



**STUDIO DI COMPATIBILITA' AI SENSI DELL'ART. 16 c.4
DELLE NORME D'ATTUAZIONE DELLA CARTA DI SINTESI
DELLA PERICOLOSITA'**

QUESTO DOCUMENTO NON POTRÀ ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIMENTI PUBBLICATO IN TUTTO O IN PARTE
SENZA IL CONSENSO SCRITTO DELLO STUDIO **GEINGEGNERIA** (LEGGE 22 Aprile 1941, n°633 e s.m. del C.C.)

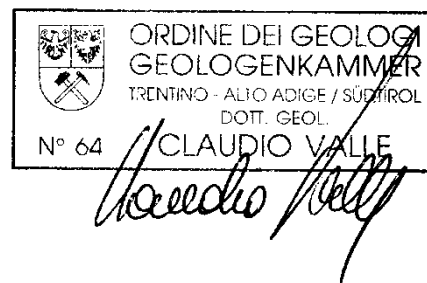


GRUPPO ADIGE BITUMI S.p.a.

**CAVA DI INERTE CALCAREO DENOMINATA "CASETTA 2" -
LOTTO 3
NEL COMUNE DI MEZZOCORONA (TN)
VARIANTE URBANISTICA N.2**

**STUDIO DI COMPATIBILITA' AI SENSI DELL'ART. 16 c.4 DELLE
NORME D'ATTUAZIONE DELLA CARTA DI SINTESI DELLA
PERICOLOSITA'**

IL GEOLOGO



Ns rif. - Rel 4415-1/25 – CV / MS

"Questo documento non potrà essere copiato, riprodotto o pubblicato in tutto o in parte senza il consenso scritto dello Studio "GEOLOGIA APPLICATA" (legge 22 aprile 1941 nr. 633, art. 2575 e segg. c.c.)



Sommario

1.	PREMESSA.....	3
2.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE E DESCRIZIONE DEL PROGETTO.....	4
3.	NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO	6
3.1	NORMATIVA NAZIONALE	6
3.2	NORMATIVA LOCALE	6
3.3	ASPETTI NORMATIVI LEGATI AL PROGETTO	6
4.	VINCOLI DI CARATTERE GEOLOGICO	7
4.1	CARTA DI SINTESI DELLE PERICOLOSITÀ	7
5.	ASPETTI DI CARATTERE GEOLOGICO, STRUTTURALE, MORFOLOGICO E IDROLOGICO. 9	
5.1	ASPETTI GEOLOGICI E STRUTTURALI	9
5.2	ASPETTI MESO-STRUTTURALI	13
5.3	ASPETTI MORFOLOGICI	15
5.4	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	18
6.	INDAGINI GEOFISICHE E MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO.....	20
7.	VALUTAZIONI SULLA PERICOLOSITA' DA CROLLI.....	23
7.1	FINALITÀ E ITER DELLE SIMULAZIONI	26
7.2	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI E RAPPORTI CON LE SCELTE DI PIANO	30
8.	VALUTAZIONE DELLE OPERE DI MITIGAZIONE DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA	33
9.	VERIFICHE DI STABILITÀ DEL RILEVATO DI RIPRISTINO AMBIENTALE	36
10.	CONCLUSIONI.....	41

ALLEGATI AL TESTO:

- Tavole grafiche

ALLEGATI FUORI TESTO

- ALL.1 - RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOFISICHE
- ALL.2 - STUDIO IDRAULICO IN.GE.NA
- ALL.3 - LABORATORIO GEOTECNICO GEOMISURE



1. PREMESSA

Su incarico della Società Gruppo Adige Bitumi S.p.A., viene redatto il presente studio di compatibilità principalmente a supporto della Variante urbanistica n.2 che interessa la cava di inerte calcareo denominata "Casetta 2" - Lotto 3 nel Comune di Mezzocorona (TN)".

