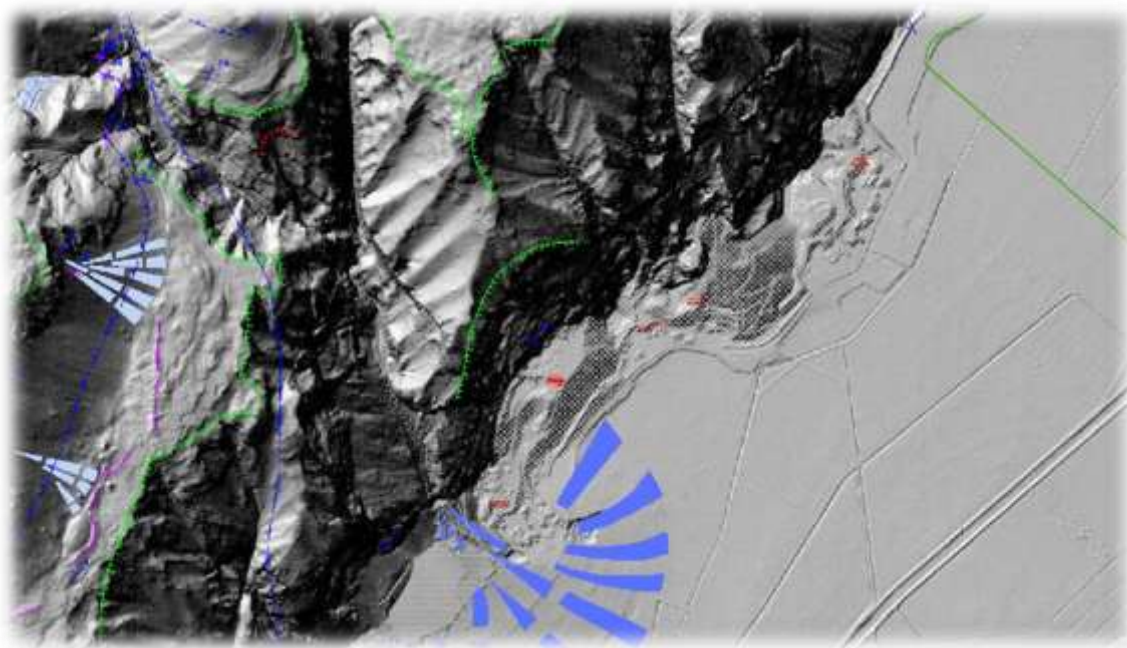


*Comune di Mezzocorona
Provincia Autonoma di Trento
Committente:
Comune di Mezzocorona*

OGGETTO

**COLTIVAZIONE DELLE CAVE DI PROPRIETÀ DEL COMUNE DI MEZZOCORONA
CIG: B509D4AFA2**



RELAZIONE GEOLOGICA

Sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito (contiene la relazione sulla modellazione sismica)

STUDIO DI COMPATIBILITÀ

Allegato C "Indicazioni e precisazioni per l'applicazione delle disposizioni concernenti le aree con penalità elevate, medie o basse e le aree con altri tipi di penalità" della D.G.P. 18/03/2022, n. 379: l.p. 27 maggio 2008, n. 5, articoli 14-18 e 48 - l.p. 4 agosto 2015, n. 15

dott. geol. Emilio Perina

Levico Terme, aprile 2025

Rel. 940/25



Via Mons. D. Caproni, 58
38056 Levico Terme (Tn)



PEC e.perina@geotaspec.it
perina.emilio@gmail.com



347 1663624

INDICE

1. PREMESSA	2
1.1. CONTENUTI DELLO STUDIO	2
1.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
2. RELAZIONE GEOLOGICA	7
2.1. PREMESSA	7
2.2. ANALISI VINCOLI NORMATIVI DI RIFERIMENTO P.U.P.	7
2.3. INDAGINI EFFETTUATE	15
2.4. INQUADRAMENTO STRUTTURALE REGIONALE	15
2.5. INQUADRAMENTO GEOLGICO	19
2.6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	21
2.7. ASPETTI CLIMATICI LOCALI	22
2.8. INDAGINI GEOFISICHE E GIOGNOSTICHE DEI GIACIMENTI	27
2.9. ASPETTI MACRO E MESO STRUTTURALI ANALISI PARETE ROCCIOSA	41
2.9.1. QUALITÀ AMMASSO ROCCIOSO (GSI)	44
2.9.2. POSIZIONI CRITICHE	47
2.10. DEFINIZIONI VOLUMI UNITARI (VRU).....	50
2.11. STUDIO COMPATIBILITÀ DELL'INTERVENTO IN RELAZIONE	
ALLA CSP – ANALISI CADUTA MASSI	53
2.11.1. SIMULAZIONE DI CADUT MASSI 3D – ROCPRO3D.....	53
2.11.2. DATI INGRESSO DI CADUTA MASSI 3D – ROCPRO3D.....	54
2.11.3. SINTESI RISULTATI MODELLAZIONE 3D	56
2.11.4. VERIFICA SCOSCENDIMENTO MASSI 2D.....	65
2.12. VALUTAZIONI DELLE OPERE IN RELAZIONE AI FENOMENI SOTTESI	72
2.13. VERIFICHE DI STABILITÀ OPERE DI RIPRISTINO AMBIENTALE.....	77
2.13.1. ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE CON BISHOP (1955) SISIMICHE.....	79
2.13.2. ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE CON BISHOP (1955) STATICHE	82
2.14. CONCLUSIONI	85

ALLEGATI

<i>All.1.</i>	<i>REPORT PROVE GEOFISICHE GIACIMENTI LOTTI L1 – L1(C1)</i>
<i>All.2.</i>	<i>REPORT PROVE GEOGNOSTICHE E DI LABORATORIO</i>
<i>All.3.</i>	<i>ALLEGATO A - ANALISI GEOMECCANICA</i>
<i>All.4.</i>	<i>ALLEGATO B - SIMULAZIONI DI CADUTA MASSI 3D</i>
<i>All.5.</i>	<i>REPORT 2D PROVE E TAVOLE MODELLAZIONE CADUTA MASSI SATO DI FATTO LOTTO L1(C1)</i>
<i>All.6.</i>	<i>REPORT 2D PROVE E TAVOLE MODELLAZIONE CADUTA MASSI SATO DI FATTO LOTTO L1</i>
<i>All.7.</i>	<i>REPORT 2D PROVE E TAVOLE MODELLAZIONE CADUTA MASSI SATO DI PROGETTO</i>
<i>All.8.</i>	<i>REPORT ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE OPERE DI RIPRISTINO</i>

1. PREMESSA

1.1. CONTENUTI DELLO STUDIO

Su incarico e per conto del Comune di Mezzocorona (TN), è stato effettuato uno studio geologico e di compatibilità a supporto del progetto: "Coltivazione delle cave di proprietà del Comune di Mezzocorona" - CIG: B509D4AFA2.

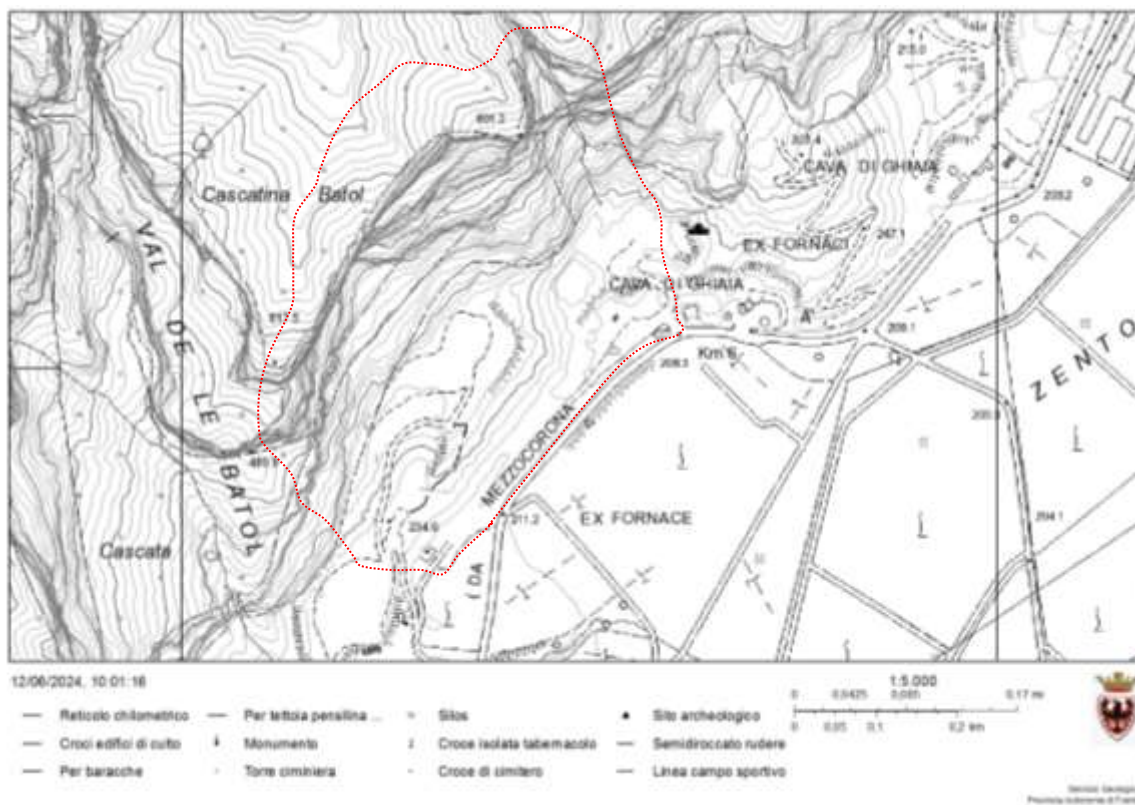


Fig. 1.1: estratto carta tecnica provinciale (CTP); scala 1: 5.000 (modificata a vista).

Il piano pluriennale di attuazione - così come le sottese concessioni ed autorizzazioni relative al comparto estrattivo del Comune di Mezzocorona - scadranno rispettivamente nel dicembre 2025 e nel febbraio del 2026 e pertanto l'Amministrazione intende avviare le necessarie attività di studio, programmazione e progettazione propedeutica al futuro sviluppo dell'area in questione e alle nuove gare di concessione dei lotti estrattivi di proprietà pubblica.

Tra gli aspetti vincolanti la pianificazione territoriale insistono differenti penalità di carattere idrogeologico, per i quali si è deciso di svolgere un mirato approfondimento nella definizione delle linee guida da impartire per la futura progettazione della coltivazione e allo scopo con deliberazione n. 207 dd. 03/10/2023 sono stati affidati un rilievo 3D fotogrammetrico con drone della parete rocciosa, uno studio idrogeologico dei conoidi che caratterizzano i versanti rocciosi adiacenti il tratto della S.P. 21 in località Fornaci a Mezzocorona, e uno studio geologico i versanti rocciosi.

Tali studi sono stati da supporto alla pianificazione urbanistica territoriale da sottendere al piano cave provinciale, così come adottata con deliberazione del Consiglio Comunali n. 24 dd. 13.08.2024, nonché alla richiesta di revisione della CSP, trasmessa con

nota prot. 11953 dd. 21/10/2024 e attualmente in fase di istruttoria da parte dei servizi provinciali competenti.

Sulla scorta della nuova pianificazione territoriale e degli approfondimenti sulla compatibilità idrogeologica del sito è ora possibile procedere alla progettazione dei lotti estrattivi e delle relative modalità di ripristino finale. Non sussistendo più la necessità di dotarsi di un piano pluriennale di attuazione – si procederà pertanto direttamente al progetto di coltivazione che sarà sottoposto alle procedure di screening VIA e di approvazione del Comitato Tecnico Interdisciplinare Cave (art. 2 - L.P. 24.10.2006, n. 7).

In vista della scadenza delle attuali concessioni assoggettate al regime di cui all'art. 33 della l.p. n.7/2006 e in scadenza a febbraio 2026, è intenzione del Comune riunire i lotti 1 e 2 in un unico macrolotto da affidare tramite procedura ad evidenza pubblica, sulla scorta di un piano di lottizzazione che dovrà essere approvato dal Consiglio Comunale; tali indicazioni sono state peraltro fornite dal Comitato Tecnico Interdisciplinare Cave nella seduta dd. 09.07.2024. In particolare, la definizione puntuale del pericolo con la definizione delle eventuali opere di protezione e mitigazione, dovranno essere progettate e programmate in maniera intrecciata con i futuri progetti di coltivazione che andranno – inoltre – a definire la nuova conformazione dei lotti estrattivi, nonché le modalità di ripristino ambientale.

Il presente studio, corredato dei relativi allegati, esamina pertanto gli aspetti di ordine geologico, geomeccanico, idrogeologico, idraulico e geotecnico che condizionano il progetto, nonché le opere e i provvedimenti necessari per la mitigazione del rischio da crolli e fenomeni idraulici. Tali aspetti sono analizzati anche in prospettiva di una destinazione produttiva dell'area, come dettagliato nei paragrafi successivi, sia durante che al termine dell'attività estrattiva.

Le considerazioni riportate nel presente documento si basano anche sui risultati ottenuti da una campagna di indagini geofisiche, finalizzata principalmente all'individuazione dell'andamento ipogeo della roccia rispetto alle coperture quaternarie. Le indagini si sono concentrate sull'individuazione delle pareti rocciose, sulla caratterizzazione geomeccanica dei versanti rocciosi, con l'obiettivo di prevedere il comportamento deformativo in seguito alla progressiva perdita dell'effetto "contrasto" attualmente esercitato dagli accumuli detritici, nonché sulla caratterizzazione fisico-meccanica dei materiali "sciolti", per definire i profili più idonei alla stabilità nello stato finale.

Quanto contenuto nella presente relazione definisce, pertanto, indicazioni e prescrizioni principalmente destinate allo sviluppo del progetto di coltivazione e di ripristino finale, in relazione al tipo di pericolosità individuata.

1.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Normativa vincoli urbanisti (PUP)

D.P.R. 15/02/2006 – PIANO GENERALE DI UTILIZZAZIONE DELLE ACQUE PUBBLICHE

DGP. 22/12/2006 n. 2759 - DISPOSIZIONI TECNICHE E ORGANIZZATIVE PER LA REDAZIONE E L'AGGIORNAMENTO DELLE CARTE DELLE PERICOLOSITÀ

LEGGE PROVINCIALE 23 maggio 2007, n. 11 GOVERNO DEL TERRITORIO FORESTALE E MONTANO, DEI CORSI D'ACQUA E DELLE AREE

L.P. 27/05/2008, n. 5 – NORME DI ATTUAZIONE DEL P.U.P.

D.G.P. 30/05/2008, n. 1387 – DIRETTIVE PER L'APPLICAZIONE DEGLI ARTICOLI 16, 17, 19, 21, 29 E 32 DELLE NORME DEL PIANO DI UTILIZZAZIONE DELLE ACQUE PUBBLICHE E MODIFICA DELLA DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA PROVINCIALE N. 1984 DEL 22.09.2006 CON OGGETTO: "METODOLOGIA PER L'AGGIORNAMENTO DELLA CARTOGRAFIA DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO DEL PIANO GENERALE DI UTILIZZAZIONE DELLE ACQUE PUBBLICHE"

D.G.P. 26/03/2010, n° 627 - MISURE DI SEMPLIFICAZIONE A MODIFICAZIONE E INTEGRAZIONE DELLA DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA PROVINCIALE N. 1387 DI DATA 30 MAGGIO 2008

D.G.P. 27/05/2011, n. 1120 – NUOVE DISPOSIZIONI ORGANIZZATIVE PER L'ATTUAZIONE DEGLI ART. LI 16 E 17 DELLE NORME DI ATTUAZIONE DEL PGUAP. MEDIANTE MODIFICAZIONE DELLA DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA PROVINCIALE N. 627 DI DATA 26 MARZO 2010

L.P 01/07/2011, n. 9 - DISCIPLINA DELLE ATTIVITÀ DI PROTEZIONE CIVILE IN PROVINCIA DI TRENTO

D.G.P. 30/10/2012, n° 2333 – MODIFICAZIONI ALLA DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA PROVINCIALE N. 1120 DEL 27 MAGGIO 2011 IN MATERIA DI DIRETTIVE PER L'APPLICAZIONE DELLE NORME DI ATTUAZIONE DEL PIANO GENERALE DI UTILIZZAZIONE DELLE ACQUE PUBBLICHE

D.G.P. 6/10/2014, n. 1708 – DISPOSIZIONI TECNICHE E ORGANIZZATIVE PER LA REDAZIONE E L'AGGIORNAMENTO DELLE "CARTE DELLA PERICOLOSITÀ" DI CUI ALL'ARTICOLO 10 DELLA LEGGE PROVINCIALE 1° LUGLIO 2011, N. 9

L.P. 4/08/2015, n 15 - LEGGE PROVINCIALE PER IL GOVERNO DEL TERRITORIO 2015

D.G.P. 3/12/2015, n. 2209 - APPROVAZIONE DEL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (PGRA) DELLA PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO, IN ATTUAZIONE DELLA DIRETTIVA 2007/60/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO DI DATA 23 OTTOBRE 2007.

D.G.P. 19/05/2017, n. 772, 785, 787, 788 – CRITERI E METODOLOGIA PER LA REDAZIONE E L'AGGIORNAMENTO DELLE CARTE DELLA PERICOLOSITÀ

D.G.P. 19/07/2019, n. 1066, 1067, 1078, 1080 – NUOVA ADOZIONE PRELIMINARE DELLA CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ

D.G.P. 04/09/2020, n. 1317: l.p. 27 maggio 2008, n. 5, articoli 14-18 e 48 - l.p. 4 agosto 2015, n. 15, articoli 21-22 e 31: - APPROVAZIONE DELLA CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ

D.G.P. 18/03/2022 n. 379 AGGIORNAMENTO DELL'ALLEGATO C DELLA DELIB. 1317 DEL 4/19/2020: "INDICAZIONI E PRECISAZIONI PER L'APPLICAZIONE DELLE DISPOSIZIONI CONCERENTI LE AREE CON PENALITÀ ELEVATE, MEDIE O BASSE E LE AREE CON ALTRI TIPI DI PENALITÀ

D.G.P. 29/09/2023 n. 1737 e n. 1748 PRIMO AGGIORNAMENTO DELLA CAP E DELLA CSP – NUOVE MAPPATURE E "DISPOSIZIONI TECNICHE PER LA REDAZIONE DELLA CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ

Ai sensi dell'articolo 22, comma 2 della l.p. n. 15/2015, con l'approvazione della Carta di sintesi della pericolosità cessano di applicarsi le disposizioni del Piano generale di utilizzazione delle acque pubbliche in materia di uso del suolo (capo IV – Aree a rischio idrogeologico delle norme del PGUAP).

Scopo del presente studio sarà dunque anche quello di verificare i tipi di penalità sottese all'area d'intervento, al fine di verificarne la compatibilità delle opere con le medesime, ai sensi delle norme provinciali vigenti in materia.

Normativa ambientale

G.U. 21/02/1977, n.48 – SUPPL. ORDINARIO COMITATO DEI MINISTRI PER LA TUTELA DELLE ACQUE DALL'INQUINAMENTO 04/02/1977

D.P.G.P. 26/01/1987, n. 1/41 – TESTO UNICO AMBIENTALE SULLA TUTELA DELL'AMBIENTE DAGLI INQUINAMENTI e smi.

L. 9/12/1998 n° 426 – RECANTE "NUOVI INTERVENTI IN CAMPO AMBIENTALE"

D.Lgs. 03/04/2006 n. 152 – NORME IN MATERIA AMBIENTALE

D.M. 10/08/2012 n. 161 – REGOLAMENTO RECANTE LA DISCIPLINA DELL'UTILIZZAZIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO

D.L. 69 – 08/2013 – DISPOSIZIONI URGENTI PER IL RILANCIO DELL'ECONOMIA

Circolare 25/09/2013, n. 495 – NUOVE DISPOSIZIONI DI TIPO OPERATIVO PER LA GESTIONE DEI MATERIALI DA SCAVO COME SOTTOPRODOTTO

D.P.R. 13/06/2017, n. 120 - REGOLAMENTO RECANTE LA DISCIPLINA SEMPLIFICATA DELLA GESTIONE DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO

D.G.P. 12/10/2018, n. 1941 - TERZO AGGIORNAMENTO DELLA CARTA DELLE RISORSE IDRICHE

Delibera consiglio SNPA n.59 09/05/2019 – LINEE GUIDA SULL'APPLICAZIONE DELLA DISCIPLINA PER L'UTILIZZO DELLE TERRE E ROCCE DA SCAVO.

D.G.P. 07/07/2023, n. 1197 – APPROVAZIONE DELLE NUOVE NORME DI ATTUAZIONE DELLA CRI A MODIFICA ED INTEGRAZIONE DELLE NORME DI ATTUAZIONE DI CUI ALLA DELIBERAZIONE N.2248 5/09/2008

Normativa ambientale di progetto

L.P. 24 OTTOBRE 2006, N. 7 (e successive modifiche) "DISCIPLINA DELL'ATTIVITÀ DI CAVA" DISCIPLINA L'ATTIVITÀ DI RICERCA E DI COLTIVAZIONE DELLE CAVE E TORBIERE NELLA PROVINCIA AUTONOMA DI TRENTO, AL FINE DELLA VALORIZZAZIONE DELLE RISORSE NATURALI PROVINCIALI IN ARMONIA CON GLI SCOPI DELLA PROGRAMMAZIONE ECONOMICA E DELLA PIANIFICAZIONE TERRITORIALE E CON LE ESIGENZE DI SALVAGUARDIA DELL'AMBIENTE, NONCHÉ CON LA NECESSITÀ DI TUTELA DEL LAVORO E DELLE IMPRESE

D.L. 30 maggio 2008, n. 117 "ATTUAZIONE DELLA DIRETTIVA 2006/21/CE RELATIVA ALLA GESTIONE DEI RIFIUTI DELLE INDUSTRIE ESTRATTIVE E CHE MODIFICA LA DIRETTIVA 2004/35/CE"

D.P.P. 26 settembre 2013, n.24-126/Leg. "REGOLAMENTO CONCERNENTE IL CONTRIBUTO PER L'ESERCIZIO DELL'ATTIVITÀ DI CAVA"

L.P. 11 dicembre 2020, n. 14 "DISCIPLINA DELLA RICERCA E DELLE CONCESSIONI MINERARIE E MODIFICAZIONI DELLA LEGGE PROVINCIALE SULLE CAVE".

Normativa tecnica nazionale

L. 2/02/1974, n. 64 – PROVVEDIMENTI PER LE COSTRUZIONI CON PARTICOLARI PRESCRIZIONI PER LE ZONE SISMICHE

D.M. 11/03/1988 – NORME TECNICHE RIGUARDANTI LE INDAGINI SUI TERRENI E SULLE ROCCE, LA STABILITÀ DEI PENDII NATURALI E DELLE SCARPATE, I CRITERI GENERALI E LE PRESCRIZIONI PER LA PROGETTAZIONE, L'ESECUZIONE E IL COLLAUDO DELLE OPERE DI SOSTEGNO DELLE TERRE E DELLE OPERE DI FONDAZIONE.

D.P.C.M. 14/10/1997 n. 412 – REGOLAMENTO RECANTE L'INDIVIDUAZIONE DELLE ATTIVITÀ LAVORATIVE COMPORTANTI RISCHI PARTICOLARMENTE ELEVATI, PER LE QUALI L'ATTIVITÀ DI VIGILANZA PUÒ ESSERE ESERCITATA DAGLI ISPETTORATI DEL LAVORO DELLE DIREZIONI PROVINCIALI DEL LAVORO.

O.P.C.M. 20/03/2003 n. 3274 – PRIMI ELEMENTI IN MATERIA DI CRITERI GENERALI PER LA CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO NAZIONALE E DI NORMATIVE TECNICHE PER LE COSTRUZIONI IN ZONA SISMICA

D.M. 14/01/2008 – NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (N.T.C. 2008)

D.Lgs. 09/04/2008, n.81 - ATTUAZIONE DELL'ARTICOLO 1 DELLA LEGGE 3 AGOSTO 2007, N. 123, IN MATERIA DI TUTELA DELLA SALUTE E DELLA SICUREZZA NEI LUOGHI DI LAVORO.

D.G.P. 30/05/2008, n. 1351 – PRIMA DIRETTIVA PER L'APPLICAZIONE DEL DECRETO DEL MINISTRO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI 14 GENNAIO 2008 IN MATERIA DI NUOVE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI

Circolare 02/02/2009, n. 617 – (G.U. n. 47dd. 26.02.2009 – Suppl. Ordinario n. 27) – ISTRUZIONI PER L'APPLICAZIONE DELLE NTC DI CUI AL D.M. 14.01.2008

EUROCODE 7 – GEOTECHNICAL DESIGN

EUROCODE 8 – DESIGN OF STRUCTURES FOR EARTHQUAKE RESISTANCE

D.M. 17/01/2018 – AGGIORNAMENTO DELLE NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI (N.T.C. 2018)

Circolare C.S.LL.PP. 21/01/2019, n. 7 - ISTRUZIONI PER L'APPLICAZIONE DELL'«AGGIORNAMENTO DELLE "NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI"» DI CUI AL DECRETO MINISTERIALE 17 GENNAIO 2018.

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) per la legislazione italiana sono attualmente definite nel decreto ministeriale 17 gennaio 2018 che dal 22 marzo 2018 sostituisce il D.M. 14 gennaio 2008. Così come i precedenti, le norme di cui al D.M. 17 gennaio 2018 entrano in vigore trenta giorni dopo la loro pubblicazione in Gazzetta Ufficiale (art. 2 del D.M. 17 gennaio 2018), così come sancito dall'art. 52 del D.P.R 380/2001.

Il presente elaborato è redatto in ottemperanza ai contenuti del D.M. 17/01/2018 (“Aggiornamento 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 a edificare.

Tale relazione ha dunque lo scopo di verificare la fattibilità delle opere ai sensi del D.M. 17/01/2018 e delle normative in vigore, fornendo le indicazioni geoesecutive utili alla loro migliore realizzazione.

2. RELAZIONE GEOLOGICA

2.1. PREMESSA

Il seguente elaborato riporta la relazione geologica sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito (**§ 6.2.1. delle N.T.C. 17/01/2018**) atte alla documentazione e ricostruzione del Modello Geologico, affrontando anche gli aspetti relativi ai vincoli di carattere geologico presenti nell'area di progetto. All'interno si riporta lo studio di compatibilità come previsto dall'allegato C "Indicazioni e precisazioni per l'applicazione delle disposizioni concernenti le aree con penali  elevate, medie o basse e le aree con altri tipi di penali " della D.G.P. 18/03/2022, n. 379: l.p. 27 maggio 2008, n. 5, articoli 14-18 e 48 - l.p. 4 agosto 2015, n. 15.

2.2. ANALISI VINCOLI NORMATIVI DI RIFERIMENTO P.U.P.

La legge provinciale 1 luglio 2011, n. 9 "Disciplina delle attivita  di protezione civile in provincia di Trento" pone in capo alla Provincia il compito di previsione dei pericoli e dei rischi (art. 6, comma 3) mediante la redazione e l'aggiornamento delle "carte della pericolosit " (art. 10, comma 1) che riguardano i pericoli connessi a fenomeni idrogeologici, valanghivi, alluvionali, sismici, a incendi boschivi, a determinate sostanze pericolose, a cavi sospesi o ad altri ostacoli alla navigazione aerea e ad ordigni bellici inesplosi.

Tali strumenti costituiscono la base di riferimento per definire la Carta di Sintesi della Pericolosit , prevista dall'art. 22 della legge provinciale 4 agosto 2015, n. 15 (Legge provinciale per il governo del territorio), la quale individua le aree a diversa penali  ai fini dell'applicazione delle disposizioni relative all'uso del territorio previste dalla legge provinciale 27 maggio 2008, n.5 "Approvazione del nuovo piano urbanistico provinciale".

In particolare, la Carta di Sintesi della Pericolosit    uno degli elementi costituenti il Piano Urbanistico Provinciale PUP (comma 4, lettera d, dell'articolo 21 della legge provinciale 4 agosto 2015, n. 15 e comma 1 dall'articolo 3 della legge provinciale 27 maggio 2008, n. 5) e ha il compito di individuare le aree caratterizzate da diversi gradi di penali  ai fini dell'uso del suolo, in ragione della presenza dei pericoli idrogeologici, valanghivi, sismici e d'incendio boschivo, descritti nelle Carte della Pericolosit  (articolo 10 della legge provinciale 1 luglio 2011, n. 9 e articolo 14 della legge provinciale 27 maggio 2008, n.5).

In materia di pericolo, la Carta di Sintesi della Pericolosit  rappresenta il nuovo strumento di riferimento per la pianificazione urbanistica e con la sua entrata in vigore cessano di applicarsi le disposizioni della Carta di sintesi geologica e le disposizioni in materia di uso del suolo del Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche (PGUAP). Ai sensi dell'articolo 22, comma 2 della l.p. n. 15/2015, con l'approvazione della Carta di sintesi della pericolosit  cessano di applicarsi le disposizioni del Piano generale di utilizzazione delle acque pubbliche in materia di uso del suolo (capo IV – Aree a rischio idrogeologico delle norme del PGUAP).

La G.P. venerd  29 settembre 2023 con delibere n 1737 e n 1748 ha approvato il primo aggiornamento delle CaP e della CSP quale risultato dell'attivita  di continuo aggiornamento delle strutture competenti in materia di pericolo idrogeologico e urbanistica rispetto ai processi naturali e antropici che interessano un territorio in costante evoluzione come il Trentino. Le nuove mappature sono entrate in vigore a partire dal 6 ottobre 2023, giorno successivo alla pubblicazione delle deliberazioni nel Bollettino Ufficiale della

Regione Trentino-Alto Adige. Secondo la citata cartografia **l'area relativa all'intero comparto estrattivo è classificata in penali  ordinarie P4 elevate, medie P3, bassa e P2 e trascurabile P1** (art. 15-16-17-18 L.P. 27 maggio 2008, n.5)¹. Non sono altres  presenti zone di tutele speciali individuate dalla CSP, quali AFI (ambiti fluviali) o IMP (aree riservati  a interventi di mitigazione del rischio). L'analisi della consultazione delle Carta della Pericolosit  che costruiscono la base della CSP ha evidenziato che le penali  assegnate ai lotti oggetto di studio sono ascrivibile a una pericolosit  ordinaria di classe H4, H3, H2 e H1 alluvionale torrentizia e per crolli; si rileva altres  una pericolosit  H2 residuale da crolli e da H3, H2 a H2R litogeomorfologica circoscritta alle scarpate dei depositi estrattivi di cava.

Per quanto concerne le attivit  identificate dal vecchio piano cave come aree piazzali di lavorazione e deposito (a valle del limite di coltivazione), dove sono presenti edifici di cantiere e macchinari adibiti alla gestione e lavorazione di cava, sono ubicate in aree a pericolosit  principalmente H1 trascurabile, lambendo le H2 basse nonch  residuali HR2 per fenomeni da crolli, le quali ne generano una penali  da bassa P2 a P1 trascurabile. Perano solo una quota parte del deposito ancora da coltivare, sia del lotto L1(C1) che del lotto L1, grava su una pericolosit  da media H3 a elevata H4 a ridosso delle pareti rocciose.

Lo studio di compatibilit  allagato in seguito si focalizza pertanto sulla pericolosit  del lotto L1(C1) e lotto L1, al fine di una nuova pianificazione del Piano Cave, in relazione ai fenomeni da crollo. Per l'analisi della pericolosit  alluvionale torrentizia si rimanda all'apposito studio di compatibilit  redatto dal dott. Forestale Mirco Baldo.

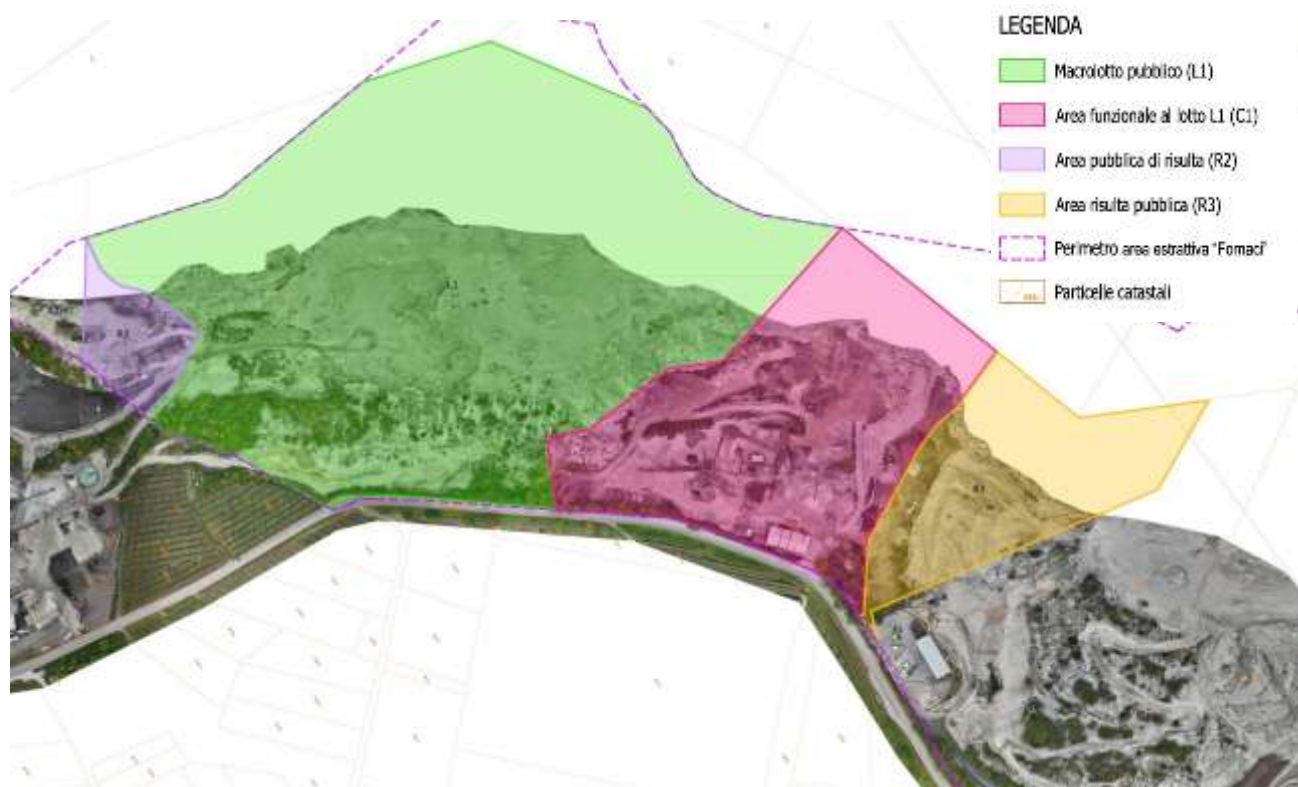


Fig. 2.1: estratto planimetria di progetto zonizzazione areale dei lotti.

¹ Allegato C "Indicazioni e precisazioni per l'applicazione delle disposizioni concernenti le aree con penali  elevate, medie o basse e le aree con altri tipi di penali " della D.G.P. 18/03/2022, n. 379: l.p. 27 maggio 2008, n. 5, articoli 14-18 e 48 - l.p. 4 agosto 2015, n. 15.

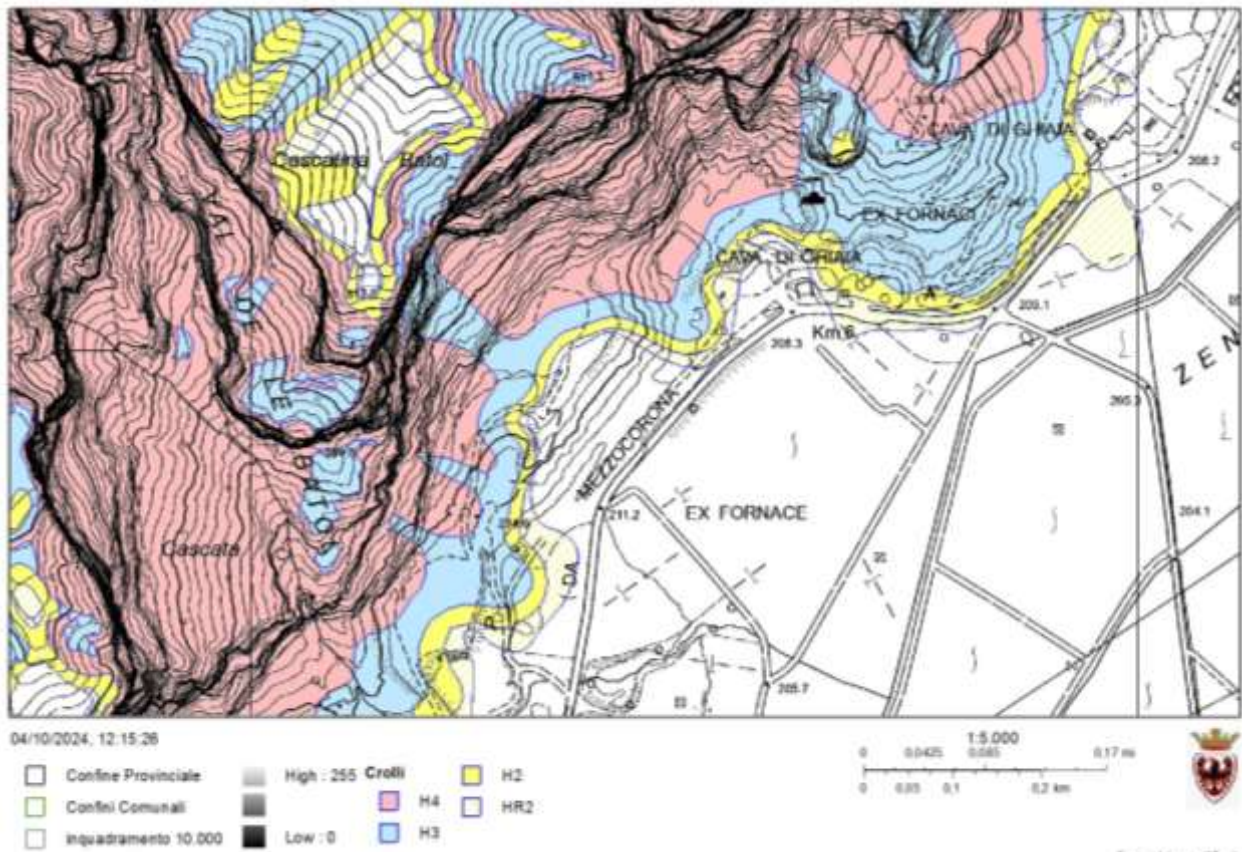


Fig. 2.2: estratto Carta della Pericolosità (CaP) pericolosità crolli; scala 1: 5.000 (modificata a vista).

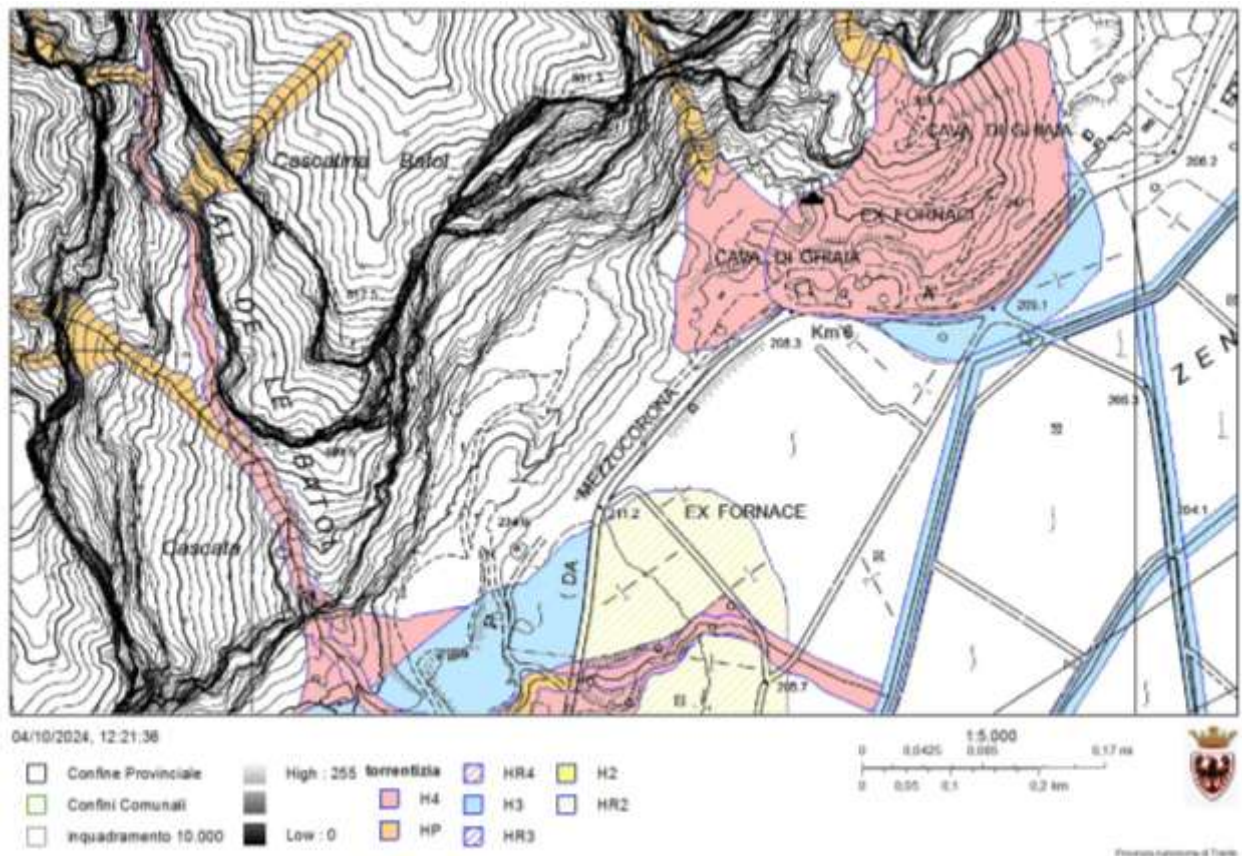


Fig. 2.3: estratto Carta della Pericolosità (CaP) pericolosità torrentizia; scala 1: 5.000 (modificata a vista).

