Regione LIGURIA	Provincia di IMPERIA	Comune di PORNASSIO

VERIFICA DI ASSOGETTABILITA' A VIA PER LA RIATTIVAZIONE DEL COMPLESSO ESTRATTIVO DENOMINATO "RIVARINI"

REGIONE LIGURIA	PROVINCIA DI IMPERIA	COMUNE DI PORNASSIO	LOCALITA' RIVARINI

OGGETTO DELL'ELABORATO

ALLEGATO 1: RELAZIONE GEOLOGICA

versione	data	Oggetto
I	26/03/2026	*Relazione geologica*

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA Tecnica e Ambientale

Dott. Geol. Andrea ROBBIANO

Dott. Geol. Giacomo CANEPA

TIMBRO – FIRMA

Firmato digitalmente da

GIACOMO CANEPA

CN = GIACOMO CANEPA
O = Ordine Regionale Geologi Liguria
C = IT

Sommario

1. **INQUADRAMENTO GEOGRAFICO** 3
2. **NOTIZIE STORICHE** 3
3. **RIFERIMENTI NORMATIVI** 4
4. **VINCOLI** 5
5. **ELEMENTI GEOLOGICI E TETTONICI** 6
6. **ASPETTI PETROGRAFICI DI INTERESSE COMMERCIALE** 8
7. **CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE** 8
8. **ASPETTI IDROGEOLOGICI** 9
9. **CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA CALCARI DELLA VAL TANARELLO** 9
9.1 RILIEVO GEOMECCANICO 10
9.2 PARAMETRI GEOMECCANICI DELL'AMMASSO ROCCIOSO 13
10. **CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA FORMAZIONE DI CAPRAUNA** 14
11. **CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA RIPORTI** 15
12. **ANALISI DI STABILITÀ** 15
12.1 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI 15
12.2 PARAMETRI DI PERICOLOSITA' SISMICA 16
12.3 VERIFICHE ANALITICHE 17
13. **INDICAZIONI OPERATIVE** 19

ALLEGATO 1 – Figure e Tabelle

- FIGURA 1 – corografia dell'area in oggetto
- FIGURA 2 – estratto mappa catastale
- FIGURA 3 – scheda P.T.R.A.C. della cava Rivarini nel Comune di Pornassio
- FIGURA 4 – Piano Assetto Idrogeologico - Bacini Padani Provincia di Imperia e Savona
- FIGURA 5 – I.F.F.I.
- FIGURA 6 – carta geologica di inquadramento
- FIGURA 7 – carta geologico-tecnica di dettaglio
- FIGURA 7bis – stazioni geomeccaniche G1-G2-G3 (Calcari della Val Tanarello)
- FIGURA 8 – sezione geologica di dettaglio
- FIGURA 9 – classificazione R.M.R. di Bieniawski
- FIGURA 10 – classificazione G.S.I. di Marinos & Hoek
- FIGURA 11 – inviluppo a rottura ammasso roccioso
- FIGURA 12 – inviluppo a rottura discontinuità
- FIGURA 13 – analisi di stabilità condizioni dinamiche - attuale, scavo finale, ricomposizione finale
- TABELLA 1 – parametri geotecnici caratteristici e di progetto Calcari della Val Tanarello
- TABELLA 2 – parametri geotecnici caratteristici e di progetto Formazione di Caprauna
- TABELLA 3 – parametri geotecnici caratteristici e di progetto Riporti
- TABELLA 4 – parametri di pericolosità sismica

ALLEGATO 2 – Verifiche di stabilità

- Stato di fatto
- Profilo di scavo
- Profilo di ricomposizione ambientale

1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il sito estrattivo denominato "*Rivarini*" si colloca nel settore settentrionale del territorio comunale di Pornassio (Imperia), in prossimità del crinale spartiacque tra la Liguria a sud e il Piemonte a nord, che in questo tratto è costituito dall'allineamento tra la Rocca Ferraira e la Rocca Slanciata (***Fig. 1***).
Il versante esposto a settentrione, strapiombante e caratterizzato da estese bancate rocciose, domina l'abitato di Ponte di Nava, mentre quello meridionale, anch'esso in parte roccioso e decisamente meno ripido, è delimitato sul fondovalle dal Rio Boschetti e dalla S.S. n. 28 del Colle di Nava.
Più in particolare, la zona di interesse è situata in frazione Nava, sul versante orografico destro della valle del suddetto Rio Boschetti, affluente in sponda destra del F. Tanaro, ad una quota compresa tra 1050 m e 1160 m circa s.l.m.
L'area di cava è raggiungibile mediante una strada sterrata comunale che si dirama dalla S.S. 28 del Colle di Nava e ha una lunghezza di circa 1900 m.
Nel catasto regionale l'areale di cava è compreso nel foglio 1 mappale 33 (classificato come cava) del N.C.T. del Comune di Pornassio e lambisce il mappale 39 classificato come incolto (***Fig. 2***).

2. NOTIZIE STORICHE

Nell'ambito di interesse le moderne attività estrattive di materiale lapideo sono state avviate fin dagli inizi del '900 con la coltivazione del sito denominato "*Ciapin"*, ubicato nella porzione basale del versante sud-occidentale che degrada dalla Rocca Ferraira.
Tale materiale, estratto in maniera discontinua fino agli anni '60, era utilizzato prevalentemente come inerte e pietrame per muretti e solo parzialmente ad uso ornamentale.
Dai primi anni '60 la coltivazione si è sviluppata nell'attuale sito estrattivo "*Rivarini*", posto sullo stesso versante ma a quote più elevate, e ha riguardato l'estrazione di "marmo rosa".
Le tecniche estrattive adottate contemplavano l'uso del filo elicoidale e di piccole mine caricate con esplosivo di prima categoria. La coltivazione era condotta a cielo aperto e l'abbattimento avveniva dall'alto in basso mediante successivi tagli con filo elicoidale. I banchi di "marmo" erano tagliati alla base, seguendo il piano di stratificazione inclinato di 20-25° per facilitare lo scorrimento dei blocchi sul piazzale di cava.
I lavori si svolgevano nel settore nord-occidentale del fronte di cava; esaurita la coltivazione in quel settore, la lavorazione si era spostata gradatamente verso il settore sud-orientale del fronte.
La cava era servita da una via di lizza lunga circa 500 m con inclinazione sull'orizzontale di 40° circa; in prossimità del piazzale di cava esisteva una rudimentale teleferica di collegamento a valle con la S.S. n. 28.
A seguito di una serie di autorizzazioni regionali, di cui quella più recente è la D.G.R. 06.08.2004 n. 880, le attività di coltivazione sono proseguite fino al 2013, quando il titolare della ditta Gola Francesco è deceduto.

Nell'ottobre 2014 il Comune di Pornassio ha presentato un progetto di rinnovo dell'autorizzazione con subentro della titolarità; tale progetto prevedeva sostanzialmente il prosieguo dell'attività estrattiva mantenendo inalterate le previsioni del piano autorizzato nel 2004; tuttavia, con nota del maggio 2015 Regione Liguria aveva richiesto una sostanziale revisione del progetto che non è mai stata elaborata.
Al momento la cava, che risultava dismessa da diversi anni, è di proprietà della ditta Boero Lino e Ivano s.r.l. e risulta articolata in un piazzale principale e due gradoni intermedi, corrispondenti grossomodo al termine della fase precedente di coltivazione.

3. RIFERIMENTI NORMATIVI

Le presenti indagini geologiche sono state condotte in conformità a quanto previsto dalle normative vigenti in materia a livello sia nazionale sia regionale e in particolare:

<u>Attività di cava</u>

- Regio Decreto 29 luglio 1927, n.1443: *Norme di carattere legislativo per disciplinare la ricerca e la coltivazione delle miniere [nel Regno]. Il presente decreto è aggiornato e coordinato al D. Lgs. 4 agosto1999, n. 213*
- Legge 30 luglio 1990, n. 221: *Nuove norme per l'attuazione della politica mineraria*
- Legge Regionale 5 aprile 2012, n. 12: *Testo unico sulla disciplina dell'attività estrattiva*
- Deliberazione del Consiglio Regionale 26 maggio 2020, n. 7 – *Approvazione del Piano Territoriale Regionale delle Attività di Cava.*
  In particolare, nel P.T.R.A.C. la cava in oggetto è così censita (***Fig. 3***):
  - cava: Rivarini
  - sigla: 03.IM 01 (ex-scheda P.T.R.A.C. 2000 n. 9 IM)
  - Ambito di Piano Cave: 3 Albenga-Finale
  - Comune: Pornassio
  - Regime normativo: tipo B
  - Sistema di coltivazione: a cielo aperto
  - Materiale estratto: marmo colorato per rivestimenti interni ed esterni
- Linee guida per la progettazione, gestione e risanamento ambientale delle attività estrattive a cielo aperto e in sotterraneo e opere connesse. *Testo coordinato D.G.R. 141/2008, 141/2010 e 672/2019*

<u>Norme tecniche sulle costruzioni</u>

- D.M. Infrastrutture e Trasporti 17.01.2018 "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni"
- Circolare esplicativa n. 7 del 21.01.2019.

Norme di pianificazione territoriale

Pianificazione regionale

- Piano Assetto Idrogeologico (P.A.I.) Fiume Po - Disciplina di tutela per i bacini padani ricadenti in Provincia di Savona e Imperia, per aree a pericolosità idraulica e geomorfologica da frana (Delibera di Giunta Regionale n. 428 del 21 maggio 2021). In tale cartografia sono presenti due frane che non determinano interferenze con il sito di cava, rispettivamente classificate con codice 008046005 (Frana stabilizzata complessa, a sud rispetto alla cava) e codice 008046004 (Frana quiescente complessa, a nord rispetto alla cava) – ***Fig. 4***
- Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani Piano Assetto Idrogeologico (P.A.I.) Fiume Po: anche in questa cartografia sono presenti due frane che non determinano interferenze con il sito di cava, Frana stabilizzata complessa a sud rispetto alla cava e Frana quiescente complessa, a nord rispetto alla cava (***Fig. 5***)
- Per quanto concerne il P.T.C.P. – Assetto Insediativo, il sito è classificato ANI.MA (aree non insediate in regime di mantenimento)

Pianificazione comunale

- Nel P.R.G. del Comune di Pornassio il sito di cava è classificato come APN - Zone agricole di protezione naturale, disciplinate dall' art. 14 delle N.T.A.

La progettazione segue le linee di indirizzo e coordinamento relative alla qualità paesaggistica nelle trasformazioni del territorio collegata alla coltivazione dei materiali lapidei nei siti di cava.

4. VINCOLI

Vincolo idrogeologico ai sensi del R.D. 3267/1923 e L.R. 4/1999

Vincolo fasce di inedificabilità e di rispetto dei corsi d'acqua

Dal punto di vista del reticolo idrografico si evince che non sono presenti corsi d'acqua nella fascia di inedificabilità assoluta, tenuto conto che quelli individuati distano più di 40 m dal limite dell'area di collegamento del sito estrattivo. Si nota che la strada di accesso interseca più corsi d'acqua individuati nel reticolo idrografico; visto che tra questi corsi d'acqua nessuno è demaniale in linea di massima non dovrebbero essere soggetti a concessione idraulica, mentre in fase di richiesta di nuova autorizzazione potrebbe essere necessario verificare ed eventualmente adeguare le opere idrauliche di attraversamento.

Vincolo carsico

L'area ricade in zona carsica ai sensi del L.R. 14/1990.

L'area carsica denominata "Monte dei Cancelli – Rocca Ferraia" scheda n. 11 sigla IM 11 si estende per una superficie di 650 ettari lungo il versante destro del F. Tanaro. Le cavità censite nella zona del Colle di Nava risultano tre:

CAVITA'	N° CATASTO SPELEOLOGICO LIGURE	SVILUPPO (metri)	PROFONDITA' (metri)
1. Grotta del Serpente	2	7	5
2. Grotta del Rio di Nava	911	75	2
3. Riparo sopra la Cava di Nava	1105	5	0

La Grotta del Serpente e la Grotta del Rio di Nava sono collocate sul versante della vallata opposto a quello di interesse estrattivo, mentre il Riparo sopra la Cava di Nava ha uno sviluppo limitatissimo, ai limiti per l'inserimento nel catasto speleologico.

Vincoli paesaggistici

Bellezze di insieme 2 ai sensi della D. Lgs. 22.01.2004 n. 42

070294 – Alture della Valle Arroscia, sfondo all'arco costiero caratterizzato da percorsi collinari con architettura tipica

Vincoli archeologici

Nel P.T.R.A.C. 2020 si evidenzia la necessità di un'attenta analisi archeologica conoscitiva di superficie, vista la presenza di siti archeologici di grande interesse in aree limitrofe.

Vincoli ambientali

Nel S.I.T. di Regione Liguria l'area di cava risulta parzialmente compresa in zona di corridoio ecologico; zone SIC e ZPS sono individuate sul versante opposto alla cava.

5. ELEMENTI GEOLOGICI E TETTONICI

Dal punto di vista geologico il sito estrattivo denominato cava Rivarini si colloca nell'ambito della tipica sequenza sedimentaria brianzonese delle Alpi Liguri.

Le Formazioni affioranti nel ristretto ambito dell'area di cava sono rappresentate dai Calcari di Val Tanarello (Giurassico superiore), di interesse estrattivo, e dalla soprastante Formazione di Caprauna (Cretaceo superiore – Eocene medio), sterile, entrambi appartenenti all'Unità tettonica di Ormea, facente parte dell'Elemento Upega-Nava, che si trova nella parte più esterna e profonda delle falde

brianzonesi; si tratta di una struttura geologica molto complessa, deformata da inarcamento regionale e compressione tangenziale (***Fig. 6***).
I Calcari della Val Tanarello sono costituiti da calcari micritici di colore da bianco a rosato con tasche e orizzonti arenaceo-conglomeratici nella posizione basale, mentre alla sommità, talora, si osservano marmi rosati e mandorlati ("Marbres de Guillestre"). Si tratta di una Formazione con abbondante contenuto fossilifero macroscopico: si osservano resti di crinoidi e, nel bancone sommitale, anche brachiopodi, echinoidi, ammoniti e belemniti. Sulla superficie sommitale di questa Formazione, caratterizzata da evidenti fenomeni carsici, è possibile osservare localmente un hard ground datato al Cenomaniano, costituito da spalmature di colore scuro di spessore centimetrico.
In questo settore l'assetto giaciturale dei Calcari della Val Tanarello risulta monoclinale con immersione verso i quadranti meridionali e inclinazione 25-30°, potenza valutabile tra 50 m e 100 m. Sono stati individuati due sistemi di fratturazione principali che, unitamente alla superficie di stratificazione, risultano determinanti nell'isolare molti dei blocchi visibili lungo il fronte:

- sistema K1 con immersione O-NO e inclinazione subverticale; tali fratture mostrano un andamento irregolare e si presentano persistenti e beanti, talora ricementate per il deposito di carbonato di calcio;
- sistema K2 con immersione SO e inclinazione subverticale; queste fratture si presentano meno regolari rispetto a quelle del sistema K1, con discreta dispersione dei poli.

Al di fuori delle suddette famiglie principali sono presenti ulteriori discontinuità con giacitura variabile che caratterizzano le porzioni corticali dall'ammasso roccioso maggiormente fratturato.
La Formazione di Caprauna è costituita da calcari più o meno arenacei a nummuliti, scisti calcarei e calcareo-arenacei, ora con nummuliti, ora con globotruncane, scisti filladici e rari livelli argillosi rossastri nella parte inferiore. In affioramento queste rocce appaiono intensamente deformate: si può osservare un clivaggio di crenulazione associato a pieghe decimetriche N-vergenti, che a loro volta deformano una precedente foliazione tettonica sulla quale è stata trasposta completamente la stratificazione. La Formazione di Caprauna è distinta in quattro porzioni, di cui gli scisti calcarei (Eocene inferiore) costituiscono il membro basale; la porzione intermedia è poi formata da calcari nummulitici (Eocene medio); la parte medio-alta da scisti calcarei (Eocene medio-superiore); la parte sommitale da flysch nerastri, di età presunta Priaboniana, che costituiscono il tetto della sequenza brianzonese.
Lungo le pendici occidentali della Rocca Ferraira, a margine dell'area di cava, il basamento roccioso è rappresentato nella parte basale dell'intera sequenza stratigrafica dalle Dolomie di San Pietro dei Monti (dolomie massicce ben stratificate di colore grigio scuro) e dai sovrastanti Calcari del Rio di Nava (calcari marnosi e alternanze di strati da francamente calcarei a calcareo-marnosi di colore più scuro).
Per quanto riguarda gli aspetti tettonici di carattere fragile l'intero settore è caratterizzato da sistemi di faglia e macrodiscontinuità che tendono a disarticolare l'ammasso roccioso in elementi lapidei di

notevole volumetria e influenzano l'assetto del reticolo idrografico e dei crinali spartiacque. In particolare, il sito di coltivazione risulta delimitato da due lineazioni tettoniche parallele, orientate NE-SO, di cui quella più settentrionale costituisce il crinale che maschera la visibilità dell'area estrattiva dal fondovalle di Ponte di Nava.
Per quanto attiene agli aspetti tettonici a carattere duttile si rileva che la zona di interesse estrattivo è contraddistinta da una piega sinclinale antiforme, interpretabile come una piega parassita a scala chilometrica di fianco diritto di una più grande struttura sud-vergente. Il diverso comportamento reologico dei litotipi appartenenti alla Formazione di Caprauna rispetto ai Calcari della Val Tanarello ha determinato, a seguito delle varie fasi deformative succedutesi, la laminazione tettonica degli scisti filladici i cui spessori sono dell'ordine di pochi metri (***Fig. 7***).