Il presente studio individua gli aspetti di ordine geologico, geomeccanico, idrogeologico ed idraulico, nonché geotecnico che condizionano la compatibilità della variante urbanistica individuando le opere e provvedimenti di mitigazione correlati al tipo di rischio individuato dalla CsP e analizzato nei dettagli, nella prospettiva della destinazione produttiva dell'area.

A tal fine, anche avvalendosi di dati raccolti nel corso di campagne di indagine precedenti, sono state prodotte indagini specifiche rivolte all'individuazione dell'andamento delle pareti rocciose (vedi ALL.1), alla caratterizzazione geomeccanica dei versanti rocciosi al fine di prevedere il comportamento deformativo al progressivo venir meno dell'effetto "contrasto" esercitato attualmente dagli accumuli detritici e alla caratterizzazione fisico-meccanica dei materiali "sciolti" al fine di definire i migliori profili di stabilità dello stato finale.

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

Le considerazioni riportate nel presente documento si basano per l'appunto anche sui risultati emersi da una campagna di indagini geofisiche rivolte principalmente all'individuazione dell'andamento ipogeo della roccia rispetto alle coperture quaternarie, per la cui descrizione dettagliata si fa riferimento allo studio di cui alla nota sotto riportata¹.

Nel complesso i risultati permettono di individuare un modello stratigrafico piuttosto attendibile nelle linee generali che verrà di seguito esposto nel cap. 5.

Nel presente elaborato sono state analizzate le problematiche relative alla compatibilità del progetto rispetto ai pericoli crolli in aree P4, P3 e P2 e idraulici – torrentizi (APP). Questi ultimi sono stati valutati nell'ambito di uno studio idraulico dedicato a cura di IN.GE.NA. riportato nell'ALL.2.

¹ Rel.n.4339: "RELAZIONE GEOLOGICA A SUPPORTO DEL PdA - I° STEP - Esito della campagna geofisica e modellazione del substrato"(Geologia Applicata, 2023)

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO GENERALE E DESCRIZIONE DEL PROGETTO

L'area in esame nel presente studio è situata circa 2 km a NE dell'abitato di Mezzocorona, alla base del versante orografico destro della Val d'Adige e costituiscono una fascia che si allunga per circa 2 km e larga in media 250 m. Tale fascia è delimitata ad est dalla SP90 4°Tronco ad ovest delle pareti rocciose dolomitiche subverticali della Val d'Adige. Il limite meridionale si colloca presso la località "Maso Nuovo", mentre a nord l'area termina in corrispondenza del confine comunale, in località "Vinchieri" (Figura1). Il progetto prevede il completamento dell'asporto del conoide che caratterizza la porzione sudoccidentale dell'area di cava e condiviso per una minima parte con il lotto 2.