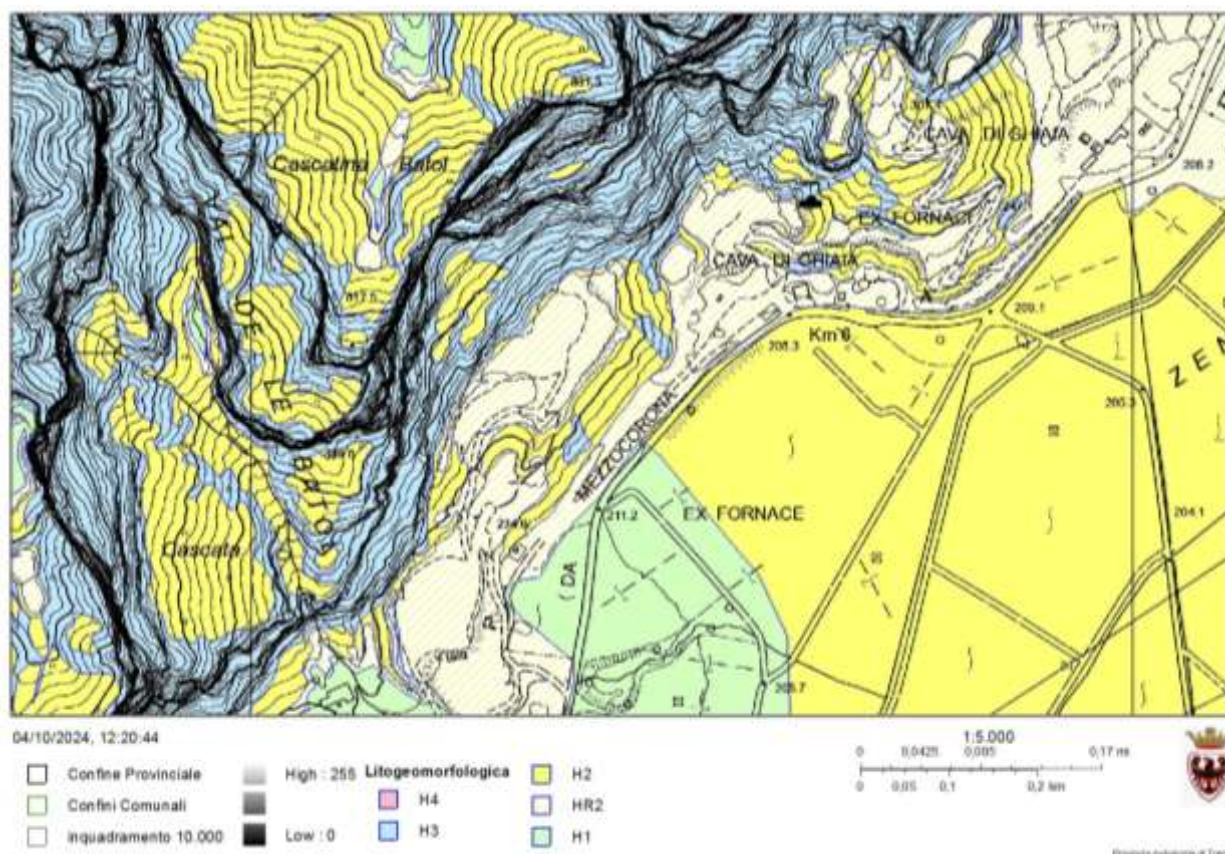


Fig. 2.4: estratto Carta della Pericolosità (CaP) pericolosità litogeomorfologica; scala 1: 5.000 (modificata a vista).

In attuazione dell'art. 21 delle norme di attuazione del Piano urbanistico provinciale, approvato con legge provinciale 27 maggio 2008, n. 5, è stata redatta la **"Carta delle risorse idriche"** ricadenti nel territorio provinciale, riportando le sorgenti, i pozzi e le captazioni superficiali delle acque selezionate destinate al consumo umano. La Carta indica anche le aree di salvaguardia, distinte in zone di tutela assoluta, zone di rispetto idrogeologico e zone di protezione, individuate secondo i principi per la tutela della qualità delle acque definiti dall'art. 94 del d.lgs. n. 152/2006 e dall'Accordo 12 dicembre 2002 della Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le Regioni e le Province Autonome. Il giorno 12/10/2018 con Delibera G.P. n°1941 è stato approvato il terzo aggiornamento della Carta delle Risorse Idriche, il quale entra in vigore il giorno successivo alla pubblicazione sul Bollettino Ufficiale della Regione n° 42 del 18/10/2018. Con delibera 1197 del 7 luglio 2023 sono state approvate le nuove norme di attuazione.

La Giunta Provinciale con Deliberazione n°765 del 5 maggio 2023, in ottemperanza a quanto previsto dalle Norme di attuazione della Carta delle Risorse idriche del PUP e dall'art. 94 del Decreto Legislativo 3 aprile 2006 n°152, ha provveduto a disciplinare le pratiche agronomiche e i contenuti dei piani di utilizzazione di concimi chimici, fertilizzanti e fitofarmaci nelle zone di rispetto idrogeologico dei punti di captazione delle acque per il consumo umano. Tali aggiornamenti della Carta delle Risorse Idriche evidenziano come **l'area oggetto di studio non ricade all'interno di una area di salvaguardia idrogeologica.**

Il giorno 2 agosto 2013 la Giunta Provinciale ha approvato con la delibera n°1593 il primo aggiornamento della **Carta della Geotermia**, il quale è entrato in vigore il giorno 14 agosto 2013 a seguito della pubblicazione sul Bollettino Ufficiale della Regione Trentino-

Alto Adige n°33 del 13 agosto 2013. Secondo la "Carta delle limitazioni per l'installazione di sonde geotermiche a circuito chiuso", approvata al fine di garantire la salvaguardia qualitativa e quantitativa delle acque sotterranee, ai sensi dell'art. 30 bis del D.P.G.P. 26 gennaio 1987, n. 1-41/Leg, **lungo il sito in esame non vi sono vincoli per l'installazione di sonde geotermiche.**

In ossequio alle disposizioni contenute nel **“Regolamento in materia di vincolo idrogeologico... della L.P. 23 maggio 2007”** – (entrato in vigore dal giugno 2010), si verificano le problematiche di ordine idrogeologico. L'area identificata dal piano cave in oggetto al presente studio (LOTTO L1(C1) e LOTTO L1) **non ricade in area a vincolo idrogeologico**; ne consegue come **l'esecuzione degli interventi in progetto non comportano impatti negativi né turbative all'assetto idrogeologico e forestale dell'area.**

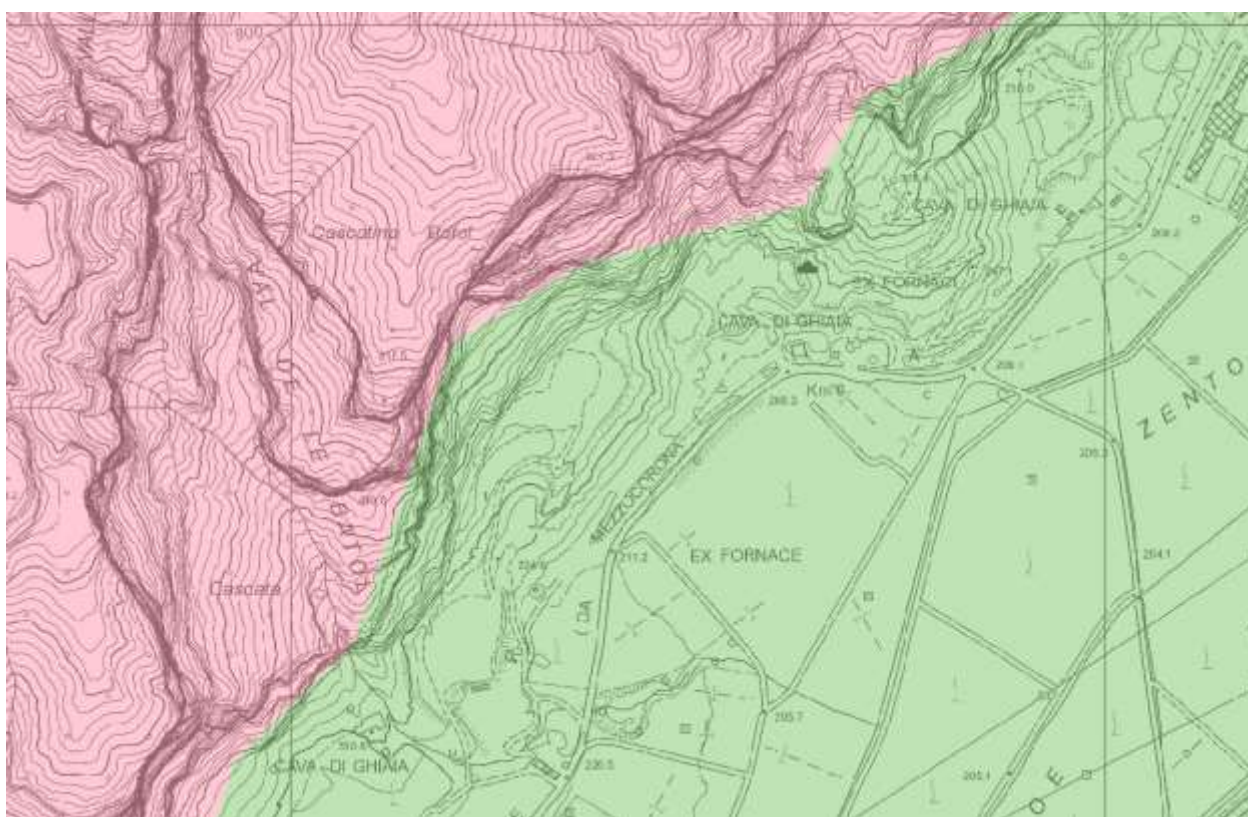
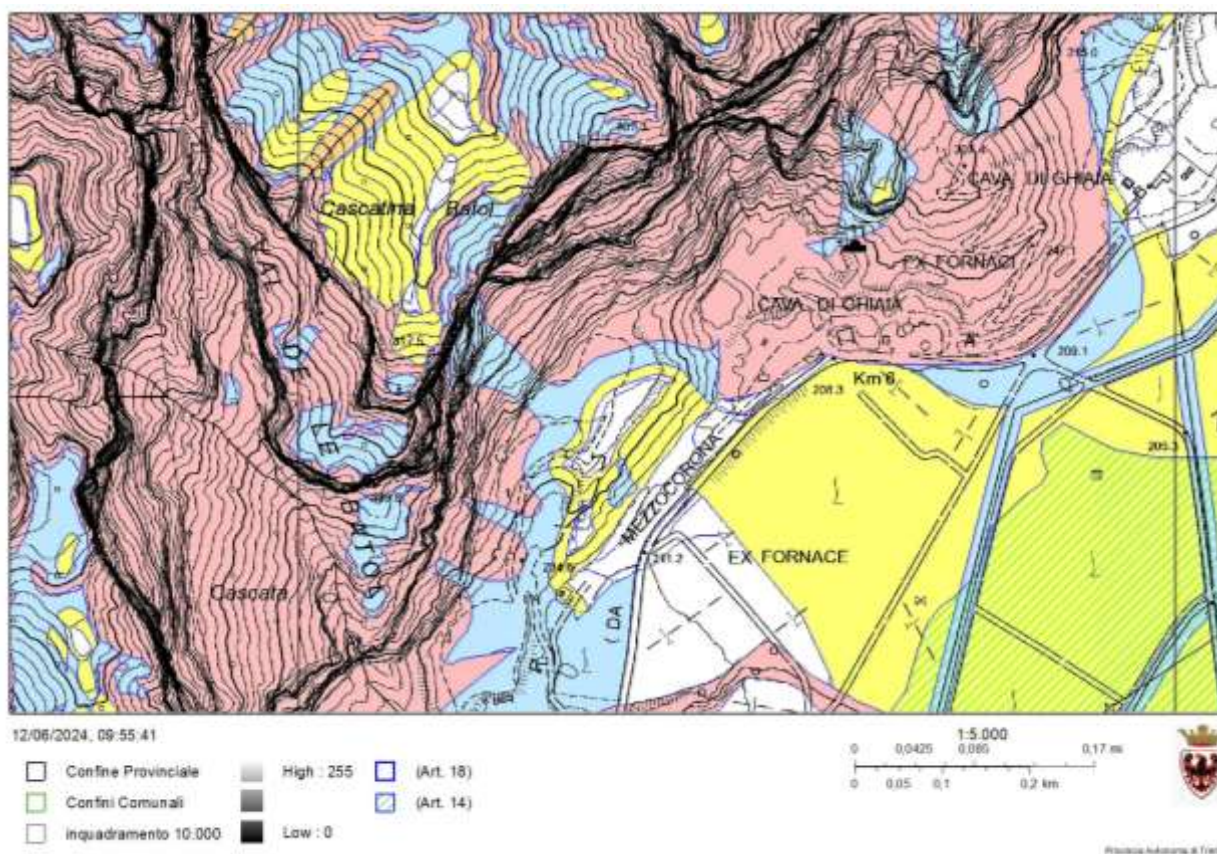


Fig. 2.5: estratto Carta Vincolo Idrogeologico della L.P. 23 maggio 2007; scala 1: 5.000 (modificata a vista).

All.1

ESTRATTO CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ scala 1:5.000

La G.P. venerdì 29 settembre 2023 con delibere n°1737 e n°1748 ha approvato il primo aggiornamento delle CaP e della CSP quale risultato dell'attività di continuo aggiornamento delle strutture competenti in materia di pericolo idrogeologico e urbanistica rispetto ai processi naturali e antropici che interessano un territorio in costante evoluzione come il Trentino. Le nuove mappature sono entrate in vigore a partire dal 6 ottobre 2023, giorno successivo alla pubblicazione delle deliberazioni nel Bollettino Ufficiale della Regione Trentino-Alto Adige

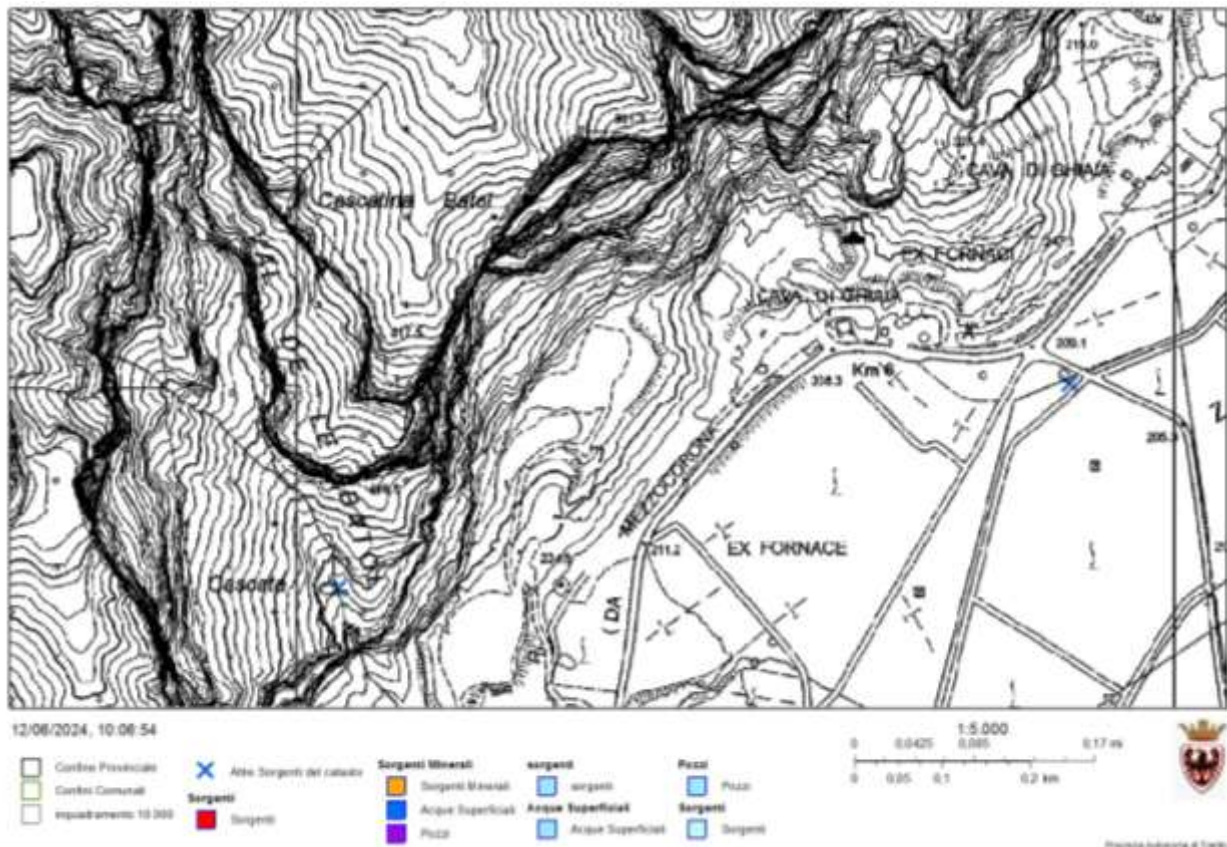


All.2

ESTRATTO CARTA UTILIZZO RISORSE IDRICHE scala 1:5.000

Art. 21 – Norme di attuazione del P.U.P. – 2008

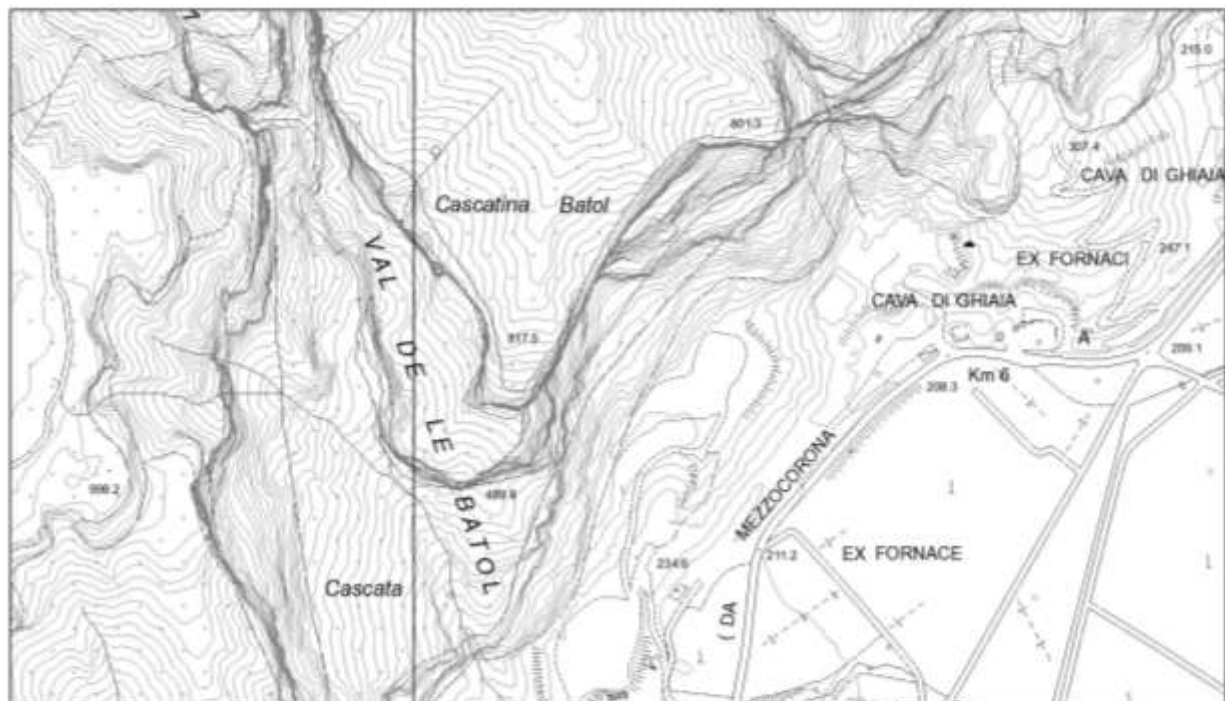
Il giorno 12/10/2018 con Delibera G.P. n°1941 è stato approvato il terzo aggiornamento della Carta delle Risorse Idriche, il quale è entrato in vigore il giorno successivo alla pubblicazione sul Bollettino Ufficiale della Regione n°42 del 18/10/2018 Con questo aggiornamento la Carta delle Risorse Idriche utilizza come base di riferimento la Carta Tecnica Provinciale 2017 approvata con Delibera G.P. n° 2126 del 07/12/2017



All.3

ESTRATTO CARTA LIMITAZIONI PER INSTALLAZIONE DI SONDE GEOTERMICHE A CIRCUITO CHIUSO scala 1:5.000

Il giorno 2 agosto 2013 la Giunta Provinciale ha approvato con la delibera n°1593 il primo aggiornamento della Carta della Geotermia, il quale è entrato in vigore il giorno 14 agosto 2013 a seguito della pubblicazione sul Bollettino Ufficiale della Regione Trentino-Alto Adige n°33 del 13 agosto 2013



12/06/2024, 10:07:23

Area geotermica interessata da limitazioni per installazione di sonde geotermiche a circuito chiuso

0
1
2
3
4
5
6

7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20

Scala da 0 a 20 (m)

0 0.04 0.08 0.12 0.16 0.2 km

Prodotto da: Studio di Geologia Applicata

2.3. INDAGINI EFFETTUATE

Al fine di raccogliere le informazioni necessarie a una corretta valutazione delle caratteristiche strutturali e geomeccaniche dell'ammasso roccioso, sia per la valutazione delle potenzialità deformativi a larga scala che alla scala dell'affioramento nonché delle analisi di scoscendimento massi 2D e 3D, è stato eseguito un rilievo 3D fotogrammetrico con drone della parete rocciosa a monte della strada provinciale SP 21, suddiviso nelle seguenti quattro fasi:

- ✓ fase 01: pianificazione del volo con drone e dei Ground Control Points;
- ✓ fase 02: acquisizione dei dati fotogrammetrici con drone e dei Ground Control Points;
- ✓ fase 03: elaborazione dei dati acquisiti: analisi dettagliata del data set acquisito, analisi GCP acquisiti; elaborazione scatti fotografici tramite l'utilizzo di software specifico e conseguente generazione della nuvola di punti;
- ✓ fase 04: esportazione dei dati: Digital Surface Model (DSM) in formato .tiff; ortofoto georeferita in formato .tiff.

Per una corretta valutazione dell'andamento del substrato roccioso al di sotto delle attuali coperture oggetto di coltivazione di cava, una valutazione delle quantità preliminare del giacimento coltivabile nonché di un corretto posizionamento delle opere di mitigazione della pericolosità da crolli, sono state eseguite specifiche indagini geofisiche. Al fine di calibrare i risultati sono state associate due tecniche sismiche tra loro disgiunte che prevedono una l'analisi dei tempi di primo arrivo (tomografia sismica) e l'altra l'analisi delle onde di superficie (Masw2D). Nel complesso sono stati realizzati 4 profili lungo massima pendenza ed uno di collegamento dei primi 3 per totali 945 metri. Ad integrazioni delle analisi geofisiche sono state realizzati 4 sondaggi a carotaggio continuo; 2 con profondità di 10,0 m attrezzati a piezometro e 2 sondaggi a 20,0 m con prelievo di campioni geotecnici.

Nei capitoli successivi, dopo un inquadramento strutturale, geologico e geomorfologico generale, verranno trattati i singoli aspetti elencati.

2.4. INQUADRAMENTO STRUTTURALE REGIONALE

La catena alpina è un orogene collisionale a doppia vergenza, con una lunga e complessa storia derivante dall'interazione tra le placche Europea e di Adria. Dal punto di vista geologico, il territorio regionale è caratterizzato dalla presenza di due grandi unità strutturali della catena Alpina: il Sudalpino e l'Austroalpino. Il Sudalpino, che rappresenta il cuore dell'orogene alpino, è costituito da un ventaglio di sovrascorrimenti (thrust fan) NNW-vergenti, dominato da un metamorfismo alpino e da una deformazione duttile. L'Austroalpino, invece, è una catena a pieghe e sovrascorrimenti SSE-SE-vergenti (fold and thrust belt), caratterizzata da tettonica fragile e dall'assenza di metamorfismo alpino. Questa suddivisione classica è il risultato di un'orogenesi polifasica iniziata nel tardo Cretaceo e che continua tuttora. L'evoluzione dell'area del Sudalpino orientale è stata caratterizzata da una serie di eventi tettonici che hanno coinvolto i margini delle placche Adriatica ed Europea. Durante il Permiano inferiore, ampi corpi vulcanici hanno occupato una depressione tettonica di oltre 2000 km², situata tra il Lineamento Periadriatico a nord-ovest e la Linea della Valsugana a sud-est (Distretto vulcanico Atesino) (D'Amico et al., 1980). Questo vulcanismo è il risultato di un'intensa attività sub-aerea di tipo fissurale, che si è protratta tra il 276 e il 268 Ma (D'Amico & Del Moro, 1988; Barth et al., 1994).

Dal termine del Paleozoico (Permiano) alla metà del Mesozoico, eventi di distensione litosferica hanno portato all'apertura dell'oceano Ligure-piemontese, con una connessione verso est al più ampio oceano della Tetide. Il Sudalpino fa parte del margine passivo adriatico, dove sono ancora visibili i rapporti tra le unità paleogeografiche (bacini e piattaforme) mesozoiche. In particolare, il corridoio delle Giudicarie, con orientamento NNE-SSW, rappresenta l'eredità del margine occidentale tra la piattaforma carbonatica di Trento e il bacino lombardo (Trevisan, 1930; Castellarin, 1992). Nel Cretacico medio, l'inversione dei movimenti tra le placche ha portato alla chiusura del bacino Ligure-piemontese. Successivamente, nel Terziario, la collisione dei margini passivi ha dato origine a diverse fasi compressive, che hanno modellato la conformazione strutturale attuale della catena alpina. Infine, a partire dal Pleistocene, l'azione erosiva fluvio-glaciale, intervallata da periodi inter- e peri-glaciali, ha modellato le valli, con la concomitante occorrenza di eventi franosi significativi (Fuganti, 1969; Zanferrari et al., 1982), spesso legati anche a eventi sismici. La presenza di corpi vulcanici sovrapposti ha contribuito all'irrigidimento della crosta superficiale del Sudalpino. Durante la fase di compressione (fase alpina), la diversa reologia tra i corpi vulcanici e le rocce sedimentarie ha favorito la formazione di uno scollamento, con thrust progressivi verso sud nell'area orientale rispetto alla Linea delle Giudicarie. Ad occidente di quest'area, invece, si sono formati back-thrust, mentre le faglie al margine del Distretto vulcanico e lungo la transizione tra la piattaforma di Trento e il Bacino lombardo sono state riattivate in transpressione sinistra.

La configurazione strutturale del tardo Cretaceo è distinta nei seguenti sistemi tettonici (Castellarin, 2009):

- ✓ Sistema tettonico pre-Adamello: caratterizzato da un thrust belt sud-vergente e un dicco sub-verticale, legato alle compressioni eo-alpine.
- ✓ Sistema strutturale dinarico: formazione di una zona frontale esterna dinarica nel settore orientale del Sudalpino, rappresentata da thrust con trend NW-SE, SW-vergenti, associata a compressione dinarica eocenica e/o più recente.
- ✓ Sistema Giudicarie-Val Trompia-Valsugana: costituito da due sistemi tettonici. Il primo è un'associazione di strutture elvetiche (insubriche), che forma thrust con trend WNW e influenza la Pianura Padana, le Alpi lombarde e il Trentino occidentale. È legato agli eventi di post-collisione dell'Oligocene-Miocene, che riarrangiano e incorporano strutture precedenti (elvetiche). Forma una struttura larga e arcuata attorno al pre-Adamello Belt e alla batolite dell'Adamello, ed è associato alla compressione del Serravaliano-Tortoniano. La compressione neogenica ha influenzato ampiamente la parte settentrionale della piattaforma veneta, con il thrust della Valsugana orientato ENE.
- ✓ Sistema scledense: legato alla compressione della fase Adriatica (Messiniano-Pliocene), con trend NW, che ha dislocato il sistema a thrust delle Giudicarie nel settore più orientale.

Lungo il bordo meridionale del Sudalpino, la catena delle Giudicarie, composta da thrust con trend ENE (della Linea della Valsugana), è separata dalla zona di trasferimento della faglia Schio-Vicenza, orientata NW, che provoca movimenti transpressivi sinistri. Questa zona delimita un blocco strutturale a forma di triangolo tra la catena delle Giudicarie, il Montello-Friuli Belt e la Pianura Padana. Il confine tra queste due unità è costituito dal Lineamento Periadriatico, detto anche Linea Insubrica. Si tratta di un fascio di linee tettoniche con andamento essenzialmente E-W, che attraversa longitudinalmente l'intero orogene alpino e in Trentino passa attraverso il passo del Tonale e la Val di Sole (prendendo il nome di Linea del Tonale e Linea delle Giudicarie nord). A poca distanza dal Lineamento Insubrico, che corre a W, la Val di Tovel è attraversata da una serie di faglie orientate circa N-S, che si collegano ai principali lineamenti tettonici del Gruppo di Brenta:

la Linea Palete-S. Maria Flavona e la Linea della Val Strangola, comprese tra altre strutture importanti come la Linea Ballino-Garda a W e la Linea Trento-Cles a E. Queste paleolinee si sono formate durante il rifting norico-giurassico, inizialmente a componente diretta, e sono state successivamente riattivate in chiave transpressiva durante gli eventi deformativi post-collisione neoalpina. La Linea Trento-Cles è di grande importanza, poiché particolarmente attiva tra il Norico e il Lias. Essa, ribassando il settore oggi occupato dal Gruppo di Brenta rispetto a quello dell'attuale Val di Non, ha prodotto notevoli differenze di spessori e facies.

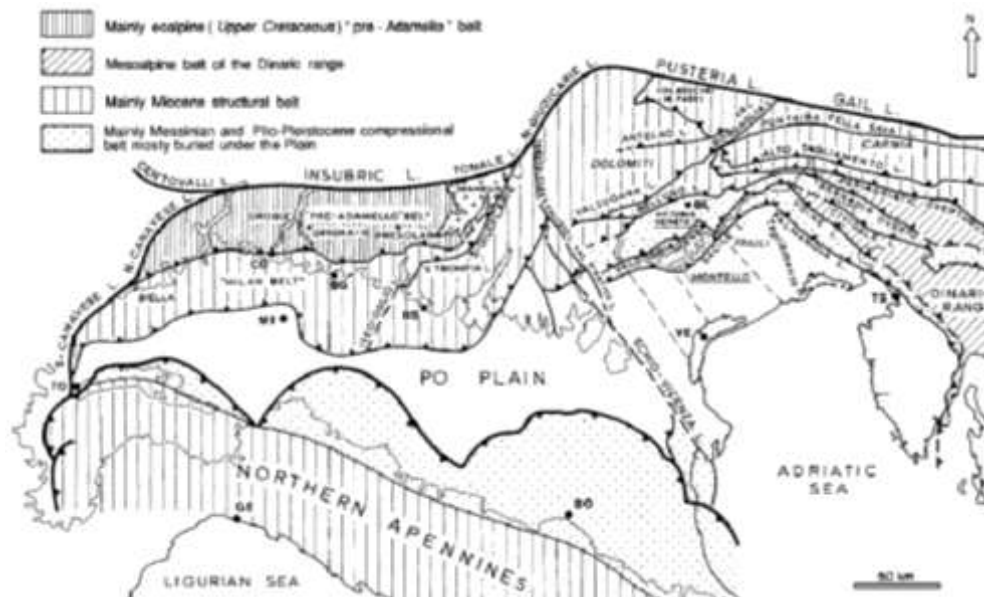


Fig. 2.6: schema tettonico delle Alpi Meridionali (Sudalpino). Da CASTELLARIN et alii (1992).

L'area in esame si trova al margine del complesso sistema di rampe e sovrascorrimenti della Val di Non, associati ai fenomeni transpressivi sinistri legati alla Linea delle Giudicarie. Questi sovrascorrimenti e raccorciamenti, a partire dalla Linea di Foiana, rappresentano uno scollamento profondo a livello del basamento porfirico, che si estende fino alla Val d'Adige. Il sistema presenta un vettore di spostamento NW-SE e si sviluppa localmente in base alle caratteristiche geomeccaniche delle formazioni rocciose interessate.

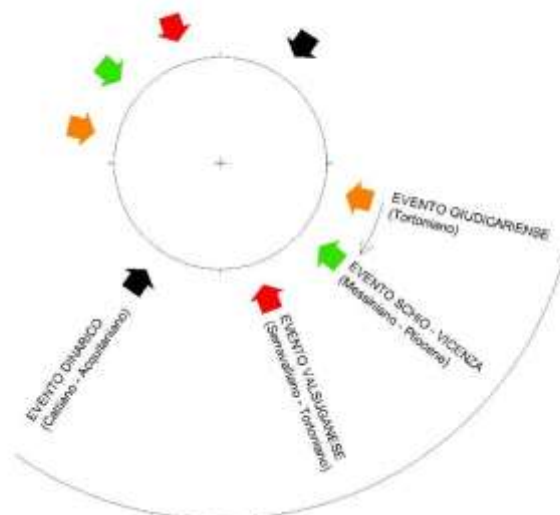


Fig. 2.7: schema tettonico delle Alpi Meridionali (Sudalpino). Da CASTELLARIN et alii (1992).

Lo scollamento (Prosser, G. 1990) si suddivide in tre pacchetti: una porzione basale, compresa tra le Arenarie di Val Gardena e la sequenza werfaniana, caratterizzata da un comportamento plastico predominante; una porzione intermedia costituita dalla successione dolomitica (Dolomia della Val d'Adige e Dolomia Principale); e una porzione superiore, composta dalle litologie comprese tra il Rosso Ammonitico e la Scaglia Cinerea, con comportamento scarsamente competente.

Il settore in esame si colloca all'estremità del sistema di rampe a basso angolo del più ampio Sistema Vigo di Ton-Tramin/Termen e Mezzocorona/Cortaccia, al quale è associato un raccorciamento di 5-6 km. In particolare, il complesso sistema di sovrascorrimenti e scaglie si intensifica per la presenza di scaglie minori, costituite dalla Dolomia Principale o da scollamenti a basso angolo all'interno della Dolomia della Val d'Adige.

Dai lavori di Prosser G. emerge che l'ellissoide di stress, determinato lungo il sentiero Favogna all'interno della Val d'Adige, mostra un netto andamento transpressivo, con la direzione di massima compressione orientata NNW-SSE. I valori di stress sono: $\sigma_1 = 173/5$, $\sigma_2 = 82/2$ e $\sigma_3 = 334/85$, con un rapporto di forma dell'ellissoide R pari a 0,47, a testimonianza di un contesto transpressivo.

Le forti condizioni di stress tettonico, localizzate lungo gli assi trascorrenti ad orientazione SO-NE del sistema giudicariense, hanno determinato, nelle litologie a comportamento fragile, la formazione di fasce cataclastiche, oltre a una fitta e diffusa fessurazione a bassa persistenza nell'ammasso roccioso. Esiste inoltre un complesso fessurativo ad alta persistenza, costituito da piani verticali e subverticali che corrono parallelamente alle ripide pareti rocciose verticali, frutto delle fasi progressive di smantellamento delle porzioni tabulari in cui si suddivide l'ammasso roccioso (fig. 2.8).



Fig. 2.8: vista verso N-NW della parete rocciosa ottenuta dalla nuvola di punti.

2.5. INQUADRAMENTO GEOLGICO

Nel Subalpino, la serie geologica copre un intervallo temporale che va dal Paleozoico al Quaternario ed è caratterizzata da una notevole varietà litologica. Alla base della colonna stratigrafica troviamo le rocce del basamento cristallino pre-permiano, seguite dalle estese e potenti formazioni di vulcaniti permiane (Piattaforma Porfirica Atesina). Queste ultime sono poi sovrascritte da depositi continentali, costituiti da arenarie e conglomerati. La serie prosegue con sedimenti marini, tra cui arenarie, argilliti, marne e calcari, seguiti da potenti complessi carbonatici, costituiti da calcari e dolomie triassico-cretaciche. La successione si conclude con formazioni marnose e argillose eoceniche, nonché con formazioni calcarenitiche oligomioceniche.

La Val d'Adige si trova nella porzione settentrionale delle Dolomiti di Brenta e rientra nel dominio strutturale delle Alpi Meridionali, un'area caratterizzata da terreni prevalentemente calcareo-dolomitici tipici della serie triassico-giurassica dell'alto strutturale della Piattaforma di Trento. La successione litologica della zona è essenzialmente calcareo-dolomitica e comprende la Dolomia Principale (Norico) e la Scaglia Rossa (Cretaceo superiore). Questa successione si distingue per una stratigrafia intermedia tra il dominio della Piattaforma Veneta e quello del Bacino Lombardo, con facies bacinali che si spingono all'interno della piattaforma.

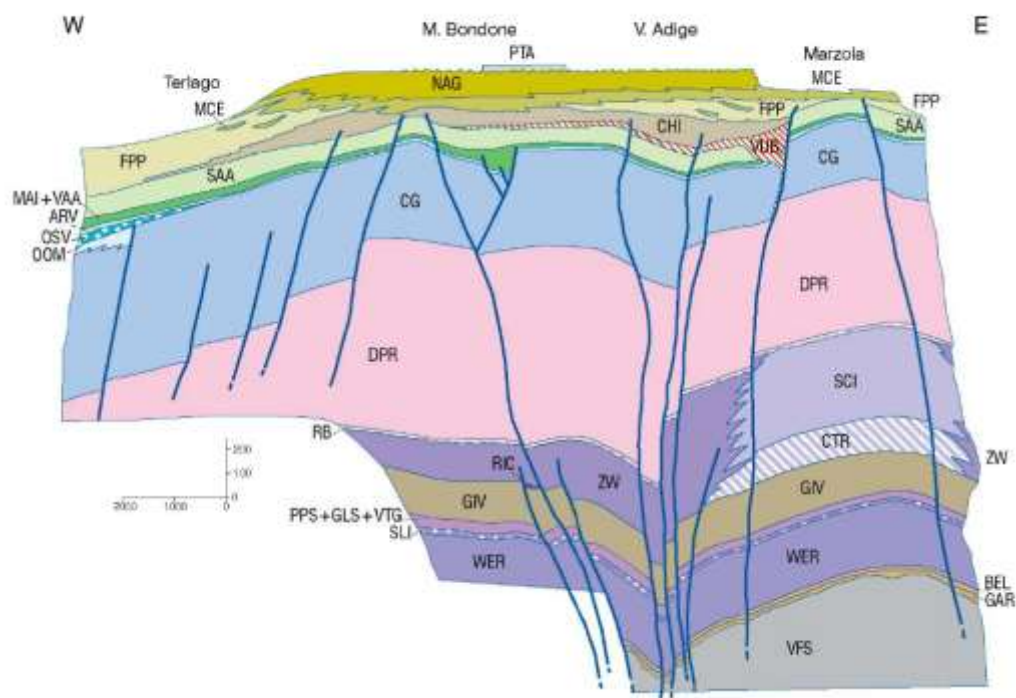


Fig.2.9: schema dei rapporti stratigrafici delle Unità Sedimentarie tratto dalle "Note Illustrative della Carta Geologica D'Italia Foglio 060 Trento" – ISPRA, 2010.

Formazione di Werfen; SLI, dolomia del Serla inferiore; PPS, conglomerato del Piz da Peres; GLS, formazione a Gracilis; VTG, Conglomerato di Voltago; GIV, formazione di Giovo; RIC, Conglomerato di Richthofen; ZW, gruppo delle Zwischenbildungen; CTR, Formazione del Contrin; SCI, formazione dello Sciliar; RB, gruppo di Raibl; DPR, Dolomia Principale; CG, Gruppo dei Calcari Grigi; ARV, Rosso ammonitico veronese; MAI, Maiolica; VAA, scaglia variegata alpina; SAA, Scaglia rossa; CHI, formazione di Chiusole; VUB2, basalto della Val Lagarina - membro del Monte Biaena; FPP, formazione di Ponte Pià; MCE, calcare di Malcesine; NAG, calcare di Nago; PTA, argille di Ponte Arche.

Il versante oggetto di studio è caratterizzato dall'affioramento di una potente successione stratigrafica. Nella porzione mediana-inferiore, affiora la Formazione dello

Sciliar (SCI), composta principalmente da dolomie saccaroidi bianche o grigio chiaro, fortemente ricristallizzate, con una minor presenza di calcari dolomitici biancastri o grigio chiaro. La stratificazione è grossolana, con una maggiore evidenza alla base, dove si riconoscono talvolta dolomie stratificate organizzate in cicli peritidali con chiusure laterali a lingua e stromatoliti planari continue, che presentano fenestrati laminari (sheet crack). I livelli stromatolitici possono essere sostituiti da intervalli argillitici in strati millimetrici o dolomie marnose giallastre screziate di rosso. Il tetto dell'unità è caratterizzato dalla presenza di brecce e filoncelli di dolomie cristalline scure.

Sopra di essa si trova un livello meno persistente appartenente alla Formazione di Travenanzes (TVZ), costituito da dolomie grigio-biancastre, talvolta con fiamme gialle in strati decimetrici, ai quali si intercalano livelletti centimetrico-millimetrici di peliti verdi e grigi. Verso l'alto, compaiono dolomie siltose chiare con stromatoliti. Gli ultimi metri dell'unità sono costituiti da dolomie grigio-chiare fino a biancastre, disposte in strati di spessore metrico a giunti piani, separati da livelletti centimetrici di peliti rosse. Nella parte alta delle pareti, affiora la Dolomia Principale (DPR), dalla quale emerge una litozona a stratificazione decimetrica di dolomie subtidali giallastre. Nel complesso, la formazione appare ben stratificata ed è costituita da una monotona successione di cicli peritidali metrici. Nella porzione inferiore dell'unità che costituisce le pareti sommitali dell'area, nei cicli peritidali si distingue una parte basale subtidale, con dolomie microcristalline contenenti Megalodonti e Gasteropodi. Sopra questa, si sovrappone un intervallo a lamine con tappeti algali, interessati da processi di disseccamento (mud crack e sheet crack). L'ambiente deposizionale è quello di una vasta e articolata piattaforma carbonatica dolomitizzata precocemente, con facies lagunari e di piana tidale, maggiormente subsidente nella porzione occidentale. L'età di questa formazione è Carnico superiore-Norico.

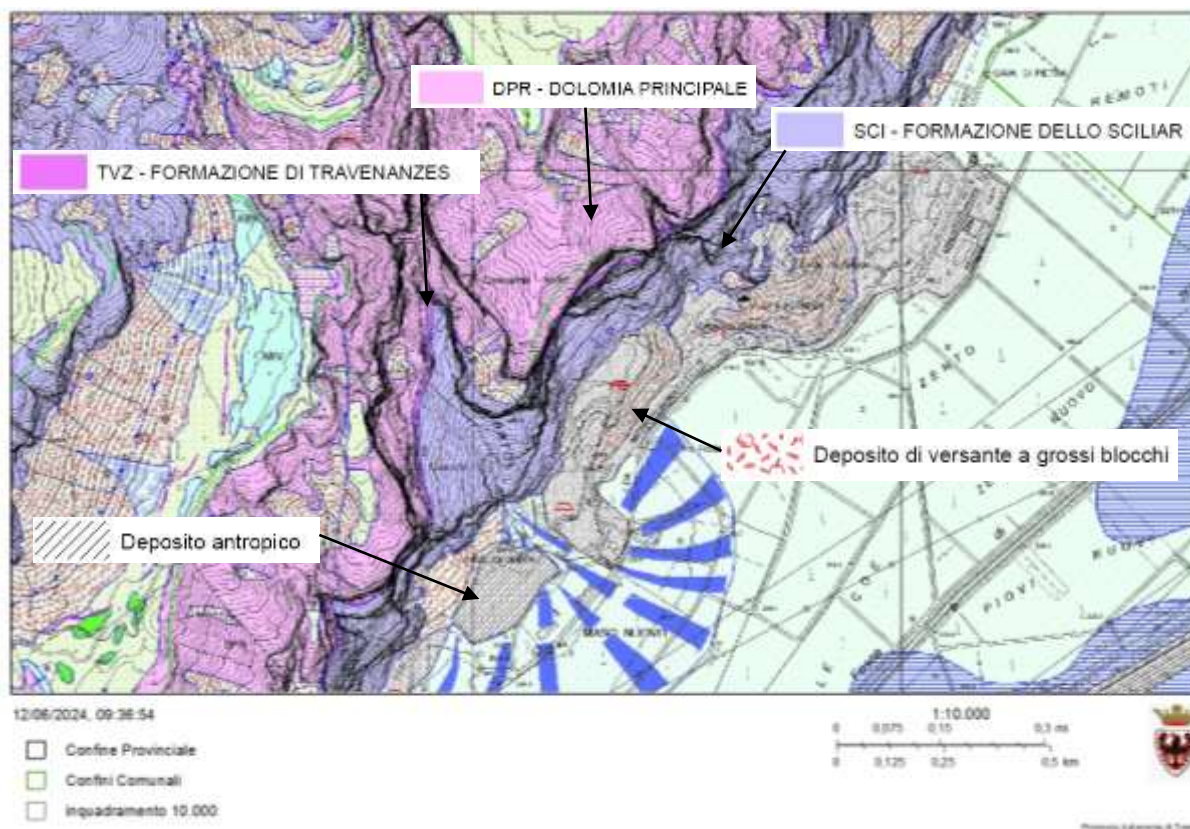


Fig.2.10: ubicazione dell'area sulla "Carta Geologica della Provincia autonoma di Trento" fonte P.A.T.; scala 1: 10.000 (modificata a vista). Servizio di diffusione on line dei dati del Sistema Informativo Ambientale e Territoriale provinciale (S.I.A.T.).

