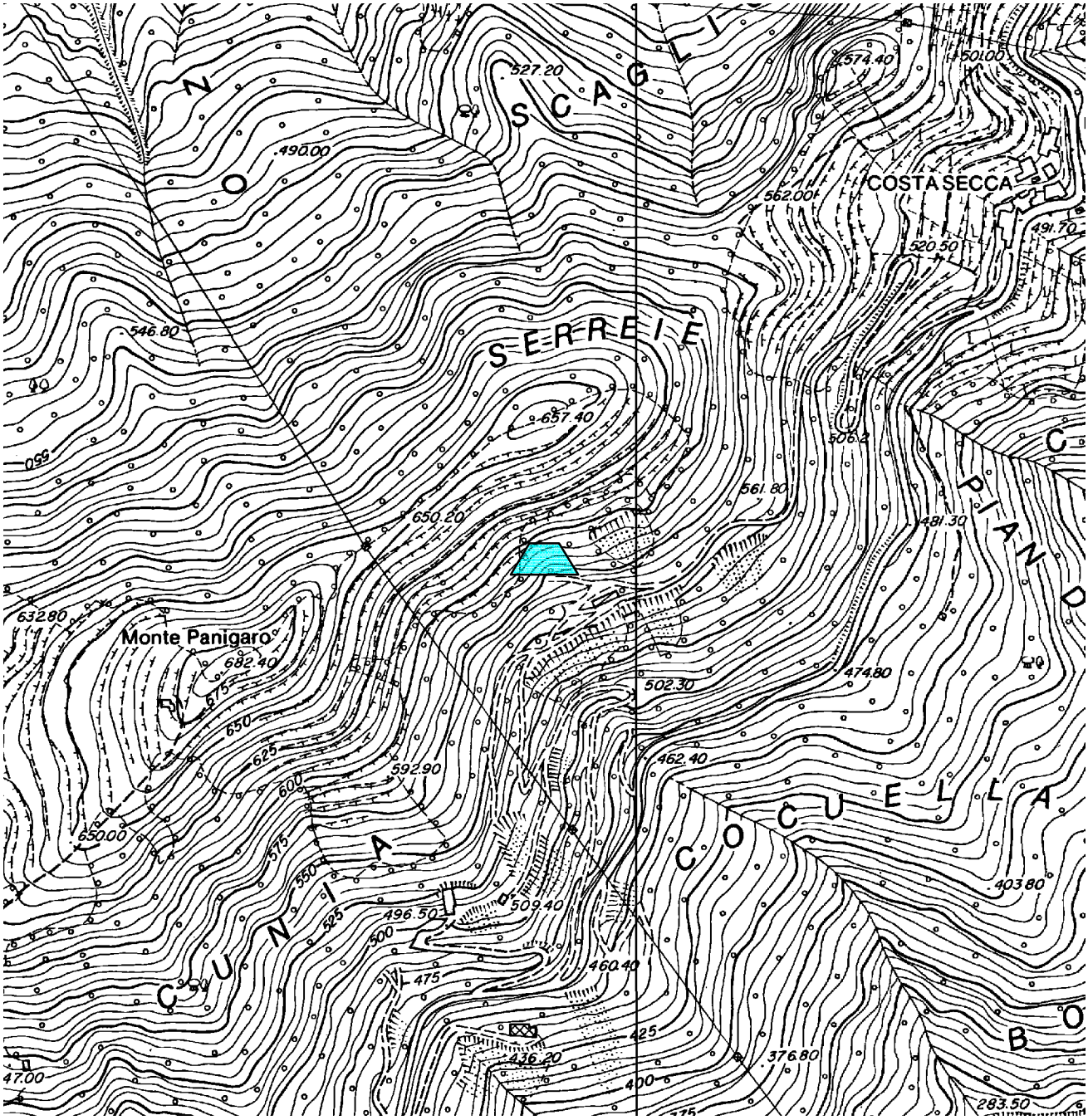
Il presente documento dovrà essere illustrato e spiegato a tutto il personale operante che dovrà prontamente segnalare alla *D.L.* e ai tecnici incaricati, nel proseguo delle operazioni di coltivazione, eventuali problematiche emerse sui fronti oggetto di studio.

Il geologo incaricato dovrà controllare periodicamente la situazione geostrutturale e geomeccanica dei cantieri in sotterraneo, adeguando se del caso il dimensionamento delle camere di futura coltivazione.

