PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO

COMUNE DI CEMBRA-LISIGNAGO

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA
STUDIO DI COMPATIBILITA'
PROGETTO PRELIMINARE
Area estrattiva di Cembra - Sistemazione versante zona Sud (ex cava Peschiera)"

COMMITTENTE: NUOVA ECOLOGIA

il geologo il progettista il committente

Giugno 2022

STUDIO GEOLOGICO ASSOCIATO GEOALP

dott. geol. Franca Bazzanella
dott. geol. Gianfranco Bazzoli
dott. geol. Icilio Vigna

P. IVA 01332500220
Viale Europa, 78 - Loc. S. Cristoforo
Pergine Valsugana (TN) - 38057
Tel. 0461-985577 E-mail: geoalp.tn@virgilio.it
E-mail PEC: geoalp@pec-legal.it
Web homepage: http://www.geoalp.eu

2006/22

INDICE

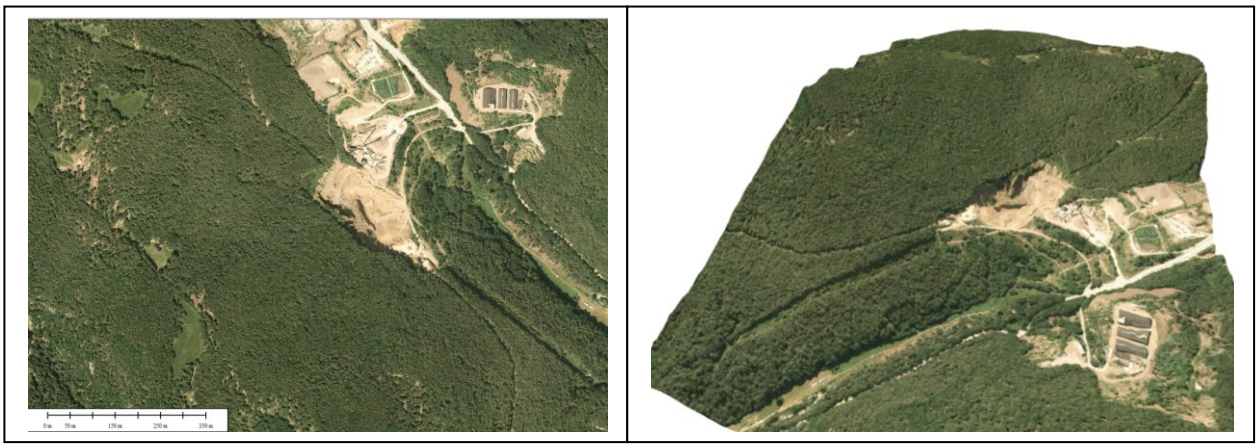
1. INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO

2. IL PROGETTO

3. RELAZIONE GEOLOGICA
3.1. Piano delle indagini geologiche, caratterizzazione e modellazione geologica
3.2. Geomorfologia ed idrografia
3.3. Litologia
3.4. Idrogeologia - Vincolo idrogeologico
3.5. Tettonica
3.6. I fronti di cava
3.7. Sismicità
3.8. Storia d'uso del suolo

4. RELAZIONE GEOTECNICA
4.1. Piano delle indagini geotecniche, modello geotecnico - caratteristiche geotecniche dei terreni
4.2. Stabilità dei fronti
4.3. Ripristini
4.4. Conclusioni

5. STUDIO DI COMPATIBILITA'



Ai sensi della L.148/11, del D.P.R. 137/12 e della L. 27/12 si dichiara che lo Studio Geologico Associato GeoAlp è assicurato per i rischi connessi all'esercizio della attività professionale degli associati con polizza Liberty Mutual Insurance Europe.

Lo Studio Geologico Associato GeoAlp ha scelto di utilizzare per le sue relazioni i fonts a risparmio di toner "ecofonts". Ciò può comportare un aspetto più chiaro del carattere nel formato pdf delle relazioni. Lo riteniamo un sacrificio accettabile nell'ottica di un uso consapevole delle risorse.

1. INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO

Le presenti relazioni sono riferite al progetto preliminare **"Area estrattiva di Cembra - Sistemazione versante zona Sud (ex cava Peschiera)", curato dallo Studio Tecnico Associato STA, Ing. Zanetti Andrea e commissionato da Nuova Ecologia.**

Questo documento fa riferimento alle nuove NTC-2018 nonchè alle "Direttive per la redazione delle relazioni geologiche, geotecniche e sismiche ai sensi delle NTC 14/01/208 e della normativa nazionale e provinciale collegata" degli Ordini Professionali dei Geologi e Ingegneri di Trento e Bolzano dd. 08/11/2010.

Normativa di riferimento

- Circolare 21/01/2019, n° 7 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle NTC di cui al D.M. 17/01/2018.
- NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI D.M. 17 gennaio 2018 - NTC 2018
- D.G.P. PAT 1317 del 4 settembre 2020 - Carta di Sintesi della Pericolosità e succ. D.G.P. 18/03/2022
- D.P.R. 13 giugno 2017 n. 120 e s.m. (disciplina terre e rocce da scavo)
- l.p. PAT 4 agosto 2015, n. 15 e s.m. - Legge provinciale per il governo del territorio
- Delibera di G.P. PAT n° 2248 del 05/09/2008 e s.m. - Carta delle Risorse Idriche
- l.p. PAT 27 maggio 2008, n. 5 e s.m. - Piano Urbanistico Provinciale della PAT (PUP)
- C.S.LL.PP. "Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007"
- D.P.G.P. 26 gennaio 1987, n. 1- 41/Leg. e succ. mod. ed agg.: Testo unico provinciale sulla tutela dell'ambiente dagli inquinamenti.
- "Linee guida sull'applicazione della disciplina per l'utilizzo delle terre e rocce da scavo" (Del. 54/2019 del Consiglio SNPA - Sistema Nazionale Protezione Ambiente)
- D. Lgs. 152/2006
- DCIA 04/02/1977
- "Direttive per la redazione delle relazioni geologiche, geotecniche e sismiche ai sensi delle NTC 14/01/2008 e della normativa nazionale e provinciale collegata" degli Ordini Professionali dei Geologi e Ingegneri di Trento e Bolzano dd. 08/11/2010.

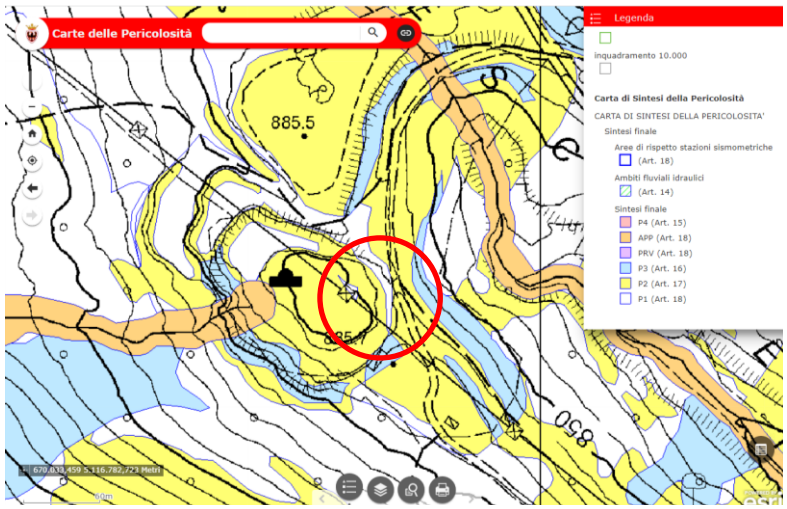
Le figure a seguire presentano l'inquadramento dell'area di interesse:

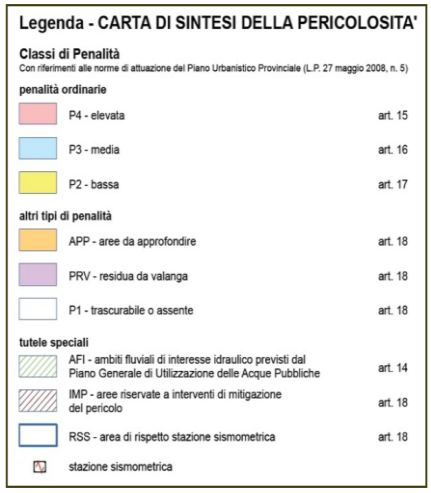
Strumento urbanistico	**Classificazione**
Carta di Sintesi della Pericolosità CSP del P.U.P. (in vigore dal 02 ottobre 2020)	Litogeomorfologica = P1+P2+P3 Crolli = P2 Torrentizia = APP Frane: area prossima, ma esterna, a P3
Classificazione sismica	Area sismica a sismicità trascurabile (zona sismica 4)
Carta delle Risorse Idriche del P.U.P.	Area senza vincoli
Carta del Vincolo Idrogeologico	Area interna al vincolo

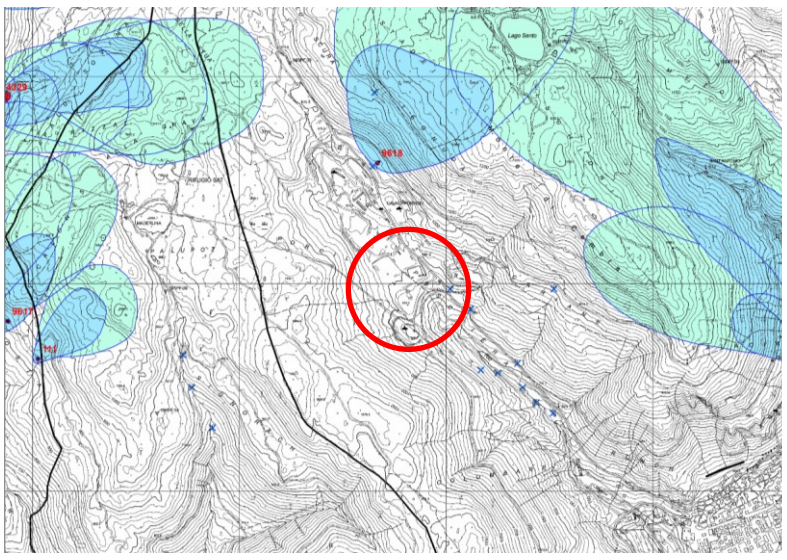
Il piano di indagine fa proprie anche delle indagini geognostiche pregresse eseguite in situ dallo scrivente per altro progetto: queste indagini non hanno comunque potuto far prendere completa osservazione di tutto il terreno coinvolto e dunque permane la necessità di ulteriori verifiche sul modello geologico

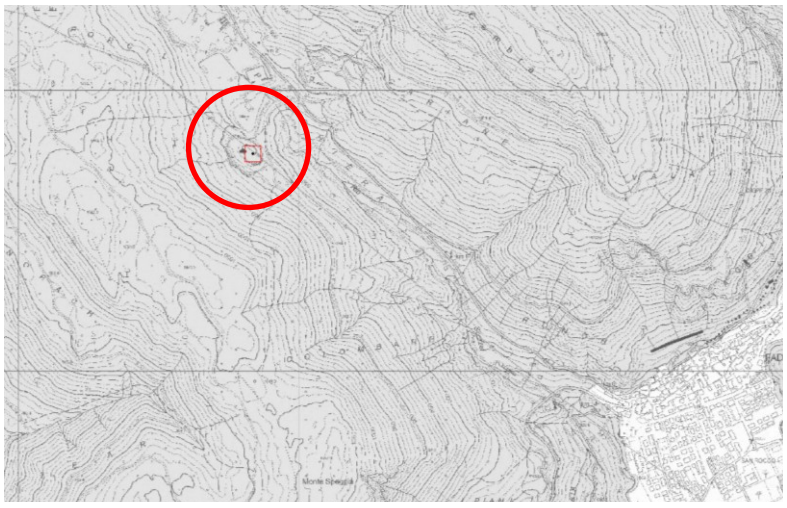
Il presente elaborato ha anche la finalità di accedere al rilascio dei titoli edilizi e pertanto si rinvia con esplicita prescrizione alla sede esecutiva la verifica della rispondenza fra le ipotesi contenute nel presente elaborato e la situazione geologica effettiva.

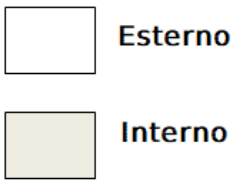
Alla stesura del presente elaborato ha contribuito il Geol. Mirko DeMozzi.





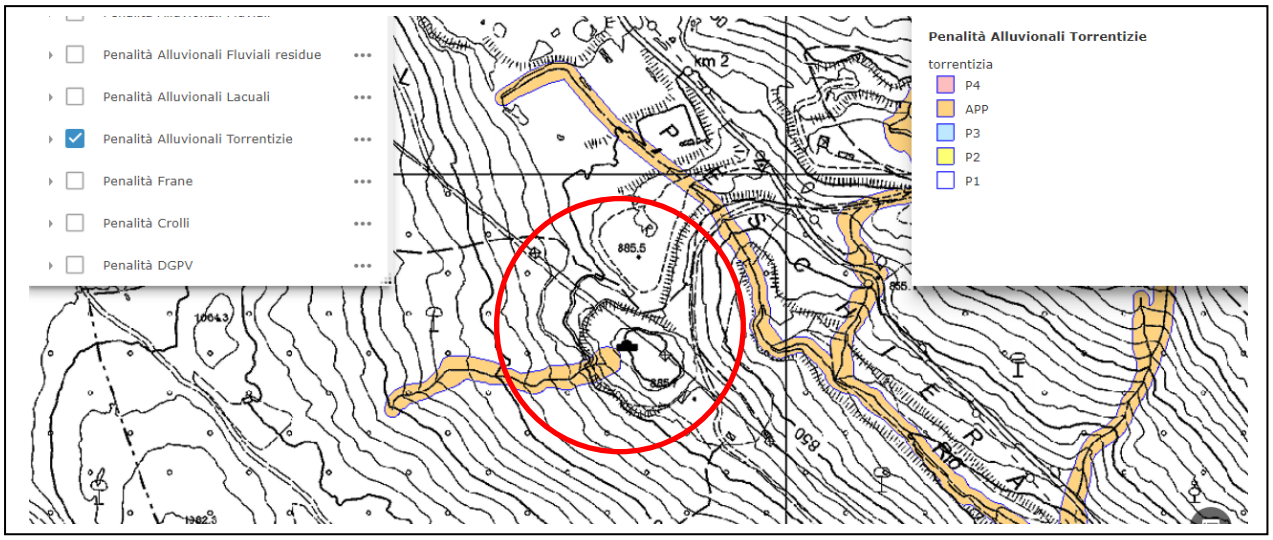


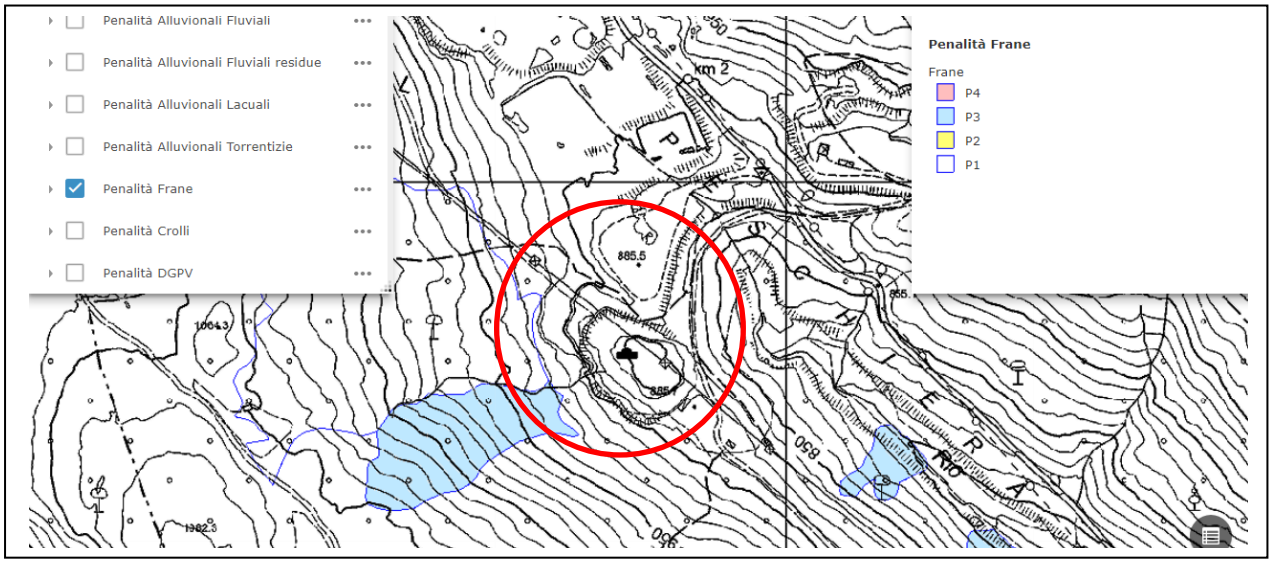


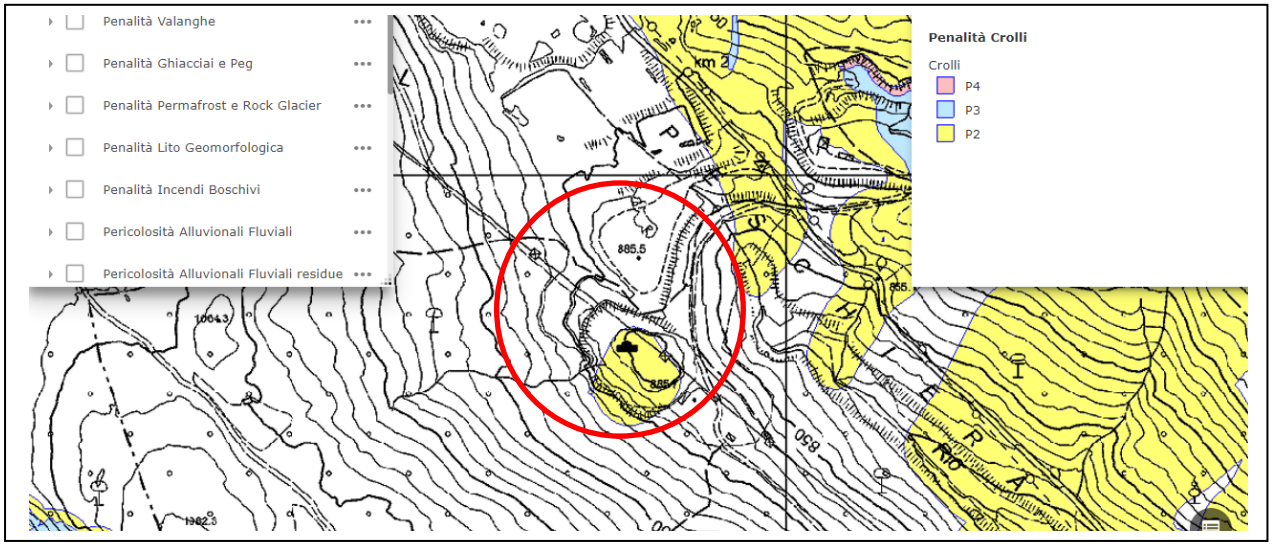


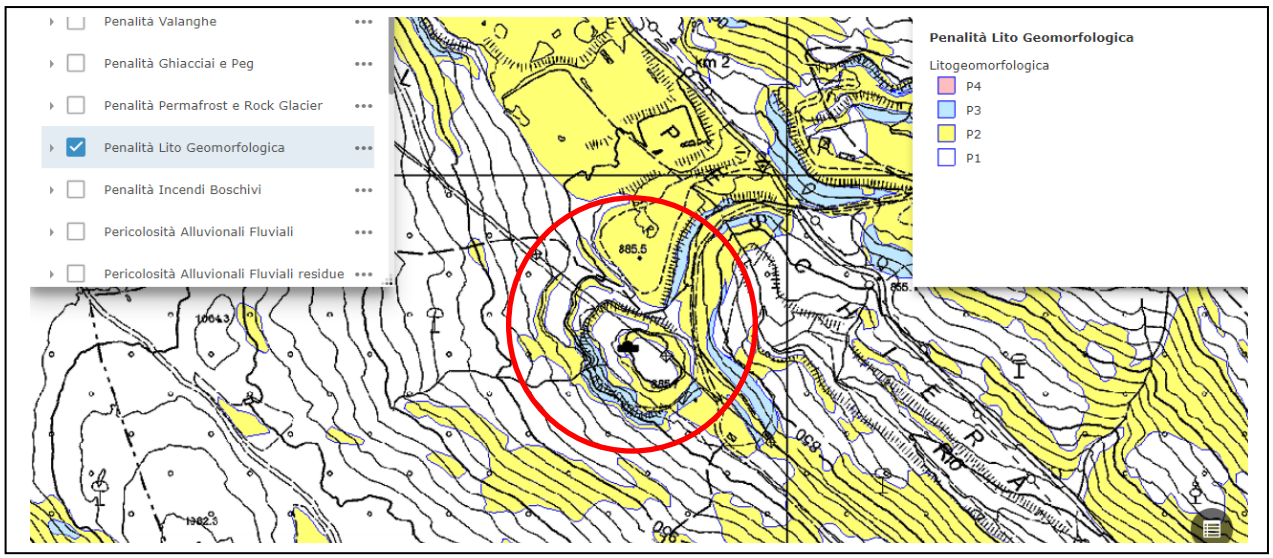
**Inquadramento dell'area: in alto la Carta di Sintesi della Pericolosità del PUP;
al centro la Carta delle Risorse Idriche del PUP;
in basso la Mappa del Vincolo Idrogeologico.**

Le componenti specifiche della penalità indicate dalla CSP sono le seguenti:







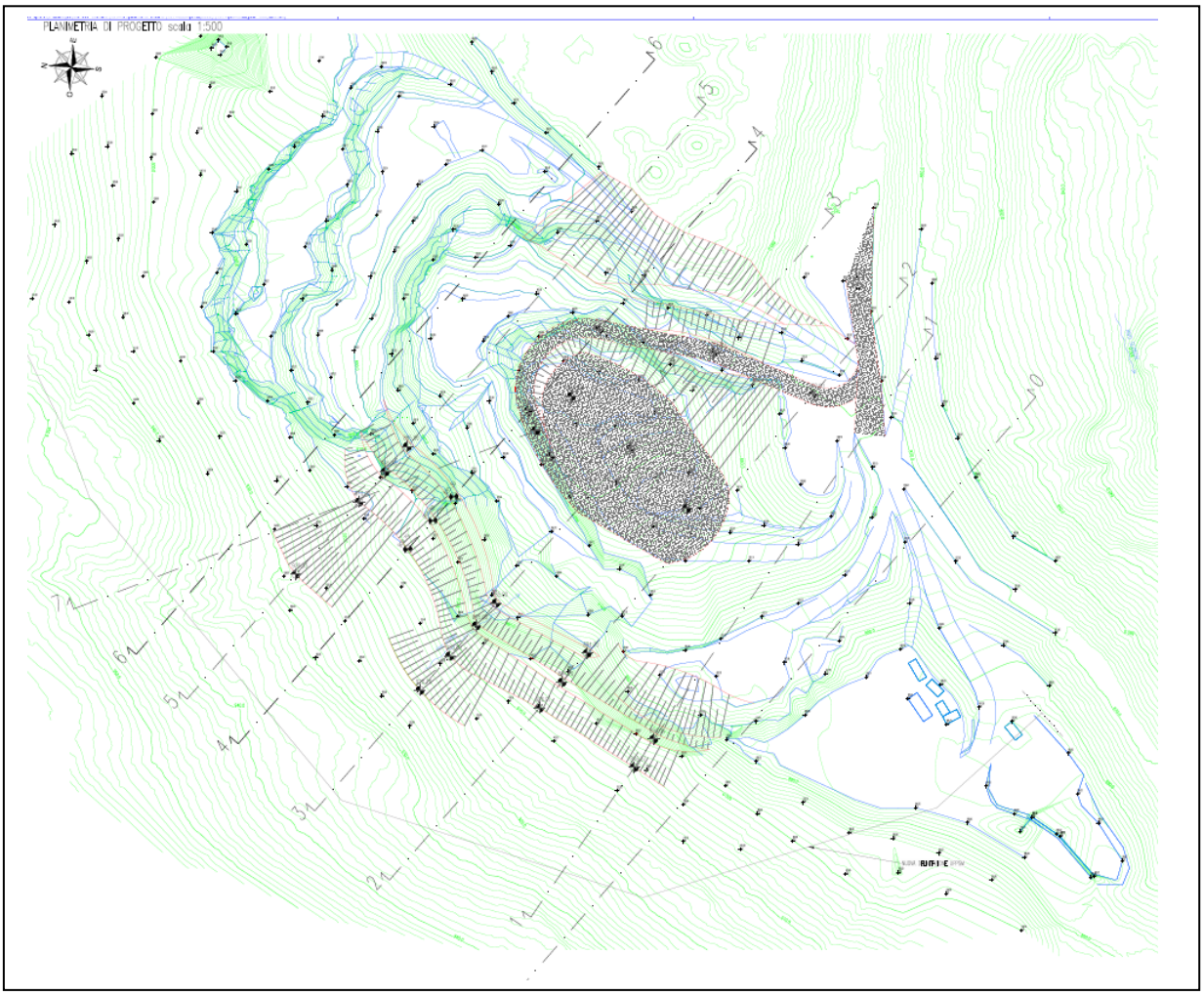


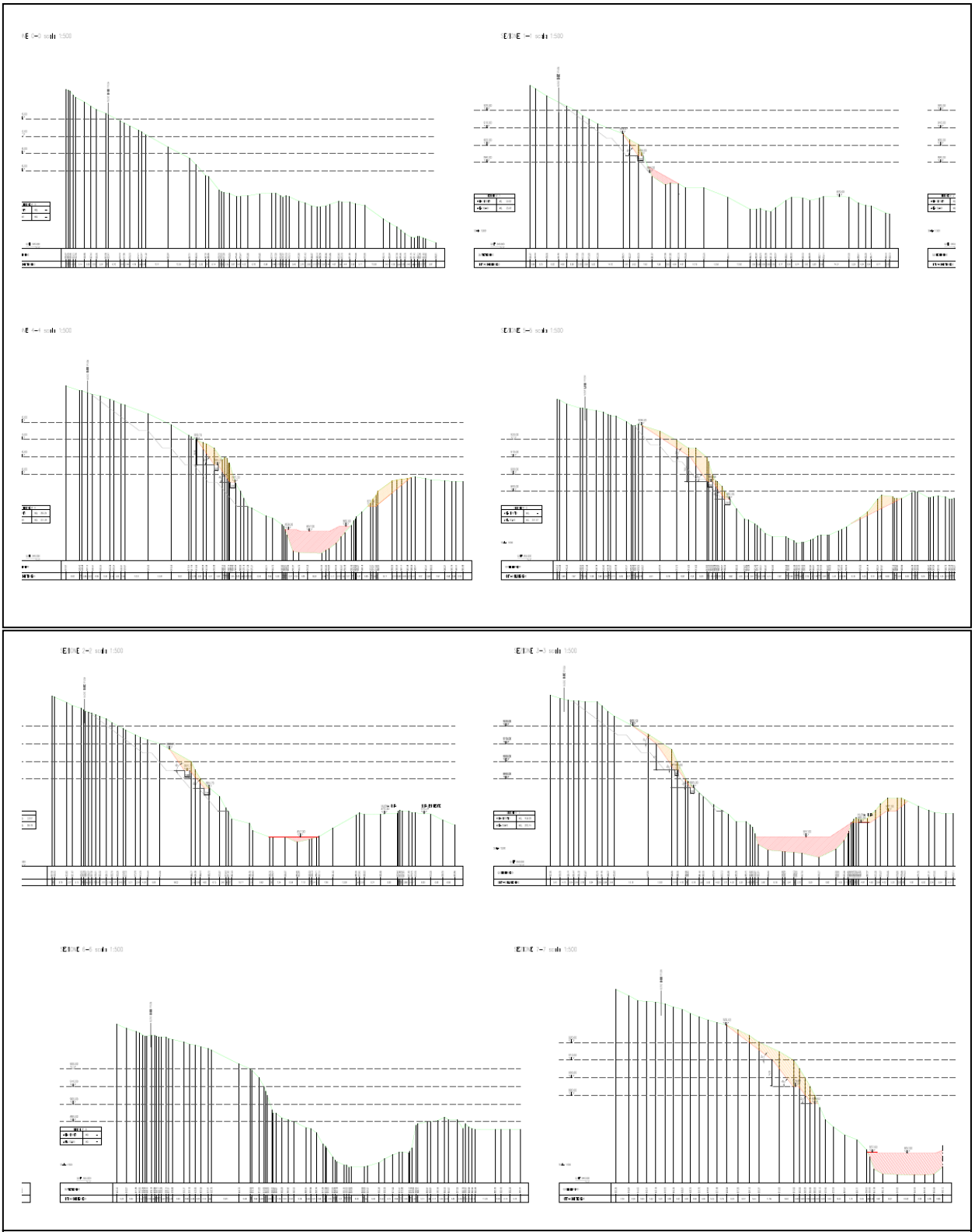
Per acquisire le informazioni geologiche e geotecniche sono state eseguite delle indagini geologiche comprendenti la raccolta dati ed il rilevamento geologico di superficie. Sono anche avvenuti dei confronti tecnici presso la struttura del Servizio Geologico PAT per un precedente progetto relativo alla stessa area.

Panoramiche del sito.

2. IL PROGETTO

Il progetto preliminare in esame prevede la sistemazione dei fronti dismessi della cava Peschiera e che attualmente si presentano instabili e modellati in modo non razionale: per maggiori dettagli si rinvia agli elaborati di progetto.





Estratto, modificato, dagli elaborati di progetto. Scala grafica.

3. RELAZIONE GEOLOGICA

Sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito (contiene il piano preliminare di indagine) riferita al progetto preliminare: **"Area estrattiva di Cembra - Sistemazione versante zona Sud (ex cava Peschiera)", curato dallo Studio Tecnico Associato STA, Ing. Zanetti Andrea e commissionato da Nuova Ecologia.**

3.1. Piano delle indagini geologiche, caratterizzazione e modellazione geologica

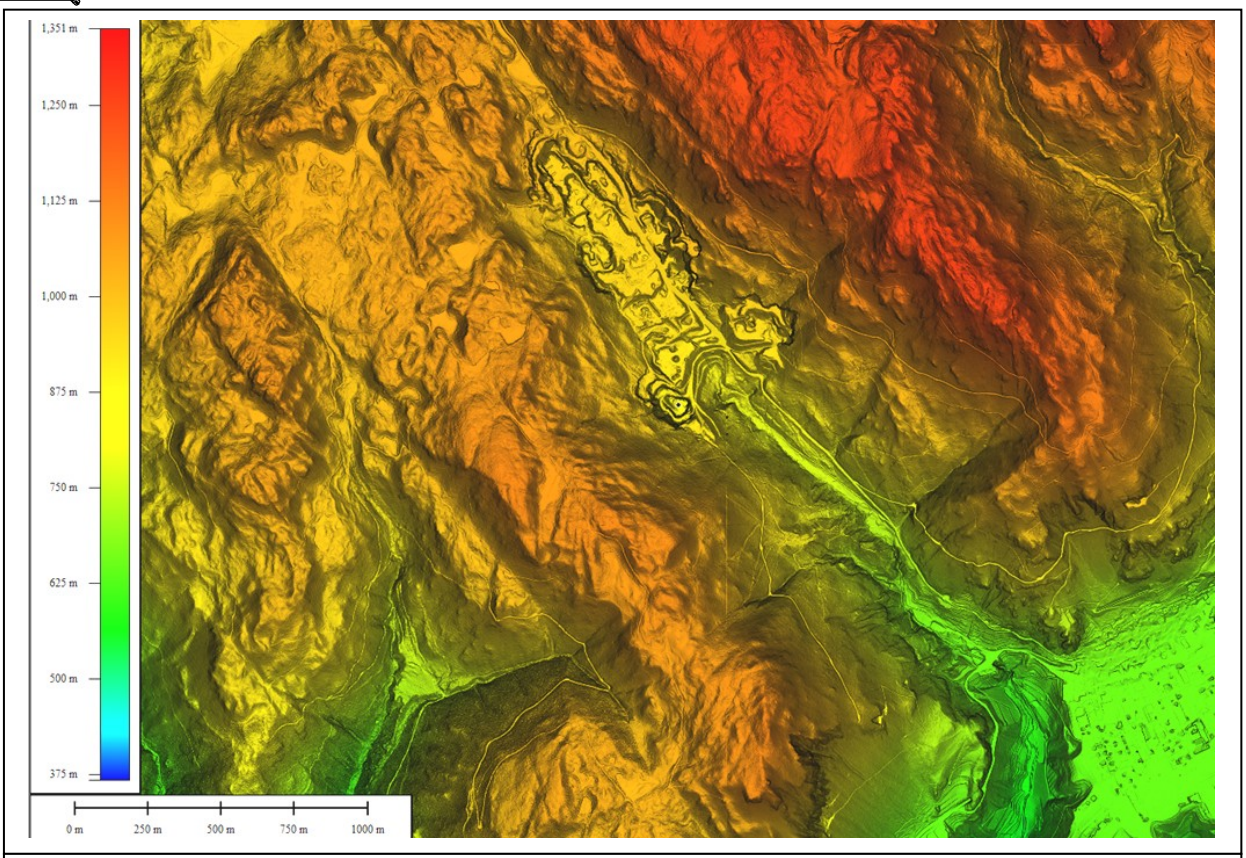
Il piano di indagine, data la tipologia del lavoro, è consistito nel rilevamento geomeccanico dei fronti rocciosi e delle zone circostanti e l'esecuzione di un'indagine geofisica preliminare HVSR: queste indagini non hanno comunque potuto far prendere completa osservazione di tutto il terreno coinvolto e dunque permane la necessità di ulteriori verifiche sul modello geologico in sed3e esecutiva. Il presente elaborato ha anche la finalità di accedere al rilascio dei titoli edilizi e pertanto si rinvia con esplicita prescrizione alla sede esecutiva la verifica della rispondenza fra le ipotesi contenute nel presente elaborato e la situazione geologica effettiva.

La modellazione geologica è la "ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento". La circostanza che il sedime è composto da terreno di natura anisotropa (depositi quaternari detritico morenici coprenti con contatto erosivo irregolare la roccia riolitica) e che le indagini in questa fase non hanno permesso di investigare direttamente tutto il terreno coinvolto, implica che il livello di conoscenza acquisita non preclude l'esistenza di "eventuali incertezze nella ricostruzione geologica che possano risultare significative ai fini dello sviluppo del progetto".

3.2. Geomorfologia ed idrografia

L'area di interesse si trova fra le quote di 830 - 930 m s.l.m., baricentro area in coordinate UTM WGS 84 ZONE 32 N (m): X: 669837, Y: 5116773, sulla sponda sinistra idrografica del Rio Scorzai, nella parte inferiore dell'area estrattiva di Cembra.

Riferendosi all'area vasta appare evidente come il territorio sia morfologicamente organizzato secondo la direttrice SE-NE (frecce bianche).

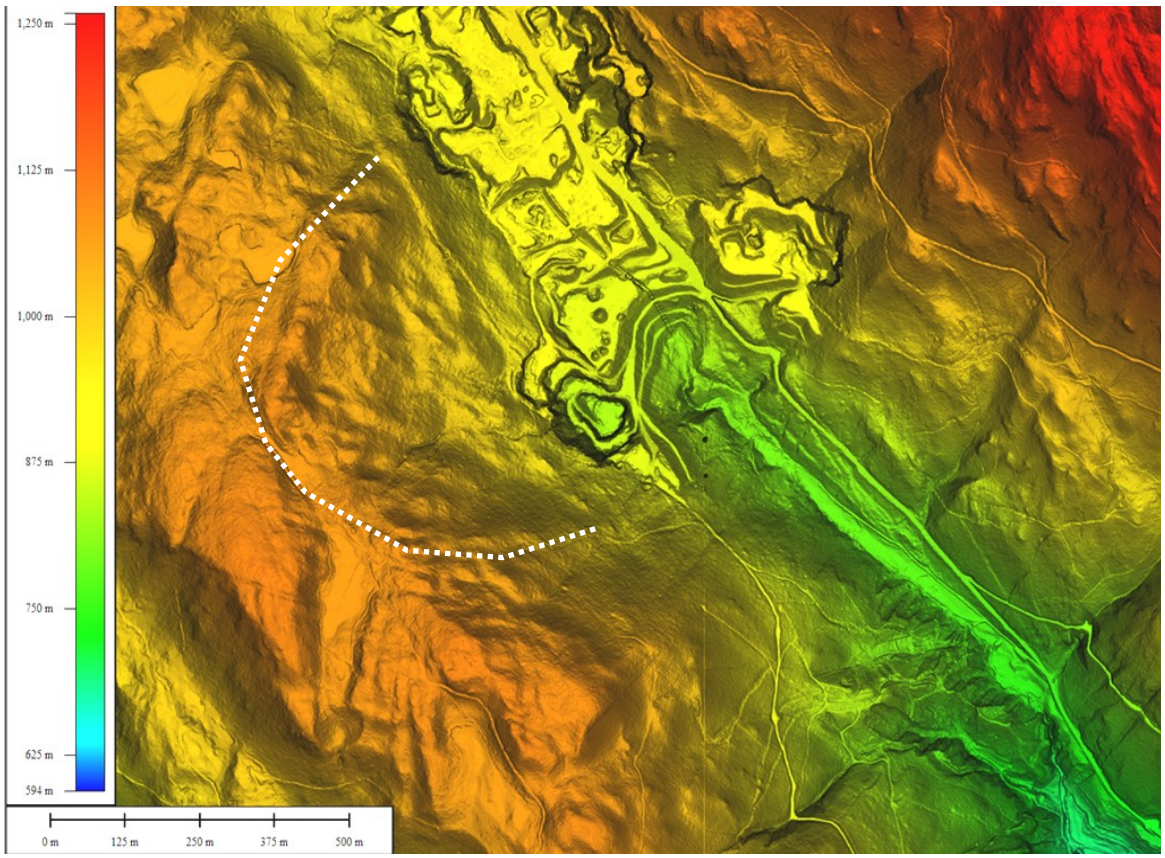


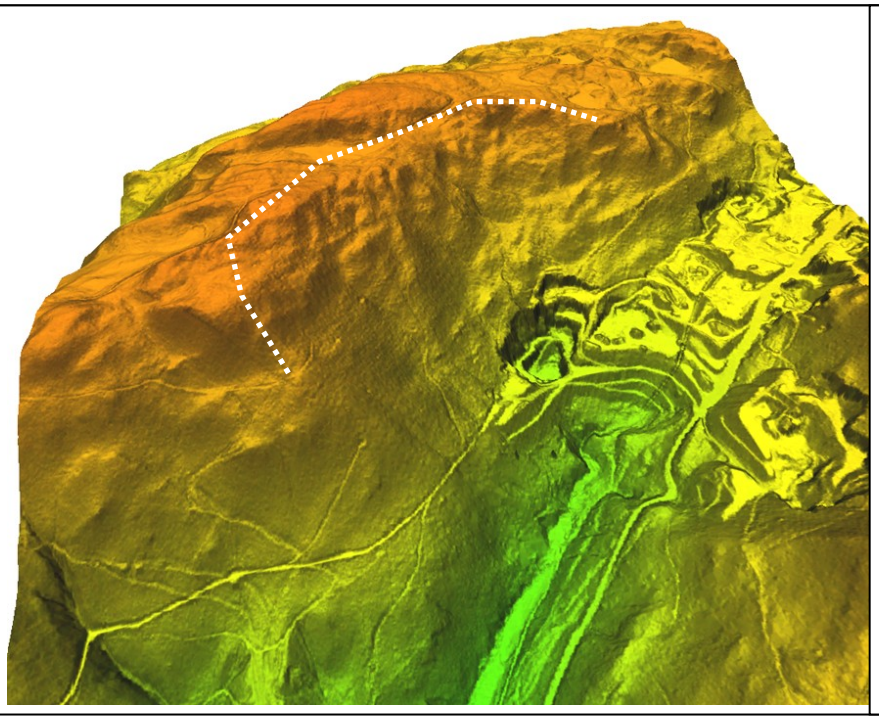
Assetto geomorfologico dell'area vasta, da rilievo Lidar 3D.

Questa organizzazione è chiaramente governata in accordo ai principali motivi tettonico – strutturali (faglie transpressive destre ad orientamento scledense) che caratterizzano il settore di interesse.