Il versante presenta un'orientazione generale NE-SO e, a grande scala, è solcato da strutture subverticali con direzione NNE-SSO, che corrispondono alle incisioni e agli impluvi ad esse correlati. L'area in esame si trova al piede di una parete che si sviluppa verticalmente per centinaia di metri, come visibile nella figura a seguire. Più direttamente, l'area è caratterizzata dalla presenza di ciò che resta di due conoidi detritici, originato da un accumulo di materiale granulare, prevalentemente grossolano, trasportato in loco a seguito di fenomeni gravitativi e in parte di trasporto solido.



Foto 2.11: vista della parete rocciosa sottesa al lotto L1(C1) e L1 del piano cave.

2.6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

Nell'area di transizione tra le pareti rocciose e i depositi olocenici di fondovalle della piana alluvionale del Fiume Adige, si osserva un imponente deposito detritico costituito da detriti di falda. Questi detriti, in gran parte smantellati dall'attività estrattiva degli ultimi decenni, derivano dalla progressiva degradazione naturale delle pareti sovrastanti e sono fortemente connessi alla presenza di fasce cataclastiche, oltre a una fitta e diffusa fessurazione a bassa persistenza dell'ammasso roccioso.

Le principali forme di accumulo includono il conoide in località Maso Nuovo, situato in corrispondenza di un profondo solco vallivo che coincide con una zona di frattura orientata NO-SE, e il conoide in località Ex-Fornaci, insieme ad altri minori. Questi accumuli si sono formati dalle pareti rocciose soprastanti, alimentate e interessate da una struttura cataclastica appartenente a un importante elemento strutturale allineato in direzione NE-SO. I conoidi detritici, che si sviluppano ad alto grado, mantengono la base di gran parte del versante. Sono prevalentemente costituiti da frammenti litoidi, principalmente dolomitici, di forma spigolosa e caratterizzati da una diversa pezzatura, con matrice sabbiosa debolmente limosa. Le dimensioni dei frammenti litoidi variano mediamente da 3-4 cm a 15-

20 cm, ma nel deposito sono presenti anche blocchi di lato decimetrico (40-50 cm) e massi superiori al metro.

Un terzo accumulo si trova in corrispondenza della Concessione Stradasfalti, dove una falda detritica imponente si è formata ai piedi di un'estesa parete. Gli effetti residui di un distacco colossale hanno dato luogo progressivamente a un accumulo di materiale, la cui distribuzione è guidata dall'andamento del substrato roccioso sottostante. Quest'ultimo descrive localmente terrazzi morfologici a bassa inclinazione, che degradano verso il fondovalle. Le pezzature dei materiali, prevalentemente granulari con grossi blocchi, presentano variazioni locali più o meno classate, in particolare in corrispondenza del conoide di Maso Nuovo, frutto di un certo trasporto alluvionale-torrentizio, a differenza del trasporto prettamente gravitativo degli altri depositi costituenti l'area.

Emblematico è il profilo della parete, che presenta una parte centrale più chiara, mostrando segni di collasso (strappi) della matrice rocciosa, a causa del superamento della resistenza a taglio/trazione. Le facce laterali più scure presentano forme più articolate, connesse alle testate dei piani di clivaggio a grande scala, che hanno determinato una fascia di ammasso a più bassa resistenza. La formazione di queste strutture fessurative, parallele alle pareti verticali, sembra essere correlata allo stress da decompressione glaciale, con una forte compressione della resistenza a trazione disponibile, più che a quello tettonico. Queste dinamiche sono state ampiamente trattate negli studi di propagazione degli stati di tensione su pareti naturali presenti in letteratura².



Foto 2.12: detriti di falda in corrispondenza della Concessione Stradasfalti.

2.7. ASPETTI CLIMATICI LOCALI

La caduta massi rappresenta un fenomeno complesso influenzato da una combinazione di fattori interni ed esterni al pendio, tutti governati dall'azione della gravità. I fattori esterni comprendono l'alterazione chimica superficiale delle rocce, le variazioni di

² Analisi e propagazione degli stati di tensioni su pareti naturali presenti in letteratura (Eberhardt, Stead e Coggan 2003).

temperatura, il gelo, lo scorrimento superficiale dell'acqua, l'azione del vento, l'erosione alla base del pendio e la pressione esercitata dalle radici delle piante. Questi elementi possono indebolire la roccia e facilitare il distacco di massi. I fattori interni riguardano le caratteristiche geologiche del materiale roccioso, come gli sforzi residui, le fratture presenti e le discontinuità strutturali. La presenza di famiglie di discontinuità, la loro persistenza e spaziatura, nonché la geometria e l'orientazione rispetto al versante, giocano un ruolo cruciale nella stabilità del pendio³.

Studi scientifici hanno evidenziato come l'azione combinata di questi fattori possa portare al distacco di blocchi rocciosi, con traiettorie influenzate da scivolamento, caduta libera, rimbalzo e rotolamento. In particolare, durante periodi di elevate precipitazioni o temperature che oscillano intorno allo zero, si verifica una maggiore frequenza di caduta massi, sottolineando l'importanza dei cicli di gelo e disgelo e dell'azione dell'acqua nel processo di distacco.

Per una comprensione approfondita e dettagliata dei meccanismi alla base della caduta massi e delle possibili misure di mitigazione del rischio, è consigliabile consultare fonti specializzate e ricerche accademiche dedicate al tema.

Particolare attenzione va prestata all'azione dell'acqua e ai cicli di gelo e disgelo, poiché la massima frequenza di caduta massi si verifica durante i periodi di elevate precipitazioni e quando le temperature oscillano attorno ai 0° C. In particolare, dall'analisi dei dati provenienti dall'archivio storico di Meteotrentino, emerge che durante il periodo invernale (indicativamente da dicembre a marzo) si verificano continue oscillazioni di temperatura prossime ai 0° C, alternate a precipitazioni consistenti sia in intensità che in durata. Per indagare una possibile correlazione tra l'aumento della frequenza dei crolli e i fattori predisponenti, si è deciso di analizzare i dati climatici relativi a questi periodi invernali, durante i quali sono stati registrati i crolli segnalati dagli operatori di cava e riscontrati durante i sopralluoghi sul campo. A tal fine, si riportano di seguito i dati della stazione meteorologica T0408 Mezzolombardo (Maso Delle Part), ritenuta significativa per l'area d'indagine in termini di posizione, altitudine e orientazione della valle:

Stazione: T0408
Tavoletta n.: 32 060020
Coordinate Est/Nord: 662399/5117007
Latitudine: 46°11'14.2" N
Longitudine: 11°06'16.0" E
Note: ATTIVA - TP - Stazione presso sito IASMA

I grafici analizzati, riportati di seguito, mostrano come, a partire dalla metà di dicembre fino alla fine di marzo e inizio aprile, vi sia un progressivo calo delle temperature, con continue oscillazioni intorno ai 0°C. Successivamente, le temperature si innalzano e non presentano più significative oscillazioni prossime ai 0°C.

Considerando le condizioni generali di forte fessurazione della parete rocciosa, con aperture che vanno da pochi millimetri a centimetriche, che isolano volumi rocciosi instabili, la presenza di materiale marnoso nelle fratture e un elevato contenuto d'acqua (prossimo alla saturazione in corrispondenza di alcune venute e percolazioni dall'alto stratigrafico), emerge una netta correlazione tra l'aumento delle potenzialità di crollo e le condizioni climatiche durante il periodo invernale.

³ Alma Mater Studiorum – Università di Bologna. ANALISI DEL RISCHIO DA FRANE DI CROLLO IN PRESENZA DI SISTEMI DI PROTEZIONE PASSIVA NELLA PROVINCIA AUTONOMA DI BOLZANO - Relatrice: Dott. LAURA GOVONI
Correlatori: Prof. GUIDO GOTTARDI Dott. MARCO RANALLI Dott. Geol. CLAUDIA STRADA.

Questo fenomeno, noto come crioclastismo, è il processo di disaggregazione meccanica della roccia causato dalla pressione dovuta all'aumento di volume dell'acqua contenuta nelle fessure rocciose quando questa ghiaccia. Con il ciclo di gelo-disgelo, la roccia, inizialmente compatta, si disgrega in detriti ghiaiosi con spigoli vivi. Questo processo è tipico delle zone in cui le escursioni termiche attorno agli 0°C inducono frequenti cambiamenti di stato dell'acqua. Infatti, quando l'acqua congela, aumenta del 9% il suo volume. In particolari circostanze, questa espansione è in grado di spostare o fratturare le rocce. A -22°C , lo sviluppo del ghiaccio può generare pressioni superiori a 207 MPa, sufficienti a fratturare qualsiasi tipo di roccia. Il crioclastismo può agire su diverse scale temporali, da minuti a anni, e può riguardare sia il distaccamento di granuli minerali che la fratturazione di massi. Questo processo è principalmente influenzato dalla frequenza e dall'intensità dei cicli di gelo-disgelo e dalle proprietà dei materiali sottoposti all'erosione. È importante notare che non sempre il crioclastismo causato dall'espansione volumetrica è dovuto alla pressione dell'acqua congelata: talvolta è causato dalle tensioni che si manifestano nell'acqua non congelata. Quando il ghiaccio provoca tensioni nell'acqua contenuta nei pori, causando la rottura della roccia, si parla di idrofrattura. L'idrofratturazione è favorita da grandi pori interconnessi o da forti gradienti idraulici nella roccia. Al contrario, quando i pori sono piccoli, un raffreddamento rapido delle parti rocciose può espellere l'acqua, e se questa viene espulsa più velocemente di quanto possa migrare, la pressione aumenta, provocando la fratturazione della roccia.

Per l'area di studio, si evidenzia un notevole aumento della frequenza dei crolli durante il periodo compreso tra dicembre e la fine di marzo - metà aprile, corrispondente alla "coda" dell'inverno. Inoltre, l'esposizione del versante, principalmente a SE, favorisce rapidi innalzamenti e abbassamenti delle temperature per effetto dell'esposizione diretta alla luce solare. Questo fenomeno è testimoniato anche dalle differenti dinamiche tra i due versanti della valle nel tratto in esame.

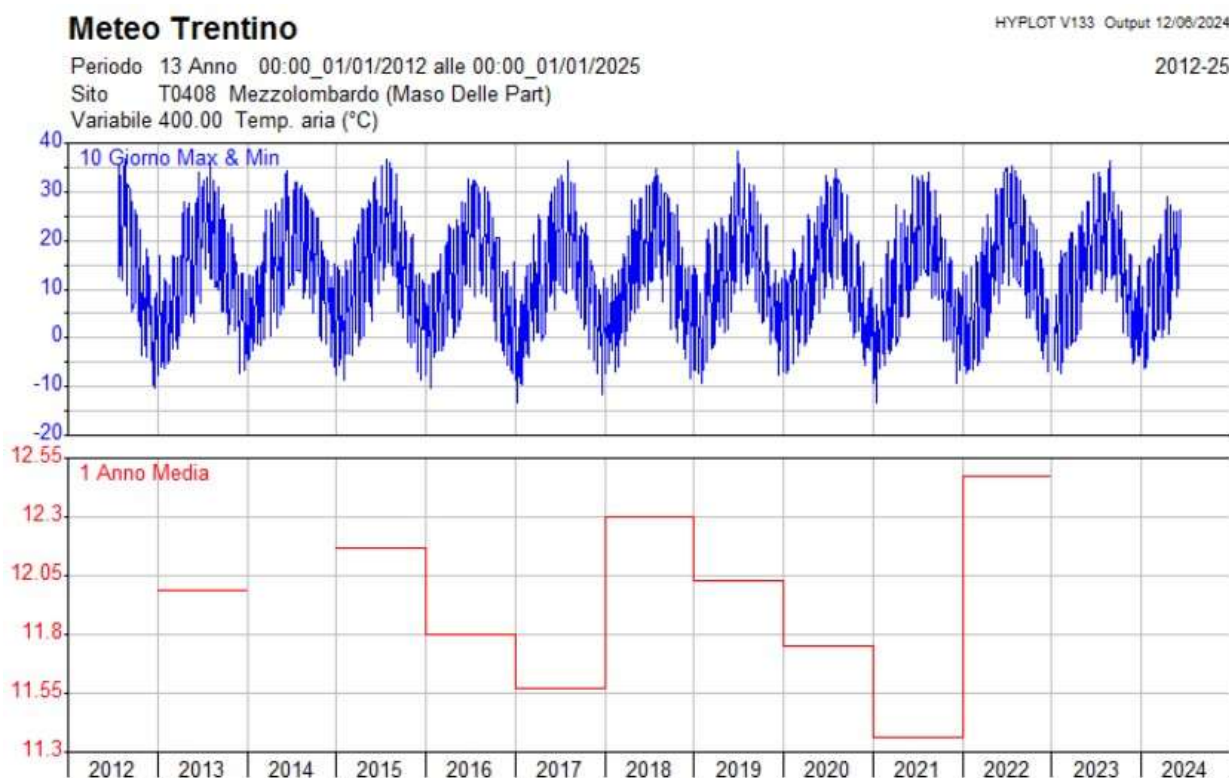


Fig. 2.13: andamento delle temperature aria (gradi Celsius) da 01/01/2012 a 01/01/2025 per la stazione di T0408 Mezzolombardo (Maso Delle Part).

Meteo Trentino

HYPLOT V133 Output 12/06/2024

Periodo 12 Anno 00:00_01/01/2012 alle 00:00_01/01/2024

2012-24

Sito T0408 Mezzolombardo (Maso Delle Part)

Variabile 400.55 Temp. aria (°C) Min da Annale Idrologico

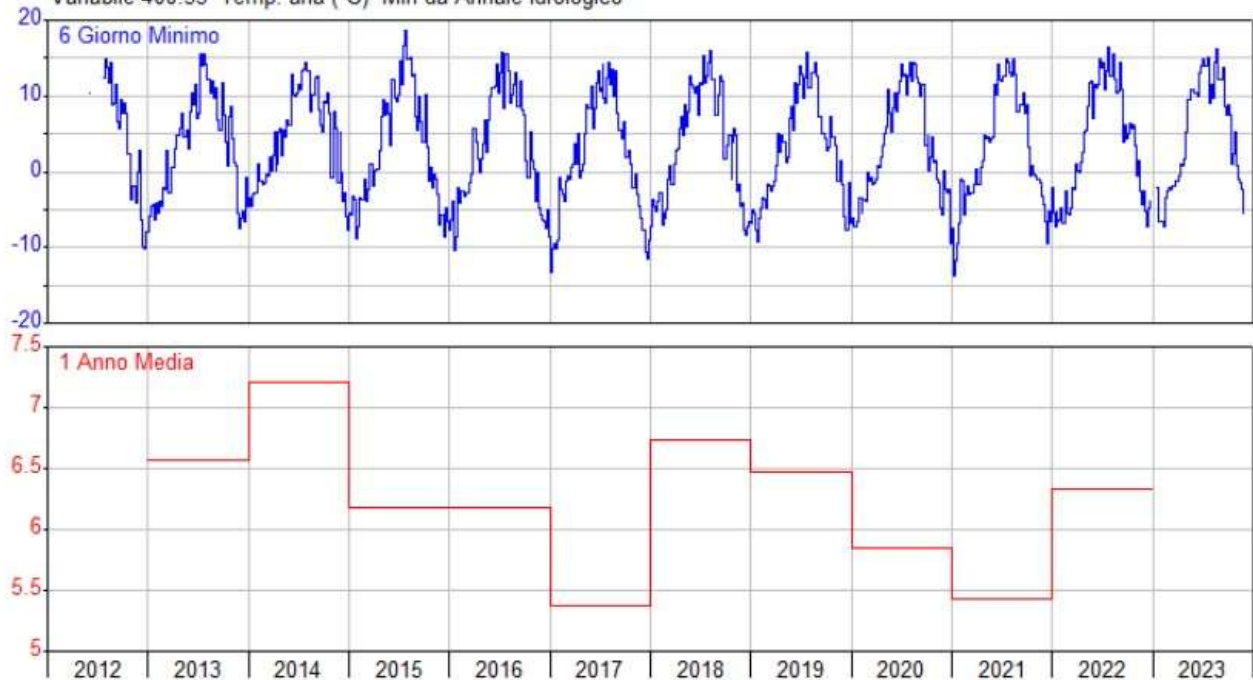


Fig. 2.14: andamento delle temperature Min (gradi Celsius) da 01/01/2012 a 01/01/2024.

Meteo Trentino

HYPLOT V133 Output 12/06/2024

Periodo 12 Anno 00:00_01/01/2012 alle 00:00_01/01/2024

2012-24

Sito T0408 Mezzolombardo (Maso Delle Part)

Variabile 400.56 Temp. aria (°C) Max da Annale Idrologico

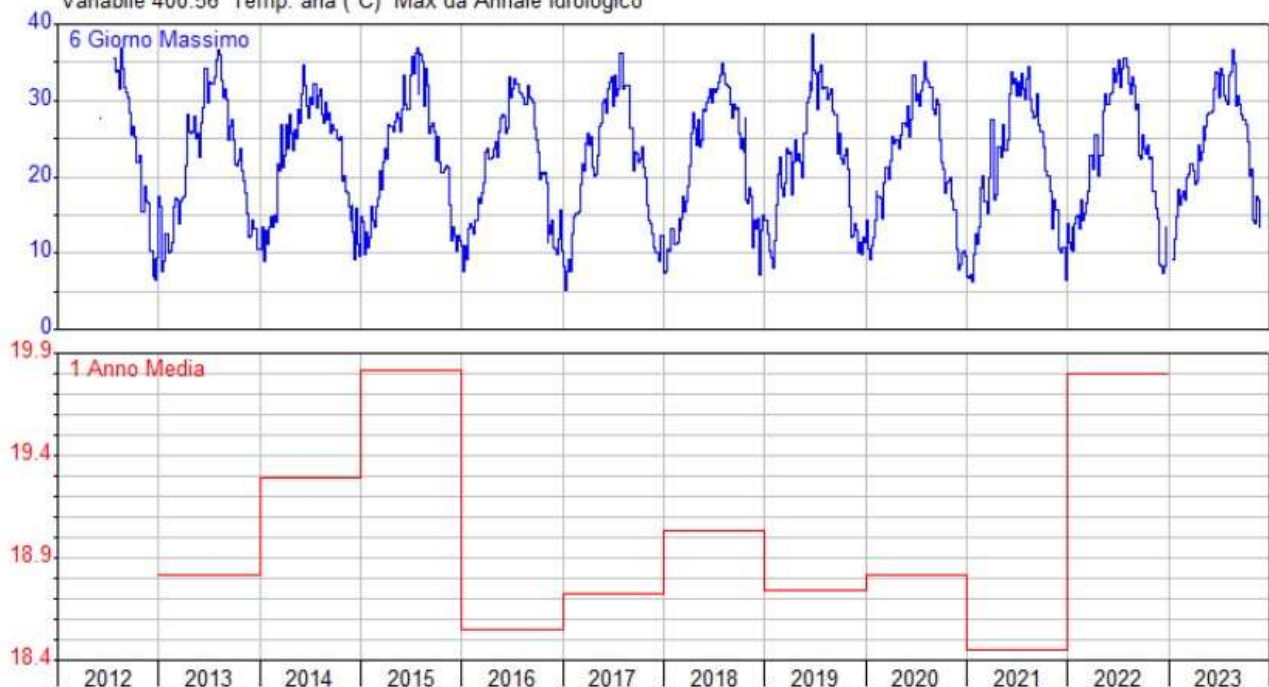


Fig. 2.15: andamento delle temperature Max (gradi Celsius) da 01/01/2012 a 01/01/2024.

Meteo Trentino

HYPLOT V133 Output 12/06/2024

Periodo 13 Anno Inizio Grafico 00:00_01/01/2012
Intervallo 10 Giorno Fine Grafico 00:00_01/01/2025
Sito T0408 Mezzolombardo (Maso Delle Part)
Variabile 10.00 Pioggia (mm)

2012-25

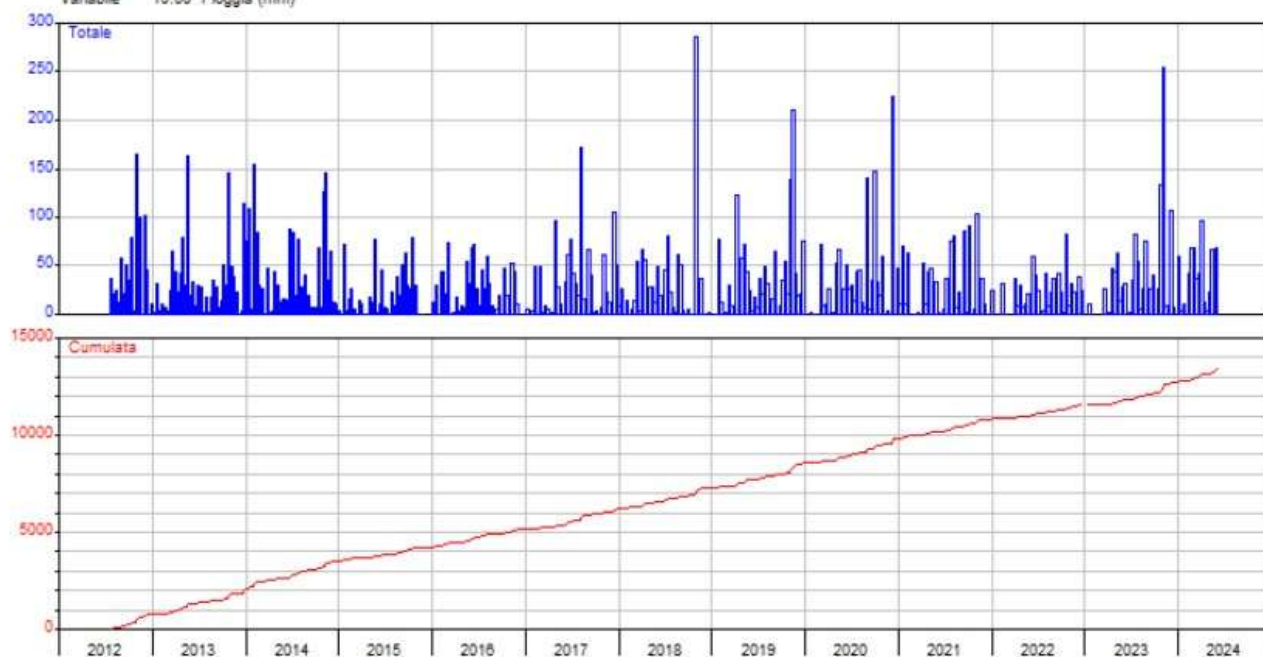


Fig. 2.16: andamento piogge (mm) da 01/01/2012 a 01/01/2025.

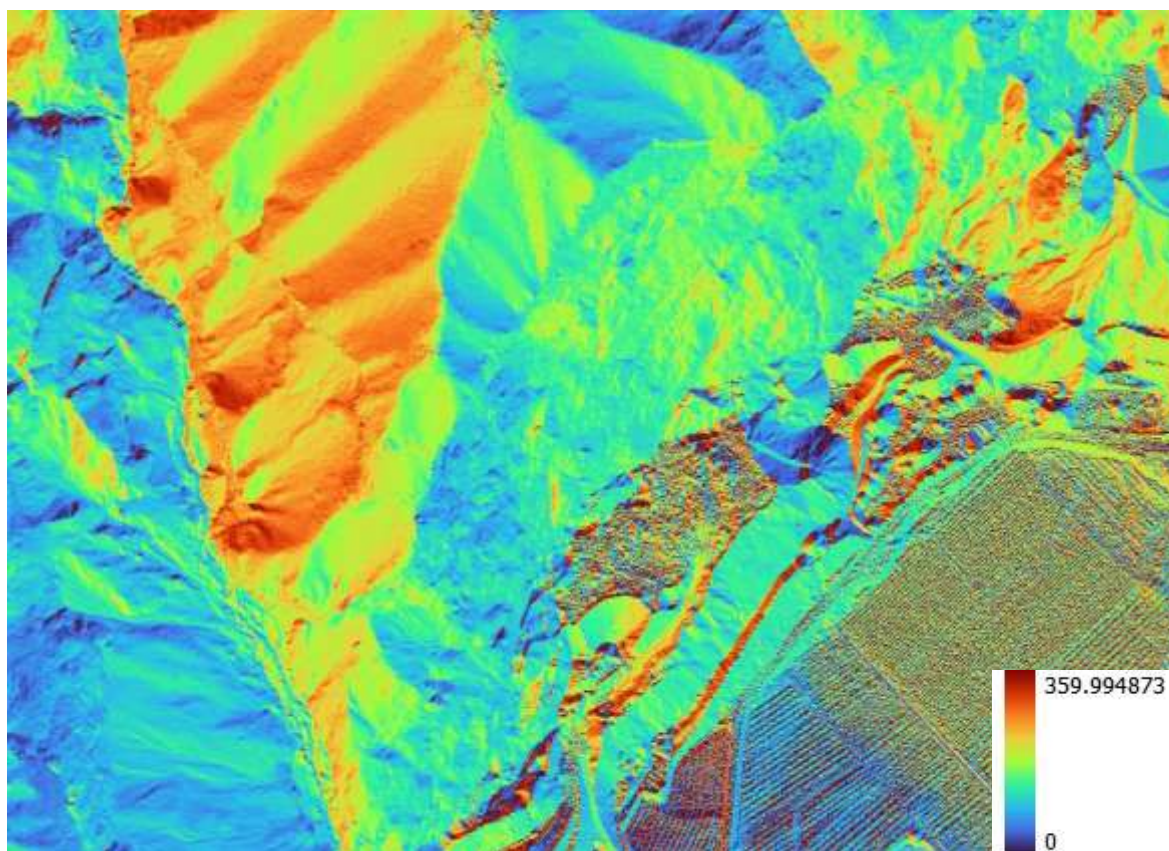


Fig. 2.17: esposizione in gradi (°) della parete rocciosa per il tratto in esame ottenuta dall'analisi del Lidar PAT 2014.

2.8. INDAGINI GEOFISICHE E GEOGNOSTICHE DEI GIACIMENTI

Per una corretta valutazione dell'andamento del substrato roccioso al di sotto delle attuali coperture oggetto di coltivazione di cava, una valutazione delle quantità del giacimento coltivabile nonché di un corretto posizionamento delle opere di mitigazione della pericolosità da crolli terminate le fasi di coltivazione, sono state eseguite specifiche indagini geofisiche. Al fine di calibrare i risultati sono state associate due tecniche sismiche tra loro disgiunte che prevedono una l'analisi dei tempi di primo arrivo (tomografia sismica) e l'altra l'analisi delle onde di superficie (Masw2D).

La strumentazione di acquisizione del segnale sismico è consistita da sistemi modulari a 24 bit e 24 canali interspaziati di 3 m. La fonte di energizzazione è consistita nell'impatto di una massa accelerata da 30 e mazza da 20 Kg eseguite ogni 4-6 geofoni. Tutti i sensori sono stati rilevati con sistema GPS RTK e successivamente sovrapposti al lidar aggiornato di progetto.

Nel periodo tra il mese di marzo e aprile 2024, dalla ditta GG Service srl sotto la supervisione e direzione dello scrivente dott. Geol. Emilio Perina, stati realizzati 4 profili lungo massima pendenza ed uno di collegamento dei primi 3 per totali 945 metri (fig. 2.18). Il profilo di collegamento trova ad oggi una situazione in cui tutta la parte sudoccidentale (circa 2/3) sono su terreno suborizzontale per poi salire su un ripiano più elevato in quota che a nordest è limitato fisicamente da una rapida scarpata che circa a metà si verticalizza in presenza del substrato roccioso affiorante. Appare chiaro quindi che la superficie di erosione del substrato roccioso al di sotto della zona di coltivazione non sia così banalizzabile nella forma e possa anche non scendere verticalmente come fa invece la parete a monte che si erge per circa 300 metri di sviluppo in altezza (foto 2.19).



Foto 2.18: vista da est del piano di cava da coltivare, si evince la presenza della bacata rocciosa affiorante.

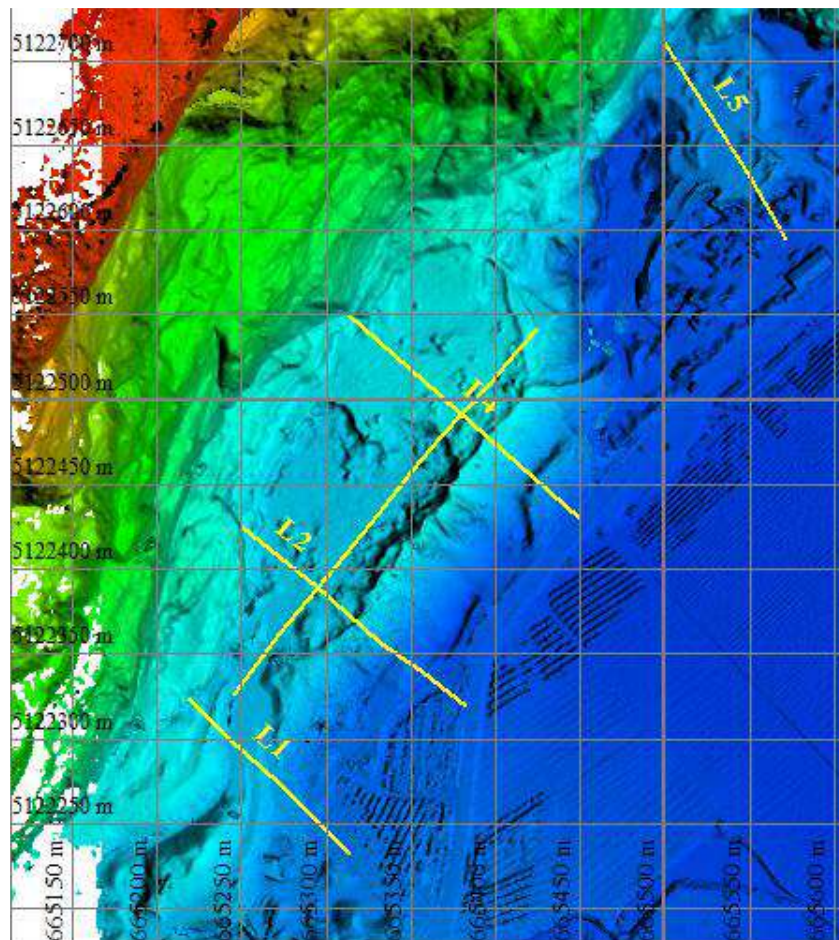


Fig. 2.19: ubicazione georeferenziata delle indagini su lidar ottenuto da rilievo drone.

Sismica a rifrazione tomografica

La tecnica di sismica a rifrazione si basa sulla garanzia che una sorgente meccanica eccita il sottosuolo inviando onde elastiche che si propagano in profondità e vengono parzialmente deviate (rifratte) lungo l'interfaccia che separa due mezzi a differente impedenza acustica ($\rho \cdot V$) ed in parte proseguono verso il basso finché l'energia viene completamente assorbita dal mezzo in cui si propaga. L'effetto di queste onde è la formazione di vibrazioni che vengono captate da sensori posti sulla superficie, generalmente elettromagnetici, in grado di trasformare la sollecitazione meccanica, che subisce la massa mobile del magnete, in un segnale elettrico che, debitamente amplificato, viene riprodotto su monitor e memorizzato su supporto informatico.

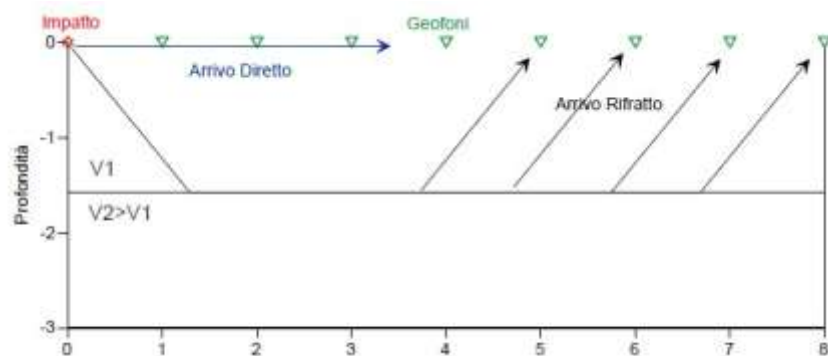


Fig. 2.20: esempio schematico (total-rifrazione) del percorso dei raggi sismici “tiro esterno” di un modello sismico a due strati.

La lettura dei tempi di primo arrivo della vibrazione ai differenti sensori (geometricamente disposti in linea sul terreno secondo un profilo) è riferita all'istante zero, che è quello che corrisponde all'istante dell'energizzazione del terreno. Essa consente la loro ubicazione su un diagramma cartesiano ottenendo le dromocrone relative ad ogni punto di energizzazione. Il grafico che ne risulta è costituito da una serie di segmenti la cui inclinazione corrisponde alla velocità di propagazione delle onde elastiche nel mezzo.



Fig. 2.21: dromocrona relativa all'esempio schematico.

Dall'analisi delle dromocrone è possibile (e questo è il dato fondamentale dell'interpretazione) definire il numero dei sismostrati presenti nel sottosuolo (ovviamente per la finestra temporale adottata che è funzione della lunghezza dello stendimento e della quantità di energia utilizzata).

L'interpretazione per la risoluzione geometrica dei sismostrati (profondità e velocità) si avvale di diverse metodologie di calcolo dalle più semplici procedure dirette (Hagedoorn, 1959; Barry, 1967), seguendo le leggi generali dell'ottica, a quelle più complesse sia 1D che 2D che elaborano i dati mediante la tecnica del GRM (Palmer, 1980), del Ray-tracing o della tomografia (Hampson & Russell, 1984; Olsen, 1989).

La finalità della tomografia è la dettagliata esplorazione del modello di distribuzione della velocità in un mezzo. Essa si basa sui primi arrivi ottenuti per set plurimi di coppie sorgente-ricevitore: la sola limitazione è quella che i raggi sismici formano una rete completa e cioè, idealmente, ciascun punto del mezzo investigato dovrebbe essere attraversato dai raggi in tutte le direzioni.

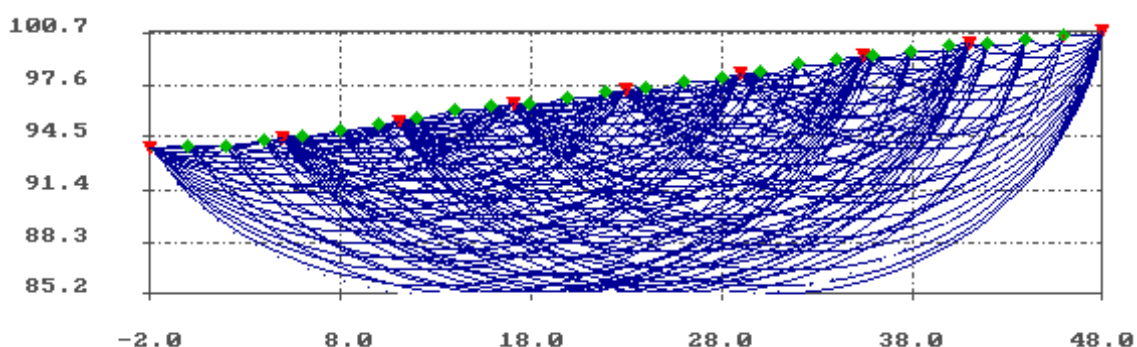


Fig. 2.22: Esempio applicativo di una fitta rete di raggi ideale per la tomografia (24 geofoni e 9 basi di energizzazione).

Masw

Il Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) è un metodo investigativo che è stato introdotto all'inizio del 1999 nell'ambito geotecnico e geofisico. Si tratta di una tecnica

analitica che genera un profilo di velocità delle onde di taglio (V_s in funzione della profondità) analizzando su una registrazione multicanale le onde di superficie di tipo Rayleigh. Il metodo utilizza i concetti della registrazione ed elaborazione multicanale largamente impiegati da decenni nei rilievi a riflessione per l'esplorazione profonda.

Le proprietà frequenza dipendenti delle onde di superficie di Rayleigh possono essere utilizzate per rappresentare e caratterizzare il sottosuolo nella sua porzione superficiale. La parte principale dell'analisi delle onde di superficie si basa sull'accurato calcolo delle velocità di fase del modo fondamentale del movimento orizzontale dell'onda Rayleigh.

La fase di acquisizione come si è premesso è analoga a quella adottata nei normali rilievi sismici a riflessione con la sola precauzione che la geometria utilizzata deve essere tale da assicurare un'efficiente generazione di onde di superficie che si sviluppano al di sotto del range di profondità delle onde primarie.

Nella fase di elaborazione il compito più delicato è rappresentato dalla costruzione della curva di dispersione. Essa altro non è che il plottaggio della velocità di fase in funzione della frequenza e ha il suo supporto teorico nel fatto che, quando per l'energizzazione sismica si usa una sorgente compressionale (impatto) più di 2/3 dell'energia sismica generata è rappresentata dalle onde di Rayleigh, che sono la componente principale delle "ground roll".

Interpretazione ed analisi dei risultati

L'output numerico dei modelli sismici è quindi molto definito e **consente di indicare molto bene il contatto tra coperture detritiche facilmente lavorabili e materiali decisamente più rigidi: il primo orizzonte di copertura** al suo interno può presentare blocchi in volumetria non trascurabile sul tipo di quelli che si vedono in superficie: la **velocità** di questo orizzonte è **compresa tra 400 e 1000 m/s** ed assume una tonalità in variazione di blu per i modelli presentati.

La rifrazione tomografica indica alla sua base un contrasto significativo con V_p che salgono poi più o meno rapidamente a 3000 m/s. Osservando la parete di scavo già abbassato a est dell'area interessata dai rilievi L1, L2, L4 e L3 occorre indicare che tale materiale dovrebbe essere già costituito da roccia in posto tanto che nei trasversali (L1, L2 e L4) si nota addirittura la presenza di una fascia più fratturata analoga alle superfici di taglio che si individuano a monte sulla parete: **tale superficie non è rappresentata da una piano rettilineo ed anche in senso est-ovest può ridursi in spessore o aumentare localmente.** Il target del lavoro è stato ampiamente raggiunto e, con un tratteggio nero, sulle sezioni presentate è stata segnata la superficie che distingue la copertura dal sottostante substrato roccioso.

La particolarità che emerge dai rilievi, oltre alla determinazione della presenza di una balza lapidea che riduce sensibilmente la cubatura dei materiali cavabili, è che anche a valle ad altezza strada a debole profondità le velocità si innalzano notevolmente e forse troppo per attribuire questo innalzamento alla presenza della sola falda (ciò accade più in L1 e L3 e meno in L4).

Osservando il rendering 3D che riporta i dati delle tre sezioni trasversali **si può notare che segnando anche un'interfaccia più veloce a $V_p > 3000 \text{ m/s}$ si può osservare una coerenza tra i tre profili e la situazione morfologica degli affioramenti lapidei di monte.**

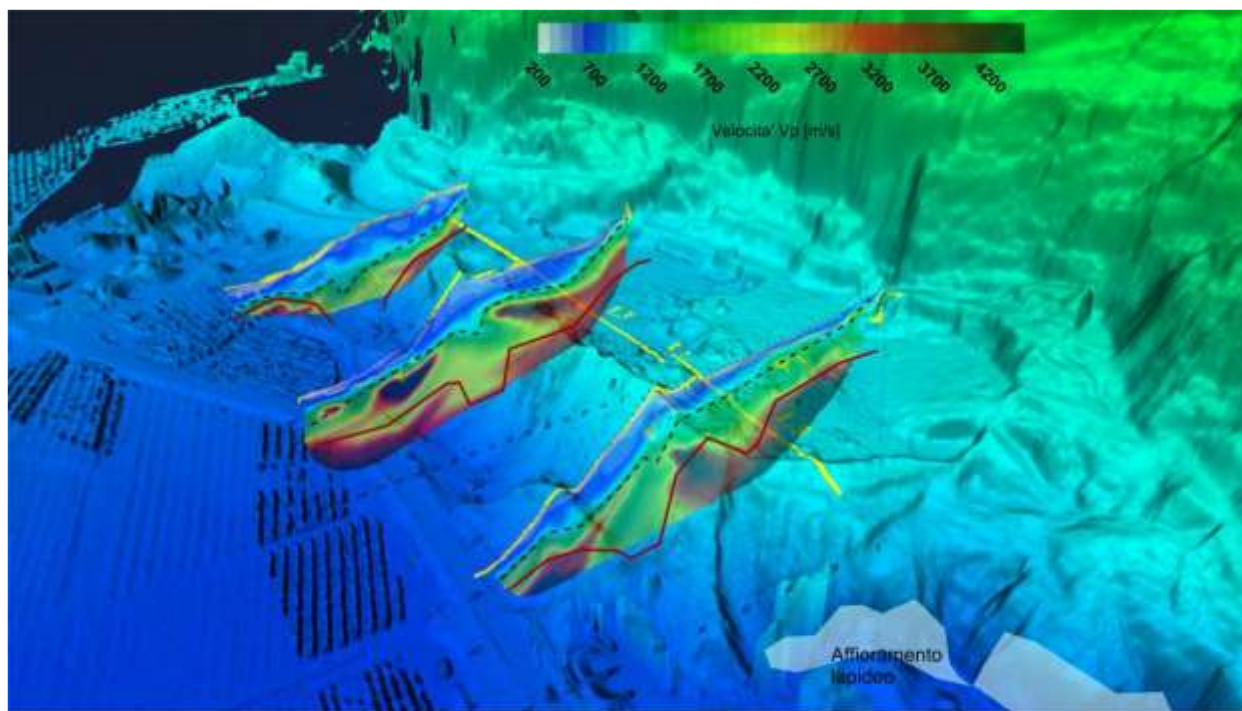


Fig. 2.23: render tridimensionale dei n°3 profili sismici L1, L2 e L4.

La ricostruzione del modello pseudo 2D in Vs consente di identificare la fascia fratturata subverticale per il profilo Masw1 e meno per il Masw 2, 4 e 5 in cui la frattura sembrerebbe avere meno effetto di quanto osservato nella tomografia. Ciò comunque può anche essere ereditato da una minore performance della risoluzione laterale dell'analisi masw rispetto a quanto si ottiene dall'approccio tomografico Vp.

Relativamente alla prima interfaccia proposta (tratteggio nero) si è eseguito un esercizio di digitalizzazione della superficie e di seguito si mostra l'interpolazione grafica delle isobate (differenza in metri tra superficie topografica e letto delle coperture). Si può notare come le profondità massime si aggirino intorno a 18-20 m ed ovviamente spostandosi verso monte si rastremano a 0 m. La digitalizzazione è stata eseguita per intervalli di 5 m esclusivamente lungo le linee sismiche eseguite.