6. ASPETTI PETROGRAFICI DI INTERESSE COMMERCIALE

Le caratteristiche dei "Calcari di Val Tanarello" detto commercialmente "Marmo rosa di Nava" sono tali da renderlo un materiale lapideo ornamentale piuttosto apprezzato. Infatti, storicamente, il "Marmo rosa" estratto in Val Tanarello è stato impiegato in zona per muri e pavimentazioni in pietra, rivestimenti interni ed esterni, caminetti, pilastri, archi, arredo giardini, tavoli, ecc... Le applicazioni più significative in termini architettonici sono rappresentate dalla pavimentazione dei portici di Pieve di Teco e dal piazzale antistante la Parrocchia di Mendatica.
Nei Calcari della Val Tanarello il colore rosa è dovuto a una specifica composizione chimica e a un processo di mineralizzazione di frattura. Quando la roccia, composta prevalentemente da carbonato doppio di calcio e magnesio (dolomite), risale per motivi tettonici in zone più superficiali, acque relativamente calde penetrano nelle fratture, causando un processo di soluzione e rideposizione che porta alla formazione di mineralizzazioni di frattura, come svariati ossidi e solfuri di ferro, che conferiscono il colore rosa alle rocce coinvolte.
Nell'ambito del sito di cava la colorazione rosata dei Calcari è più evidente nella porzione meridionale, mentre nella zona settentrionale prevalgono le rocce di colore grigio.

7. CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Dal punto di vista geomorfologico in questo settore il territorio è contraddistinto in larga parte da roccia affiorante o subaffiorante con coperture sciolte di spessore modesto, la cui origine è connessa all'azione della gravità e delle acque correnti.
L'assetto morfologico del versante risulta piuttosto acclive, dell'ordine mediamente di 40°-50°, ed è strettamente connesso alla storia tettonica della zona, responsabile della formazione di pareti rocciose caratterizzate da un notevole quadro fessurativo che determina diffusi fenomeni di disarticolazione e fratturazione dell'ammasso lapideo.

In corrispondenza dell'area di cava la pregressa attività estrattiva ha comportato la creazione di fronti rocciosi artificiali di altezza da plurimetrica a pluridecametrica, di due gradoni principali sovrapposti e di piccole porzioni di gradone nel settore sommitale parzialmente rivegetati.
Le successive valutazioni analitiche relative alle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso in parete consentiranno di esprimere considerazioni in merito alle condizioni di stabilità dei comparti oggetto di coltivazione e di sistemazione ambientale finale.

8. ASPETTI IDROGEOLOGICI

Dal punto di vista idrogeologico le porzioni di territorio dove affiorano i Calcari della Val Tanarello mostrano una permeabilità elevata per fratturazione e carsismo, mentre la Formazione di Caprauna è caratterizzata da bassa permeabilità e tali rocce possono costituire un livello semi-impermeabile per le acque sotterranee.
La circolazione delle acque in profondità è decisamente influenzata dall'assetto giaciturale della stratificazione delle rocce di substrato, che immergono generalmente verso sud-est.
Nell'area interessata dalla cava e nei settori limitrofi non sono state rilevate o cartografate sorgenti di rilevanza significativa.
Nella zona perimetrata dal P.T.A.R.C. e interessata dall'attività estrattiva sono rilevabili esclusivamente modeste tracce di carsismo superficiale con fenomeni di corrosione e dissoluzione (docce e solchi di dissoluzione, vaschette di corrosione, ecc.), mentre non sono rilevabili apprezzabili fenomeni carsici sotterranei.
In ogni modo, nel caso si riscontrasse durante le fasi di coltivazione una cavità carsica attualmente non rilevabile, sarà obbligatoriamente necessario interrompere l'escavazione in corrispondenza del punto di affioramento e segnalarne la presenza ai sensi della L.R. 14/90.

9. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA CALCARI DELLA VAL TANARELLO

La fase successiva di studio è stata organizzata in un accurato rilevamento dei fronti rocciosi a ridosso delle zone di coltivazione (***Fig. 7bis***):

- Stazione geomeccanica 1– Piazzale superiore;
- Stazione geomeccanica 2 – Piazzale superiore;
- Stazione geomeccanica 3 – Piazzale inferiore.

Il rilievo geomeccanico è finalizzato a derivare i principali parametri geologico-strutturali e geomeccanici necessari per definire sia il comportamento meccanico e deformativo dell'ammasso sia per stabilire le ottimali metodologie di coltivazione. Tali approfondimenti sono consistiti nel rilevamento sistematico di orientazione, spaziatura, estensione, scabrezza, apertura, riempimento e condizioni idrauliche delle discontinuità. Sono di seguito riassunte tutte le risultanze ottenute.

9.1 RILIEVO GEOMECCANICO

Al fine di verificare le condizioni geomeccaniche dei fronti lapidei nella zona di coltivazione, è stato eseguito un rilevamento strutturale dell'ammasso roccioso; sono state inoltre censite le situazioni di rischio e di potenziale distacco di masse instabili e/o detrito per le successive analisi e considerazioni interventuali.

Al fine di definire le caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso è stato misurato sul terreno un campione significativo delle giaciture di tutti i piani di discontinuità individuati durante il rilievo dei fronti rocciosi più importanti.

Nell'ambito di specifiche stazioni geomeccaniche sono stati quindi identificati i principali piani di discontinuità che caratterizzano l'ammasso roccioso; in particolare, come accennato in precedenza, oltre alla superficie di stratificazione (St), si osservano almeno due principali set di discontinuità (K_1 ÷ K_2) oltre ad alcuni piani che presentano un'elevata dispersione dei poli che rende difficoltosa la stima della giacitura media.

Le elaborazioni successive, integrate con quanto osservato in fase di rilevamento, hanno permesso di definire l'orientazione dei principali sistemi di discontinuità e le relative condizioni caratteristiche, riassunte nelle seguenti tabelle:

Stazione geomeccanica 1

SISTEMA	*IMM/INCL*	*P*	*A*	*Rg*	*Rm*	*S*
Giunto St	N.R.					
Giunto K1	325/84	3-10	1-2	Legg.rugoso	Calcite	0.6-2.0
Giunto K2	264/83	1-3	0.1-1	Legg.rugoso	Calcite	0.6-2.0

Stazione geomeccanica 2

SISTEMA	*IMM/INCL*	*P*	*A*	*Rg*	*Rm*	*S*
Giunto St	182/32°	>20	0.1-1	liscio	assente	0.6 – 2.0
Giunto K1	317/82	1 - 3	<0.1	liscio	assente	0.2 - 0.6
Giunto K2	N.R.					

Stazione geomeccanica 3

SISTEMA	*IMM/INCL*	*P*	*A*	*Rg*	*Rm*	*S*
Giunto St	N.R.					
Giunto K1	334/88	3 - 10	1-2	legg.rugoso	duro < 5 mm	0.6 - 2.0
Giunto K2	250/84	1 - 3	0.1-1	liscio	assente	0.2 - 0.6

LEGENDA: P = persistenza/continuità [m]; A = apertura della discontinuità [mm]; R_g = rugosità del giunto; R_m = riempimento del giunto; S = spaziatura media del giunto [m].

Le famiglie K_1 e K_2 mostrano assetto subverticale con inclinazioni tra 80° e 90° e sono determinanti, insieme alla superficie di stratificazione, nell'isolare molti dei blocchi visibili lungo il fronte verticale. Al di fuori delle famiglie principali sono presenti discontinuità con giacitura variabile che caratterizzano le porzioni corticali dall'ammasso roccioso maggiormente fratturato.

Nella pratica corrente, per la quantificazione dei parametri geomeccanici della massa rocciosa è piuttosto comune l'utilizzo di indici di qualità, mediante i quali le proprietà della massa rocciosa sono definite da quelle della roccia intatta, tenendo conto del reticolo fessurativo e delle relative caratteristiche di resistenza.
Al fine di consentire l'attribuzione di un indice di qualità, l'ammasso roccioso è stato classificato attraverso i sistemi empirici normalmente impiegati nella pratica professionale: nel caso in esame sono stati adottati il metodo Rock Mass Rating (R.M.R.) di Bieniawski (1989) e il sistema Geological Strength Index (G.S.I.) nella formulazione proposta da Marinos & Hoek (2000). Gli elementi necessari ad applicare questi sistemi sono stati ricavati in maniera integrata, utilizzando le informazioni ottenute durante il rilievo in sito e il confronto con prove e analisi condotte in altri cantieri sullo stesso litotipo (Formazione dei Calcari della Val Tanarello) in ambito similare a quello in oggetto.

Classificazione RMR

La classificazione RMR (Rock Mass Rating) di Bieniawski (1989) si basa sul rilievo di sei parametri caratteristici, la cui somma permette di suddividere gli ammassi rocciosi in cinque classi di qualità. Poiché, a seguito delle osservazioni condotte, si evidenziano, per alcuni parametri della classificazione RMR, condizioni piuttosto disperse, si attribuisce a questi un doppio valore di punteggio valevole, rispettivamente, per le condizioni medie rappresentative e per quelle peggiori dell'ammasso (***Fig. 9***).

R1 - Resistenza alla compressione monoassiale: è stata determinata sulla base di prove in sito eseguite con lo sclerometro da roccia, confrontando i dati ottenuti con prove di laboratorio effettuate in contesti similari. Le analisi indicano valori di compressione monoassiale compresi mediamente tra 50 MPa e 70 MPa. Si attribuisce pertanto punteggio unico uguale a 7.

R2 – R.Q.D.: definisce il recupero percentuale di carotaggio riferito alla somma degli spezzoni di carota con lunghezza maggiore o uguale a 10 cm. Le osservazioni condotte in fase di rilevamento confermano i valori desunti da sondaggi eseguiti in ambito similare a quello in esame, Si ritengono accettabili quindi valori medi, per la Formazione in esame, oscillanti tra 40% e 70%, cui corrisponde un punteggio pari a 8 per le condizioni peggiori e 13 per le condizioni medie.

R3 - Spaziatura discontinuità: intesa come la distanza fra due discontinuità contigue appartenenti alla stessa famiglia. I singoli sistemi di discontinuità presentano spaziature medie comprese nelle classi 200 ÷ 600 mm e 60 ÷ 200 mm; nell'insieme l'ammasso roccioso si presenta fratturato con spaziatura media. Si attribuisce pertanto punteggio 8 per le condizioni peggiori e 10 per le condizioni medie.

R4 - Condizioni dei giunti: l'indicazione delle condizioni medie delle discontinuità individuate comprende valutazioni articolate, il cui punteggio complessivo è fornito dalla somma delle seguenti caratteristiche:
Persistenza: costituisce la lunghezza del giunto che interseca l'affioramento. Il parametro è stato valutato sulla base del rilevamento di superficie che ha consentito di definire una persistenza elevata (>20 m) per la superficie di stratificazione, da cui un punteggio unico di 0;
Apertura delle discontinuità: definita come la distanza esistente tra le pareti aperte di un giunto. Dal rilevamento condotto emerge la prevalenza di discontinuità con apertura tra 1-5 mm, seppure talvolta si osservino giunti molto aperti, in particolare nelle zone degradate e maggiormente fratturate, da cui un punteggio unico di 1;
Rugosità: esprime la scabrezza delle superfici del giunto. Sulla base dei valori di J.R.C. osservati in fase di rilievo e quelli dedotti dal confronto tra le carote di sondaggio con profili standard di Barton, si osservano in prevalenza giunti lisci o leggermente scabri con indice di rugosità compreso tra 4 e 6 e punteggio relativo tra 1 e 3;
Riempimento: il riempimento è generalmente rappresentato da vene di calcite, punteggio 4, o assente punteggio 6;
Alterazione: le superfici dei giunti sono generalmente poco o moderatamente alterate; condizioni di alterazione più marcata si osservano solo nelle parti corticali dell'ammasso esposte all'azione degli agenti esogeni, punteggio unico di 3;

R5 - Condizioni idrauliche: sono state rilevate generalmente condizioni asciutte dei giunti, solo umide in porzioni ristrette delle pareti soggette a circolazione d'acqua, si attribuisce pertanto punteggio tra 10 e 15.

Per ciò che concerne l'indice B_{RMR}, ossia senza assegnare il punteggio corrispondente all'orientazione dei giunti rispetto al pendio, sono stati attribuiti dove necessario, due valori riferiti, rispettivamente, alle condizioni limite superiore e al limite inferiore dell'ammasso roccioso osservate in affioramento secondo la seguente relazione:

$$B_{RMR} = (R1+R2+R3+R4+R5) = 42 – 56$$

Il valore dell'indice RMR, necessario per l'assegnazione della classe di qualità della roccia, deve essere condotto valutando in questa fase l'orientazione delle discontinuità in rapporto alla

disposizione del versante in funzione del valore assegnato al parametro R6 con riferimento all'orientazione del giunto di strato rispetto al versante; si ritiene valido un punteggio di -5 tralasciando valori eccessivamente penalizzanti:

$$RMR_{corretto}=B_{RMR}+R6 = B_{RMR}-5 = 37 - 51$$

Classificazione GSI

Un approccio più moderno per la determinazione della qualità della roccia è quello che prevede l'uso del G.S.I. secondo il concetto sviluppato da Hoek di combinare l'assetto strutturale dell'ammasso con le caratteristiche delle discontinuità che lo separano, in modo da ottenere un indice che permetta il suo utilizzo per una valutazione accurata della resistenza e della deformabilità di un ammasso roccioso e correlato al valore del RMR di Bieniawski (1989), introducendo un predeterminato punteggio relativo alle condizioni idrauliche (R5=15) e all'orientazione dei giunti (R6=0) secondo la relazione:

$$GSI = RMR('89)-5 = (R1+R2+R3+R4+15) -5 = 42 - 51$$

Tali valori appaiono coerenti con quanto riportato da Marinos & Hoek (2000) per ammassi calcarei similari alla Formazione in esame. In particolare, il litotipo esaminato è assimilabile alla porzione inferiore della tipologia 1 (abbastanza liscio, moderatamente esposto agli agenti atmosferici e superfici alterate) indicate dagli Autori per calcari massivi (***Fig. 10***).

9.2 PARAMETRI GEOMECCANICI DELL'AMMASSO ROCCIOSO

I parametri di resistenza al taglio dell'ammasso roccioso, in termini di *continuo-equivalente*, sono desunti con l'inviluppo a rottura stabilito con il criterio empirico di Hoek-Brown (Hoek et al., 2002) adottando valori di GSI pari a 42 e della costante mi pari a 8 ± 3 (micritic limestone) valido per la Formazione in esame; il valore modale della resistenza a compressione monoassiale della matrice rocciosa σc è posto pari a 50 MPa, mentre il peso di volume della roccia è uguale a 26 kN/m^3.
I risultati ottenuti sono riportati nella ***Fig. 11***, illustrativa dei parametri d'ingresso e delle restituzioni preparate con apposito programma di calcolo (RocLab, v. 1.033, 2013); per le tensioni litostatiche agenti lungo i fronti di coltivazione previsti a progetto (0.2-0.3 MPa), possono essere adottati valori di angolo di resistenza al taglio pari a 48° e coesione intercetta di 135 kPa.
Lungo i fronti di coltivazione dovranno essere verificate le condizioni e l'eventuale persistenza di giunti e discontinuità preferenziali; in questo caso il modello geomeccanico di riferimento è ascrivibile ad un mezzo *discontinuo* valutando le caratteristiche di resistenza e i possibili cinematismi di rottura lungo le principali superfici di discontinuità.

La resistenza meccanica del giunto dipende in questo caso dal tipo di roccia, dalla rugosità del giunto, dal grado di alterazione e dall'eventuale presenza e natura del materiale di riempimento tra i giunti. Secondo la metodologia proposta da Barton e Choubey (1977), utilizzando i seguenti parametri:

- JRC (Joint Roughness Coefficient): 4-6
- JCS (Joint Compressive Strength): 30-40 MPa;
- angolo d'attrito di base uguale a 30°.