Si rimane a completa disposizione per chiarimenti e/o integrazioni alla presente relazione.

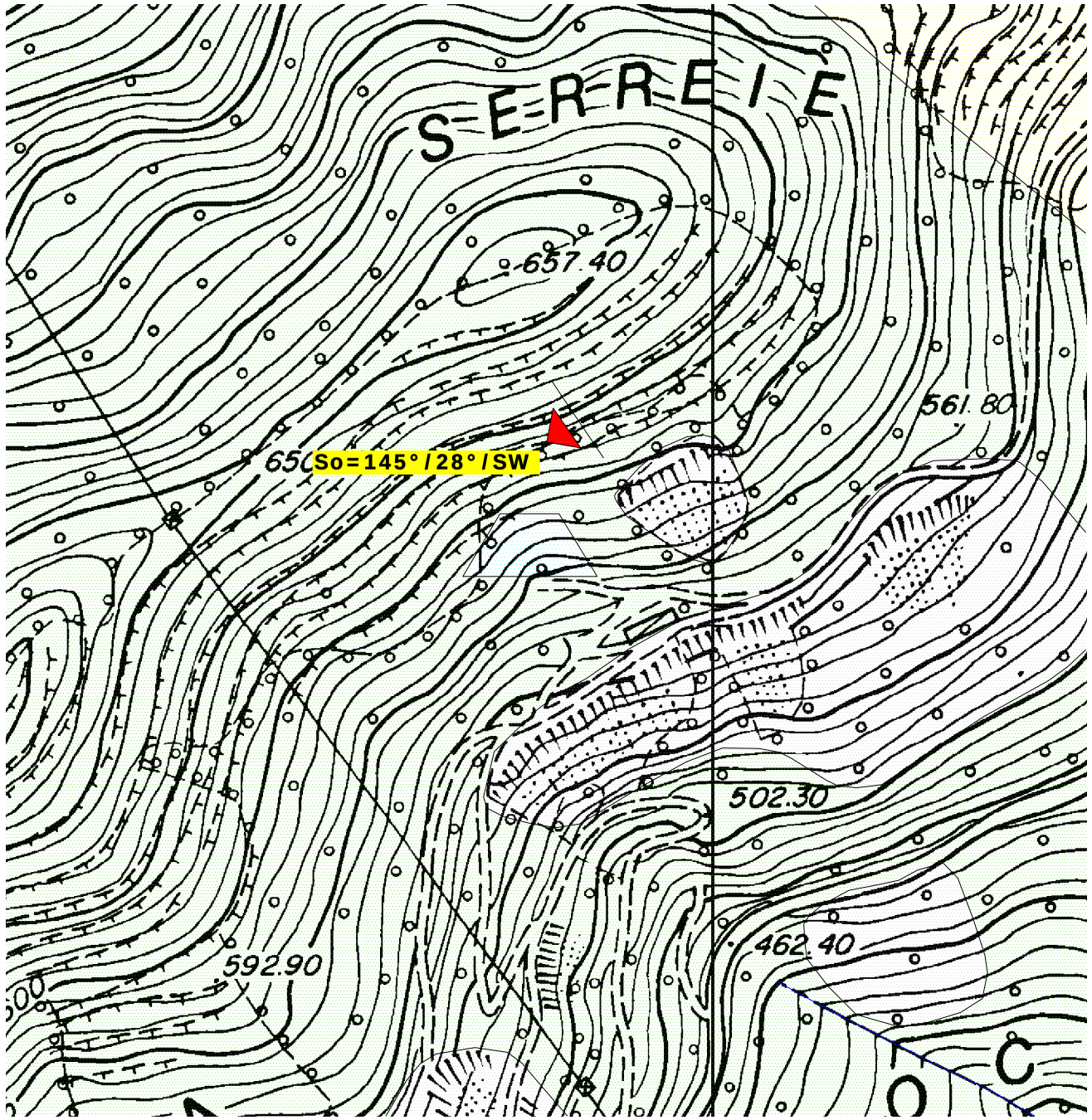
Cicagna, 22 agosto 2016 ***dott. geol. Andrea Ghilino***

TAV. 1: COROGRAFIA DELL'AREA SCALA 1:5.000



UBICAZIONE COMPLESSO ESTRATTIVO DENOMINATO "FILONE DURO" ELEMENTO N°214163 - ORERO

TAV. 2: STRALCIO DI CARTA GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICA SCALA 1:2.500