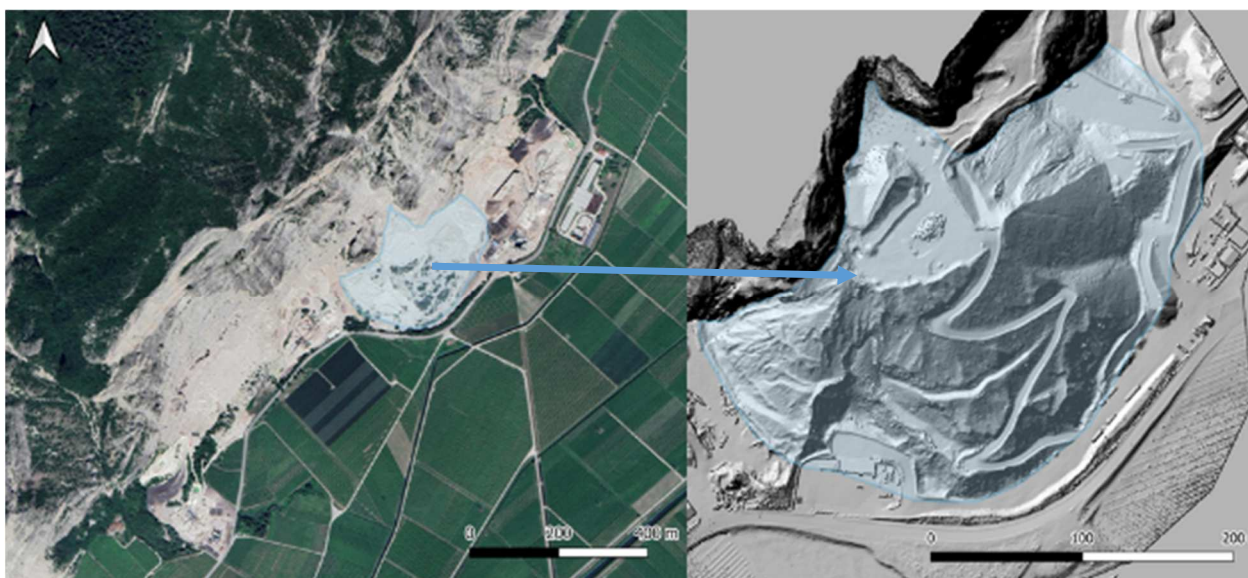


Figura 1 – ubicazione del sito su ortofoto e su hillshade

In figura 2 viene riportato lo stato finale che prevede, per gli aspetti specifici di questo studio, le opere di mitigazione relative alla pericolosità da crolli e da reticolo torrentizio.