è stata preparata la relativa curva d'inviluppo a rottura valida per giunto con caratteristiche piuttosto conservative (***Fig. 12***). Il basamento roccioso nella fase finale di coltivazione presenta tensioni litostatiche comprese tra 0.2 MPa e 0.3 MPa: per tale intervallo tensionale si ritiene accettabile una coppia di valori che prevede un angolo di attrito medio di 36°-41° e una coesione intercetta contenuta, tra 10 kPa e 20 kPa.

10. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA FORMAZIONE DI CAPRAUNA

Per quanto attiene all'ammasso roccioso appartenente alla Formazione di Caprauna, non coinvolto dalle attività di coltivazione ma presente nel settore inferiore della cava, i parametri geomeccanici sono stati desunti dalle osservazioni dirette di campagna in rapporto ai risultati di prove e analisi condotte in altri cantieri sullo stesso litotipo e sono sintetizzati nel seguito.

R1 - Resistenza alla compressione monoassiale: valori compresi tra 25 MPa e 50 MPa a cui si attribuisce punteggio unico uguale a 4.
R2 – R.Q.D.: valori tra 25-50% e inferiori a 25%, cui corrisponde un punteggio pari a 3 per le condizioni peggiori e 8 per le condizioni medie.
R3 - Spaziatura discontinuità: valori compresi nelle classi 60 ÷ 200 mm e inferiori a 60 mm a cui si attribuisce punteggio 5 per le condizioni peggiori e 8 per le condizioni medie.
R4 - Condizioni dei giunti: superfici lisce o laminate, riempimento <5mm, apertura 1-5 mm, giunti continui. Punteggio ascritto 10.
R5 - Condizioni idrauliche: completamente asciutto oppure umido a cui si attribuisce punteggio tra 10 e 15.

Per ciò che concerne l'indice B_{RMR}, si ottiene: B_{RMR} = (R1+R2+R3+R4+R5) = 26 - 40

Il valore dell'indice $RMR_{corretto}$ è il seguente: $RMR_{corretto}=B_{RMR}+R6 = B_{RMR}-5$ = 21 - 35

Per quanto attiene al GSI, si ottiene: GSI = RMR('89)-5 = (R1+R2+R3+R4+15) -5 = 26-35.

I parametri di resistenza al taglio dell'ammasso roccioso, in termini di *continuo-equivalente*, sono desunti con l'inviluppo a rottura stabilito con il criterio empirico di Hoek-Brown (Hoek et al., 2002) adottando valori di GSI pari a 26 e della costante mi pari a 7 ± 3 (phyllites) valido per la Formazione in esame; il valore modale della resistenza a compressione monoassiale della matrice rocciosa σc è posto pari a 30 MPa, mentre il peso di volume della roccia è uguale a 25 kN/m^3.
Per le tensioni litostatiche agenti a progetto (0.2-0.3 MPa), possono essere adottati valori di angolo di resistenza al taglio pari a 35° e coesione intercetta di 50 kPa.

11. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA RIPORTI

Per quanto riguarda i riporti che saranno abbancati in fase di sistemazione finale del sito di cava, una volta ultimata l'attività estrattiva, si ritiene plausibile considerare tali materiali a comportamento tipico dei terreni a grana grossa.
Sulla base dell'esperienza personale maturata tramite prove di laboratorio su terreni similari, si può indicare una densità secca tra 16 e 17 kN/m^3, mentre in condizioni naturali, prossime alla saturazione, il peso di volume si attesta su valori tra 19 e 20 kN/m^3.
Per quanto attiene ai parametri di resistenza a taglio, nel lungo termine, in condizioni drenate, il valore di coesione può essere assunto pari a 6-8 kPa e comunque inferiore a 10 kPa, con angolo d'attrito efficace tra 36° e 38°.

12. ANALISI DI STABILITÀ

Nell'ambito degli approfondimenti di carattere geologico previsti dalla normativa vigente sono state eseguite specifiche verifiche di stabilità lungo la porzione di versante interessata dagli interventi a progetto, tenendo conto della modellazione geologica del sito ricostruita in precedenza, attraverso la definizione dei parametri geotecnici/geomeccanici caratteristici degli orizzonti stratigrafici individuati e dei fattori di amplificazione sismica che tendono a modificare le caratteristiche del segnale sismico rispetto a un sito di riferimento rigido.

12.1 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI

Il concetto di valore caratteristico di un parametro consiste nella definizione dell'intera distribuzione statistica dei dati d'interesse mediante una stima puntuale a carattere cautelativo (modello semiprobabilistico). Tale stima è generalmente individuata da un basso percentile, calcolato sulla distribuzione del parametro che influenza l'insorgere dello stato limite.
Definire il valore caratteristico significa, pertanto, scegliere il parametro geotecnico che influenza il comportamento del terreno in quel determinato stato limite e adottarne un valore, o stima, a favore della sicurezza.

In particolare, si è scelto di utilizzare un metodo in cui la derivazione del valore caratteristico è definita sulla probabilità calcolata del 5% che ci sia un valore peggiore (più sfavorevole) che governa l'insorgere dello stato limite.
La definizione dei parametri caratteristici è stata ottenuta ricorrendo alla statistica classica con ipotesi di varianza nota, applicando la formulazione seguente, valida nel caso di stime in presenza di pochi dati di ingresso:

$$Nk = Nm \pm 1{,}645*\sigma/\sqrt{n})$$

dove: i) Nm = valore medio del parametro, ii) X = parametro dipendente dalla legge di distribuzione delle probabilità e dalla probabilità di non superamento adottata. L'Eurocodice 7 fissa una probabilità di non superamento del 5%, alla quale corrisponde, per una distribuzione di tipo gaussiano, un valore di X = -1.645, iii) σ = deviazione standard, iv) n = numerosità del campione.
I valori così determinati sono riassunti in allegato (***Tab. 1-2-3***).

12.2 PARAMETRI DI PERICOLOSITA' SISMICA

Secondo quanto contenuto nelle N.T.C. 2018, a livello progettuale è necessario controllare il grado di danneggiamento della costruzione a fronte dei terremoti che si possono verificare nel sito in oggetto e valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, attraverso la definizione dell'entità e delle caratteristiche dell'azione sismica.
Le azioni sismiche di progetto si definiscono dalla pericolosità sismica di base, espressa a sua volta in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g (in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente S_e (T) con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R.
Alla luce delle suddette N.T.C. 2018, gli spettri sismici dipendono dalle coordinate geografiche del sito. Al fine di ricavare i valori dei suddetti parametri dai nodi del reticolo di riferimento per un assegnato periodo di ritorno (Tabella 1 - N.T.C. 2018), sono di seguito riportate le coordinate geografiche dell'area d'intervento (ED50): latitudine: 44,113150 e longitudine: 7,874827.
Occorre, tuttavia, considerare che il moto generato da un sisma in un sito dipende anche dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche stratigrafiche e topografiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi, nonchè dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Tali fattori tendono a modificare le caratteristiche del segnale sismico rispetto a quello di un sito di riferimento rigido come definito precedentemente.
Per valutare l'influenza del profilo stratigrafico sulla risposta sismica locale si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in base alle condizioni stratigrafiche e ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, Vs,eq (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con:

- hi = spessore dell'i-esimo strato;
- VS,i = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N = numero di strati;
- H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Con riferimento al profilo stratigrafico proposto nel presente documento e tenuto conto delle finalità delle verifiche in rapporto alla stabilità del versante, si può ritenere plausibile una categoria di sottosuolo di tipo A che comprende *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.*
Per quanto riguarda gli effetti topografici, ovvero la modifica all'azione sismica indotta dalla geometria superficiale del terreno, la morfologia del sito può essere associata alla categoria T2 (pendii con inclinazione media > 15°) delle N.T.C. 2018.
I parametri di pericolosità sismica necessari per le verifiche agli stati limite in condizioni dinamiche sono stati derivati con apposito programma di calcolo (Geostru-PS, 2009) e riassunti in ***Tab. 4*** (fronti di scavo e rilevati) imponendo, salvo ulteriori specificazioni fornite dal Progettista, una vita nominale dell'opera di 50 anni (opere ordinarie) e una classe I (presenza occasionale di persone, edifici agricoli, ecc.).
Il Comune di Pornassio è considerato suscettibile a liquefazione ai sensi della D.G.R. n. 535 del 18.06.2021 con magnitudo massima attesa pari a 6.5: tuttavia, in ragione dell'assetto stratigrafico e del profilo idrogeologico del sottosuolo di interesse, si ritiene di poter escludere tali fenomeni.

12.3 VERIFICHE ANALITICHE

Al fine di formulare un giudizio in merito alla fattibilità tecnica dell'intervento a progetto in rapporto agli elementi di pericolosità geologica del sito, sono state eseguite specifiche verifiche di stabilità nello stato attuale, nella configurazione finale di scavo e nella ricomposizione ambientale finale lungo la sezione stratigrafica monte-valle n. 5 (***Fig. 8***), ritenuta rappresentativa in rapporto alla realizzazione dell'intervento progettato.
In particolare, le verifiche agli SLU (in condizioni statiche e dinamiche) sono state effettuate secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2) dove:

- A2 = 1.0 (carico permanente sfavorevole di tipo strutturale); il terreno contribuisce al comportamento dell'opera con le sue caratteristiche di peso, resistenza e rigidità;
- M2 = 1.25 (tangente angolo di resistenza al taglio); 1.25 (coesione efficace); 1.0 (peso di volume); 1.6 (resistenza alla compressione monoassiale);
- R2 = 1.1.

I parametri di progetto dei materiali considerati, da utilizzare nelle verifiche, sono stati derivati riducendo i valori geotecnici caratteristici con il rispettivo coefficiente M2.
I valori ottenuti sono riportati nella tabella sottostante:

Materiali	**Valori**	**Angolo di attrito (°)**	**Coesione (kPa)**	**Peso di volume (kN/m^3)**
Calcari della Val Tanarello	caratteristici	45.50	98.74	26.96
	di progetto	39.15	78.99	26.96
Formazione di Caprauna	caratteristici	33.18	36.57	25.92
	di progetto	27.61	29.25	25.92
Riporto	caratteristici	35.08	5.54	20.74
	di progetto	29.32	4.43	20.74

In ragione dell'assetto stratigrafico presunto, le simulazioni analitiche sono state condotte con una maglia sufficientemente estesa per verificare tutti i possibili cerchi di scorrimento posti all'interno della porzione di versante interessata dell'intervento a progetto.
Nelle valutazioni analitiche non è stata introdotta una superficie di falda poiché le evidenze di superficie suggeriscono una circolazione sotterranea solamente di tipo occasionale, almeno nell'ambito del volume geotecnico significativo.
Le verifiche sono state eseguite con un apposito programma di calcolo all'equilibrio limite (Slide v. 5.044, 2010) utilizzando il metodo di calcolo rigoroso di Janbu e quello di Morgenstern-Price, validi per qualunque superficie di tipo circolare e in grado di soddisfare sia l'equilibrio delle forze in direzione verticale e orizzontale sia l'equilibrio dei momenti.
Le simulazioni di calcolo sono state effettuate nella configurazione attuale, in quella finale di scavo e nella ricomposizione ambientale finale in condizioni dinamiche, introducendo l'azione sismica dei coefficienti kh e kv relativi allo S.L.V. (***Tab. 4***); le opere di presidio del pendio nella riprofilatura finale, rappresentate da una scogliera in massi e da due ordini di terre rinforzate, sono state simulate come opere rigide con peso di volume pari a 25 kN/m^2.
Tutte le verifiche condotte (***Fig. 13A-B-C***) hanno permesso di accertare che le condizioni di stabilità del versante in questione nelle diverse configurazioni previste, tutte in condizioni dinamiche, a livello sia globale sia locale, presentano coefficienti di sicurezza, intesi come rapporto tra forze resistenti e

forze agenti, sempre superiori al coefficiente minimo delle normative vigenti (1.1) e consentono di esprimere un giudizio positivo in merito alla fattibilità tecnica dell'intervento in rapporto alle condizioni di equilibrio acquisite dalla porzione di territorio in esame.
La sintesi di quanto ottenuto dalle verifiche di stabilità è riportata nel prospetto seguente, mentre per gli elaborati grafici si rimanda alle ***Fig. 13A-B-C*** in allegato.

Analisi di stabilità	**Metodo**	**Fs**
Stato attuale	Janbu rigoroso	1.60
	GLE/Morgenstern-Price	1.56
Profilo finale di scavo	Janbu rigoroso	1.25
	GLE/Morgenstern-Price	1.24
Riprofilatura finale	Janbu rigoroso	1.125
	GLE/Morgenstern-Price	1.14

13. INDICAZIONI OPERATIVE

Dal punto di vista operativo si ritiene che gli aspetti più rilevanti da attenzionare nelle fasi di coltivazione e in quelle di ricomposizione ambientale siano le modalità di scavo e quelle di successivo abbancamento in rapporto alla stabilità dei fronti e la gestione delle acque superficiali e sotterranee.

In particolare, per quanto attiene al mantenimento delle condizioni di stabilità dei gradoni, i profili di scavo non devono superare le inclinazioni definite nella progettazione, mentre nella fase di riprofilatura devono essere realizzate specifiche opere di presidio del pendio, rappresentate da una scogliera in massi alla base e di due ordini di terre rinforzate lungo lo sviluppo del profilo di abbancamento finale.
Nella fase propedeutica all'avvio delle attività di coltivazione dovranno essere accertate la funzionalità e l'efficienza delle opere di protezione (barriera paramassi) presenti a monte del ciglio sommitale della scarpata artificiale, prevedendone eventualmente un rinforzo in modo da ottenere un corretto dimensionamento geotecnico-strutturale ai sensi delle normative vigenti in materia.
Particolare attenzione deve essere posta durante tutte le fasi di estrazione del materiale lapideo, avendo cura di verificare eventuali criticità gravitative a carico dei blocchi potenzialmente instabili, il cui equilibrio può essere pregiudicato a seguito dell'uso delle diverse modalità di scavo, soprattutto quelle con esplosivo.
La valorizzazione a fini scientifici del materiale estratto nell'ambito del giacimento sarà garantita in corrispondenza del fronte superiore della cava, dove rimarrà scoperta una porzione di scarpata, le cui condizioni di stabilità potranno essere valutate prima, durante e dopo l'attuazione delle fasi di coltivazione e in fase di ricomposizione ambientale.

Relativamente alla gestione delle acque intercettate sia in fase di coltivazione sia in fase di riprofilatura, tutti i contributi idrici dovranno fare riferimento alla rete di drenaggio naturale presente nel settore meridionale dell'area e in particolare al Rio Vernei, tributario in destra idrografica del Rio Boschetti, tramite la canaletta di monte della strada comunale di accesso al sito estrattivo.
A questa rete di smaltimento dovranno afferire le acque superficiali provenienti dalla zona sovrastante il ciglio superiore di cava, quelle intercettate lungo le piste di collegamento dei gradoni e quelle che raggiungono il piazzale, dove saranno posti in opera appositi tubi di drenaggio di fondo; ovviamente, prima dell'immissione nei colatori naturali, tali acque dovranno essere trattate per decantazione.
Tenuto conto che la ricomposizione ambientale del sito prevede l'utilizzo di essenze vegetali tipiche dei luoghi, i suddetti apporti idrici saranno fondamentali per l'efficacia delle piantumazioni.
Infine, si sottolinea la opportunità di eseguire, durante la fase finale di coltivazione, alcuni fori campione in corrispondenza del piazzale inferiore per valutare l'estensione del giacimento in fossa.