LEGENDA

UBICAZIONE COMPLESSO ESTRATTIVO DENOMINATO "FILONE DURO"

FORMAZIONE DELLE ARDESIE DI M.te VERZI AFFIORANTE E/O SUBAFFIORANTE CON COPERTURE DI SPESSORE SOTTILE (GENERALMENTE COMPRESO FRA 1 A 3M)

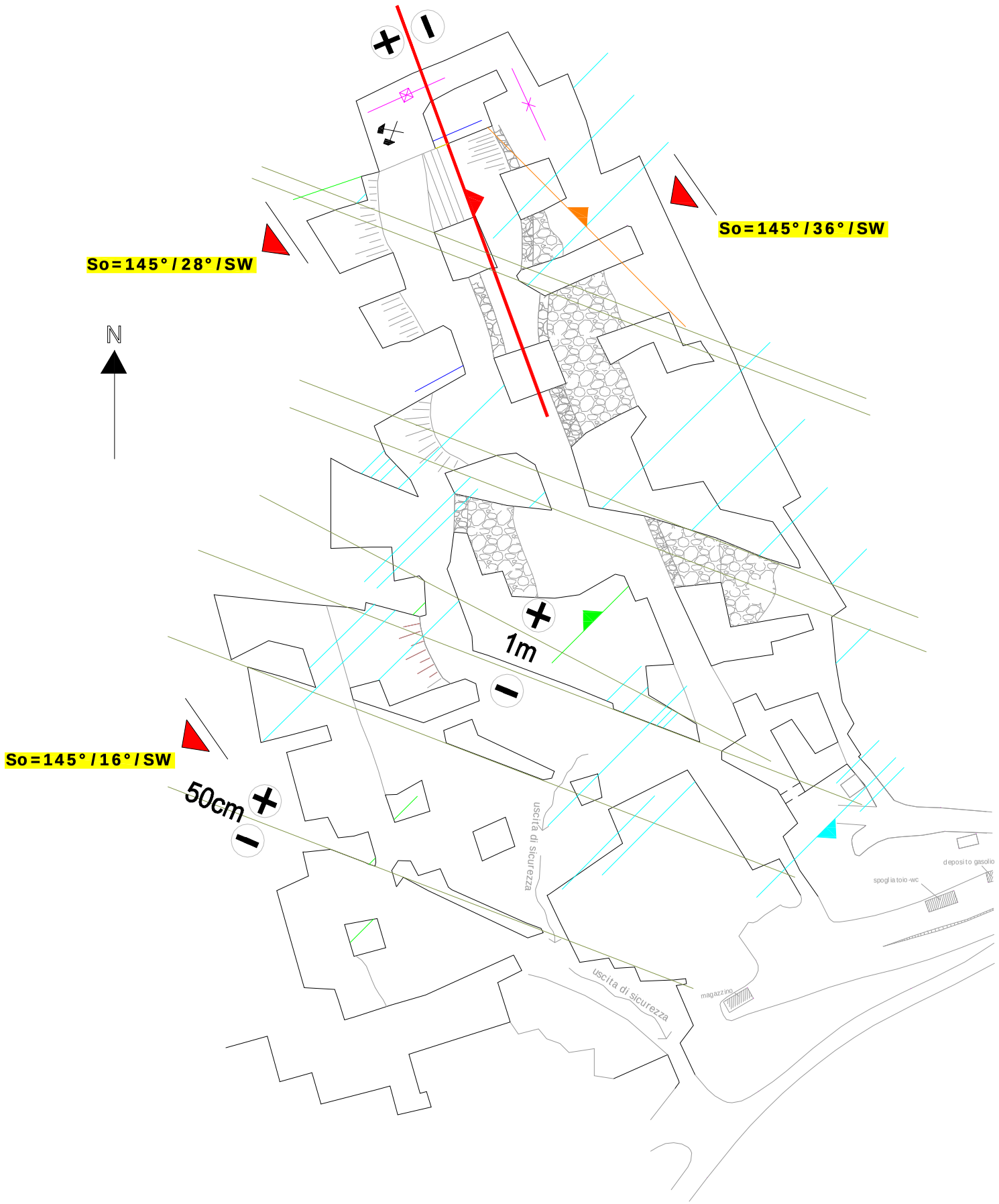
FORMAZIONE DEGLI SCISTI ZONATI AFFIORANTE E/O SUBAFFIORANTE CON COPERTURE DI SPESSORE SOTTILE (GENERALMENTE COMPRESO FRA 1 A 3M)