Utilizzando l'interpolazione tra la superficie topografica e quella del letto delle coperture con meno di 1400m/s di Vp è stato possibile calcolare, per la sola area dell'incrocio L1-L2, L4 e L3 (Stradeasfalti), una stima dei volumi di circa 555.000-600.000 m³ coinvolti su un areale di circa 42.500-45.000 m² (13 m di media). Più lineare l'interfaccia roccia-coperture e prossima al piano campagna dell'area produttiva in corrispondenza dello stendimento L5.

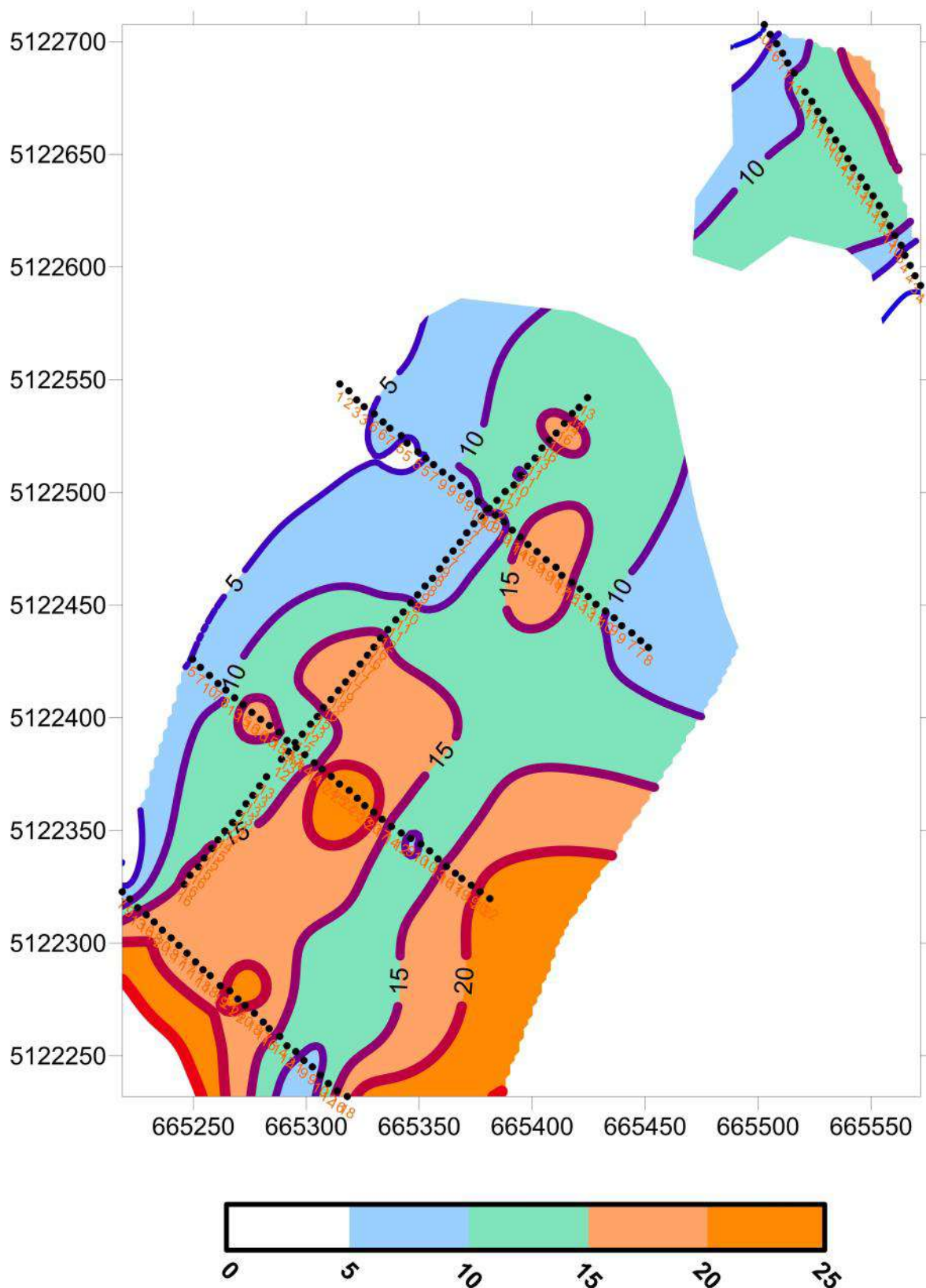
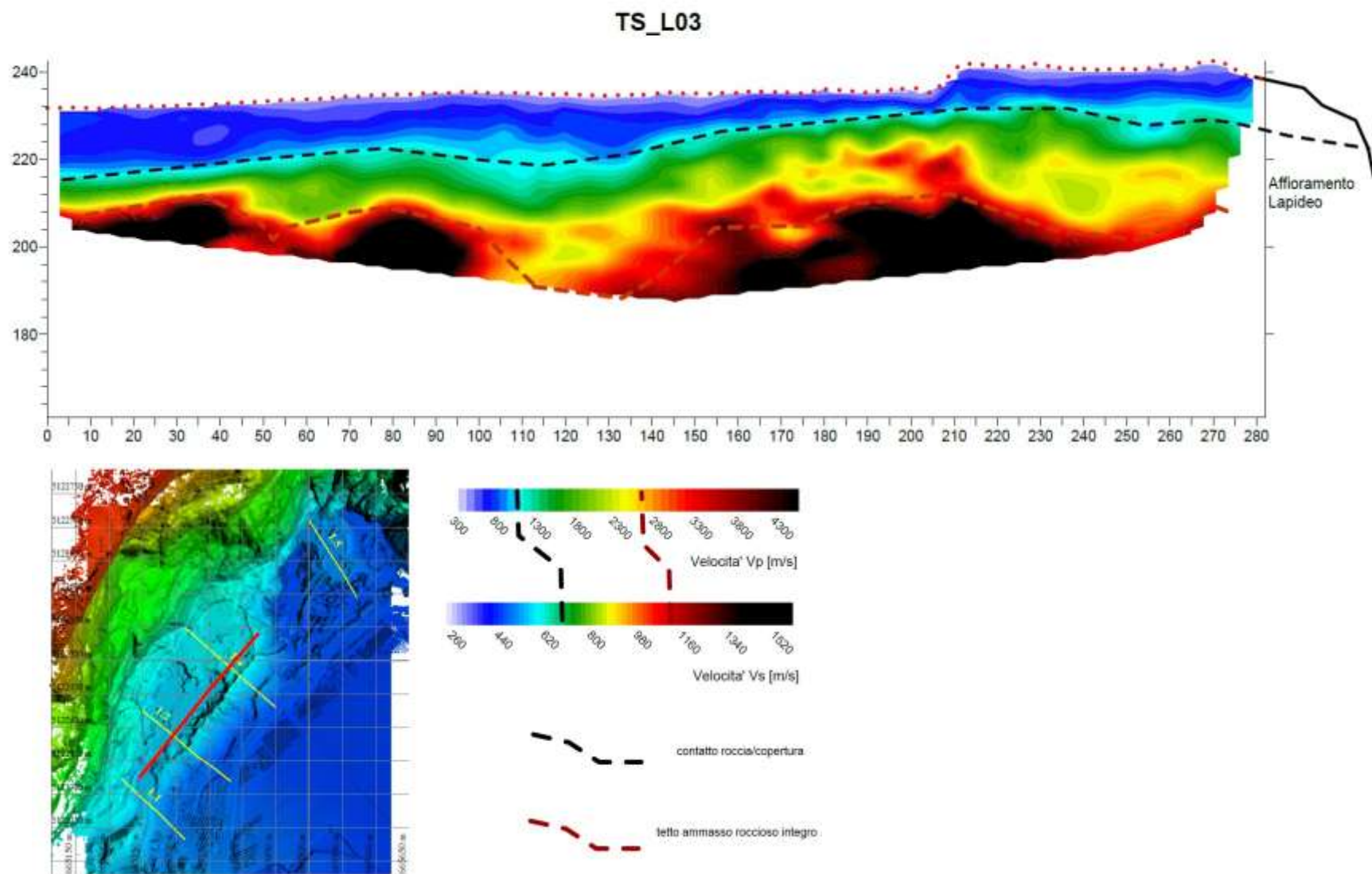
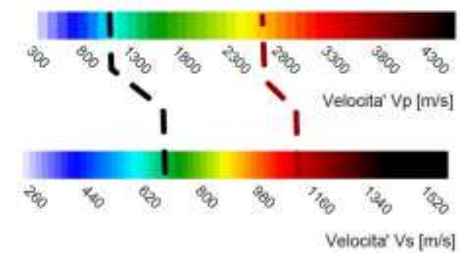
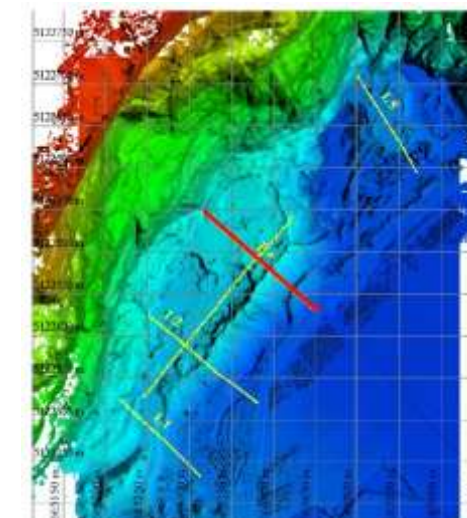
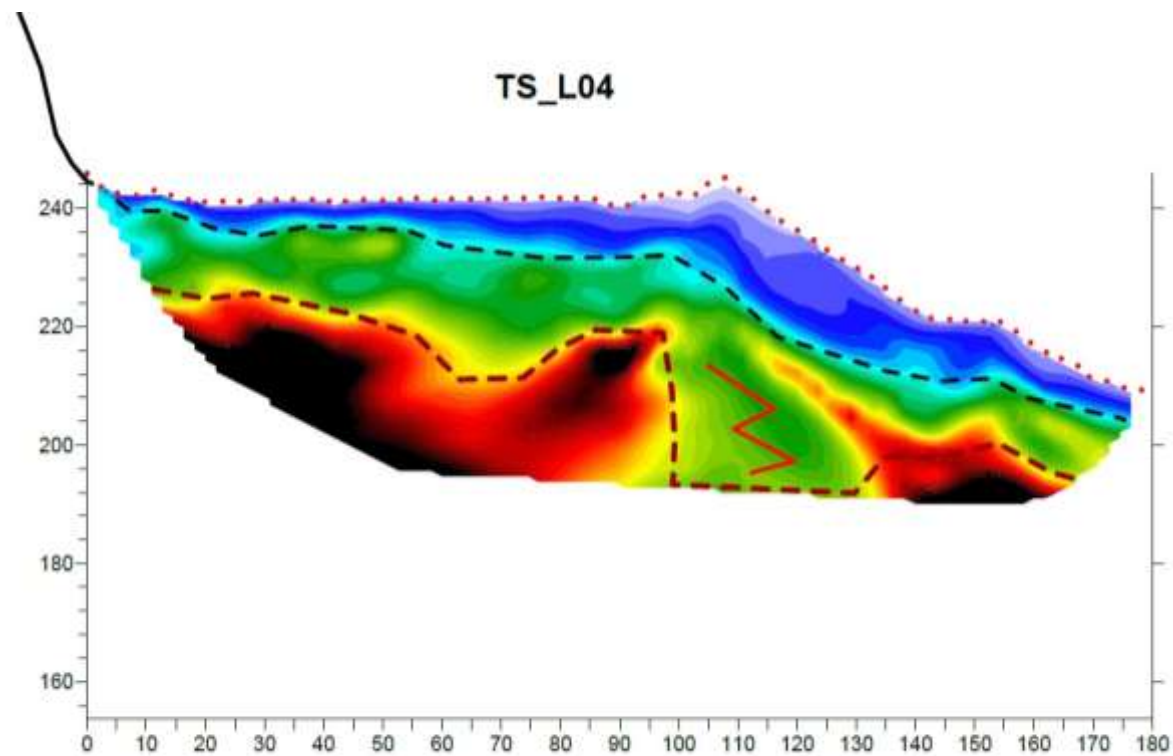


Fig. 2.24: carta delle isobare (profondità substrato roccioso in metri dal p.c. attuale). In tratteggio gli stendimenti simici realizzati.

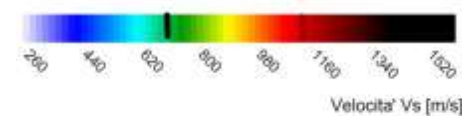
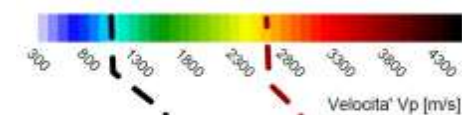
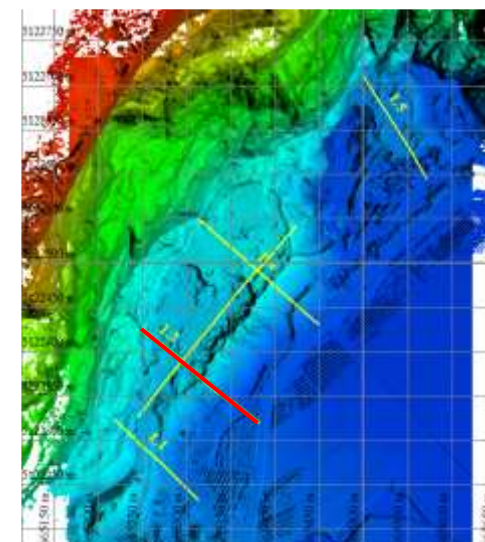
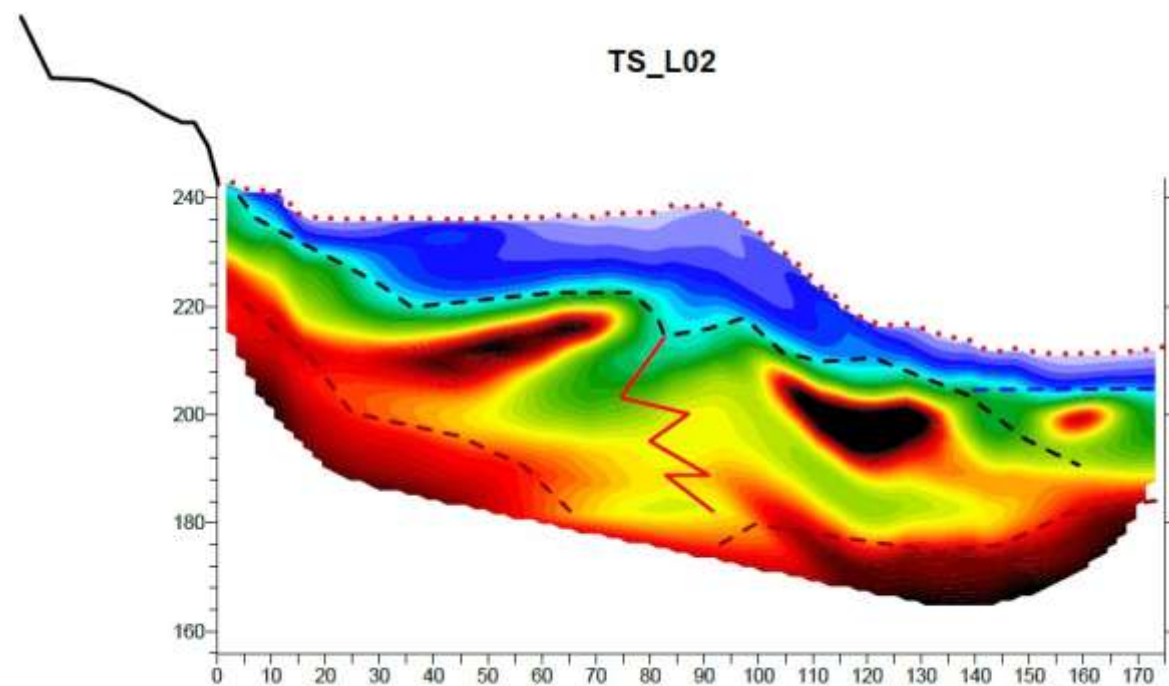
ALLEGATO STENDIMENTO L03 - LONGITUDINALE



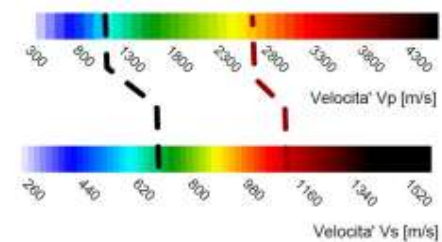
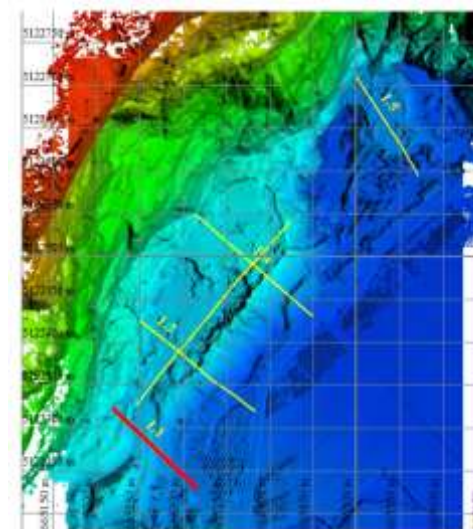
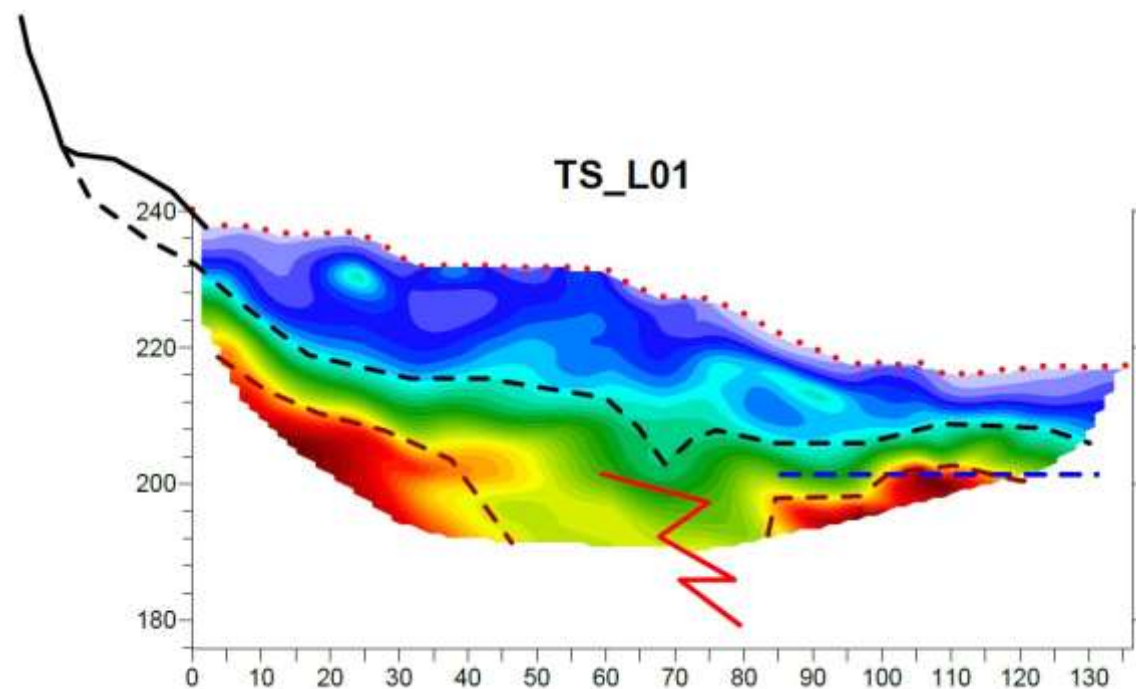
ALLEGATO STENDIMENTO L04



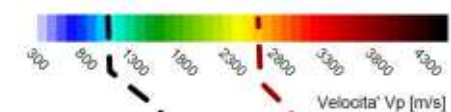
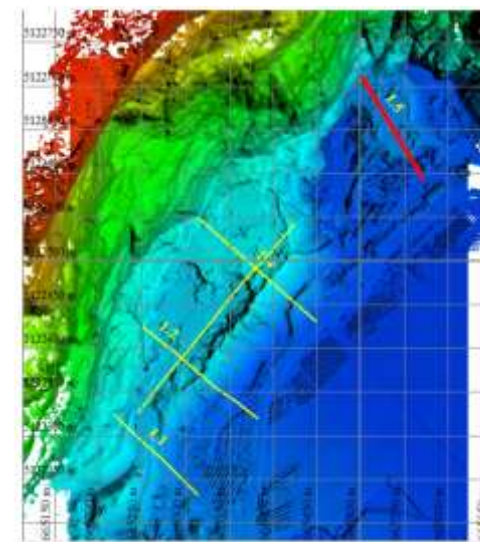
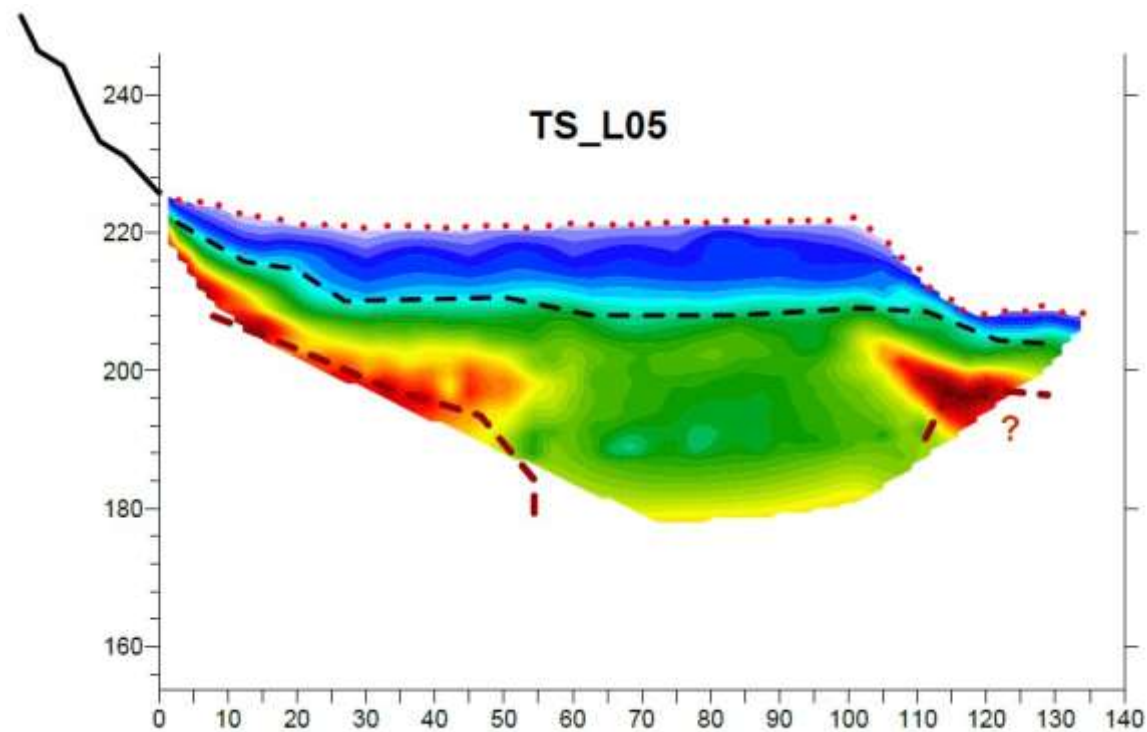
ALLEGATO STENDIMENTO L02



ALLEGATO STENDIMENTO L01



ALLEGATO STENDIMENTO L05



contatto roccia/copertura

letto ammasso roccioso integro

2.8.1. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO

Al fine di analizzare la tipologia di giacimenti presenti in sito, in relazioni delle caratteristiche granulometriche nonché dell'eventuale presenza della falda freatica al piano campagna, nel periodo compreso tra martedì 8 Gennaio 2025 e lunedì 13 Gennaio 2025, la ditta TECNOVERIFICHE S.R.L. sotto la supervisione dello scrivente, dott. Geologo Emilio Perina, ha realizzato n°4 sondaggi a carotaggio continuo; 2 con profondità di 10,0 m attrezzati a piezometro a livello della quota circa dell'area produttiva (piana F. Adige) e 2 sondaggi a 20,0 m con prelievo di campioni geotecnici. Al termine delle lavorazioni, sempre su indicazioni della committenza, sono stati prelevati dei campioni geotecnici direttamente dalle cassette di sondaggio e destinati a successive indagini di laboratorio (prove granulometriche di laboratorio). I sondaggi sono stati eseguiti a rotopercussione a carotaggio continuo con l'utilizzo di fluidi di perforazione, costituiti esclusivamente da acqua, impiegati nella fase di avanzamento delle tubazioni di rivestimento metalliche provvisorie. La perforazione è avvenuta mantenendo un diametro di perforazione di 101 e 127 mm. L'avanzamento è avvenuto grazie a delle corone con denti in Widia avvitate a delle aste e a un carotiere semplice di diametro nominale 101 mm. Il tutto è stato azionato mediante una batteria di aste dal diametro di 76 mm. I fori sono stati rivestiti a mano a mano che procedeva la perforazione con una tubazione metallica provvisoria serie pesante con un diametro di 127 mm. Per ulteriori dettagli si rimanda al report delle indagini geognostiche allegate alla presente. I materiali estratti dai carotieri sono stati sistemati in apposite cassette catalogatrici con scomparti suddivisi per ogni metro di sondaggio. Il sondaggio PZ1 è stato effettuato all'interno dell'area dello stabilimento Inerti Mezzocorona Snc, mentre gli altri punti di indagine si trovano presso il giacimento Stradasfalti Srl.

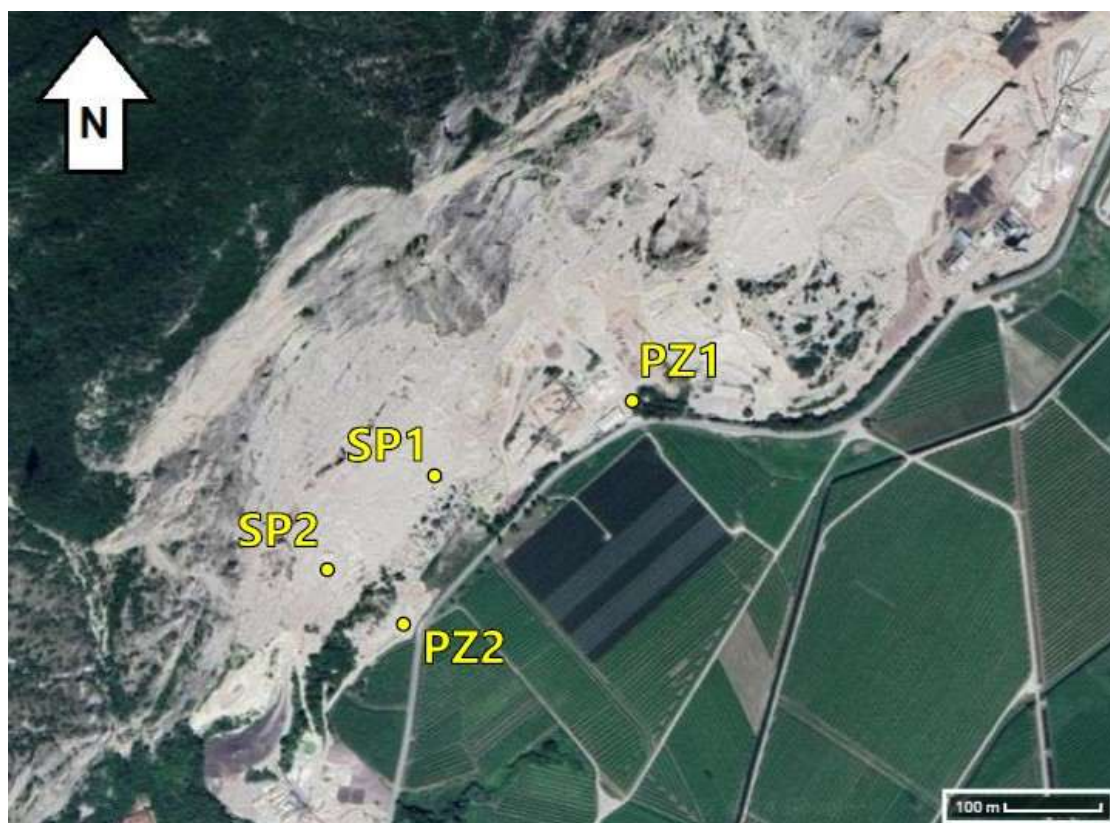


Fig. 2.25: estratto ortofotografico delle aree d'intervento raffiguranti la localizzazione dei punti d'indagine.

Di seguito viene presentato un elenco in forma tabellare dei sondaggi eseguiti:

ID SONDAGGI TECNOVERIFICHE	LOCALIZZAZIONE	TECNICA UTILIZZATA	PROFONDITÀ	INIZIO PERFORAZIONE
PZ1	Inerti Mezzocorona	Carotaggio continuo	10,0 m	8 gen. 2025
PZ2	Stradasfalti	Carotaggio continuo	10,0 m	8 gen. 2025
SP1	Stradasfalti	Carotaggio continuo	20,0 m	10 gen. 2025
SP2	Stradasfalti	Carotaggio continuo	20,0 m	13 gen. 2025

Fig. 2.26: tabella elenco dei sondaggi eseguiti con relative profondità e tempistiche di perforazione.

Al termine di sondaggio sono stati prelevati una serie di campioni di terreno rimaneggiati da sottoporre a successive prove geotecniche di laboratorio al fine di caratterizzare il giacimento Stradasfalti per mezzo di relative prove granulometriche.

In accordo con lo scrivente, si sono prelevati un totale di nr. 8 campioni direttamente dalle cassette catalogatrici che sono stati conservati in appositi sacchetti e trasportati poi in laboratorio. Di seguito viene proposta una tabella riassuntiva riportante l'identificativo e le profondità dei prelievi eseguiti, mentre i risultati saranno allegati in calce alla presente relazione nel rapporto di prova.

ID SONDAGGIO	QUOTA DI PRELIEVO	PROVE ESEGUITE
SP1	1,0-2,0 m	• Granulometria
SP1	7,0-8,0 m	• Granulometria
SP1	12,0-13,0 m	• Granulometria
SP1	18,0-19,0 m	• Granulometria
SP2	3,0-4,0 m	• Granulometria
SP2	9,0-10,0 m	• Granulometria
SP2	13,0-14,0 m	• Granulometria
SP2	17,0-18,0 m	• Granulometria

Fig. 2.27: tabella elenco dei campioni prelevati con relative prove di laboratorio previste.

Si osserva come i sondaggi S1 e S2 sono stati realizzati in corrispondenza della porzione di valle del giacimento all'incirca lungo lo stendimento geofisico TS_L04 e TS_L02 in corrispondenza dell'interruzione del substrato roccioso ipogeo (circa 15-20 metri dal p.c. attuale) e/o del presunto tetto della bancata rocciosa dapprima alterata e poi più consistente. Le indagini così come le prove granulometriche di laboratorio hanno dunque rilevato la presenza di un livello decametrico di materiale granulare arido, caratterizzato da una buona omogeneità per l'intero tratto investigato. In particolare, si rileva la presenza di **ghiaia sabbiosa e ghiaia con sabbia, localmente con presenza di una componente debolmente limosa, colore grigio chiaro**. La frazione ghiaiosa si mostra con grani prevalentemente a granulometria grossolana o eterometrica, dalla forma angolare o sub-

angolare, aventi \varnothing fino a 6,0 cm, con livelli caratterizzati dalla presenza di frequenti ciottoli con diametro fino a 10,0 cm. Non è stata rilevata la presenza di falda lungo sondaggi SP1 e SP2. Le indagini PZ1 e PZ2 realizzate all'incirca al piano campagna (quota impianti produttivi), riportano le medesime rilevanze stratigrafiche ove il sottosuolo è caratterizzato dall'alternanza di sabbia con ghiaia eterometrica a ghiaia grossolana con scarsa matrice sabbiosa. I sondaggi hanno messo in evidenza la presenza di una falda freatica all'incirca a -4,5 e -5,0 metri dal p.c. sia in corrispondenza del sondaggio PZ1 che PZ2. Pertanto, si rileva la presenza del tetto della **falda freatica all'incirca a -4,5 metri dal piano campagna in corrispondenza delle aree produttive**. La falda si raccorda quindi con quella che caratterizza l'intera piana del F. Adige in tale zona.

In seguito, si riportano alcune immagini significative dei sondaggi, in allegato l'intero rapporto di prova e di laboratorio delle medesime.



Ciottoli	0,0	%
Ghiaia	53,4	%
Sabbia	27,9	%
Limo	17,2	%
Argilla	1,5	%

Fig. 2.28: cassetta catalogatrice da 15 a 20 m del sondaggio SP2.

ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA NORMA 17892-4					
DATA CERT. DI PROVA	27/01/2025			NUMERO CERTIFICATO DI PROVA	L-5618-008-111
COMMITTENTE	COMUNE DI MEZZOCORONA			OPERA	Indagini geognostiche
DATA PRELIEVO/RICEV.	23/01/2025	DATA APERTURA	23/01/2025	DIREZIONE LAVORI	
UBICAZIONE PRELIEVO	Mezzocorona (TN)			TIPO DI CAMPIONE	SP2 (17,0-18,0)
DATA INIZIO PROVA	24/01/2025			DATA FINE PROVA	27/01/2025

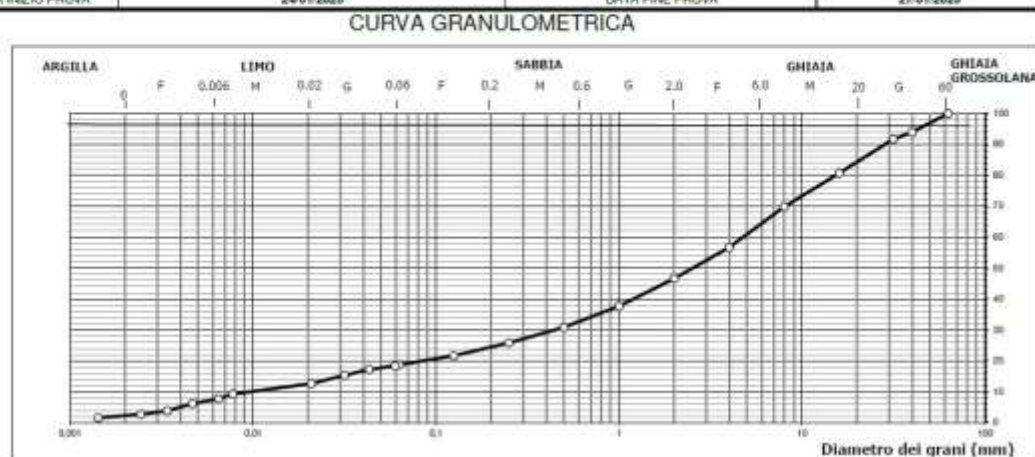


Fig. 2.29: analisi granulometrica da 17÷18 m di profondità del sondaggio SP2.

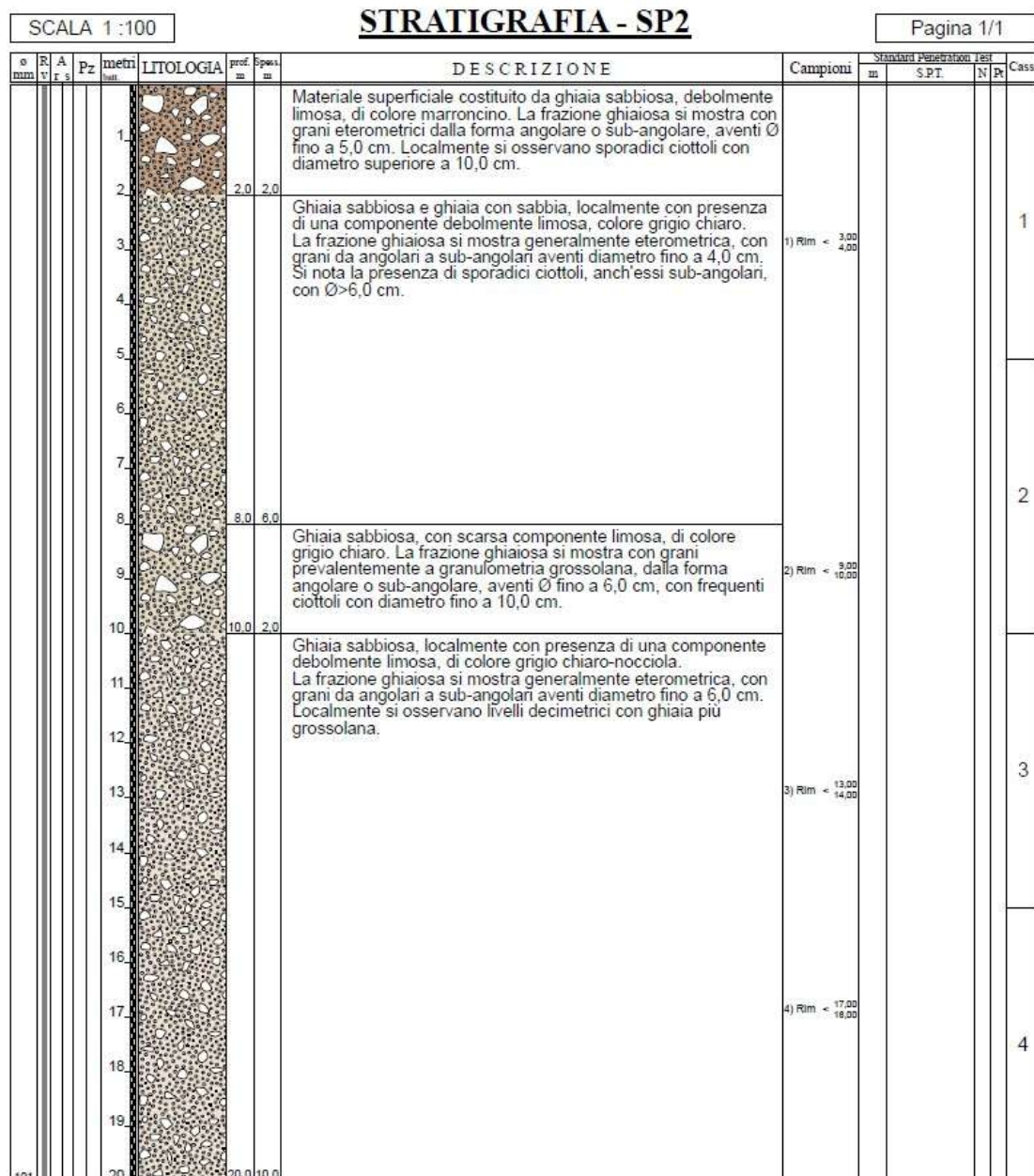


Fig. 2.30: estratto stratigrafia sondaggio SP2.

2.9. ASPETTI MACRO E MESO STRUTTURALI ANALISI PARETE ROCCIOSA

Le spinte di origine tettonica creano all'interno dell'ammasso roccioso una serie di fratture, raggruppate in famiglie per omogeneità di orientamento, che possono portare all'isolamento di volumi rocciosi unitari la cui dimensione è proporzionale alla spaziatura delle fratture stesse.

Il settore in esame è dominato dalla presenza di sistemi sub-verticali condizionati dal regime trascorrente caratteristico dell'area.

La fascia alta della parete, verticale e caratterizzata dalla presenza di marcati aggetti impostati lungo i piani di strato è rappresentata dalle dolomie stromatolitiche chiare, dalle dolomicriti grigio scure all'apice e dalle doloareniti oolitiche della Formazione della Dolomia Principale (DPR). La base presenta una inclinazione media minore rispetto alla parte alta e alterna fasce verticali ad avancorpi variamente articolati è costituita dalle dolomie

stromatolitiche grigio chiare e scure in banchi metrici appartenenti alla Formazione dello Sciliar (SCI).

Le caratteristiche del litotipo unite alle modalità di orientazione di tali piani in relazione al fronte della parete determinano le condizioni di innesto per il distacco di una porzione rocciosa. Giunti subverticali, relitto delle spinte tettoniche che hanno deformato l'area isolano porzioni rocciose, spesso lastriformi, in precaria condizione di stabilità. Il rilievo geostrutturale è stato ottenuto analizzando la nuvola di punti 3D con Cloud Compare utilizzando l'algoritmo Compass2.0⁴. Dalla misurazione dei principali piani rilevati, circa 1100, viene elaborata la proiezione stereografica riportata nella figura 2.31.

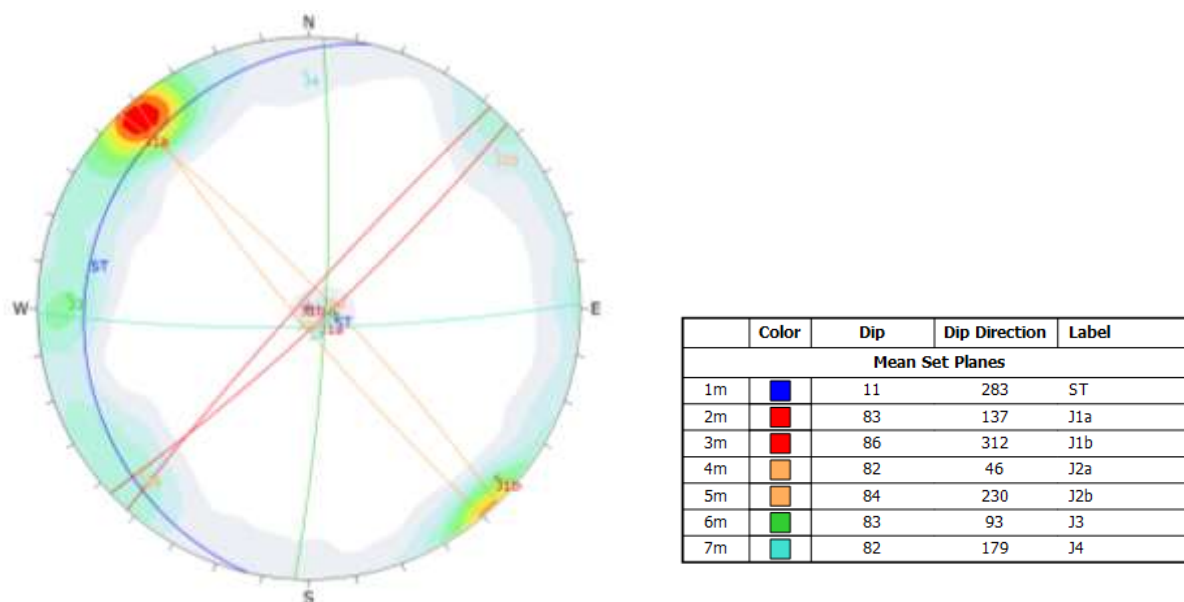


Fig. 2.31: orientazione dei principali sistemi di discontinuità.

L'Allegato A riporta la sintesi dei dati geomeccanici costituita dai prospetti dei principali sistemi individuati a cui si aggiungono delle immagini della nuvola di punti elaborata dove, al dato RGB della nuvola stessa, si sovrappongono le porzioni di nuvola di punti appartenenti a ciascun sistema individuato mantenendo il colore associato a ciascun sistema nella proiezione stereografica (fig. 2.31), ad esempio al sistema color rosso nella proiezione stereografica corrisponde a porzioni di nuvola di punti colorata in rosso.

In base alla morfologia vengono individuate quattro zone che mantengono una analogia dal punto di vista strutturale ma risultano utili per fornire una rappresentazione del condizionamento dei vari sistemi della morfologia della parete. La zona A identifica l'avancorpo sud che delimita la parete, la zona B corrisponde alla parete principale e le zone C e D sono rappresentative dei due avancorpi rispettivamente in destra e sinistra del rio che incide la parete principale.