Chiavari, 26 marzo 2026

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI DELLA LIGURIA
A.P. n. 292
ANDREA ROBBIANO
GEOLOGO
data iscr. 12-01-1995

Dott. Geol. Andrea Robbiano

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI DELLA LIGURIA
A.P. n. 80
GIACOMO CANEPA
GEOLOGO

ALLEGATO 1 – Figure e Tabelle

- FIGURA 1 – corografia dell'area in oggetto
- FIGURA 2 – estratto mappa catastale
- FIGURA 3 – scheda P.T.R.A.C. della cava Rivarini nel Comune di Pornassio
- FIGURA 4 – Piano Assetto Idrogeologico - Bacini Padani Provincia di Imperia e Savona
- FIGURA 5 – I.F.F.I.
- FIGURA 6 – carta geologica di inquadramento
- FIGURA 7 – carta geologico-tecnica di dettaglio
- FIGURA 7bis – stazioni geomeccaniche G1-G2-G3 (Calcari della Val Tanarello)
- FIGURA 8 – sezione geologica di dettaglio
- FIGURA 9 – classificazione R.M.R. di Bieniawski
- FIGURA 10 – classificazione G.S.I. di Marinos & Hoek
- FIGURA 11 – inviluppo a rottura ammasso roccioso
- FIGURA 12 – inviluppo a rottura discontinuità
- FIGURA 13 – analisi di stabilità condizioni dinamiche - attuale, scavo finale, ricomposizione finale
- TABELLA 1 – parametri geotecnici caratteristici e di progetto Calcari della Val Tanarello
- TABELLA 2 – parametri geotecnici caratteristici e di progetto Formazione di Caprauna
- TABELLA 3 – parametri geotecnici caratteristici e di progetto Riporti
- TABELLA 4 – parametri di pericolosità sismica

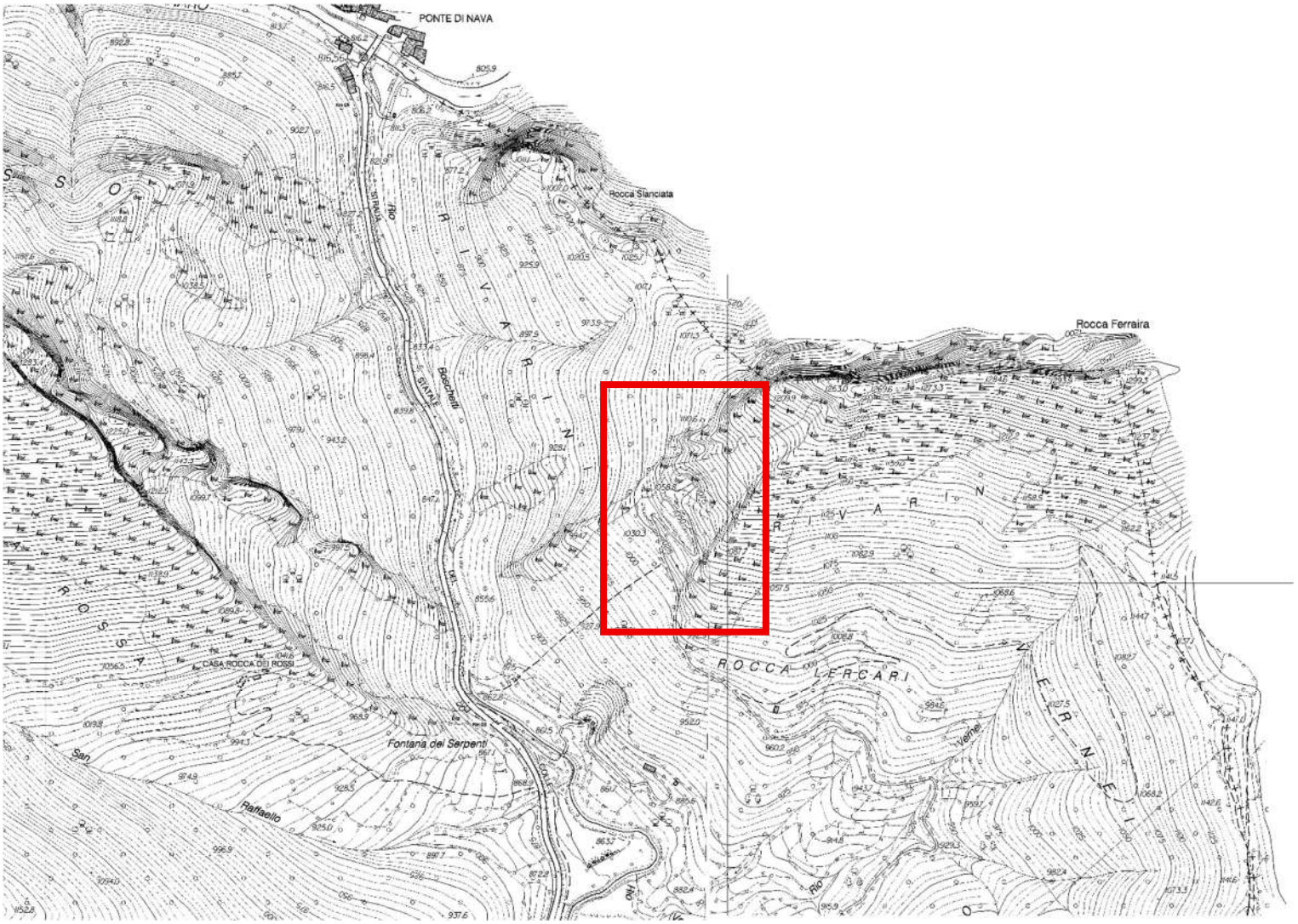




FIGURA 1: INQUADRAMENTO CARTOGRAFICO

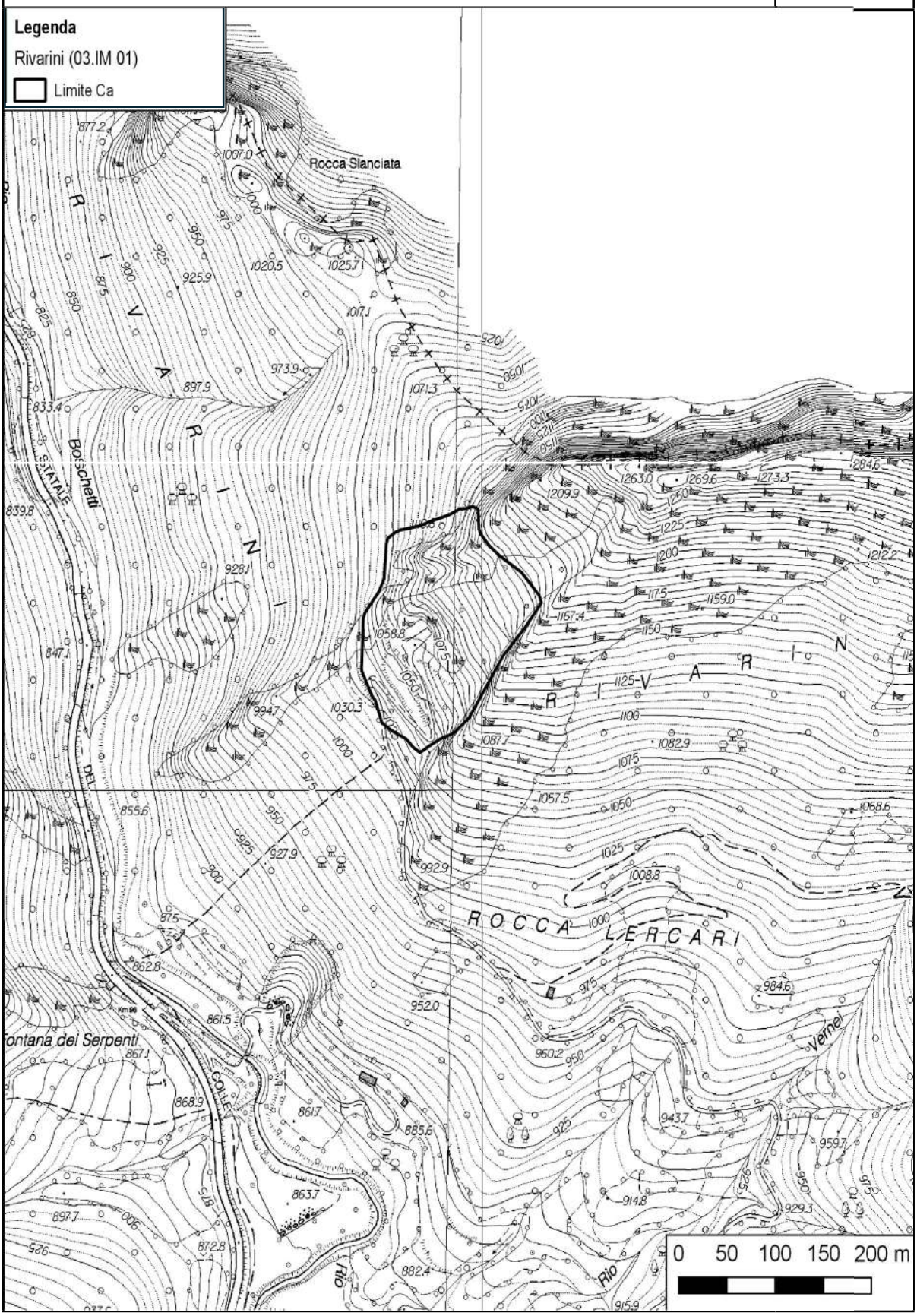
Elementi n. 244072 Monte Ariolo e n. 244073 Ponte di Nava



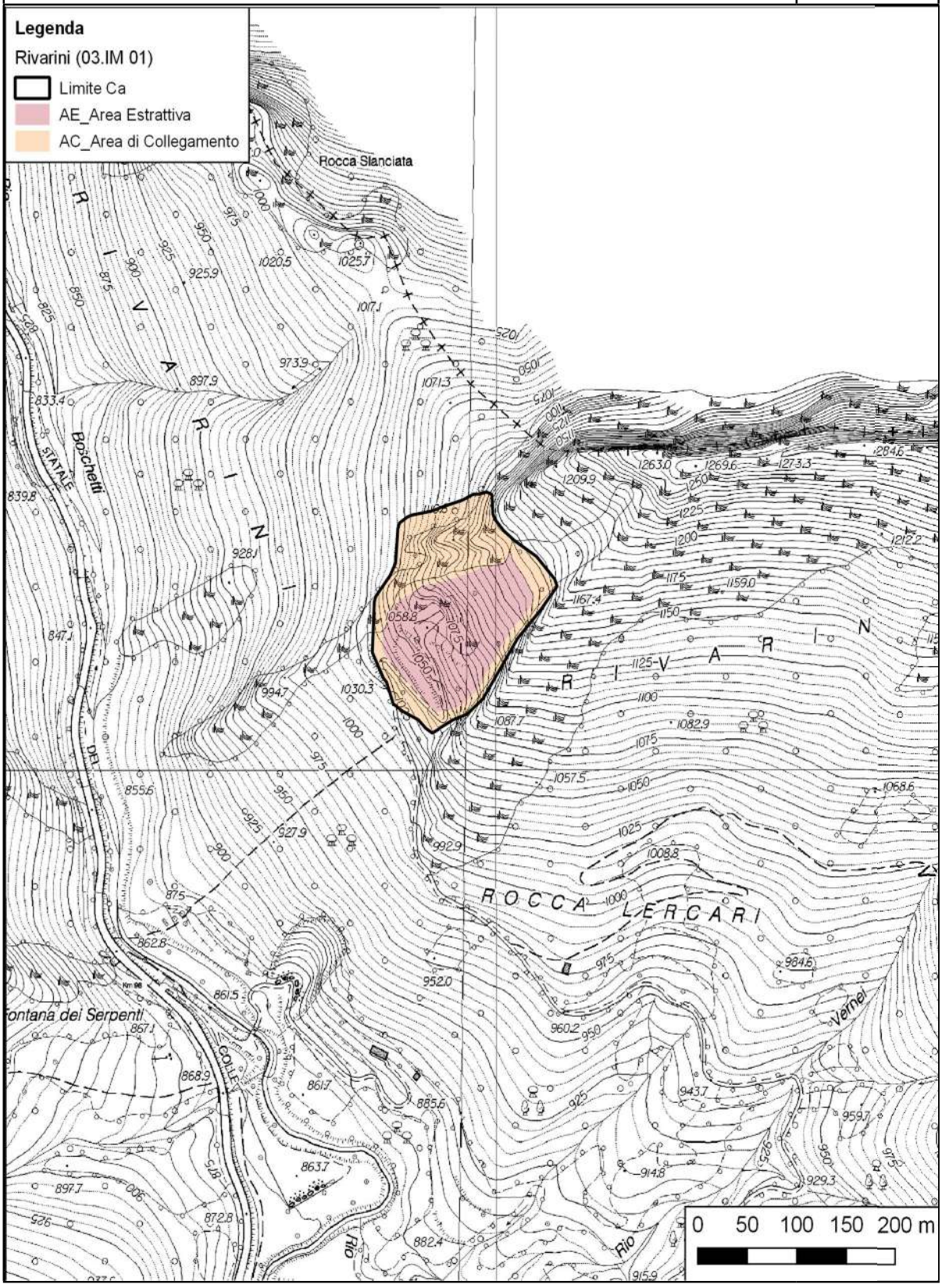
FIGURA 2: INQUADRAMENTO CATASTALE

(MAPPALE 33 FOGLIO 1 N.C.T. PORNASSIO)

PTRAC
PIANO TERRITORIALE DELLE ATTIVITÀ DI CAVA



CARTOGRAFIA DI DETTAGLIO SCALA **1:5.000**



CARTOGRAFIA DI DETTAGLIO - Suddivisione interna

FIGURA 3: P.T.R.A.C.

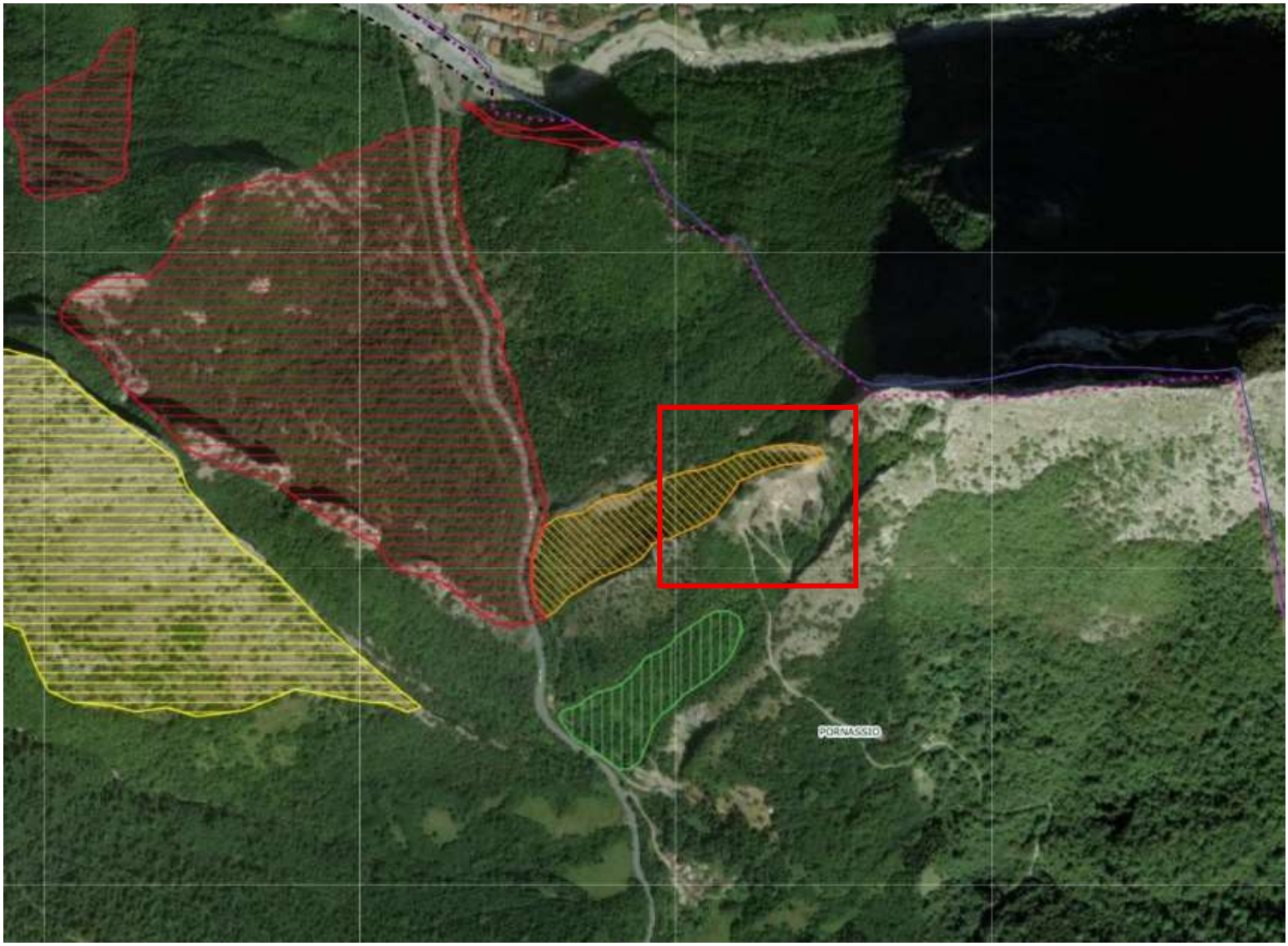


FIGURA 4: PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL FIUME PO

LEGENDA

(Fa) FRANE ATTIVE (pericolosità molto elevata)

(Acr) AREE SOGGETTE A CROLLI (pericolosità molto elevata)

(Fq) FRANE QUIESCENTI (pericolosità elevata)

(Fs) FRANE STABILIZZATE (pericolosità media o moderata)