GIACITURA DI STRATO (So)

DETRITI ARDESIACI

PRINCIPALI VIE DI DEFLUSSO IDRICO SUPERFICIALE

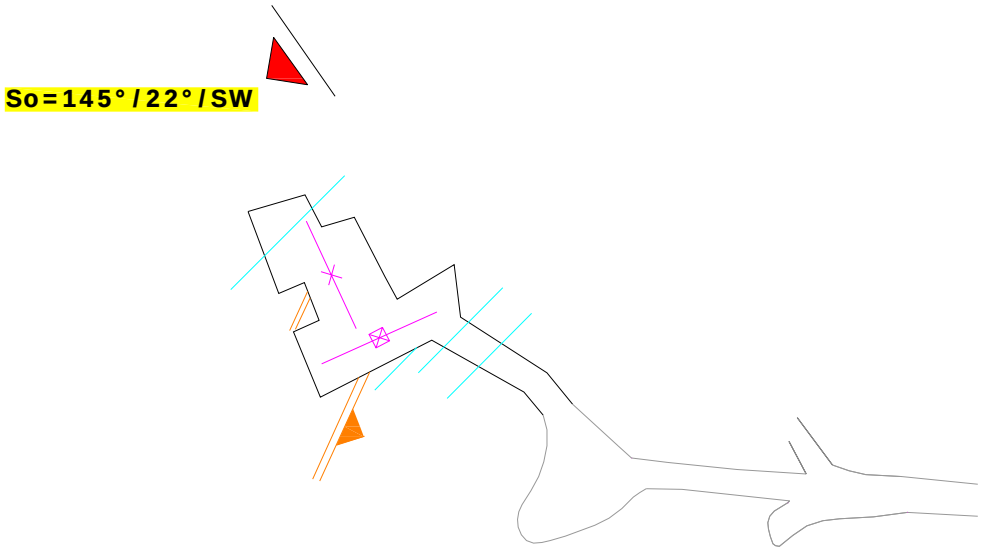
TAVOLA 3: RILIEVO GEOLOGICO-STRUTTURALE CAVA "SCAGGIA" - FILONE "PESCA" SCALA 1:1.000



LEGENDA

- GIACITURE DI STRATO (So)
- SUPERFICIE DI CLIVAGGIO S1 IN GERGO DENOMINATA "scaggia" INCLINAZIONE DI CIRCA 6°, 7°
- LINEAZIONE SECONDARIA S2 IN GERGO DENOMINATA " so' " (direzione di circa 155°)
- INNALZAMENTO FILONE
- ABBASSAMENTO FILONE
- TRIANGOLO IL CUI VERTICE INDICA LA DIREZIONE DI IMMERSIONE DI FAGLIE E FRATTURE
- FAMIGLIA DI FRATTURE F1 (45°/65°-80°/SE)
- FAMIGLIA DI FRATTURE F2 (45°/65°/NW)
- FAMIGLIA DI FRATTURE F3 (65°/90°)
- FAMIGLIA DI FRATTURE F4 (111°/90° "rissun")
- FAGLIA F5 (160°/45°/NE "rotta" avente rigetto di circa 1m)
- FAMIGLIA DI FRATTURE F6 (45°/30°/E "bianca")

TAVOLA 3.1: RILIEVO GEOLOGICO-STRUTTURALE FILONE "DURO" SCALA 1:1.000



LEGENDA

GIACITURA DI STRATO (So)