Ciò spiega sia l'orientazione stessa della Valle del Rio Scorzai, così come anche gli allineamenti delle creste e delle principali discontinuità morfologiche della zona, che sono tutti riferibili alla medesima origine geologico strutturale.

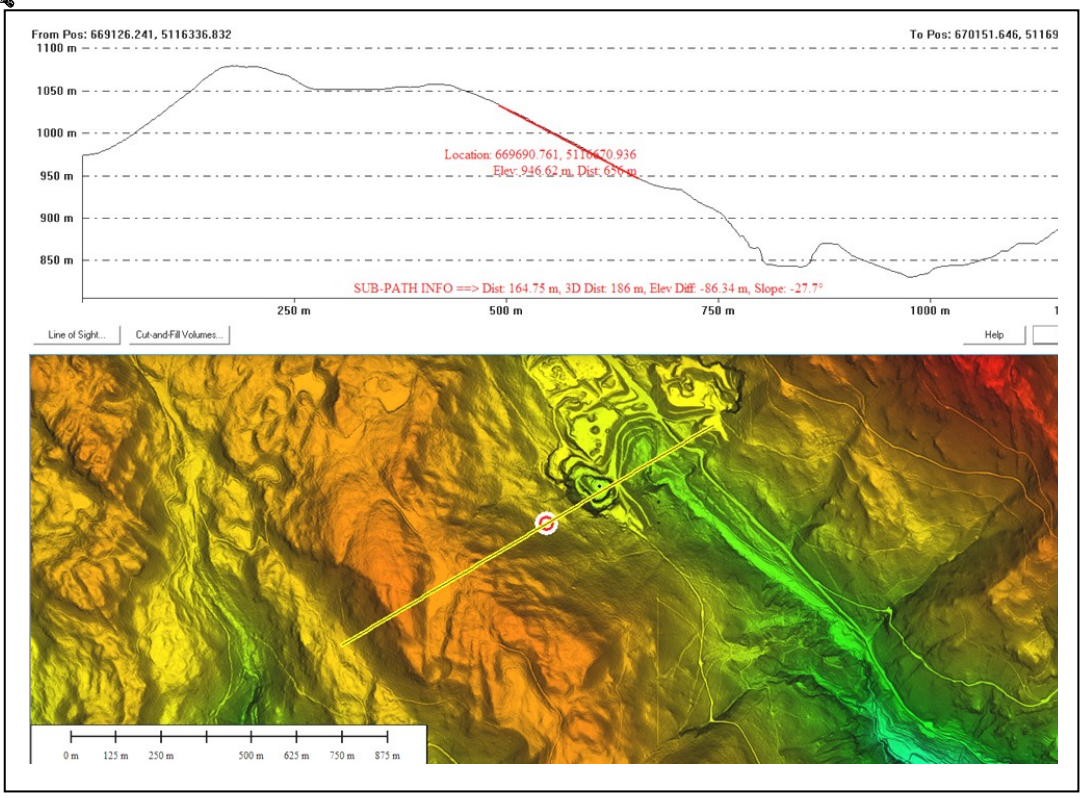
Passando dall'area vasta a quella di dettaglio, il sito è posto alla base di un versante modellato ad ampio catino e con morfologia complessa: in posizione centrale del catino sono presenti alcuni solchi che formano un reticolo idrografico poco sviluppato.





Assetto geomorfologico di dettaglio, da rilievo Lidar 3D. Evidenziato il coronamento del versante afferente alla cava

La zona sommitale è inclinata attorno a 28 gradi, cui segue un tratto meno inclinato (10°) che poi presenta una scarpata, ancora inclinata attorno a 30°, che si raccorda al ciglio di scavo della cava, strapiombante.



Nella parte alta del versante, interamente boscato prevalentemente a ceduo, si osserva una nicchia sommitale sotto la quale si osservano, variamente distribuiti, dei piccoli terrazzamenti intermedi, da poco inclinati a sub pianeggianti.

Nicchia sommitale.

Terrazzamenti intermedi poco inclinati.

Questa morfologia è interpretabile come l'effetto di antichi movimenti gravitativi di tipo traslativo, verosimilmente avvenuti nelle fasi decompressive di deglaciazione wurmiana, circa 16.000 anni dal presente.

Durante questa ultima espansione glaciale (LGM Last Glacial Maximum, circa 24.000 anni dal presente) si ritiene il ghiaccio avesse raggiunto quote, nella zona di interesse, attorno a 1600 m s.l.m., quindi con uno spessore attorno a 700 m rispetto alla cava.

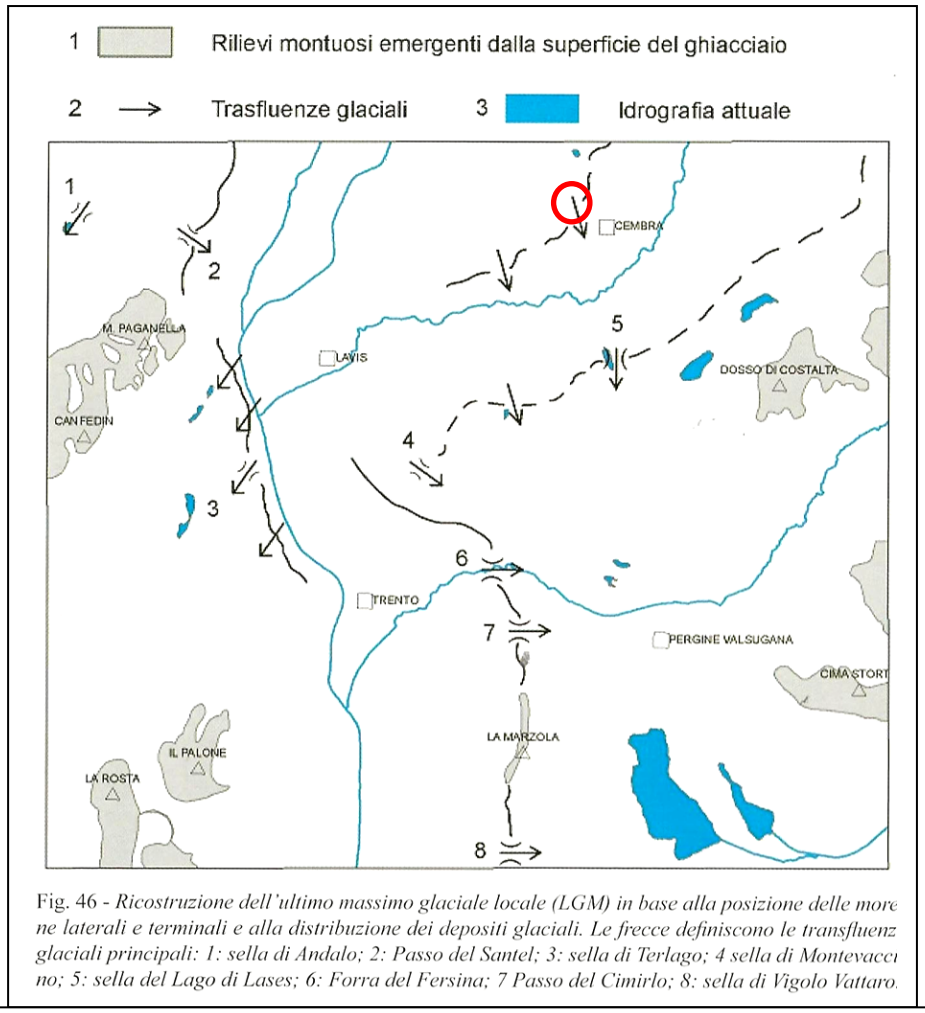
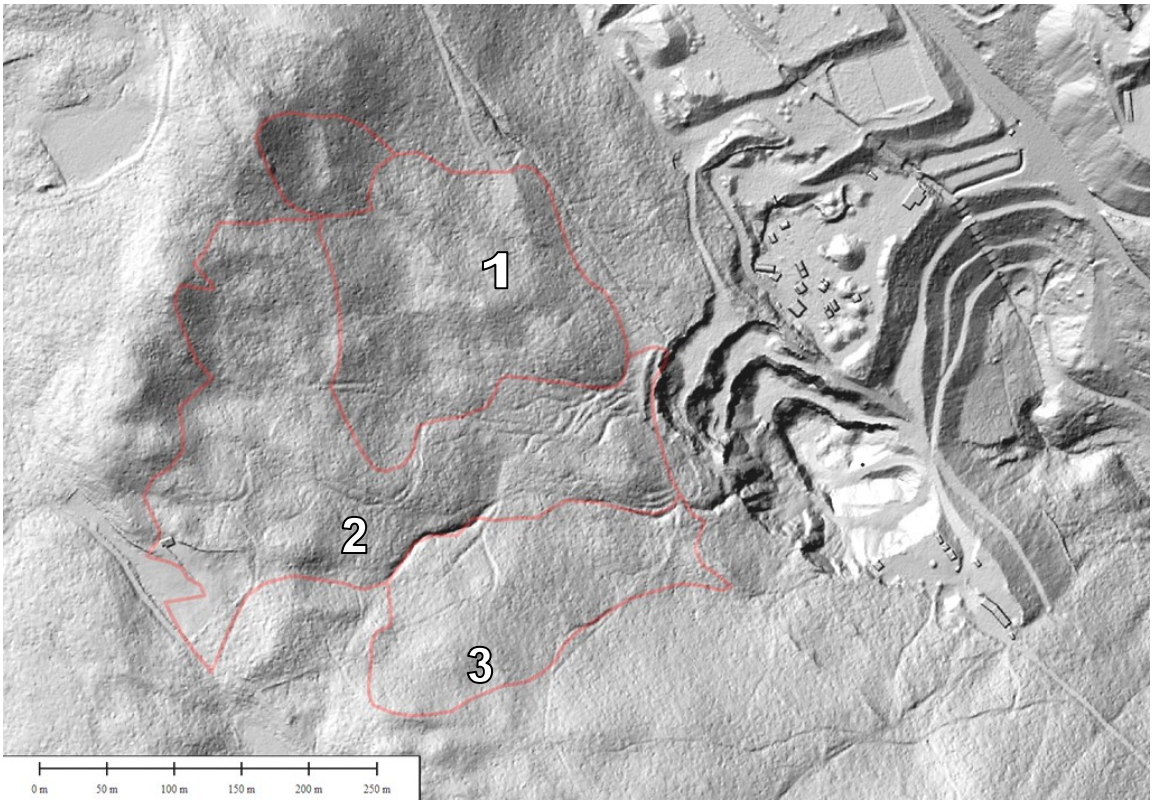


Fig. 46 - *Ricostruzione dell'ultimo massimo glaciale locale (LGM) in base alla posizione delle more ne laterali e terminali e alla distribuzione dei depositi glaciali. Le frecce definiscono le transfluenz glaciali principali: 1: sella di Andalo; 2: Passo del Santel; 3: sella di Terlago; 4 sella di Montevacci no; 5: sella del Lago di Lases; 6: Forra del Fersina; 7 Passo del Cimirlo; 8: sella di Vigolo Vattaro.*

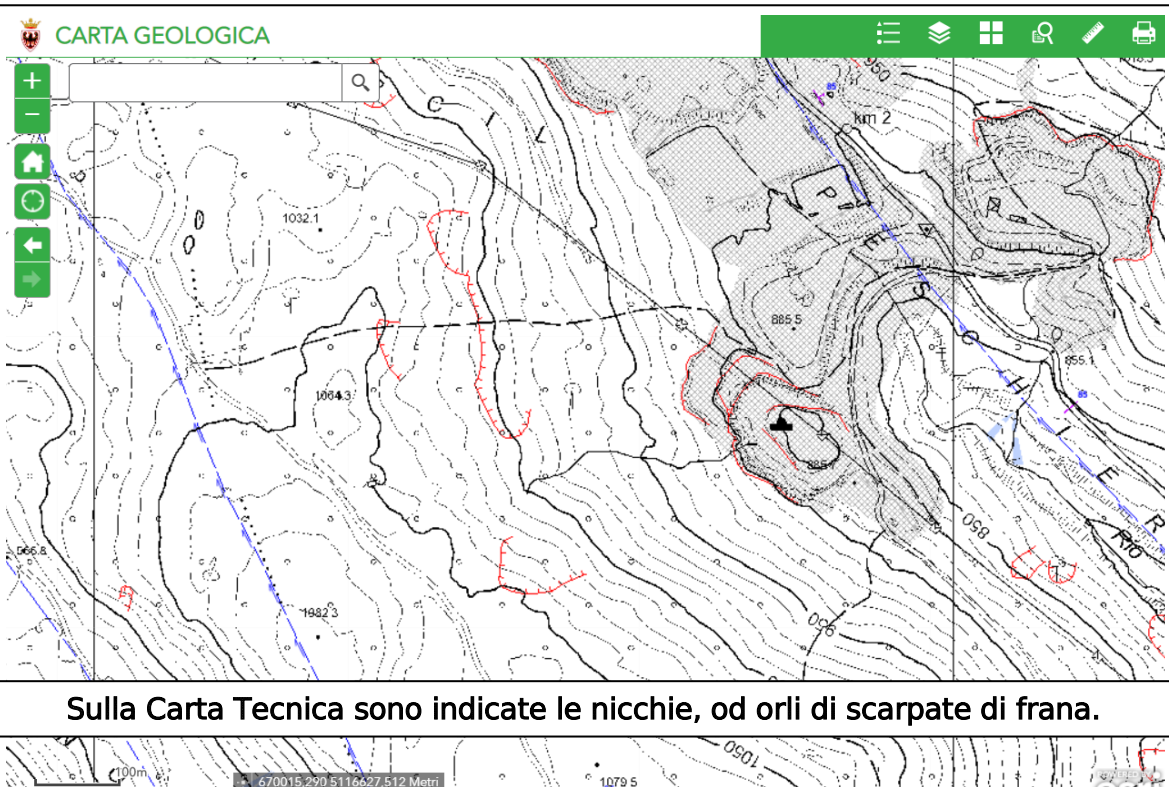
Dalle note illustrative del foglio Trento del Carg (Servizio Geologico PAT).

Secondo le cartografie più recenti (2018) edite dal Servizio Geologico PAT sul versante si possono distinguere alcuni corpi di frana che possono essere interpretati come formanti 3 principali ammassi con le relative nicchie, od orli di scarpata di frana:

1 = frana quiescente traslativa
2 = frana traslativa stabilizzata
3 = frana quiescente roto - traslativa.

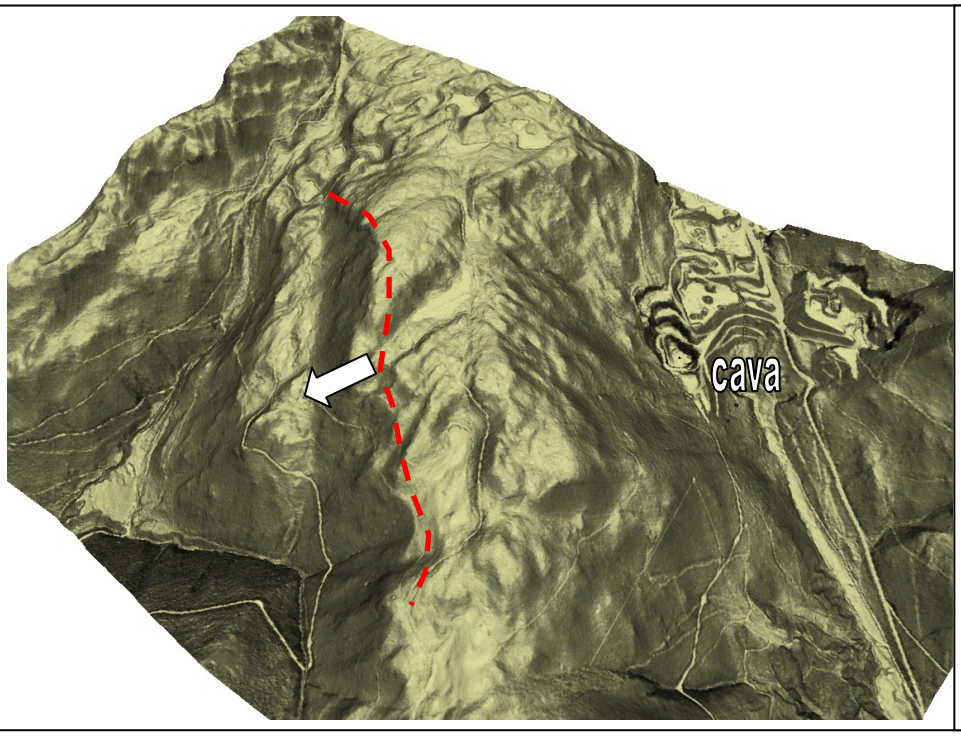


Su base Lidar 2014 sono indicate le frane segnalate dal Servizio Geologico PAT.



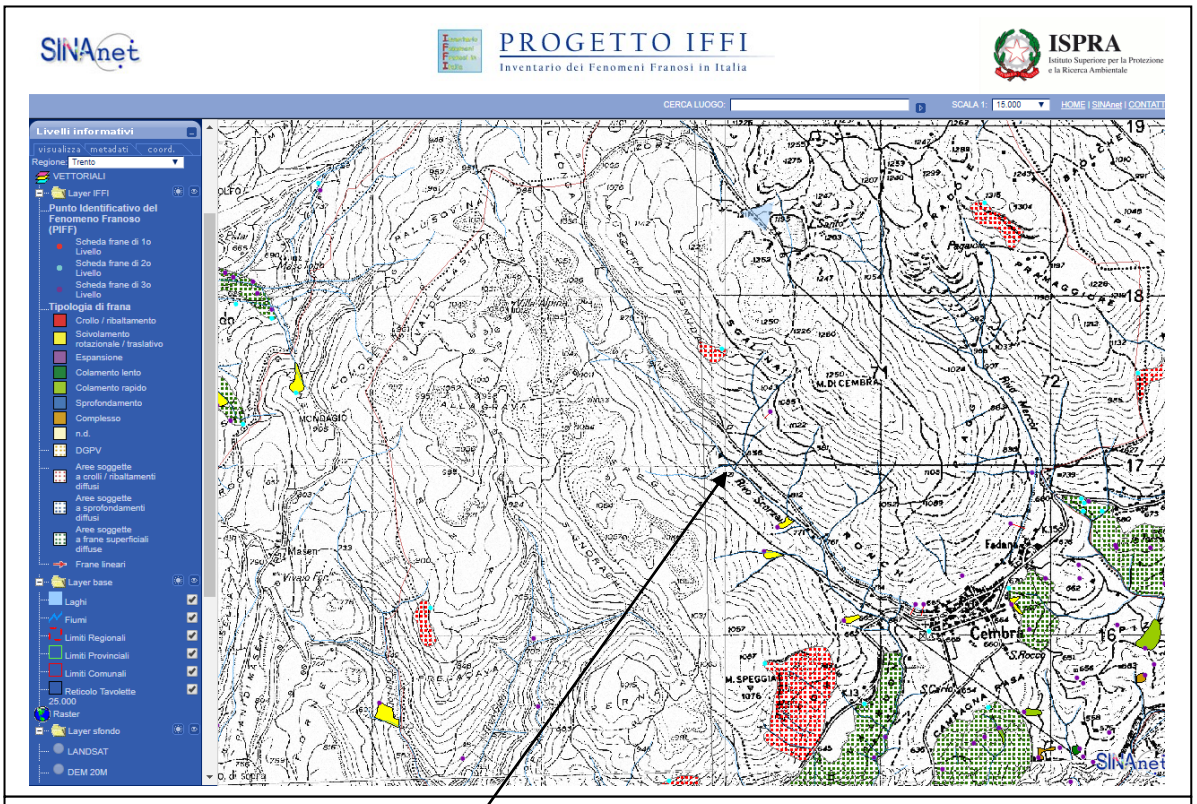
Sulla Carta Tecnica sono indicate le nicchie, od orli di scarpate di frana.

Ancora riferendosi alla tematica delle frane, lo scrivente ritiene che nelle cartografie vada indicato un ulteriore dissesto, di dimensioni molto maggiori, ma che interessa il versante opposto del versante alla cui base è la cava di interesse.



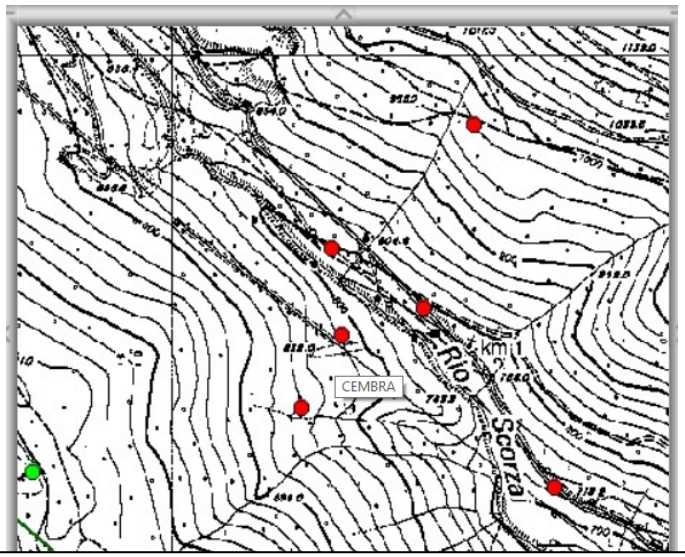
Indicato un dissesto a grande scala, peraltro orientato sul versante opposto rispetto alla cava di interesse.

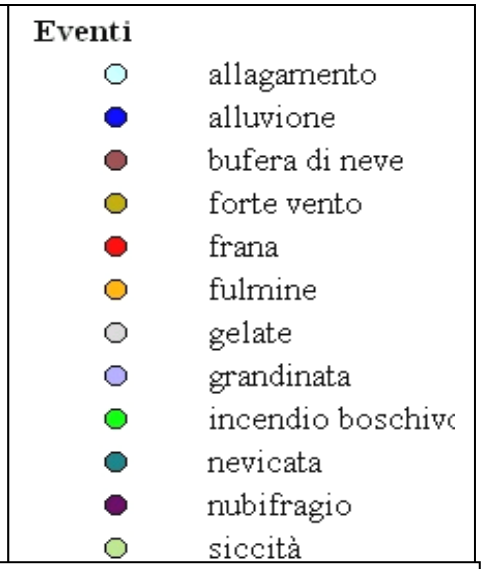
Si riporta un estratto cartografico dalla banca dati **IFFI** (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia), realizzato dall'Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, **ISPRA** e dalle Regioni e Province Autonome: questo data-base mostra ubicazione e tipologia dei fenomeni geomorfologici noti; il sito risulta non risulta coinvolto da fenomeni censiti.



Mappa dissesti IFFI: il sito non è interessato da dissesti censiti.

Si riporta anche la cartografia ARCA: sono indicati numerosi dissesti che non appaiono comunque coinvolgere la zona mineraria di interesse.





Inquadramento dell'area di interesse: in alto la Carta di Sintesi Geologica del PUP; al centro la Carta delle Risorse Idriche del PUP. In basso la Mappa del Catasto Dissesti AR.CA.

CADUTA IN LOCALITA' "PESCHIERA" CAUSA IL DISGELO

Una grossa frana a Cembra danneggia l'acquedotto e la linea elettrica

Un progetto che da tempo attende la sua esecuzione

Cembra, 27 febbraio

Una grossa frana causa il disgelo, è precipitata l'altro giorno in località «Peschiera», provocando qualche danno alle opere di presa dell'acquedotto comunale. La massa terrosa ha travolto nel suo tragitto numerose piante di larice interrompendo per qualche tempo anche l'elettrodotto che passa per quella zona.

L'acqua giunta in paese era di color caffelatte come la acqua dei torrenti in piena. In giornata anche perchè il prezioso alimento era assolutamente non commestibile, le autorità comunali e forestali hanno effettuato un sopralluogo procedendo immediatamente con squadre di operai ai lavori di ripristino più urgente. Il problema dell'acquedotto è attualmente allo studio da parte delle autorità comunali, poichè l'impianto si è dimostrato in più riprese insufficiente, specie nella parte alta del paese e nei periodi di siccità. Un progetto è stato stilato ancora verso il 1950 ma dalla stessa ad ora si è fatto. D'altra parte siamo a conoscenza che sono stati promessi 50 milioni di lire per gli acquedotti della bassa valle di Cembra. E' auspicabile che i soldi giungano presto onde risolvere degli urgentissimi problemi.

Scheda evento

frana (evento n. 3609)

Data: 26/2/1958
Attendibilità evento: attendibile
Attendibilità data: data certa

Comprensorio	Comune	Toponimo	Località
C5	CEMBRA	PESCHIERA	

Elenco danni alle strutture:

Danno	Grado
Acquedotto	gravi
Linea elettica	gravi
Bosco	gravi

Attendibilità: localizzazione certa
Evento georeferenziato: Link Mappa Evento

Elenco documenti

- 28/02/1958 Adige Una grossa frana a Cembra (532 kB)

CEMBRA HA INTERESSATO LA PARTE ALTA DELL'ABITATO

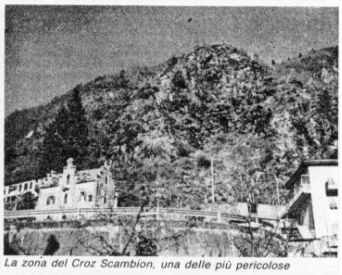
Massi sulla strada per il lago

Immediato l'intervento del servizio della Provincia

L'improvvisa caduta di alcuni massi sulla strada provinciale che porta al lago Santo ha riproposto, ancora una volta, il grave problema della sicurezza nella parte alta dell' abitato di Cembra, sovrastato da una «zona a massimo rischio», come l'ha definita il servizio geologico della Provincia.

Infatti, forse anche a causa delle recenti piogge, seguite da un grave, lungo periodo di siccità, la roccia non ben compatta del Croz Scambion ha ceduto in alcuni punti, lasciando cadere dei sassi, uno dei quali di grosse dimensioni, che hanno destato una giustificata preoccupazione.

E stato interessato immediatamente il servizio competente della Provincia autonoma di Trento, anche a mezzo telegramma inviato dall' amministrazione comunale, tecnici ed esperti hanno provveduto ad un immediato sopralluogo per concertare un programma di pronto intervento contro l' evento calamitoso. Successivamente una squadra di impavidi arrampicatori incaricati dal servizio provinciale, ha provveduto a bonificare alcuni punti pericolosi della parete rocciosa, stendendo quindi molto metri quadrati di rete metallica nei punti dove maggiori erano le possibilità di franamen-



La zona del Croz Scambion, una delle più pericolose

Se da parte della Provincia è stato immediatamente provveduto ad intervenire per scongiurare i pericoli più imminenti, tutti a Cembra si augurano che l' organo provinciale continui nel suo interessamento affinchè vengono eliminati per sempre eventuali, nuovi movimenti franosi e non si ripetano i fatti gravi di alcuni anni addietro quando, parte del paese dovette essere evacuato per analoghi motivi di grande pericolo per l' incolumità delle persone.

Scheda evento

frana (evento n. 6429)

Data: 5/5/1990
Attendibilità evento: attendibile
Attendibilità data: data certa

Comprensorio	Comune	Toponimo	Località
C5	CEMBRA	LAGO SANTO	Croz Scambion

Attendibilità: localizzazione certa
Evento georeferenziato: Link Mappa Evento

Elenco documenti

- 06/05/1990 Alto Adige Massi sulla strada per il lago (529 kB)

Scheda evento

frana (evento n. 22900)

Data:
Attendibilità evento: attendibile
Attendibilità data: non databile

Comprensorio	Comune	Toponimo	Località
C5	CEMBRA	RIO SCORZAI	

Attendibilità: localizzazione certa
Evento georeferenziato: Link Mappa Evento

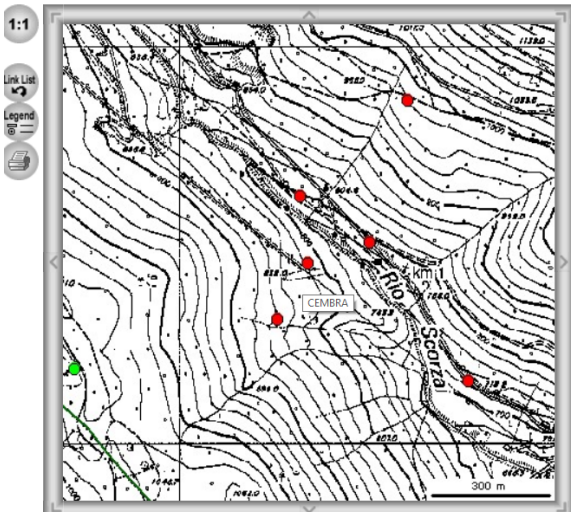
Note Evento

Scivolamento

Elenco documenti

- 2006// Geologico Catasto dei dissesti (354 kB)

Progetto ARCA - Archivio Eventi Calamitosi della



Scheda evento

frana (evento n. 22900)

Data:
Attendibilità evento: attendibile
Attendibilità data: non databile

Comprensorio	Comune	Toponimo	Località
C5	CEMBRA	RIO SCORZAI	

Attendibilità: localizzazione certa
Evento georeferenziato: Link Mappa Evento

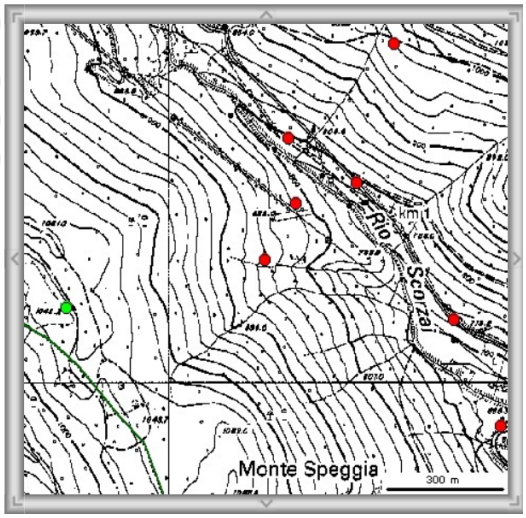
Note Evento

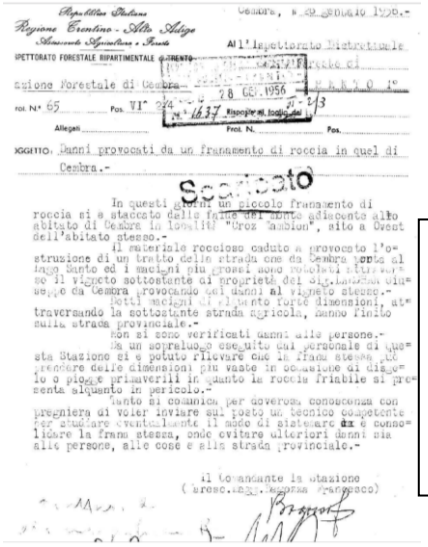
Scivolamento

Elenco documenti

- 2006// Geologico Catasto dei dissesti (354 kB)

Progetto ARCA - Archivio Eventi Calamitosi della



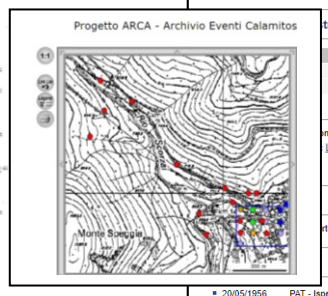


Regione Trentino - Alto Adige
Assessorato Agricoltura e Foreste
Al l'Ispettorato Distrettuale
ISPETTORATO FORESTALE RIPARTIMENTALE
Stazione Forestale di Cembra
28 GIU. 1956
Prot. N. 65 Pos. VI 2/4 1637
Allegati Prot. N. Pos.
OGGETTO: Danni provocati da un franamento di roccia in quel di Cembra.-

Scansato

In questi giorni un piccolo franamento di roccia si è staccato dalla falde del monte adiacente alto abitato di Cembra in località "Croz Zambion", sito a Ovest dell'abitato stesso.-
Il materiale roccioso caduto a provocato l'ostruzione di un tratto della strada che da Cembra porta al lago Santo ed i macigni più grossi sono rotolati attraverso il vigneto sottostante di proprietà del Sig. [illegible] giungendo da Cembra provocando dei danni al vigneto stesso.-
Detti macigni di rilevate forte dimensioni, attraversando la sottostante strada agricola, hanno finito sulla strada provinciale.-
Non si sono verificati danni alle persone.-
Da un sopralluogo eseguito dal personale di questa Stazione si è potuto rilevare che la frana stessa può prendere delle dimensioni più vaste in occasione di disgeli o piogge primaverili in quanto la roccia friabile si presenta alquanto in pericolo.-
Tanto si comunica per doverosa conoscenza con preghiera di voler inviare sul posto un tecnico competente per studiare eventualmente il modo di sistemare la e conseguire la frana stessa, onde evitare ulteriori danni alle persone, alle cose e alla strada provinciale.-

Il Comandante la Stazione
([illegible])



Scheda evento

frana (evento n. 14602)

Data: 1956
Attendibilità evento: attendibile
Attendibilità data: data incerta

Comprensorio	Comune	Toponimo	Località
C5	CEMBRA		Croz Zambion

trutture:

	Grado
	gravi
	gravi

ne imprecisa
Link Mappa Evento

rta al Lago Santo

- 20/05/1956 PAT - Ispettorato distrettuale delle foreste Danni provocati da un franamento di roccia in quel di Cembra (183 kB)

Scheda evento

frana (evento n. 21992)

Data: 9/1995
Attendibilità evento: attendibile
Attendibilità data: data incerta

Comprensorio	Comune	Toponimo	Località
C5	CEMBRA	PESCHIERA	Cava "Lares"

Attendibilità: localizzazione certa
Evento georeferenziato: Link Mappa Evento

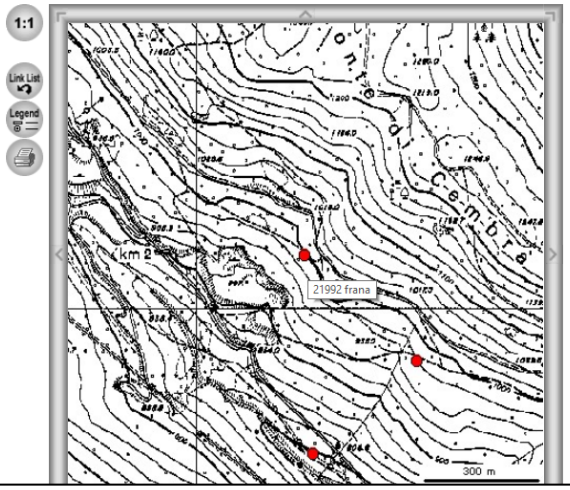
Note Evento

Crollo di roccia

Elenco documenti

- 2006// Geologico Catasto dei dissesti (354 kB)

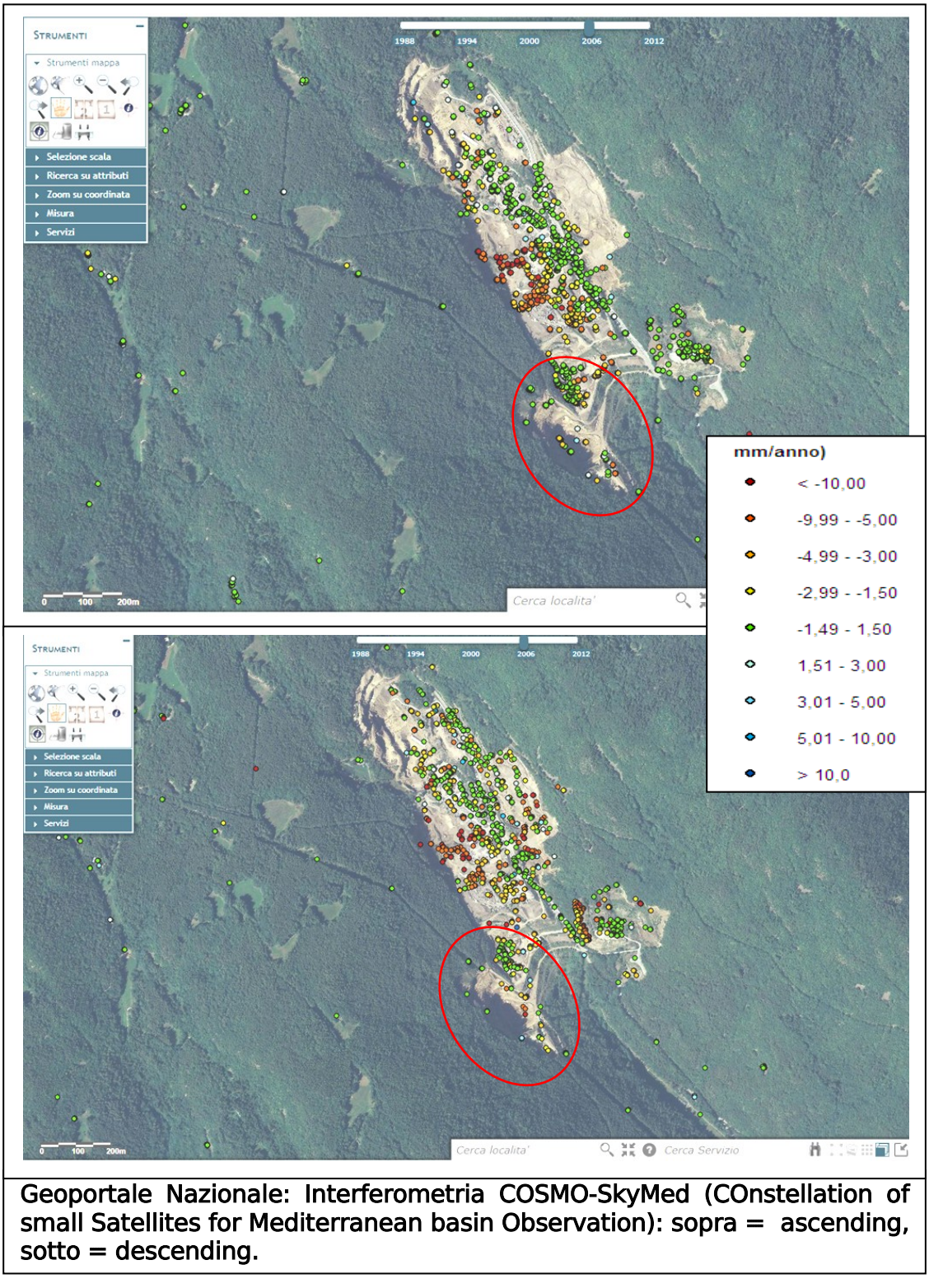
Progetto ARCA - Archivio Eventi Calamitosi



Catasto Dissesti AR.CA. riferiti alla zona di interesse.

L'esame dell'interferometria satellitare **COSMO-SkyMed (COnstellation of small Satellites for Mediterranean basin Observation)** (metodo che verifica i movimenti di elementi "riflettenti" posti a terra purchè si muovano entro determinati range di velocità) mostra alcune informazioni interessanti.

Nella zona di attività estrattiva è scontata la presenza di segnali riflettori in movimento (simboli rossi); nella zona della cava di interesse va notato che vi sono numerosi segnali riflettori non in deformazione (simboli verdi): l'informazione più interessante è però quella che vede come stabili anche tutti i piloni della linea elettrica prossimi alla cava di interesse.



Geoportale Nazionale: Interferometria COSMO-SkyMed (COnstellation of small Satellites for Mediterranean basin Observation): sopra = ascending, sotto = descending.

Infine, sempre riferendosi agli aspetti geomorfologici ed ai dissesti, va citato come, data la pendenza a tratti accentuata del versante, non è infrequente osservare la presenza di tronchi arcuati delle piante ad alto fusto: tale fenomeno è tipicamente generato da fenomeni di creep, cioè lente deformazioni superficiali. Da notare che tali fenomeni non sono riferibili ad intere aree, quanto piuttosto a plaghe di dimensioni limitate, se non di singole piante.

Arealmente dispersa è la presenza di piante ad alto fusto con tronco arcuato e/o inclinato, ad evidenziare piccoli fenomeni di creep superficiali.

Relativamente all'idrografia locale va citato il Rio Scorzai che, in corrispondenza del sito, presenta un alveo che è completamente artificializzato nel tratto a monte della cava Peschiera, mentre riprende un andamento naturale in corrispondenza di questa e del territorio sottostante.

Entro al sito è poi presente un rivo che taglia il versane e si riversa proprio all'interno della ex cava Peschiera.