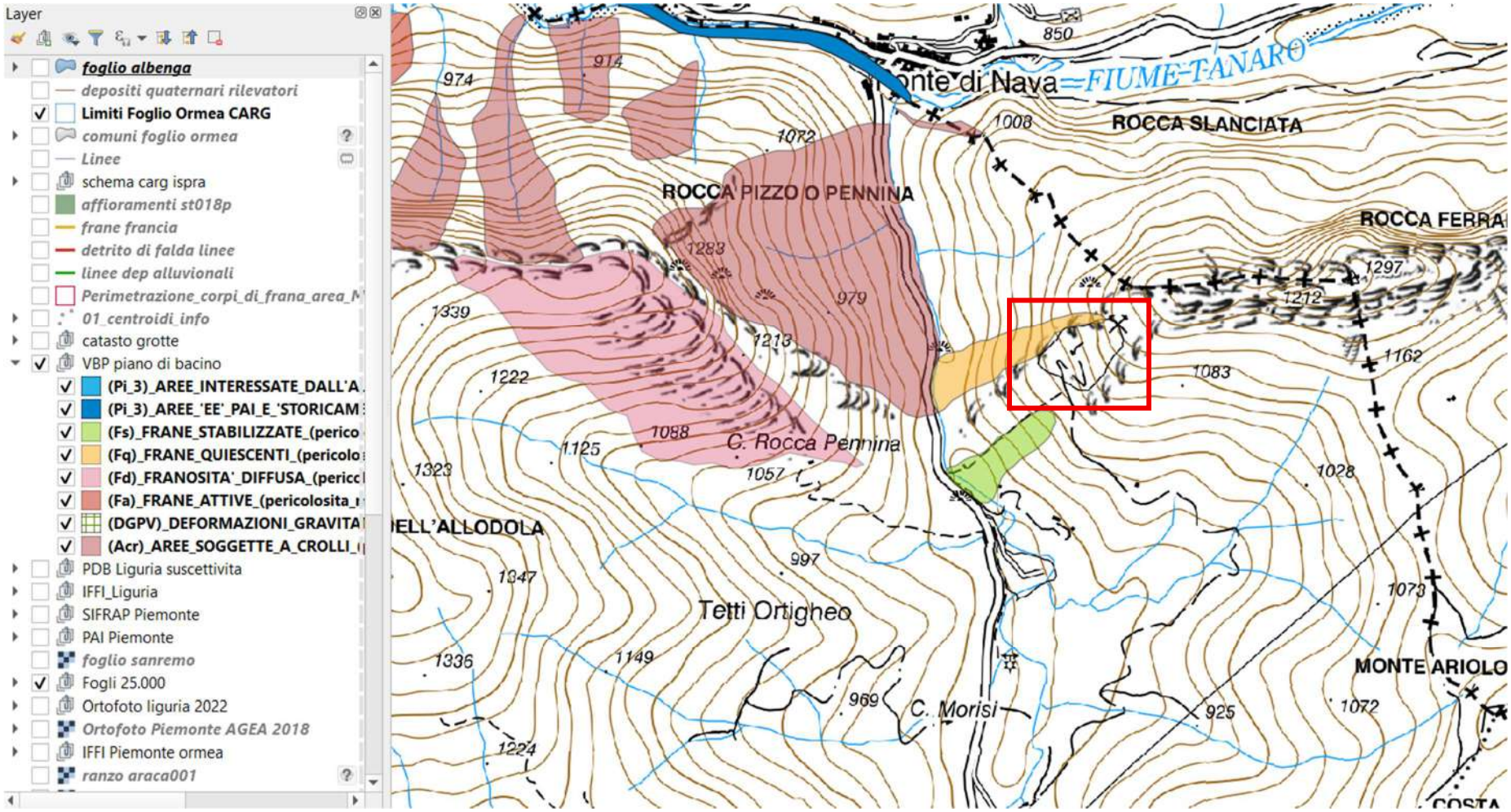


FIGURA 5: INVENTARIO FENOMENI FRANOSI ITALIANI

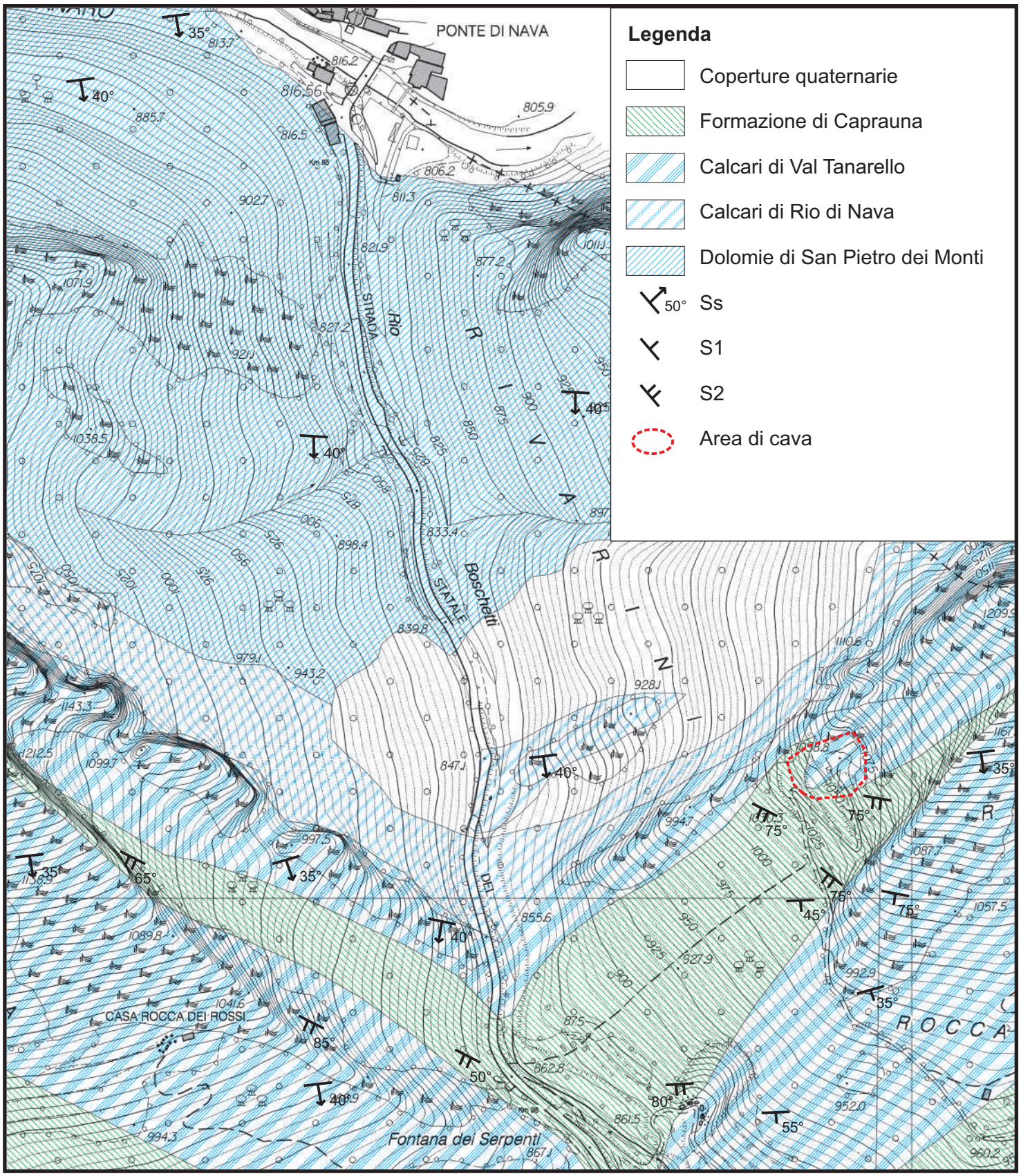


FIGURA 6: CARTA GEOLOGICA

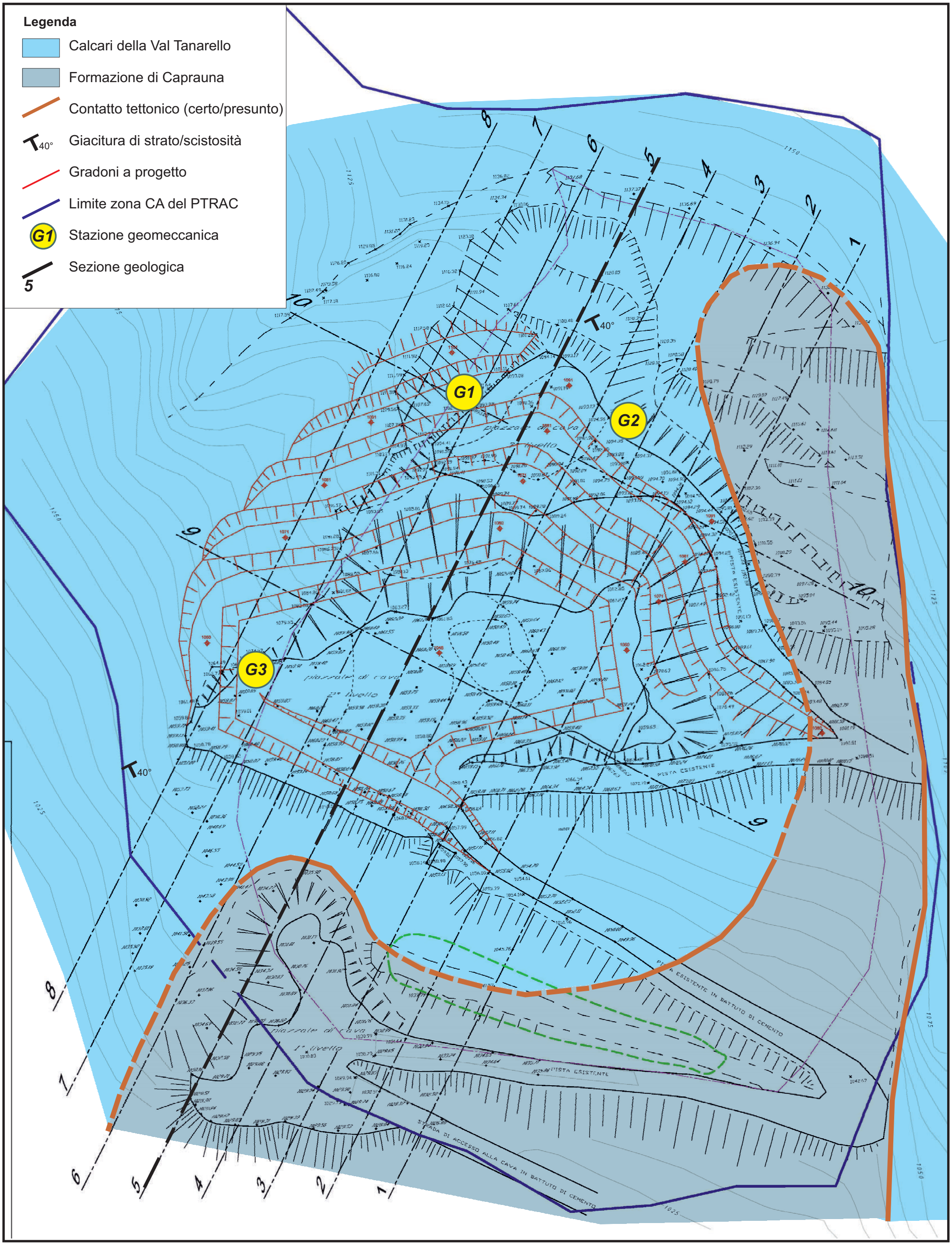
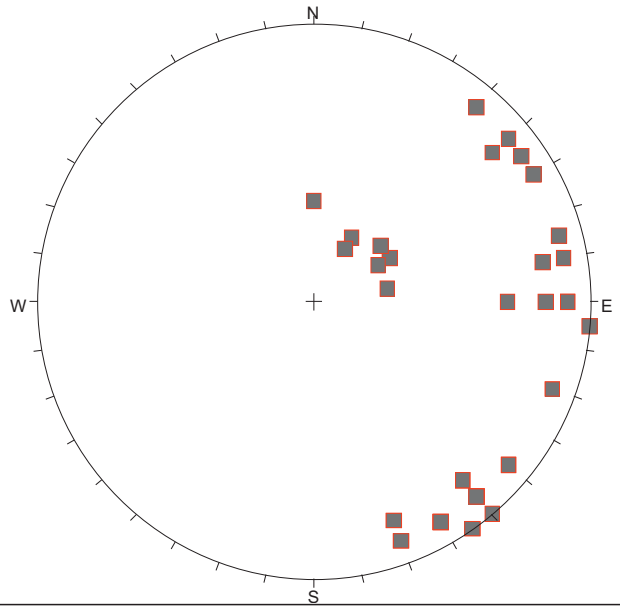


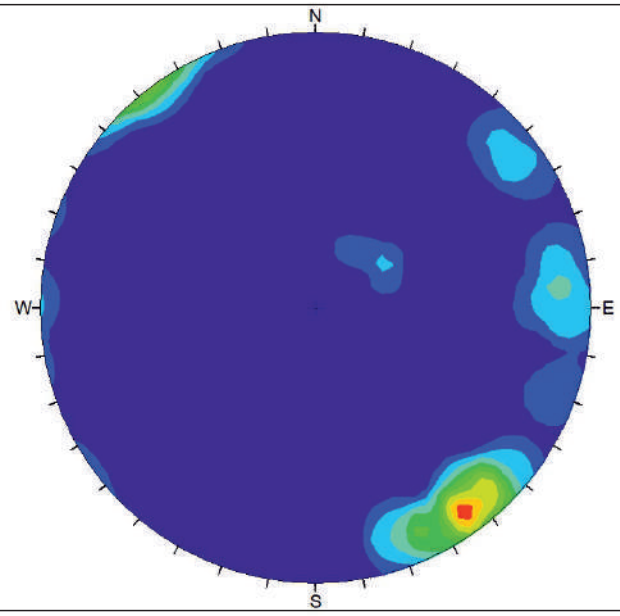
FIGURA 7
CARTA GEOLOGICO-TECNICA
in scala 1:600

STAZIONE GEOMECCANICA G1



Poles

Equal Angle
Lower Hemisphere
44 Poles
44 Entries

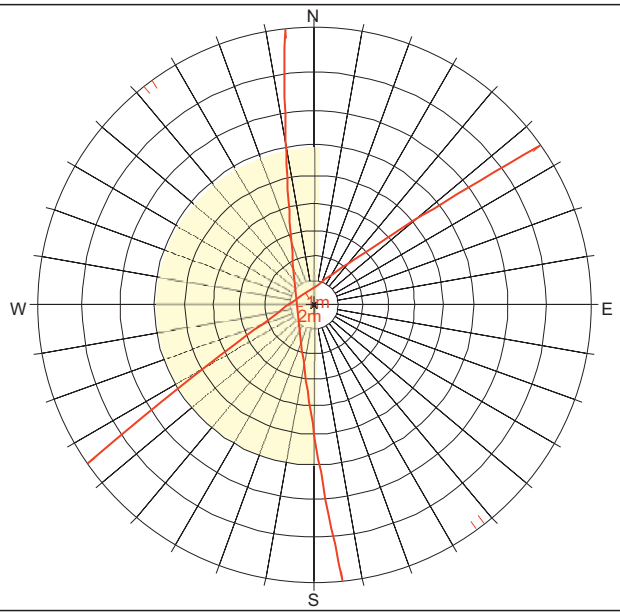


Fisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area

0.00 ~ 3.00 %
3.00 ~ 6.00 %
6.00 ~ 9.00 %
9.00 ~ 12.00 %
12.00 ~ 15.00 %
15.00 ~ 18.00 %
18.00 ~ 21.00 %
21.00 ~ 24.00 %
24.00 ~ 27.00 %
27.00 ~ 30.00 %