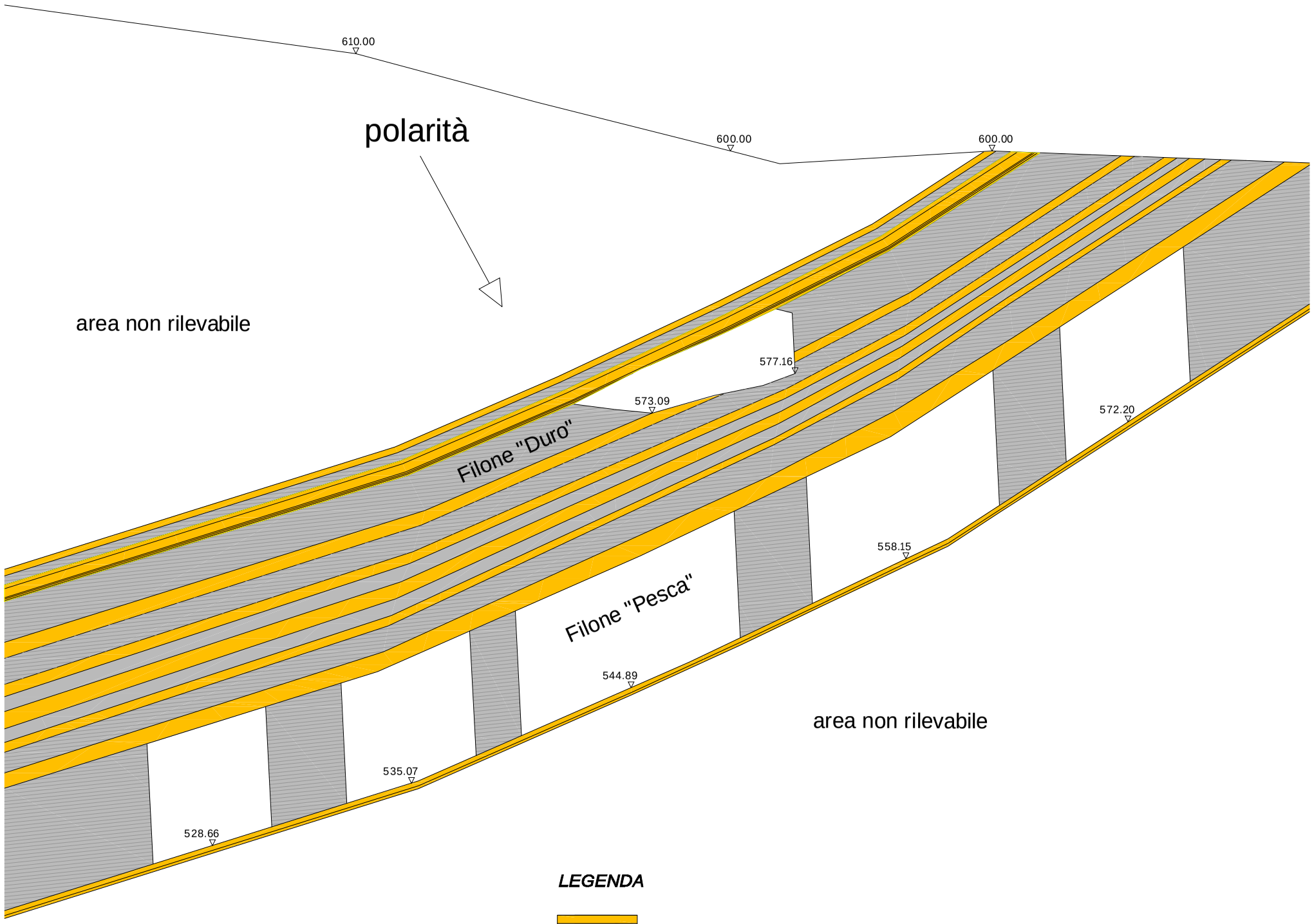
SUPERFICIE DI CLIVAGGIO S1 IN GERGO DENOMINATA "scaggia"
INCLINAZIONE DI CIRCA 6°, 7°

LINEAZIONE SECONDARIA S2 IN GERGO DENOMINATA " so' "
(direzione di circa 155°)

FAMIGLIA DI FRATTURE F1 (45°/65°-80°/SE)

FAMIGLIA DI FRATTURE F6 (45°/30°/E "bianca")