Il versante fra il ciglio della cava e fino al Rio Scorzai presenta estesa copertura di detrito porfirico, scaricato con pendenza prossima all'angolo di natural declivio; una lingua di tale materiale arriva anche fino al rio.

Foto 1: detrito che arriva fino al rio. Foto 2: più a N la base del detrito presenta vetuste opere di sostegno (gabbionate e muri a secco). Foto 3: piccole nicchie (vecchi assaggi di cava) affiorano fra il detrito. Foto 4: Panoramica del versante con il detrito.

Il detrito in alveo è a rischio di erosione, con conseguente richiamo di altro detrito dal versante soprastente. A luoghi il detrito mostra evidenze di creep sia passato (piccole lingue movimentate, piante arcuate) che in atto (detensionamenti).

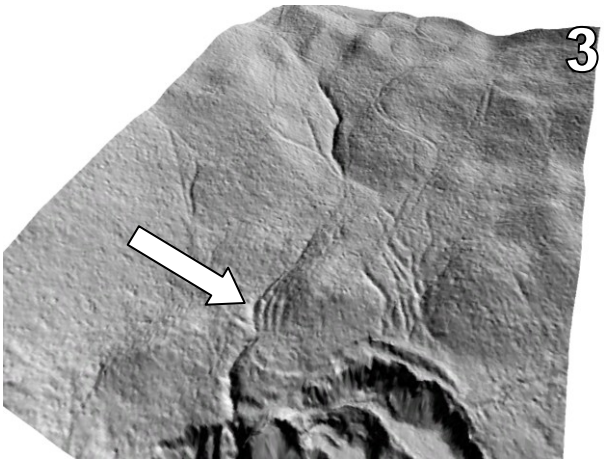
Gli affioramenti della roccia porfirica alla base del pendio (rio Scorzai), a metà pendio (vecchie cave) e lateralmente consentono comunque di concludere che nel suo insieme, a parte i fenomeni corticali che interessano il detrito, il versante appare stabile.

Terminazione dell'alveo artificializzato del Rio Scorzai e sua incisione nella roccia porfirica in corrispondenza della base della cava Peschiera.

Per quanto attiene all'idrografia del versante va citata la bonifica eseguita in corrispondenza del pianoro sommitale, con conseguente sgrondo dell'acqua verso il versante soprastante la cava.

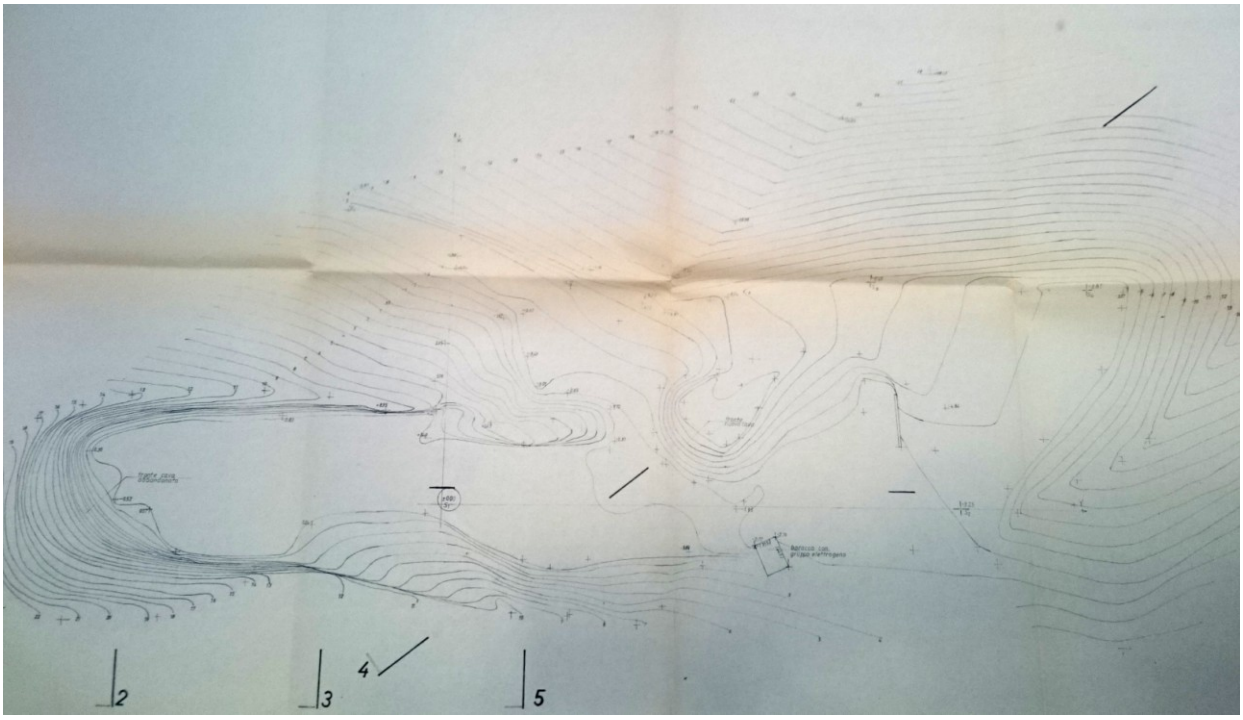
Il fosso di drenaggio sul pianoro sommitale al versante e lo sversamento delle acque sub superficiali così drenate che, dal pianoro superiore, vengono incanalate e sgrondate sul versante di interesse entro ad una vallecola: qui l'acqua si infiltra rapidamente in sottosuolo.

Circa il reticolo idrografico del versante si è notato che la traccia delle incisioni è piuttosto ondivaga, a significare che si sono avute modifiche, vuoi per fenomeni di erosione e/o colata, vuoi per assecondare le mutevoli situazioni morfologiche derivanti dai citati movimenti gravitativi.

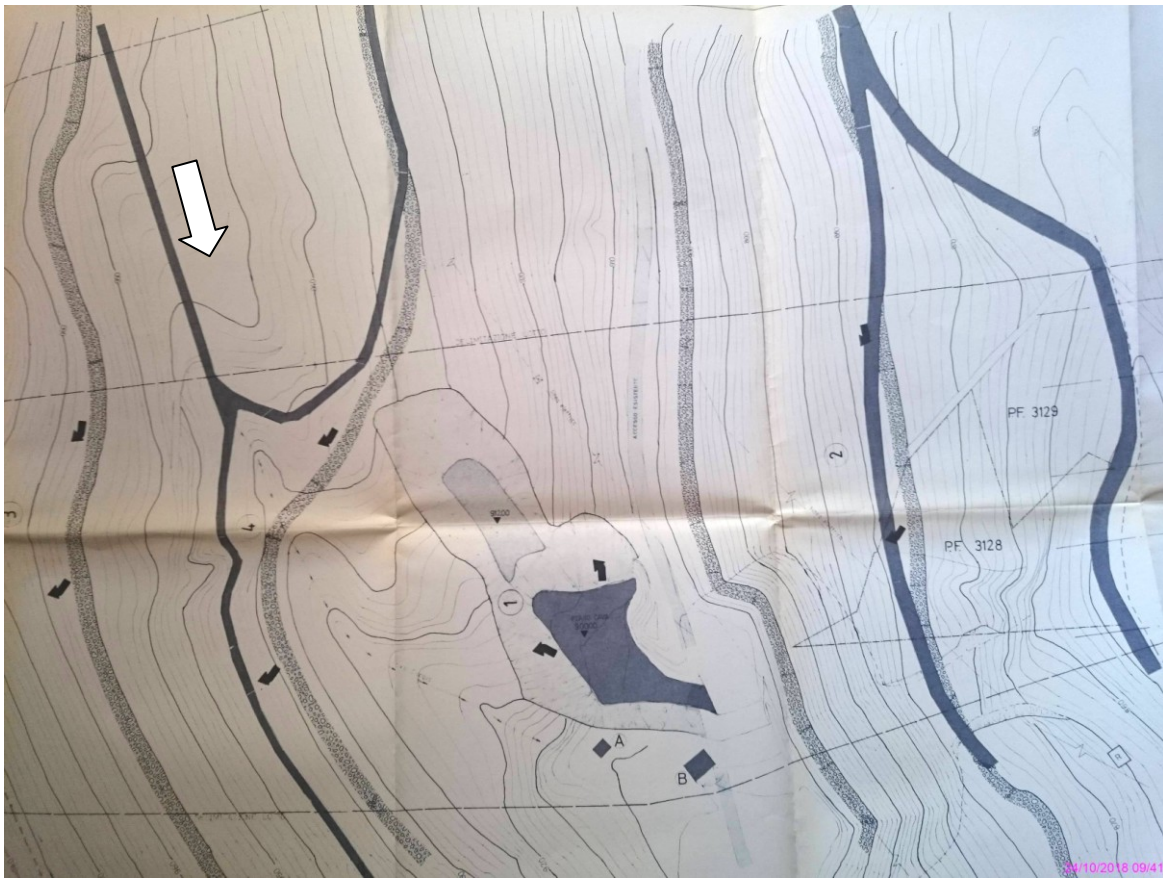


Seguendo l'incisione principale si è trovato (1) che parte di essa è incisa nelle rocce – fratturate – del substrato. Nella parte inferiore vi sono più solchi paralleli di incisione (2, 3), verosimilmente derivanti da passati fenomeni di colata. La foto (4) mostra, in altro bacino, come le colate detritiche formino cordoni, anche arcuati, analoghi a quelli trovati sul versante di interesse.

Dalle informazioni raccolte presso l'UTC di Cembra si riportano ora due planimetrie del 1981 e del 1985, data corrispondente ad una fase di coltivazione mineraria della cava Peschiera durante la quale essa si sviluppava verso l'alto, prima della formazione del "cratere".

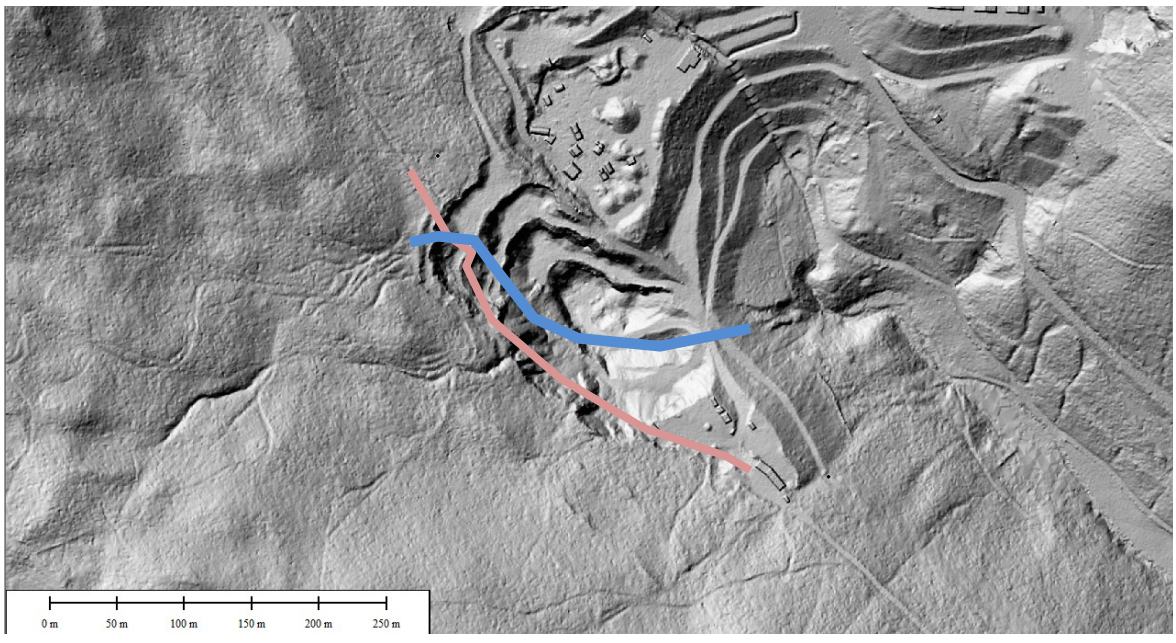


Planimetria cava Peschiera al 1981.



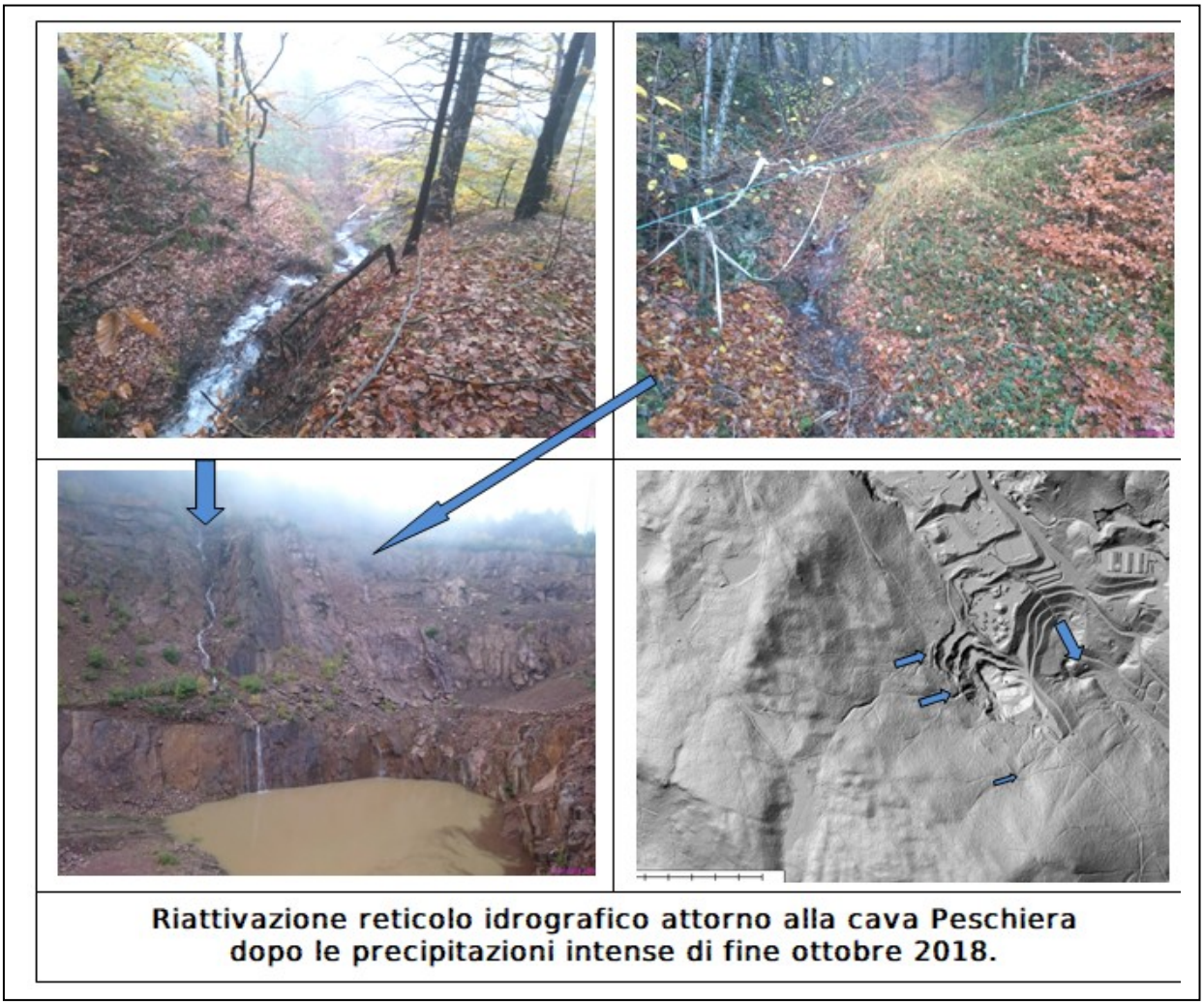
Planimetria cava Peschiera al 1985.

Si vede come esistesse una vallecola, evidenziata dalla freccia bianca, orientata NNW-SSE percorsa dal ramale secondario del rivo ora rimasto come principale.



Ricostruzione del precedente andamento dell'idrografia superficiale (azzurro) e della viabilità (rosa) sulla base della planimetria 1985 della cava Peschiera.

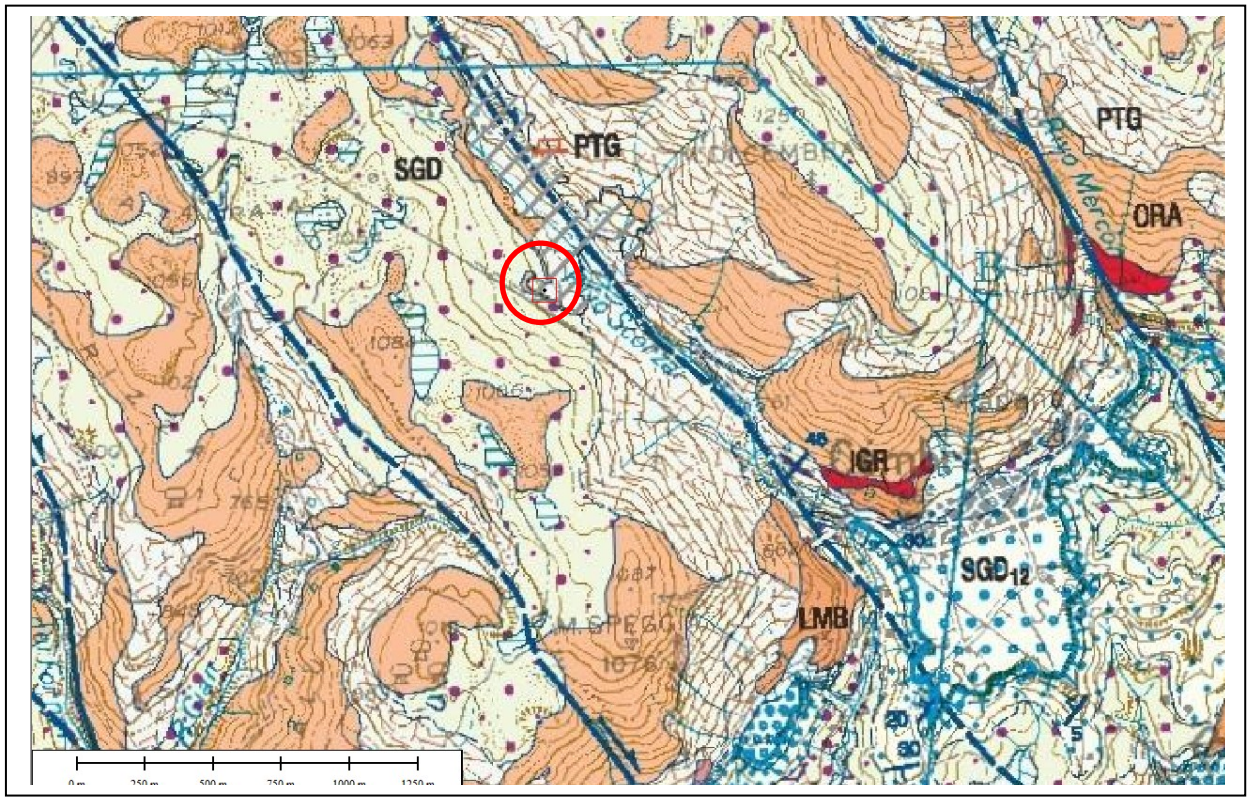
In occasione delle intense precipitazioni di fine ottobre 2018 si è potuto osservare la riattivazione del reticolo idrografico: sono stati riconosciute due principali scorrimenti idrici: quello meridionale di circa 5 l/s e quello settentrionale di circa 1 l/s (portate comunque già inferiori al massimo di portata della piena avvenuto, come evidenziato dalla cotica erbosa coricata, primadell'osservazone citata).

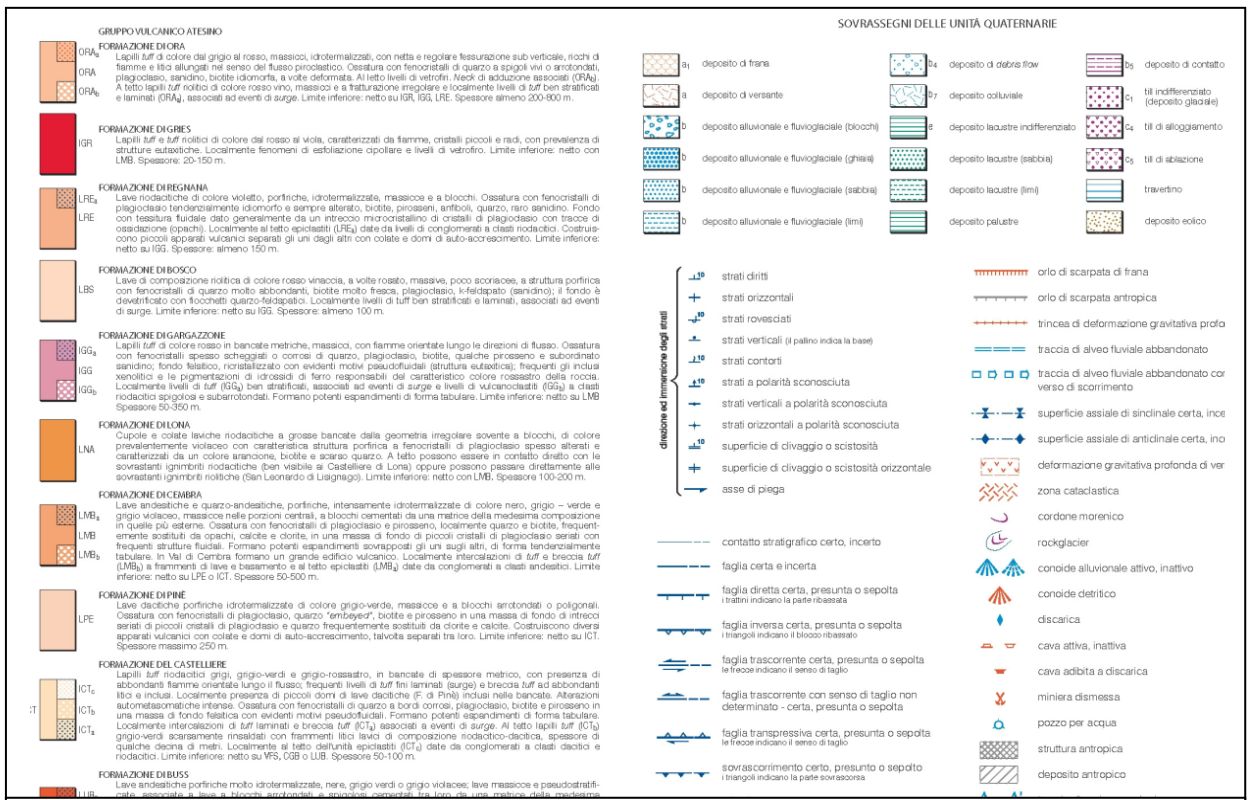


Riattivazione reticolo idrografico attorno alla cava Peschiera dopo le precipitazioni intense di fine ottobre 2018.

3.3. Litologia

A grande scala il sito è compreso nell'areale di espansione del Gruppo Vulcanico Atesino: si tratta di un episodio vulcanico molto antico, di età permiana: il ciclo magmatico è durato circa 10 Ma: 286 - 275 Ma.



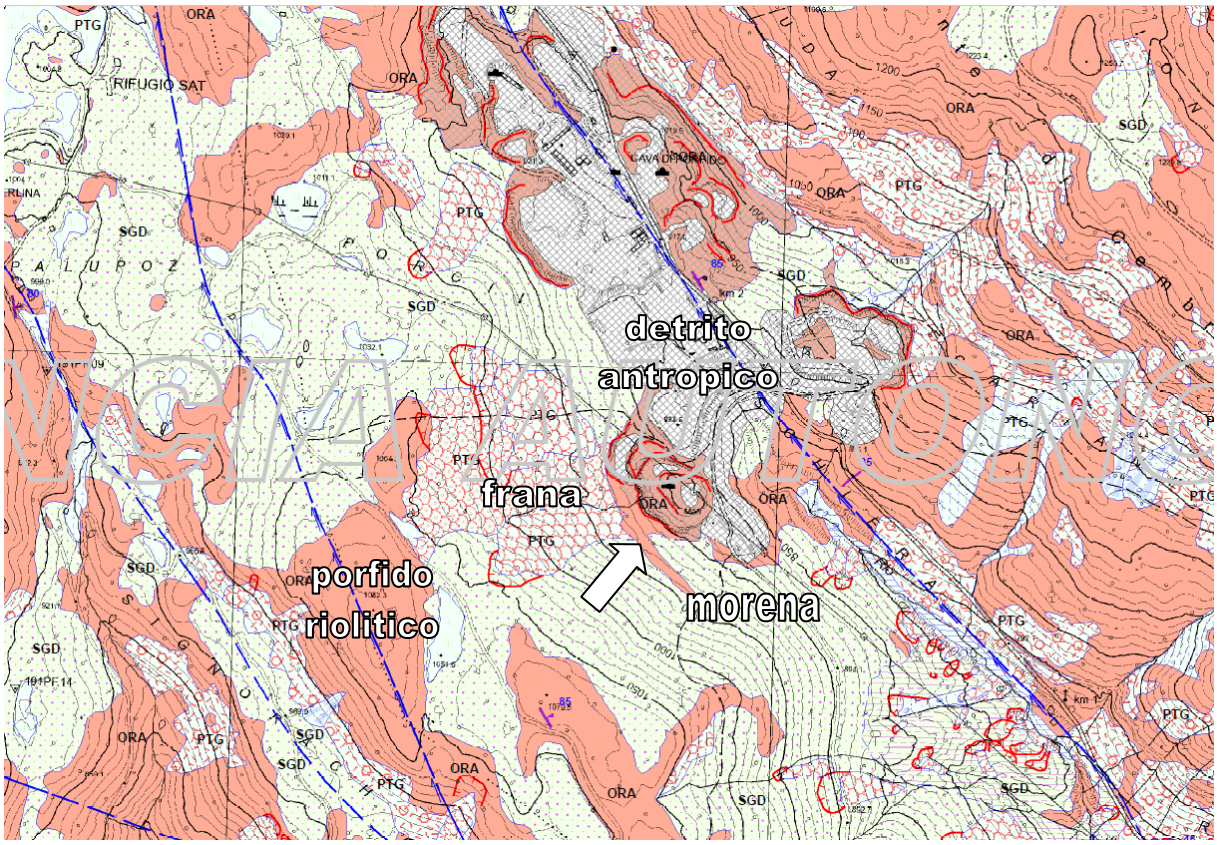


Ubicazione della cava sulla cartografia Carg, Foglio Trento del Servizio Geologico PAT. Le rocce del substrato appartengono al ciclo permiano del Gruppo Vulcanico Atesino "Porfido" – Formazione di Ora.

Per la descrizione di questa roccia si rinvia ad un successivo capitolo dedicato all'esame dei fronti di cava.

Per i terreni quaternari di copertura la mappa indica SGD – Sintema del Garda, di età Pleistocenica superiore: di notevole interesse è anche notare, su tale mappa, gli allineamenti delle due faglie transpressive destre che sono fatte rispettivamente passare per il fondovalle del Rio Scorzai ed in prossimità alla linea spartiacque del versante retrostante la cava.

Un recentissimo aggiornamento della cartografia geologica (estate 2018) ha precisato - e modificato in parte - tale interpretazione geologica.

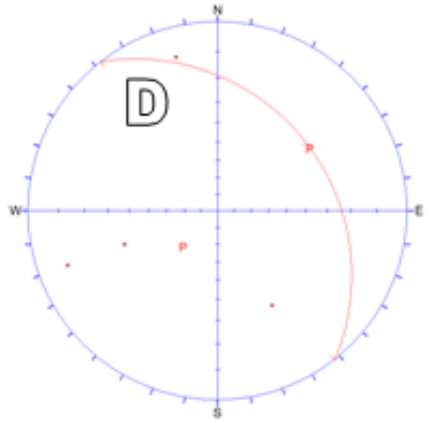


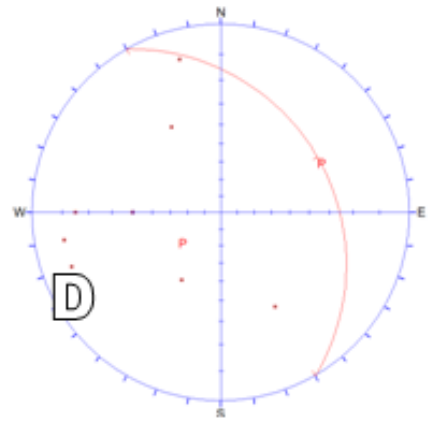
Mappa geologica on line del Servizio Geologico PAT. La freccia indica un affioramento di "porfido" di seguito commentato.

E' proprio a partire da questa nuova cartografia che, sul versante di interesse, viene riconosciuta la presenza delle citate frane, sia stabilizzate che quiescenti: tali elementi sono attribuiti al Sintema Postglaciale Alpino – PTG.

In tale mappa, verosimilmente in base a considerazioni geomorfologiche, viene cartografato anche un esteso affioramento di porfido che funge da limite basale delle frane: come oltre discusso, questo affioramento (indicato dalla freccia bianca) in realtà non esiste con tale continuità (vi sono alcuni piccoli affioramenti) e pertanto riveste un diverso significato.

La giacitura delle discontinuità di tale affioramento non corrisponde compiutamente a quanto osservabile nella cava sottostante: ciò potrebbe significare che tale affioramento rappresenti una porzione rocciosa dislocata dagli antichi fenomeni gravitativi citati.





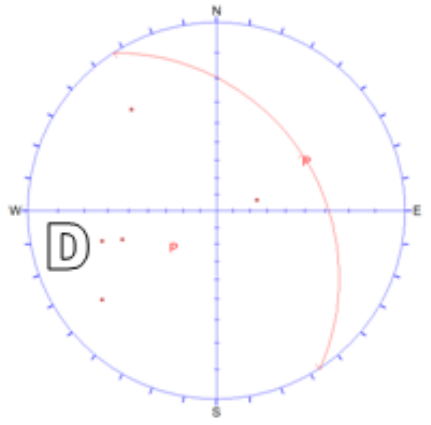


Foto di alcuni affioramenti (e relativi stereogrammi emisfero inferiore, reticolo di Schmidt, proiezione equiangolare con i poli delle principali famiglie di giunti che intersecano la roccia). "D" indica i poli rappresentanti le diaclasi (i giunti di contrazione termica che conferiscono il caratteristico aspetto lastriforme alla roccia porfirica riolitica. La curva rossa indica l'intersezione del piano del pendio sulla semisfera inferiore. L'affioramento indicato nella foto inferiore potrebbe essersi originato come fessura di trazione coinvolgente l'ammasso roccioso.

Circa i terreni del versante, a parte gli sporadici affioramenti delle rocce del substrato, l'estesa copertura vegetale impedisce l'osservazione dei terreni sciolti di copertura.

Solo lungo alcune piccole incisioni e scalini morfologici si è potuto prendere visione di tali terreni.

Una prima osservazione è che sono diffusamente presenti dei frammenti spigolosi rocciosi porfirici di morfologia lastriforme e di spessore anche centimetrico; meno diffusi sono i ciottoli, sempre porfirici, a morfologia arrotondata.

Questo conferma che il versante è stato coinvolto da fenomeni di dissesto gravitativo e che tali dissesti hanno interessato anche la parte superiore, decompressa, del substrato roccioso.

Nella parte superiore del versante, in corrispondenza del pianoro sommitale, viceversa si trovano abbondanti evidenze di depositi di origine morenica, costituiti da elementi, sempre porfirici, ben arrotondati ed immersi (clastodispersi) in matrice limosa e (subordinatamente) sabbiosa e di colore beige.

Foto 1 e 2: diffusi sul versante i frammenti spigolosi e lastriformi, indicanti deformazioni coinvolgenti anche il substrato roccioso superficiale.
Foto 3 e 4: sulla zona del pianoro sommitale vi sono evidenze della presenza di depositi morenici, con ciottoli arrotondati in abbondante matrice.

Entro l'incisione del rivo principale è possibile osservare la presenza di roccia porfirica con evidentissima lastrificazione (nel testo, per brevità, si indicherà con il termine "lastrificazione" la caratteristica fessurazione pervasiva da contrazione termica tecnicamente nota come fenomeno di "fessurazione per diaclasi") con spaziatura centimetrica. Queste lastre, decompresse, sono diffuse sul versante. Interessante notare come a luoghi l'orientazione della giacitura delle diaclasi (evidenziata con delle frecce rosse) presenti bruschi cambiamenti, derivanti da scivolamenti dell'ammasso roccioso superficiale.

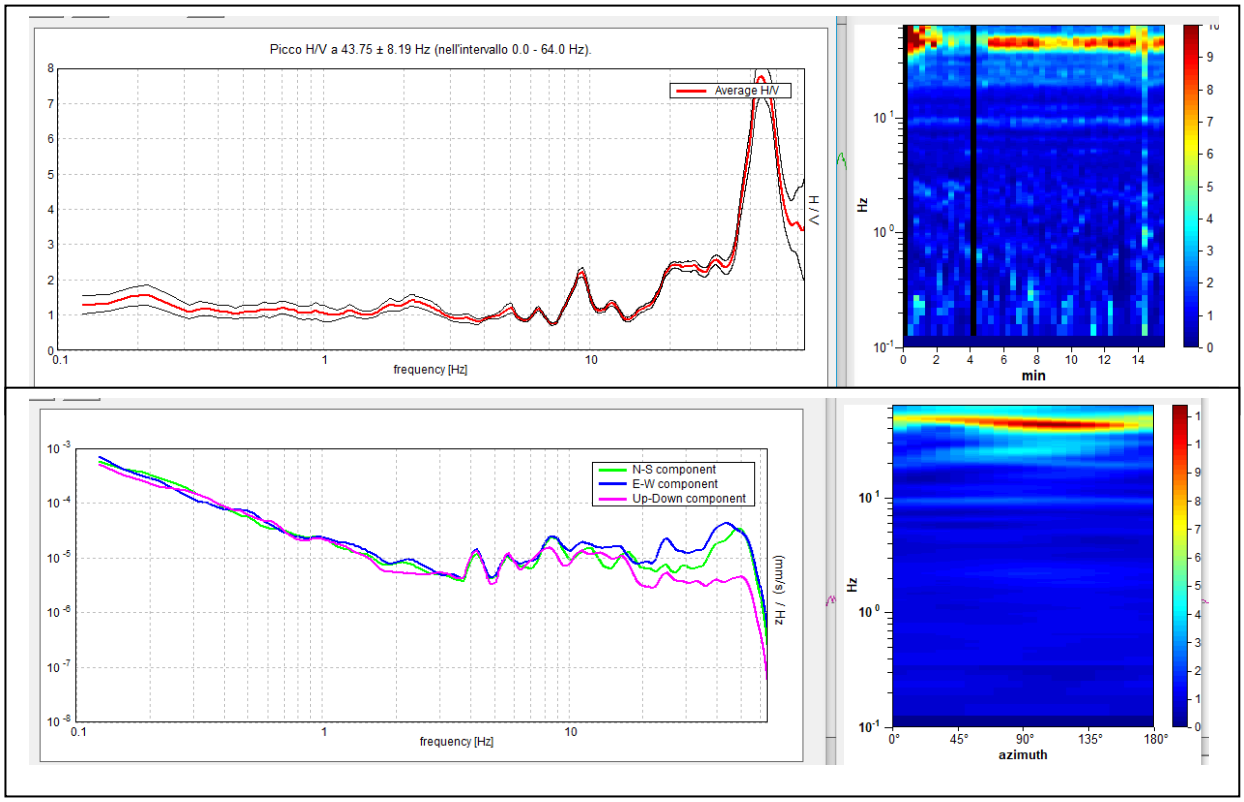
Va infine citata la presenza, particolarmente nella parte di versante sottostante la cava, di materiale proveniente dalla lavorazione del porfido e variamente scaricato nel sito: si tratta di spessori anche molto rilevanti, che a luoghi obliterano completamente la morfologia naturale pre esistente.

Tale materiale copre interamente anche il settore E della cava e del pendio sottostante, rendendo non osservabile la geologia sottostante: da informazioni raccolte, notizia comunque che deve essere oggetto di verifica con indagini geognostiche dedicate, pare che esista una soglia rocciosa preservata che separa la cava dal pendio sottostante.

Materiale antropico di copertura originato dall'estrazione e lavorazione del porfido. La linea tratteggiata indicherebbe (da verificare) la posizione della soglia rocciosa.

Per verificare il modello sismico del sottosuolo in questa posizione è stata direttamente eseguita sul raccordo fra la strada di accesso ed il piazzale di approdo della cava, un indagine sismica speditiva a stazione singola.

Tale indagine è stata eseguita in conformità con le linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assesment using AMbient Excitations), utilizzando un acquisitore a sismica passiva per lo studio **HVSR** (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) e cioè il rapporto di ampiezza fra le componenti orizzontali e quella verticale del moto (Nakamura, 1989)[1].



L'indagine HVSR, peraltro evidentemente pesantemente disturbata dalla presenza delle attività minerarie ed artigianali in zona (praticamente tutti i picchi registrati sono con sicurezza riferibili a disturbi antropici) sembrerebbe confermare, per la mancanza di evidenti contrasti di impedenza naturali, come il substrato sismico (verosimilmente assimilabile al substrato roccioso per via delle condizioni geologiche locali) sia sepolto a debole profondità, attorno ad 1 metro da p.c..

3.4. Idrogeologia - Vincolo idrogeologico

I terreni di copertura sono caratterizzati da una sviluppata porosità; la permeabilità (di tipo primario, o per porosità) assume valori diversi in relazione alla percentuale di materiale fine rispetto a quella del materiale grossolano.
I materiali antropici derivanti dall'estrazione e lavorazione del porfido sono caratterizzati da porosità efficace elevatissima e pertanto sono da ritenere dotati, complessivamente, di permeabilità molto elevata.

Lo strato vegetale superficiale, anche rimaneggiato e poco addensato, ha matrice sabbioso – limosa: la sua permeabilità è definibile come media.

[1] *Nakamura, Y. (1989) - A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface. Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), Vol. 30, No.1.*

La morena presenta una permeabilità, considerata come ammasso, molto bassa per via della matrice fine limosa molto abbondante; solo la parte superiore, soggetta a dilavamento e decompressione può ospitare delle limitate filtrazioni: la morena costituisce quindi un importante limite di permeabilità rispetto ai soprastanti terreni colluviali.

Le sottostanti rocce del substrato sono piuttosto fratturate e decompresse superficialmente e quindi dotate di un'apprezzabile permeabilità secondaria, per fratturazione, mentre quella primaria è nulla: in condizioni naturali, normalmente in profondità le fratture si rinserrano e la roccia perde, a meno della presenza di lineamenti maggiori – faglie - tale permeabilità secondaria.

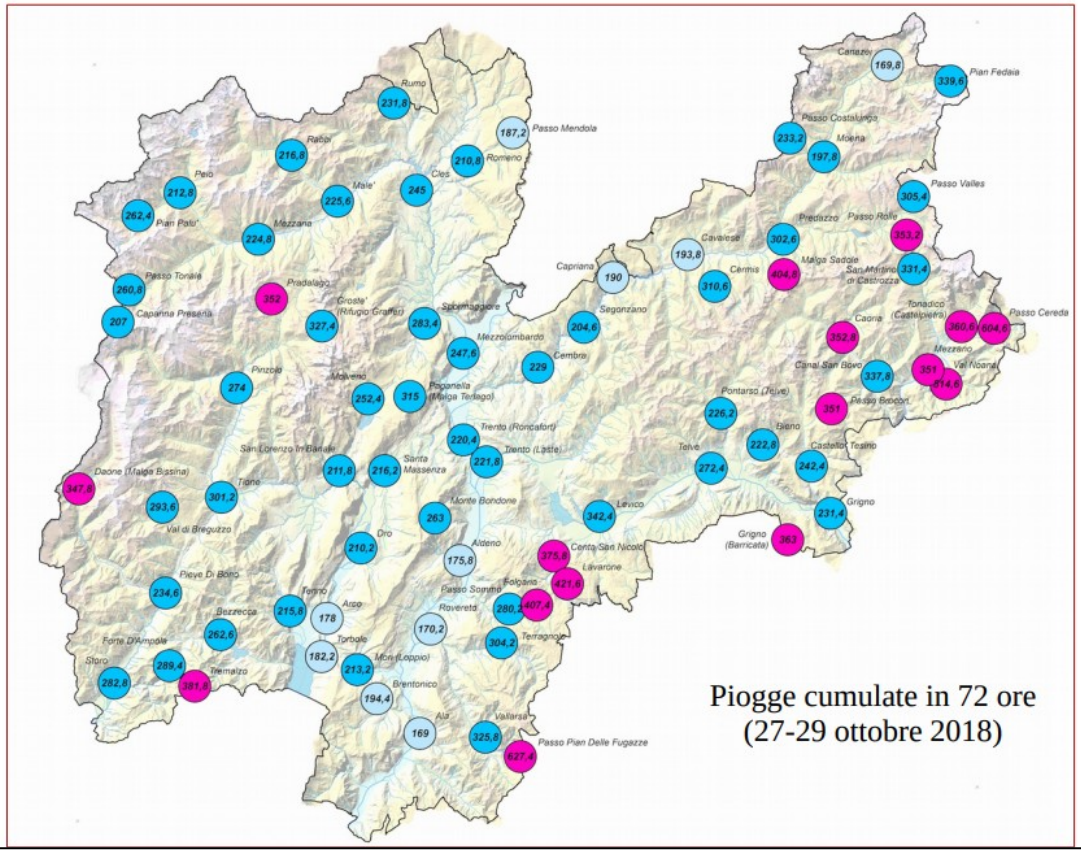
Interessante al riguardo è osservare come nel corso dell'estate 2018 e poi anche nel giugno 2022 (periodo particolarmente siccitoso) si fosse osservato del ristagno d'acqua sul fondo della cava, a conferma che in profondità la roccia porfirica possa essere considerata poco permeabile.