Nell'Allegato A si riportano vari prospetti del settore in esame, e precisamente i prospetti A, B, C e D, sui quali vengono indicati i principali sistemi di frattura individuati. Sempre nello stesso allegato si riportano varie immagini della nuvola di punti 3D e la relativa rappresentazione della disposizione dei principali sistemi individuati.

In forma sintetica l'orientazione dei 4 principali sistemi sub verticali rappresentata sulla nuvola di punti 3D è riportata nella figura 2.32, nella figura 2.33, nella figura 2.34 e nella figura 2.35.

⁴ Thiele, S. T., Grose, L., Samsu, A., Mickelthwaite, S., Vollgger, S. A., and Cruden, A. R.: Rapid, semi-automatic fracture and contact mapping for point clouds, images and geophysical data, Solid Earth Discuss., <https://doi.org/10.5194/se-2017-83>, in review, 2017



Fig. 2.32: rappresentazione famiglie J1a/J1b.



Fig. 2.33: rappresentazione famiglie J2a/J2b.



Fig. 2.34: rappresentazione famiglia J3.



Fig. 2.35: rappresentazione famiglia J4.

2.9.1. QUALITÀ AMMASSO ROCCIOSO (GSI)

Dall'analisi dei valori di spaziatura delle discontinuità vengono individuati i valori del grado di suddivisione dell'ammasso (J_v) ed il volume del blocco (V_b) e valutato la qualità dell'ammasso roccioso attraverso il Geological Strength Index (G.S.I.) di Hoek nella formulazione di Cai et alii. Il grado di suddivisione dell'ammasso roccioso (J_v) che si lega alle dimensioni del blocco unitario (V_b) è definibile in base alla forma e alla tipologia dei blocchi che caratterizzano l'ammasso roccioso (fig. 2.36). Il volume unitario del blocco roccioso, V_b , è determinato dalla spaziatura e dall'orientazione dei giunti, dal numero di set di giunti e dalla persistenza degli stessi. Le dimensioni del volume unitario sono espressione della densità dei giunti e nel caso di almeno 3 giunti persistenti può essere calcolato con l'espressione di Palmstrom (2005)⁵:

$$V_b = \frac{s_1 \cdot s_2 \cdot s_3}{\sin \gamma_1 \cdot \sin \gamma_2 \cdot \sin \gamma_3}$$

dove: s_i e γ_i sono rispettivamente la spaziatura tra i giunti e l'angolo tra i giunti stessi.

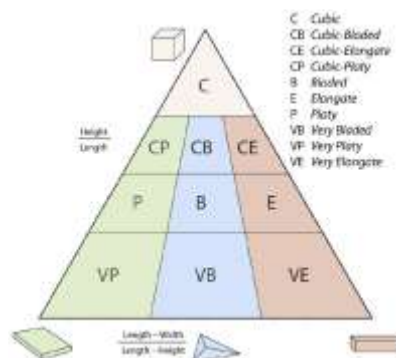


Fig. 2.36: diagramma della forma dei blocchi^{6,7}.

⁵ PALMSTROM, ARILD. (2005). Measurements of and correlations between block size and rock quality designation (RQD). Tunnelling and Underground Space Technology. 20. 362-377. 10.1016/j.tust.2005.01.005.

⁶ SNEED, E.D. AND FOLK, R.L., 1958, Pebbles in the Lower Colorado River, Texas: a study in the particle morphogenesis: Journal of Geology, v. 66, p. 144-150.

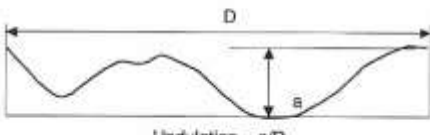
La qualità intrinseca dell'ammasso roccioso è valutata attraverso la determinazione del Geological Strength Index (G.S.I.) di Hoek. Vista la tipologia dello studio, al fine di consentire un'adeguata quantificazione dei parametri di ingresso del diagramma per la determinazione del G.S.I. si è seguito l'approccio di Cai et al. (2004)⁸. Nello specifico i parametri quantitativi d'ingresso per la determinazione del G.S.I. sono il Volume Unitario dei Blocchi rocciosi (Vb) ed il Joint Condition Factor (Jc); anche parametri base per la determinazione dell'indice RMI di Palmström. Il Joint Condition Factor (Jc) è definito dalla rugosità e dall'alterazione della superficie dei giunti e dal tipo di riempimento:

$$J_c = \frac{J_w \cdot J_s}{J_A}$$

dove: JW è l'ondulazione ad ampia scala (in metri da 1 a 10 metri); JS è la rugosità a piccola scala (in centimetri da 1 a 20 cm) e JA è il fattore di alterazione del giunto.

Nel complesso i volumi unitari assumono forme che variano da prismatiche a tabulari. Le forme dominanti dei blocchi variano da VP/P a VE/E. La spaziatura dei principali sistemi varia da decimetrica a metrica e la condiziona dei giunti varia da buona a scadente. Nel settore in esame sono identificate due zona, A e B; la zona A è rappresentativa delle fasce rocciose con ammasso fratturato e la zona B rappresentativa delle fasce molto fratturate che mediamente corrispondono a fasce fittamente stratificate e/o fasce con giunti ad alta persistenza.

Waviness terms	Undulation	Rating for waviness J_w	
Interlocking (large-scale)		3	
Stepped		2.5	
Large undulation	> 3%	2	
Small to moderate undulation	0.3–3%	1.5	
Planar	< 0.3%	1	



Undulation = a/D
D - length between maximum amplitudes

Fig. 2.37: tabella dei termini per descrivere l'ondulazione ad ampia scala (JW).

Smoothness terms	Description	Rating for smoothness J_s
Very rough	Near vertical steps and ridges occur with interlocking effect on the joint surface	3
Rough	Some ridge and side-angle are evident; asperities are clearly visible; discontinuity surface feels very abrasive (rougher than sandpaper grade 30)	2
Slightly rough	Asperities on the discontinuity surfaces are distinguishable and can be felt (like sandpaper grade 30–300)	1.5
Smooth	Surface appear smooth and feels so to touch (smoother than sandpaper grade 300)	1
Polished	Visual evidence of polishing exists. This is often seen in coating of chlorite and specially talc	0.75
Slickensided	Polished and striated surface that results from sliding along a fault surface or other movement	0.6–1.5

Fig. 2.38: tabella dei termini per descrivere la rugosità a piccola scala (JS).

⁷ GRAHAM DJ, MIDGLEY NG (2000) Graphical representation of particleshape using triangular diagrams: an excel spreadsheet method. Earth Surf Proc Land 25:1473–1477.

⁸ CAI, M., KAISER, P. K., UNO, H., TASAKA, Y., MINAMI, M. (2004): Estimation of rock mass strength and deformation modulus of jointed hard rock masses using the GSI system. Int. J. RockMech. Min. Sci. 41(1), 3–19

	Term	Description	J_A
Rock wall contact	<i>Clear joints</i>		
	Healed or "welded" joints (unweathered)	Softening, impermeable filling (quartz, epidote, etc.)	0.75
	Fresh rock walls (unweathered)	No coating or filling on joint surface, except for staining	1
	Alteration of joint wall: slightly to moderately weathered	The joint surface exhibits one class higher alteration than the rock	2
	Alteration of joint wall: highly weathered	The joint surface exhibits two classes higher alteration than the rock	4
	<i>Coating or thin filling</i>		
	Sand, silt, calcite, etc.	Coating of frictional material without clay	3
	Clay, chlorite, talc, etc.	Coating of softening and cohesive minerals	4
Filled joints with partial or no contact between the rock wall surfaces	Sand, silt, calcite, etc.	Filling of frictional material without clay	4
	Compacted clay materials	"Hard" filling of softening and cohesive materials	6
	Soft clay materials	Medium to low over-consolidation of filling	8
	Swelling clay materials	Filling material exhibits swelling properties	8-12

Fig. 2.39: tabella dei termini di "Joint alteration factor (JA)".

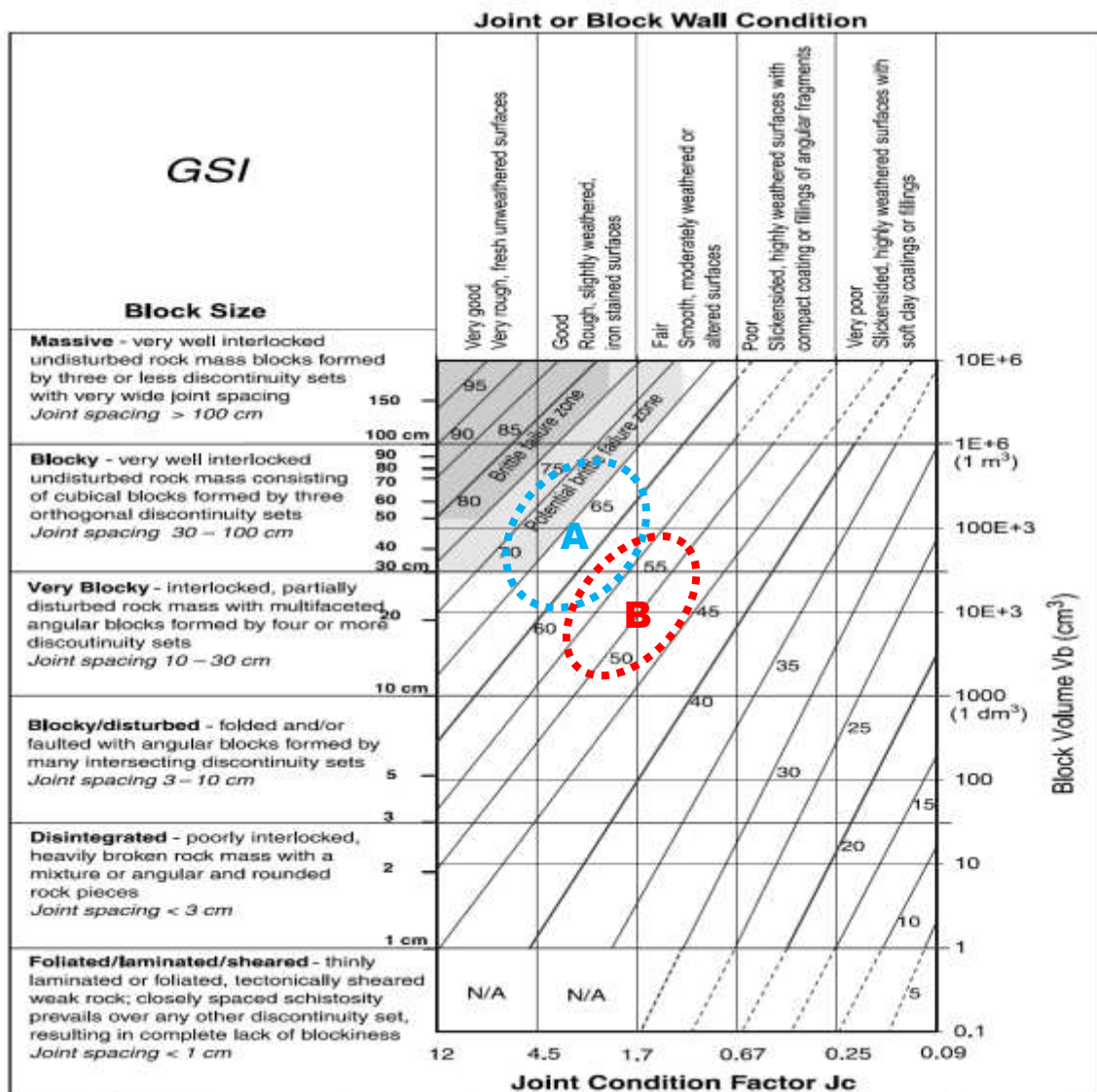
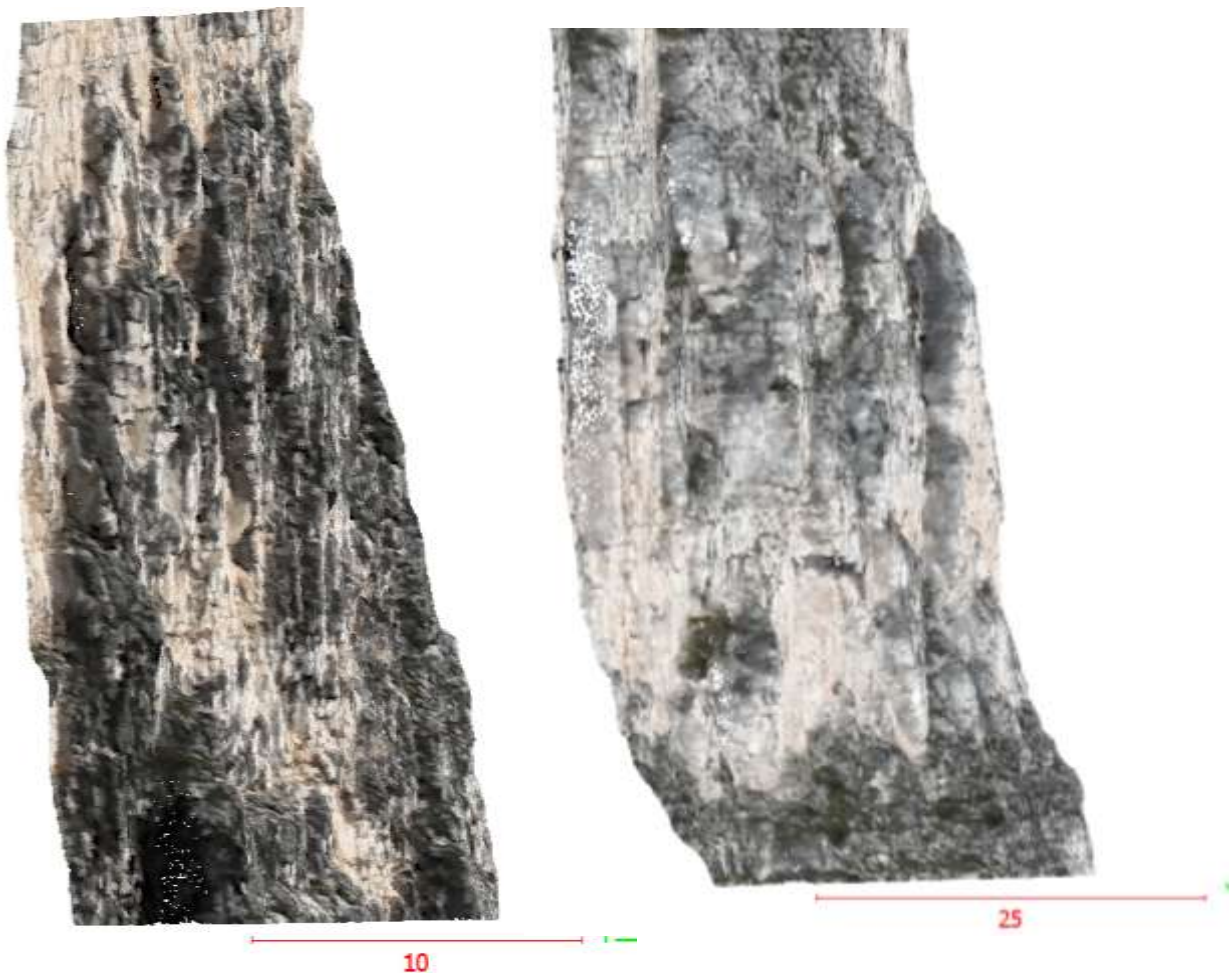


Fig. 2.40: classificazione ammasso roccioso: Geological Strength Index (GSI) - Cai M. & alii. (2004).

2.9.2. POSIZIONI CRITICHE

In linea generale lungo le pareti oggetto di indagine si riconoscono tre diverse tipologie di instabilità, caratterizzate da differenti cinatismi possibili e da differenti geometrie dei volumi rocciosi:

Elementi lastriformi mobilizzabili per column collapse o column/block toppling; solidi lastriformi di varie dimensioni definiti principalmente dai sistemi J1 e J2 e suddivisi in varia misura dai piani di strato e in misura minore dai sistemi J3 e J4. La rottura può avvenire per ribaltamento qualora la stratificazione particolarmente ravvicinata favorisca la rottura per compressione dei livelli di base ed il progressivo arretramento del profilo e/o per scivolamento lungo il piano di appoggio come evidenziato dall'analisi cinematica. È una tipologia diffusa in quanto condizionata dalla persistenza e dalla spaziatura dei giunti J1 e J2 che caratterizza l'intero settore in esame.



Volumi aggettanti mobilizzabili per rottura della porzione strapiombante (overhang failure); in questi casi orizzonti più competenti continui ed aggettanti sono isolati per successivo franamento delle porzioni fratturate e/o meno competenti sottostanti; i giunti di svincolo sono definiti dai sistemi subverticali che spesso sono associati ai sistemi J1 e J2 ed in misura minore dai sistemi J3 e J4. È una tipologia che generalmente è associata ai giunti di strato.



Conci mobilizzabili per scivolamento a cuneo (wedge slide), sono determinati dallo scivolamento di blocchi lungo la linea di intersezione tra due piani. I sistemi principali sono subverticali i cinatismi di scivolamento maggiormente frequenti sono relativi a porzioni aggettanti che scivolare/staccarsi lungo l'intersezione di piani subverticali.

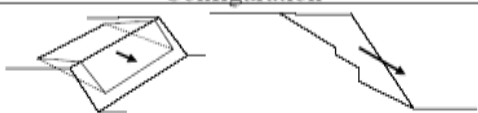
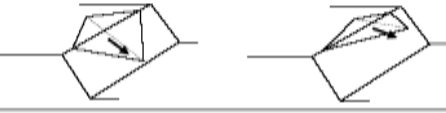

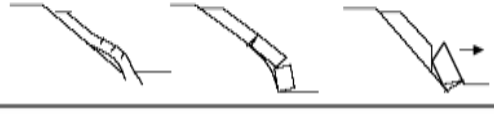
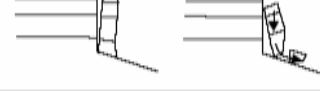


Configuration	Mechanism
	Plane slide
	Wedge or plane slide
	Rotational or multiblock slide
	Slab failure
	Column collapse
	Column or block toppling
	Overhang failure

Fig. 2.41: tipici meccanismi di collasso usati per identificare ammassi rocciosi potenzialmente instabili⁹.

La distribuzione dei principali volumi critici è riportata nella Fig. 2.42 per la zona A, nella fig. 2.43 per la zona B e nella fig. 2.44 per le zona C e D. In parete di riconoscono volumetrie potenzialmente critiche che superano ampiamente le decine di metri cubi.

⁹ D. Hantz, J. Vengeon, C. Dussauge-Peisser (2003) An historical, geomechanical and probabilistic approach to rock-fall hazard assessment - Natural Hazards and Earth System Sciences

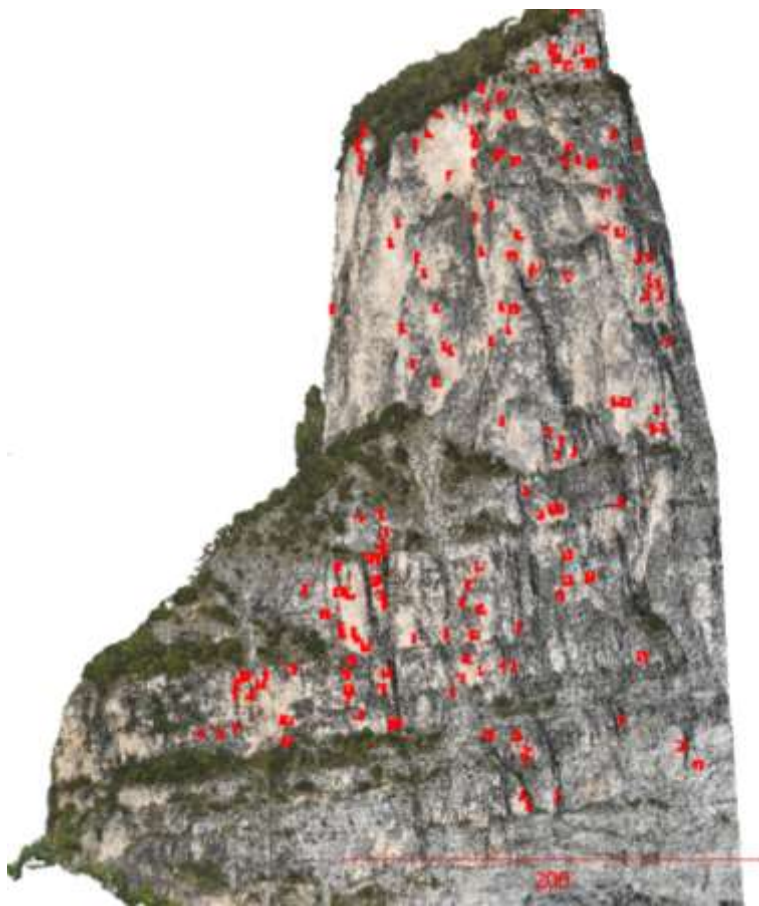


Fig.2.42: volumi potenzialmente critici zona A.

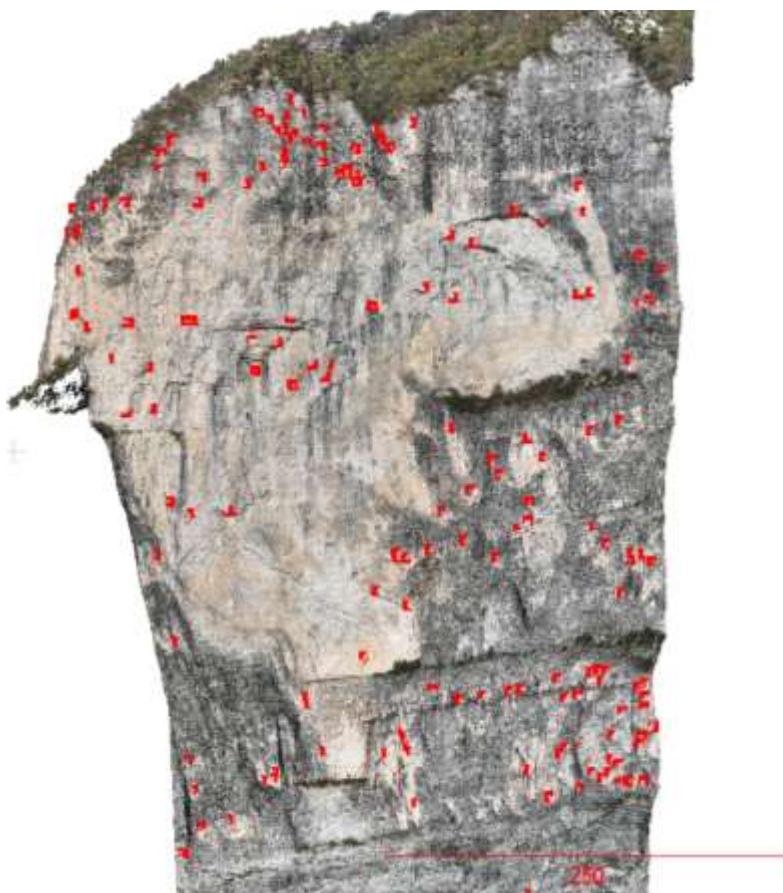


Fig. 2.43: volumi potenzialmente critici zona B.

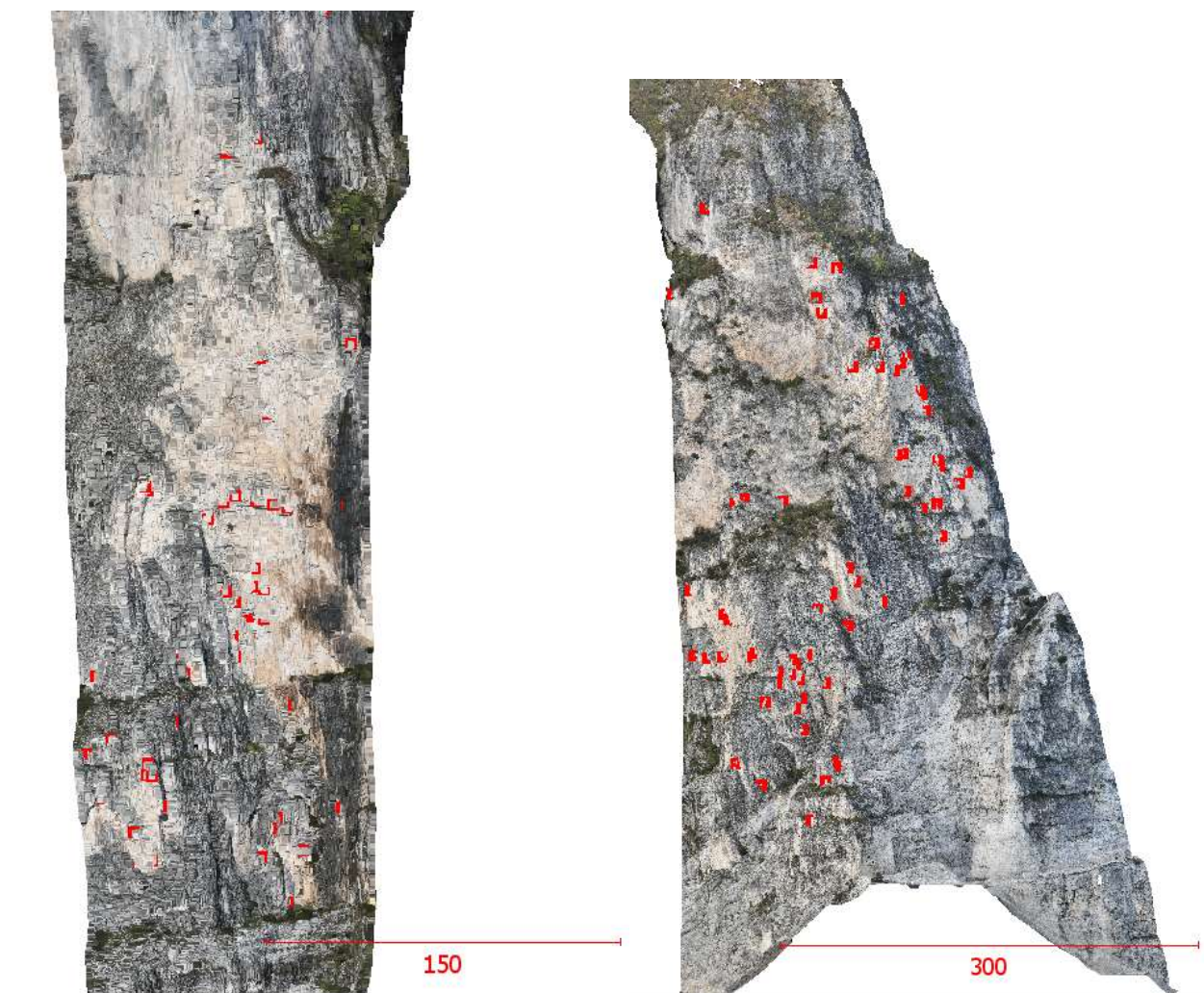


Fig. 2.44: volumi potenzialmente critici zona C(sx) e D(dx).

2.10. DEFINIZIONI VOLUMI UNITARI (VRU)

Nel sito in esame non ci sono dati sufficienti tali da costruire una curva che associ a ogni valore di volume una frequenza espressa in termini di numero cumulato di blocchi o di frequenza relativa cumulata, denominata in letteratura IBSD (InSitu Block Size Distribution).

Nel caso specifico la definizione del volume del blocco di progetto passa attraverso la valutazione della spaziatura (s) dei principali sistemi individuati in parete e del grado di fratturazione dell'ammasso (J_v), l'utilizzo di tali tecniche tradizionali può essere applicate anche alla nuvola di punti tridimensionale ottenuta con tecniche aereofotogrammetriche.

Nel caso in esame le volumetrie maggiormente propense al distacco sono frequentemente comprese tra 2 e 10 m³ mentre sopra i 10 m³ si tratta di volumi costituiti da molteplici volumi unitari con grado di criticità variabile ovvero ad esempio volumi aggettanti di dimensioni considerevoli dove la fascia maggiormente critica corrisponde alla fascia di ciglio dell'aggetto ma l'intero aggetto è potenzialmente soggetto ad un deterioramento nel tempo delle condizioni di stabilità.

Nella tabella di fig. 2.45 sono messi in relazione forma e dimensioni dei blocchi e frequenza delle discontinuità attraverso la quale è stato estratto il volume del blocco di progetto.

La valutazione delle dimensioni dei volumi in parete si confronta con la dimensione dei blocchi al piede della parete al fine di delineare curva volumi-frequenza nell'area di

accumulo, indicata con l'acronimo RBSD (Rock Block Size Distribution). Nel caso specifico al piede della parete è presente una attività di coltivazione che non facilita una analisi critica degli effetti di tali crolli (fig. 2.46).

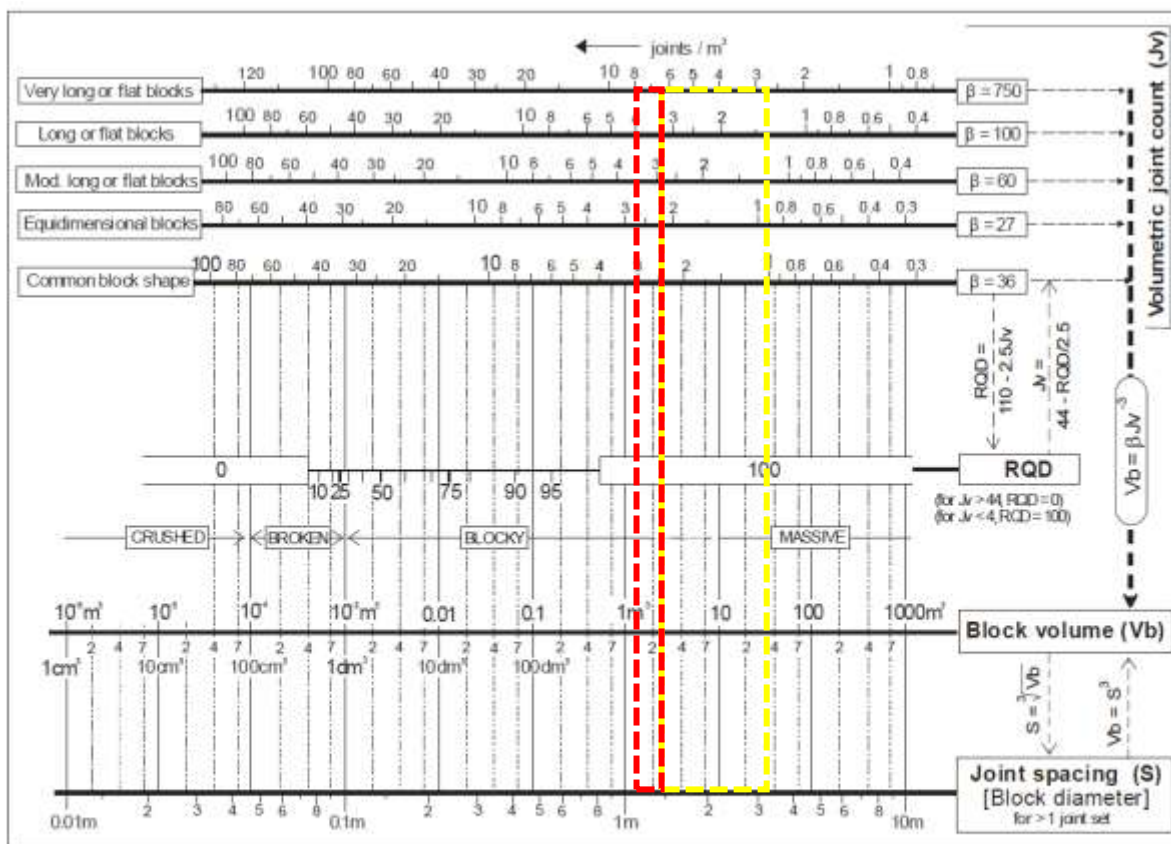


Fig. 2.45: tabella relazione tra forma/dimensione dei blocchi e frequenza delle discontinuità¹⁰.

In base al grado di alterazione dei blocchi e dalle fratture rilevate si è cercato di discriminare quelli ascrivibili a crolli (mire blu e verdi grafico fig. 2.46) e i mega blocchi presenti nella matrice del deposito (mire rosse grafico fig.2.47). Dalle immagini e grafici seguenti si evince come su n°50 blocchi ascrivibili a crolli solo n°3 superino il metro cubo, per una media prossima a 0,2 m³. I mega blocchi nella matrice mostrano una volumetria nettamente maggiore prossima a 1,89 m³. In seguito, si riportano gli istogrammi inerenti ai volumi dei blocchi differenziando prima quelli ascrivibili a crolli e successivamente mettendo a confronto le volumetrie di quest'ultimi con quelli dei mega blocchi presenti nella matrice.

Come ricordato in precedenza le attività di coltivazione ai piedi delle pareti a seguito delle continue movimentazioni possono avere alterato significativamente tale dato. Nel complesso si osserva come le volumetrie più frequenti ascrivibili a crolli hanno una dimensione prossima ai 0,2 m³ e si collocano a ridosso della parete rocciosa con una frequenza maggiore nei primi 30-40 metri dal piede della stessa. Dato questo che si riflette con le simulazioni di scoscendimento massi 2D e 3D riportate in seguito.

In linea generale si rileva una frammentazione dei blocchi nelle fasi di rimbalzo e rotolamento lungo il pendio tanto che al piede della parete non si rilevano blocchi con dimensioni superiori ai 2 m³ e pertanto si ritiene rappresentativo un volume del blocco di progetto di 2 m³, con una variazione percentuale del volume del masso del 50% (vedi simulazioni a seguire).

¹⁰ Palmström A. (2001) - Measurement and characterization of rock mass jointing. In "In-situ characterization of rocks". Sharma V.M. and Saxena K.R. eds., A.A. Balkema, pp. 49-97.

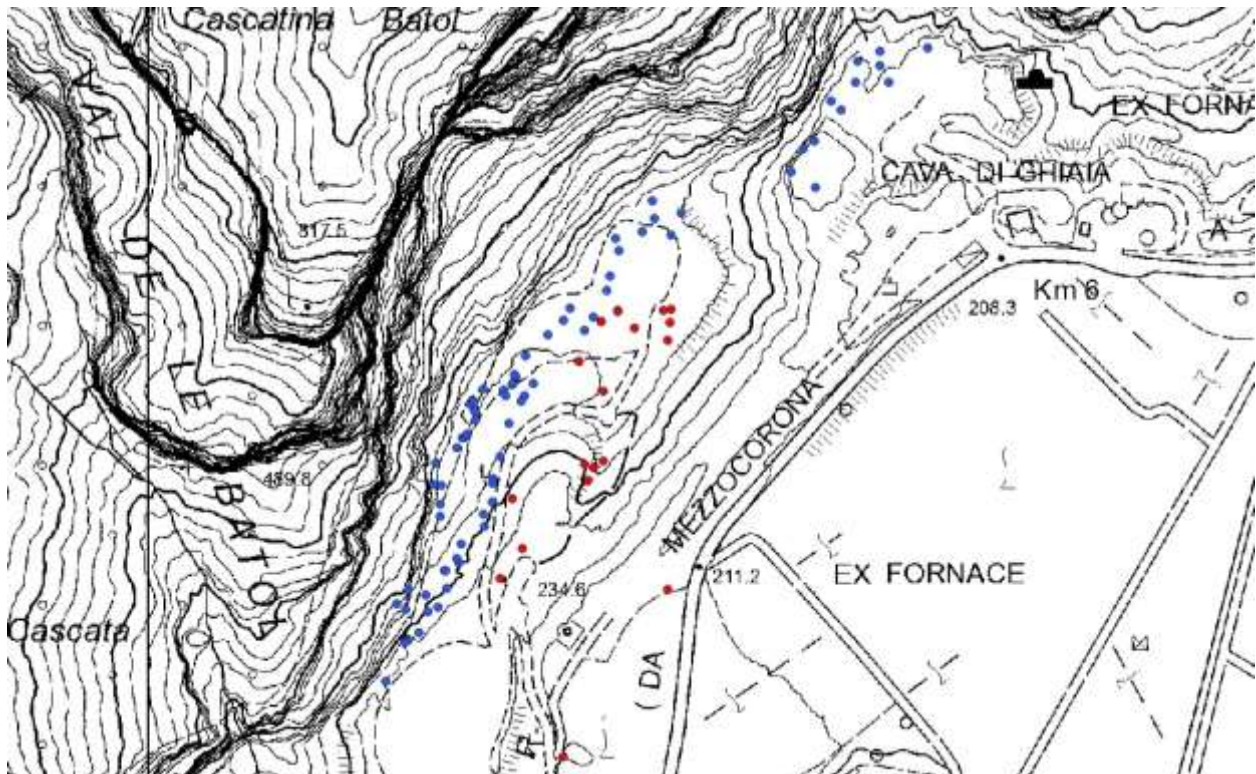


Fig. 2.46: massi rilevati ai piedi delle pareti rocciose; in blu quelli potenzialmente ascrivibili a crolli, in rosso i mega blocchi nella matrice del giacimento oggetto di coltivazione. Si osserva come i blocchi ascrivibili a crolli si arrestino ai piedi della parete rocciosa.

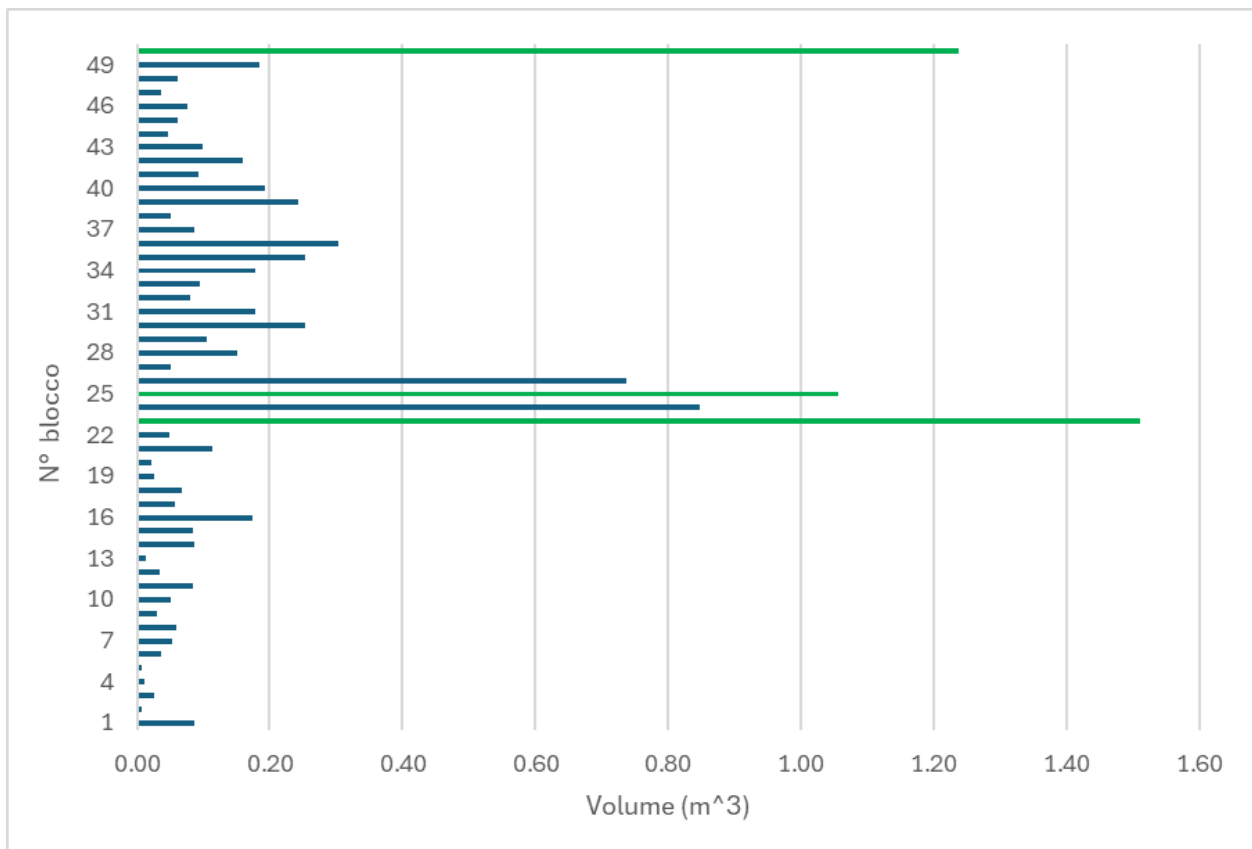


Fig. 2.47: volumi blocchi potenzialmente ascrivibili a crolli: in verde le volumetrie > 1 m³.

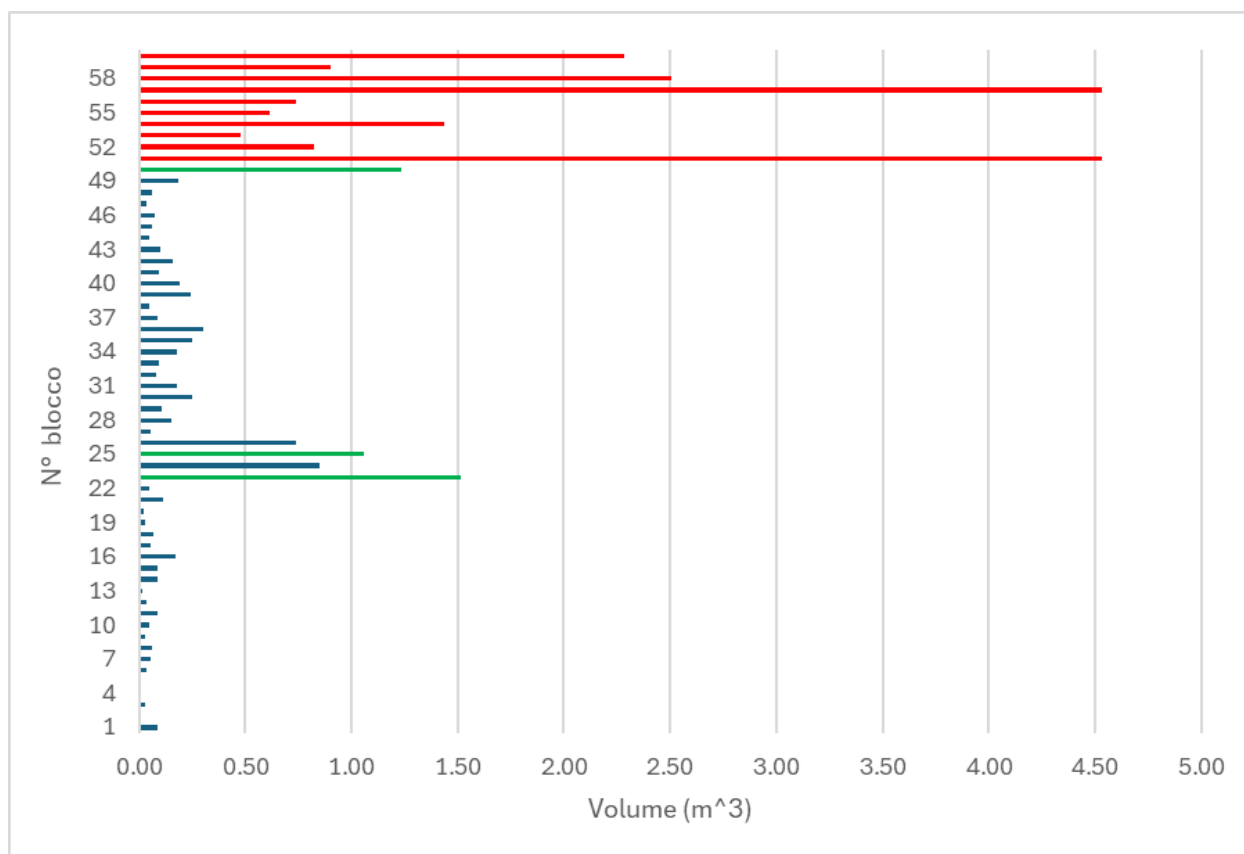


Fig. 2.48: volumi blocchi potenzialmente ascrivibili a crolli a confronto con mega blocchi nella matrice del giacimento oggetto di coltivazione.