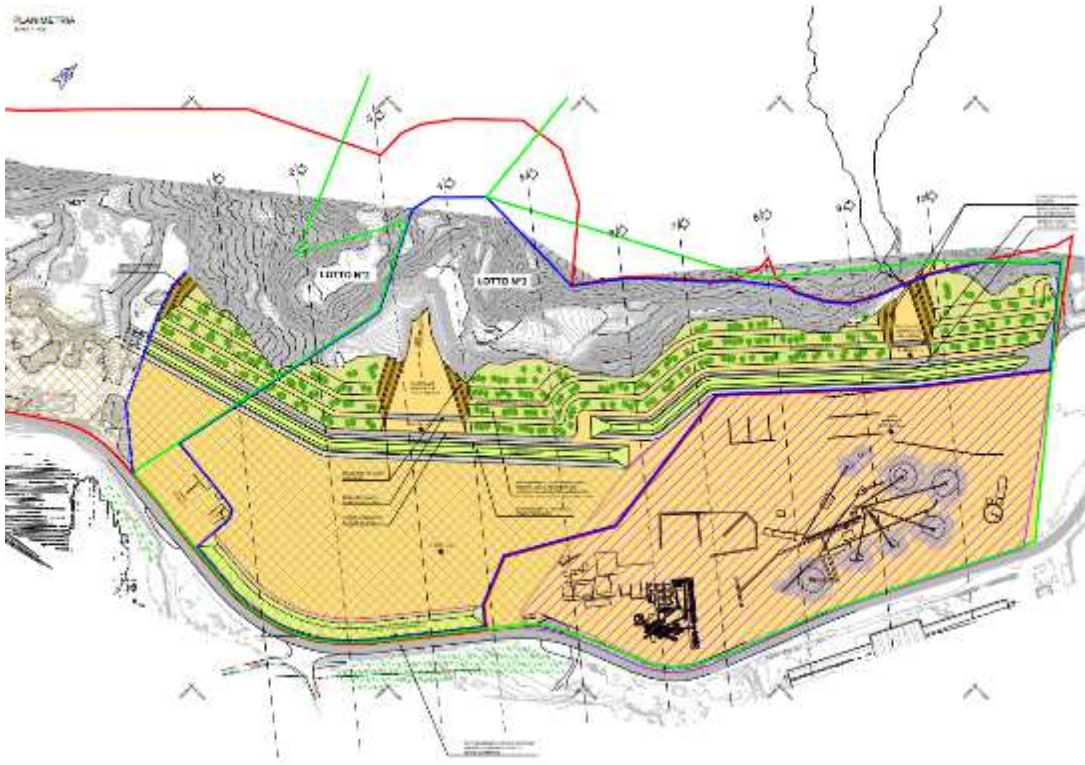


Figura 2 – estratto planimetria di progetto

Il progetto recepisce i più probabili profili di andamento della roccia interpretati sulla base delle prospezioni geofisiche presentate nell'ambito dello studio di cui alla nota 1 e riportato nell'allegato 2.

Il progetto prevede anche di realizzare un rilevato di ripristino ambientale a ridosso della parete rocciosa ormai privata del conoide detritico oggetto della coltivazione di cava. Tale rilevato, che sarà realizzato con il materiale di risulta dell'attività estrattiva (limi di lavaggio), digraderà verso la quota prevista della sistemazione finale dell'area corrispondente a 208 mslm.

In risposta al vincolo R3 da crolli lo studio sviluppa un'analisi traiettografica sulla base della quale è stata posizionata e dimensionata un'opera paramassi a gravità realizzata con la tecnica delle terre armate riutilizzando lo stesso materiale di risulta sopracitato.

Infine il progetto prevede anche un tomo di mascheramento adiacente alla SP 90 4°Tronco.



3. NORMATIVA TECNICA DI RIFERIMENTO

Il presente elaborato è redatto con riferimento alla seguente normativa tecnica di settore:

3.1 Normativa nazionale

- A.G.I. 1977 - Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.
- D.M. LL, PP. 11.03.88 - “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.
- DECRETO 21 OTTOBRE 2003 della Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento Protezione Civile
- O.P.C.M. 3362/2004 e succ. mod.
- MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI. 2018 – Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni – D.M. 17/01/2018
- CIRCOLARE 21 GENNAIO 2019 n.7 – Istruzioni per l'applicazione dello Aggiornamento delle NTC, di cui al D.M.17/01/2018

3.2 Normativa locale

- L.P. nr. 15/2015 “Legge Provinciale per il governo del territorio 2015”;
- 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 Carta di Sintesi della pericolosità prevista dall'articolo 14 delle norme di attuazione del PUP – Ed. 18.03.2022;
- Allegato C Carta di Sintesi della Pericolosità – Deliberazioni n.1737 e 1748 del 29 Settembre 2023 della Giunta Provinciale.

3.3 Aspetti normativi legati al progetto

Il presente documento e le considerazioni in esso contenute fanno esplicito riferimento al “PRG del Comune di Mezzocorona - Variante 2018” in particolare all'Art. 19 *Aree per attività estrattive e lavorazioni connesse (zone D3)* e alle norme e prescrizioni in esso contenute anche in relazione al pericolo crolli.



La legge provinciale 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.

Ulteriori norme di riferimento per le attività di cava sono:

- 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”*.

4. VINCOLI DI CARATTERE GEOLOGICO

4.1 Carta di sintesi delle pericolosità

Nell'intera Provincia Autonoma di Trento, con le deliberazioni n.1737 e n.1748 del 29 Settembre 2023 della Giunta Provinciale, è entrata in vigore la nuova Carta di Sintesi delle Pericolosità, la quale prende in considerazione diversi tipi di fenomeni naturali che sussistono sul territorio inerenti fenomeni geologici, idrologici, nivologici e forestali.

Le Carte delle Pericolosità individuano le pericolosità dei singoli fenomeni idrogeologici, mentre la Carta di Sintesi delle Pericolosità recepisce gli stessi tematismi (pericolosità alta, media, bassa e trascurabile) riportandoli in classi di **penalità (P4 - Elevata, P3 - Media, P2 – Bassa, Altri tipi di penalità, tra cui le Zone da approfondire APP)** secondo le disposizioni contenute nel documento *“Disposizioni tecniche per la predisposizione della Carta di Sintesi della Pericolosità”*.