Informazioni raccolte indicano che, al tempo delle lavorazioni verso il fondo della cava, erano attivate, in occasione di intense precipitazioni, delle pompe per svuotare il livello dell'acqua che arrivava entro alla cava dal versante, specialmente tramite il rivo principale: evidentemente non si riteneva accettabile attendere il prosciugamento per gravità dell'acqua.

Risulta anche che, per prevenire l'arrivo dell'acqua entro alla cava, erano state realizzate delle opere di derivazione (2 tubazioni appaiate) volte ad intercettare ed allontanare la maggior quantità di acqua di tale rivo: tali tubazioni, ancora presenti ed osservate dallo scrivente nell'estate 2018, sono state rimosse nel novembre 2018.

Altro intervento che era stato realizzato al tempo di coltivazione in profondità della cava, sempre per evitare l'allagamento del fondo della cava, è quello - verbalmente riferito - della perforazione di un foro che dal fianco E della cava, con andamento sub – orizzontale, consente il drenaggio dell'acqua sul versante esterno: non si conoscono dettagli circa la quota e posizione della partenza della perforazione: lo sbocco pare sia un tubo arancione ortogonale al pendio subito deviato a 60° tramite una tubazione bianca: tale sbocco è posto circa a quota 854 m s.l.m.. Anche tale lavorazione va ad indicare come vi fosse scarso drenaggio dell'acqua che si accumulava al fondo della cava.

A fine ottobre 2018, si sono avute precipitazioni meteoriche con carattere di eccezionalità: presso la stazione meteo di Cembra sono stati registrati 229 mm in 72 ore (Meteotrentino).



Precipitazioni di fine ottobre 2018 (cortesia Meteotrentino).

Tali precipitazioni hanno determinato il parziale allagamento del fondo della cava, fino ad una quota stimata di 850 m s.l.m. quindi con un battente di circa 5 m (vedasi ad esempio la fotografia di copertina).

Tale quota risulterebbe quindi inferiore a quella dello sbocco citato della tubazione (e pertanto anche alla quota di imbocco): in quel periodo, di morbida, non si sono osservate filtrazioni idriche fuoriuscenti da detta tubazione, verosimilmente perchè esse escono dalla stessa già entro all'ammasso del detrito.

Interessante è riferire come l'acqua che si era accumulata nel fondo della cava, si sia poi quasi completamente infiltrata entro alla roccia – fino a ri-formare i modesti ristagni precedentemente osservati sul fondo della cava – in un intervallo di circa 10 giorni.

Questo indica anche come l'ammasso della roccia, verosimilmente non sul fondo ma verso il fianco esterno della cava, sia caratterizzato da una significativa permeabilità per fratturazione: è verosimile che tale permeabilità si sia enfatizzata a seguito delle attività minerarie. Specialmente nel passato la coltivazione era eseguita anche mediante il brillamento simultaneo di molti quintali di esplosivo ("stoi"), pratica poi abbandonata per il più razionale utilizzo delle volate con microritardi.

Foto 1: due tubazioni captavano l'acqua del rivo a monte della cava e la scaricavano lateralmente, verso le baracche alla base della cava.
Foto 2: tubazione a quota 854 m s.l.m. che, verosimilmente e come è stato riferito, è lo sbocco della perforazione di drenaggio che parte dal fianco della cava verso il versante sottostante.

Il contatto fra copertura e substrato costituisce, in ogni caso, il più importante limite di permeabilità della zona di interesse.

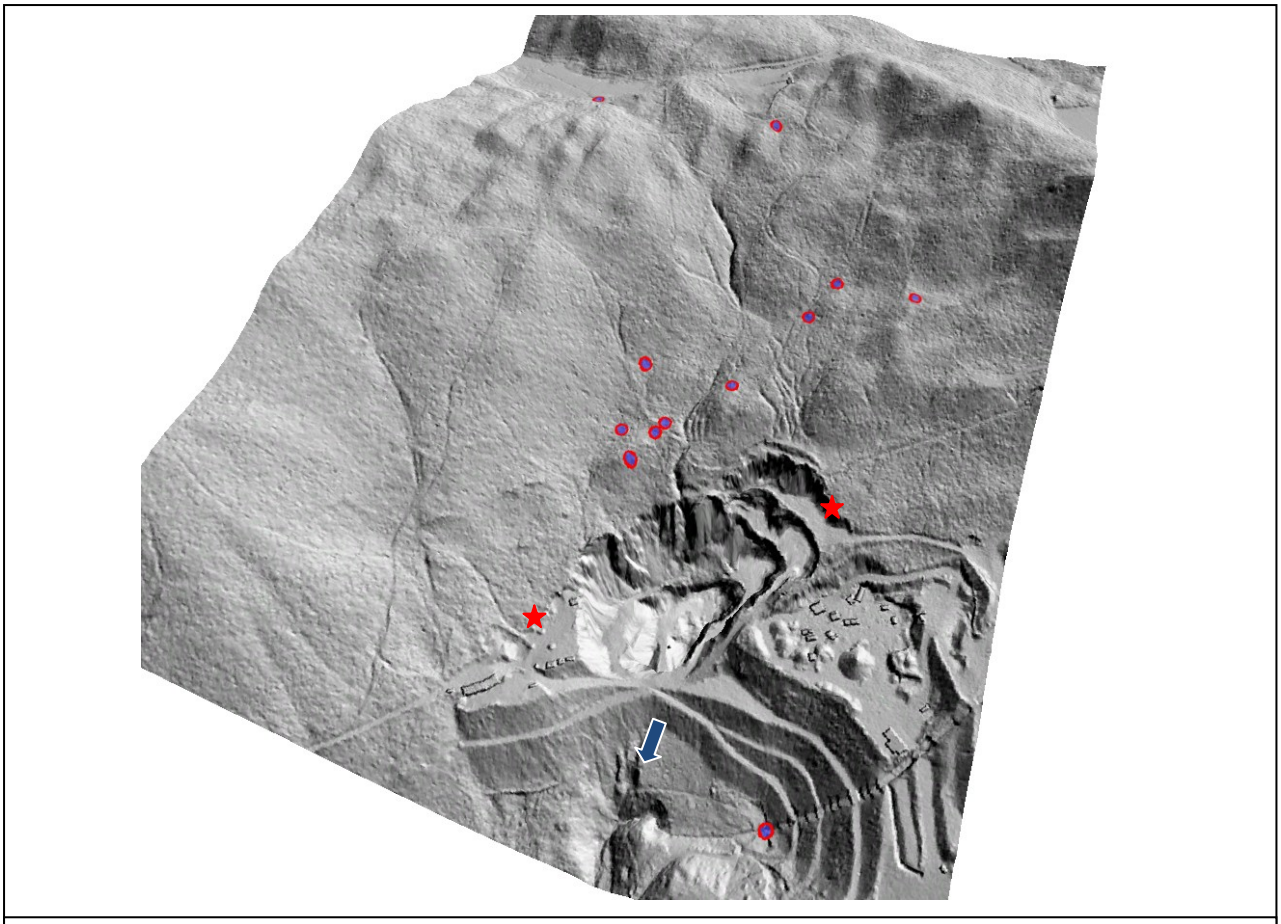
Va anche notato come l'assetto idrogeologico descritto per il versante confermi in parte le osservazioni geomorfologiche relative alla presenza di antichi dissesti: infatti la parte alta del versante si presenta, a parte gli sbocchi sommitali provenienti dalle zone umide, priva di evidenze di circolazione idrica, e ciò nonostante la presenza di sporadici affioramenti di roccia: l'acqua dunque riesce a penetrare la parte decompressa e dissestata del substrato.

In corrispondenza della rottura della pendenza presente attorno alla quota 930 m s.l.m., sono presenti numerose piccole sorgentine allineate proprio in corrispondenza di tale cambiamento di pendenza.

Tale sorgentine affiorano verosimilmente per la presenza del contatto fra i soprastanti ammassi decompressi dai fenomeni gravitativi e le sottostanti rocce del substrato non coinvolte – meno coinvolte - da tali fenomeni gravitativi.

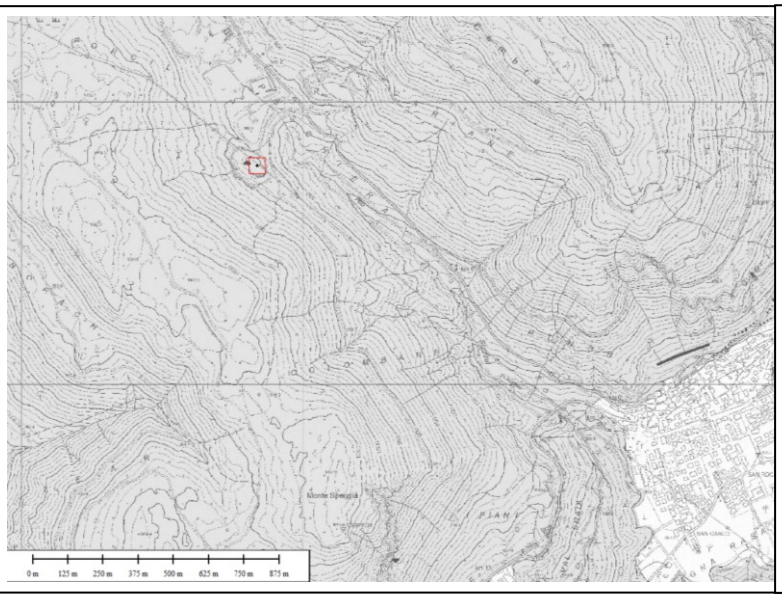
Le foto in alto mostrano lo sversamento delle acque sub superficiali che sono drenate dal pianoro superiore e incanalate sul versante di interesse. Emergenze idriche alla base della rottura di pendenza posta attorno a quota 930 m s.l.m.

Altre piccole sorgenti / zona umide sono alla base delle nicchie riferite al corpo di frana settentrionale, a quota di 970 – 980 m s.l.m..



Emergenze idriche sul versante di interesse. La freccia blu indica lo sbocco di una tubazione di drenaggio, riferibile alla perforazione che parte dal fondo della cava.
Le stelle indicano filtrazioni idriche effimere ed attivatesi entro l'ammasso roccioso dopo le precipitazioni intense di fine ottobre 2018.

Relativamente al **vincolo idrogeologico** (DPGP n° 13-45/Leg. dd. 27/04/2010:"Regolamento in materia di vincolo idrogeologico (articoli 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20 e 23 L.P. 23/058/2007 n. 11)" e succ. D.P.P. 06/09/2013, n. 21-123/Leg., si evidenzia che il sito risulta essere **interno** alle aree vincolate.



Estratto della Carta del vincolo idrogeologico: il sito è interno alle aree sottoposte al vincolo idrogeologico (aree grigie).

Tale situazione implica che si debba esaminare a) lo stato dei luoghi e dei versanti e b) ed individuare i possibili impatti derivanti dall'esecuzione degli interventi, presentando di contro c) le modalità operative e accorgimenti da adottarsi per evitare di determinare turbative all'assetto idrogeologico e forestale.

3.5 Tettonica

Conviene inizialmente riassumere per sommi capi l'assetto tettonico regionale, in quanto poi, nello studio di dettaglio della cava, si sono riconosciute delle evidenze applicative direttamente derivanti dagli accadimenti tettonici regionali caratterizzanti il settore di interesse.
L'area di studio, posta nelle Alpi centro-orientali, geologicamente fa parte del settore Sudalpino della catena, posto a Sud del Lineamento Periadriatico, fascio tettonico che costituisce la sutura fra la placca europea e quella africana.

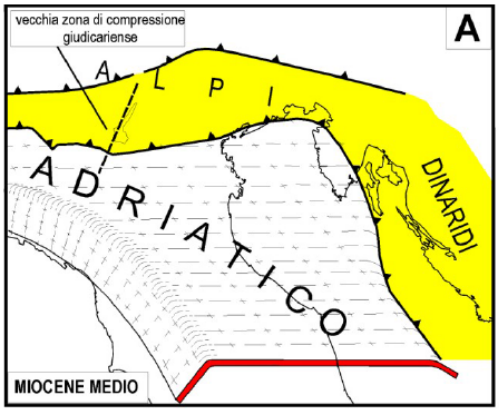
La convergenza di placche e la collisione che fecero nascere la catena alpina si protrassero per 50 milioni di anni (Ma), a partire dal Cretaceo medio-superiore. In questa orogenesi, pur essendo stata un processo cinematico continuo, si sono da tempo riconosciute (già Dal Piaz, 1990) tre fasi principali:

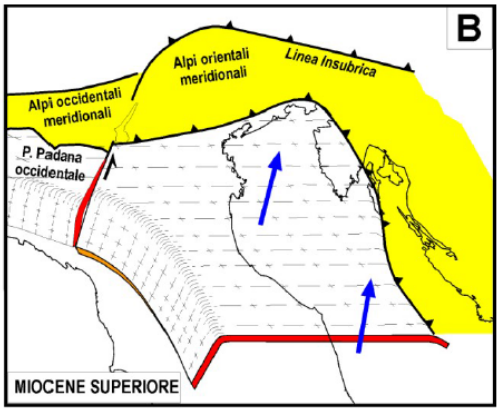
- evento eoalpino (Cretaceo – Paleocene) evoluzione precollisionale del margine convergente
- evento mesoalpino (Eocene – Oligocene inferiore) con la chiusura dell'Oceano Ligure – Piemontese e la collisione del continente europeo con la microplacca adriatica. La perturbazione termica mesoalpina innescò lo sviluppo di un ciclo eruttivo indicato con il nome di magmatismo Periadriatico, di età oligocenica; l'evento ebbe durata limitata (circa 5 Ma) e rappresenta la fase matura della collisione continentale.
- evento neoalpino (Miocene – Attuale)

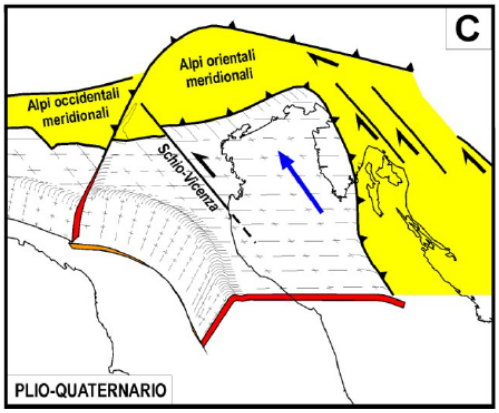
In questa fase si sviluppò in modo evidente la struttura a doppia vergenza delle Alpi: infatti, mentre la catena alpina in senso stretto si propaga verso l'avanpaese europeo, si sviluppa anche l'impilamento di falde a vergenza meridionale tipico del Sudalpino. Il sistema sud–vergente delle Alpi Meridionali rimase svincolato dalla catena a vergenza europea dalla attivazione del Lineamento Periadriatico (o Linea Insubrica): si tratta di un fascio di linee tettoniche a trascorrenza destra e andamento essenzialmente E– W che attraversa longitudinalmente l'intero orogeno alpino e viene considerato come una sutura terminale nell'ambito della collisione fra placca africana e placca europea. Si possono distinguere vari segmenti di questo lineamento. Nel Trentino passa da direzione W-E (Linea del Tonale o Insubrica), sino a nord dell'Adamello. Qui la struttura si inflette bruscamente verso nord, assumendo direzione NNE-SSW sino all'altezza di Merano e viene denominata Linea delle Giudicarie Nord. Procedendo da Merano verso est la linea assume una direzione WNW-ESE, prendendo il nome di Linea della Pusteria e poi di Linea del Gailtal. Nei tratti a direzione E-W (Linea del Tonale, Linea della Pusteria, Linea della Gailtal) il Lineamento Periadriatico è caratterizzato da una trascorrenza destra.

L'evoluzione della situazione strutturale e tettonica dell'area trentina nella fase eoalpina è convincentemente riassunta da Mantovani et al., 2013[2], da cui, per la zona di interesse, si riprende qui una figura autoesplicativa.

[2] ***Mantovani E., Viti M., Babbucci D., Cenni N., Tamburelli C., Vannucchi A., Falciani F., Fianchisti G., Baglione M., D'Intinosante V., Fabbroni P, Martelli L., Baldi P., Bacchetti M. (2013) - Assetto tettonico e potenzialità sismogenetica dell'Appennino tosco-emiliano-romagnolo e della Val Padana. Regione Emilia Romagna, Regione Toscana, Università di Siena.***





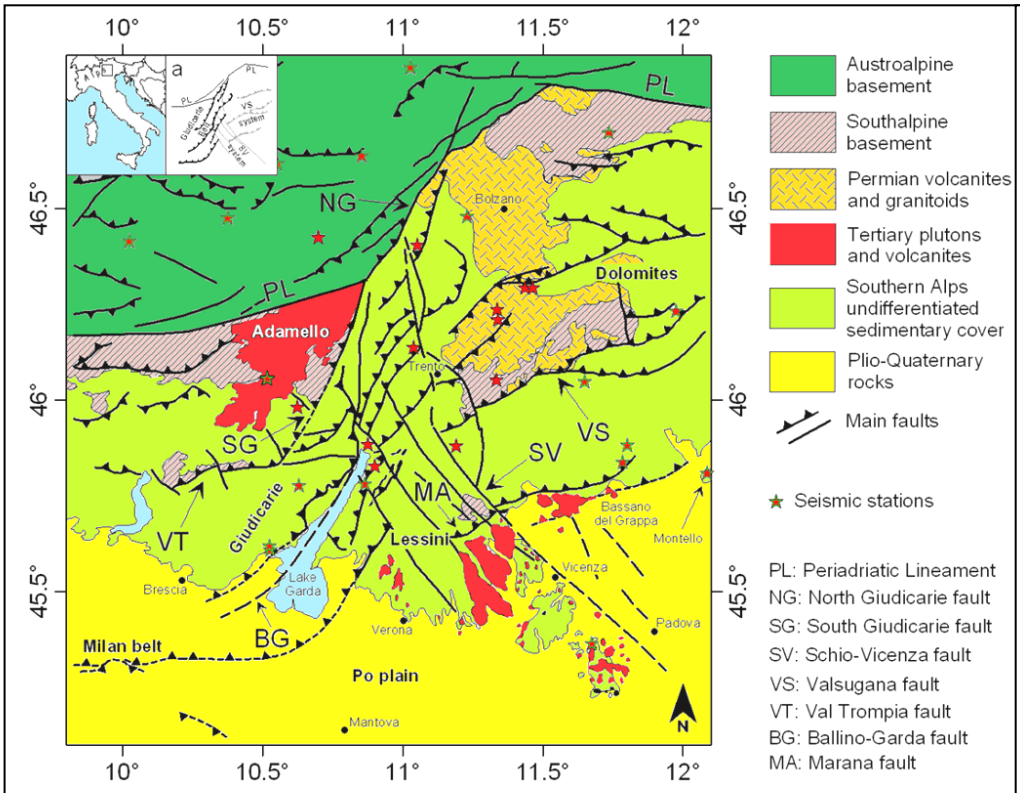


*Ricostruzione delle principali discontinuità tettoniche sviluppate o riattivate nella parte settentrionale del promontorio adriatico dal Miocene medio. **A)** Situazione nel Miocene medio, quando il sistema di faglie giudicariense era una struttura compressiva, non più attiva. **B)** Riattivazione della faglie delle Giudicarie nell'ambito di un regime transpressivo sinistro, con movimento dell'Adriatico verso NNE (frecce blu). **C)** Si riattiva il sistema di faglie Schio-Vicenza (un'antica discontinuità della piattaforma adriatica) per consentire alla placca Adria di disaccoppiarsi parzialmente dalla sua protuberanza padana. A causa della nuova cinematica di Adria (movimento verso NNO) la faglia delle Giudicarie riassume il ruolo di zona di sottoscorrimento.*

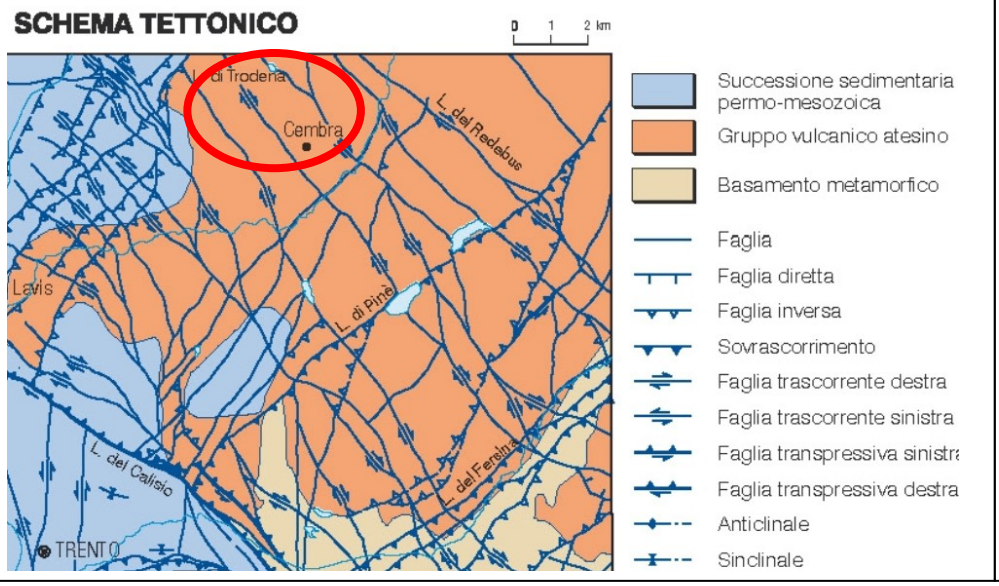
con modifiche, da Mantovani E. et al. (2013) - Assetto tettonico e potenzialità sismogenetica dell'Appennino Tosco- Emiliano-Romagnolo e Val Padana. Regione Emilia Romagna, Regione Toscana, Università di Siena.

Mantovani et al. (2013) - Assetto tettonico e potenzialità sismogenetica dell'Appennino tosco-emiliano-romagnolo e della Val Padana. Regione Emilia Romagna, Regione Toscana, Università di Siena.

L'area di studio fa dunque parte delle Alpi Meridionali, che sono una catena a pieghe e sovrascorrimenti sud-vergente a basso o nullo grado di metamorfismo, separata dall'orogeno Alpino, nord-vergente e in prevalenza metamorfico, dal Lineamento Periadriatico, attivo dall'Oligocene. Di particolare importanza sono i sistemi tettonici giudicariense (Linea delle Giudicarie) e scledense (Linea Schio - Vicenza) che si incrociano nel settore tra il Lago di Garda e Trento- Mezzolombardo-Pinzolo. Un altro importante fascio di faglie è quello della Valsugana, la cui terminazione occidentale si colloca fra Rovereto e Trento.



Schema geologico e tettonico della parte centro-orientale delle Alpi (da Viganò et al., 2008,con modifiche). Viganò A., Bressan G., Ranalli G., Martin S. (2008) - Focal mechanism inversion in the Giudicarie–Lessini seismotectonic region (Southern Alps, Italy): Insights on tectonic stress and strain. Tectonophysics, 480 (2008) p. 106-115



Schema tettonico della zona di interesse (CARG, PAT):

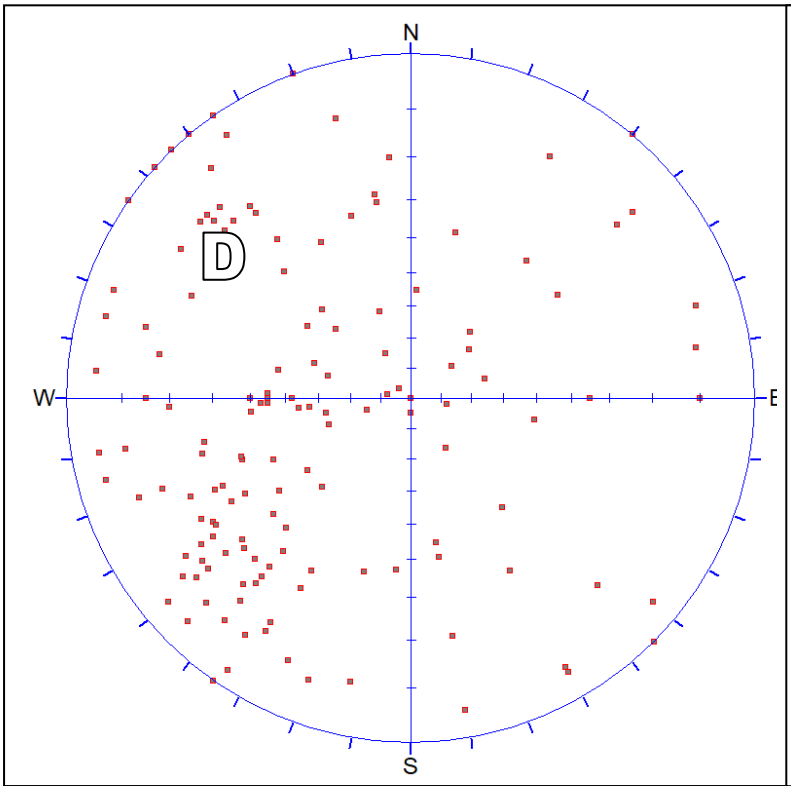
evidente l'incrocio fra le faglie trascorrenti sn. "scledensi" (NW-SE) e le compressive "giudicariensi" (NE-SW).

E' in questa fase collisionale alpina che vengono ad individuarsi delle faglie coniugate di svincolo della direttrice compressiva della "Linea di Pinè" (orientata NE-SW): sono faglie a carattere trascorrente destro ed orientate NW - SE, ortogonali pertanto al thrust valsuganotto ed alla "Linea di Pinè", cui sono associate delle faglie capaci (Prog. Ithaca).

Si è voluto fornire un inquadramento complessivo della tettonica regionale in quanto responsabile dell'attuale dislocazione delle varie formazioni geologiche che, come vedremo, condizionano l'assetto strutturale dell'area.

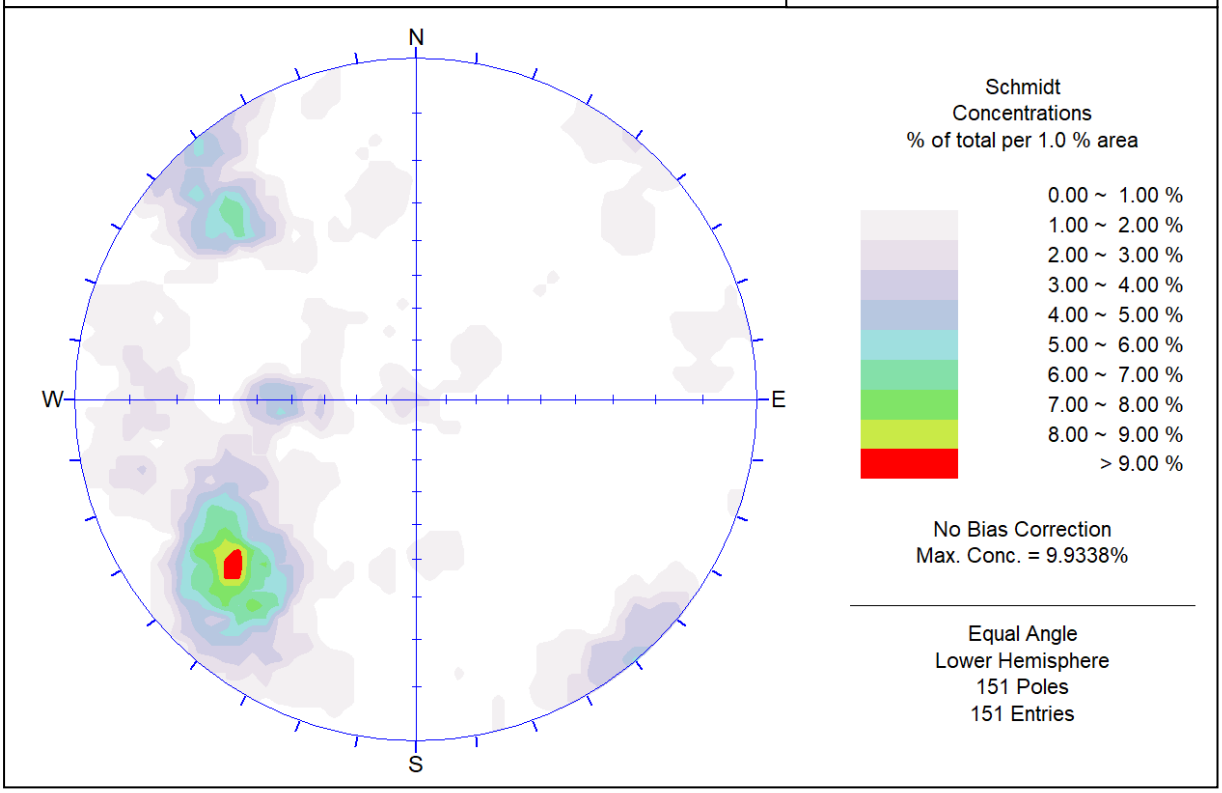
Riferendosi nel dettaglio al sito, sulla carta geologica si vede come il centro delle valle, così come la cresta del versante, sono percorsi da importanti linee di discontinuità di tipo scledense, NW-SE.

Riferendosi ora alle pareti della cava si sono eseguite delle misurazioni di tipo geomeccanico sulle varie famiglie di giunti che intersecano l'ammasso.



A lato:
Stereogramma (emisfero inferiore, reticolo di Schmidt, proiezione equiangolare) con i poli ed i cerchi massimi delle principali famiglie di giunti (dip dir. / dip imm.) che intersecano l'ammasso.

Sotto:
Classi di concentrazione dei poli di cui allo stereogramma superiore.

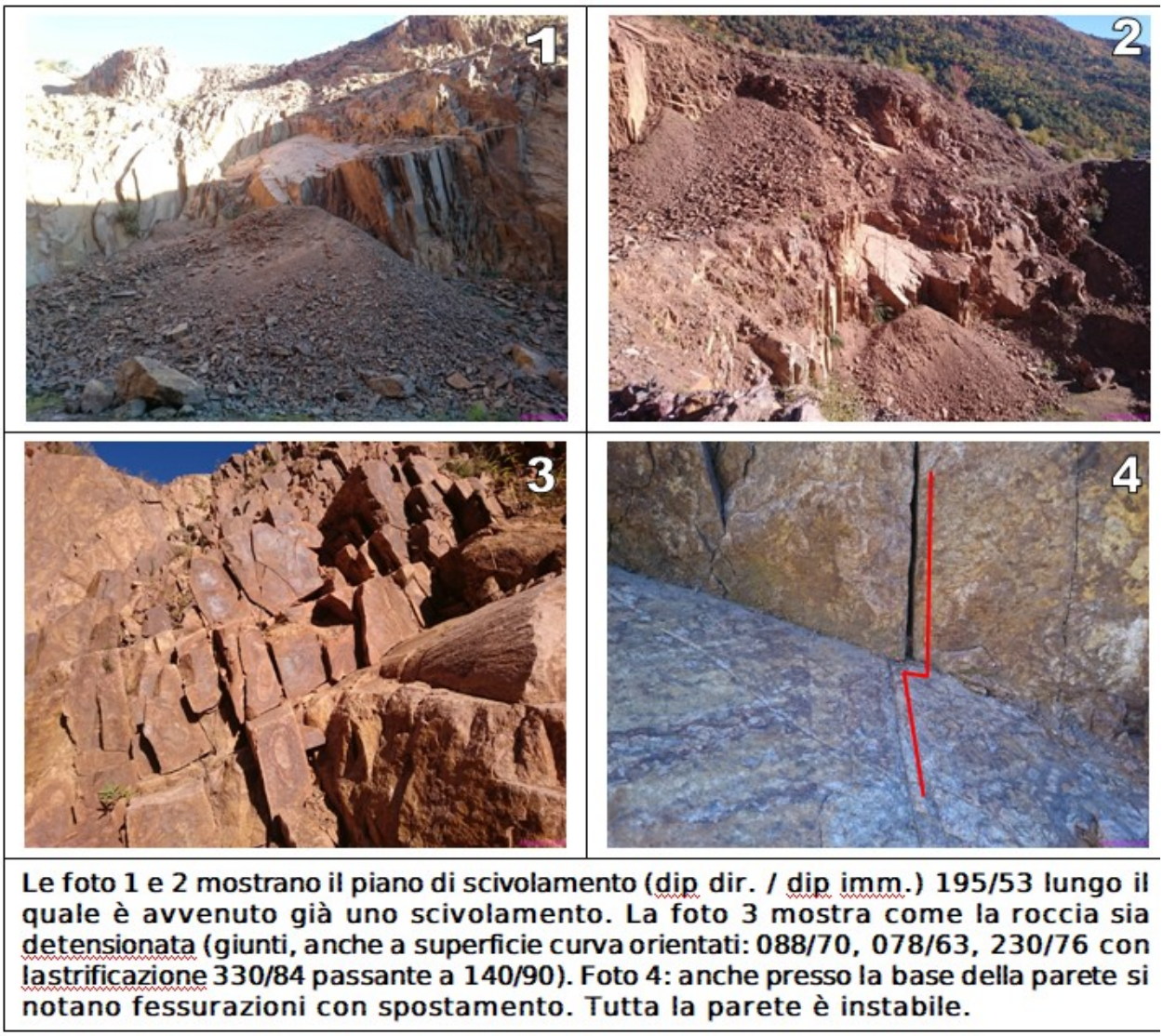


Come si vede l'orientazione dominante è riferibile al sistema NE-SW (scledense) e secondariamente a quella NW-SE (giudicariense), in sintonia con le principali direttrici tettoniche precedentemente descritte.

3.6. I fronti di cava

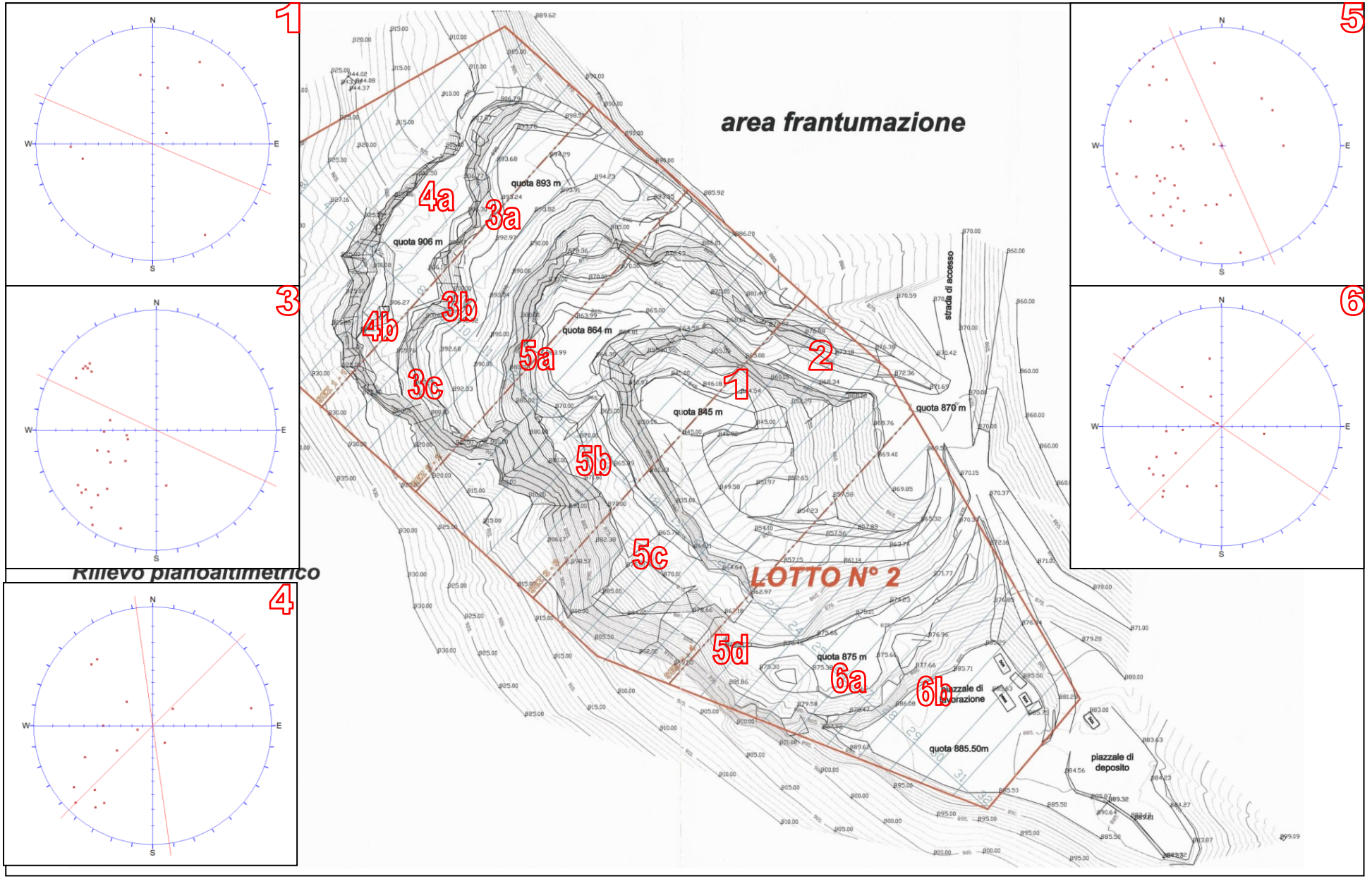
Si è anche indagato per verificare la situazione tensionale e strutturale dei fronti della cava: per la discussione a seguire si faccia riferimento alla planimetria riportata nella pagina a seguire.

Stazione 1: posta sul fondo della cava, lato E



Le foto 1 e 2 mostrano il piano di scivolamento (dip dir. / dip imm.) 195/53 lungo il quale è avvenuto già uno scivolamento. La foto 3 mostra come la roccia sia detensionata (giunti, anche a superficie curva orientati: 088/70, 078/63, 230/76 con lastrificazione 330/84 passante a 140/90). Foto 4: anche presso la base della parete si notano fessurazioni con spostamento. Tutta la parete è instabile.

Come descritto nelle didascalie delle foto, tutta la parete si presenta detensionata e con segnali inequivocabili di instabilità per scivolamento planare lungo i piani 195/53, che è il piano di scivolamento del dissesto già avvenuto; altro piano su cui possono avvenire movimenti dell'ammasso è 210/78.



Rilievo planoaltimetrico

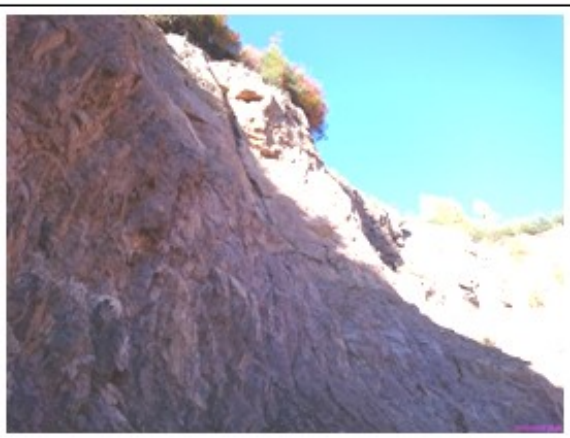
Stazione 3a: posta sul lato NE della cava

La principale caratteristica di questa zona è l'evidenza delle fratture con cataclasite orientate 40-60 / 75, dunque sub parallele alle lineazioni scledensi. Lastrificazione 132/75.