TAVOLA 4: SEZIONE GEOLOGICA-STRATIGRAFICA 3-3 scala 1:500



LEGENDA

SEQUENZE DI ARENARIE-SCISTI MARNOSI E ARDESIACI-ARGILLITI GRIGIO SCURE

ARENARIA QUAZOSO-MICACEA COSTITUENTE IL TETTO (O "AGRO") E IL LETTO (O "SOGLIA") DEI FILONI ARDESIACI

ARDESIA CON SUPERFICIE DI CLIVAGGIO - SLATY CLEAVAGE - (O "SCAGGIA") AVENTE INCLINAZIONE DI CIRCA 6°-7°

TAVOLA 5: UBICAZIONE DI MASSIMA DEI PILASTRI DA LASCIARE A SOSTEGNO DEL TETTO SCALA 1:1.000



LEGENDA

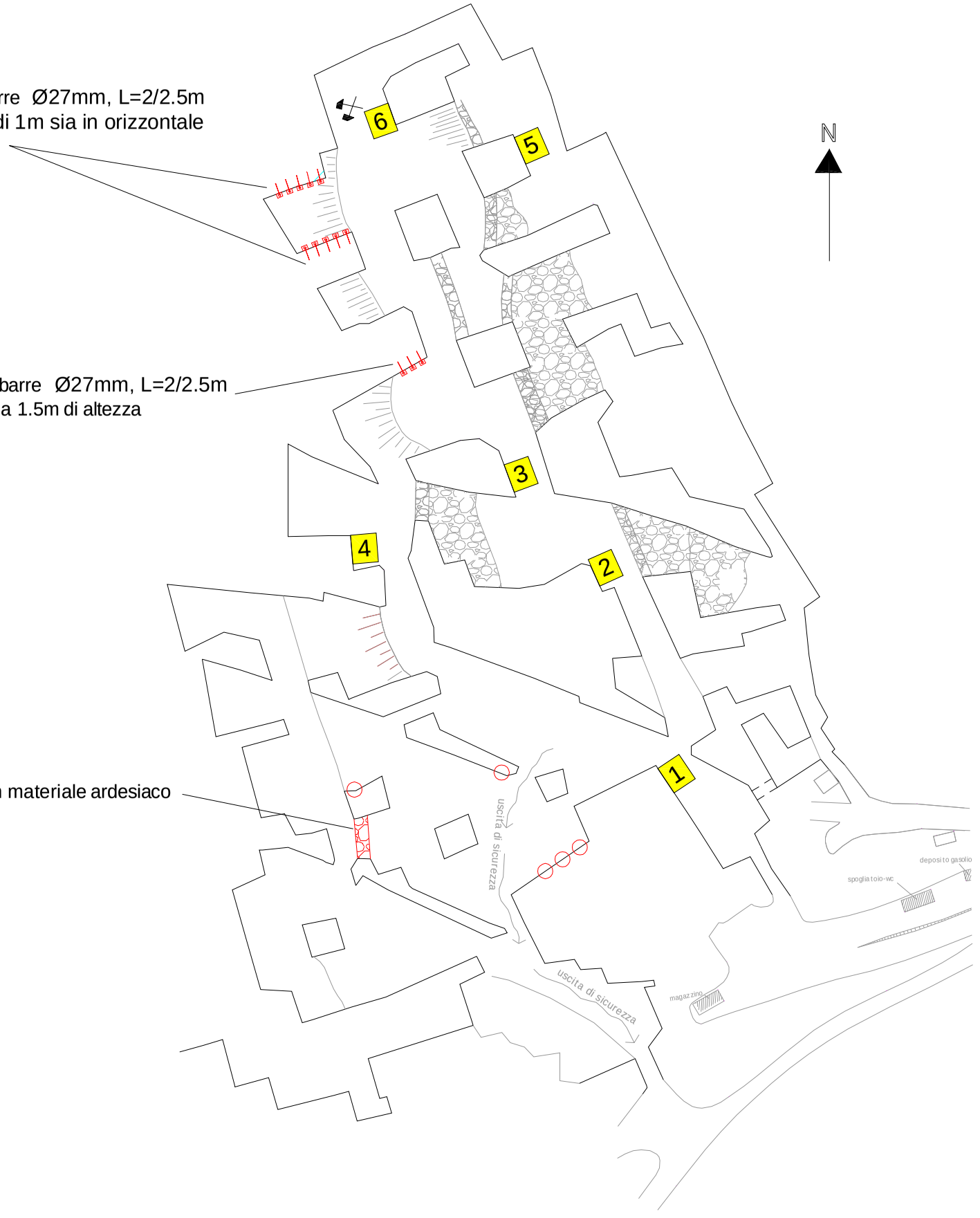
- Filone "Duro"
- Ubicazione indicativa dei pilastri (Filone "Duro")
- Ubicazione indicativa dei pilastri (Filone "Pesca")
- Fascia di rispetto minima dal confine autorizzato