In data 18.03.2022 (Reg. delib. n. 379) sono state approvate le modifiche apportate al documento di *“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”*, cui fa riferimento il presente studio. Nel 2023 è stato approvato il I° aggiornamento della CsP.

Nel caso in esame, in cui si esamina la pericolosità di una fenomenologia in rapporto ad una attività estrattiva ad essa sottesa cui vanno dedicate in fase di ripristino opere di

mitigazione, viene meno l'interesse per la Penalità mentre peculiare è l'informazione di pericolosità.

In figura 3 viene riportato l'estratto della carta delle pericolosità dal quale si evince la pericolosità per crolli che per l'area di più diretto interesse è di tipo elevato (P4), medio (P3) e basso (P2). In figura 4 le penalità APP e P4 torrentizia. All' Art.15 delle indicazioni e precisazioni applicative del Capo IV delle norme di attuazione del PUP si precisa come per queste aree ricadenti in ambiti contraddistinti da penalità elevata lo studio di compatibilità dimostra come questi interventi migliorino le condizioni di sicurezza generali e di stabilità dei suoli. Le attività estrattive sono quelle ammesse nelle aree individuate dal Piano provinciale di utilizzazione delle sostanze minerali. Nelle aree estrattive ricadenti in area a penalità elevata P4 non è, di norma, consentita attività di discarica e di lavorazione.

Il presente elaborato contiene pertanto la verifica di compatibilità rispetto alla pericolosità da crolli e idraulica, individuando le opere di protezione, i processi di controllo e monitoraggio nonché i condizionamenti alla fruizione produttiva delle aree.

Per quanto riguarda la pericolosità alluvionale torrentizia si fa riferimento allo studio di compatibilità dedicato e redatto dallo studio In.ge.na.