No Bias Correction
Max. Conc. = 29.0023%

Equal Angle
Lower Hemisphere
44 Poles
44 Entries



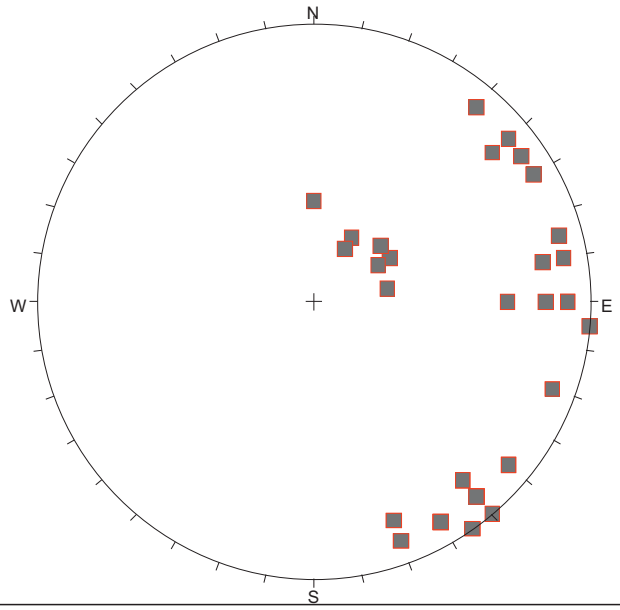
Orientations

ID		Dip / Direction	
1	m	84 / 325	k1
2	m	83 / 264	k2

270 / 80 Fronte

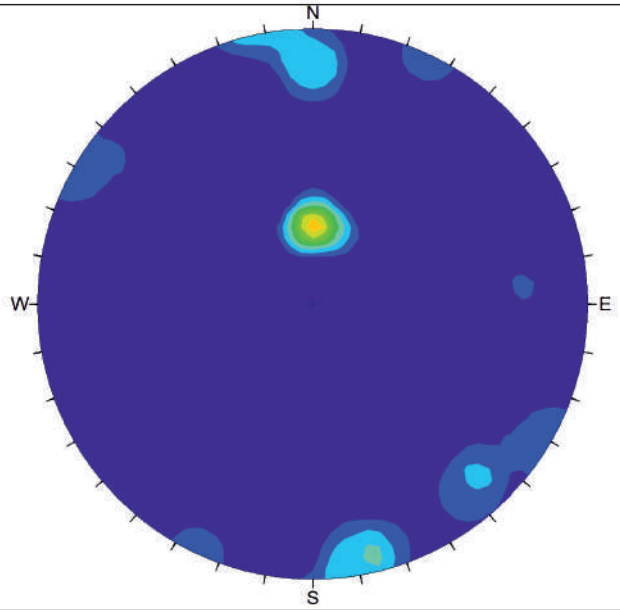
Equal Angle
Lower Hemisphere
44 Poles
44 Entries

STAZIONE GEOMECCANICA G2



Poles

Equal Angle
Lower Hemisphere
44 Poles
44 Entries

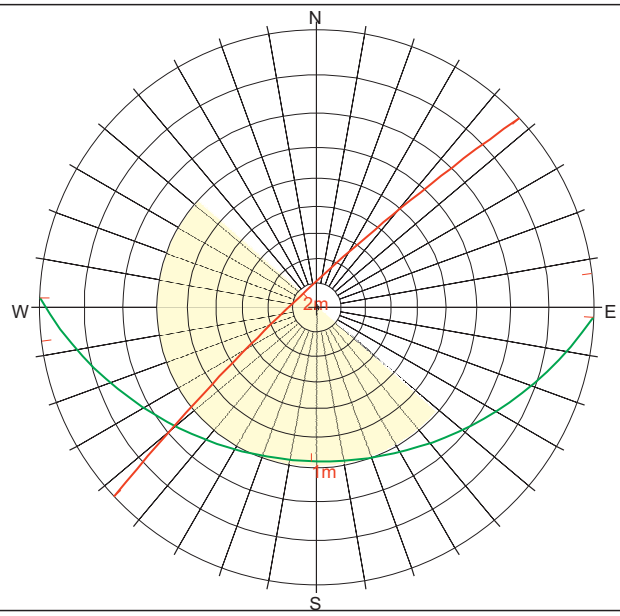


Fisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area

0.00 ~ 3.50 %
3.50 ~ 7.00 %
7.00 ~ 10.50 %
10.50 ~ 14.00 %
14.00 ~ 17.50 %
17.50 ~ 21.00 %
21.00 ~ 24.50 %
24.50 ~ 28.00 %
28.00 ~ 31.50 %
31.50 ~ 35.00 %

No Bias Correction
Max. Conc. = 31.0574%

Equal Angle
Lower Hemisphere
31 Poles
31 Entries

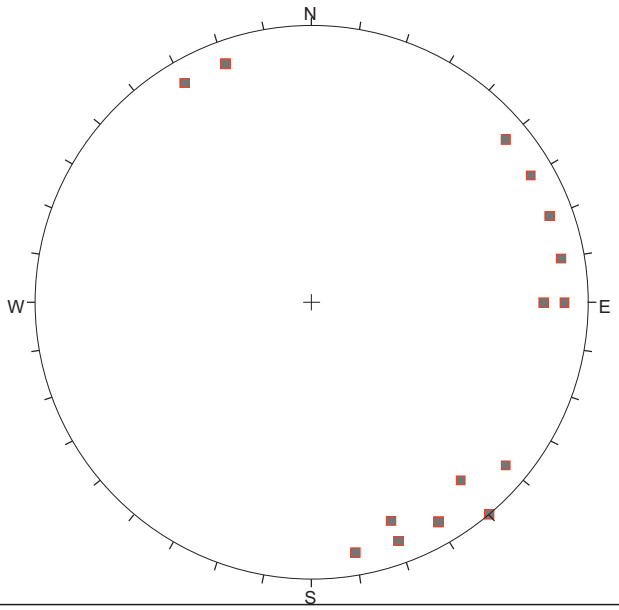


Orientations

ID		Dip / Direction	
1	m	32 / 182	St
2	m	82 / 317	k1
		220 / 80	Fronte

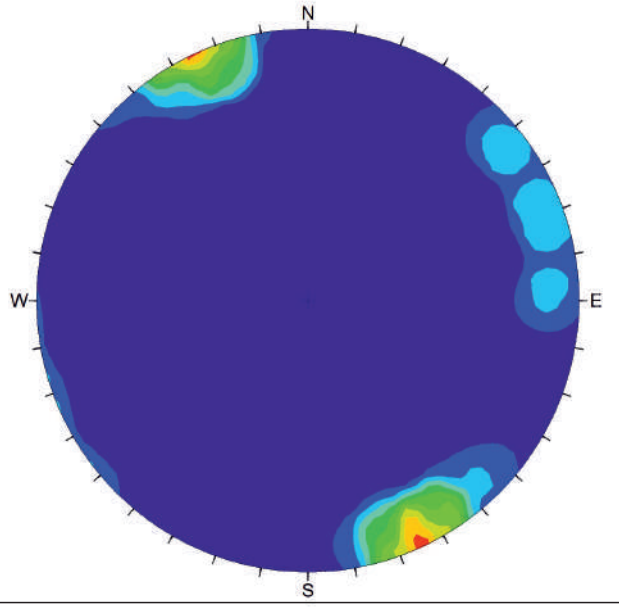
Equal Angle
Lower Hemisphere
31 Poles
31 Entries

STAZIONE GEOMECCANICA G3



Poles

Equal Angle
Lower Hemisphere
27 Poles
27 Entries

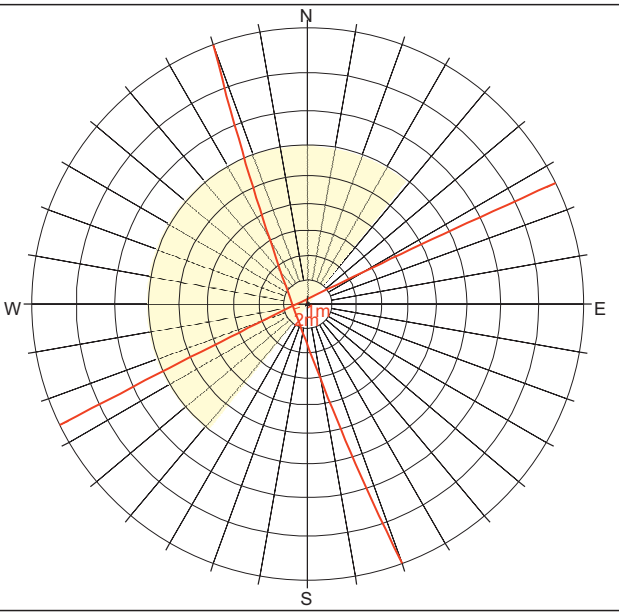


Fisher
Concentrations
% of total per 1.0 % area

0.00 ~ 3.50 %
3.50 ~ 7.00 %
7.00 ~ 10.50 %
10.50 ~ 14.00 %
14.00 ~ 17.50 %
17.50 ~ 21.00 %
21.00 ~ 24.50 %
24.50 ~ 28.00 %
28.00 ~ 31.50 %
31.50 ~ 35.00 %

No Bias Correction
Max. Conc. = 34.0014%

Equal Angle
Lower Hemisphere
27 Poles
27 Entries



Orientations

ID		Dip / Direction	
1	m	88 / 334	k1
2	m	84 / 250	k2

310 / 80 Fronte

Equal Angle
Lower Hemisphere
27 Poles
27 Entries

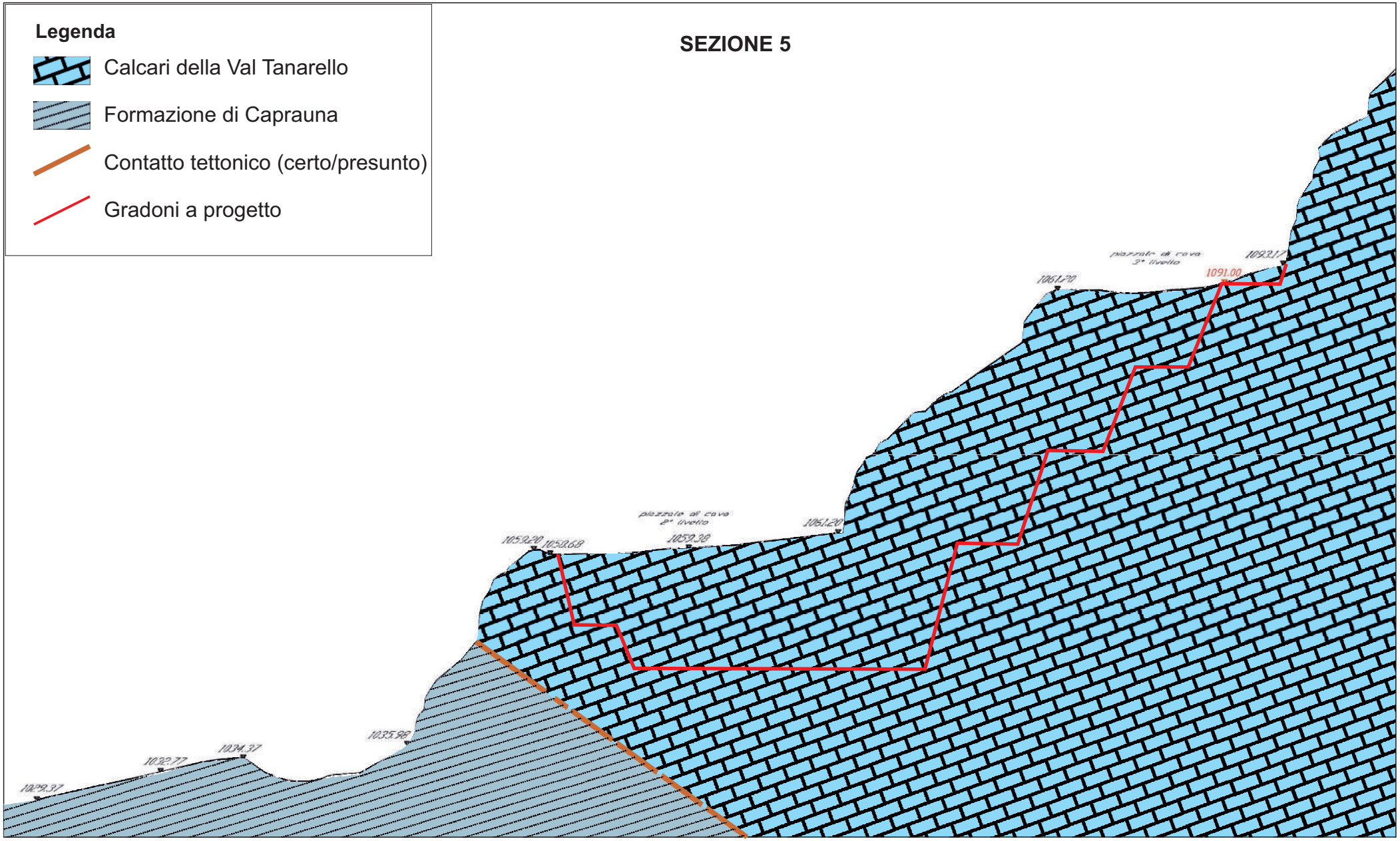


FIGURA 8
SEZIONE GEOLOGICA
in scala 1:600

A. CLASSIFICAZIONE DEI PARAMETRI E LORO INDICI									
PARAMETRI									
1	RESISTENZA ROCCIA INTATTA	Carico puntuale	>10 Mpa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa	Per tale intervallo è preferibile eseguire prove di compressione monoassiale		
		Compressione uniassiale	>250 Mpa	100-250 Mpa	50-100 Mpa	25-50 Mpa	5-25 Mpa	1-5 Mpa	<1 Mpa
	INDICE		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90%-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	<25%		
	INDICE		20	17	13	8	3		
3	SPAZIATURA GIUNTI		>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm		
	INDICE		20	15	10	8	5		
4	CONDIZIONE DEI GIUNTI (vedi F.)		Superfici molto scabre non continue pareti roccia dura	Superfici scabre apertura <1 mm pareti roccia dura	Superfici scabre apertura < 1 mm	Superfici lisce o laminate riempimento <5mm apertura 1-5 mm giunti continui	Riempimento tenero spessore >5 mm giunti aperti >5 mm giunti continui		
	INDICE		30	25	20	10	0		
5	CONDIZIONI IDRAULICHE	Afflusso per 10 m lunghezza tunnel [l/m]	assente	<10	10-25	25-125	>125		
		Rapp. Pressione acqua nei giunti/soll. Nat. In sito	0	<0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	>0.5		
		Condizioni generali	completamente asciutto	umido	molto umido	stillicidio	severi problemi idraulici		
	INDICE		15	10	7	4	0		

B. FATTORI CORRETTIVI IN FUNZIONE DELL'ORIENTAMENTO DEI GIUNTI							
6	Direzione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavoreole	Molto sfavorevole
	INDICE	Gallerie e miniere	0	-2	-5	-10	-12
		Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
		Pendii	0	-5	-25	-50	

C. CLASSI DI AMMASSO ROCCIOSO SULLA BASE DELLA SOMMA DEGLI INDICI						
Indice RMR	100-81	80-61	60-41	40-21	<21	
Classe	I	II	III	IV	V	
Descrizione	Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente	

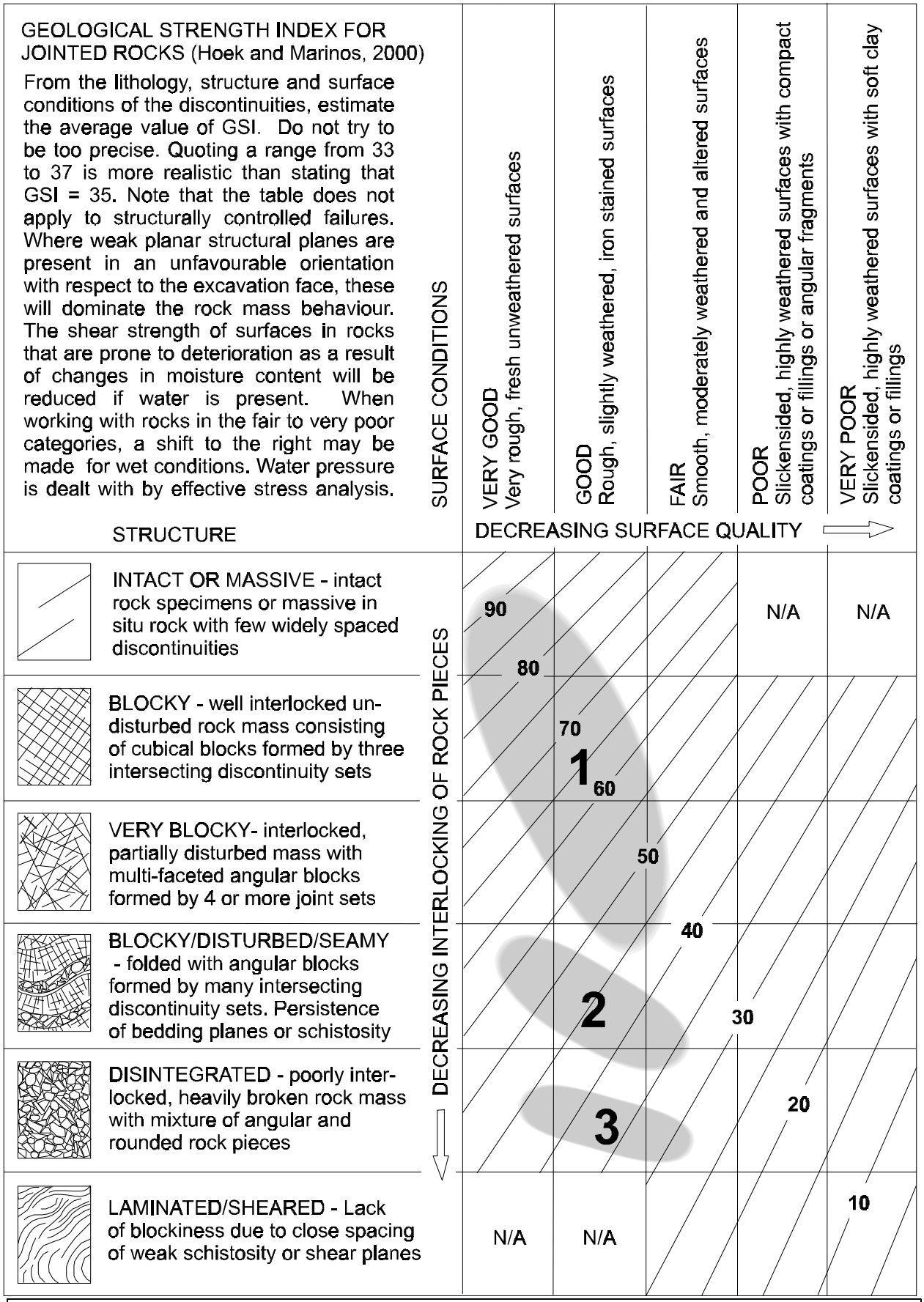
D.SIGNIFICATO DELLE CLASSI DI AMMASSO					
Classe	I	II	III	IV	V
Tempo di autosostegno (L=lunghezza libera dello scavo)	20 anni per L=15m	1 anno per L=10 m	1 settim. Per L=5 m	10 ore per L=2.5 m	30 min per L=1 m
Coesione dell'ammasso roccioso [kPa]	>400	300-400	200-300	100-200	<100
Angolo di attrito dell'ammasso roccioso [°]	>45	35-45	25-35	15-25	<15