Stazione 3b: posta sul lato N della cava

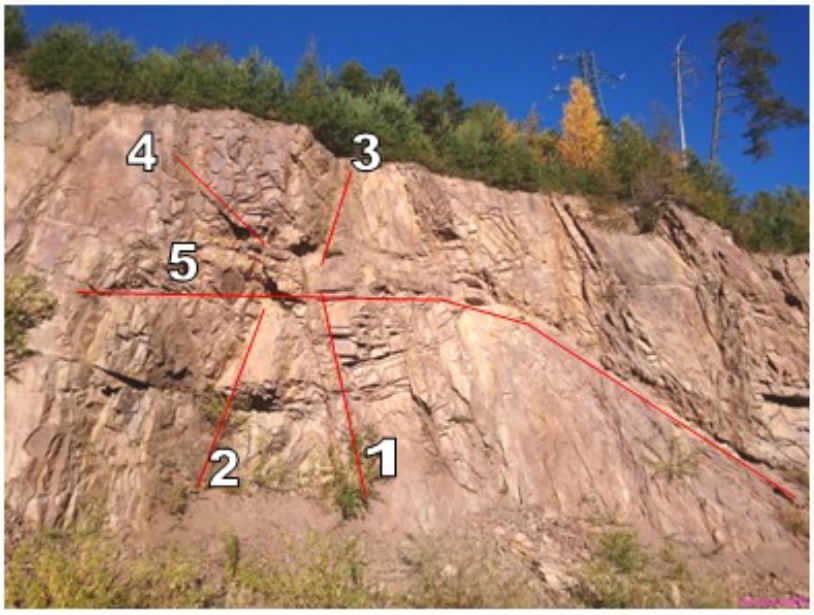
Qui vi sono delle ampie superfici, anche alterate 066/47 che hanno generato crolli fino ad alcuni m3. Lastrificazione 132/72-76.

Stazione 3c: posta sul lato NW della cava



La parte alta della cava presenta ampie porzioni instabili, anche per scivolamento lungo 040/80 e 072/28. Necessario un completo rimodellamento.

Stazione 4a, gradone sommitale N, zona N



Il trend principale è ancora riferibile alle fratture con cataclasite associabili ai giunti scledensi (1,2,3): l'assetto è però complicato da altri giunti (4,5).
1= 032/75, 2=260/80, 3=052/80, 4=57/40, 5=075/15. Lastrificazione 135/72.

Oltre alle evidenze dei movimenti lungo i giunti scledensi, nella zona N-NE del gradone vi evidenza di crolli, con volumi dei singoli massi fino a oltre 30 m3, per scivolamento a cuneo/diedro.

Stazione 4b, gradone sommitale N zona centro-orientale

1: - Le pareti NW sono detensionate, con fratture beanti che isolano porzioni di molti m3.

2: - diedro di 30 m3 isolato fra 140/72 e 40-50/80-90 e con piede intersecato da superfici poco inclinate, sia a reggipoggio230/25 che a franapoggio 320-330/15-30. Qui, quando piove, vi è un ruscellamento copioso (misurato 1 l/s).

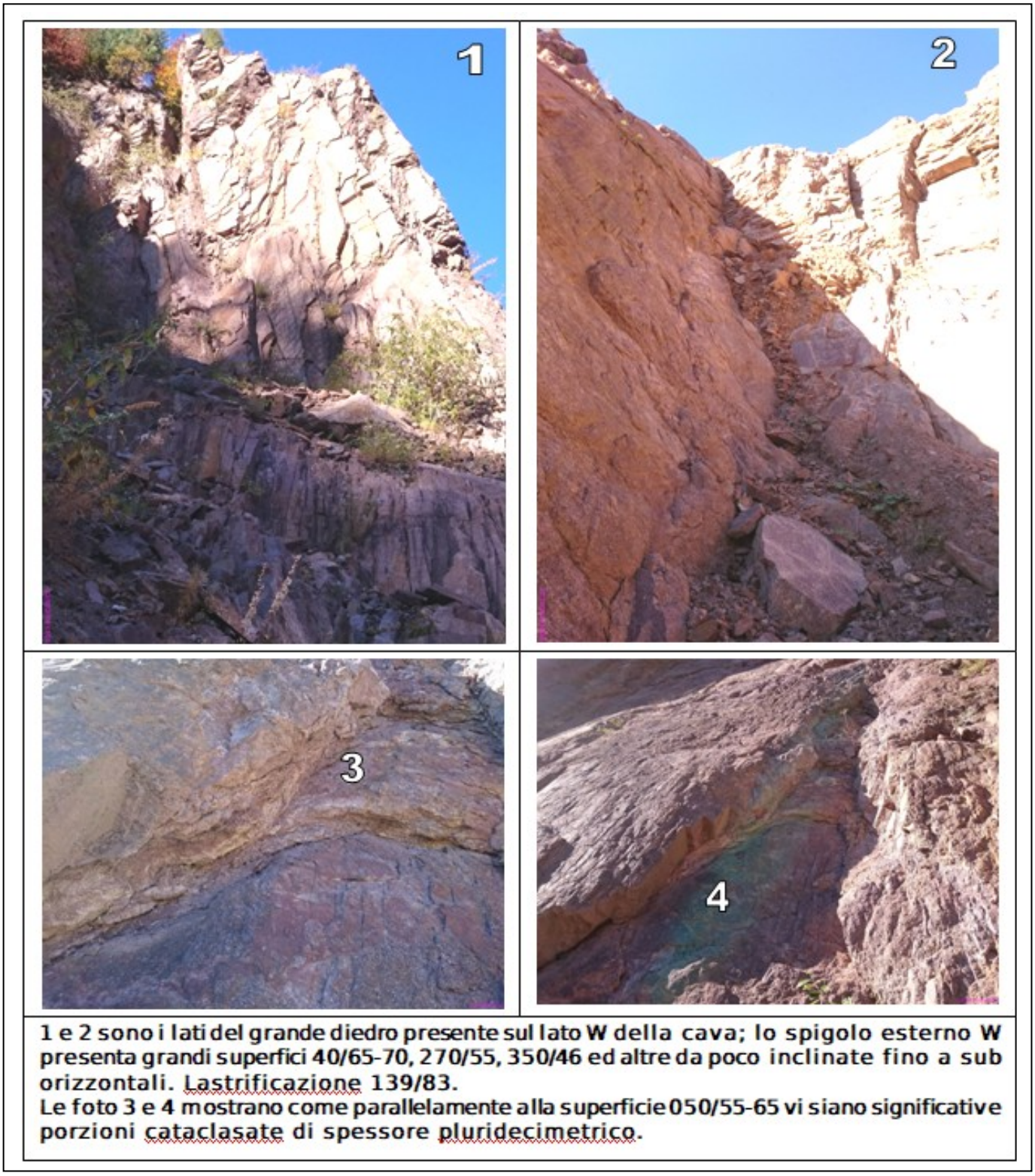
Stazione 5a, zona N

E' anch'essa caratterizzata da ampie superfici 40-50 / 70-90, anche con calcite, riferibili alla direttrice scledense; si nota l'avvenuto distacco di un'ampia "fetta" per intersezione con giunti 015/55 e, al piede, dei due giunti 350/85 e 088/45-50. Rimangono instabili altri diedri

Questo settore presenta ampie superfici 40-50 / 70-90 lungo le quali sono stati indotti dei distacchi ("piombe"): altre porzioni sono ancora instabili.

Stazione 5b, zona NW

Il fianco W presenta un diedro di grandi dimensioni modellato dai giunti 050/55-65 (anche con cataclasiti), 075/85 (lato N), 012/80 (lato S) e con lastrificazione 130/75-80.



1 e 2 sono i lati del grande diedro presente sul lato W della cava; lo spigolo esterno W presenta grandi superfici 40/65-70, 270/55, 350/46 ed altre da poco inclinate fino a sub orizzontali. Lastrificazione 139/83.
Le foto 3 e 4 mostrano come parallelamente alla superficie 050/55-65 vi siano significative porzioni cataclasate di spessore pluridecimetrico.

La composizione della roccia in questa porzione appare leggermente diversa rispetto alla zona più orientale, e questo è un elemento che conferma come lungo le direttrici giudicariensi possano essere avvenuti movimenti transpressivi.
Alla base di questa parete vi è un accumulo di frana di grandi dimensioni, verosimilmente staccatosi dalla zona di Foto 2.

Stazione 5c, zona W

Qui la lastrificazione è orientata 136/85-90: vi sono ampie superfici con fasce cataclasate orientate 030/65 altre 40-50/75-80 ed inoltre un piano 090/35-40 che mina la stabilità del piede di questa zona.

Roccia decompressa e con ampie superfici a franapoggio (freccia) 090/34/40.

Stazione 5d, zona SW

Tratto con ammasso disgregato e piuttosto decompresso, con volumi anche importanti instabili: la parete esterna è da ritenersi praticamente instabile. La lastrificazione è orientata 140/72. Le fratture più importanti sono orientate 30-35/75-90.

Praticamente tutto l'ammasso esternamente alla frattura evidenziata (035/90) è da ritenersi instabile. Sulla parte superiore della parete vi sono dei piccoli tetti aggettanti formati da fratture poco inclinate 90-100/05-10.

Stazione 6a, zona W

Anche questa zona è detensionata ed i giunti 040-055/70-75 sembrano essere le principali discontinuità lungo cui l'ammasso può svincolarsi; a tratti sono presenti delle brecciolini riferibili verosimilmente a antichi movimenti sinvulcanici, poi permeati da fluidi idrotermali che hanno in parte lisciviato e poi cementificato la frattura.

In conclusione si tratta di un ammasso disgregato e piuttosto decompresso, con volumi anche importanti instabili: la parete è da ritenersi praticamente instabile. La lastrificazione è orientata 140/72. Altre fratture importanti sono orientate 30-35/75-90.

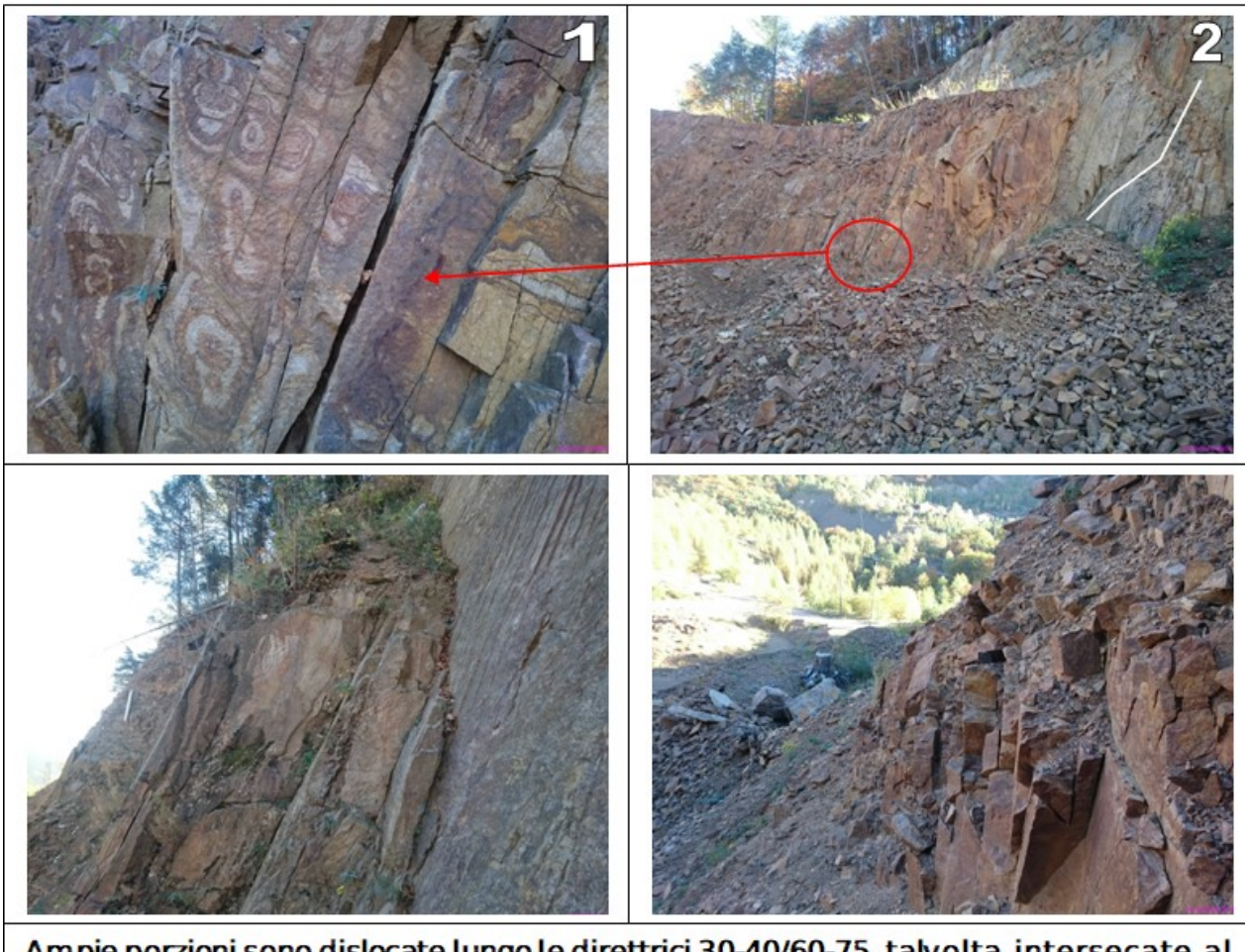
Grandi superfici 30-35/75-90 e 040-055/70-75 svincolano volumi molto importanti instabili e detensionati (Foto 1,2,3). Tali giunti si presento localmente beanti e interessati da brecciolini (alcune forse di origine idrotermale Foto 4) ma anche da fasce di cataclasite.
Nella parete sono osservabili (Foto 5) delle deformazioni all'andamento delle lastrificazioni (diaclasi).

Sul ciglio della cava è presente una porzione aggettante che è stata oggetto di particolare attenzione in quanto diagnostica di un avvenuto movimento gravitativo.

Nella parete sono osservabili degli aggetti che, esaminati da vicino, si sono rivelati essere delle superfici di taglio o scorrimento della porzione più superficiale della roccia. Eventuali rimodellamenti del versante dovranno tener conto di queste situazioni.

Stazione 6b, zona S

Zona con le direttrici 30-40/60-75 condizionanti la stabilità complessiva della parete: si presentano a spaziatura pluricentimetrica, molto persistenti, lisce , poco alterate, talora beanti anche non per fratturazione meccanica, a luoghi riempite da materiale limoso, con evidenze di circolazione effimera d'acqua. Problematici per la stabilità sono dei giunti, tipo 085/50, poco meno inclinati dei principali ma comunque disposti a franapoggio (vedasi traccia bianca evidenziante uno di questi giunti in foto 2).



Ampie porzioni sono dislocate lungo le direttrici 30-40/60-75, talvolta intersecate al piede (Foto 2) da giunti a minor inclinazione che minano la stabilità complessiva.

Per concludere la carrellata di osservazioni eseguite sulle pareti della cava si riportano delle fotografie che evidenziano visivamente alcune delle situazioni tensionali sopra descritte e la cui presenza implica la necessità di un'attenta valutazione della compatibilità dell'ipotesi progettuale in oggetto: tali situazioni vanno eliminate mediante demolizione.

3.7. Sismicità

La PAT ha dato attuazione all'Ordinanza G.U. n° 105 del 08/05/03 (Ordinanza del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003): "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica". Allo scopo ha approvato il D.G.P. n° 2813 dd. 23/10/03 (Approvazione Carta di Sintesi Geologica e s.m.) e la D.G.P. n° 2929 dd. 6/11/2003 (attuazione Ordinanza citata e s.m.).

In base a tali delibere PAT, e relativi aggiornamenti, il Comune di **Cembra Lisignago** è classificato essere in area a **sismicità trascurabile** (zona sismica **4**).

I terreni sono classificati dalle NTC 2018 in diverse categorie a seconda delle loro caratteristiche di comportamento sismico, influenzate dalla categoria geomorfologico - topografica del sito e dal loro assetto geotecnico – stratigrafico.

Sulla base di tutte le informazioni sopra discusse, si arriva pertanto a definire la seguente categoria di sottosuolo:

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensior allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Categoria topografica "**T2**".

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	*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.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti,* caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti,* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D,* con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Classificazione dei terreni secondo NTC 2018.

Categoria sottosuolo "A"

Si ricorda poi che, prima dell'emanazione delle NTC-18, la PAT aveva emanato un regolamento (D.G.P. n. 27 dd. 11/01/2008 "Direttiva per l'applicazione dopo l'1/1/2008 delle NTC") riguardante il grado di protezione progettuale sismica da conferire alle opere e che è messo in relazione alla tipologia e destinazione d'uso di quanto si intende realizzare.

Si riportano degli stralci delle NTC18 che permettono di seguire il processo decisionale che porta alla definizione dei parametri della pericolosità sismica locale.

Per definire i parametri della pericolosità sismica locale, si sono introdotte delle ipotesi relative alla tipologia di opera in progetto; tali indicazioni vengono

riportate a titolo esemplificativo, in quanto devono essere verificate e validate da parte del Progettista dell'opera:

2.4. VITA NOMINALE DI PROGETTO, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

2.4.1. VITA NOMINALE DI PROGETTO

La vita nominale di progetto V_N di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tab. 2.4.I – *Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni*

	TIPI DI COSTRUZIONI	Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Non sono da considerarsi temporanee le costruzioni o parti di esse che possono essere smantellate con l'intento di essere riutilizzate. Per un'opera di nuova realizzazione la cui fase di costruzione sia prevista in sede di progetto di durata pari a P_N, la vita nominale relativa a tale fase di costruzione, ai fini della valutazione delle azioni sismiche, dovrà essere assunta non inferiore a P_N e comunque non inferiore a 5 anni.

Le verifiche sismiche di opere di tipo 1 o in fase di costruzione possono omettersi quando il progetto preveda che tale condizione permanga per meno di 2 anni.

Vita nominale: **≥ 50 anni**.

2.4.2. CLASSI D'USO

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Classe d'uso: **classe I**.

Coeff. d'uso: **0,7**

2.4.3. PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche sulle costruzioni vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale di progetto V_N per il coefficiente d'uso C_U:

$$V_R = V_N \cdot C_U \qquad [2.4.1]$$

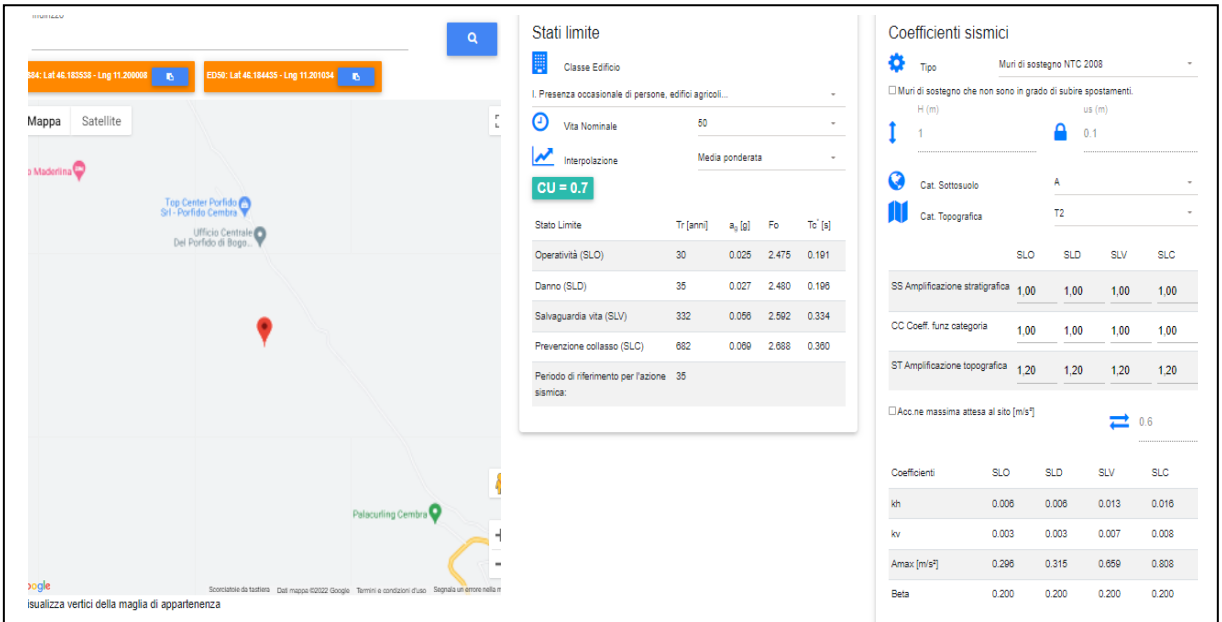
Il valore del coefficiente d'uso C_U è definito, al variare della classe d'uso, come mostrato in Tab. 2.4.II.

Tab. 2.4.II – *Valori del coefficiente d'uso C_U*

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Per le costruzioni a servizio di attività a rischio di incidente rilevante si adotteranno valori di C_U anche superiori a 2, in relazione alle conseguenze sull'ambiente e sulla pubblica incolumità determinate dal raggiungimento degli stati limite.

Con le precedenti ipotesi si ricavano i seguenti parametri di pericolosità:



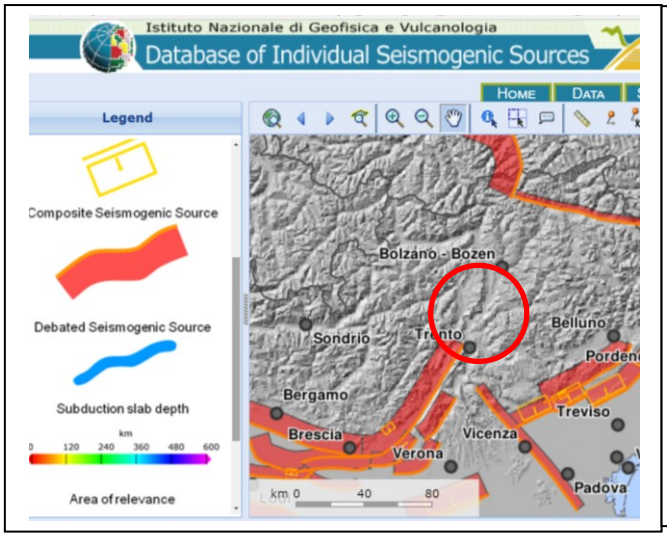
Mappe pericolosità sismica e parametri sismici - NTC-18 - D.M. 17/01/18 determinati con il programma Geostru.

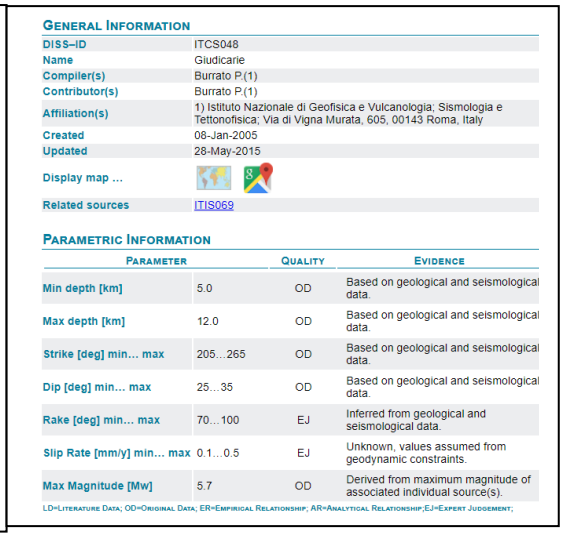
Quale compendio a tali informazioni si riporta un inquadramento cartografico del progetto: "Analysis of the seismic potential in Italy for the evaluation of the seismic hazard" curato dal Dipartimento della Protezione Civile che recepisce i dati editati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia tramite il progetto **DISS** "Database of Individual Seismogenic Sources".

Questo database contiene informazioni su elementi tettonici in grado di generare terremoti, definiti anche come **faglie attive**: in Trentino viene indicato un solo macroelemento, noto come "faglia delle Giudicarie".

Si tratta di una fascia a scala regionale che rappresenta la cerniera di sutura della zona di scontro fra la placca africana e quella europea: nel dettaglio la linea delle Giudicarie rappresenta una faglia inversa e trascorrente sinistra con rigetto dislocativo trascorrente stimato in circa 30 Km.

Secondo il database citato, tale elemento sismogeno può generare terremoti con intensità di scuotimento fino alla Magnitudo 5.7 Richter.





GENERAL INFORMATION

DISS-ID	ITCS048
Name	Giudicarie
Compiler(s)	Burrato P.(1)
Contributor(s)	Burrato P.(1)
Affiliation(s)	1) Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; Sismologia e Tettonofisica; Via di Vigna Murata, 605, 00143 Roma, Italy
Created	08-Jan-2005
Updated	28-May-2015
Display map ...	
Related sources	ITIS069

PARAMETRIC INFORMATION

Parameter		Quality	Evidence
Min depth [km]	5.0	OD	Based on geological and seismological data.
Max depth [km]	12.0	OD	Based on geological and seismological data.
Strike [deg] min... max	205...265	OD	Based on geological and seismological data.
Dip [deg] min... max	25...35	OD	Based on geological and seismological data.
Rake [deg] min... max	70...100	EJ	Inferred from geological and seismological data.
Slip Rate [mm/y] min... max	0.1...0.5	EJ	Unknown, values assumed from geodynamic constraints.
Max Magnitude [Mw]	5.7	OD	Derived from maximum magnitude of associated individual source(s).

LD=Literature Data; OD=Original Data; ER=Empirical Relationship; AR=Analytical Relationship;EJ=Expert Judgement;

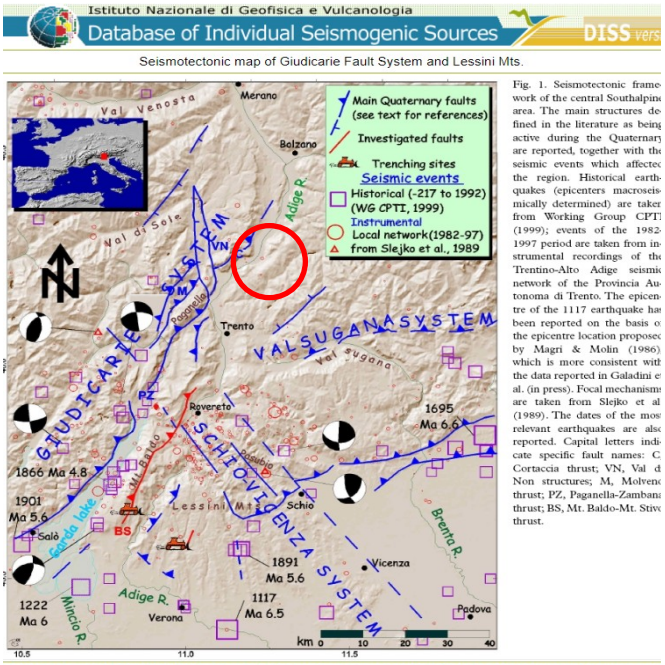


Fig. 1. Seismotectonic frame work of the central Southalpine area. The main structures de fined in the literature as being active during the Quaternary are reported, together with the seismic events which affected the region. Historical earthquakes (epicenters macroseismically determined) are taken from Working Group CPTI (1999); events of the 1982-1997 period are taken from instrumental recordings of the Trentino-Alto Adige seismic network of the Provincia Autonoma di Trento. The epicentre of the 1117 earthquake has been reported on the basis of the epicentre location proposed by Magri & Molin (1986) which is more consistent with the data reported in Galadini et al. (in press). Focal mechanisms are taken from Slejko et al (1989). The dates of the most relevant earthquakes are also reported. Capital letters indicate specific fault names: C, Cortaccia thrust; VN, Val di Non structures; M, Molveno thrust; PZ, Paganella-Zambana thrust; BS, Mt. Baldo-Mt. Stivo thrust.

eismotectonic map of the area located between the Garda Lake and the Lessini Mts. Moderate size seismicity is associated with e Giudicarie Fault System (from Galadini et al. [2001]).

Il progetto DISS (Database of Individual Seismogenic Sources)

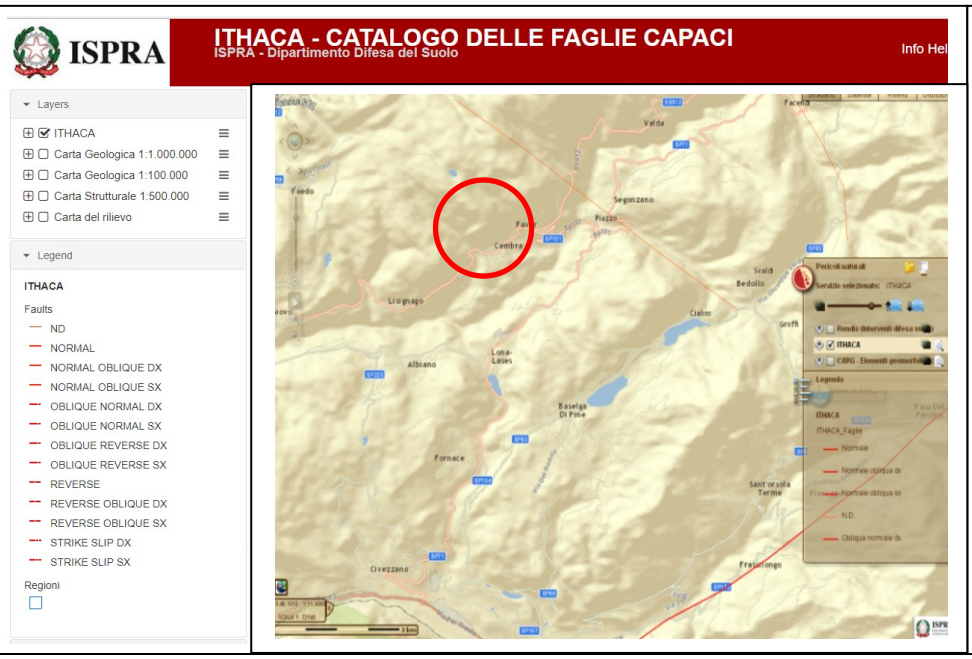
indica che il macroelemento sismogenico della zona è la faglia delle Giudicarie,di tipo inverso.

E' una faglia attiva classificata poter generare sismi di magnitudo 5.7.

Infine si riporta la mappa della zona estratta dal database Progetto **ITHACA** (ITaly HAzard from CApable faults), del Servizio Geologico d'Italia, ISPRA.

Questo database riguarda le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali: il progetto si occupa in modo particolare delle **faglie capaci**, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie.

Da tale database risultano essere presenti delle faglie capaci (linee rosse nella figura a seguire) poste però oltre al sito di interesse, cerchiato in rosso.

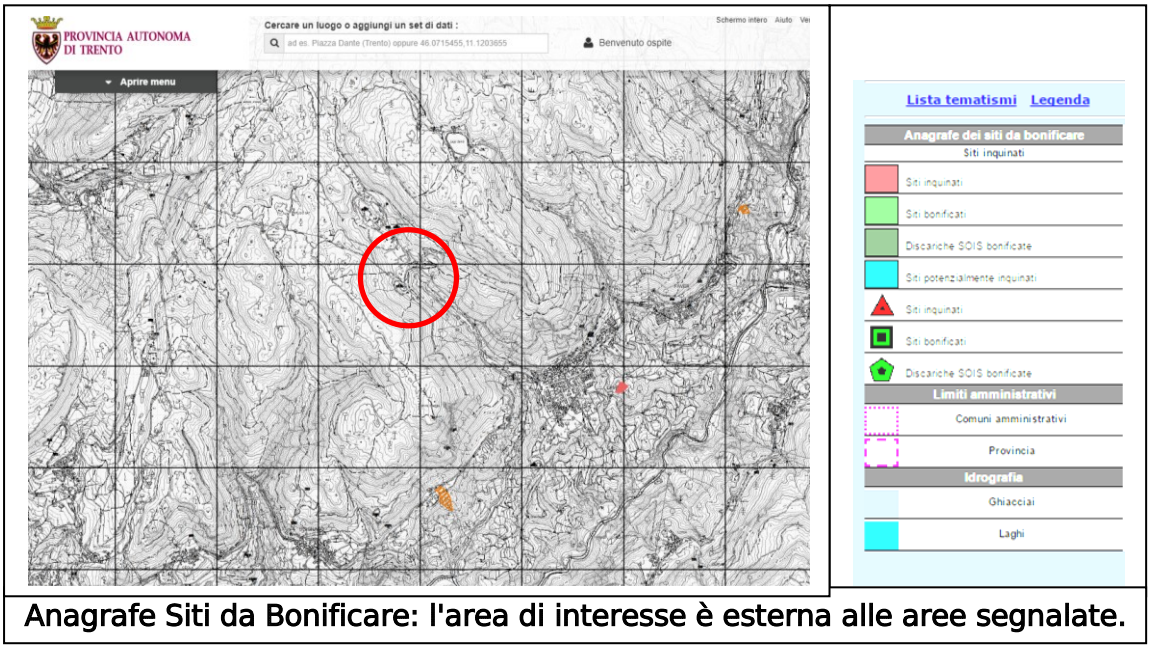


Mappa "faglie capaci" dal Progetto ITHACA (ITaly HAzard from CApable faults), dal portale del Servizio Geologico d'Italia, ISPRA: nella zona di interesse non sono segnalate faglie di questa categoria.

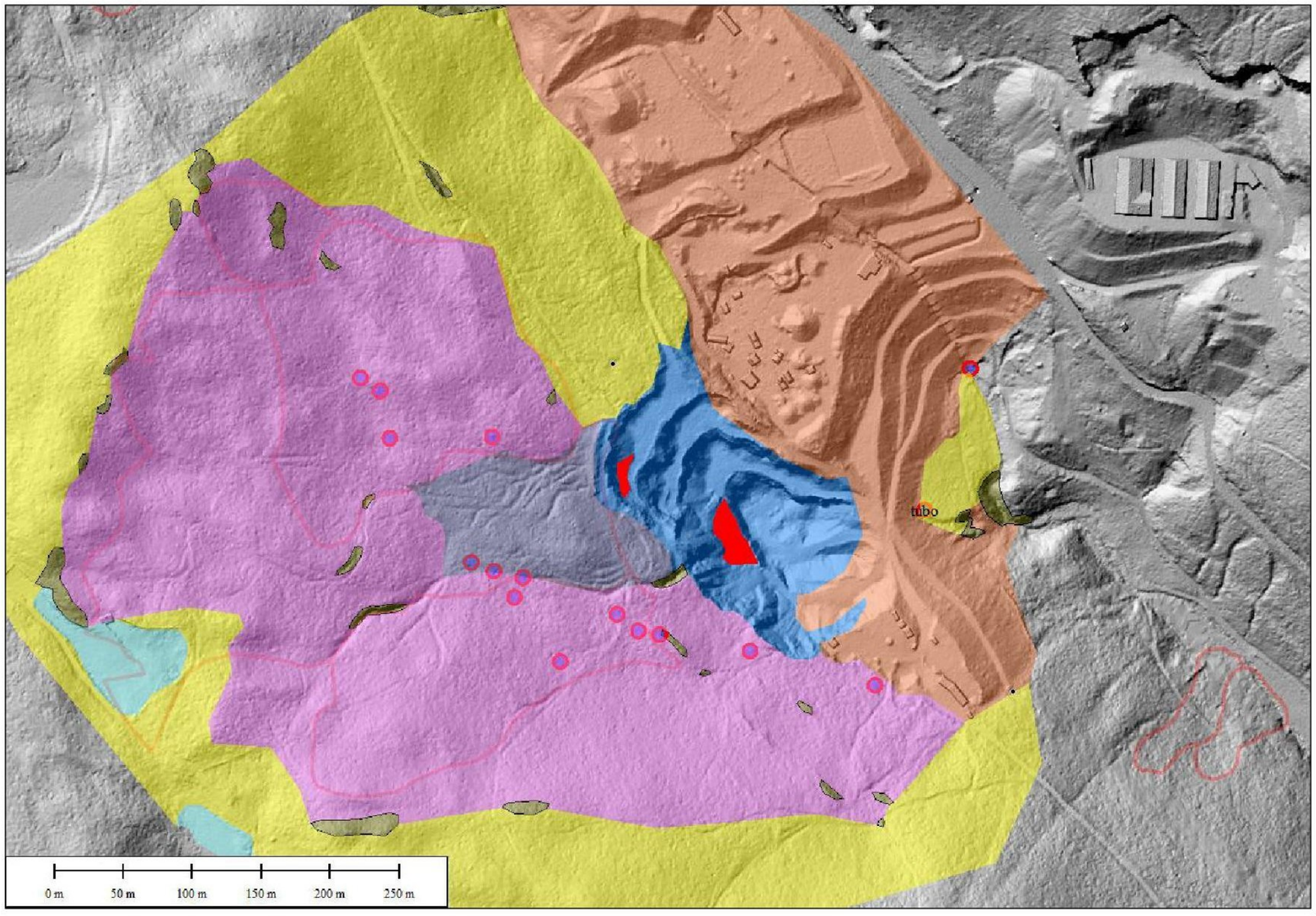
3.8. Storia d'uso del suolo

La storia d'uso del suolo di interesse è stata di area **a bosco e poi estrattiva**; non vi sono quindi i presupposti per ritenere, anche alla luce dei sopralluoghi eseguiti, che si tratti di un'area con particolari problematiche di tipo ambientale.

Anche la consultazione on - line **dell'Anagrafe dei Siti da Bonificare** della PAT non ha fatto emergere particolari criticità di tipo ambientale; vedasi figura a seguire.



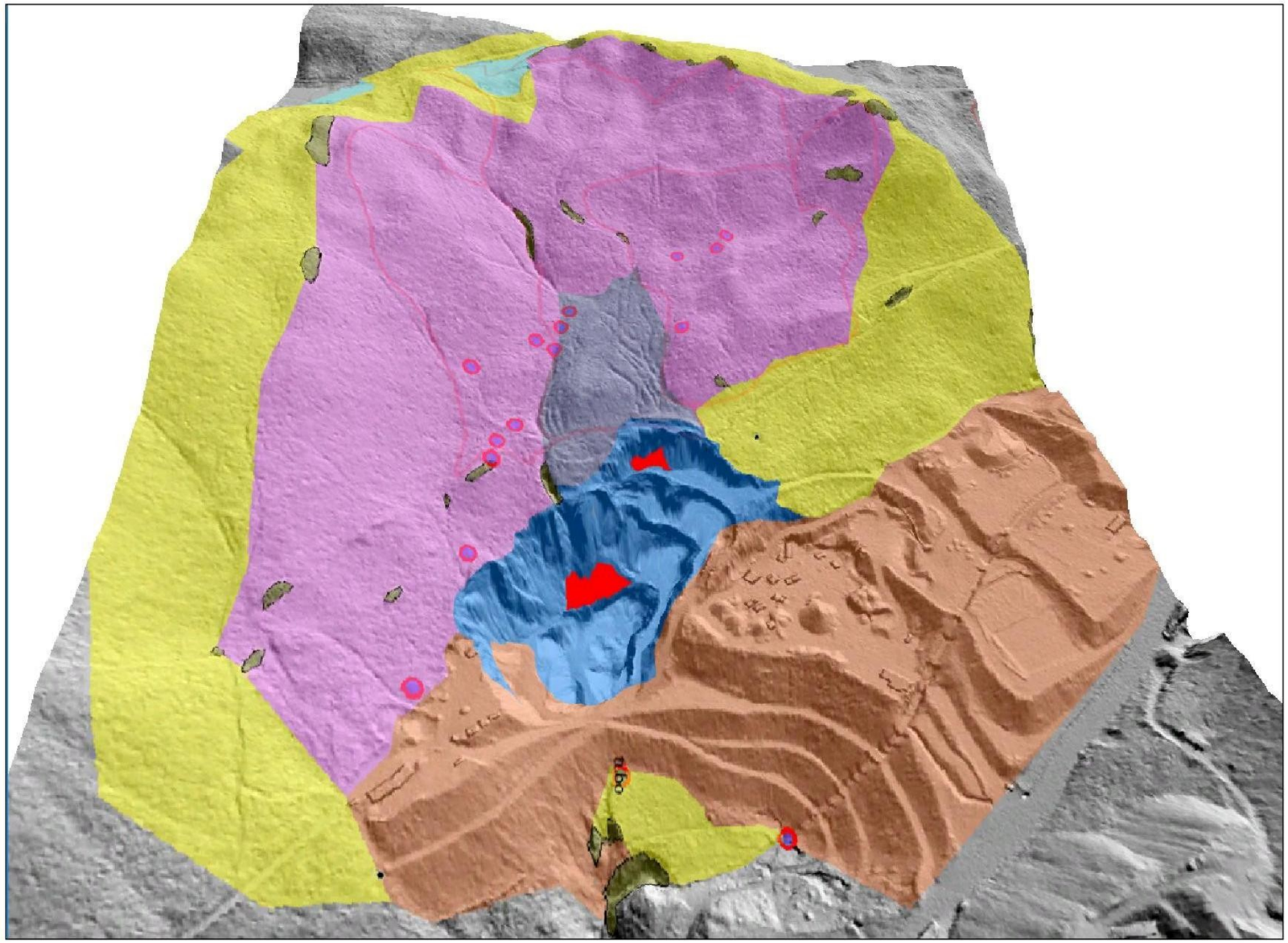
Anagrafe Siti da Bonificare: l'area di interesse è esterna alle aree segnalate.