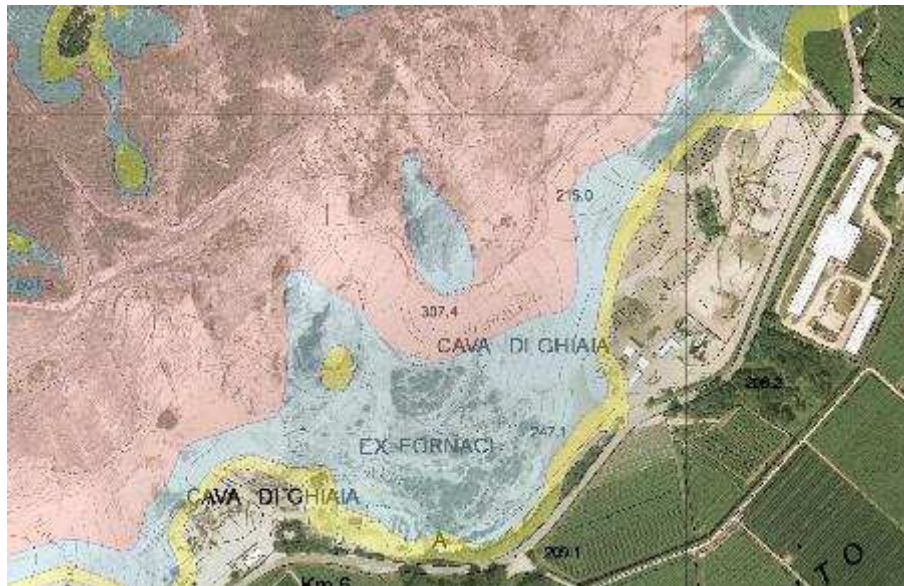


Figura 3 – penalità per crolli

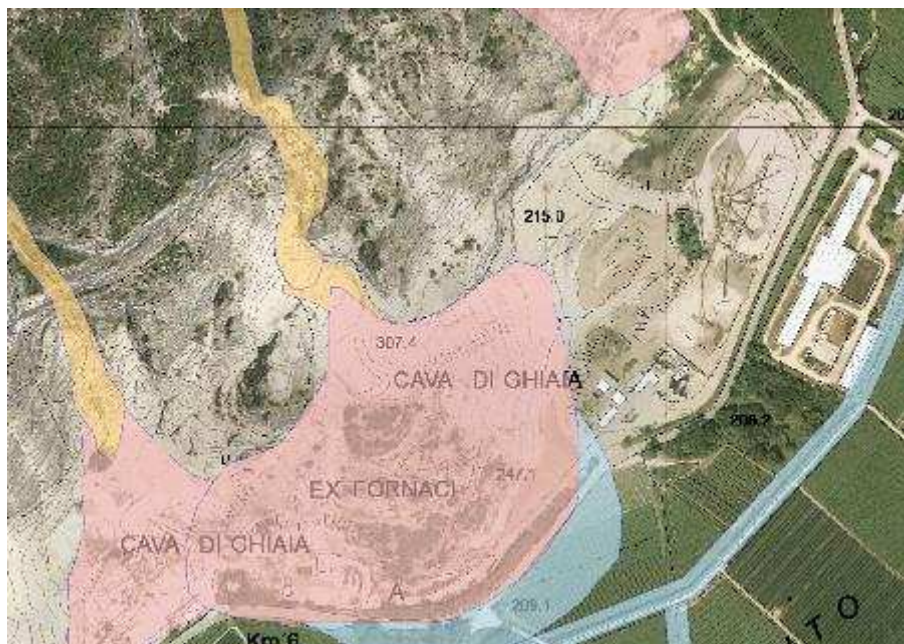


Figura 4 – penalt  torrentizia

5. ASPETTI DI CARATTERE GEOLOGICO, STRUTTURALE, MORFOLOGICO E IDROLOGICO.

5.1 Aspetti geologici e strutturali

L'area in esame si colloca dal punto di vista tettonico al margine del complesso sistema di rampe e sovrascorrimenti della Val di Non legato ai fenomeni transpressivi sinistri associati alla *Linea delle Giudicarie*. Tali sovrascorrimenti e raccorciamenti, a partire dalla *Linea di Foiana*, rappresentano uno scollamento profondo a livello del basamento porfirico e si spingono sino alla Valle dell'Adige. Il sistema di *ramp* e *flat* presenta un vettore di spostamento NW-SE e si sviluppa in funzione delle caratteristiche meccaniche delle formazioni che ha interessato.

In particolare lo scollamento si compone di tre pacchetti distinti:

- 1) una porzione basale compresa tra le Arenarie di Val Gardena e la sequenza werfeniana a prevalente comportamento plastico;
- 2) una porzione intermedia costituita dalla potente successione dolomitica competente rappresentata dalla Dolomia della Val d'Adige e dalla Dolomia Principale che occupa un intervallo di potenza pari a circa 1000 m;
- 3) la porzione superiore, a comportamento scarsamente competente,   rappresentata dalle litologie comprese tra il Rosso Ammonitico e la Scaglia Cinerea.

Il settore di Valle dell'Adige in esame (figura 5) si colloca proprio all'estremit  del sistema di rampe a basso angolo del Sistema Vigo Di Ton-Tramin/Termenon e Mezzocorona/Cortaccia al quale   associabile un raccorciamento pari a circa 5-6 Km. In

particolare nel settore in esame il complesso sistema di sovrascorrimenti e scaglie (figura 5) aumenta per la presenza di alcune scaglie minori costituite da Dolomia Principale, o da scollamenti a basso angolo entro la Dolomia della Val d'Adige (figura 6). Le differenti direzioni che assumono i thrust si possono interpretare perciò come rampe frontali (tratti orientati ENE) e rampe oblique a traspressione sinistra (tratti orientati NNE).