E: LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE DISCONTINUITA'					
Lunghezza delle discontinuità (persistenza)	<1 m	1-3 m	3-10 m	10-20 m	>20 m
Indice	6	4	2	1	0
Separazione (apertura)	nessuno	<0.1 mm	0.1-1.0 mm	1-5 mm	>5 mm
Indice	6	5	4	1	0
Scabrezza	Molto scabro	Scabro	Leggerm. Scabro	Lisce	Lisce o laminate
Indice	6	5	3	1	0
Riempimento	nessuno	duro <5 mm	duro >5 mm	tenero <5 mm	tenero >5 mm
Indice	6	4	2	2	0
Alterazione	Non alterato	Leggerm. alterato	Moderatm. alterato	Altam. alterato	Decomposto
Indice	6	5	3	1	0

F. EFFETTO DELL'ORIENTAZIONE DELLE DISCONTINUITA' SULLA STABILITA' DI UNA GALLERIA				
	Perpendicolare all'asse della galleria		Parallelo all'asse della galleria	
	Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45°-90°	Inclinazione delle discontinuità concorde con il verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20°-45°	Inclinazione 45°-90°	Inclinazione 20°-45°
	Molto favorevole	Favorevole	Molto favorevole	Discreta
	Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 45°-90°	Inclinazione delle discontinuità discorde dal verso di avanzamento. Inclinazione discontinuità 20°-45°	Inclinazione 0°-20° a prescindere dallo strike	
	Discreto	Sfavorevole	Discreta	

Sistema di classificazione degli ammassi rocciosi di Bieniawski, versione 1989

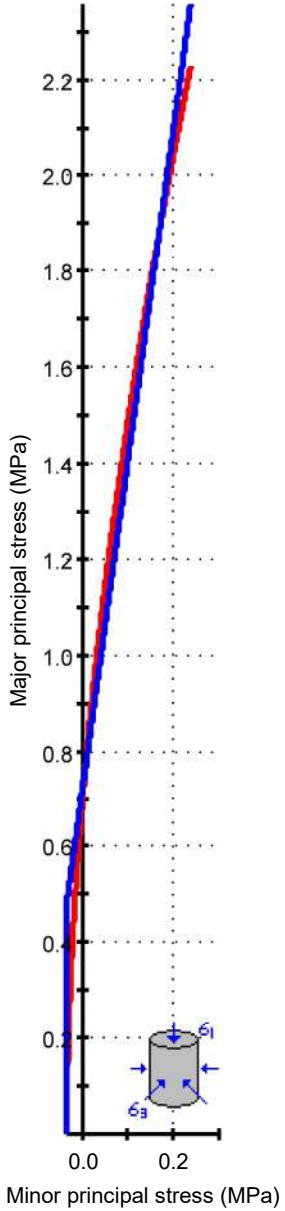
Table 7: Most common GSI range of typical limestone.*



WARNING:
The shaded areas are indicative and may not be appropriate for site specific design purposes. Mean values are not suggested for indicative characterisation; the use of ranges is recommended

1. Massive
2. Thin bedded
3. Brecciated

Analysis of Rock Strength using RocLab



Hoek-Brown Classification

intact uniaxial comp. strength (sigci) = 50 MPa
GSI = 42 mi = 8 Disturbance factor (D) = 0.7
intact modulus (Ei) = 25000 MPa
modulus ratio (MR) = 500

Hoek-Brown Criterion

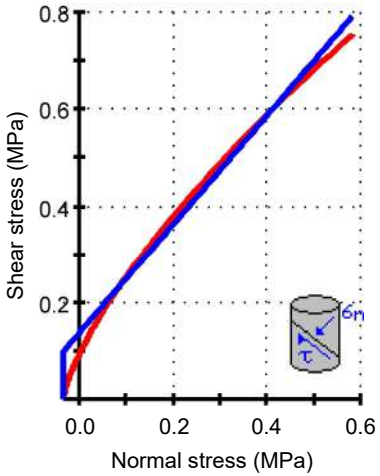
mb = 0.330 s = 0.0002 a = 0.510

Mohr-Coulomb Fit

cohesion = 0.136 MPa friction angle = 48.36 deg

Rock Mass Parameters

tensile strength = -0.034 MPa
uniaxial compressive strength = 0.688 MPa
global strength = 3.661 MPa
deformation modulus = 1633.04 MPa



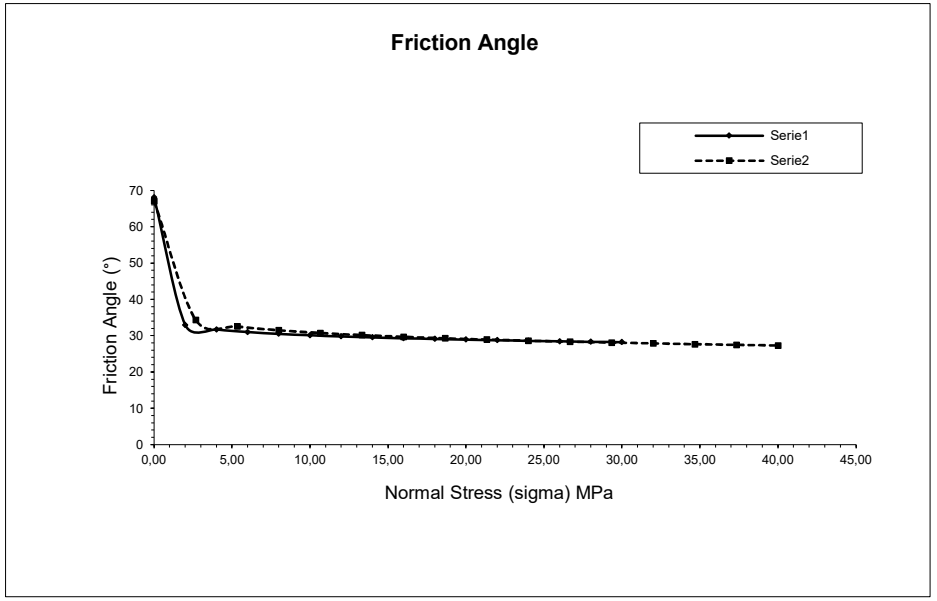
Discontinuities Shear Failure Criterion

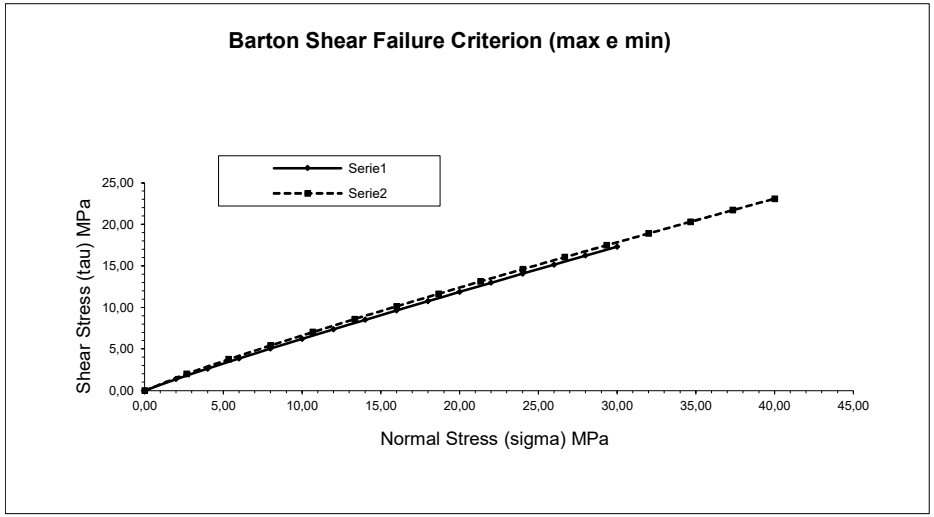
by Barton N.R. and Choubey V. 1977

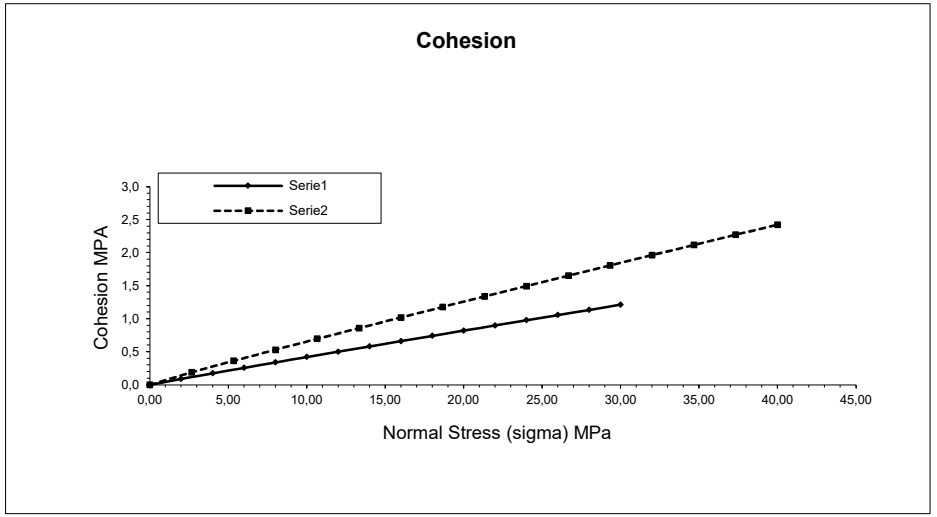
Imput parameters		Min	Max	
Basic friction angle (°)		30,0	30,0	[°]
Joint Roughness Coefficient		4,0	6,0	[1]
Joint Compressive Strenght		30,0	40,0	[MPa]
Unit weight		26,0		[kN/m^3]

Applicability's range	$\sigma_{n\ min}$	0,0	0,0	MPa
Barton-Choubey criterion	$\sigma_{n\ max}$	30,0	40,0	MPa

Project Stress State			Cohesion [kPa]		Friction Angle	
	[m]	[MPa]	min	max	min	max
Depth min	8,00	0,208	10,3	18,1	36,9	41,0
Depth max	10,00	0,260	12,8	22,2	36,5	40,4







ANALISI STATISTICA A VARIANZA NOTA

$Xk=Xm(1 \pm 1.645*COV/\sqrt{n})$

Xk=valore caratteristico del parametro
Xm=valore medio del parametro
COV= coefficiente di variazione =dev.st. della popolazione/media della popolazione
n= numerosità del campione

1) DEFINIZIONE DEI VALORI MEDI

Parametri	Dati di ingresso					Media	n
Φ (°)	45	45	45	48	48	**48,00**	**10**
	48	48	51	51	51		
c (kPa)	110	110	110	135	135	**135,00**	**6**
	135	135	160	160	160		
σc (MPa)	50	50	50	50	50	**50,00**	**5**
γ (MPa)	26	26	26	26	26	**26,00**	**5**
E (MPa)							

2) DEFINIZIONE DEI VALORI CARATTERISTICI

Parametro	Val. medio	COV (%)	√n	Val caratt
Φ	48,00	10	3,16	45,50
c	135,00	40	2,45	98,74
σc	50,00	40	2,24	35,29
γ	26,00	5	2,24	26,96
E				

3) DEFINIZIONE DEI VALORI DI PROGETTO

Parametro	Valore caratteristico	DA1	DA2	Val.Prog		Val.Prog
				DA1	DA2	Scelto
Φ	45,50	1,25	1,00	39,15	45,50	
c	98,74	1,25	1,00	78,99	98,74	
σc	35,29	1,60	1,60	22,05	22,05	
γ	26,96	1,00	1,00	26,96	26,96	
E						

TABELLA 1
PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI E DI PROGETTO
CALCARI DELLA VAL TANARELLO

ANALISI STATISTICA A VARIANZA NOTA

$Xk=Xm(1 \pm 1.645*COV/\sqrt{n})$

Xk=valore caratteristico del parametro
Xm=valore medio del parametro
COV= coefficiente di variazione =dev.st. della popolazione/media della popolazione
n= numerosità del campione

1) DEFINIZIONE DEI VALORI MEDI

Parametri	Dati di ingresso					Media	n
Φ (°)	30	30	30	35	35	**35,00**	**10**
	35	35	40	40	40		
c (kPa)	35	35	35	50	50	**50,00**	**6**
	50	50	65	65	65		
σc (MPa)	30	30	30	30	30	**30,00**	**5**
γ (MPa)	25	25	25	25	25	**25,00**	**5**
E (MPa)							

2) DEFINIZIONE DEI VALORI CARATTERISTICI

Parametro	Val. medio	COV (%)	√n	Val caratt
Φ	35,00	10	3,16	33,18
c	50,00	40	2,45	36,57
σc	30,00	40	2,24	21,17
γ	25,00	5	2,24	25,92
E				

3) DEFINIZIONE DEI VALORI DI PROGETTO

Parametro	Valore caratteristico	DA1	DA2	Val.Prog		Val.Prog
				DA1	DA2	Scelto
Φ	33,18	1,25	1,00	27,61	33,18	
c	36,57	1,25	1,00	29,25	36,57	
σc	21,17	1,60	1,60	13,23	13,23	
γ	25,92	1,00	1,00	25,92	25,92	
E						

TABELLA 2
PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI E DI PROGETTO
FORMAZIONE DI CAPRAUNA

ANALISI STATISTICA A VARIANZA NOTA

$Xk=Xm(1 \pm 1.645*COV/\sqrt{n})$

Xk=valore caratteristico del parametro
Xm=valore medio del parametro
COV= coefficiente di variazione =dev.st. della popolazione/media della popolazione
n= numerosità del campione

1) DEFINIZIONE DEI VALORI MEDI

Parametri	Dati di ingresso					Media	n
Φ (°)	34	34	36	37	37	**37,00**	**10**
	37	37	38	40	40		
c (kPa)	6	6	6	7	7	**7,00**	**10**
	7	7	8	8	8		
σc (MPa)							
γ (MPa)	20	20	20	20	20	**20,00**	**5**
E (MPa)							

2) DEFINIZIONE DEI VALORI CARATTERISTICI

Parametro	Val. medio	COV (%)	√n	Val caratt
Φ	37,00	10	3,16	35,08
c	7,00	40	3,16	5,54
σc	0,00	40	0,00	
γ	20,00	5	2,24	20,74
E				