2.11. STUDIO COMPATIBILITÀ DELL'INTERVENTO IN RELAZIONE ALLA CSP – ANALISI CADUTA MASSI

Al fine di limitare, per quanto possibile, le problematiche legate all'incertezza del fenomeno si sono effettuate delle simulazioni probabilistiche ed analisi statistiche in grado di meglio adattarsi all'incertezza del fenomeno sotteso di caduta massi. L'approccio tridimensionale consente di valutare, per una data zona sorgente, il grado di dispersione delle traiettorie lungo il versante in oggetto, evidenziando in modo più chiaro la massima distanza di espansione e le fasce entro cui tendono a convogliarsi i percorsi di caduta. Il codice di calcolo utilizzato è: **RocPro3D**: software intuitivo e integrato che supporta la maggior parte dei passaggi necessari per la modellazione stocastica tridimensionale di traiettorie di caduta massi. Si tratta di un'evoluzione del suo predecessore, il software PiR3D (Cottaz et al., 2010¹¹), che nel 2013 ha integrato un approccio ibrido lumped-mass.

2.11.1. SIMULAZIONE DI CADUTA MASSI 3D – ROCPRO3D

L'utilizzo di RocPro3D comprende sei fasi principali, sintetizzate nella seguente figura 2.49. Il codice consente di scegliere le equazioni traiettometriche dei blocchi nella formulazione lumped-mass o ibrida. Con la formulazione lumped-mass (LM), il blocco è

¹¹ Cottaz Y., Barnichon J.D., Badertscher N., Gainon F. (2010). PiR3D, an effective and user-friendly 3D rockfall simulation software: formulation and case-study application. In Rock Slope Stability Symposium, Paris.

strettamente assimilato a un punto materiale, che viene utilizzato per calcolare le interazioni geometriche (posizione d'impatto, scorrimento) con il terreno. In termini di cinematica, il blocco è quindi soggetto solo a traslazione, senza alcuna rotazione. Con la formulazione ibrida (LM-R, per Lumped-Mass - Rotation), il blocco è assimilato strettamente a un punto materiale per calcolare le interazioni geometriche (posizione di impatto, scorrimento) con il terreno. Tuttavia, in termini di cinematica, è soggetto a una rotazione (oltre che a una traslazione) perché ha esplicitamente una massa, una forma e una dimensione (diametro).

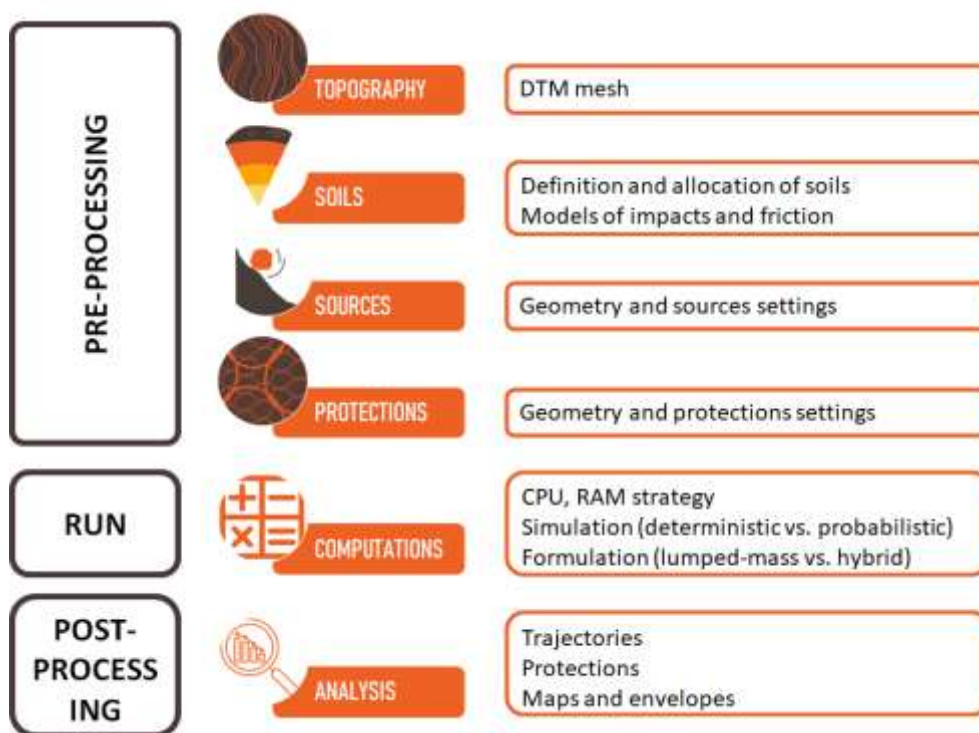


Figura 2.49: stages nell'utilizzo di RocPro3D.

2.11.2. DATI INGRESSO DI CADUTA MASSI 3D – ROCPRO3D

SCENARI

Viene valutata l'intensità del fenomeno utilizzando come base il dtm estratto dal rilievo Lidar 2014.

TOPOGRAFIA

Viene utilizzato il dtm estratto dal rilievo Lidar 2014 della PAT con maglia di 1x1 metri.

TIPOLOGIA DI SUOLI

La distribuzione della tipologia di suoli è riportata nell'immagine seguente (in allegato le simulazioni riportanti le immagini della distruzione dei suoli lungo il versante):

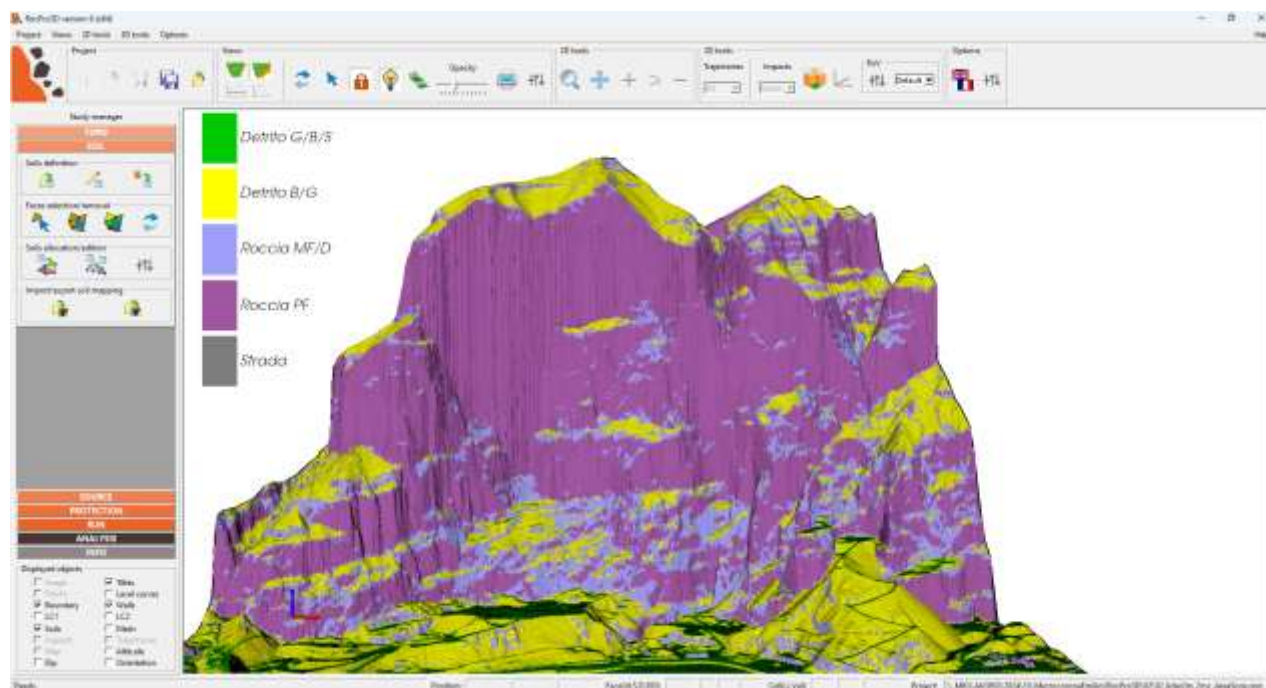


Fig. 2.50: distribuzione tipologia di materiale lungo l'area di studio.

I parametri geomeccanici delle tipologie di suolo utilizzate sono riportate nella seguente tabella:

Suolo	Rn	Rt	s_R	Rn(Vn)	m_k	b_lim	b_lim'
Detrito G/B/S	0.30	0.80	0.0048	10	0.9	2	30
Detrito B/G	0.31	0.81	0.016	10	0.9	2	30
Roccia MF/D	0.36	0.87	0.0125	10	0.75	1	25
Roccia PF	0.4	0.9	0.011	20	0.55	1	20

Tab. 1.5: Parametri geomeccanici delle differenti unità geologiche: coefficiente di restituzione normale (Rn), coefficiente di restituzione tangenziale (Rt), Deviazione standard (s_R), Modello di dissipazione dell'energia Rn (Vn), Parametri di rotolamento – Coefficiente di attrito m_k; Transizione free-fall - sliding/rolling angolo acuto (b_lim) e angolo ottuso (b_lim').

SORGENTE

Le caratteristiche del blocco di progetto sono riportate nella tabella seguente:

	Forma	Diametro (m)	Densità (kg/m³)	Volume medio (m³)	Variazione (Dm)	Volume min	Volume max	Peso min (kg)	Peso max (kg)
Blocco di progetto	Sfera	1.6	2600	2.145	50	1.072	3.217	2788	8364

Individuate le aree maggiormente critiche vengono lanciati **n°500 massi/m** con una **variazione percentuale del volume del masso del 50%**. La **velocità iniziale del blocco è di 0.5 m/s** con una **variazione del 10%**. L'**altezza di caduta iniziale è pari 0,0 metri**.

Nel caso in esame, considerata la morfologia della parete, sono state scelte delle sorgenti lineari poste lungo il ciglio dei settori verticali principali.

OPERE DI PROTEZIONE

In questa fase vengono ubicate delle tracce poste a multipli di 25 metri dalla parete.

CALCOLO

Viene utilizzata la **formulazione ibrida (LM-R, per Lumped-Mass - Rotation)** con un approccio probabilistico per i parametri fisici del suolo. Il punto di riferimento per l'altezza delle traiettorie è il centro della sfera.

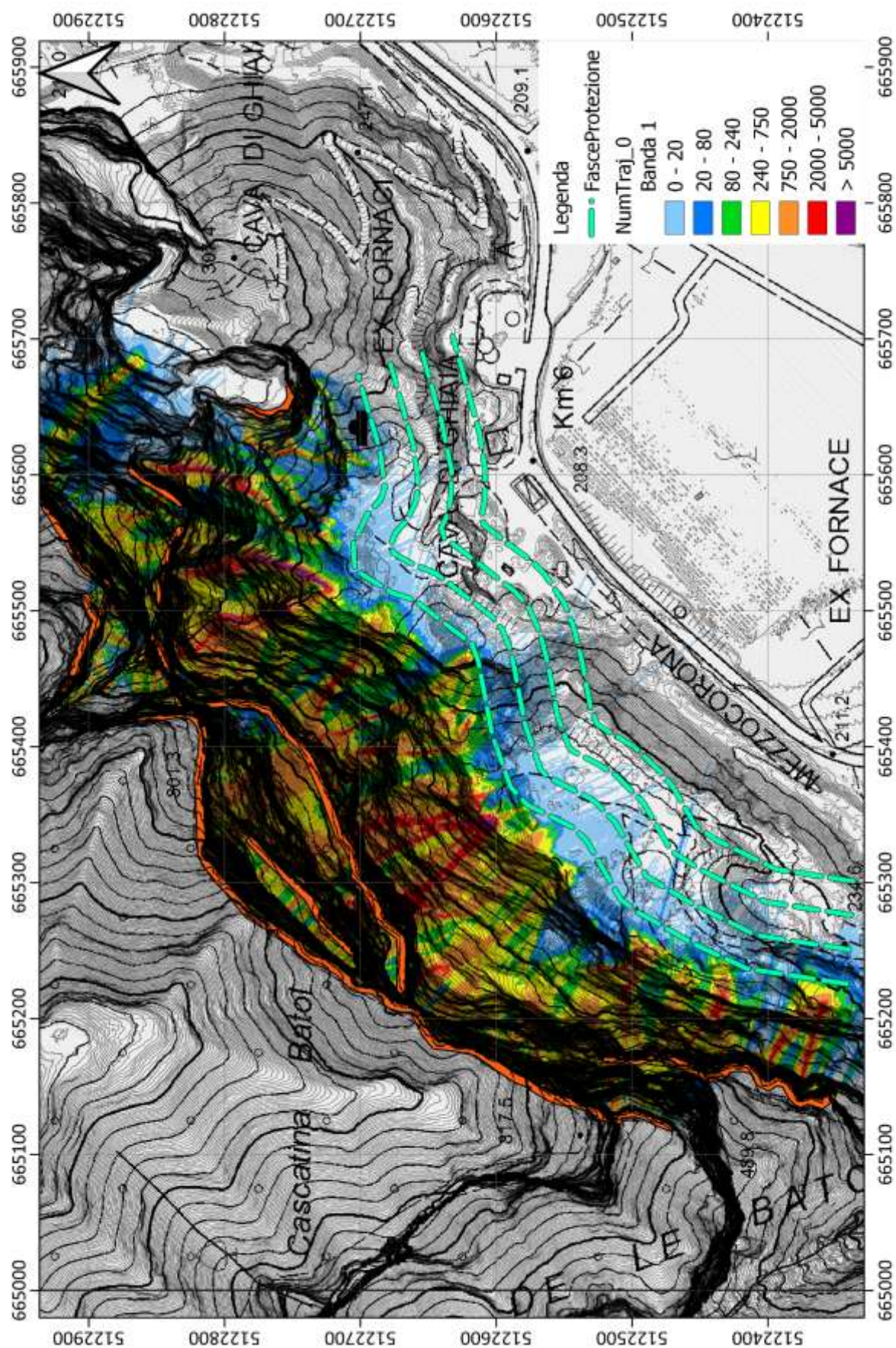
2.11.3. SINTESI RISULTATI MODELLAZIONE 3D

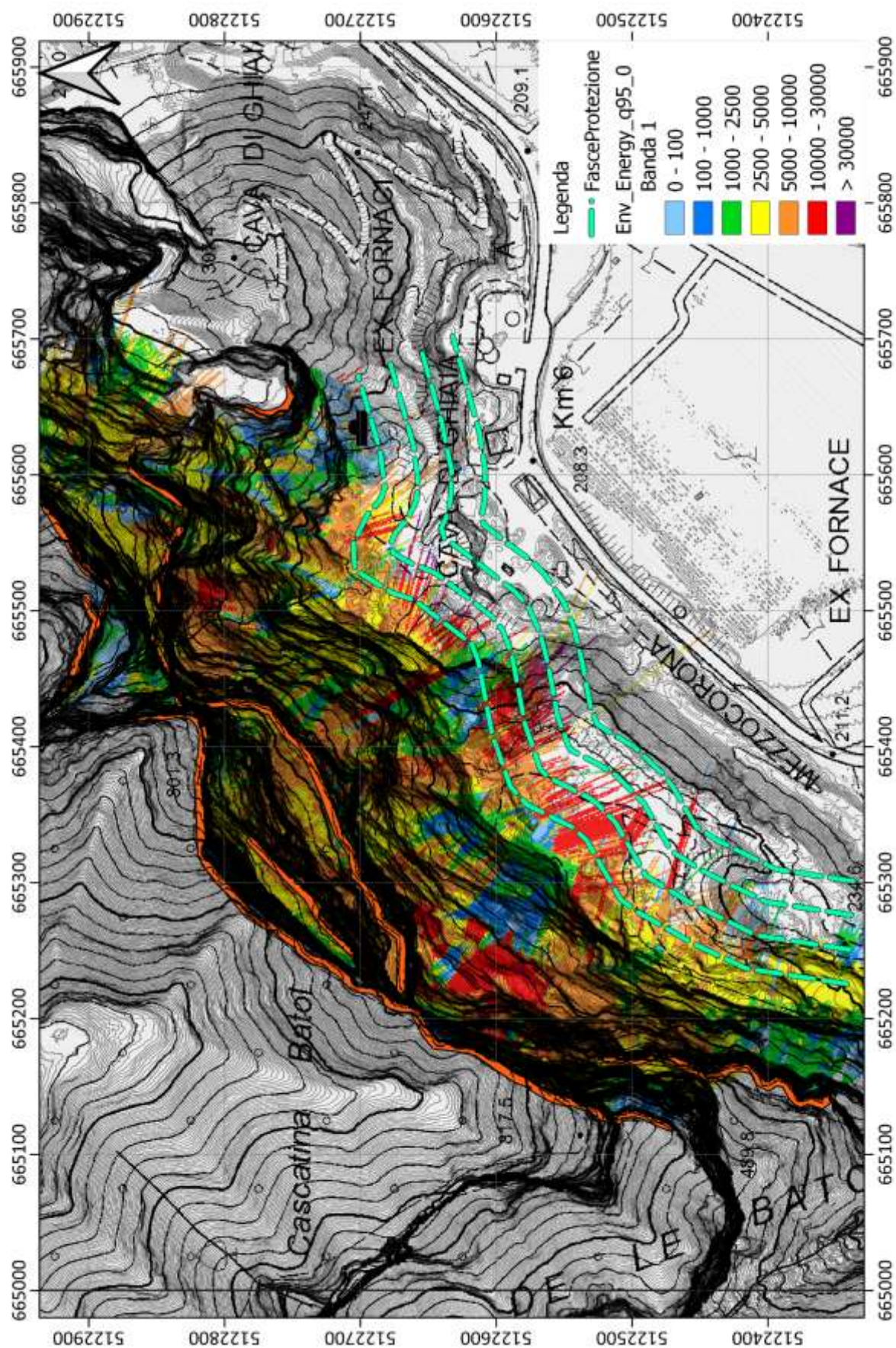
Di seguito si riportano le immagini relative alle modellazioni di caduta massi 3D. Si evince come le aree sorgenti siano state prese in corrispondenza delle creste sommitali e mediane dell'intera parete rocciosa sottesa alle aree di variante (linee arancioni). Tale assunzione risulta cautelativa viste le condizioni rilevate e descritte lungo le medesime. Sono state riportate in immagine delle sezioni di controllo (tratteggio azzurro parallelo alla parete equidistanti di 30 metri) le quali corrispondono a una ipotetica fascia di protezione contro i fenomeni gravitativi di sorta.

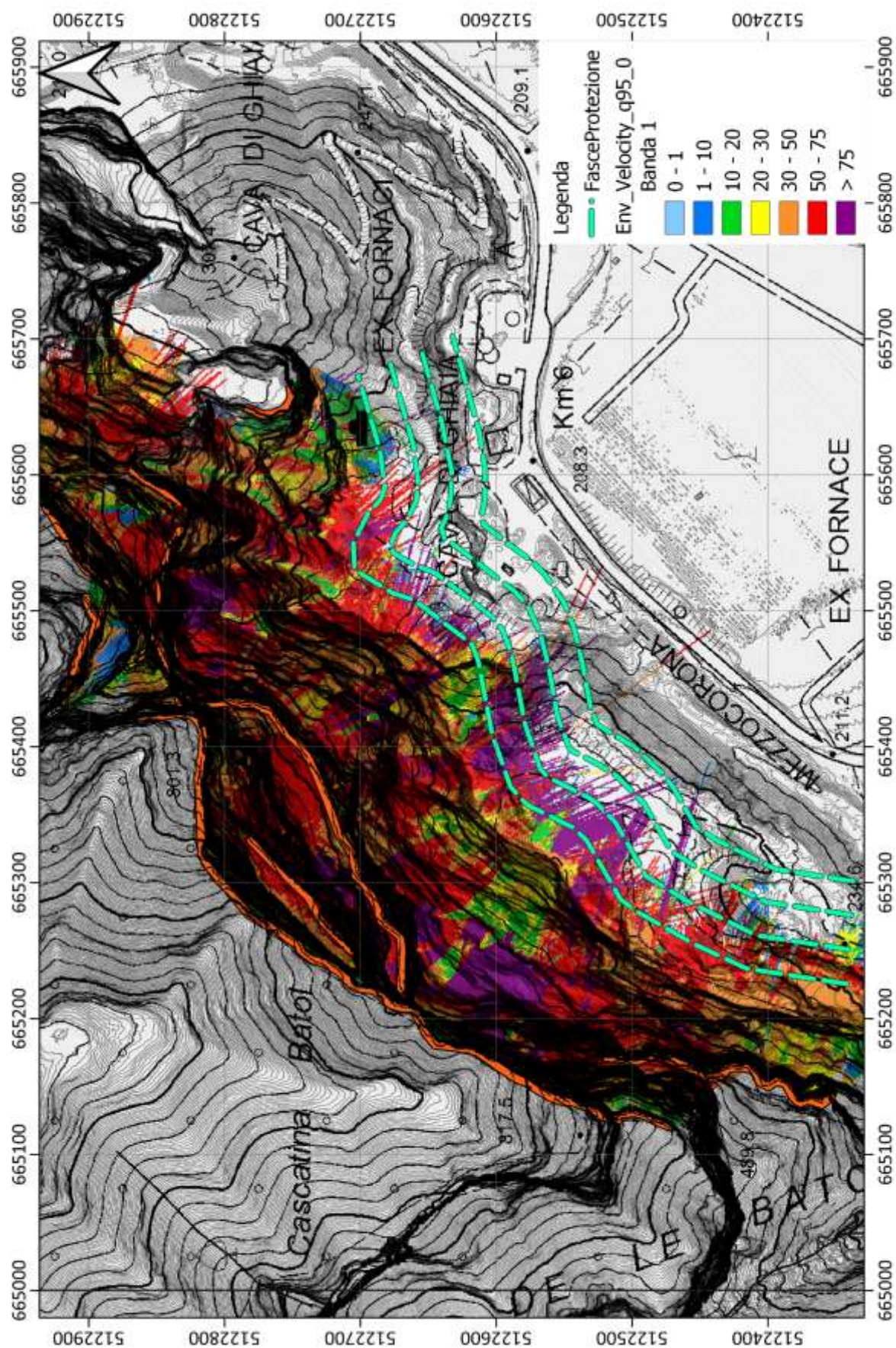
Dalle immagini a seguire, in particolare quelle relative all'arresto dei blocchi scosci, si evince come la maggior parte di essi si arrestino lungo la porzione di monte dei giacimenti attuali (a monte della linea di controllo n°1 o tra la n°1÷2° fascia), pertanto a ridosso del piede delle pareti rocciose per un tratto mediamente compreso tra i 20÷30 metri. Tale configurazione si mantiene pressoché invariata per l'intero giacimento del lotto L1(C1) e L2. Le pareti verticali e la presenza di depositi sciolti pianeggianti e/o sub-pianeggianti ne facilità, infatti, l'arresto all'impatto del masso in caduta libera limitandone notevolmente il rotolamento o il rimbalzo. Si evidenzia una maggiore criticità nella zona di transizione dei due giacimenti a causa della morfologia dei luoghi dove tale fascia viene traslata verso valle nell'area compresa tra la fascia n°2 e n°3 di controllo, a causa dei differenti livelli di coltivazione raggiunti (confine lotto L1(C1) e lotto L2).

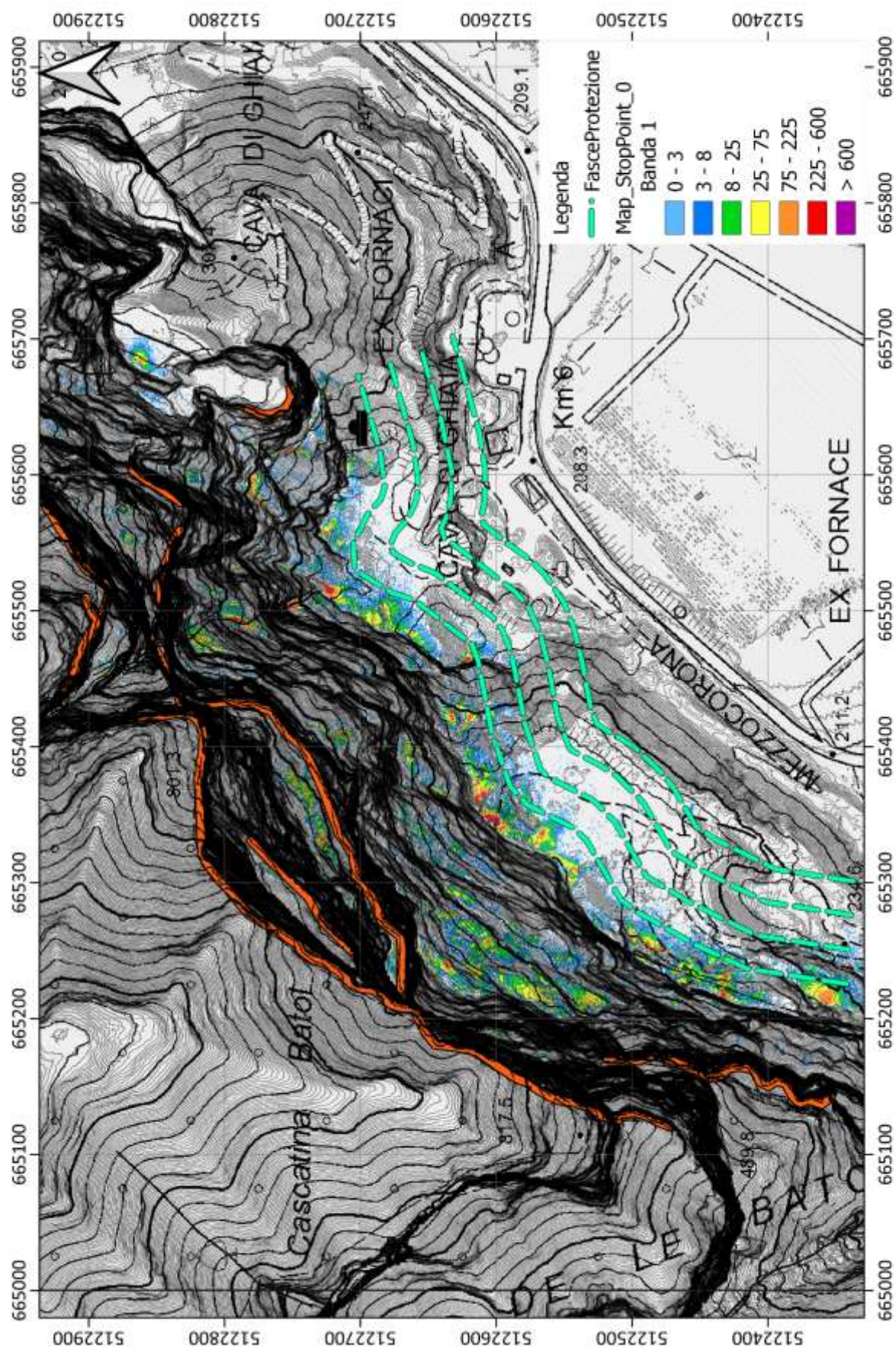
Lungo la terza fascia di controllo (50-60 metri dalle pareti) partendo da monte verso valle, si rileva come quasi la totalità dei blocchi si arresti prima che essi possano raggiungere tale fascia (< 95%). Lungo la fascia 4 che demarca sostanzialmente il limite tra l'area di coltivazione e l'area produttiva dei due lotti si rileva come non vi siano blocchi, ad eccezione di alcune isolate traiettorie cosiddette "proiettile" che risultano peraltro difficilmente prevedibili e modellabili anche da software 3D. Tali traiettorie (<< 99%) sono ben visibili nelle figure allegate in seguito (frequenza e distribuzione). In conclusione, si rileva come l'area delimitata tra la fascia di controllo numero 2 e 3 rappresenti ragionevolmente il limite oltre il quale transita meno del 5% dei blocchi simulati.

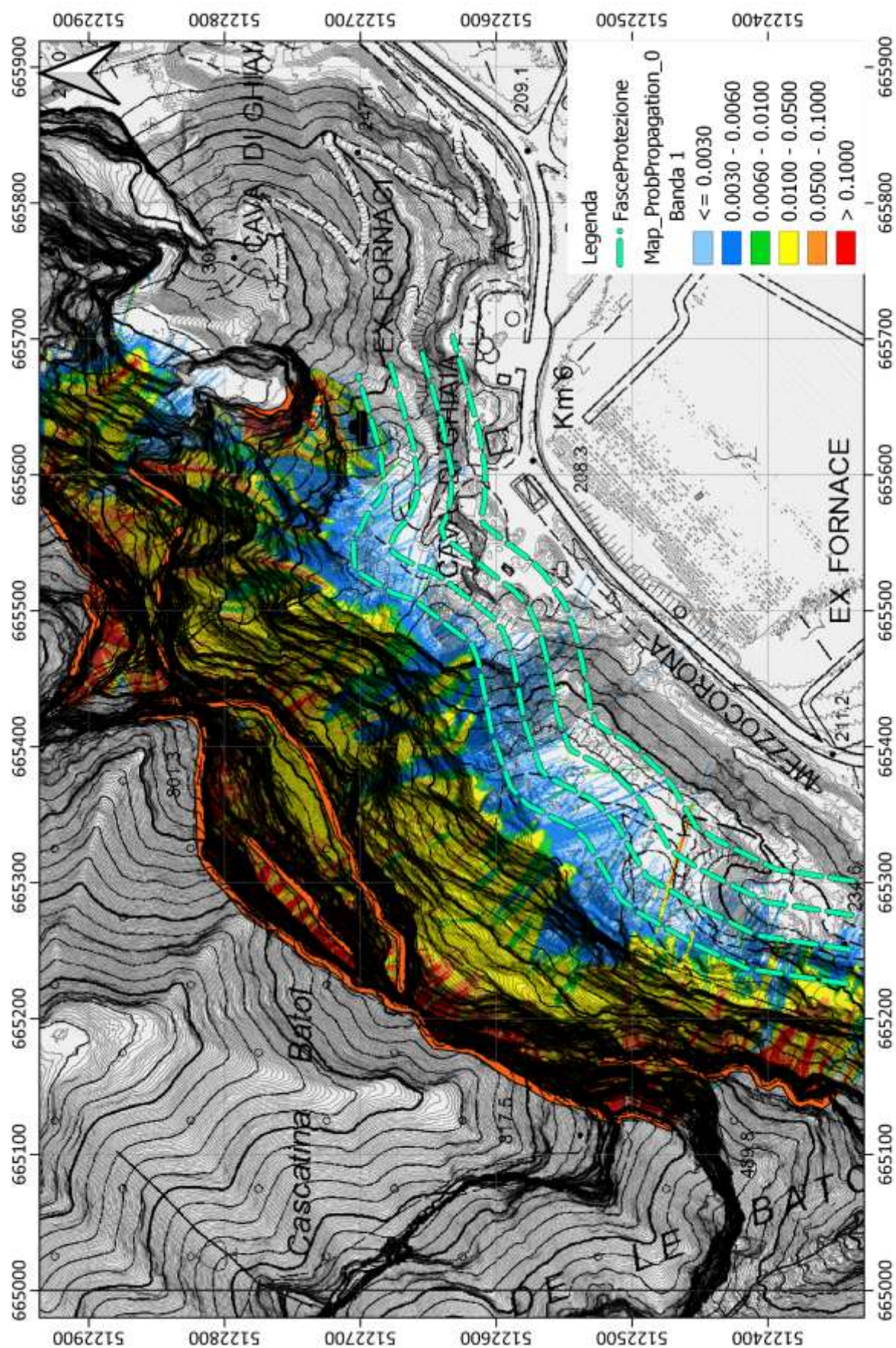
Tale constatazione consente di affermare come un eventuale opera di mitigazione quale vallo-tomo posta in corrispondenza della terza fascia ne garantirebbe l'arresto nei limiti di norma previsti, anche a seguito di un eventuale opera di ripristino ambientale lungo i giacimenti dei rispettivi lotti. In seguito, si riportano i risultati delle modellazioni bidimensionali per lo stato di fatto e di progetto finale post-ripristino.

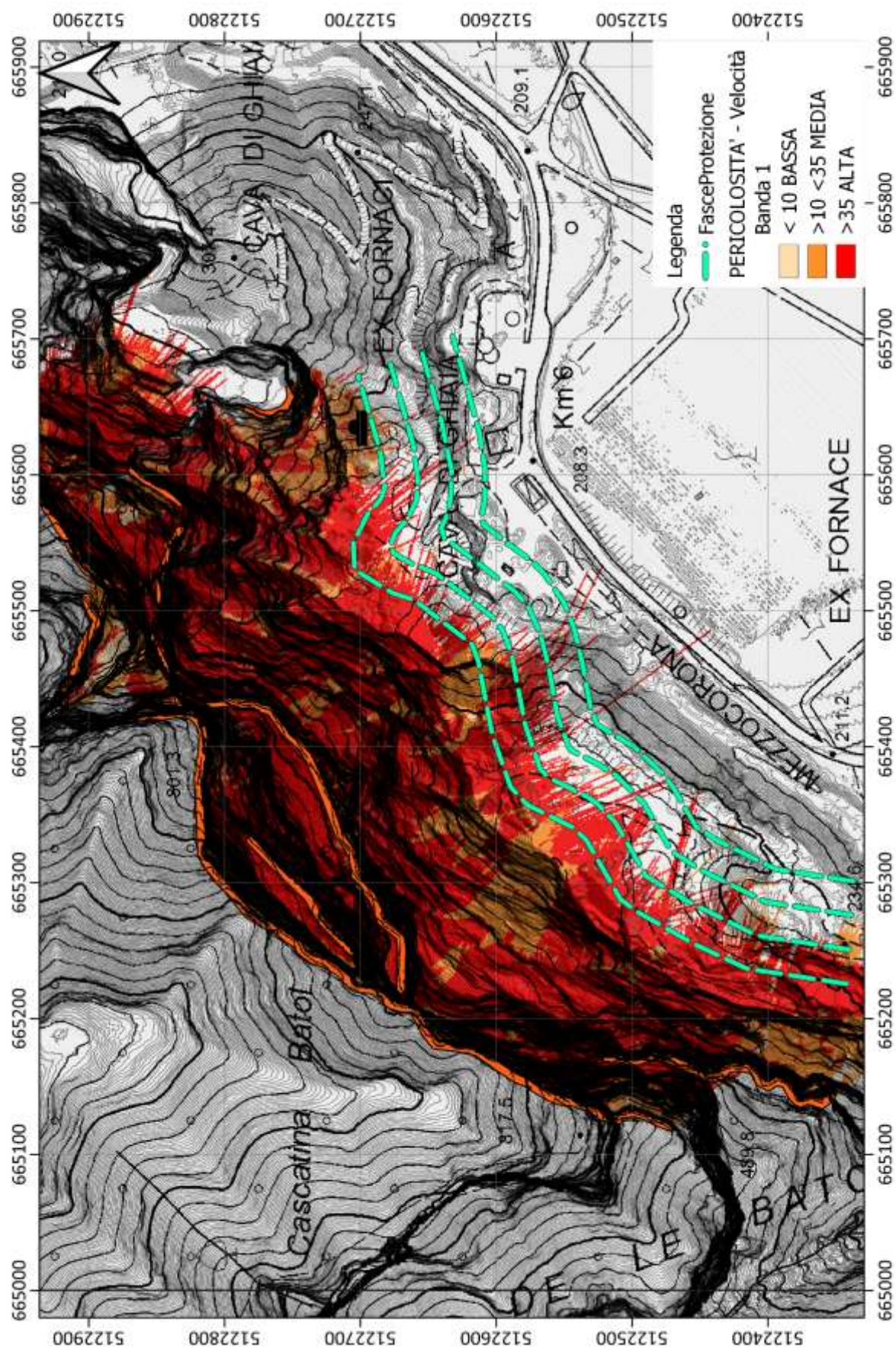


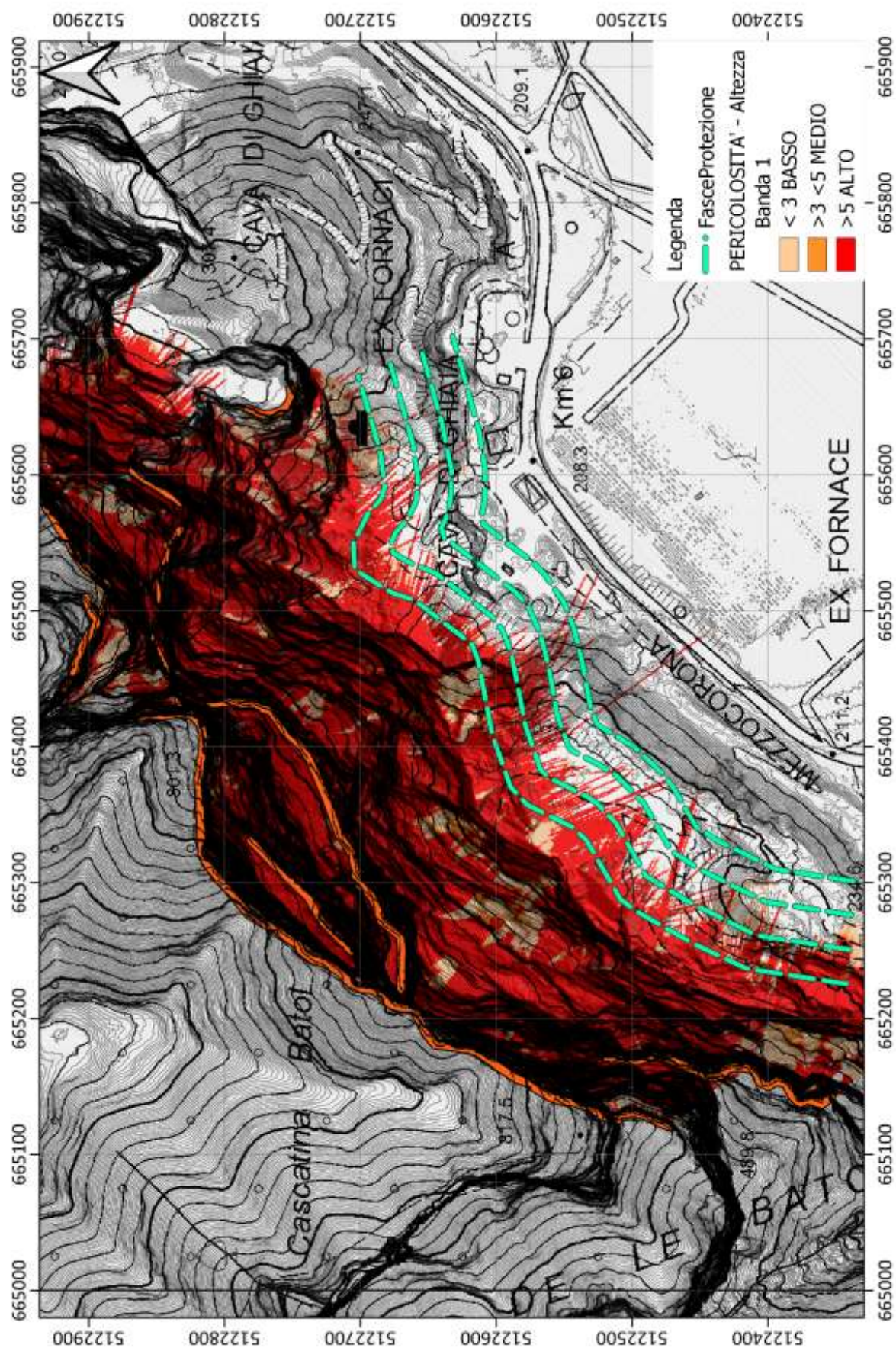












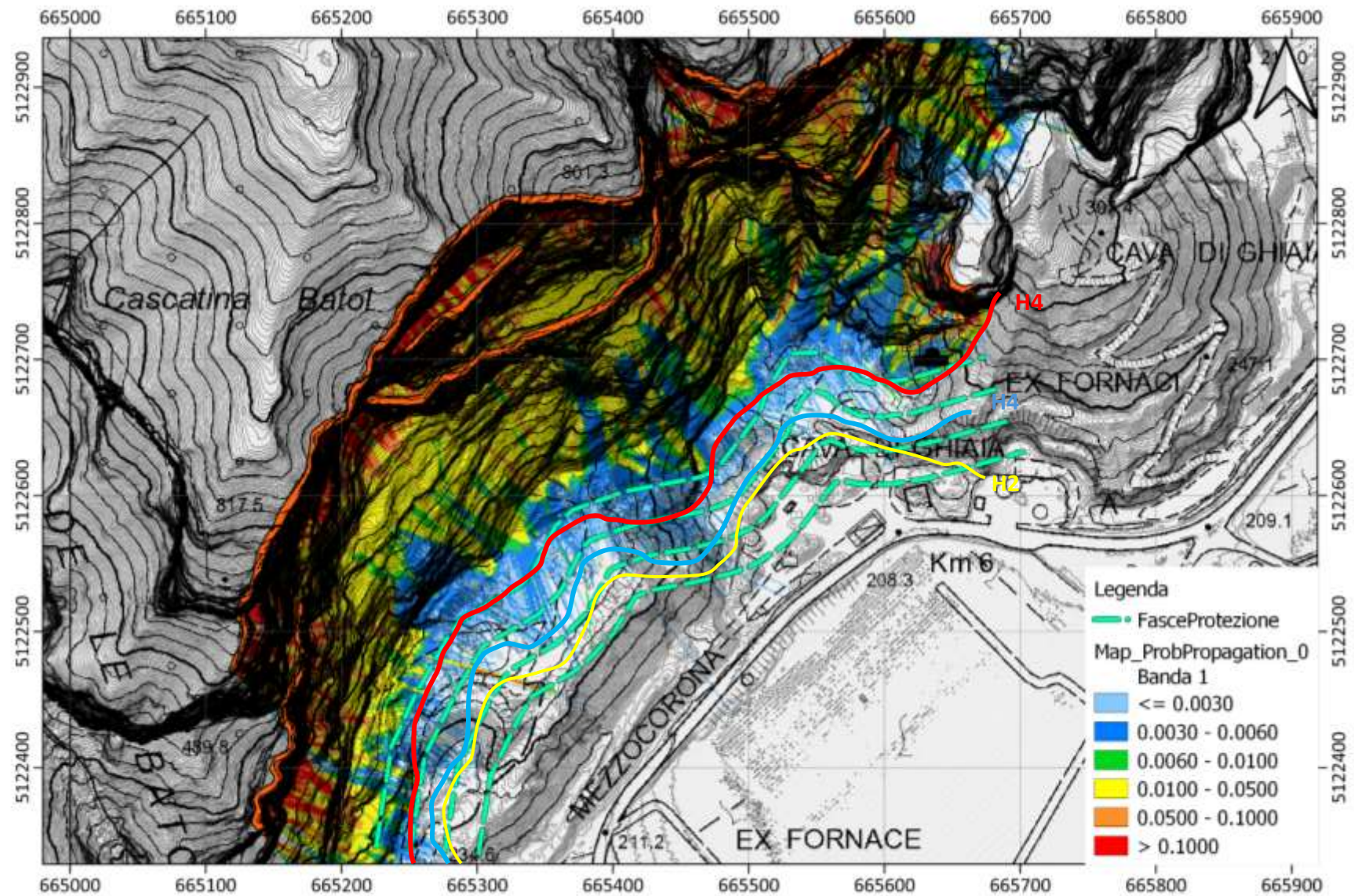


Fig. 2.51: sovrapposizione dei limiti della Carta di Sintesi della Pericolosità alla probabilità di propagazione delle traiettorie con proposta dei limiti delle classi di pericolosità.