TAVOLA 6: UBICAZIONE PUNTI DI MONITORAGGIO E INTERVENTI FILONE "PESCA" SCALA 1:1.000

Realizzazione di chiodature con barre Ø27mm, L=2/2.5m disposte su 3 file con interasse di 1m sia in orizzontale che in verticale

Realizzazione di n°3 chiodature con barre Ø27mm, L=2/2.5m con interasse di 1m su una fila a circa 1.5m di altezza

Area da sottoporre a riempimento con materiale ardesiaco

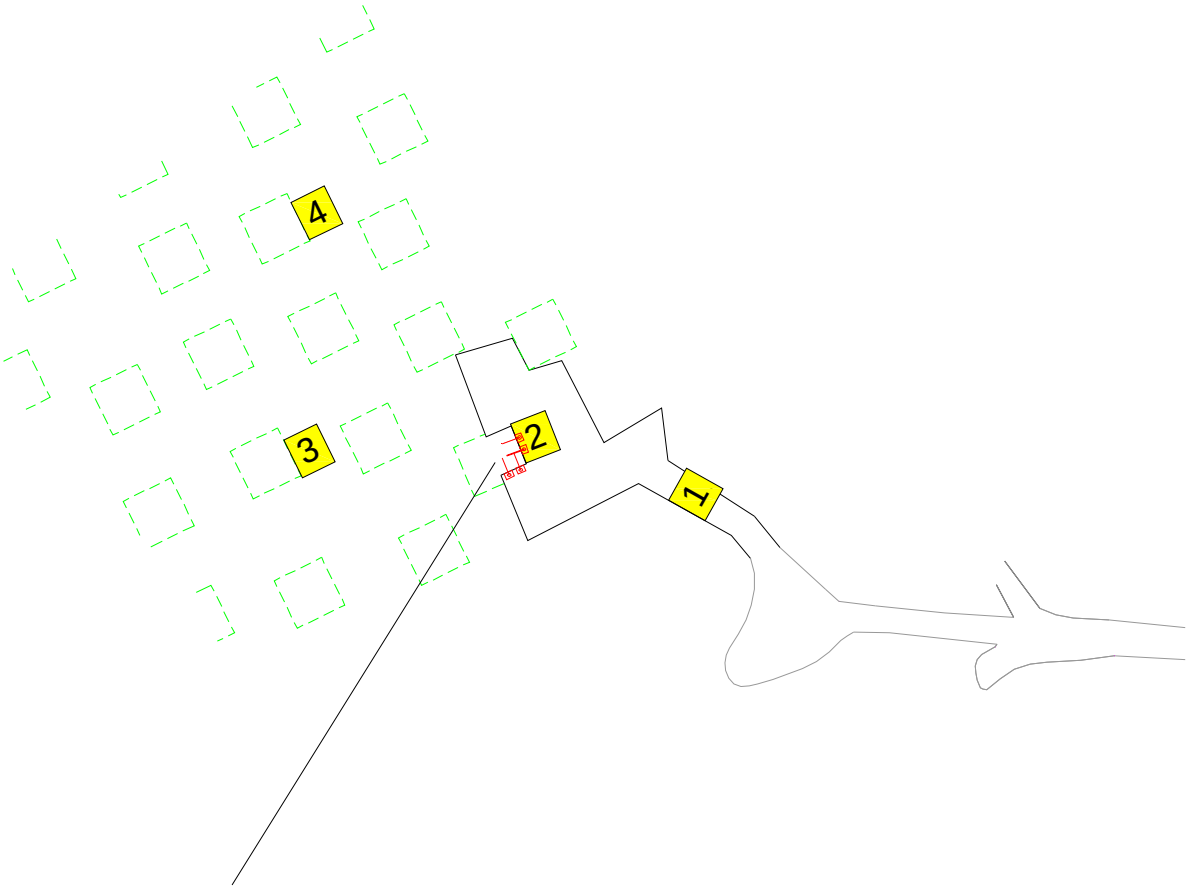


LEGENDA

○ Aree da sottoporre a disgaggio

1 Ubicazione fessurimetri

TAVOLA 6.1: UBICAZIONE PUNTI DI MONITORAGGIO
E INTERVENTI FILONE "DURO" SCALA 1:1.000



Realizzazione di n°4/5 chiodature con barre Ø27mm, L=2/2.5m
con interasse di 1m

LEGENDA

1 Ubicazione fessurimetri