LEGENDA

- Cava s.s. (roccia e detrito antropico)
- Accumulo di frana da parete di cava
- Ghiaia antropica
- Colluvium e colate detritiche
- Deposito gravitativo rimaneggiato
- Alluvioni fluvioglaciali antiche
- Morena non rimaneggiata
- "Porfido " F. di Ora (ignimbrite riolitica)
- sorgente
- Nicchia (Servizio Geologico PAT)

Carta Geologico - applicativa area dell'ex cava Peschiera



LEGENDA

- Cava s.s. (roccia e detrito antropico)
- Accumulo di frana da parete di cava
- Ghiaia antropica
- Colluvium e colate detritiche
- Deposito gravitativo rimaneggiato
- Alluvioni fluvioglaciali antiche
- Morena non rimaneggiata
- "Porfido " F. di Ora (ignimbrite riolitica)
- sorgente
- Nicchia (Servizio Geologico PAT)

Carta Geologico - applicativa area dell'ex cava Peschiera

4. CONCLUSIONI

Il livello di pericolosità e di rischio associato del sito, allo stato attuale ed in previsione della realizzazione del progetto, fa riferimento alla cartografia di cui al Cap. 1 ed agli esiti dei rilevamenti: sia dal punto di vista normativo che in base a quanto rilevato, si tratta di un'area che presenta delle pericolosità idrogeologiche, le più immediate delle quali derivano dall'abbandono dell'attività mineraria senza che sia avvenuto un rimodellamento di ripristino dei fronti scavati.

Inoltre, sul pendio a monte della cava, sono state individuate delle antiche nicchie di frana: secondo la classificazione fornita dal Servizio Geologico PAT, le frane sono complesse e una delle tre principali frane è da considerarsi assestata, mentre altre due sono da considerarsi quiescenti. Nella letteratura specializzata, la definizione di frana quiescente (es. da Cruden & Varnes - 1996) è: *"una frana quiescente è una frana inattiva che si può riattivare"*. Ancora riguardo a tali frane, di cui si è effettivamente trovata evidenza anche in base alla tipologia di materiale che ricopre il pendio, si nota che nel versante boscato non vi sono elementi antropici che possano evidenziare la presenza di movimenti. Gli unici elementi sarebbero i piloni dell'elettrodotto (che secondo l'interferometria satellitare sono stabili) ma tali piloni sono però posti esternamente alla perimetrazione delle citate frane e quindi non costituiscono un elemento diagnostico.

Nei boschi, in presenza di movimenti gravitativi lenti (creep), possono essere importanti le osservazioni circa la presenza e distribuzione di tronchi arcuati, la cui crescita è stata condizionata dal lento movimento del terreno entro cui affondano le radici. Nel versante rilevato si sono effettivamente osservate varie piante arcuate (vedasi la documentazione fotografica precedentemente presentata), sebbene esse non abbiano una distribuzione (raggruppamento) tali da fornire evidenze certe di zone in stabili. Si ricorda infatti che anche in zone stabili accade che vi siano fenomeni localizzati che determinano il manifestarsi di tale fenomeno di arcuatura.

E' tuttavia pure un fatto che tali frane sono antiche, verosimilmente avvenute in concomitanza della deglaciazione ed associati eventi decompressivi; si tratta di condizioni non più presenti. Inoltre la perimetrazione di tali frane si arresta sul pendio a monte del ciglio della cava Peschiera e senza il coinvolgimento del territorio sottostante. Lo scrivente ha tuttavia trovato evidenza di superfici di taglio sub orizzontali sulla parte più alta dei fronti di cava: tali superfici potrebbero essere riferibili a taglio/scorrimento superficiale della roccia. Queste porzioni rocciose aggettanti saranno rimosse.

Sempre sul pendio a monte della cava, nella zona basale del pendio, sono state individuate delle morfologie riferibili a fenomeni di colata detritica: si tratta delle caratteristiche arginature / cordonate, di forma anche arcuata e subparallele fra loro: interessante che la verosimile provenienza delle colate che possono aver modellato tali morfologie, sono riferibili ad almeno due ramali di lineamento idrico, che si originano a quote superiori per lo sversamento dalle zone paludose sommitali. Il contrasto di tale problematica esula dagli scopi del presente progetto: in ogni caso anche se si verificasse un evento, non vi saranno fenomeni di erosione sulle pareti della cava (in porfido). per il piazzale basale, in funzione della destinazione d'uso che si vorrà attribuirgli in futuro, si potrà eventualmente predisporre un argine interposto fra le pareti ed il piazzale.

Tornando a riferirsi alle passate attività di coltivazione, sui fronti di cava sono state individuate non solo singole porzioni instabili ma anche degli ammassi a scala maggiore con problemi di stabilità: non è inusuale che sui fronti di una cava

dismessa e non ancora ripristinata si trovino delle porzioni rocciose instabili: meno frequente è la circostanza che vi siano delle masse di grandi dimensioni.

Relativamente al primo aspetto, si ricorda come sul fianco di monte della cava vi sono giunti decompressi a persistenza fino a decametrica, molto inclinati e che generano potenziali instabilità (es. vedasi le stazioni di misura strutturali 5 e 6) anche enfatizzate per gli arrivi delle acque scolanti dal versante. Due accumuli di frana generati da tale tipologia di instabilità è cartografato nella mappa di corredo al presente elaborato.

Queste situazioni verranno affrontate dal progetto che prevede proprio una regolarizzazione della geometria delle pareti, riducendone la pendenza complessiva.

Con riferimento alle instabilità a grande scala, la situazione critica è quella all'intero costone NE, verso il frantoio, che si trova in condizioni precarie. Il progetto, a riguardo, ha previsto il contrasto dell'instabilità mediante un rimodellamento completo, con rimozione della parte superiore ed un completo ri-confinamento dell'ammasso inferiore tramite riempimento del cavo minerario con materiale inerte disposto con un angolo di assoluta stabilità, cioè con pendenza ben inferiore all'angolo di attrito interno del materiale di riempimento.

L'intervento si propone proprio di contrastare tale situazione: non si raggiungerà ad una completa riduzione del rischio, ma lo stesso verrà ridotto ad un livello tale da renderlo compatibile relativamente alle condizioni di ripristino ambientale di una zona mineraria dismessa.

In conclusione, tenendo nella dovuta considerazione quanto sopra esposto, risulta che vi è compatibilità fra la situazione geologica riconosciuta e le opere in progetto, fatti salvi i diritti di terzi.

Il presente elaborato è redatto in ottemperanza ai contenuti del D.M. 17/01/2018 "Nuove norme tecniche per le costruzioni" e soddisfa i requisiti urbanistici e normativi di rilevanza geologica per cui costituisce documento progettuale idoneo per il rilascio della concessione ad edificare.

In corso d'opera si deve controllare la rispondenza tra il modello geologico di riferimento assunto in progetto e la situazione effettiva, differendo di conseguenza il modello geotecnico ed il progetto esecutivo, così come previsto dalla normativa di settore".

Richiamando validi concetti espressi dalla precedente normativa (DM 11/03/88), inoltre, si prescrive che "La validità delle ipotesi di progetto dovrà essere controllata durante la costruzione considerando, oltre ai dati raccolti in fase di progetto, anche quelli ottenuti con misure ed osservazioni nel corso dei lavori per adeguare, eventualmente, l'opera alle situazioni riscontrate".

San Cristoforo, giugno 2022

Studio Geologico Associato GeoAlp
dott. geol. Icilio Vigna

4. RELAZIONE GEOTECNICA

Sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica riferite al progetto preliminare: **"Area estrattiva di Cembra - Sistemazione versante zona Sud (ex cava Peschiera)", curato dallo Studio Tecnico Associato STA, Ing. Zanetti Andrea e commissionato da Nuova Ecologia.**

4.1. Piano delle indagini geotecniche, modello geotecnico - caratteristiche geotecniche dei terreni

Per la stesura del presente documento si fa esplicito richiamo alla relazione geologica, tenendo anche conto della possibilità di modificare i modelli geotecnici in relazione alle misure e ai controlli in corso d'opera.

Il piano di indagine ha previsto il rilevamento geomeccanico di superficie e l'esecuzione di un'indagine geofisica preliminare HVSR: queste indagini non hanno comunque potuto far prendere completa osservazione di tutto il terreno coinvolto e dunque permangono delle verifiche da eseguirsi in sede esecutiva. Il presente elaborato è redatto anche con la finalità di accedere al rilascio dei titoli edilizi e pertanto si rinvia con esplicita prescrizione alla sede esecutiva la verifica della rispondenza fra le ipotesi contenute nel presente elaborato e la situazione geotecnica effettiva.

Il modello geotecnico del sito rispecchia quanto rappresentato nel modello geologico: a seguire si presenta la parametrizzazione geotecnica riferita a tale modello: queste valutazioni e considerazioni geotecniche relative alle resistenze offerte dal terreno devono, in sede di progettazione esecutiva, essere confrontate con le azioni di progetto per le verifiche di sicurezza e delle prestazioni.

Le informazioni geotecniche di seguito riportate derivano dalle osservazioni di campagna, da dati bibliografici disponibili per terreni analoghi e dall'esperienza dello scrivente: sono anche state valutate le risultanze di prove geotecniche con sclerometro e con prove speditive del tipo tilt test.

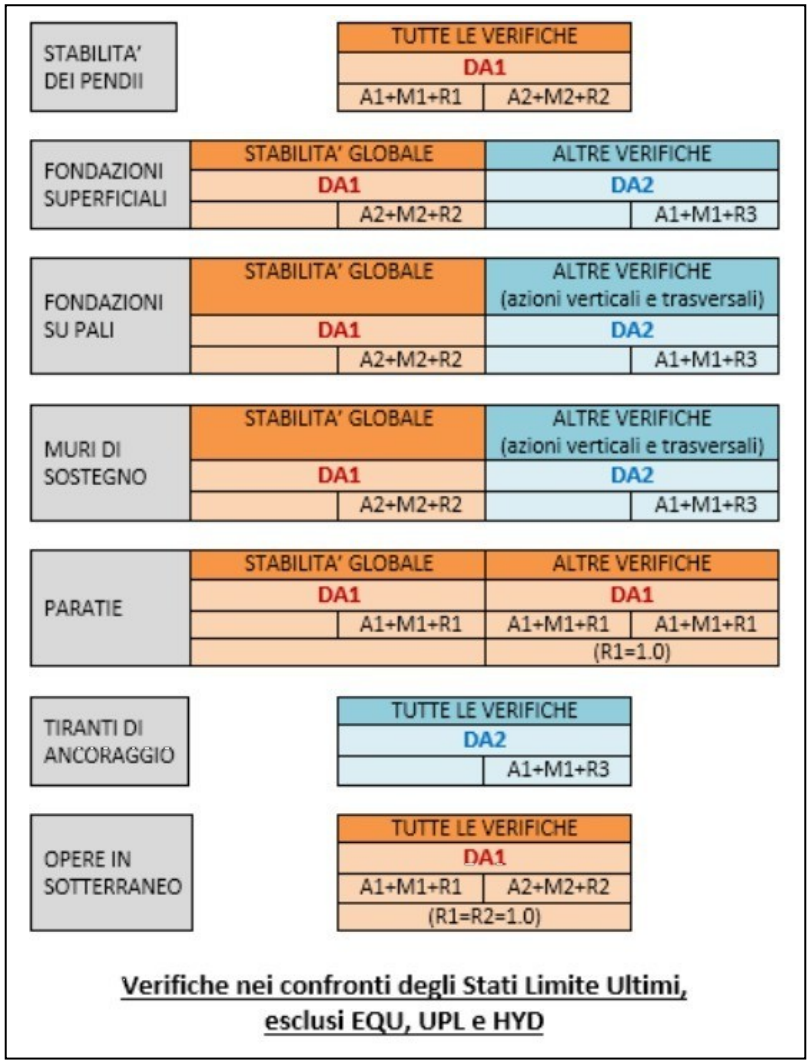
Secondo le NTC-18 – par. 6.2.2. INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOTECNICA *"... Ai fini dell'analisi quantitativa di uno specifico problema, per modello geotecnico di sottosuolo si intende uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico. Nel modello geotecnico di sottosuolo devono essere definiti il regime delle pressioni interstiziali e i valori caratteristici dei parametri geotecnici."*

Secondo il testo a cura del Gruppo Interregionale Ordine dei Geologi Euro Codice 7, 2012, "UNA METODOLOGIA PER LA SCELTA DEI PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI" l'EC7, al punto 2.4.5.2 2(P), recita: "Il valore caratteristico di un parametro geotecnico sarà scelto come una stima cautelativa del valore 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, ed adottarne un valore, o stima, a favore della sicurezza. A tal riguardo, l'unica metodologia delineata dall'EC7 per la definizione dei valori caratteristici, è di natura statistica (Nori, 2009).

Sulla base di quanto precedentemente esposto, si è operata un'elaborazione statistica - secondo le metodiche tecniche (percentili) previste dalle norme - dei dati disponibili, ottemperando così alle disposizioni del D.M. 17/01/18.

Si è giunti a delimitare, per i litotipi presenti in corrispondenza delle opere e per le diverse condizioni al contorno - zonazione che tiene conto della variabilità delle profondità, ecc. - i seguenti campi di variabilità e valori medi (m) e caratteristici (k) dei principali parametri geotecnici (criterio di rottura alla Mohr - Coulomb) - Approccio Bayesiano (Cherubini e Orr, 1999): xk = xm * (1-(CV/2) dove xk = valore caratteristico e CV = coeff. variazione.

Per passare dai valori caratteristici (xk) ai valori di progetto (xd) vengono applicati dei fattori di riduzione (fattori di sicurezza parziali): le combinazioni di calcolo da adottarsi relativamente alla progettazione geotecnica secondo le NTC-18 (DM. 17/01/2018) sono:



A seguire si riportano gli esiti delle indagini e le conseguenti valutazioni sulla stabilità dell'ammasso roccioso.

Valutazioni geomeccaniche e di stabilità delle pareti rocciose

Come accennato nei capitoli precedenti le pareti rocciose che caratterizzano questa ex-cava sono formate dalle ignimbriti riolitiche del Permiano superiore, note in letteratura come Formazione di Ora, diffusa su in tutta la val di Cembra (Gruppo Vulcanico Atesino).

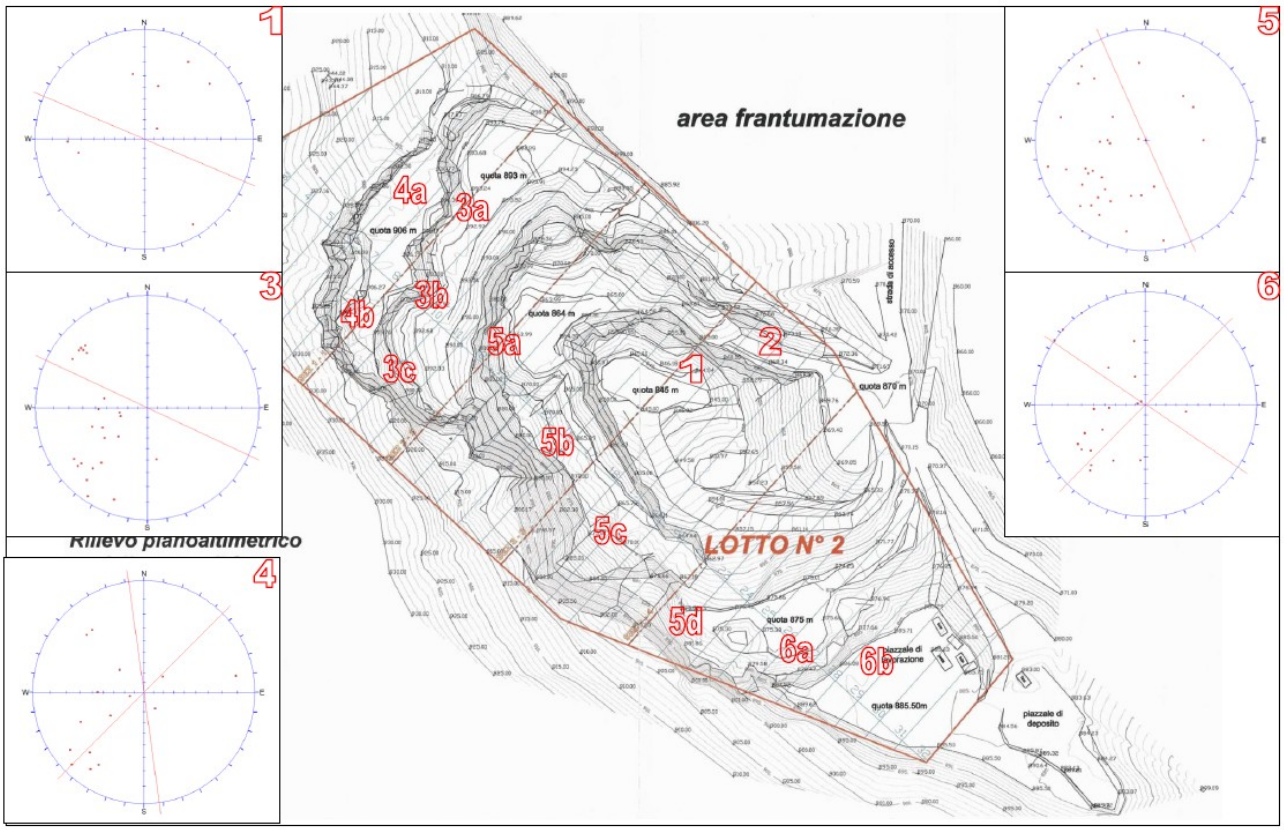
Sintesi dell'assetto tettonico e strutturale

La raccolta dei dati, effettuata per la redazione dello studio del dicembre 2018, ha evidenziato come il substrato roccioso sia interessato da una diffusa presenza di piani di discontinuità associabili alle precedenti fasi tettoniche regionali e quindi con una orientazione prevalentemente NE-SW (fase scledense) e NW-SE (fase giudicariense).

Questi piani di frattura assumono spesso un assetto a medio angolo su fronti subverticali con un deciso contributo all'instabilità di alcuni pendii rocciosi della ex-cava.

I rilievi geomeccanici del 2018 avevano già suddiviso i fronti di scavo in 6 aree con caratteristiche geomeccaniche diverse, evidenziando comunque come gli ammassi rocciosi si presentino pressoché costantemente detensionati e con diverse aree instabili con fenomeni da crollo (la cinematica da scivolamento è preponderante).

Di seguito si riassumono le varie aree rilevate nel 2018.



AREA 1-2: caratterizza il settore est della ex-cava

In questo caso il rilievo ha evidenziato la presenza di 2 famiglie di discontinuità principali all'interno delle ignimbriti):

K1: 195/53 (assetto a franappoggio su cui si sono già verificati dei scivolamenti evoluti poi in crolli)

K2: 210/78 (assetto a franappoggio)

K3: 78-88/60-70

K4: 230/76

K5: 330/84 (famigli aprincipale)

AREA 3-4: caratterizza la zona a N-NW

Anche in questo caso sono state rilevate alcune importati famiglie di discontinuità:

K1: 132/78 (la famiglia principale)

K2:60-66/47

K3: 30-40/75-80 (piani di scivolamento)

K4: 72/80 (piani di scivolamento)

K5: 260/80 (piani localizzati)

K6: 52/80 (piani localizzati)

K7: 75/15 (piani localizzati)

AREA 5: caratterizza le pareti a W e S.

Permane l'assetto strutturale rilevato nelle aree precedenti:

K1: 130/75 (la famiglia principale) variabile fino a 140/72

K2: 40-50/70-90 (subverticali)

K3: 75/80 (K4 per l'area 3-4)

K4: 12/80

K5: 90/35-40

AREA 6: caratterizza le pareti a S.

K1: 140/72 (la famiglia principale)

K2: 40-55/70-75 (piani di svincolo)

K3:30-35/75-90

K4: 85/50 (piani di scivolamento)

Sintesi dell'assetto tettonico e strutturale

In questo paragrafo si propone una classificazione della roccia secondo l'RMR di Bieniawsky e quindi, con le dovute correzioni, l'indice SMR di Romana. Viene anche proposto un indici di classificazione secondo l'indice GSI.

Le classificazioni di Bieniawsky e Romana (la seconda è derivata dalla prima, che risultava troppo "conservativa") consentono di soddisfare i quesiti richiesti e le problematiche che si presentano.

La classificazione di Bieniawsky si basa sul rilievo, in campagna o in laboratorio, di sei parametri:

A1 = resistenza a compressione uniassiale;
A2 = Rock Quality Designation Index (Indice RQD);
A3 = spaziatura delle discontinuità;
A4 = condizioni delle discontinuità;
A5 = condizioni idrauliche;
A6 = orientamento delle discontinuità.

A. CLASSIFICAZIONE DEI PARAMETRI E LORO INDICI									
PARAMETRI			**CAMPO VALORI**						
1	**RESISTENZA ROCCIA INTATTA**	Carico puntuale	> 10 Mpa	4-10 Mpa	2-4 Mpa	1-2 Mpa	Per tale campo di valori è preferibile eseguire prove di comressione 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	20-60 cm	6-20 cm	< 6 cm		
	Indice		20	15	10	8	5		
4	**CONDIZIONE GIUNTI (vedi E.)**		Sup molto scabre non continue Pareti roccia dura	Sup scabre Apertura <1 mm Pareti roccia dura	Sup scabre Apertura <1 mm Pareti roccia dura	Sup lisce o laminate o riempimento <5mm o apertura 1-5mm Giunti continui	Riempimento tenero spessore > 5 mm o giunti aperti > 5 mm Giunti continui		
	Indice		30	25	20	10	0		
5	**CONDIZIONI IDRAULICHE**	Afflusso per 10m lunghezza tunnel (l/min)	Assente	< 10	ott-25	25-125	> 125		
		Rapp Pressione acqua nei giunti / Soll nat in situ	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 (vedi F.)						
Direzione e inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Discreto	Sfavorevole	Molto sfavorevole
Indici	Gallerie/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 R.M.R.	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 21
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottimo	Buono	Discreto	Scadente	Molto scadente

D. SIGNIFICATO DELLA CLASSE DI AMMASSO					
Classe	I	II	III	IV	V
Tempo di autosostegno	20 anni per una lunghezza libera dello scavo L=15m	1 anno per L=10m	1 settimana per L=5m	10 ore per L=2,5m	30 minuti per L=1m
Coesione dell'ammasso (KPa)	> 400	300-400	200-300	100-200	< 100
Angolo di attrito dell'ammasso (°)	> 45	35-45	25-35	15-25	< 15

E. LINEE GUIDA PER LA CLASSIFICAZIONE DELLE DISCONTINUITA'					
Lunghezza discontinuità (persistenza) Indice	< 1 m 6	1-3 m 4	3-10 m 2	10-20 m 1	> 20 m 0
Separazione (apertura) Indice	Nessuno 6	< 0,1 mm 5	0,1-1 mm 4	1-5 mm 1	> 5 mm 0
Scabrezza Indice	Molto scarso 6	Scabro 5	Leggerm scabro 3	Liscie 1	Lisce o laminate 0
Riempimento Indice	Nessuno 6	Compatto < 5 mm 5	Compatto > 5 mm 2	Tenero < 5 mm 2	Tenero > 5 mm 0
Alterazione Indice	Non alterato 6	Leggerm alterato 5	Moderatam alter 3	Altamente alter 1	Decomposto 0

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

Classificazione dell'ammasso roccioso secondo Bieniawski (1989)

Da questi sei parametri si ricava l'**Rock Mass Rating (RMR, Bieniawsky)** e con le dovute correzioni apportate da **Romana** nel 1985 lo **Slope Mass Rating (SMR)**.

L'RMR, nella pratica, viene differenziato come:

RMR di base = RMR_b = A1 + A2 + A3 + A4 + A5

RMR corretto = RMR_c = (A1 + A2 + A3 + A4 + A5) + A6

In particolare dal valore di RMR_b si possono derivare i parametri caratteristici di resistenza dell'ammasso considerato come un continuo equivalente: secondo Bieniawski le correlazioni sono le seguenti:

coesione di picco c_p (kPA) = 5 RMR_b

angolo di attrito di picco ϕ_p = 0,5 RMR_b + 5

modulo di deformazione E (GPa) = 2 RMR_b – 100

Si cita anche che esistono numerosi dati bibliografici circa le principali caratteristiche fisico-meccaniche della roccia del substrato (porfido):

Peso di volume	25	KN/m3
Compressione semplice monoassiale	200.000	KN/m2
Resistenza a flessione	22.000	KN/m2
Forza di coesione lungo i giunti indisturbati	2.000	KN/m2
Angolo attrito fra i giunti puliti (tilt test)	33	°

Va però precisato che tali valori si riferiscono al campione di roccia misurato in laboratorio: in realtà in volumi di roccia "naturali", specie se interessati da superfici di colata, diaclasi, fratture, ecc., i valori dei parametri considerati si possono ridurre sino a meno di un decimo.

I valori della coesione residua e dell'angolo di attrito residuo si ricavano introducendo nelle formule sopra indicate un valore di RMR_b modificato secondo la:

$RMR_b = RMR_b(originario) – [0,2 \times RMR_b(originario)]$ (Priest, 1983)

La formula di E è però da considerare valida per valori di RMR superiori di 50, mentre per valori inferiori si utilizza la formula di Serafim e Pereira (1983):

E (GPa) = $10(RMR_b – 10 / 40)$

Il valore di GSI (Geological Strength Index) viene ricavato dalla:

GSI = RMR – 5

dove RMR viene calcolato tenendo conto dei punteggi assegnati ai primi quattro parametri e assumendo condizioni idrauliche asciutte (A_5 = 15). Tale relazione è da ritenersi valida per RMR > 23.

Romana propone di aggiungere al valore di RMR (di base), alcuni fattori di aggiustamento sulla base dell'orientamento relativo fra discontinuità e fronte del versante e aggiunge anche un ulteriore fattore che tiene conto del metodo di scavo:

$SMR = RMR_b + (F1 \times F2 \times F3) + F4$

Il primo fattore di aggiustamento è il prodotto di tre fattori:

F1 dipende dal parallelismo fra l'immersione del fronte e l'immersione dei giunti.

F2 è riferito all'inclinazione del giunto nell'ipotesi di rottura planare.

F3 mantiene le relazioni proposte da Bieniawski per l'inclinazione fra fronte e giunti.

F4 rappresenta un fattore di correzione legato al metodo di scavo ed è stato fissato empiricamente.

Le condizioni di stabilità verificate sono relative rotture planari e per ribaltamento (toppling); il metodo è stato esteso anche alle rotture a cuneo di recente da Anbalagan et al..

Sulla base della tabella che segue si attribuiscono i valori ai fattori:

ROTTURA	CINEMATISMO	CONDIZIONE				
		Molto favorevole	Favorevole	Mediocre	Sfavorevole	Molto sfavorevole
Planare Toppling Cuneo	αj - αf αj - αf – 180° αi - αf	> 30°	30° - 20°	20° - 10°	10° - 5°	< 5°
	F1	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
Planare Cuneo	βj βi	< 20°	20° - 30°	30° - 35°	35° - 45°	> 45°
	F2	0,15	0,40	0,70	0,85	1,00
Toppling	F2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Planare Cuneo	βj - βf βi - βf	> 10°	10° - 0°	0°	0° - (- 10°)	< - 10°
Toppling	βj - βf	< 110°	110° - 120°	> 120°	-	-
	F3	0	- 6	- 25	- 50	- 60

dove:

αj = immersione del giunto

αi = immersione della retta di intersezione di due piani per la rottura a cuneo

αf = immersione del fronte del versante

βj = inclinazione del giunto

βi = inclinazione della retta di intersezione di due piani per la rottura a cuneo

βf = inclinazione del fronte

Il fattore F4 vale invece:

METODO DI SCAVO	F4
Scarpata naturale	15
Abbattimento con pretaglio	10
Abbattimento controllato	8
Abbattimento normale	0
Abbattimento non controllato	-8

Calcolato il valore di SMR, si possono avere indicazioni generali, fornite da Romana, sul grado di stabilità della scarpata, sul tipo di cinematismo di rottura che si può instaurare e su quanto possano pesare eventuali interventi di stabilizzazione:

SMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0
CLASSE	I	II	III	IV	V
DESCRIZIONE	Molto buona	Buona	Mediocre	Scadente	Molto scadente
STABILITA'	Sicuramente stabile	Stabile	Parzialmente stabile	Instabile	Sicuramente instabile
MODO DI ROTTURA	Assente	Possibili blocchi	Lungo piani o per cunei	Lungo piani o su grandi cunei	Su grandi piani o rototraslazionali
STABILIZZAZIONE	Nessuna	Occasionale	Sistematica	Estesa	Riprofilare la scarpata

Resistenza a compressione della roccia.

Il test con lo sclerometro (martello di Schmidt da rocce) consente di ricavare il valore caratteristico R_{car} da utilizzare nelle correlazioni empiriche al fine di desumere la resistenza a compressione della roccia. Le dimensioni dei blocchi su cui fare la prova devono avere una superficie esposta di almeno 268 cm^2 (16,37 cm x 16.37 cm) e uno spessore non inferiore ai 10

cm, con martello verso il basso ortogonalmente alla superficie da testare; ogni blocco deve essere testato 20 volte (G. Bruno, 2012).
I test eseguiti sui blocchi raccolti in cava hanno restituito un valore di 45<Rcar<50 a cui corrisponde una resistenza stimata della roccia pari a 56 MPa <σ< 60 MPa. Valore di A1: 6

Indice RQD e Spaziatura

La spaziatura delle varie famiglie ed il numero delle stesse consente di assegnare una stima del 70% di RQD con un conseguente valore A2 pari a 14 e A3 pari a 8.

Condizioni dei giunti

Sulla base delle persistenze medie dei giunti, l'apertura, la loro rugosità (sempre piuttosto lisce e non alterate) ed il loro riempimento (spesso vuote) è possibile assegnare un valore di A4 pari a 13.

Condizioni idrauliche.

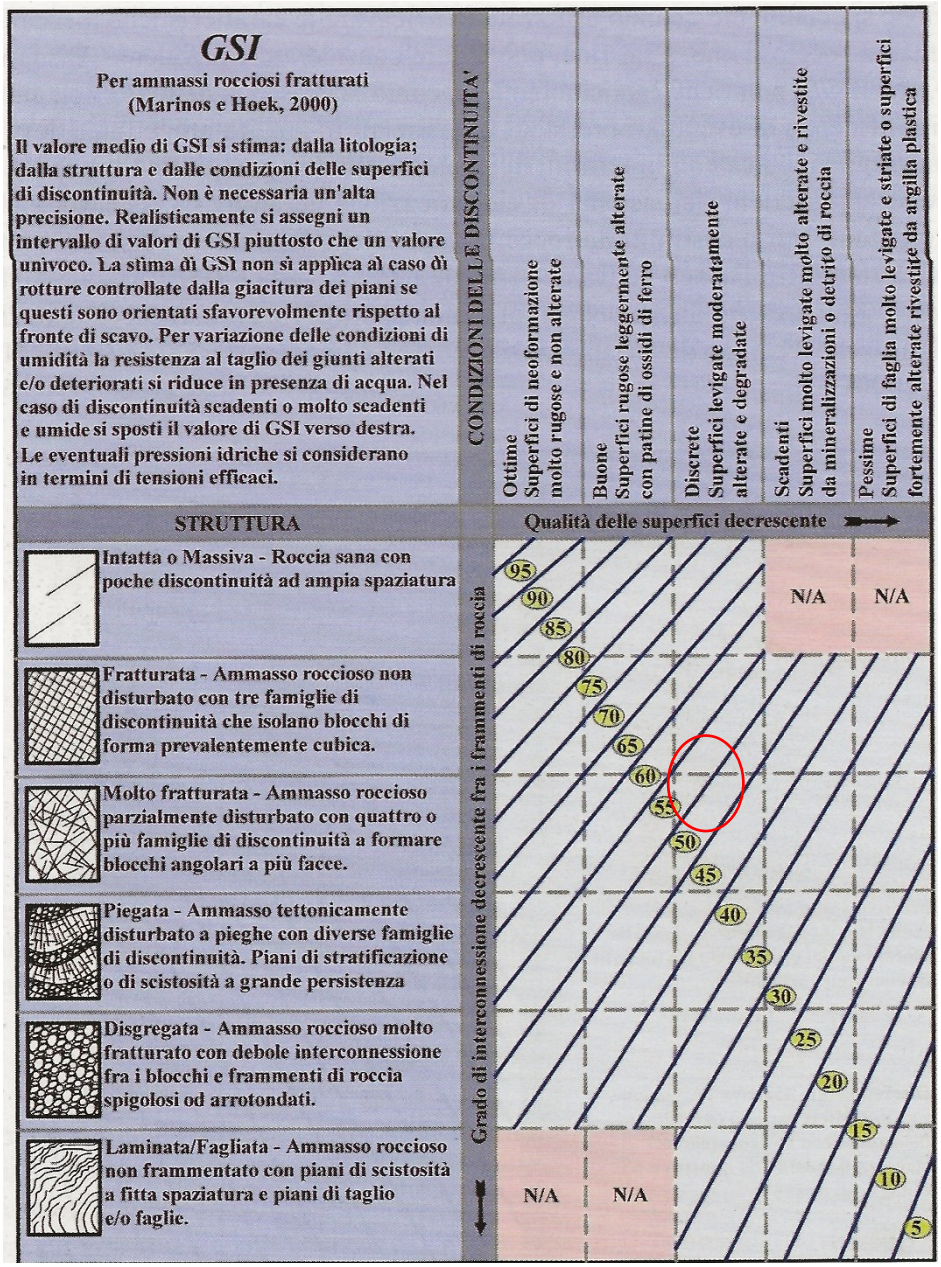
Le discontinuità si presentano sempre piuttosto asciutte, fa eccezione l'area dove scorre la venuta d'acqua sulla parete ovest. Il valore di A5 è stimato mediamente in 15 punti.

In valore finale del RMRb è pari a 60 (Classe III) da cui con le opportune correlazioni si possono stimare i seguenti parametri della roccia:

coesioni di picco (KPa): 300
Angolo di attrito di picco: 35°
Coesione residua (KPa): 240
Angolo di attrito residuo: 29°
Modulo di deformazione: 20,6 GPa

Ad integrazione sono state effettuate delle prove di tilt test su elementi rocciosi combacianti ricavati dal detrito che hanno restituito valori di angolo di attrito attorno ai 45°.

L'indice GSI derivante dall'esame geomeccanico è stimato attorno ai 50-55 punti:

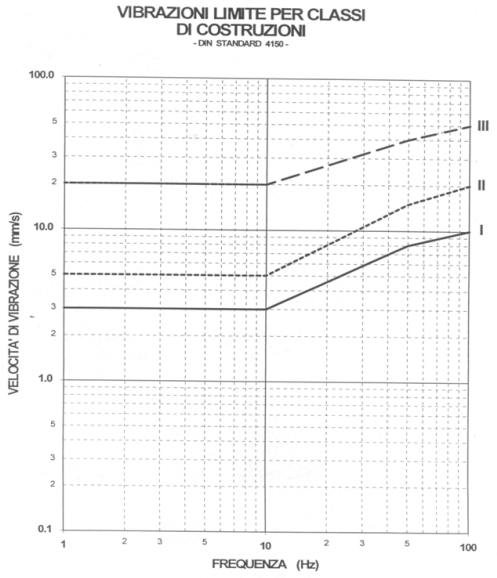


Per quanto riguarda l'indice di Romana, quest'ultimo varia a seconda della famiglia K presa in considerazione e l'orientamento del tratto di versante indagato.

Utilizzando le famiglie che rappresentano la lastrificazione ed i tratti di versante più sfavorevoli (vedi tabella di correlazione riportata sopra), l'indice Slope Mass Rating mostra un valore di 45 e quindi ricadente in Classe III (e comunque di poco oltre la Classe II il cui limite è 40) di tipo Mediocre con una stabilità parziale e modo di rottura prevalentemente lungo piani o per cunei.

4.2. Stabilità dei fronti

Per prima cosa si ricorda che, per evitare danni, le vibrazioni generate durante i lavori di scavo (movimentazione, demolizioni con esplosivo, transiti, ecc), non devono eccedere i valori critici.
Spesso utilizzata, anche in Italia, è la norma tedesca DIN (Deutsches Institut fur Normung) 4150 e s.m. relativamente alla quale si riporta un abaco esplicativo:



TIPO DI STRUTTURA / PUNTI DI RILIEVO	FONDAZIONI			Pavimento del piano più alto dell'edificio
	< 10 Hz	10 - 50 Hz	50 - 100 Hz	1 - 100 Hz
I) Edifici di particolare delicatezza	3	3 - 8	8 - 10	8
II) Edifici per abitazioni	5	5 - 15	15 - 20	15
III) Strutture industriali	20	20 - 40	40 - 50	40

Limiti delle vibrazioni ammissibili stabiliti dalla normativa DIN 4150.

Per l'Italia si faccia riferimento alla UNI 9916-2014 (Criteri di misura e valutazione degli effetti delle vibrazioni sugli edifici), da cui si riporta un abaco, e alla UNI 9614-2017 (Misura delle vibrazioni negli edifici e criteri di valutazione del disturbo).

prospetto D.1 **Valori di riferimento per la velocità di vibrazione (p.c.p.v.) al fine di valutare l'azione delle vibrazioni di breve durata sulle costruzioni**

Classe	Tipo di edificio	Valori di riferimento per la velocità di vibrazione p.c.p.v. in mm/s				
		Fondazioni			Piano alto	Solai Componente Verticale
		Da 1 Hz a 10 Hz	Da 10 Hz a 50 Hz	Da 50 Hz a 100 Hz *)	Per tutte le frequenze	Per tutte le frequenze
1	Costruzioni industriali, edifici industriali e costruzioni strutturalmente simili	20	Varia linearmente da 20 (f=10 Hz) a 40 (f= 50 Hz)	Varia linearmente da 40 (f= 50 Hz) a 50 (f= 100 Hz)	40	20
2	Edifici residenziali e costruzioni simili	5	Varia linearmente da 5 (f= 10 Hz) a 15 (f= 50 Hz)	Varia linearmente da 15 (f= 50 Hz) a 20 (f= 100 Hz)	15	20
3	Costruzioni che non ricadono nelle classi 1 e 2 e che sono degne di essere tutelate (per esempio monumenti storici)	3	Varia linearmente da 3 (f= 10 Hz) a 8 (f= 50 Hz)	Varia linearmente da 8 (f= 50 Hz) a 10 (f= 100 Hz	8	3/4

*) Per frequenze oltre 100 Hz possono essere usati i valori di riferimento per 100 Hz.

Fronti in roccia: La stabilità dei fronti in roccia dipende dall'effettivo stato tensionale della roccia, dalla presenza di giunti, dalle caratteristiche di resistenza e rugosità degli stessi nonchè dalla disposizione spaziale del loro mutuo intersecarsi che, potenzialmente, potrebbe individuare volumi di roccia a cinematismo non confinato.