2.11.4. VERIFICA SCOSCENDIMENTO MASSI 2D

Al fine di confrontare i risultati della modellazione 3D alle situazioni di campo riscontrate, nonché porre un ulteriore elemento di controllo sono state realizzate n° 5 sezioni 2D di controllo, perpendicolare all'intero versante ed al sedime dell'area dei lotti 1 e 2 dell'area cave. Lungo tali sezioni sono state effettuate delle verifiche geocinematiche di scoscendimento massi. In particolare, risultano significative le sezioni n°5 e n°3 realizzate in corrispondenza dei giacimenti oggetto di coltivazione (sezioni più gravose) in relazione all'andamento morfologico delle pareti rocciose e dei giacimenti oggetto di coltivazione. In allegato i report di entrambe le simulazioni nonché dei grafici significativi di traiettorie altezze, energie e velocità. In seguito, si riporta una sintesi dei risultati ottenuti.

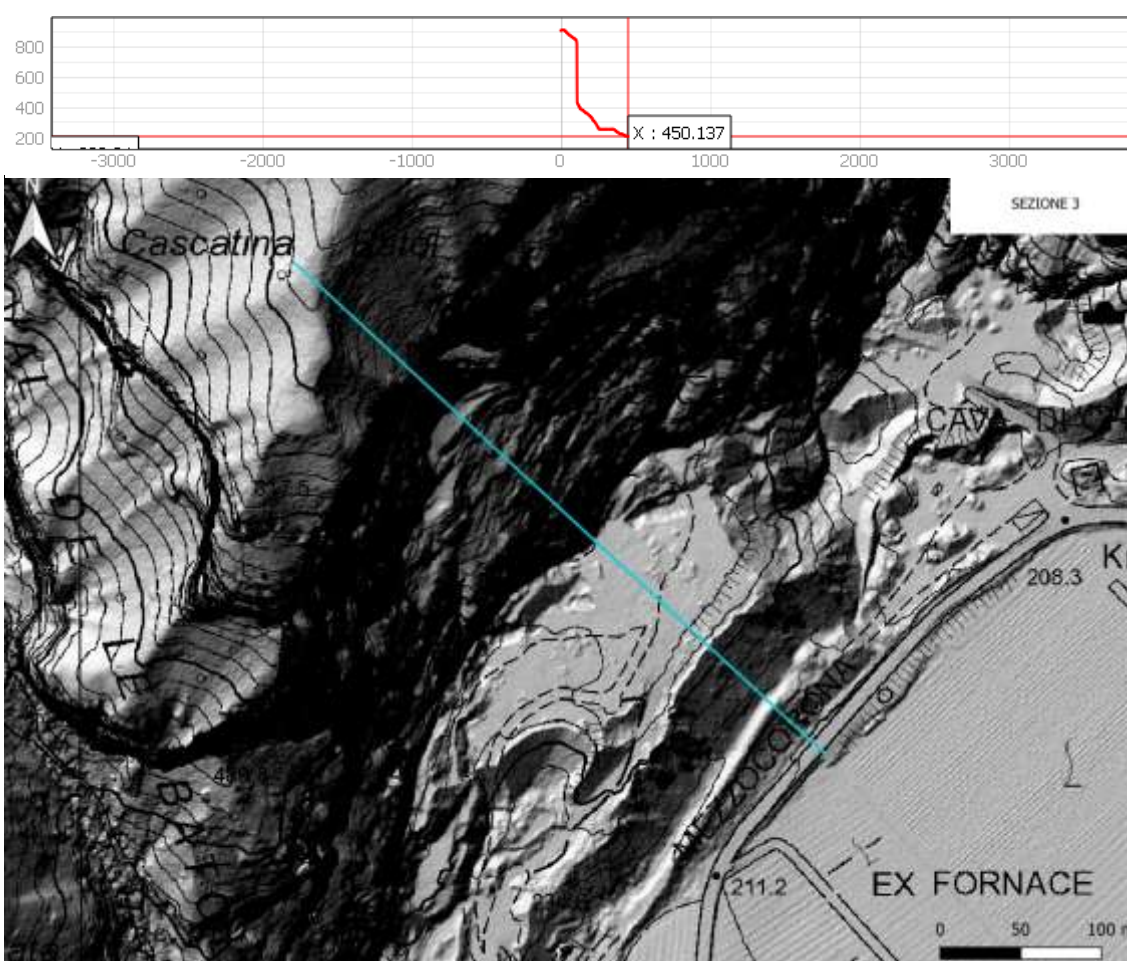


Fig. 2.52: traccia della sezione n°3 utilizzata per le verifiche di scoscendimento massi.

Lo studio dei parametri di caduta massi può essere effettuato, una volta noti la topografia, la zona di caduta, i volumi coinvolti ed il tipo di terreno presente, attraverso appositi codici di calcolo che consentono di "individuare", mediante interpolazione statistica, punti di arresto, energia, velocità ed altezza di rimbalzo dei massi in caduta nelle varie sezioni di studio. Il codice di calcolo utilizzato per le verifiche geocinematiche è il ROCFALL della ROCSCIENCE, software specifico per le verifiche rotolamento massi. Al momento è usanza comune ed accettata l'elaborazione computerizzata per l'analisi di fenomeni di

caduta massi; diversi metodi di calcolo del percorso di caduta di massi sono disponibili in letteratura.

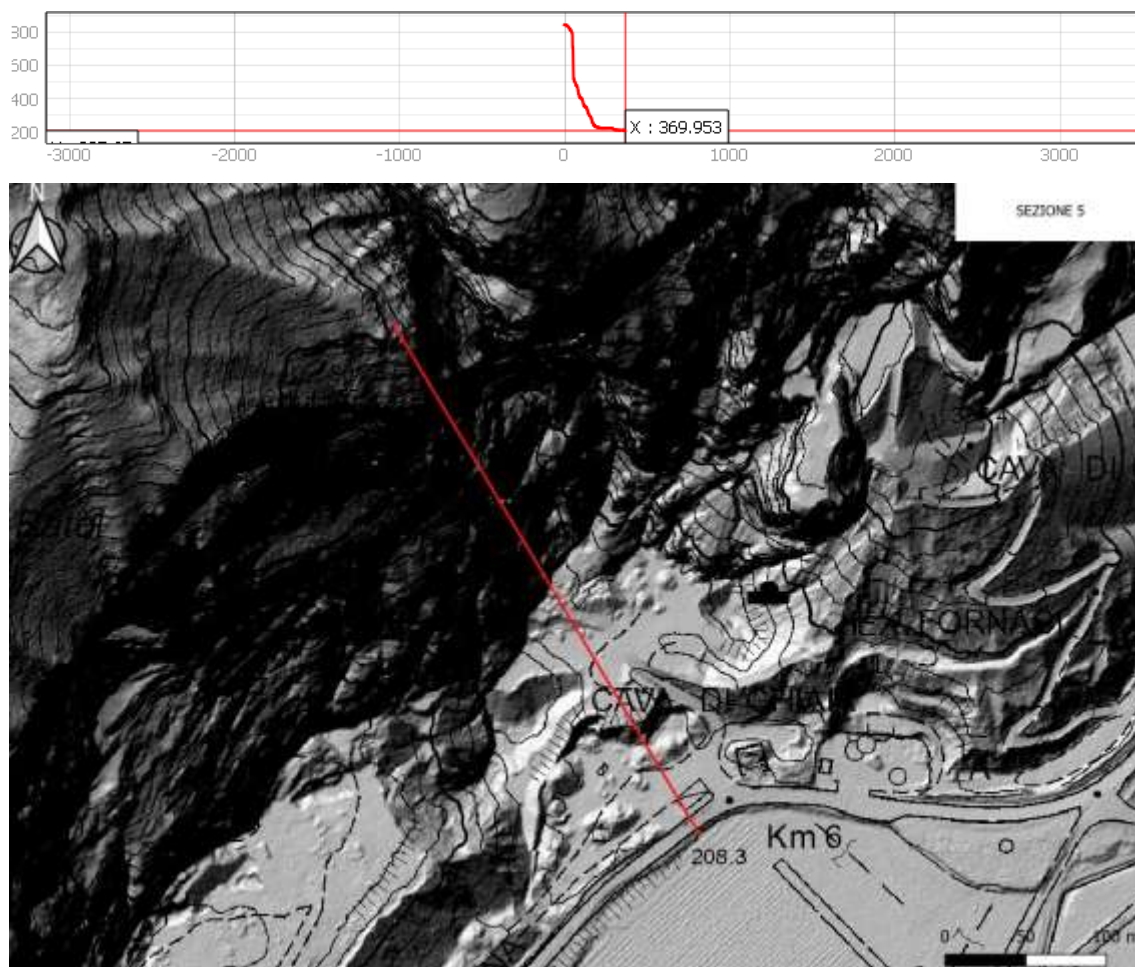


Fig. 2.53: traccia della sezione n°5 utilizzata per le verifiche di scoscendimento massi.

Essi si distinguono sulla base delle approssimazioni introdotte. Il metodo più semplice è definito modello del lumped mass, in quanto considera il blocco in caduta simulata come puntiforme con massa concentrata nel punto. Anche nel caso di studio di cadute simultanee di più massi, la consuetudine, ma anche i limiti imposti da elaborazioni al calcolatore con i metodi attuali, devono essere affrontati con l'approccio del lumped mass.

Il principio fondamentale è quello secondo cui un blocco, soggetto ad un movimento di caduta o rotolamento lungo un pendio, rispetta in ogni istante la condizione di massima efficienza del moto. Di conseguenza sia le traiettorie, sia il tipo di moto assunto durante il percorso sono quelli che determinano la minor perdita di energia cinetica.

Il rimbalzo è un movimento che può essere conseguente all'impatto di un blocco sul pendio. Gli urti sono classificati in elastico ed anelastico a seconda che in essi si conservi o meno l'energia cinetica. I coefficienti di restituzione possono essere determinati dal principio della conservazione della quantità di moto. Per urti completamente anelastici, $K = 0$, per urti completamente elastici $K = 1$. L'analisi sperimentale dei fenomeni che si osservano nell'urto di un masso su una scarpata ha evidenziato che le caratteristiche del moto successive all'impatto dipendono dalla forma del blocco, dalla geometria e rugosità del profilo del pendio nonché dalla quantità di energia dissipata nell'urto, quest'ultima legata alle caratteristiche meccaniche dei materiali costituenti la superficie d'impatto e del blocco in caduta, nonché all'angolo di incidenza. Le verifiche geocinematiche di crollo eseguite con il codice di calcolo Rocfall in 2D vengono simulate con l'inserimento di un VRU (volume

roccioso unitario)¹² considerato di 2,0 m³, applicando cautelativamente una variazione di volume così come riportato nella seguente tabella, in analogia ai valori utilizzati per la modellazione 3D.


Properties					
Name	Group 1				
Color					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Mass (kg)	5787.8	Normal	100	300	300
Density (kg/m3)	2600	Normal	0.15	0.45	0.45

Fig. 2.54: tabella delle caratteristiche VRU utilizzato nelle simulazioni di scoscendimento massi, in termini di densità e massa.

Per ottenere un risultato coerente con le aspettative derivanti dall'esperienza dello scrivente, nonché nell'ambito dell'osservazione di altri studi geologici eseguiti lungo il sito riportanti i risultati di un numero elevato di traiettorie durante le operazioni di disaggio, sono stati ottimizzati una serie di parametri. Questi parametri, grazie al setup del software, permettono di correlare il coefficiente di restituzione R_n dei vari "suoli" in funzione della velocità di impatto.

$$R_{ns} = \frac{R_n}{1 + \left(\frac{V_{rock}}{K}\right)^2}$$

Nel caso di una parete a sviluppo verticalizzato, costituita da una serie di tratti verticali raccordati da superfici inclinate, i blocchi in caduta libera possono raggiungere velocità di impatto elevate, superiori a quelle considerate "ordinarie". Si è osservato che i risultati più aderenti ai riscontri diretti, ottenuti anche tramite le osservazioni dei disaggi effettuati su queste pareti, sono stati ottenuti scalando il coefficiente R_n in funzione della velocità, utilizzando la variabile K .

Esplicitando il concetto, possiamo dire che, a velocità relativamente basse, ci si potrebbe aspettare che un masso rimbalzi su terreni morbidi. A velocità più elevate, tuttavia, lo stesso masso affonda maggiormente nel terreno prima di rimbalzare. In questi casi, il valore effettivo di R_n diminuisce all'aumentare della velocità, e questo è ciò che l'equazione cerca di catturare.

Al contrario, a velocità molto elevate e in presenza di impatti su suolo rigido, massi composti da materiale con resistenza a trazione non particolarmente elevata, come nel caso dei calcari, subiscono una frantumazione significativa. Tuttavia, questo fenomeno non può essere computato con i software comunemente utilizzati, che adottano modelli a massa concentrata (lumped mass) o a blocco rigido dimensionato, poiché questi non considerano la riduzione della massa del blocco durante la generazione della traiettoria dei rimbalzi su superficie rigida. Inoltre, come insegna l'esperienza, in caso di frammentazione, la traiettoria di uscita degli elementi risultanti non segue spesso le leggi della restituzione di energia in campo elastico.

Pertanto, l'introduzione della variabile K a 15 m/sec¹³ offre "rimbalzi" più realistici nell'ambito del problema in esame. Nei casi di pareti ad elevato sviluppo verticale, come quelli riportati in Figura 2.55, si nota che le traiettorie risultano maggiormente disperse nella simulazione di sinistra, nella quale il coefficiente R_n non viene scalato in funzione della

¹² In analogia alle simulazioni 3D riportate in precedenza per il blocco di progetto.

¹³ Il software utilizza una velocità media pari a 9.81 m/s. L'utilizzo di un valore prossimo a 15 m/s appare ampiamente cautelativo.

velocità, rispetto a quanto mostrato a destra, dove R_n viene scalato. La dispersione, causata da rimbalzi poco realistici, aumenta con l'aumentare della velocità di impatto. Di conseguenza, le traiettorie appaiono più evidenti alla base del versante, dove si generano rimbalzi che superano i 60-70 metri di altezza. Tuttavia, confrontando questi valori con quanto rilevato durante su campo e dalle informazioni intraprese per le operazioni di disaggi eseguite dal concessionario, risulta che tali rimbalzi sono inesistenti e quindi decisamente "fuori scala".

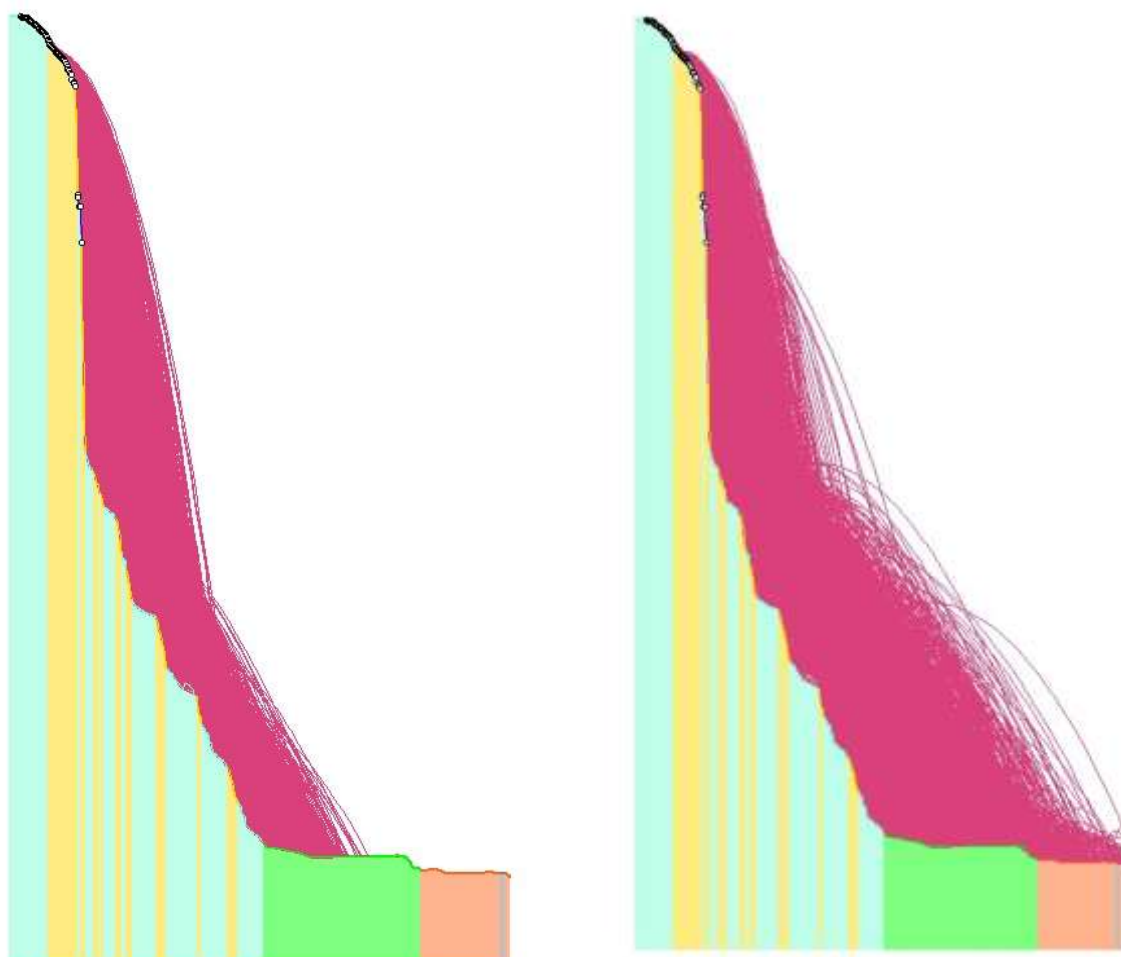


Fig. 2.55: confronto tra due simulazioni simili tranne che per come viene calato il coefficiente R_n . A sinistra nessuna riduzione. A destra il parametro R_n viene scalato in funzione della velocità.

Alla luce di quanto detto, la simulazione di destra appare quella più coerente con le aspettative. Pertanto, nelle simulazioni effettuate, si tiene conto di questa correzione. Questo principio assume un valore generale nell'approccio adottato.

Per quanto riguarda i valori dei coefficienti R_n (coefficiente di restituzione normale) e R_t (coefficiente di restituzione tangenziale), sulla base di quanto osservato in sede dei sopralluoghi condotti, rilievi drone e dei dati bibliografici disponibili, per i vari tratti del versante sono stati adottati i valori di riferimento codificati RocFall, applicando cautelativamente delle variazioni a tali valori in analogia ai valori utilizzati per le modellazioni 3D. Per simulare, seppur in modo approssimativo, le massime gittate che possono verificarsi in caso di frammentazione di un blocco in caduta, i valori di R_n sono stati mantenuti nella parte alta del range (0,36-0,40) per quanto riguarda la condizione di impatti su roccia fessurata, come quella in esame. In questo modo, si cerca di simulare le gittate che potrebbero corrispondere alle massime distanze di impatto al suolo, in relazione

al processo di frammentazione appena descritto. In seguito, si riportano alcuni dei valori di R_n e R_t dei materiali più significativi in allegato i report con tutti i dati di input del modello per le relative sezioni di controllo.




"Limestone clean" Properties					
Color					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.4	Normal	0.04	0.12	0.12
Tangential Restitution	0.9	Normal	0.03	0.09	0.09
Friction Angle (°)	22	None			
Slope Roughness (°)		None			
"Limestone weathered" Properties					
Color					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.36	Normal	0.04	0.12	0.12
Tangential Restitution	0.87	Normal	0.04	0.12	0.12
Friction Angle (°)	10	None			
Slope Roughness (°)		None			
"Talus Cover" Properties					
Color					
	Mean	Distribution	Std.Dev.	Rel. Min	Rel. Max
Normal Restitution	0.31	Normal	0.04	0.12	0.12
Tangential Restitution	0.81	Normal	0.04	0.12	0.12
Friction Angle (°)	12.38	None			
Slope Roughness (°)		None			

Fig. 2.56: tabella materiali e relativi coefficienti R_n e R_t utilizzati nelle simulazioni di scoscendimento massi.

Allo scopo di discriminare con ampio margine di sicurezza la pericolosità dell'area, contrariamente a quanto rilevato in sede di indagine, le verifiche sono state comunque effettuate considerando "sorgente" di crollo entrambe le porzioni sommitali e mediana del versante sia in condizioni di parete rocciosa affiorante che in sub-affioramento (blocchi isolati). **Le analisi effettuate considerano per ogni tratto sorgente 1000 massi in distacco** (totale di 1000 o 2000 lungo le relative sezioni di controllo in funzione dei tratti sorgenti in esame). In seguito, si riportano i grafici caratteristici delle traiettorie dei 1000 blocchi simulati lungo la sezione di progetto n°3, e delle relative altezze di volo, energie e velocità. L'output completi del programma di calcolo relativo alle verifiche sono allegati al termine della relazione. Si osserva come la maggior parte dei blocchi si arrestano tra la progressiva 190-260, pertanto prima di raggiungere l'area produttiva di lavorazione. Tale dato risulta analogo anche per le altre sezioni di verifica lungo entrambi i lotti in esame.

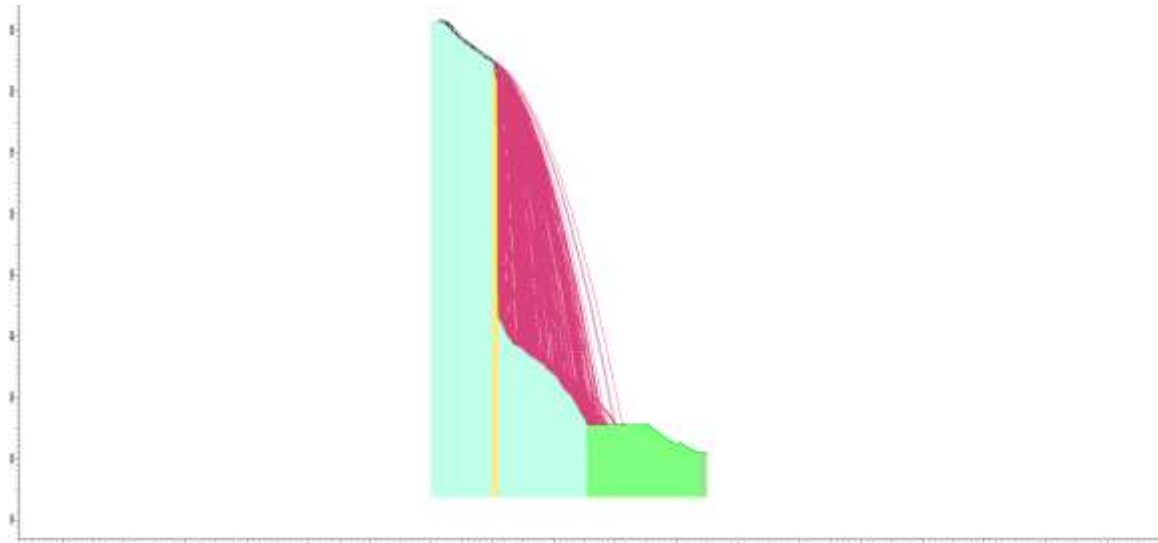


Fig. 2.57: traiettorie lungo la sezione di controllo n°3 dei 1000 per area sorgente dei blocchi simulati.

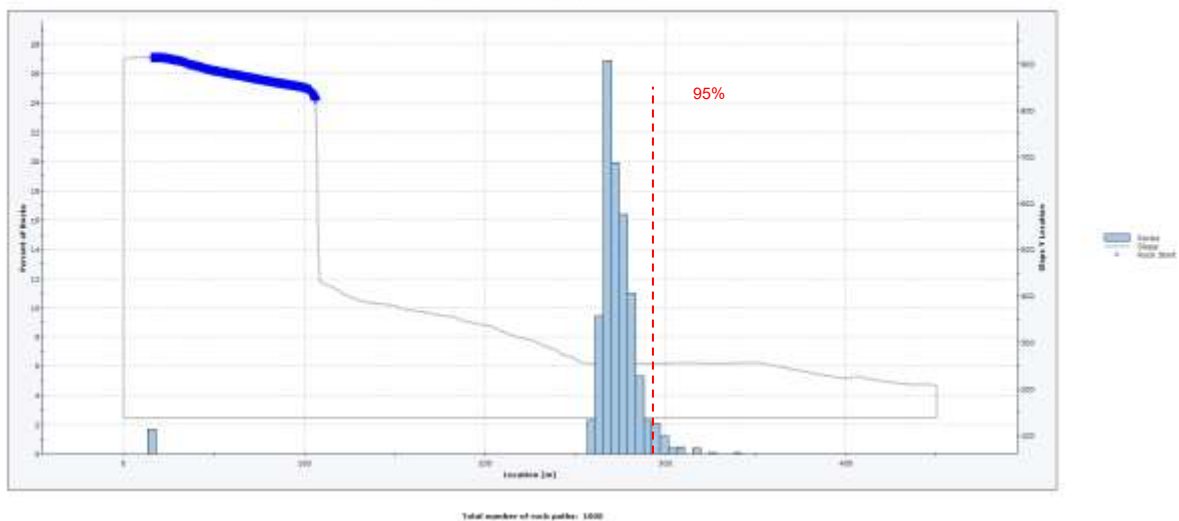


Fig. 2.58: distribuzione delle zone di arresto in percentuale (%) dei 1000 blocchi simulati per la sezione n°3 di controllo.

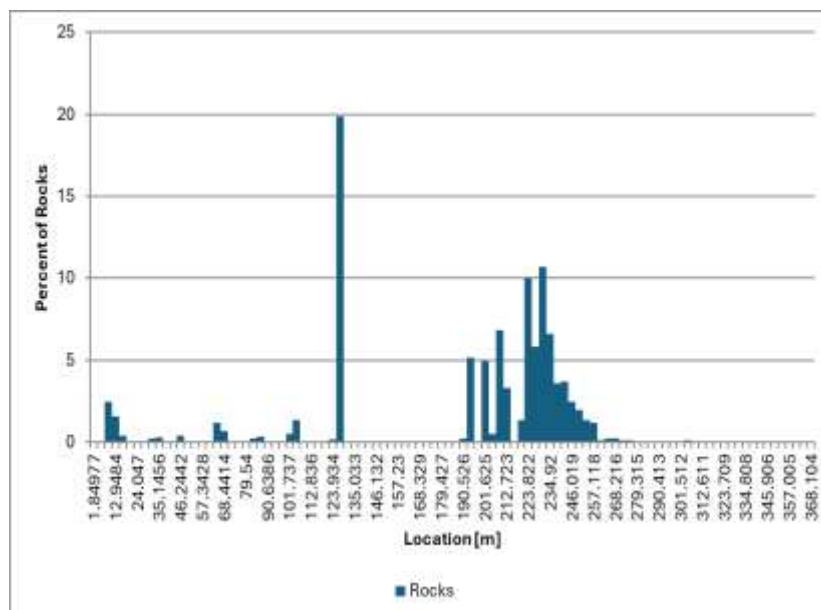


Fig. 2.59: distribuzione delle zone di arresto in percentuale (%) dei 1000 blocchi simulati della sezione n°3.

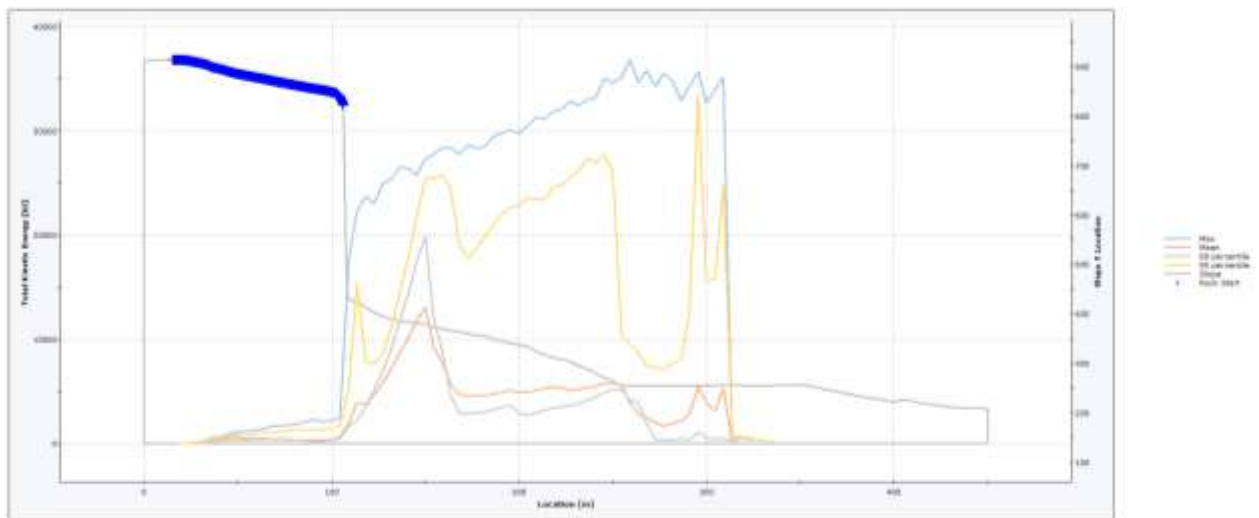


Fig. 2.60: grafico delle energie dei 1000 blocchi simulati. Si riporta il frattile del 95% delle energie calcolate nelle analisi delle traiettorie.

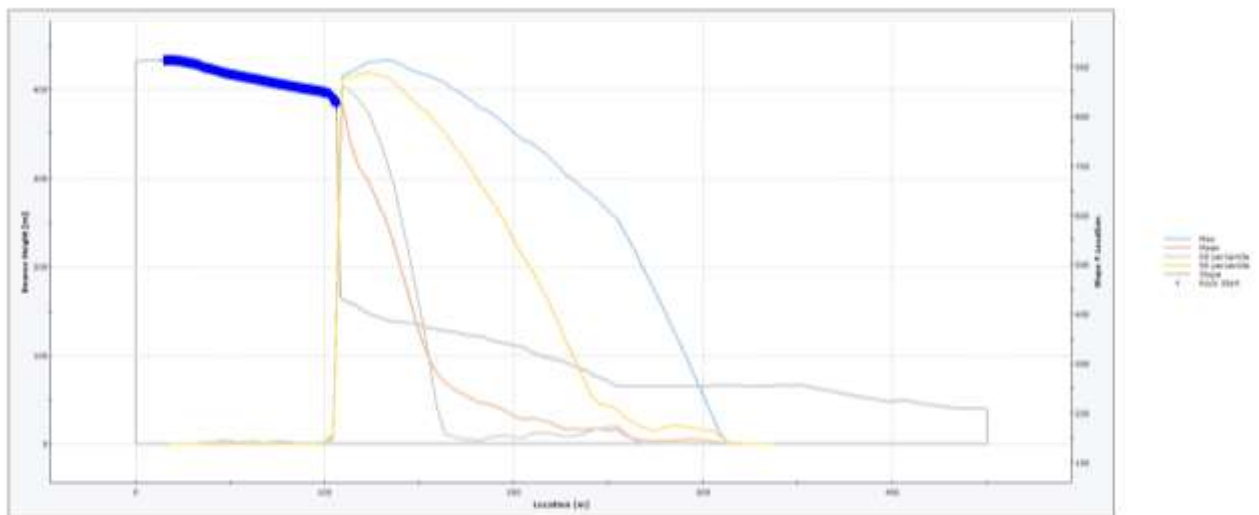


Fig. 2.62: grafico delle altezze di volo dei 1000 blocchi simulati. Si riporta il frattile del 95% delle altezze calcolate nelle analisi delle traiettorie.

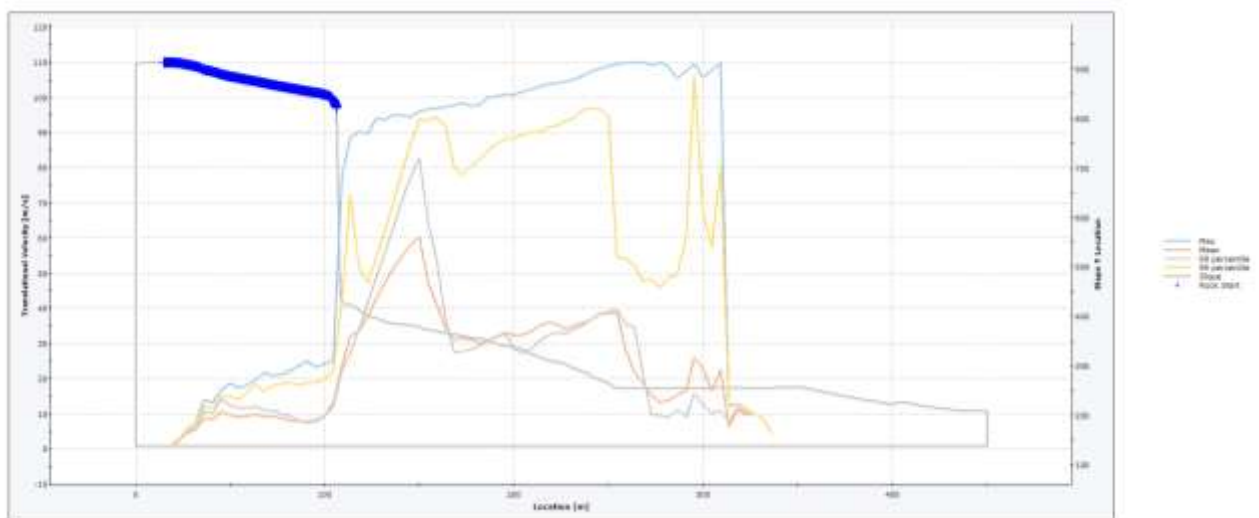


Fig. 2.63: grafico delle velocità di volo dei 1000 blocchi simulati. Si riporta il frattile del 95% delle altezze calcolate nelle analisi delle traiettorie.

In conclusione, è possibile constatare come le verifiche di scoscendimento massi mostrano come il 95% dei massi non raggiunga l'area produttiva, con una maggiore frequenza di impatto e arresto nei primi 50-60 metri ai piedi delle pareti rocciose. Tali verifiche rispecchiano dunque le evidenze di campo che hanno mostrato come la quasi totalità dei blocchi scosci si sia arrestato lungo il piede delle pareti rocciose caratterizzati peraltro dalla presenza di materiale di riporto soffice disteso su ampi gradoni. Le stesse energie e altezze di volo dei blocchi sono contenute, indicative di un moto dei blocchi tendenzialmente radente al suolo. **I risultati dell'analisi hanno dunque evidenziato, allo stato attuale, come l'assetto del pendio a monte del sito, le condizioni degli affioramenti rocciosi e dei potenziali volumi instabili, ne garantiscono l'arresto della caduta dei blocchi prima che possano raggiungere l'area produttiva (< al 95% come da norma UNI) rimanendo all'interno dell'area destinata alla coltivazione e successivamente al ripristino ambientale del giacimento.**

Le analisi bidimensionali rispecchiano quindi i risultati delle modellazioni tridimensionali di caduta massi. I risultati ottenuti, che rappresentano comunque sempre una stima cautelativa nell'ambito di una sperimentazione basata sull'osservazione di una moltitudine di traiettorie durante le attività di disgaggio rilevate dal gestore durante gli anni di attività di coltivazione, ci soddisfano abbastanza in relazione alle aspettative di attendibilità. Riteniamo che forniscano indicazioni utili su come affrontare una condizione strettamente legata al rischio residuo, in particolare per quanto riguarda il problema dei crolli. Nel capitolo successivo, una rivisitazione degli esiti delle simulazioni ci offre elementi per orientare l'adozione di una destinazione urbanistica che preveda la differenziazione delle attività in funzione della vulnerabilità delle attività stesse, nonché delle opere di mitigazione da adottare per il completamento del piano cave in seguito alle opere di ripristino ambientale.

2.12. VALUTAZIONI DELLE OPERE IN RELAZIONE AI FENOMENI SOTTESI

In relazione alla morfologia dei giacimenti esistenti si evince come ci sia una differenza di quota tra il lotto L1(C1) e il lotto L1 a causa della presenza di un substrato roccioso meno profondo lungo l'intero basamento del giacimento del lotto L1 (vedi analisi dei giacimenti riportati in precedenza). Tale aspetto, in relazione alle opere di ripristino ambientale previste, pone quindi la necessità di realizzare due spezzoni di vallo-tomi lungo circa la fascia di controllo numero tre del lotto L1(C1) e tra la terza e quarta del lotto L1 adottata nelle verifiche di scoscendimento massi 3D, pertanto in corrispondenza tra l'attuale area di coltivazione di cave e l'area produttiva. Si è quindi proceduto alla verifica dello stato di progetto lungo la situazione più gravosa; pertanto, per vicinanza delle pareti all'opera di mitigazione vallo-tomo che per il caso di studio coincide con l'attuale deposito posto in corrispondenza del lotto L1(C1), pertanto lungo la sezione 5 di verifica utilizzata nelle precedenti verifiche 2D di scoscendimento massi e la sezione 3. Si è dunque replicato la simulazione di caduta massi lungo tali sezioni inserendo le opere di ripristino e l'opera di mitigazione vallo-tomo che si rende necessaria ai fini della nuova morfologia dei luoghi e per il recupero dei limi derivanti dalle lavorazioni di cava, mediamente prossime a 8÷10% del materiale cavato.

I risultati delle simulazioni vengono riportati nelle specifiche tavole allegate e report, dove si riporta anche la sovrapposizione dei tomi di progetto rispetto alla zonazione della carta di pericolosità specifica. Si riportano in seguito alcuni estratti significativi della sezione 5 di progetto ritenuta la più gravosa per morfologia della parete e minore distanza tra le medesime e l'opera di mitigazione, nonché dell'area produttiva sottostante.

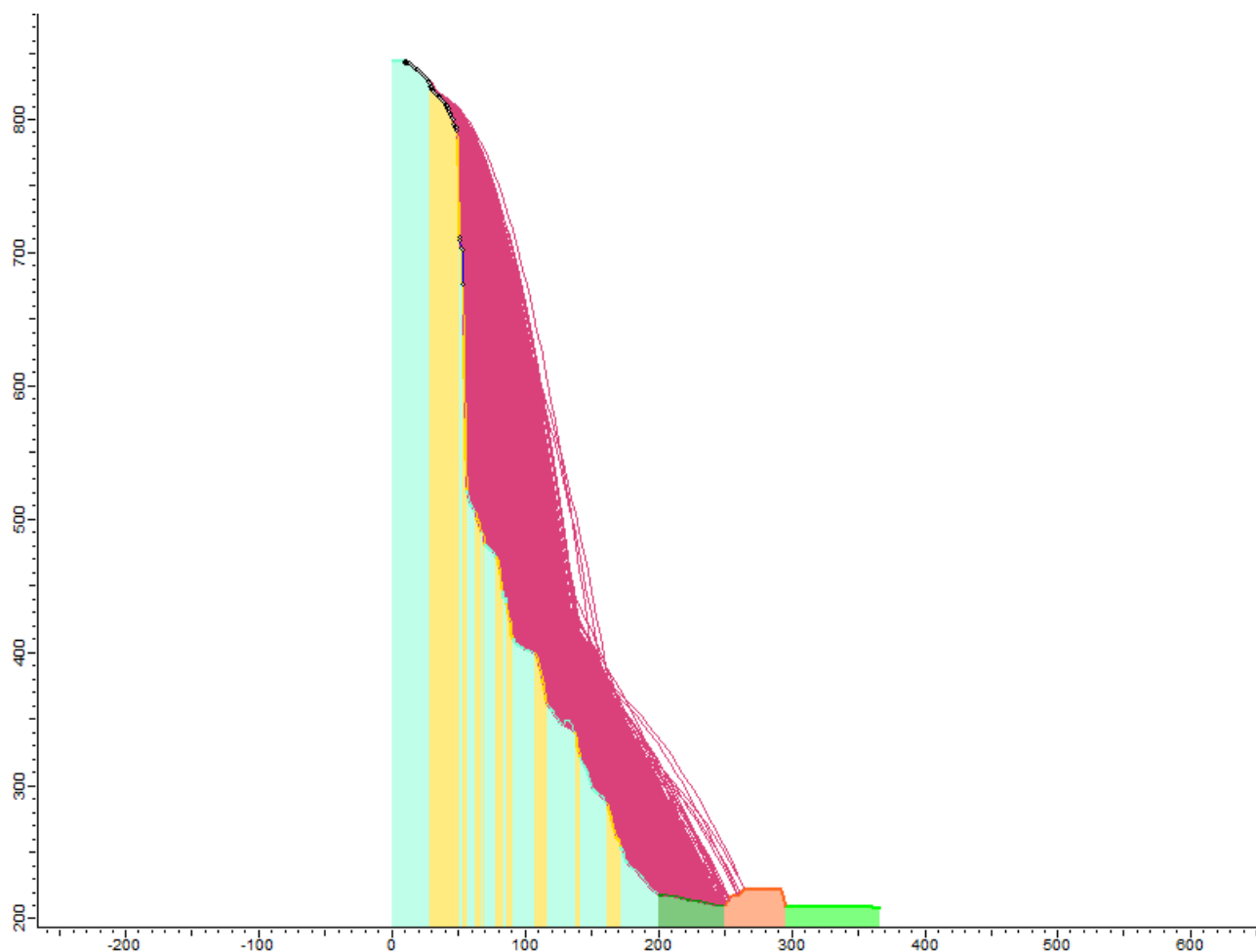


Fig. 2.64: traiettorie lungo la sezione 5 di progetto dei 2000 per area sorgente dei blocchi simulati.

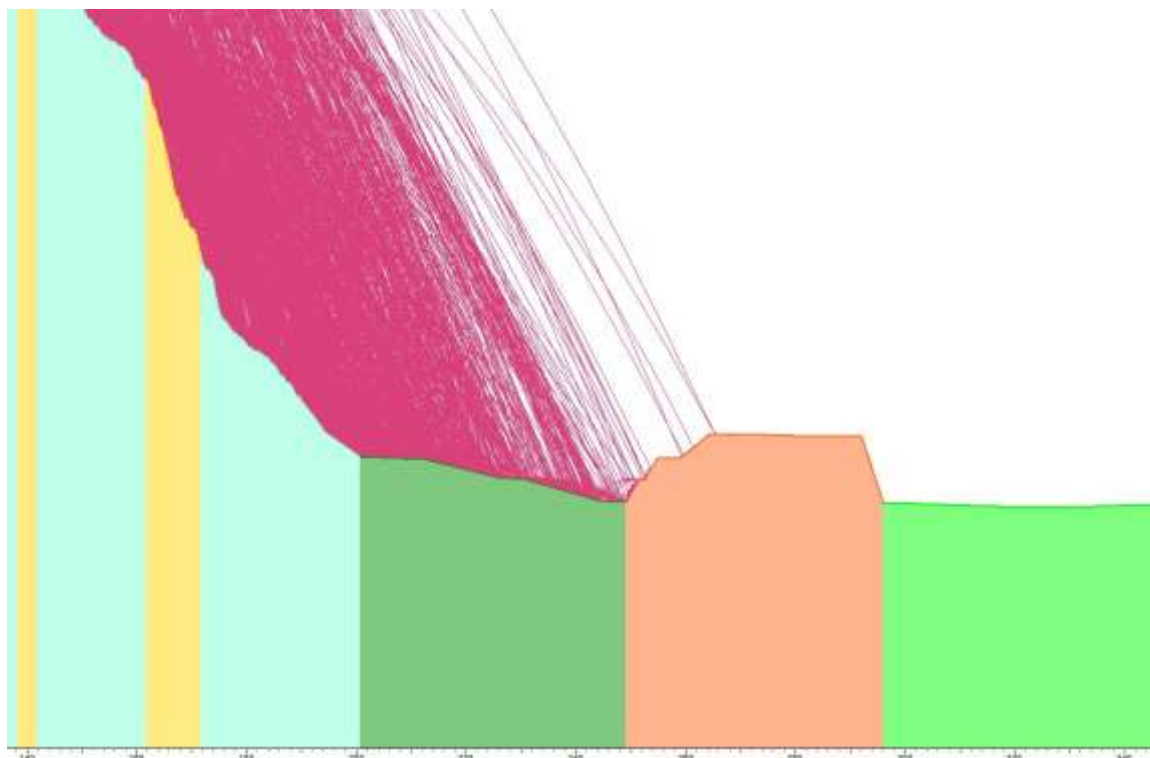


Fig. 2.65: dettaglio delle traiettorie lungo la sezione 5 di progetto dei 2000 per area sorgente dei blocchi simulati.