3) DEFINIZIONE DEI VALORI DI PROGETTO

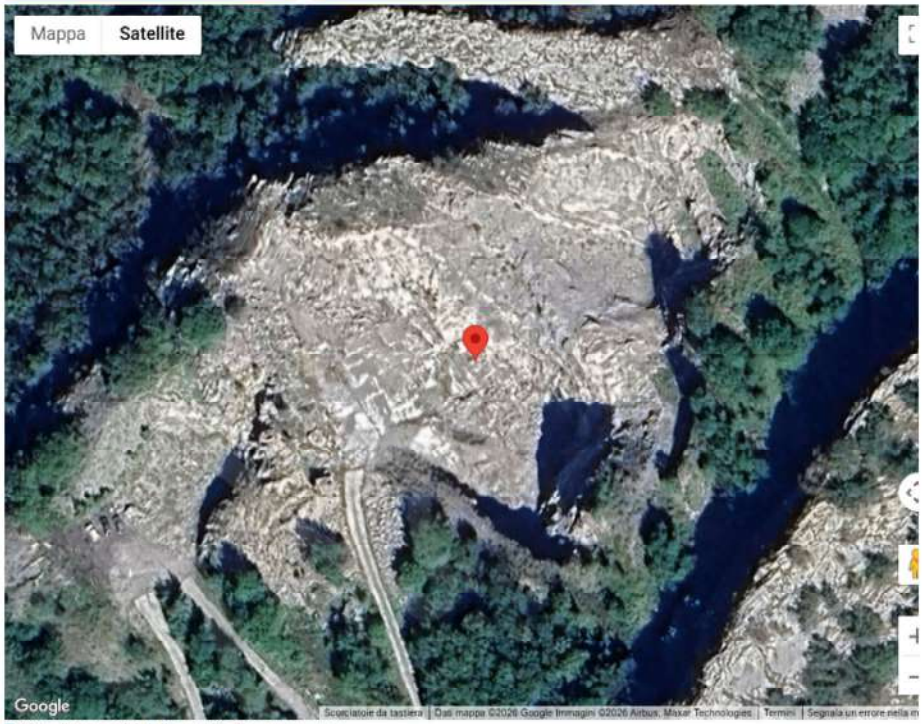
Parametro	Valore caratteristico	DA1	DA2	Val.Prog		Val.Prog
				DA1	DA2	Scelto
Φ	35,08	1,25	1,00	29,32	35,08	
c	5,54	1,25	1,00	4,43	5,54	
σc	0,00	1,60	1,60	0,00	0,00	
γ	20,74	1,00	1,00	20,74	20,74	
E						

TABELLA 3
PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI E DI PROGETTO
RIPORTI

Indirizzo | Coordinate | Isole

Indirizzo

WGS84: Lat 44.112170 - Lng 7.873765 | ED50: Lat 44.113150 - Lng 7.874827



Visualizza vertici della maglia di appartenenza

Stati limite

Classe Edificio

I. Presenza occasionale di persone, edifici agricoli...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 0.7

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.030	2.526	0.195
Danno (SLD)	35	0.033	2.545	0.199
Salvaguardia vita (SLV)	332	0.109	2.470	0.286
Prevenzione collasso (SLC)	682	0.148	2.487	0.303
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	35			

Coefficienti sismici

Tipo: Fronti di scavo e rilevati

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1

us (m): 0.1

Cat. Sottosuolo: A

Cat. Topografica: T2

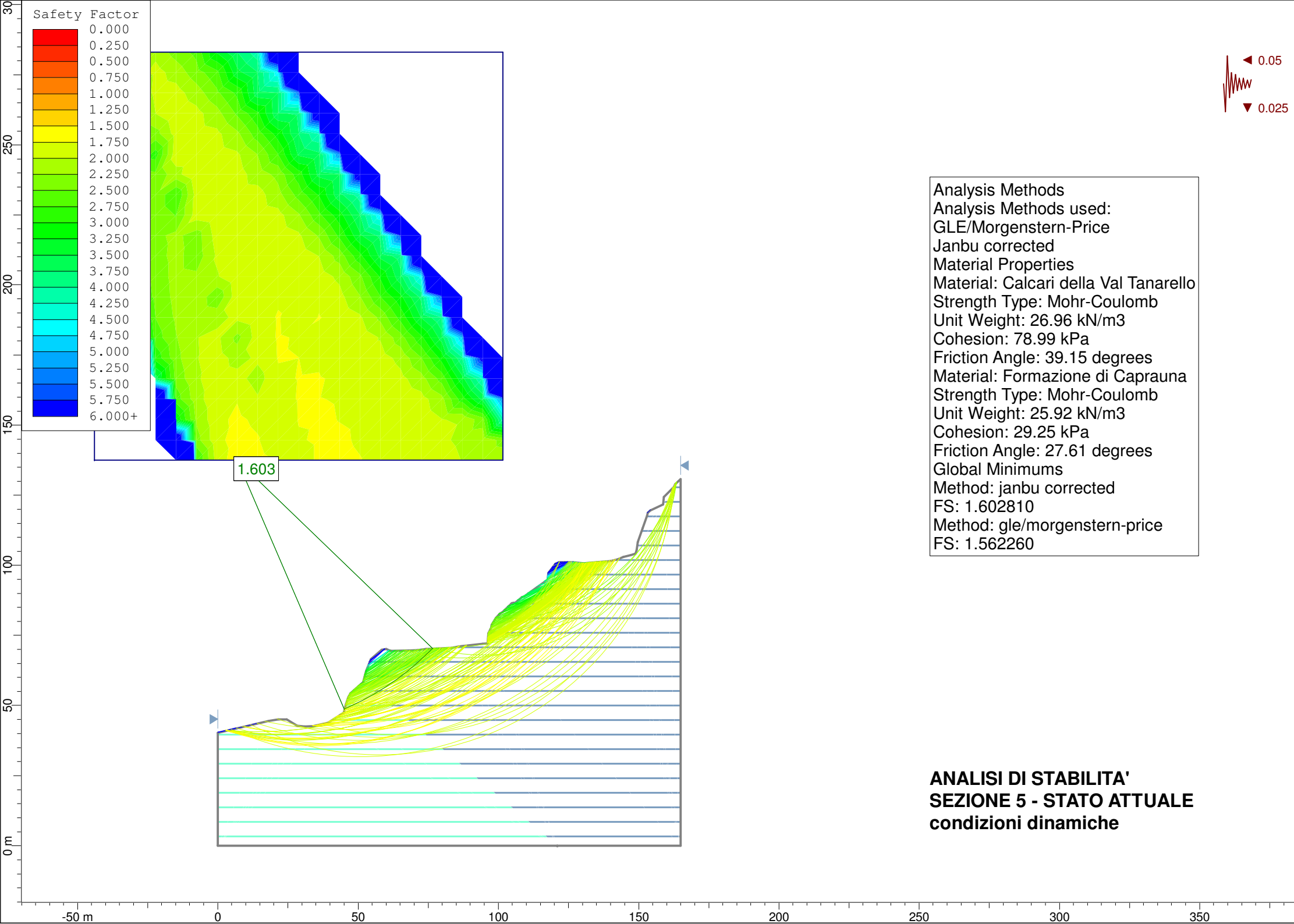
	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,00	1,00	1,00	1,00
CC Coeff. funz categoria	1,00	1,00	1,00	1,00
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

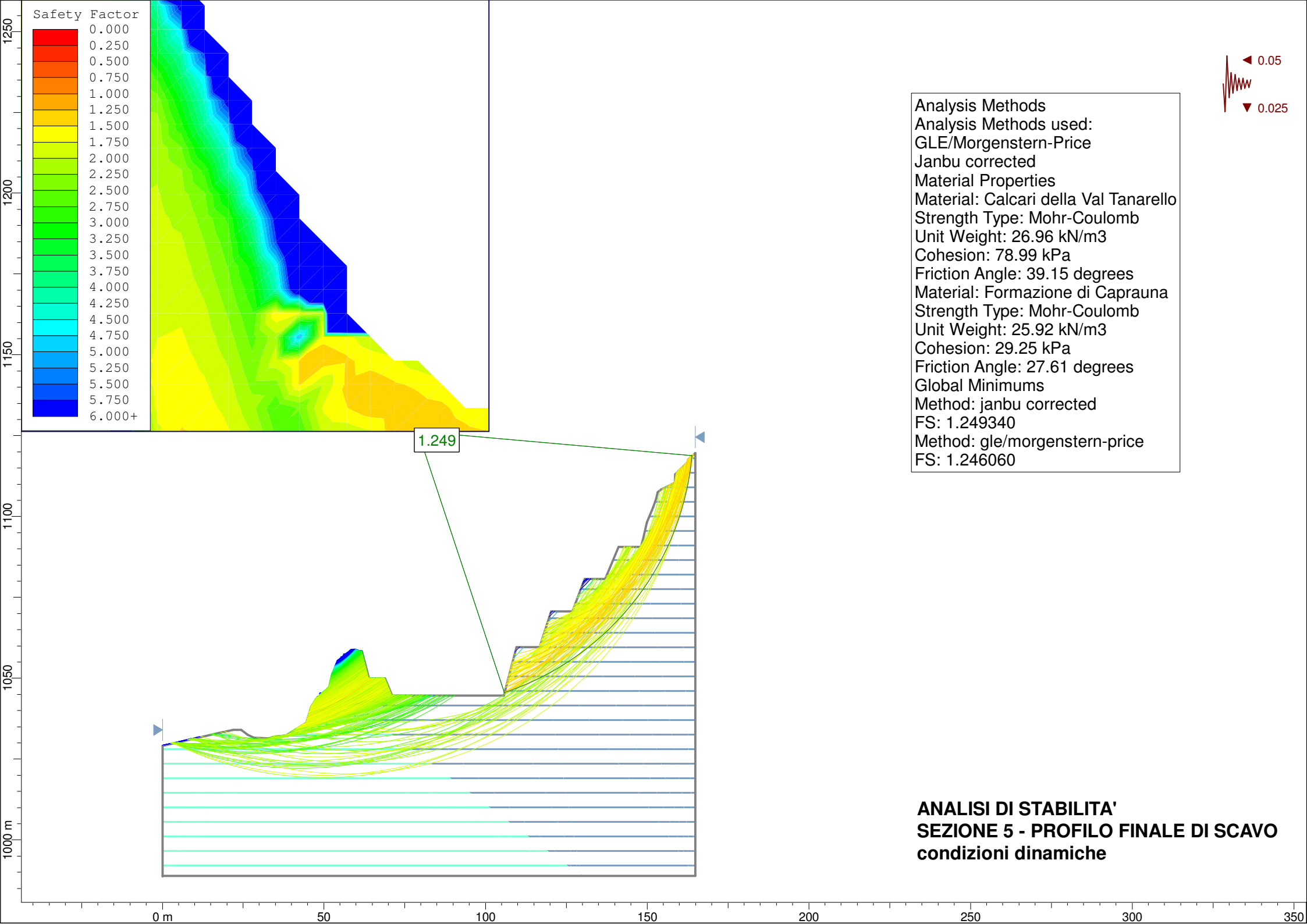
Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.000	0.019	0.050	0.000
kv	--	0.009	0.025	--
Amax [m/s²]	0.353	0.386	1.279	1.736
Beta	--	0.470	0.380	--

ALLEGATO 2 – Verifiche di stabilità

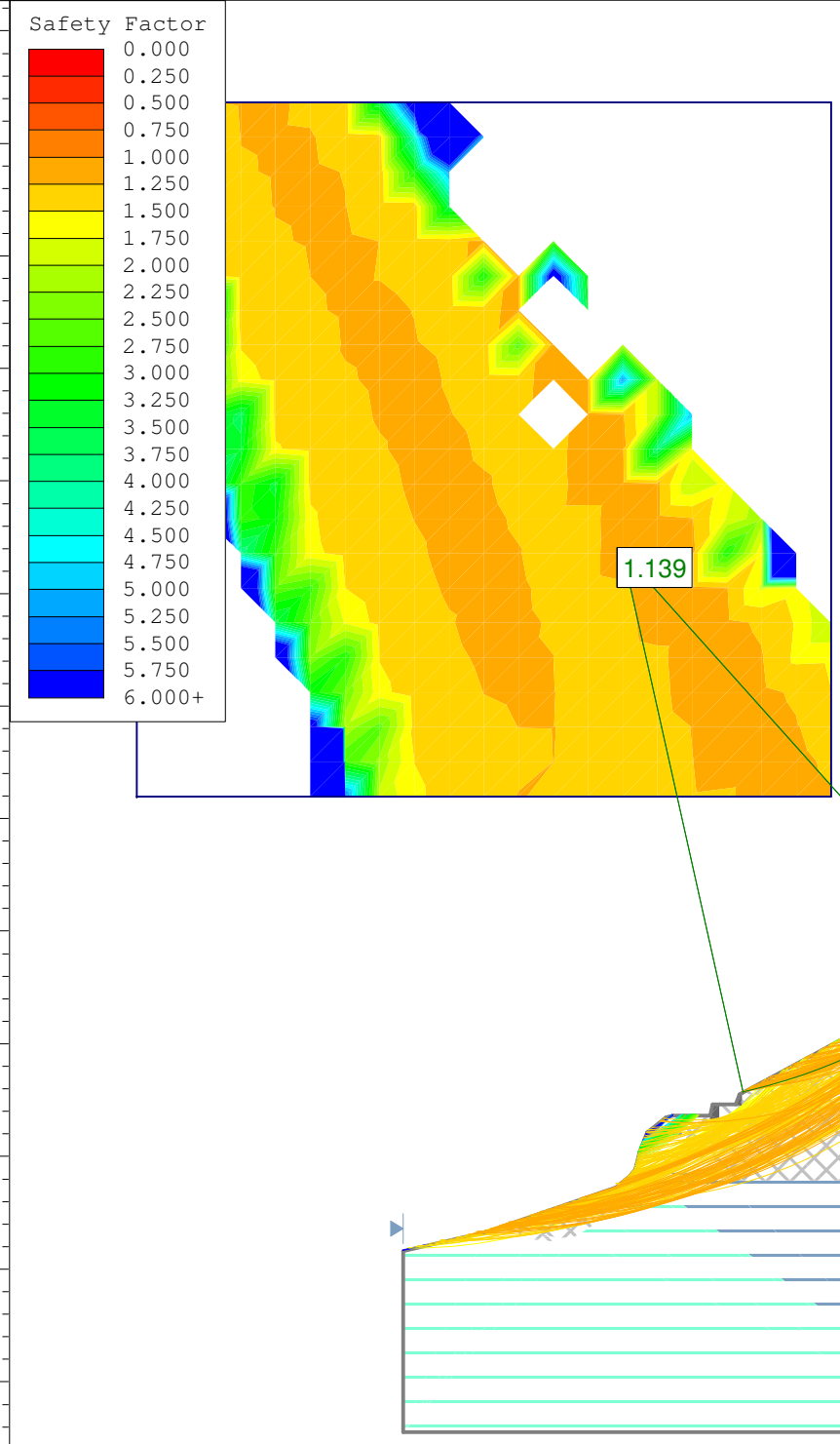
- **Stato di fatto**
- **Profilo di scavo**
- **Profilo di ricomposizione ambientale**

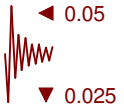

Safety Factor
0.000
0.250
0.500
0.750
1.000
1.250
1.500
1.750
2.000
2.250
2.500
2.750
3.000
3.250
3.500
3.750
4.000
4.250
4.500
4.750
5.000
5.250
5.500
5.750
6.000+
1.603
0.05
0.025
Analysis Methods
Analysis Methods used:
GLE/Morgenstern-Price
Janbu corrected
Material Properties
Material: Calcari della Val Tanarello
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 26.96 kN/m3
Cohesion: 78.99 kPa
Friction Angle: 39.15 degrees
Material: Formazione di Caprauna
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 25.92 kN/m3
Cohesion: 29.25 kPa
Friction Angle: 27.61 degrees
Global Minimums
Method: janbu corrected
FS: 1.602810
Method: gle/morgenstern-price
FS: 1.562260
ANALISI DI STABILITA'
SEZIONE 5 - STATO ATTUALE
condizioni dinamiche
300
250
200
150
100
50
0 m
-50 m
0
50
100
150
200
250
300
350



Analysis Methods
Analysis Methods used:
GLE/Morgenstern-Price
Janbu corrected
Material Properties
Material: Calcari della Val Tanarello
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 26.96 kN/m3
Cohesion: 78.99 kPa
Friction Angle: 39.15 degrees
Material: Formazione di Caprauna
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 25.92 kN/m3
Cohesion: 29.25 kPa
Friction Angle: 27.61 degrees
Global Minimums
Method: janbu corrected
FS: 1.249340
Method: gle/morgenstern-price
FS: 1.246060

ANALISI DI STABILITA'
SEZIONE 5 - PROFILO FINALE DI SCAVO
condizioni dinamiche





Analysis Methods
Analysis Methods used:
GLE/Morgenstern-Price
Janbu corrected
Material Properties
Material: Calcari della Val Tanarello
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 26.96 kN/m3
Cohesion: 78.99 kPa
Friction Angle: 39.15 degrees
Material: Formazione di Caprauna
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 25.92 kN/m3
Cohesion: 29.25 kPa
Friction Angle: 27.61 degrees
Material: Riporto
Strength Type: Mohr-Coulomb
Unit Weight: 20.74 kN/m3
Cohesion: 4.43 kPa
Friction Angle: 29.32 degrees
Global Minimums
Method: janbu corrected
FS: 1.139390
Method: gle/morgenstern-price
FS: 1.124960

ANALISI DI STABILITA'
SEZIONE 5 - RIPROFILATURA FINALE
condizioni dinamiche