Solo sorvegliando le operazioni di scavo si potrà verificare se lo sbancamento potrà essere eseguito a fronte libero o se si dovranno eseguire degli interventi di rinforzo, puntuali o sistematici o se si dovranno modificare le geometrie di riprofilamento.

In fase di sbancamento si dovrà utilizzare del macchinario che genererà intense vibrazioni, tipicamente con bassa frequenza, solitamente inferiori anche a quelle generata dal brillamento controllato di esplosivi: queste vibrazioni a bassa frequenza sono quelle più dannose nei confronti di manufatti ed anche delle resistenze della roccia.

Ai fini della sicurezza degli operatori è pertanto necessario monitorare, con il procedere degli scavi, gli effetti di tali vibrazioni: in ogni caso è necessario prevedere che per prevenire che il distacco di frammenti abbia dei risvolti nei confronti della sicurezza, andranno utilizzate cautele, quali un attento disgaggio delle pareti soprastanti e l'eventuale utilizzo di altri presidi di sicurezza, quali la realizzazione di piccoli tomi temporanei interposti fra la parete soprastante e il piano di lavoro.

Relativamente ad eventuali chiodature di consolidamento esse andranno orientate in modo di intercettare ed attraversare, e quindi confinare, eventuali giunti ad immersione elevata, che sono quelli potenzialmente più pericolosi.

Si fornisce il calcolo della resistenza delle stesse alla sollecitazione assiale (resistenza al contatto con i terreni: la verifica dell'armatura metallica è propria della fase progettuale esecutiva, una volta stabiliti i materiali e diametri, etc.

Si cita il metodo di BUSTAMANTE e DOIX (1985)[1], che è largamente utilizzato e ben collaudato e che utilizza direttamente i valori di resistenza del del litotipo di riferimento e, conseguentemente, consente di utilizzare degli appositi abachi, riportati a seguire.

resistenza chiodature (portanza o sfilamento) = 3,14 * D * L * α * qs

dove

D = diametro medio perforazione

L = lunghezza fondazione (tratto cementato)

α = coeff. sigillatura (vedasi tabella sottostante, da MAMMINO, 1994[2])

qs = adesione limite (vedasi grafici sottostanti, da MAMMINO, 1994)

Valori dei coefficienti α per il calcolo del diametro medio della sigillatura di un tirante o di un micropalo iniettato.

Suoli	Coefficiente α		Quantità minima di malta consigliata V_s
	IRS*	IGU**	
Ghiaia	1,8	1,3÷1,4	$1,5 \cdot V_s$
Ghiaia sabbiosa	1,6÷1,8	1,2÷1,4	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia ghiaiosa	1,5÷1,6	1,2÷1,3	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia grossolana	1,4÷1,5	1,1÷1,2	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia media	1,4÷1,5	1,1÷1,2	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia fina	1,4÷1,5	1,1÷1,2	$1,5 \cdot V_s$
Sabbia limosa	1,4÷1,5	1,1÷1,2	$1,5 \div 2 \cdot V_s$ per IRS; $1,5 \cdot V_s$ per IGU
Limo	1,4÷1,6	1,1÷1,2	$2 \cdot V_s$ per IRS; $1,5 \cdot V_s$ per IGU
Argilla	1,8÷2	1,2	$(2,5 \div 3) \cdot V_s$ per IRS; $(1,5 \div 2) \cdot V_s$ per IGU
Marna	1,8	1,1÷1,2	$(1,5 \div 2) \cdot V_s$ per strato compatto
Calcari marnosi	1,8	1,1÷1,2	
Gesso alterato e fratturato	1,8	1,1÷1,2	$(2 \div 6) \cdot V_s$ o più, per strato fratturato
Roccia alterata e fratturata	1,2	1,1	$(1,1 \div 1,5) \cdot V_s$ se lo strato è finemente fessurato; 2 o più se lo strato è fratturato

V_s : volume del bulbo della sigillatura;
IRS : iniezione ripetitiva e selettiva;
IGU : iniezione globale con processo di messa in pressione unico.
* : con $p_i > p_l$
** : con $0,5 \cdot p_i < p_i > p_l$

[1] ***BUSTAMANTE M. & DOIX B. 1985,* "Une methode pur le calcul des tirants et des micropieux injectes", *Section des fondations, Laboratoire central des Pont et Chaussèes, nov-dic.***

[2] ***MAMMINO A. 1994 "I micropali: tecniche di progetto e di verifica", Alinea ed. 516 p.***

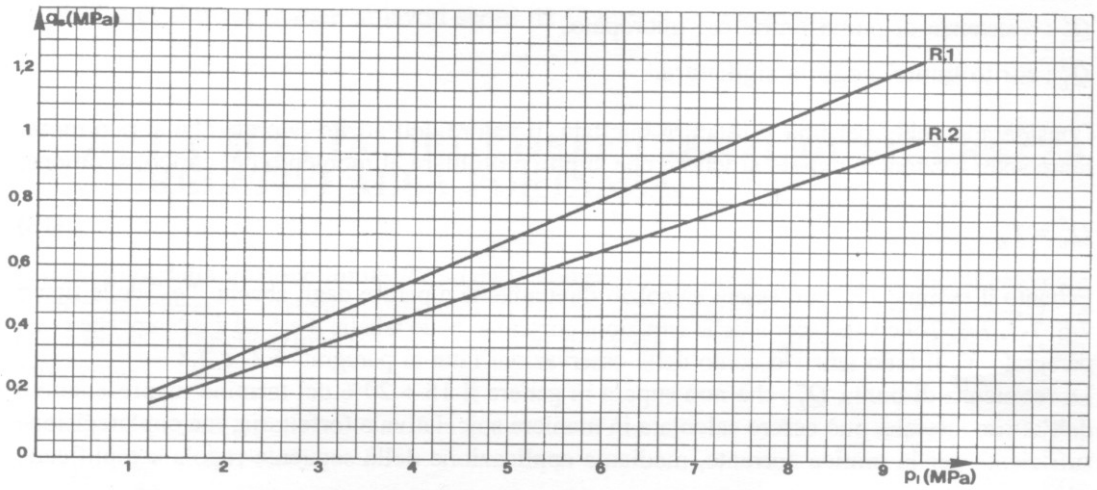


Fig. 7-9. Grafici per il calcolo di q_s per le roccie alterate e frammentate.

Abachi per il calcolo dei vari parametri da utilizzarsi per l'applicazione del metodo di Bustamante e Doix.

A livello previsionale, sulla scorta dei dati finora disponibili, si può assumere:
qs = adesione limite = 0.5 Mpa per il porfido fratturato e decompresso superficiale.

Il calcolo della resistenza dei diversi chiodi dovrà ovviamente essere confrontato ed adattato ai riscontri stratigrafici effettivi di perforazione, quali la presenza di stratificazioni più o meno addensate, la presenza di falda, ecc.

Verifiche di stabilità delle pareti rocciose

Si presentano due tipologie di verifiche di stabilità: la prima è l'analisi di stabilità secondo Markland; essa consiste nel verificare se esistano intersezioni fra i vari giunti delle famiglie di discontinuità presenti sui fronti tali per cui esistano delle porzioni di roccia -isolata da tali giunti- che soddisfino contemporaneamentealle seguenti condizioni:

- piano di scivolamento potenziale meno inclinato del pendio (quindi con un grado di libertà tale da poter "affiorare" sulla scarpata in caso di scivolamento,
- piano di scivolamento potenziale inclinato con pendenza superiore a quella dell'angolo di attrito di base della roccia.

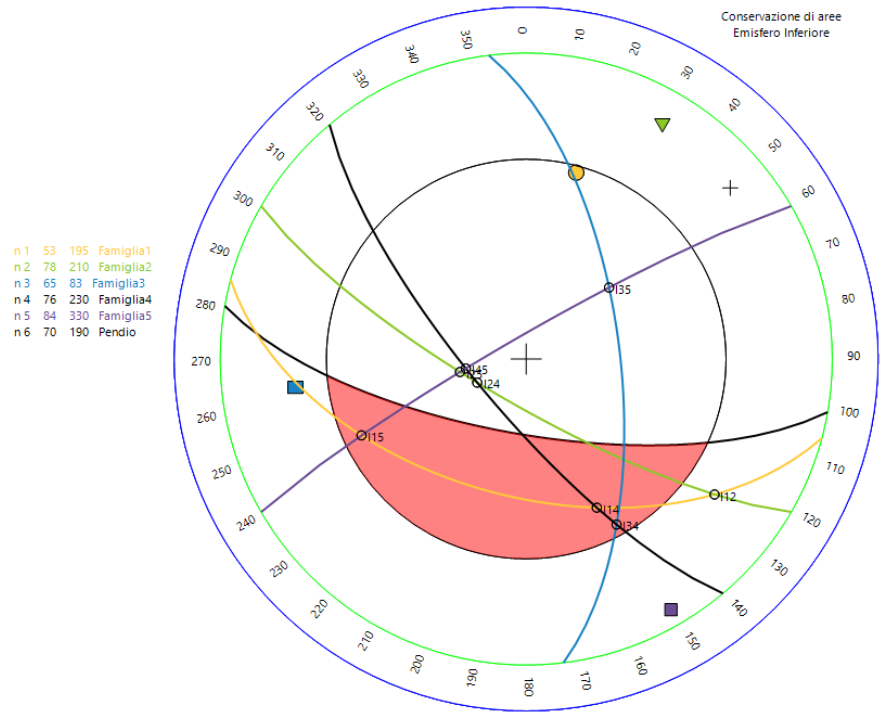
Questa verifica non significa che un pendio che soddisfi tali condizioni sia automaticamente instabile: questa verifica evidenzia se vi siano delle condizioni predisponenti tali da non poter escludere dei fenomeni di rilascio nel caso che i giunti non abbiano sufficiente "coesione" (assetto tensionale chiuso, ponti in roccia, ecc.) da contrastare questa predisposizione al dissesto.

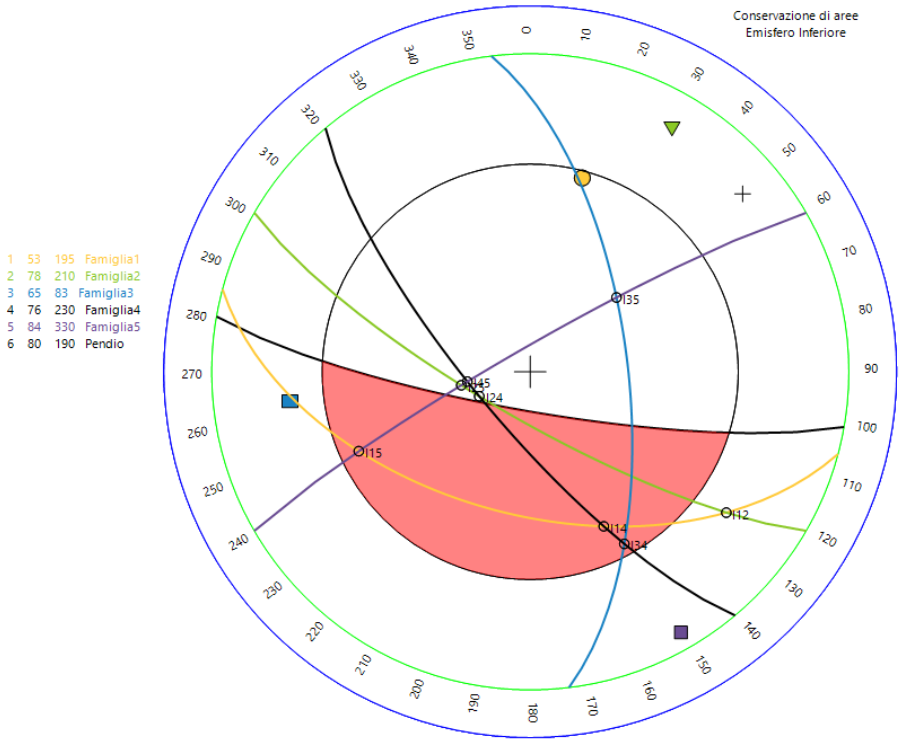
Questa verifica viene fatta sui 2 pendii oggetto dell'intervento, ovvero il fronte est (aree 1 e 2 descritte precedentemente) e fronte ovest (area 5). Il fronte est ha un assetto 190-220/70-80 con angolo di attrito stimato a 35°, mentre il fronte ovest ha un assetto 40-70/70-80 con angolo di attrito stimato a 35°.

Le intersezione dei piani (individuati dalla ciclografiche) che ricadono all'interno dell'area rossa (definita dall'assetto del pendio) confermano la presenza di piani di discontinuità che possono dare luogo a instabilità dell'ammasso roccioso.

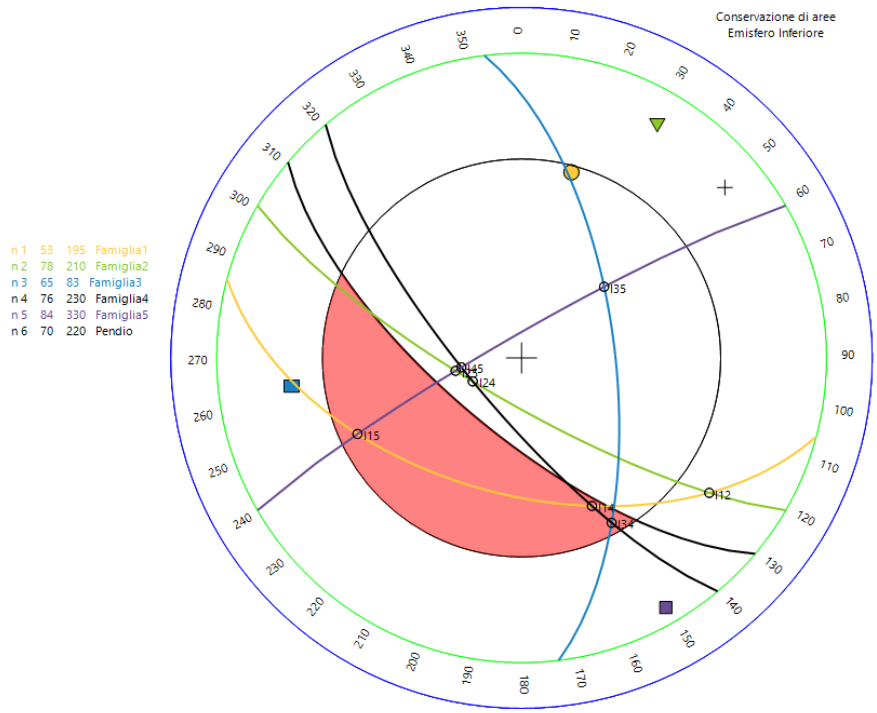
Pendio Est

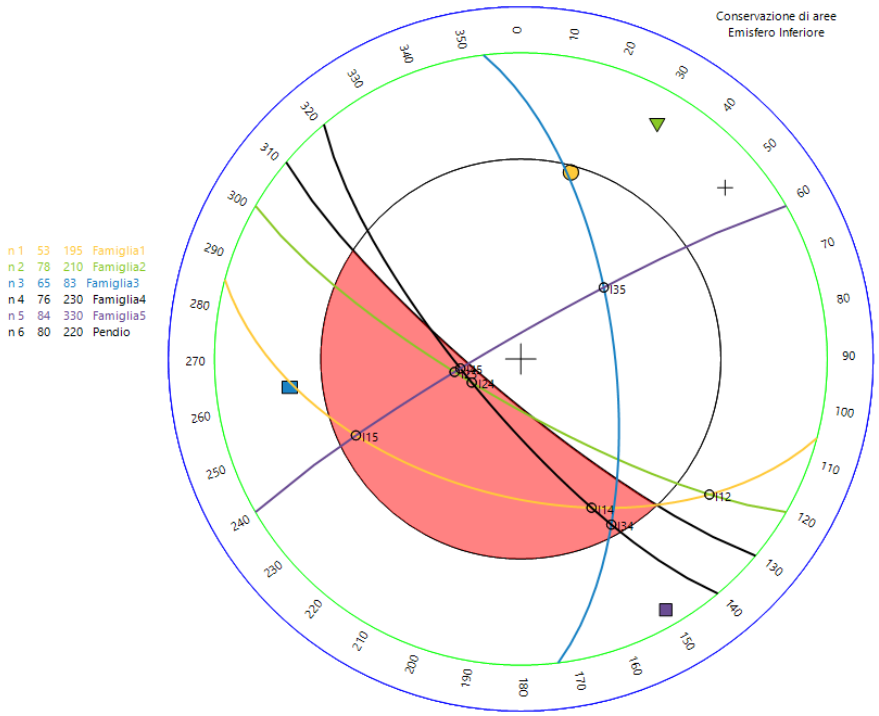
Sono prese in considerazioni le famiglie di discontinuità K rilevate nel 2018 e riportate sopra. Si conferma la possibile instabilità per tratti di versante orientato N190/70° e N190/80°.





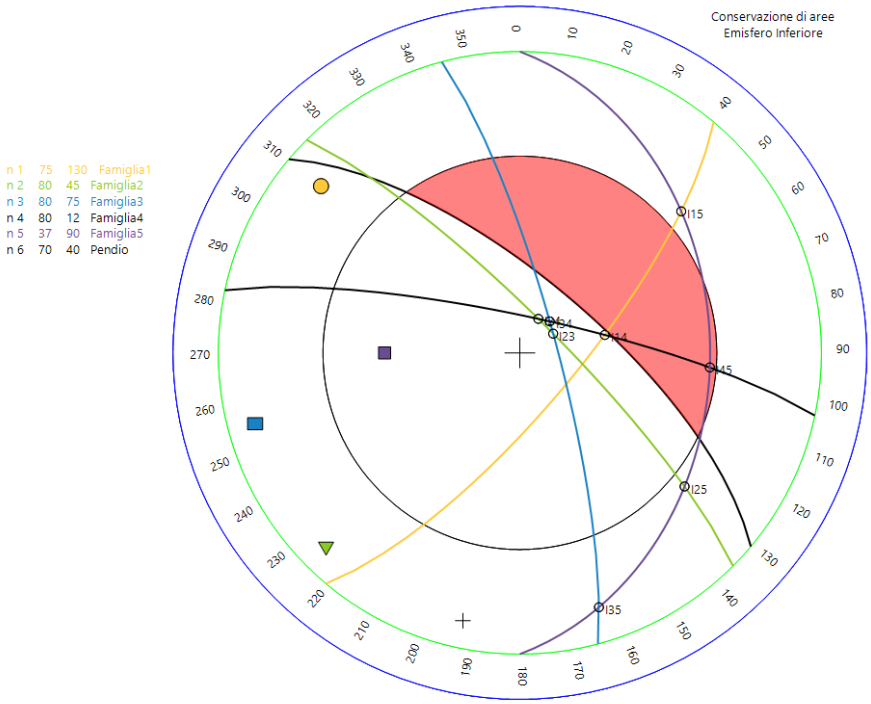
Analoga situazione si presenta dove il pendio mostra direzioni di immersione più verso ovest a N220/70° e N220/80°:



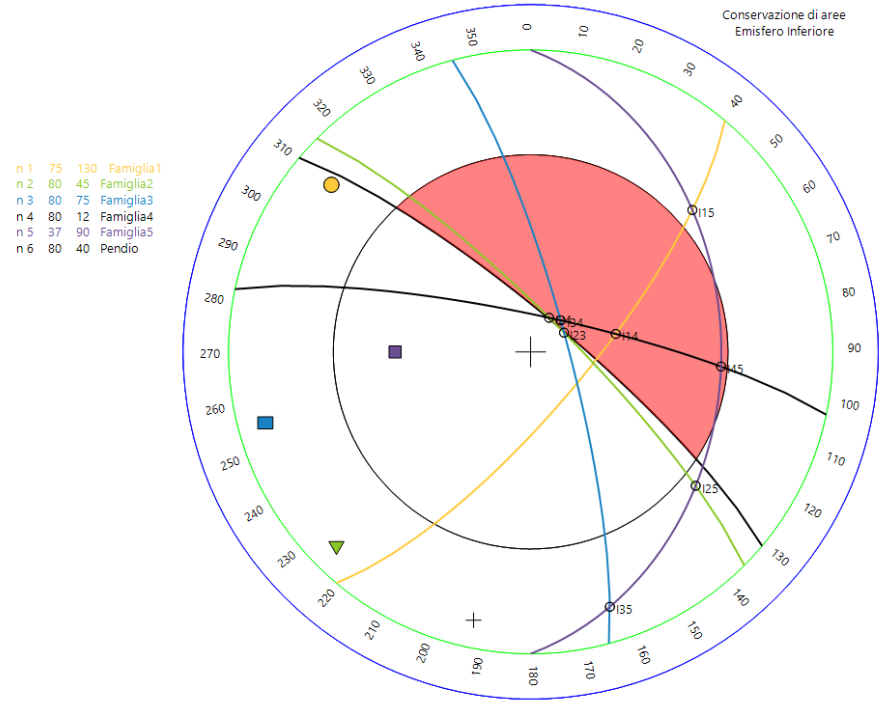


Pendio Ovest.

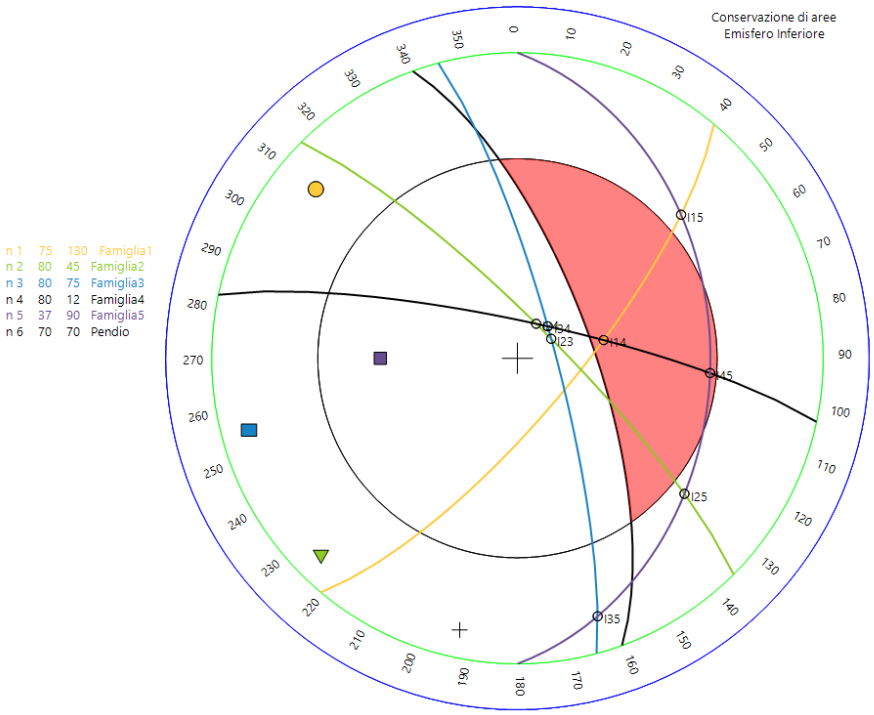
Sono prese in considerazioni le famiglie di discontinuità K rilevate nel 2018 e riportate sopra. La verifica conferma delle potenziali instabilità con asseto del versante N40/70° e N40/80°

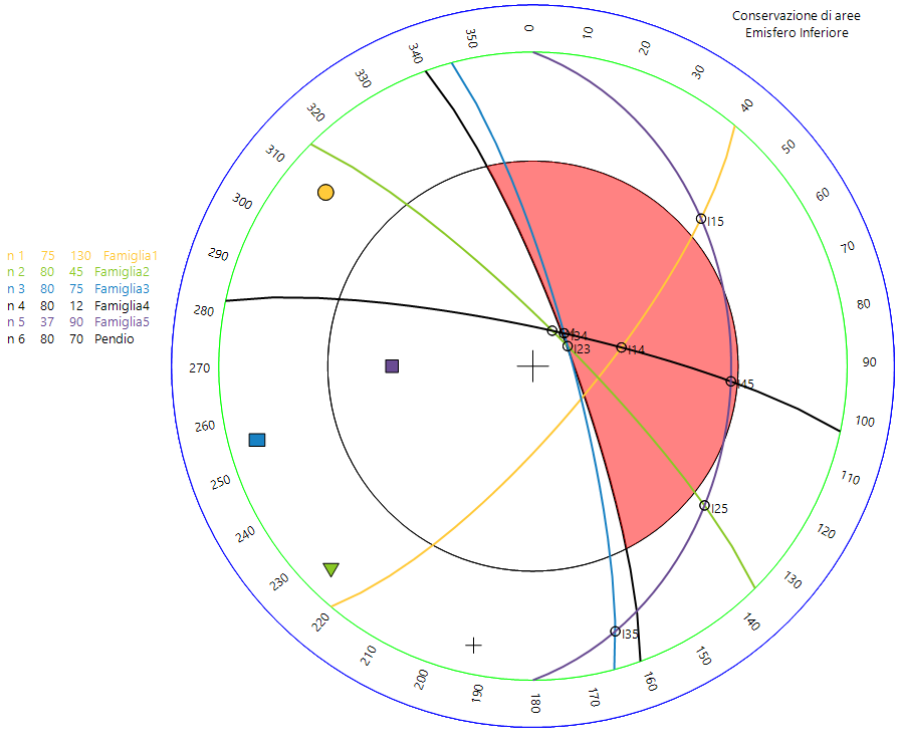


Aumentano le potenzialità di instabilità, qualora i giunti non siano chiusi, nel caso di tratti di pendio con pendenza ad 80° (assetto 40/80°)



Anche con tratti di pendio con assetto N70/70° e N70/80° si conferma una potenziale instabilità del versante:





Dalle osservazioni eseguite si ritiene comunque che, sebbene vi siano ampie zone risultate potenzialmente instabili dall'applicazione del metodo citato, le pendenze di progetto possano essere considerate valide per garantire la stabilità complessiva delle pareti.

Questa affermazione deriva dall'aver osservato che, a parte delle locali zone (specialmente corticali) maggiormente decompresse, sulle pareti i giunti presentino delle condizioni tensionali tali per cui si ha anche un significativo contributo della coesione.

In ogni caso laddove nel corso dei lavori si trovino zone detensionate tali per cui il contributo della coesione sia da potersi considerare assente, allora si dovranno adottare delle ulteriori cautele.

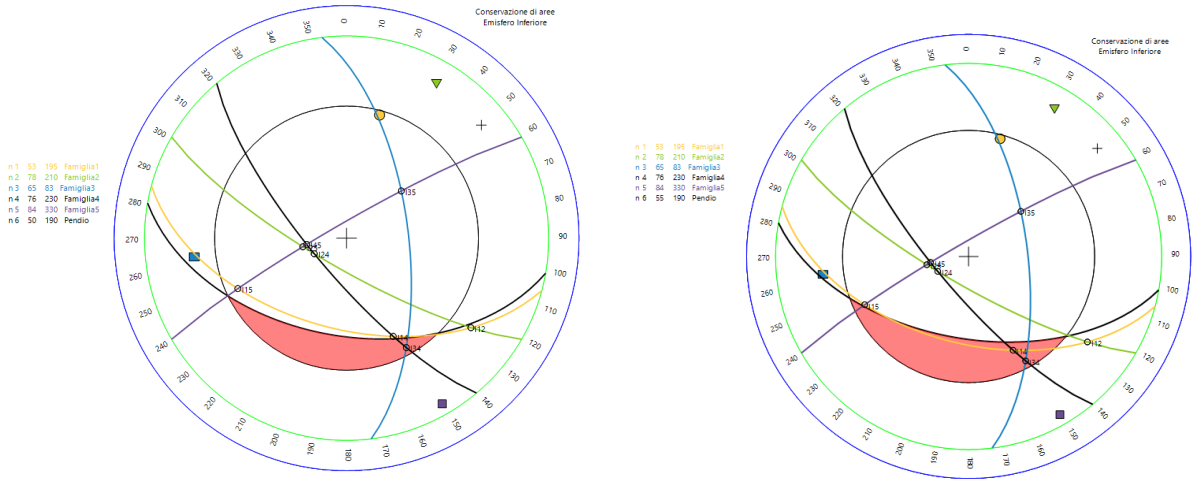
A livello preliminare si è pertanto ripetuta la verifica di stabilità con il metodo di Markland ma ipotizzando delle pendenze dei fronti ridotte, dai 55 gradi indicati sulle sezioni a 50 gradi.

Verifica di stabilità con nuove pendenze

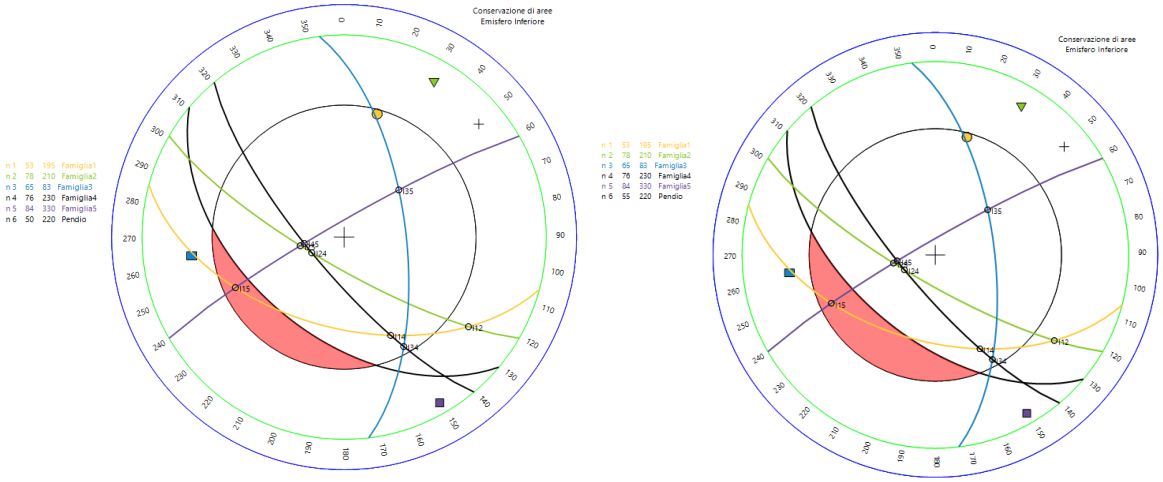
Dalle figure seguenti risulta palese che, riducendo a 50 gradi le pendenze, si ottiene un significativo miglioramento della stabilità del versante, in quanto si riducono sensibilmente le intersezioni dei piani che soddisfano ad entrambe le condizioni di instabilità precedentemente descritte.

Pendio est.

Raffronto tra instabilità potenziale con i fronti inclinati a di 50° (a sinistra) rispetto ai previsti 55° (a destra). In quest'ultimo caso, per i tratti di pendio orientati N190/55°, aumentano le intersezioni per instabilità (oltre alla K3-K4 diventano possibili rotture anche le intersezioni K1-K4 e K1-K5)

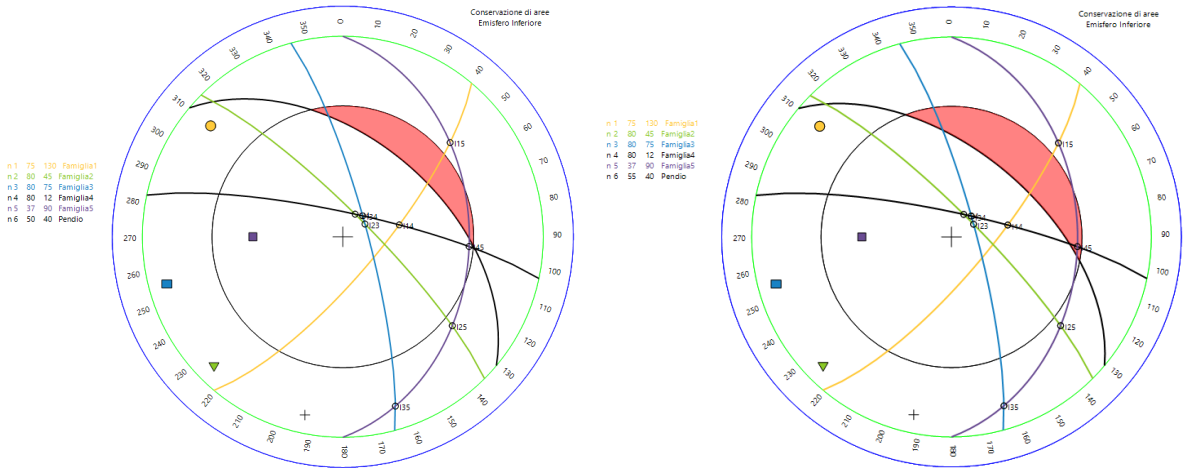


Situazione sostanzialmente invariata per i tratti di pendio orientati N220.

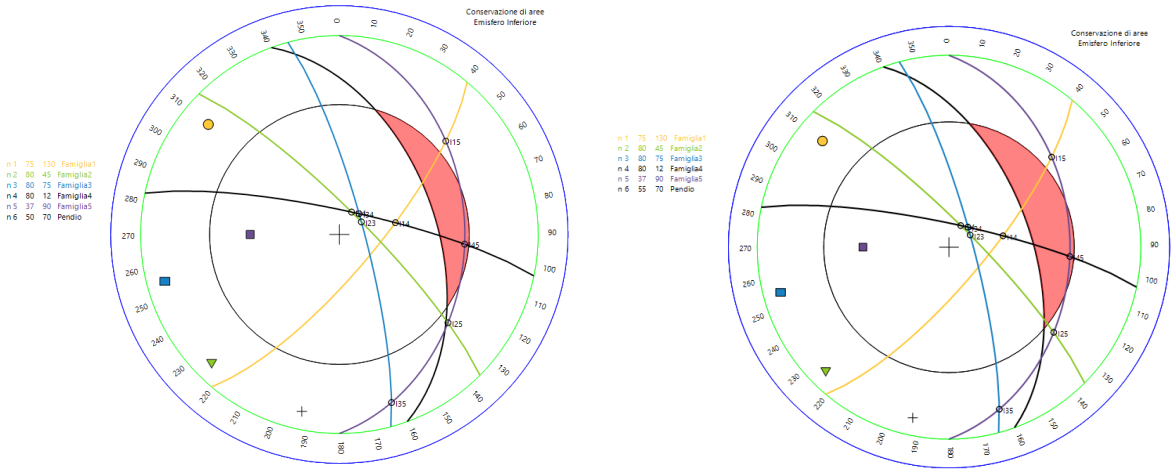


Pendio Ovest

Condizione stabile per tratti di pendio N40/50°, mentre si hanno potenziali rotture lungo il piano d'intersezione K4-K5 per inclinazioni del pendio pari a 55°



In questo caso situazione sostanzialmente invariata, anche se su tratti di pendio N70/55° si avvicinano all'area instabile le intersezione dei piani K2-K5 e K1-K5.



Si è poi valutata la stabilità globale dei fronti modellati come indicato nelle sezioni di progetto ma con un approccio diverso e cioè considerando l'ammasso come un continuo equivalente.

Per modellare l'intervento si è utilizzata la sezione S4 di progetto, che è la più critica, inserendo **un mezzo considerato come continuo equivalente** e con le caratteristiche di resistenza precedentemente esposte.

In merito alle verifiche si noti che esse sono state eseguite secondo (NTC 2018 par. 6.8.2) l'Approccio 1, combinazione 2: (A2+M2+R2).

I fattori parziali:

- le azioni permanenti del terreno e dell'acqua: A2 = 1 NTC-18 tab. 6.2.I,

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

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1)	(A2)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti G_2 (1)	Favorevole	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G1}

- i parametri di resistenza del terreno M2 = NTC-18 tab. 6.2.II

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

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

Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità strutturali. Il valore di progetto della resistenza si ottiene, per il caso (a), applicando al valore caratteristico della resistenza unitaria al taglio τ_R un coefficiente parziale $\gamma_{\tau R}$ =1,0 (M1) e $\gamma_{\tau R}$=1,25 (M2) oppure procedendo come previsto ai punti b) e c) di cui sopra.

Tale metodologia, riferendosi a fenomeni comportanti deformazioni a scala di grande dimensione, è in linea con quanto definito dalle NTC-18 ove, trattando della stabilità dei pendii al par. 7.11.3.5.2 Metodi di analisi, si riporta:

La condizione di stato limite deve essere valutata con riferimento ai valori caratteristici dei parametri geotecnici e riferita alla superficie di scorrimento critica, caratterizzata dal minore margine di sicurezza. L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della stabilità del pendio deve essere valutata e motivata dal progettista.

In terreni saturi e in siti con accelerazione orizzontale massima attesa $a_{max} > 0{,}15 \cdot g$, nell'analisi statica delle condizioni successive al sisma si deve tenere conto della possibile riduzione della resistenza al taglio per incremento delle pressioni interstiziali o per decadimento delle caratteristiche di resistenza indotti dalle azioni sismiche.

Nell'analisi di stabilità di frane quiescenti, che possono essere riattivate dall'azione del sisma, si deve fare riferimento ai valori dei parametri di resistenza attinti a grandi deformazioni. L'eventuale incremento di pressione interstiziale indotto dal sisma, da considerare in dipendenza della natura dei terreni, deve considerarsi uniformemente distribuito lungo la superficie di scorrimento critica.

- il rapporto fra le forze e le azioni (R_d/E_d) viene di seguito definito come "Fattore di Sicurezza (Fs)": quando tale rapporto è superiore al valore prescelto di Fs allora la superficie di scivolamento è verificata. Perchè un fronte di scavo risulti stabile si deve ottenere che il Fs risulti ben superiore a 1, in quanto a tale valore va applicato un ulteriore fattore riduttivo parziale che per i fronti di scavo vale, NTC 2018 - Cap. 6.8.2., tab. 6.8.I: R2 = 1,1.

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

COEFFICIENTE	R2
γ_R	1,1

Per i pendii il valore di Fs va scelto di caso in caso, considerando la complessità della situazione, l'affidabilità dei dati disponibili, la possibile incertezza del modello geologico e del modello geotecnico di riferimento ed anche in base alla valutazione sulle conseguenze di un'eventuale franamento (rif. NTC-18 par. 6.3.4.).

6.3.4. VERIFICHE DI SICUREZZA

Le verifiche di sicurezza devono essere effettuate con metodi che tengano conto del tipo di frana e dei possibili cinematismi, considerando forma e posizione della eventuale superficie di scorrimento, le proprietà meccaniche dei terreni e degli ammassi rocciosi e il regime delle pressioni interstiziali.

Nel caso di pendii in frana le verifiche di sicurezza devono essere eseguite lungo le superfici di scorrimento che meglio approssimano quella/e riconosciuta/e con le indagini.

Negli altri casi, la verifica di sicurezza deve essere eseguita lungo superfici di scorrimento cinematicamente possibili, in numero sufficiente per ricercare la superficie critica alla quale corrisponde il grado di sicurezza più basso.

Quando sussistano condizioni tali da non consentire una agevole valutazione delle pressioni interstiziali, le verifiche di sicurezza devono essere eseguite assumendo le condizioni più sfavorevoli che ragionevolmente si possono prevedere.

La valutazione del coefficiente di sicurezza dei pendii naturali, espresso dal rapporto tra la resistenza al taglio disponibile (τ_f) e la tensione di taglio agente (τ) lungo la superficie di scorrimento, deve essere eseguita impiegando sia i parametri geotecnici, congruenti con i caratteri del cinematismo atteso o accertato, sia le azioni presi con il loro valore caratteristico.

L'adeguatezza del margine di sicurezza ritenuto accettabile dal progettista deve comunque essere giustificata sulla base del livello di conoscenze raggiunto, dell'affidabilità dei dati disponibili e del modello di calcolo adottato in relazione alla complessità geologica e geotecnica, nonché sulla base delle conseguenze di un'eventuale frana.

6.3.5. INTERVENTI DI STABILIZZAZIONE

Il progetto degli interventi di stabilizzazione deve comprendere la descrizione completa dell'intervento, l'influenza delle modalità costruttive sulle condizioni di stabilità, il piano di monitoraggio e un significativo piano di gestione e controllo nel tempo della funzionalità e dell'efficacia dei provvedimenti adottati. In ogni caso devono essere definiti l'entità del miglioramento delle condizioni di sicurezza del pendio e i criteri per verificarne il raggiungimento.

La scelta delle più idonee tipologie degli interventi di stabilizzazione deve tener conto delle cause promotrici della frana, del meccanismo di collasso ipotizzato o in atto, dei suoi caratteri cinematici e del regime delle pressioni interstiziali nel sottosuolo. Il progetto degli interventi deve essere basato su specifici modelli geotecnici di sottosuolo.