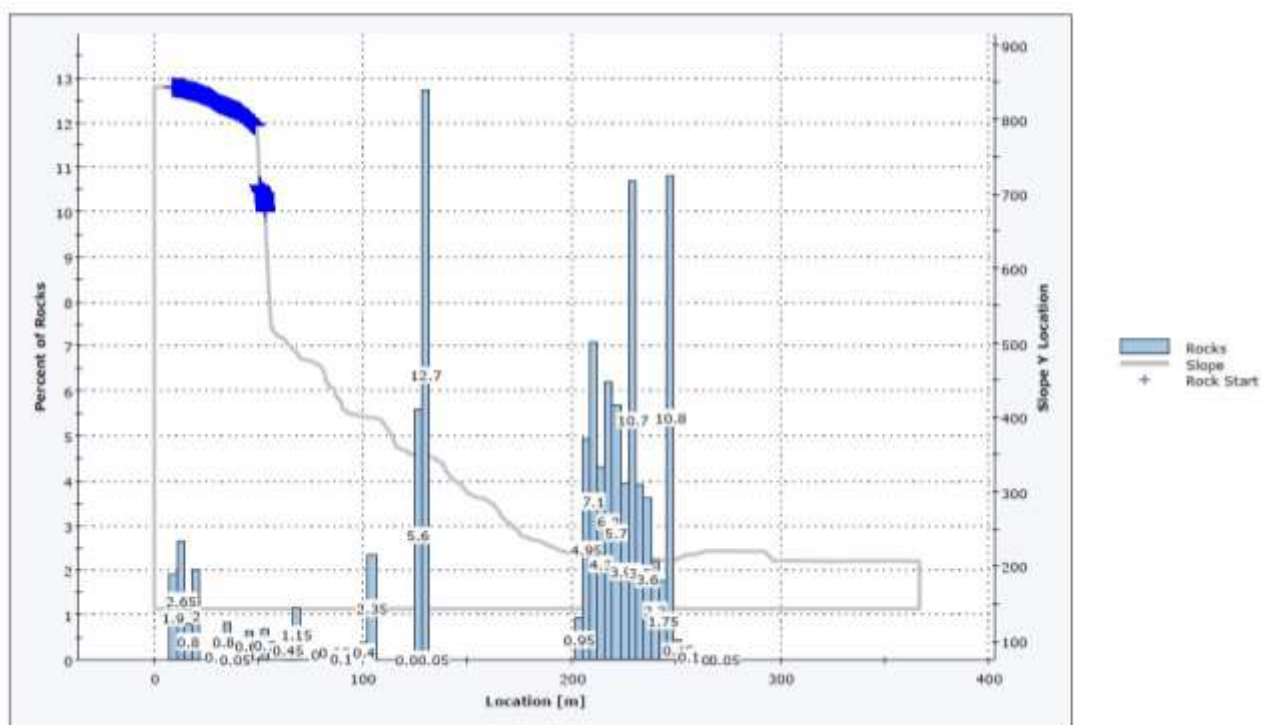


Fig. 2.66: distribuzione delle zone di arresto in percentuale (%) dei 2000 blocchi simulati sezione 5 di progetto.

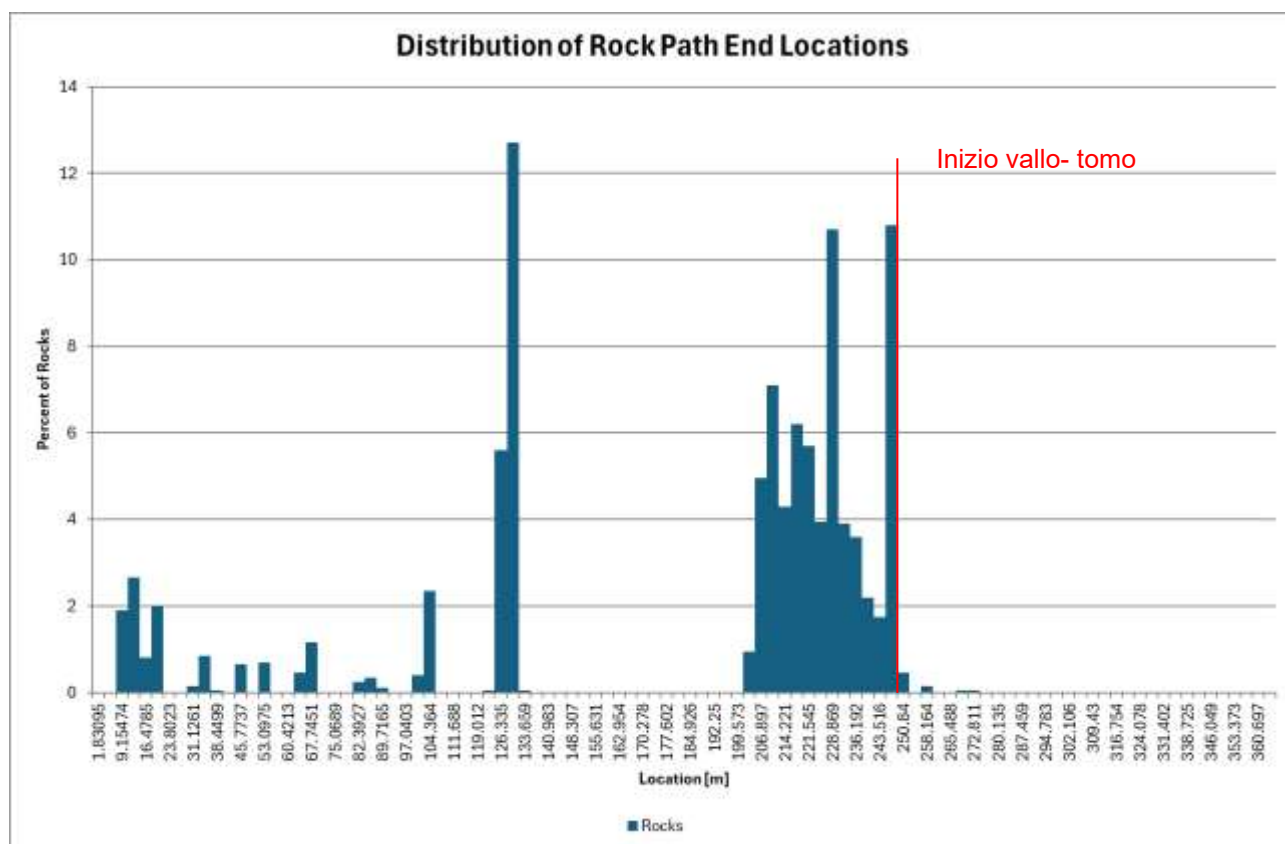


Fig. 2.67: istogramma delle zone di arresto in percentuale (%) dei 2000 blocchi simulati sezione di progetto.

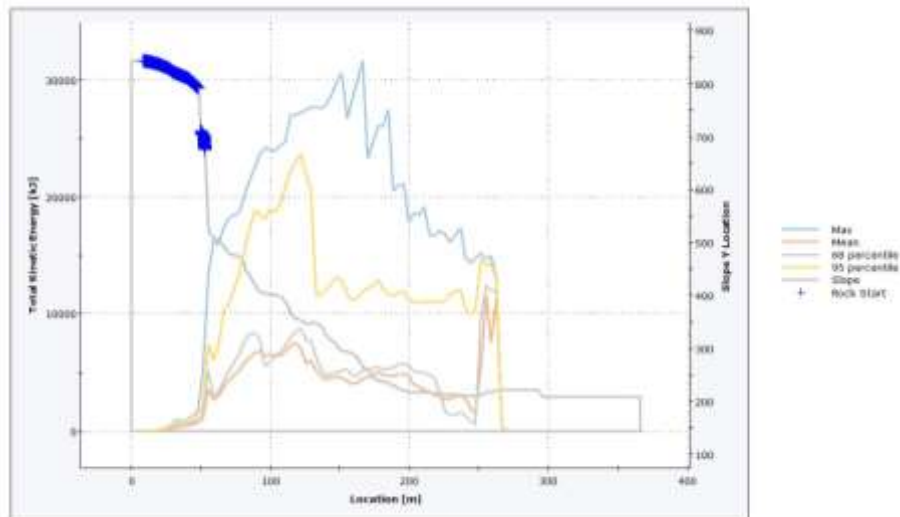


Fig. 2.68: grafico delle energie dei 2000 blocchi simulati. Si riporta il frattile del 95% delle energie calcolate nelle analisi delle traiettorie sezione di progetto.

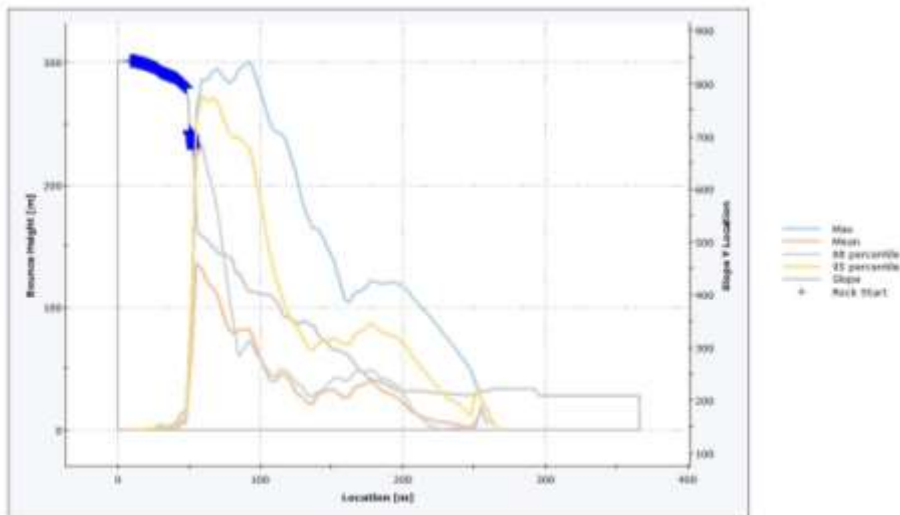


Fig. 2.69: grafico delle altezze di volo dei 2000 blocchi simulati. Si riporta il frattile del 95% delle altezze calcolate nelle analisi delle traiettorie sezione di progetto.

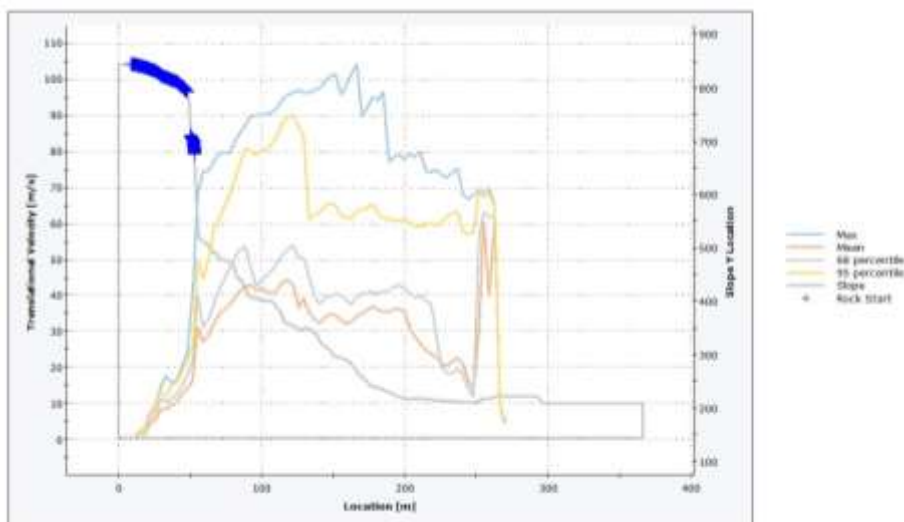


Fig. 2.70: grafico delle velocità di volo dei 2000 blocchi simulati. Si riporta il frattile del 95% delle altezze calcolate nelle analisi delle traiettorie sezione di progetto.

In particolare, analizzando le simulazioni dello stato di progetto finale, emergono due dati rilevanti:

- **il 95° percentile dei punti di arresto ricade sul paramento di monte del tomo;**
- **una piccola parte dello scenario traiettografico inferiore < 1% delle traiettorie (dei 2000 blocchi lanciati) mostra il superamento del tomo (testa).**

Le traiettorie risultanti dall'impatto contro il tomo non rivestono particolare significato, poiché nella realtà cinematica è stato osservato che, in presenza di traiettorie con angoli molto elevati, il movimento del blocco tende a esaurirsi al momento dell'impatto. Di conseguenza, l'altezza del tomo (pari a 8 metri lungo la verticale) non è giustificata da esigenze inerziali (vedi fig. 2.65), ma piuttosto risponde alla necessità di creare, nell'ambito delle misure progettuali complessive, una fascia di protezione per le aree classificate a pericolosità P4 e in parte P3, oltre a consentire la ricollocazione operativa dei limi di lavaggio.

In generale nei tratti a valle del primo vallo-tomo del lotto L1(C1) (area a nord), dove si registra una certa incidenza di caduta di materiali lungo il vallo-tomo presumibilmente dovuta a frammentazioni originate più a monte, può essere prevista una fascia, larga non meno di 20 metri¹⁴, classificabile con livello di pericolosità P3. In tale area, risultano compatibili attività caratterizzate da bassa vulnerabilità, come ad esempio lo stoccaggio di materiali inerti, rifiuti, nastri trasportatori, impianti tecnici o manufatti con finalità operative, legati in particolare a funzioni di selezione o deposito del materiale coltivato. Tale zona coincide per il lotto L1(C1) con la porzione sommitale del vallo-tomo e il suo paramento di valle dove sono presenti alcuni macchinari di smistamento del materiale (tramogge). Più oltre, in corrispondenza di zone prive di rischio significativo, sarà invece possibile destinare lo spazio ad attività con vulnerabilità più elevata, per le quali trovano applicazione integrale le disposizioni previste dall'articolo 18ter delle Norme Tecniche di Attuazione del PRG. In tali zone potrebbero quindi essere ammesse le lavorazioni degli inerti.

Per le aree a maggiore vulnerabilità (fascia P3) in corrispondenza del primo tratto di tomo a nord (lotto L1(C1)), si popone l'adozione di accorgimenti costruttivi di carattere strutturale per la realizzazione degli interventi e quelli per la loro utilizzazione, atti a tutelare l'incolumità delle persone e a ridurre la vulnerabilità dei beni¹⁵. Questi sono costituiti da protezioni metalliche da dotarsi lungo tutte le vie di salita ad elementi dell'impianto ove è prevista attività di manutenzione periodica o di controllo durante l'esercizio¹⁶.

In qualità di provvedimenti non strutturali è prevista l'attività di disaggio periodica (ogni 2 anni minimo) che si conclude con la predisposizione di un rapporto dedicato ai riscontri specifici, nonché la sospensione dell'attività durante il verificarsi di condizioni meteo avverse anticipate da bollettini di allerta meteo.

¹⁴ In tale simulazione la parete si posiziona all'incirca a 50 metri dal paramento di monte del tomo, dove la distanza minima si attesta a circa 45 metri dalle pareti per il lotto L1(C1). Per il lotto L1 la distanza minima è generalmente superiore ai 50-60 metri (area a sud). Pertanto, le aree P4 e P3 si estendono a monte del vallo-tomo per il lotto L1.

¹⁵ Vedi l'Allegato C "Indicazioni e precisazioni per l'applicazione delle disposizioni concernenti le aree con penalità elevate, medie o basse e le aree con altri tipi di penalità" della D.G.P. 18/03/2022, n. 379: l.p. 27 maggio 2008, n. 5, articoli 14-18 e 48 - l.p. 4 agosto 2015, n. 15.

¹⁶ Le prescrizioni ed i provvedimenti di sicurezza contemplate dalla normativa che già regola oggi l'attività all'interno della cava.

2.13. VERIFICHE DI STABILITÀ OPERE DI RIPRISTINO AMBIENTALE

Per il rilevato di ripristino ambientale in progetto è stata verificata la stabilità in funzione degli angoli di scarpata previsti e dei parametri geotecnici di riferimento dei materiali con cui sarà realizzato (limi di lavaggio). Per la parametrizzazione dei materiali si fa riferimento a delle prove di taglio su materiali che potranno essere utilizzati per tali opere per i quali sono stati rilevati i seguenti valori dei parametri medi di resistenza¹⁷:

LIMI DI LAVAGGIO

➤ peso di volume medio	γ	= 20,1 KN/m ³ ;
➤ coesione ¹⁸	c	= 3,5 KN/m ² ;
➤ angolo attrito int. ¹⁹	ϕ'	= 33,5°.

Tali verifiche andranno ricondotte sulla base di specifiche prove di taglio su materiali con cui sarà realizzato (limi di lavaggio) per ogni fase di ripristino progettata.

I valori dei parametri riportati in precedenza sono da intendersi come “caratteristici”, ai sensi del D.M. 17/01/2018, poiché stimati con criteri ampiamente cautelativi. Con le indagini effettuate, supportate anche dalle risultanze del supplemento di indagine da eseguirsi in c.o., sarà ampiamente analizzato il “volume significativo” del terreno, così come richiesto dal D.M. 17.01.2018, anche in considerazione delle normali caratteristiche strutturali delle opere in progetto.

Come già anticipato in precedenza, è prassi nelle verifiche geotecniche, assumere dei valori caratteristici circa uguali ai valori medi $V_k \sim V_m$. Infatti, dalle “**Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) sulle NTC**” si osserva come sia possibile assumere dei **valori caratteristici circa uguali ai valori medi $V_k \sim V_m$** . Infatti, il valore caratteristico è basato sul giudizio del geotecnico, così come quello operativo o di progetto.

Nelle valutazioni che il geotecnico deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato, secondo il CSLP, il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (in fondazioni superficiali o in una frana il volume interessato dalla superficie di rottura è grande), con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

La verifica, effettuata ricorrendo ai metodi di calcolo della stabilità dei pendii, consiste nel ricercare, tra le possibili superfici di rottura, quella che presenta il minor coefficiente di sicurezza e nel confrontare, quindi, le resistenze e le azioni sollecitanti lungo tale superficie. Secondo questi metodi è necessario ipotizzare una superficie di scorrimento del terreno di forma qualsiasi, passante al di sotto del l'opera di contenimento e valutare,

¹⁷ Vedi allegati del NUOVO PIANO DI COLTIVAZIONE DELLA CAVA DI INERTE CALCAREO DENOMINATA “CASETTA 2” - LOTTO 3 NEL COMUNE DI MEZZOCORONA (TN), messi a disposizione della Committenza del Comune Mezzocorona e girati dal lottizzante Gruppo Adige Bitumi.

¹⁸ Nel caso di terreno rimaneggiato il valore di coesione c dovrà essere considerato nullo e di angolo di attrito caratteristico pari a 30°.

¹⁹ Nella progettazione geotecnica frequentemente si usa un valore di ϕ intermedio fra quello “di picco” (piccole deformazioni) e quello “critico” a volume costante (grandi deformazioni). Quest'ultimo è una caratteristica intrinseca del terreno e dipende dalla composizione granulometrica, diametro medio, coefficiente di uniformità, ecc.. Nel caso in oggetto però, trattandosi di terreni sovra consolidati il cui rimaneggiamento comporta il decadimento delle caratteristiche di resistenza al taglio, nelle verifiche di seguito esposte si utilizzerà prudenzialmente il valore di ϕ_{cv} .

rispetto al generico polo, i momenti instabilizzanti, generati dalle forze peso, ed i momenti resistenti, generati dalle reazioni del terreno. In presenza di azioni sismiche, oltre a quanto previsto nel presente paragrafo, le opere di sostegno devono rispettare i criteri di verifica di cui al § 7.11.6 delle suddette norme tecniche.

Nei muri di sostegno, il terreno di riempimento dietro al muro deve essere posto in opera con opportuna tecnica di costipamento ed avere granulometria tale da consentire un drenaggio efficace nel tempo. Si può ricorrere all'uso di geotessili, con funzione di separazione e filtrazione, da interporre fra il terreno in sede e quello di riempimento. Il drenaggio deve essere progettato in modo da risultare efficace in tutto il volume significativo dietro al muro.

Le verifiche eseguite mediante analisi di interazione terreno-struttura o con metodi semplificati devono sempre rispettare le condizioni di equilibrio e congruenza e la compatibilità con i criteri di resistenza del terreno. È necessario inoltre portare in conto la dipendenza della spinta dei terreni dallo spostamento dell'opera. Come specificato all'interno del § 6.5.3 delle NTC 2018. Nelle verifiche di sicurezza devono essere presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo, sia a breve sia a lungo termine. Gli stati limite ultimi delle opere di sostegno si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno, e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono le opere stesse.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata, analogamente a quanto previsto al § 6.8, secondo l'Approccio 1, con la Combinazione 2 (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo. Le rimanenti verifiche devono essere effettuate secondo l'Approccio 2, con la combinazione (A1+M1+R3), tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.5.I. Nella verifica a ribaltamento i coefficienti R3 della Tab. 6.5.I si applicano agli effetti delle azioni stabilizzanti.

La verifica di stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno deve essere effettuata, analogamente a quanto previsto al § 6.8, secondo l'Approccio 1, con la Combinazione 2 (A2+M2+R2), tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I e 6.2.II per le azioni e i parametri geotecnici e nella Tab. 6.8.I per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

In generale, le ipotesi di calcolo delle spinte devono essere giustificate sulla base dei prevedibili spostamenti relativi manufatto-terreno, oppure determinate con un'analisi dell'interazione terreno-struttura.

Le spinte devono tenere conto del sovraccarico e dell'inclinazione del piano campagna, dell'inclinazione del paramento rispetto alla verticale, delle pressioni interstiziali e degli effetti della filtrazione nel terreno. Nel calcolo della spinta si può tenere conto dell'attrito che si sviluppa fra parete e terreno. I valori assunti per il relativo coefficiente di attrito devono essere giustificati in base alla natura dei materiali a contatto e all'effettivo grado di mobilitazione.

PARAMETRO	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale γ_M	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'$	$\gamma_{\varphi'}$	1.00	1.25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1.00	1.25
Resistenza non drenata	c_{dk}	γ_{cu}	1.00	1.40

Fig. 2.71: tabella 6.2.II - Coefficienti parziali γ_R per i parametri geotecnici dei terreni.

VERIFICA	Coefficiente parziale γ_R (R3)
Capacità portante della fondazione	1.4
Scorrimento	1.1
Ribaltamento	1.5
Resistenza del terreno a valle	1.4

Fig. 2.72: tabella coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno.

Nelle verifiche di sicurezza per effetto delle azioni sismiche si controlla che la resistenza del sistema sia maggiore delle azioni nel rispetto della condizione [6.2.1], ponendo pari all'unità i coefficienti parziali sulle azioni e sui parametri geotecnici (§ 7.11.1) e impiegando le resistenze di progetto con i coefficienti parziali γ_R indicati nella tabella 7.1.III.

VERIFICA	Coefficiente parziale γ_R
Capacità portante della fondazione	1.2
Scorrimento	1.0
Ribaltamento	1.0
Resistenza del terreno a valle	1.2

Fig. 2.73: tabella coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi (SLV) dei muri di sostegno.

Per quanto riguarda il coefficiente parziale per le verifiche di sicurezza, relativamente alla stabilità generale, il D.M. 17.01.2018 richiede un γ_R 1.1. In pratica con la nuova normativa il coefficiente di sicurezza minimo previsto è pari a 1.1, corrispondente a $F_s \geq 1.3$ della vecchia norma (D.M. 1988 – D.M. 1996). Per le condizioni di verifica sismiche si pone un γ_R 1.2 non applicando la riduzione parametri geotecnici terreno.

2.13.1. ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE CON BISHOP (1955) SISIMICHE

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	46.235988/11.144436 °
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.3
Coefficiente parziale resistenza	1.2
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	15.75 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	35.3 m
Ascissa vertice destro superiore xs	72.02 m
Ordinata vertice destro superiore ys	87.59 m

Passo di ricerca 10.0
Numero di celle lungo x 40.0
Numero di celle lungo y 40.0
=====

Coefficienti sismici [N.T.C.]

=====

Dati generali

Tipo opera: 2 - Opere ordinarie
Classe d'uso: Classe II
Vita nominale: 50.0 [anni]
Vita di riferimento: 50.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T2

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.226	2.458	0.192
S.L.D.	50.0	0.284	2.496	0.201
S.L.V.	475.0	0.559	2.651	0.347
S.L.C.	975.0	0.686	2.72	0.374

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.3254	0.2	0.0066	0.0033
S.L.D.	0.409	0.2	0.0083	0.0042
S.L.V.	0.805	0.2	0.0164	0.0082
S.L.C.	0.9878	0.2	0.0201	0.0101

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0164
Coefficiente azione sismica verticale 0.0082

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	4.0	0.0
3	16.0	4.0
4	20.0	4.0
5	32.0	8.0
6	36.0	8.0
7	48.0	12.0
8	52.0	12.0
9	64.0	16.0
10	68.0	16.0
11	80.0	18.0
12	84.0	18.0
13	96.0	20.0

Coefficienti parziali azioni

=====

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0
=====

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	No
=====	

Stratigrafia

Strato	Coesione (kN/m ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m ³)	Litologia
1	3.5	33.5	20.1	Limi da lavaggio

Risultati analisi pendio

=====	
Fs minimo individuato	2.27
Ascissa centro superficie	22.78 m
Ordinata centro superficie	84.98 m
Raggio superficie	81.68 m
=====	

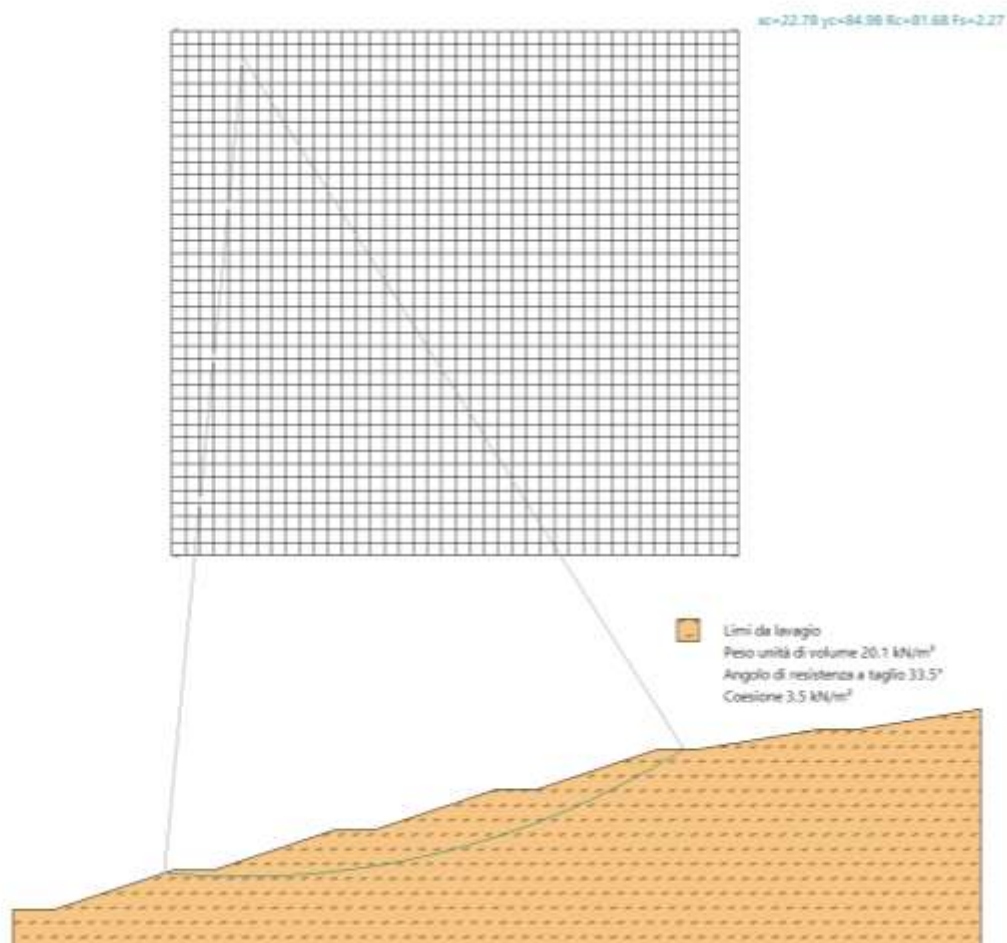


Fig. 2.74: FS = 2.27 verificato per un fattore di sicurezza.

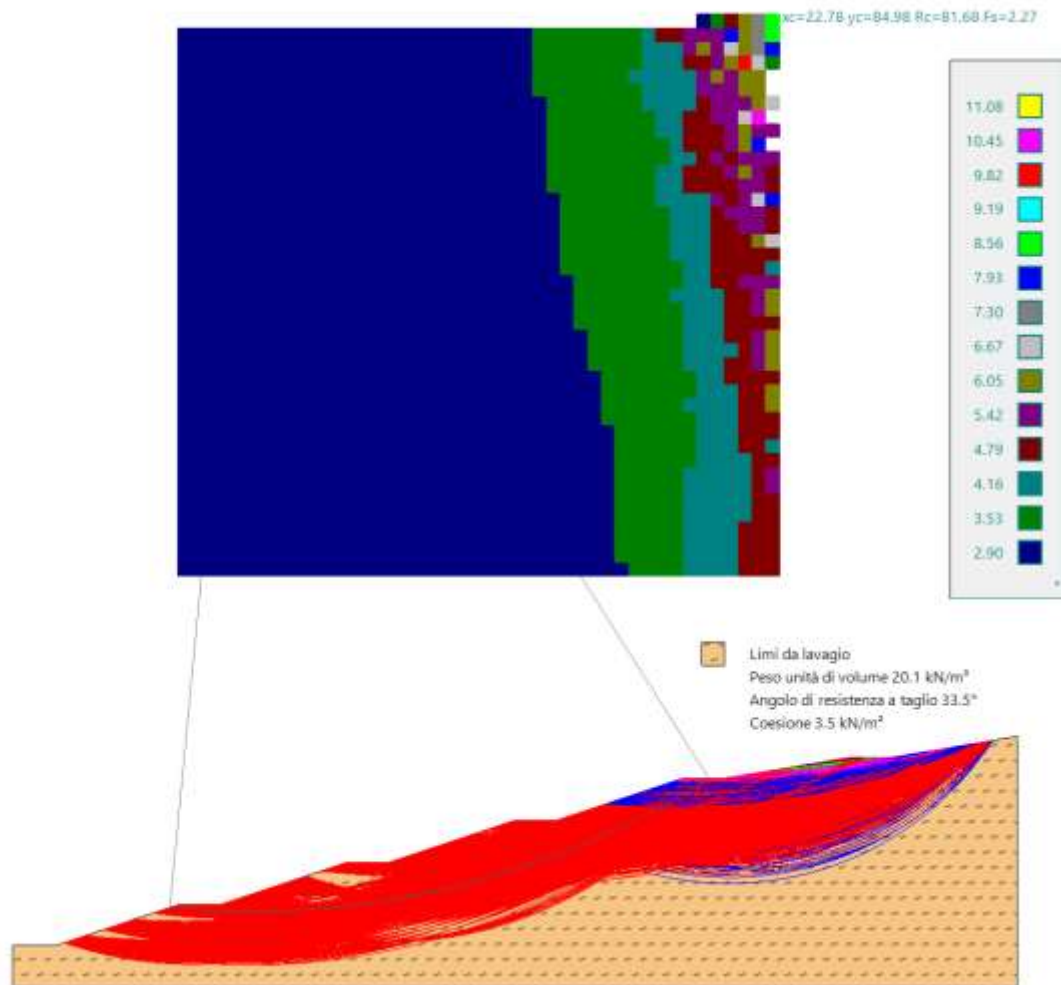


Fig. 2.75: FS calcolate > 2.27.

2.13.2. ANALISI DI STABILITÀ GLOBALE CON BISHOP (1955) STATICHE

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	46.235988/11.144436 °
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	15.75 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	35.3 m
Ascissa vertice destro superiore xs	72.02 m
Ordinata vertice destro superiore ys	87.59 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	40.0

Numero di celle lungo y 40.0

=====

Analisi statica

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	4.0	0.0
3	16.0	4.0
4	20.0	4.0
5	32.0	8.0
6	36.0	8.0
7	48.0	12.0
8	52.0	12.0
9	64.0	16.0
10	68.0	16.0
11	80.0	18.0
12	84.0	18.0
13	96.0	20.0

Coefficienti parziali azioni

=====

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

=====

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	Coesione (kN/m ²)	Coesione non drenata (kN/m ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kN/m ³)	Peso unità di volume saturo (kN/m ³)	Litologia
1	3.5	0	33.5	20.1	21.5	Limi da lavaggio

Risultati analisi pendio [NTC 2018 & Circ. 2019]

=====

Fs minimo individuato	2.14
Ascissa centro superficie	22.78 m
Ordinata centro superficie	84.98 m
Raggio superficie	81.68 m

=====

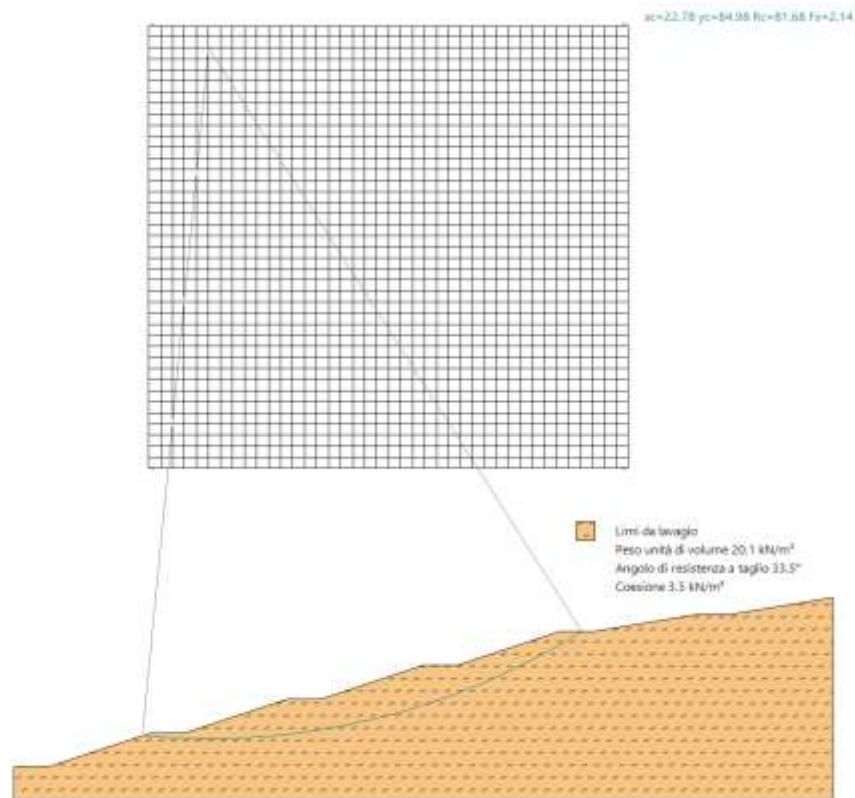


Fig. 2.76: FS = 2.14 verificato per un fattore di sicurezza.

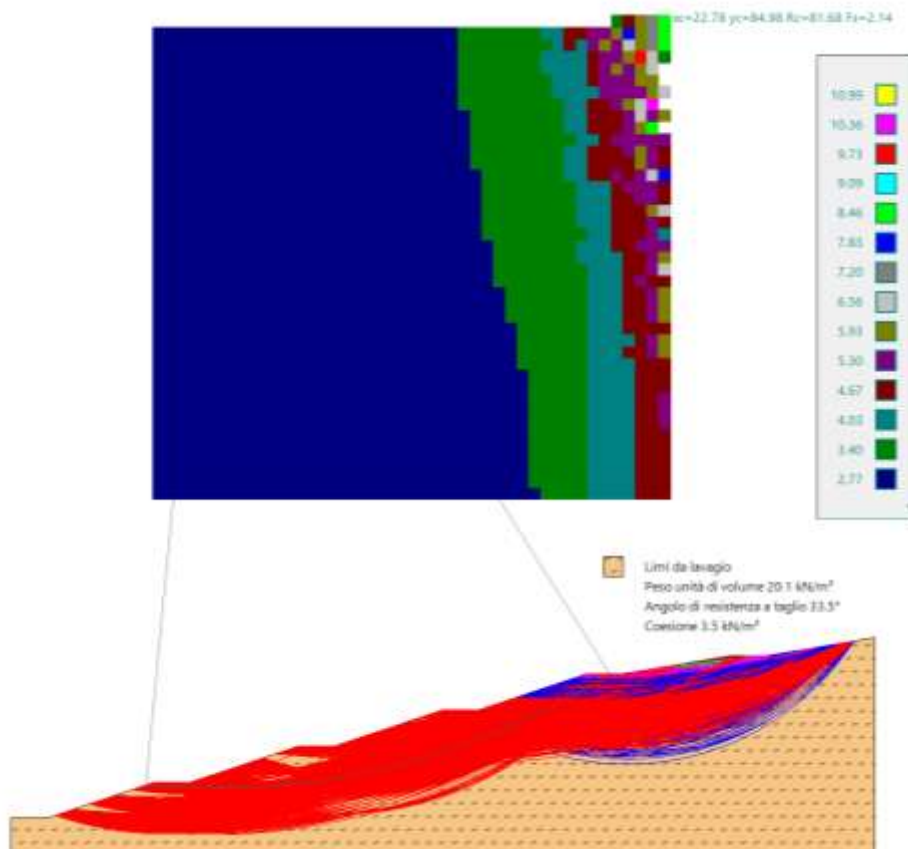


Fig. 2.77: FS calcolate > 2.14.

Le verifiche di stabilità globali opere – terreno, effettuate con il criterio di BISHOP (1955), soddisfano i requisiti di legge sia in condizioni dinamiche ($FS > 2.27$) che statiche ($Fs > 2.14$). Le verifiche portano pertanto a giudicare compatibili le geometrie di progetto dei profili di ripristino. Si suppone la realizzazione a regola d'arte dell'opera a progetto, il completo drenaggio della stessa sia a monte che dietro lungo il contatto con la bancata rocciosa (vedi tavole progettuali) e il mantenimento degli intenti progettuali qui esaminati. Lungo i ripristini dovrà essere prevista una idonea piantumazione nonché idrosemina al fine di ridurre gli effetti degli agenti atmosferici e garantirne una maggiore stabilità globale. Le verifiche effettuate sono ovviamente indicative, mostrano una generica e plausibile possibilità di ottenere la stabilità nel lungo periodo dell'opera e sarà quindi necessario che in c.o. venga effettuato un supplemento di indagine volto alla verifica puntuale delle previsioni stratigrafico – geotecniche contenute nel presente studio.

2.14. CONCLUSIONI

Su incarico e per conto del Comune di Mezzocorona (TN), è stata effettuato uno studio geologico e di compatibilità a supporto del progetto: "Coltivazione delle cave di proprietà del Comune di Mezzocorona" - CIG: B509D4AFA2.

L'indagine geologica condotta a supporto del nuovo progetto di coltivazione analizza gli elementi di natura geologica, geomeccanica e geotecnica che influenzano la realizzazione dell'intervento. In relazione alla valutazione delle criticità segnalate dalla CsP, lo studio considera la compatibilità delle soluzioni progettuali con le misure di mitigazione necessarie per affrontare i rischi legati a fenomeni di crollo e problematiche idrauliche, prevedendo interventi e azioni specifiche per la riduzione del rischio, in coerenza con la futura destinazione produttiva dell'area definita dal PRG.

Il presente studio, corredato dei relativi allegati, esamina pertanto gli aspetti di ordine geologico, geomeccanico, idrogeologico, idraulico e geotecnico che condizionano il progetto, nonché le opere e i provvedimenti necessari per la mitigazione del rischio da crolli e fenomeni idraulici. Tali aspetti sono analizzati anche in prospettiva di una destinazione produttiva dell'area, come dettagliato nei paragrafi successivi, sia durante che al termine dell'attività estrattiva.

Le considerazioni riportate nel presente documento si basano anche sui risultati ottenuti da una campagna di indagini geofisiche, finalizzata principalmente all'individuazione dell'andamento ipogeo della roccia rispetto alle coperture quaternarie. Le indagini si sono concentrate sull'individuazione delle pareti rocciose, sulla caratterizzazione geomeccanica dei versanti rocciosi, con l'obiettivo di prevedere il comportamento deformativo in seguito alla progressiva perdita dell'effetto "contrasto" attualmente esercitato dagli accumuli detritici, nonché sulla caratterizzazione fisico-meccanica dei materiali "sciolti", per definire i profili più idonei alla stabilità nello stato finale.

Quanto contenuto nella presente relazione definisce, pertanto, indicazioni e prescrizioni principalmente destinate allo sviluppo del progetto di coltivazione e di ripristino finale, in relazione al tipo di pericolosità individuata.

Lo studio si concentra principalmente sull'analisi dei fattori che influenzano la stabilità dei versanti rocciosi a monte dell'area, con particolare attenzione alla valutazione del rischio di crolli. Parallelamente, il nostro partner dott. Mirco Baldo studio Landeco, ha sviluppato uno specifico approfondimento sulla dinamica idraulica, esaminando il deflusso delle acque superficiali e la sua interazione con le caratteristiche del terreno superficiale, individuando possibili criticità per le aree poste a valle.

Gli esiti dello studio geomeccanico e traiettografico hanno portato alla previsione di interventi di mitigazione/difesa sia strutturali che non strutturali che nel complesso costituiscono una risposta alla mitigazione del rischio da crolli nel solco dei principi della norma UNI-11211.

Un passaggio fondamentale in questa direzione è rappresentato dalla proposta di differenziare le destinazioni d'uso interne previste dall'Art. 18ter del PRG, in base al livello di pericolosità residua, correlato alla vulnerabilità delle attività presenti nell'area. Inoltre, si è ritenuto di primaria importanza adottare misure integrative non strutturali, limitatamente al settore nord (ossia l'area trattata nel secondo tomo, la più settentrionale). Tali misure consistono in un'attività di presidio del versante tramite ispezioni periodiche biennali e, se necessario, interventi di disgaggio, in particolare nella zona di faglia, al fine di garantire un monitoraggio continuo dell'unico ambito in cui sono state individuate potenziali evoluzioni significative.

Il presente elaborato è redatto in ottemperanza ai contenuti del D.M. 17.01.2018 aggiornamento "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 dovrà controllare la rispondenza tra il modello geologico e geotecnico 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.

Levico Terme, aprile 2025

Il relatore