L'adeguatezza del margine di sicurezza raggiunto per effetto degli interventi di stabilizzazione deve essere giustificato dal progettista.

Oltre alla valutazione dell'incremento di sicurezza indotto dagli interventi di stabilizzazione nei confronti del meccanismo di collasso più critico, è necessario verificare le condizioni di sicurezza connesse con altri, diversi, meccanismi di collasso, compatibili con gli interventi ipotizzati

Il Fs minimo ritenuto accettabile, nel caso presente, è di **Fs >= 1,1**.

La verifica di stabilità è stata eseguita utilizzando il programma SLOPE DI GEOSTRU 2022.

Analisi stabilità sezione di progetto più critica (n° 4)

Di seguito si riportano i risultati di alcune verifiche di stabilità eseguite sulle sezioni più significative di progetto focalizzandosi sul pendio ovest.

Per i versanti in roccia, diversamente da quelli in terra, il criterio di rottura di Mohr-Coulomb non può essere impiegato per definire la resistenza del materiale; tuttavia Hoeck e Bray hanno sviluppato una procedura che consiste nel fornire una nuova definizione dei parametri della formula Mohr-Coulomb ovvero utilizzando l'angolo di resistenza a taglio e la coesione che si mobilitano lungo la superficie di scorrimento secondo le seguenti espressioni:

$$\operatorname{tg}\varphi = AB\left(\frac{N}{\sigma_c} - T\right)^{B-1}$$

$$c = A\sigma_c\left(\frac{N}{\sigma_c} - T\right)^{B} - N\operatorname{tg}\varphi$$

dove:

σ_c *è* la resistenza a compressione monoassiale della roccia;

A, B, T costanti in funzione del litotipo e della qualità della roccia (tabella di sotto);

N sforzo normale alla base del concio.

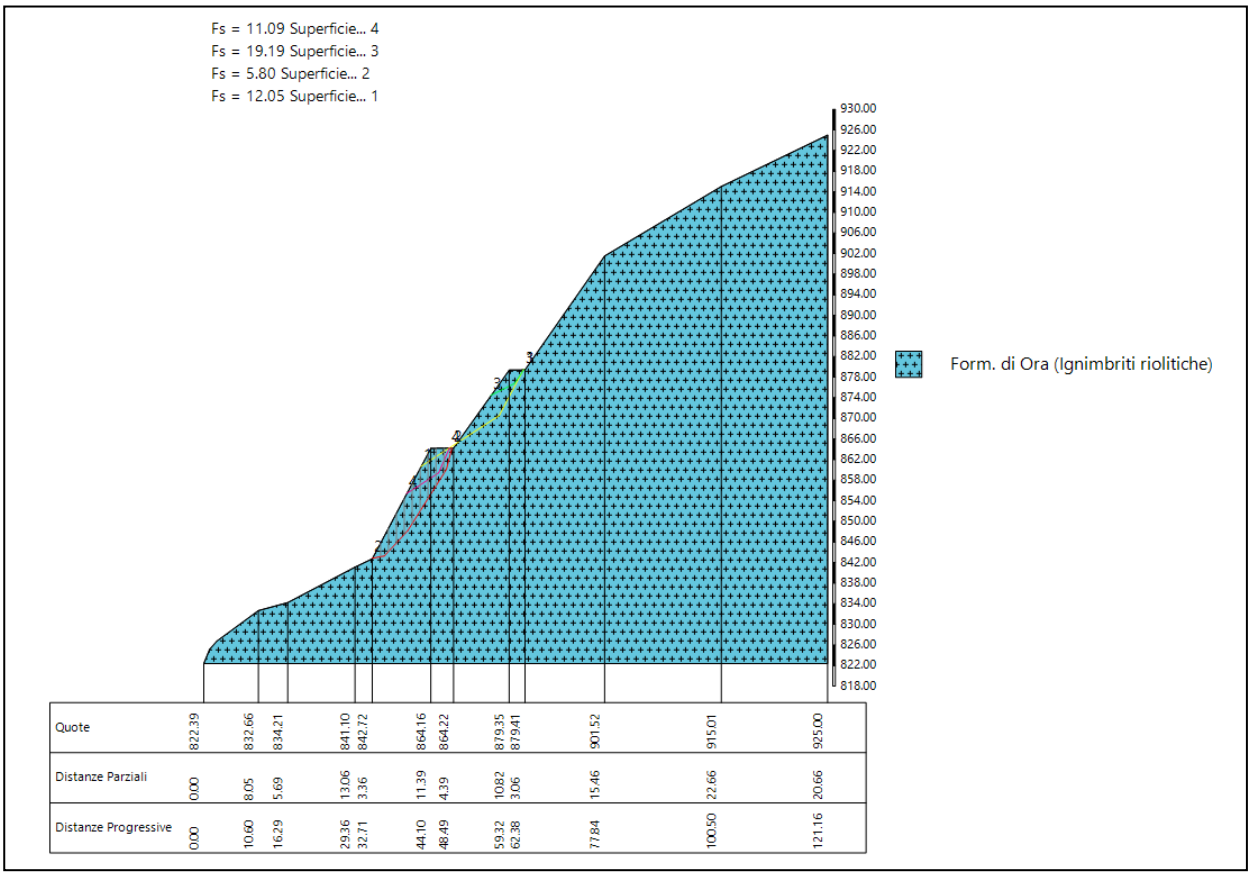
Le costanti A, B e T sono vengono determinate in funzione della classificazione della roccia secondo Bieniawski (indice RMR, nel nostro caso pari a 60):

Litotipo Qualità della roccia	Calcari Dolomie Marne	Argilliti Siltiti Scisti	Areniti Quarziti	Andesiti Basalti Rioliti	Anfiboliti Gneiss Graniti Gabbri
RMR =100 Q = 500	A = 0.816 B = 0.658 T = -0.140	A = 0.918 B = 0.677 T = -0.099	A = 1.044 B = 0.692 T = -0.067	A = 1.086 B = 0.696 T = -0.059	A = 1.220 B = 0.705 T = -0.040
RMR = 85 Q = 100	A = 0.651 B = 0.679 T = -0.028	A = 0.739 B = 0.692 T = -0.020	A = 0.848 B = 0.702 T = -0.013	A = 0.883 B = 0.705 T = -0.012	A = 0.998 B = 0.712 T = -0.008
RMR = 65 Q = 10	A = 0.369 B = 0.669 T = -0.006	A = 0.427 B = 0.683 T = -0.004	A = 0.501 B = 0.695 T = -0.003	A = 0.525 B = 0.698 T = -0.002	A = 0.603 B = 0.707 T = -0.002
RMR = 44 Q = 1	A = 0.198 B = 0.662 T = -0.0007	A = 0.234 B = 0.675 T = -0.0005	A = 0.280 B = 0.688 T = -0.0003	A = 0.295 B = 0.691 T = -0.003	A = 0.346 B = 0.700 T = -0.0002
RMR = 3 Q = 0.1	A = 0.115 B = 0.646 T = -0.0002	A = 0.129 B = 0.655 T = -0.0002	A = 0.162 B = 0.672 T = -0.0001	A = 0.172 B = 0.676 T = -0.0001	A = 0.203 B = 0.686 T = -0.0001
RMR = 3 Q = 0.01	A = 0.042 B = 0.534 T = 0	A = 0.050 B = 0.539 T = 0	A = 0.061 B = 0.546 T = 0	A = 0.065 B = 0.548 T = 0	A = 0.078 B = 0.556 T = 0

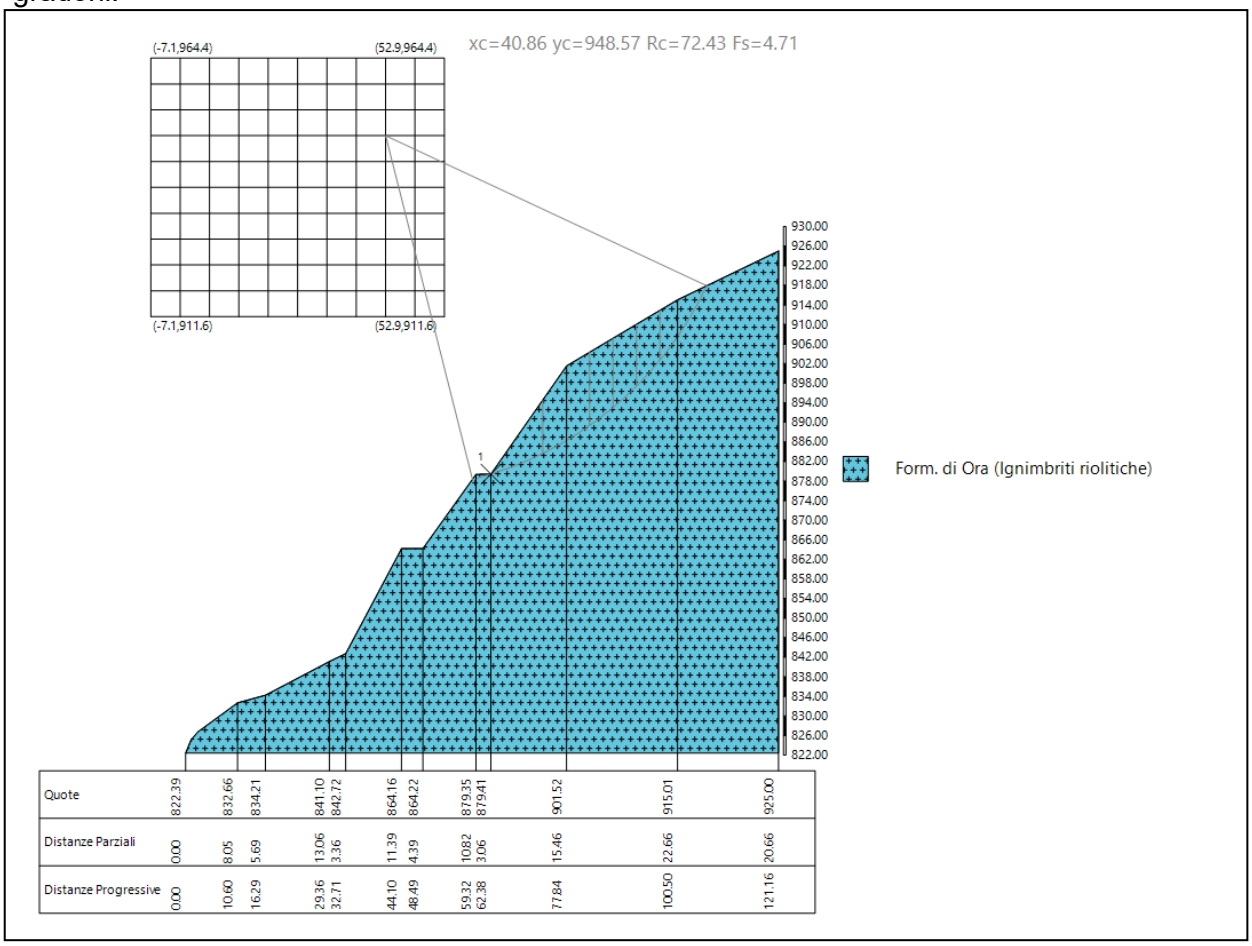
Nella verifica è stato utilizzato un peso di volume della riolite pari a 26 kN/m3 e una resistenza a compressione monoassiale pari a 60 MPa.

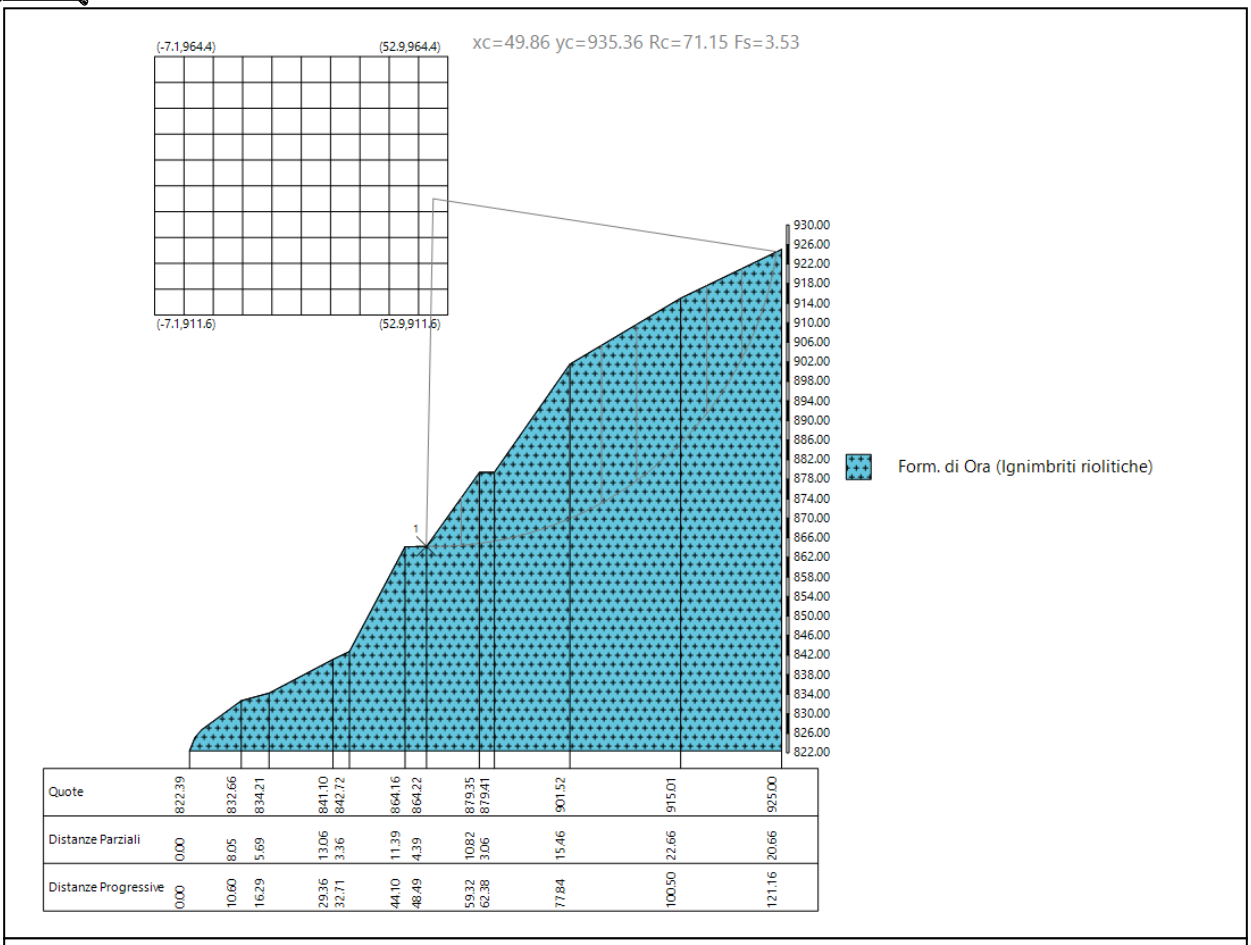
Si è utilizzato il metodo di Bishop per le superfici a geometria cilindrica e Janbu per le superfici a geometria complessa.

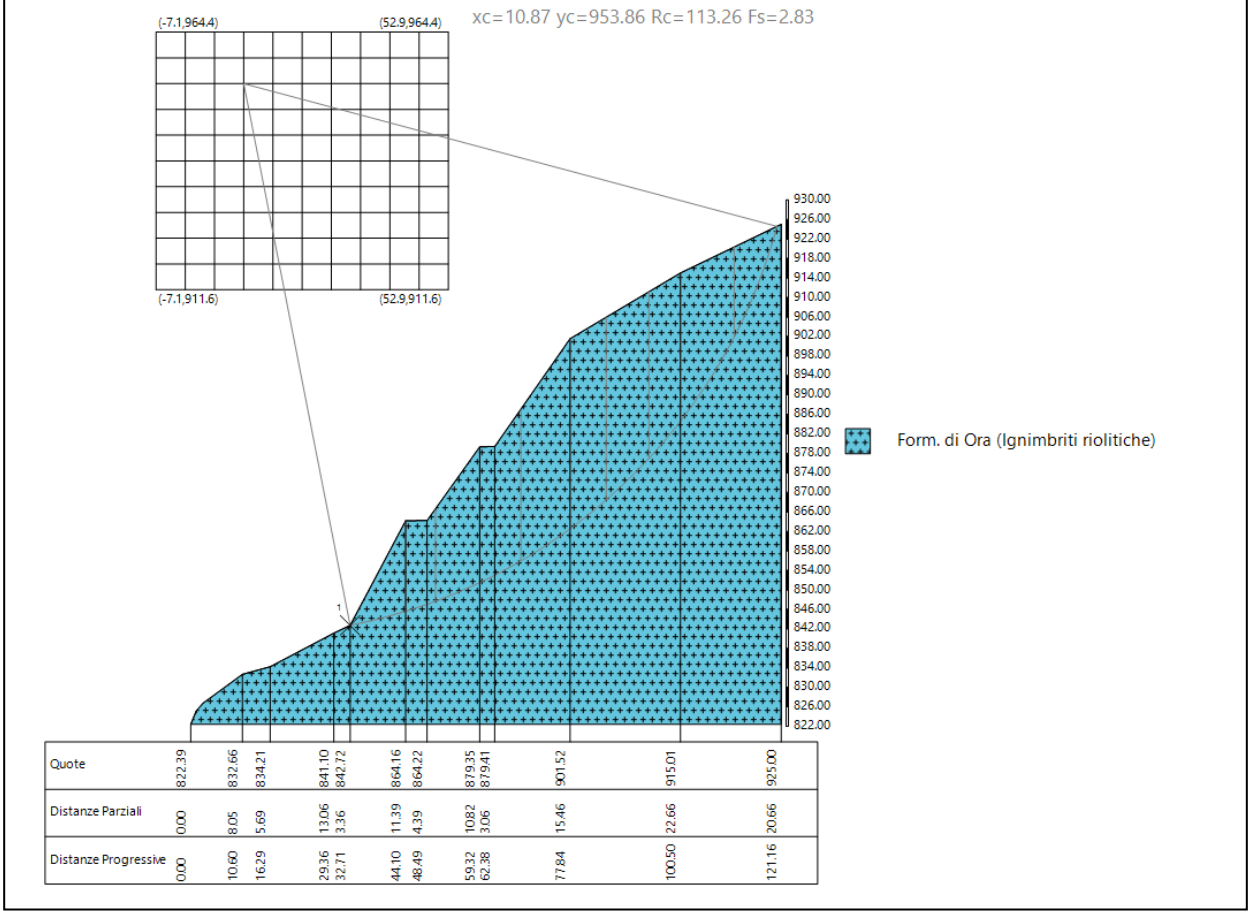
Di seguito la verifica della sezione 4, che mostra le pendenze maggiori al termine dei lavori, ipotizzando una serie di superfici di scivolamento all'altezza delle gradonature:



Sono poi mostrate le superfici con Fs più basso vincolate per un punto alla base dei gradoni:




(-7.1,964.4)
(52.9,964.4)
xc=49.86 yc=935.36 Rc=71.15 Fs=3.53
(-7.1,911.6)
(52.9,911.6)
930.00
926.00
922.00
918.00
914.00
910.00
906.00
902.00
898.00
894.00
890.00
886.00
882.00
878.00
874.00
870.00
866.00
862.00
858.00
854.00
850.00
846.00
842.00
838.00
834.00
830.00
826.00
822.00
Form. di Ora (Ignimbriti riolitiche)
1
Quote 822.39 832.66 834.21 841.10 842.72 864.16 864.22 879.35 879.41 901.52 915.01 925.00
Distanze Parziali 0.00 8.05 5.69 13.06 3.36 11.39 4.39 10.82 3.06 15.46 22.66 20.66
Distanze Progressive 0.00 10.60 16.29 29.36 32.71 44.10 48.49 59.32 62.38 77.84 100.50 121.16


(-7.1,964.4)
(52.9,964.4)
xc=10.87 yc=953.86 Rc=113.26 Fs=2.83
(-7.1,911.6)
(52.9,911.6)
930.00
926.00
922.00
918.00
914.00
910.00
906.00
902.00
898.00
894.00
890.00
886.00
882.00
878.00
874.00
870.00
866.00
862.00
858.00
854.00
850.00
846.00
842.00
838.00
834.00
830.00
826.00
822.00
Form. di Ora (Ignimbriti riolitiche)
1
Quote 822.39 832.66 834.21 841.10 842.72 864.16 864.22 879.35 879.41 901.52 915.01 925.00
Distanze Parziali 0.00 8.05 5.69 13.06 3.36 11.39 4.39 10.82 3.06 15.46 22.66 20.66
Distanze Progressive 0.00 10.60 16.29 29.36 32.71 44.10 48.49 59.32 62.38 77.84 100.50 121.16

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Peso unità di volume (kN/m3)	A	B	T	Resistenza compressione monoassiale (kg/cm2)	Texture	Descrizione
1	26	0.525	0.698	-0.002	611		Form. di Ora (Ignimbriti riolitiche)

Litotipo Qualità della roccia	Calcari Dolomie Marne	Argilliti Siltiti Scisti	Areniti Quarziti	Andesiti Basalti Rioliti	Anfiboliti Gneiss Graniti Gabbri
RMR =100 Q = 500	A = 0.816 B = 0.658 T = -0.140	A = 0.918 B = 0.677 T = -0.099	A = 1.044 B = 0.692 T = -0.067	A = 1.086 B = 0.696 T = -0.059	A = 1.220 B = 0.705 T = -0.040
RMR = 85 Q = 100	A = 0.651 B = 0.679 T = -0.028	A = 0.739 B = 0.692 T = -0.020	A = 0.848 B = 0.702 T = -0.013	A = 0.883 B = 0.705 T = -0.012	A = 0.998 B = 0.712 T = -0.008
RMR = 65 Q = 10	A = 0.369 B = 0.669 T = -0.006	A = 0.427 B = 0.683 T = -0.004	A = 0.501 B = 0.695 T = -0.003	A = 0.525 B = 0.698 T = -0.002	A = 0.603 B = 0.707 T = -0.002
RMR = 44 Q = 1	A = 0.198 B = 0.662 T = -0.0007	A = 0.234 B = 0.675 T = -0.0005	A = 0.280 B = 0.688 T = -0.0003	A = 0.295 B = 0.691 T = -0.003	A = 0.346 B = 0.700 T = -0.0002
RMR = 3 Q = 0.1	A = 0.115 B = 0.646 T = -0.0002	A = 0.129 B = 0.655 T = -0.0002	A = 0.162 B = 0.672 T = -0.0001	A = 0.172 B = 0.676 T = -0.0001	A = 0.203 B = 0.686 T = -0.0001
RMR = 3 Q = 0.01	A = 0.042 B = 0.534 T = 0	A = 0.050 B = 0.539 T = 0	A = 0.061 B = 0.546 T = 0	A = 0.065 B = 0.548 T = 0	A = 0.078 B = 0.556 T = 0

VERIFICA CON PUNTO VINCOLATO ALLA BASE DEL GRADONE PIU' IN ALTO

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	4.71
Ascissa centro superficie	40.86 m
Ordinata centro superficie	948.57 m
Raggio superficie	72.43 m

xc = 40.862 yc = 948.572 Rc = 72.432 Fs=4.709

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm2)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.72	14.5	0.7	781.24	0.0	0.0	3.36	61.9	0.0	-395.9	4663.0
2	3.06	16.0	3.2	3468.83	0.0	0.0	3.36	61.8	0.0	-2098.6	19873.1
3	10.59	21.8	11.4	159811.1	0.0	0.0	3.56	57.0	0.012	5840.9	115724.5
4	4.88	28.5	5.5	169683.8	0.0	0.0	3.93	53.4	0.014	9168.3	80879.0
5	4.7	32.9	5.6	189121.2	0.0	0.0	3.97	53.1	0.016	9306.3	86475.8
6	4.79	37.5	6.0	186018.9	0.0	0.0	3.86	54.0	0.016	6141.1	89064.0
7	4.79	42.5	6.5	171298.5	0.0	0.0	3.72	55.2	0.015	1143.6	88584.6
8	4.79	47.9	7.1	146482.5	0.0	0.0	3.58	56.7	0.012	3620.6	85693.1

9	3.6	53.1	6.085543.21	0.0	0.0	3.46	58.5	0.062837.0		59778.3
10	5.98	60.2	12.067727.06	0.0	0.0	3.37	60.9	0.0	-162.5	78150.0

VERIFICA CON PUNTO VINCOLATO ALLA BASE DEL GRADONE INTERMEDIO

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	3.53
Ascissa centro superficie	49.86 m
Ordinata centro superficie	935.36 m
Raggio superficie	71.15 m

xc = 49.859 yc = 935.358 Rc = 71.152 Fs=3.534

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm2)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	7.17	1.8	7.293940.74	0.0	0.0	3.56	57.0	0.090860.8			101676.4
2	3.69	6.1	3.7118862.8	0.0	0.0	4.07	52.4	0.0111365.6			76062.6
3	3.06	8.9	3.1116203.0	0.0	0.0	4.22	51.5	0.0106949.3			68185.2
4	15.46	16.6	16.1955677.1	0.0	0.0	4.78	48.6	0.0862835.2			450346.1
5	6.48	26.1	7.2550202.1	0.0	0.0	5.11	47.3	0.0498260.3			233541.5
6	7.17	32.4	8.5613824.9	0.0	0.0	4.9	48.1	0.0557568.8			266950.1
7	9.01	40.6	11.9743938.4	0.0	0.0	4.52	49.9	0.0683045.8			346211.5
8	5.33	48.6	8.1396853.6	0.0	0.0	4.09	52.3	0.0365830.2			206630.2
9	7.17	57.2	13.2435208.2	0.0	0.0	3.68	55.6	0.0384699.2			269917.1
10	7.17	71.9	23.1230275.0	0.0	0.0	3.37	60.8	0.053343.0			224826.7

VERIFICA CON PUNTO VINCOLATO ALLA BASE DEL GRADONE PIU' BASSO

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	2.83
Ascissa centro superficie	10.87 m
Ordinata centro superficie	953.86 m
Raggio superficie	113.26 m

xc = 10.873 yc = 953.858 Rc = 113.263 Fs=2.825

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm2)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	11.4	14.1	11.8285413.5	0.0	0.0	3.84	54.2	0.0231949.5			248330.9
2	6.12	18.7	6.5286130.6	0.0	0.0	4.36	50.7	0.0239574.4			184686.6
3	9.1	22.8	9.9567768.2	0.0	0.0	4.67	49.1	0.0478721.1			326186.5
4	8.42	27.7	9.5613361.8	0.0	0.0	4.79	48.6	0.0516819.3			335048.6
5	10.1	33.2	12.1944841.5	0.0	0.0	5.02	47.6	0.0813831.6			481859.9
6	7.41	38.6	9.5754426.9	0.0	0.0	4.93	48.0	0.0657734.8			385466.8
7	8.76	44.1	12.2837764.6	0.0	0.0	4.56	49.6	0.0726696.4			454105.2
8	6.49	49.8	10.1558966.1	0.0	0.0	4.18	51.7	0.0476247.2			329259.1
9	11.02	57.5	20.5738706.2	0.0	0.0	3.72	55.2	0.0573045.0			510843.2
10	8.76	68.9	24.3255111.0	0.0	0.0	3.38	60.5	0.0	9867.8		269698.9

Come illustrato, tutti i fattori di sicurezza sono ampiamente superiori a 1,1 e pertanto risulta verificata la stabilità globale dei fronti in roccia (considerati come continuo equivalente) modellati per ripristinare i fronti della cava.

Interventi puntuali sul fronte NW

Nelle immagine di seguito sono anche segnalati alcuni interventi di disgaggio di porzioni rocciose instabili localizzate sul fronte NW, non interessato dai lavori di sistemazione. E' importante prevede la rimozione degli ammassi rocciosi segnalati perché dai sopralluoghi essi risultano in posizione precaria e a rischio crollo: altri dettagli di queste situazioni di instabilità sono contenuti nella discussione della relazione geologica al capitolo dell'assetto tensionale delle pareti della cava.

4.3. Ripristini

Si segnala che alla sommità degli interventi di rimodellamanto non si può escludere la necessità di dover eseguire alcuni interventi per ripristinare il raccordo sulla zona di passaggio fra la roccia ed il terreno sciolto retrostante.

Si potranno utilizzare, nel caso, dei massi da scogliera e dei rinverdimenti, eventualmente con biostuoie per facilitare la ripresa vegetale.

Nella zona del torrentello effimero vi potrà anche essere la necessità di predisporre una sorta di briglia o di tratto di selciato, per favorire lo sgrondo dell'acqua senza che si determinino erosioni.

Altro aspetto importante è ricordare che, in occasione di piogge intense e prolungate, l'attuale fondo scavo della cava si riempie di acqua la quale, grazie alle fratture ed anche, pare, ad uno sfogo artificiale costituito da una perforazione che trafigge il diaframma della cava verso il Rio Scozai, riesce a sgrondare infiltrandosi nel terreno senza determinare problematiche.

Questa situazione di smaltimento delle acque provenienti dal versante non deve essere interferita dalla realizzazione dei lavori, che prevedono il riempimento (peraltro con materiale grossolano e permeabile) della parte più depressa del vuoto minerario.

Lo scrivente non è riuscito a localizzare con precisione l'imbocco dello sfogo precedentemente descritto: in sede esecutiva, una volta localizzato e ripulito, si raccomanda di provvedere a mantenere efficiente tale elemento, eventualmente garantendone l'accessibilità all'acqua mediante un pozzettone drenante da prolungarsi fino al piano finito del riempimento.

4.4. Conclusioni

La presente relazione geotecnica presenta la discussione delle varie tematiche geotecniche relative alla realizzazione del progetto preliminare: **"Area estrattiva di Cembra - Sistemazione versante zona Sud (ex cava Peschiera)", curato dallo Studio Tecnico Associato STA, Ing. Zanetti Andrea e commissionato da Nuova Ecologia.**

Come dimostrato nei capitoli precedenti le attuali pareti rocciose poste attorno alla ex-cava mostrano un assetto strutturale sfavorevole alla stabilità, con una serie di piani di discontinuità anche beanti e le cui intersezioni possono dar luogo a crolli soprattutto per un cinematismo di scivolamento che spesso può evolversi a crolli verticali.

Il progetto di riprofilatura dei fronti in esame è sicuramente a vantaggio della stabilità generale, come dimostrano le sezioni di verifica ed il test di Markland.

Risulta anche importante che l'intervento venga attuato, laddove la roccia risulti particolarmente disarticolata, anche con la rimozione degli gli ammassi rocciosi definiti da piani di discontinuità a franapoggio con pendenza minore del versante e maggiormente inclinati rispetto all'angolo di attrito interno della roccia, pari a circa 35°.

E' condivisibile anche la completa rimozione dell'ammasso roccioso posto sul versante ad est, che nel recente passato è già stato interessato da importanti scivolamenti in roccia.

Come sopra descritto, si dovrà poi garantire che i lavori non vadano ad occludere lo sfogo all'acqua che proviene dal versante soprastante: questa accortezza eviterà allagamenti del piazzale che sarà modellato ed impedirà che si instaurino spinte idrostatiche sul diaframma che separa la cava da ripristinare dal Rio Scorzai.

Quali ulteriori indicazioni si menziona:

1. Per ripristinare la cava dismessa e ridurre la possibilità di crolli, sono da attuarsi interventi di rimozione (disgaggi) delle porzioni di roccia maggiormente instabili poste anche sul fronte di scavo posto a NW, come schematicamente indicato nell'immagine precedente;

2. Per una migliore stabilità dei fronti si consiglia, laddove vi sia roccia particolarmente decompressa e con giunti beanti, di ridurre l'inclinazione dei fronti fino a 50°: questa nuova configurazione, laddove necessario, otterrà di conseguire una situazione di stabilità anche nei punti di roccia destrutturata (vedi verifiche di Markland);

3. Al momento non è definita nel dettaglio la destinazione del piazzale che si verrà a creare una volta riempita l'attuale depressione. In funzione dell'uso che si intenda conferire a tali elementi si dovranno prevedere eventuali opere aggiuntive di protezione, sia garantendo alcuni metri (in dipendenza dell'altezza delle pareti) di franco dai futuri fronti rocciosi e, qualora si preveda un uso che comporti accesso di persone, predisponendo un cordolone perimetrale (tomo) con altezza che sarà definita in base alla vicinanza alle pareti e alla vulnerabilità delle lavorazioni.

4. Durante i lavori di riprofilatura dei fronti rocciosi è necessaria la presenza di un Geologo con mansioni di DL Geologica in affiancamento al D.L. dei lavori.

Il presente elaborato è redatto in ottemperanza ai contenuti del D.M. 17/01/2018 "Nuove norme tecniche per le costruzioni", fa riferimento alla relazione geologica del progetto definitivo e costituisce documento progettuale idoneo per il rilascio della concessione ad edificare.

La presente relazione geotecnica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione del volume significativo di terreno riguarda la fase di progetto definitivo e dovrà essere integrata in fase esecutiva con tutte le previste verifiche della sicurezza e delle prestazioni di cui al capitolo 6.2.4. delle NTC 2018."

Richiamando validi concetti espressi anche dalla precedente normativa (DM 11/03/88), inoltre, si prescrive che "La validità delle ipotesi di progetto dovrà essere controllata durante la costruzione considerando, oltre ai dati raccolti in fase di progetto, anche quelli ottenuti con misure ed osservazioni nel corso dei lavori per adeguare, eventualmente, l'opera alle situazioni riscontrate".

San Cristoforo, **giugno 2022**

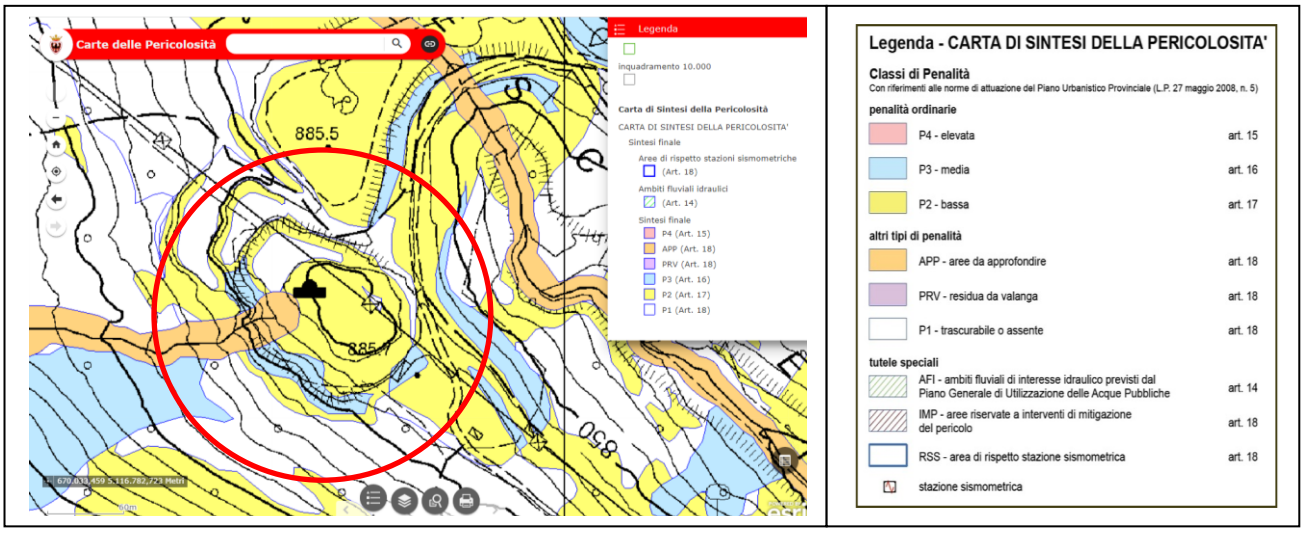
Studio Geologico Associato GeoAlp
dott. geol. Icilio Vigna

5. STUDIO DI COMPATIBILITA'

Il presente studio di compatibilità si riferisce al progetto preliminare **"Area estrattiva di Cembra - Sistemazione versante zona Sud (ex cava Peschiera)", curato dallo Studio Tecnico Associato STA, Ing. Zanetti Andrea e commissionato da Nuova Ecologia.**

I contenuti del presente studio di compatibilità, che in questo elaborato riguarda le sole componenti CROLLO e LITOEOMORFOLOGICA, sono sviluppati in maniera commisurata alla natura e all'importanza dell'intervento da effettuare ed ala fase preliminare della progettazione.

Strumento urbanistico	**Classificazione**
Carta di Sintesi della Pericolosità CSP del P.U.P. (in vigore dal 02 ottobre 2020)	Litogeomorfologica = P1+P2+P3 Crolli = P2 Torrentizia = APP Frane: area prossima, ma esterna, a P3



- Individuazione del tipo di fenomeno ed analisi della pericolosità:

In buona sostanza il fenomeno temuto è l'instabilità delle pareti della cava dismessa.

Al termine della coltivazione la cava infatti è stata lasciata con pareti a geometria irregolare ed anche molto alte: la roccia poi presenta numerose famiglie di giunti che isolano delle masse di roccia potenzialmente instabili e che non sono state disgaggiate a fine attività mineraria.

Ai piedi di alcune delle pareti sono già presenti degli accumuli di roccia franata, come ampiamente illustrato nella relazione geologica alla quale si rinvia per la dettagliata descrizione dell'analisi della pericolosità.

- Massimi effetti prevedibili:

Gli effetti massimi prevedibili causati dal processo di degrado delle pareti sono dei distacchi che possono arrivare a coinvolgere tutto l'areale del cratere formatosi per via dell'estrazione della roccia porfirica.

In dipendenza dell'utilizzo che si potrà assegnare a questa porzione di territorio, i crolli possono pertanto causare danni a persone e cose che venissero a trovarsi entro al cratere.

Pertanto il progetto, che comunque non coinvolgerà l'intera estensione dell'area estrattiva dismessa, si prefigge proprio lo scopo di ridurre le condizioni di instabilità in vista di un possibile utilizzo del piazzale centrale che potrà venir realizzato entro al cratere minerario riutilizzando il materiale disgaggiato dalle pareti. Il grado di rischio residuo di tale piazzale sarà anche funzione dell'utilizzo – non ancora dettagliato nei particolari - che verrà assegnato a questa porzione di territorio.

- Definizione della vulnerabilità di quanto si intende realizzare:

Non essendo ancora stata definita nel dettaglio la destinazione d'uso dell'area ripristinata non è possibile indicarne univocamente la vulnerabilità.

In ogni caso, senza le opere aggiuntive ai rimodellamenti necessari a scongiurare dissesti di grandi dimensioni, il piazzale basale deve essere comunque considerato potenzialmente coinvolto dal rotolamento di frammenti lapidei minori che comunque possono staccarsi dai fronti.

- Definizione delle misure di mitigazione:

Oltre a ridurre la pendenza delle pareti ed oltre ai disgaggi - e quindi a ridurre la possibilità di crolli - è possibile, sempre con lo stesso materiale di rimodellamento, realizzare dei tomi perimetrali, posti a distanza di 5 / 10 m in funzione delle diverse posizioni. Questi tomi perimetrali, il cui dimensionamento sarà anche funzione della destinazione d'uso del piazzale ed anche quindi dell'utilizzo della viabilità di accesso, avranno la faccia rivolta verso le pareti subverticale per intercettare le traiettorie di crollo.

Particolarmente curato dovrà essere l'eventuale tomo posto in corrispondenza dello sgrondo dei rivo che scende dal pendio: tale tomo avrà infatti non solo il compito di intercettare piccoli distacchi, ma avrà anche la funzione di interporsi alle eventuali colate di detrito che dovessero provenire dal rivo soprastante.

- Cronoprogramma opere:

L'esecuzione delle opere di ripristino indicate in progetto (rimodellamento) già di per sè costituisce un intervento di riduzione del rischio: pertanto il cronoprogamma dei lavori coincide con il cronoprogramma degli interventi di riduzione del rischio.

Eventuali ulteriori opere di protezione (un tomo fra pareti e piazzale e fra pareti e viabilità) potranno essere attuate in seguito, una volta verificato se il grado di protezione raggiunta tramite l'esecuzione del progetto sia sufficiente o meno per la destinazione d'uso che verrà stabilita per l'area basale.

San Cristoforo, **giugno 2022**

Studio Geologico Associato GeoAlp
dott. geol. Icilio Vigna