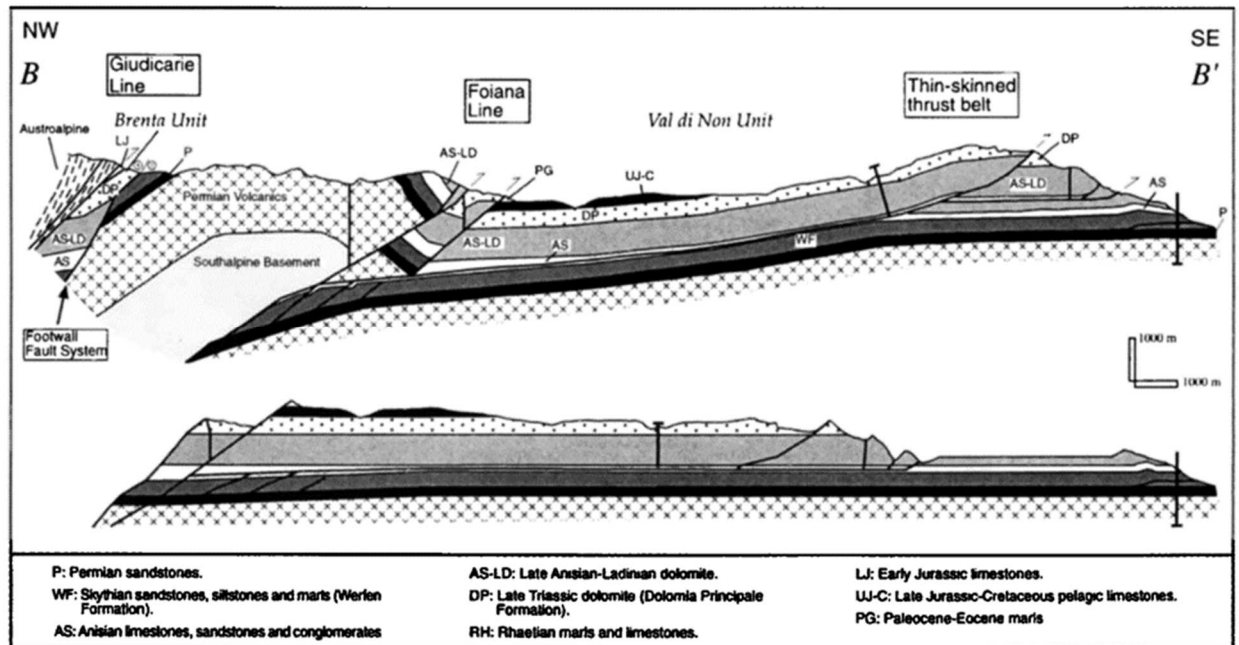


Figura 5: Sezione geologica schematica con individuazione delle strutture inverse che evolvono nello scollamento basale con il "duplex" dei sovrascorrimenti di Mezzocorona (Prosser, 1998).

Il raccorciamento totale calcolato lungo sezioni bilanciate (Prosser & Selli, 1991), e confermato nel foglio Mezzolombardo, è compreso tra 4 e 6 km.

A queste si associano strutture transpressive NE-SW che hanno determinato, sulle litologie a comportamento fragile, l'insorgere di vere e proprie fasce cataclastiche oltre ad una fitta e diffusa fratturazione a bassa persistenza. L'estensione di tali strutture ha condizionato l'andamento del solco vallivo orientando pertanto l'erosione per direttrici imposte.

In prossimità di tali strutture si rileva poi uno stato di fessurazione costante, subparallelo all'andamento delle pareti, assimilabile ad un "clivaggio" ad alta persistenza ed elevata spaziatura (Piani di Riedl: figura 6) costituito da piani da verticali a subverticali, lungo i quali sono organizzate le ripide pareti rocciose verticali quali frutto di step successivi di smantellamento delle porzioni tabulari in cui si suddivide l'ammasso.

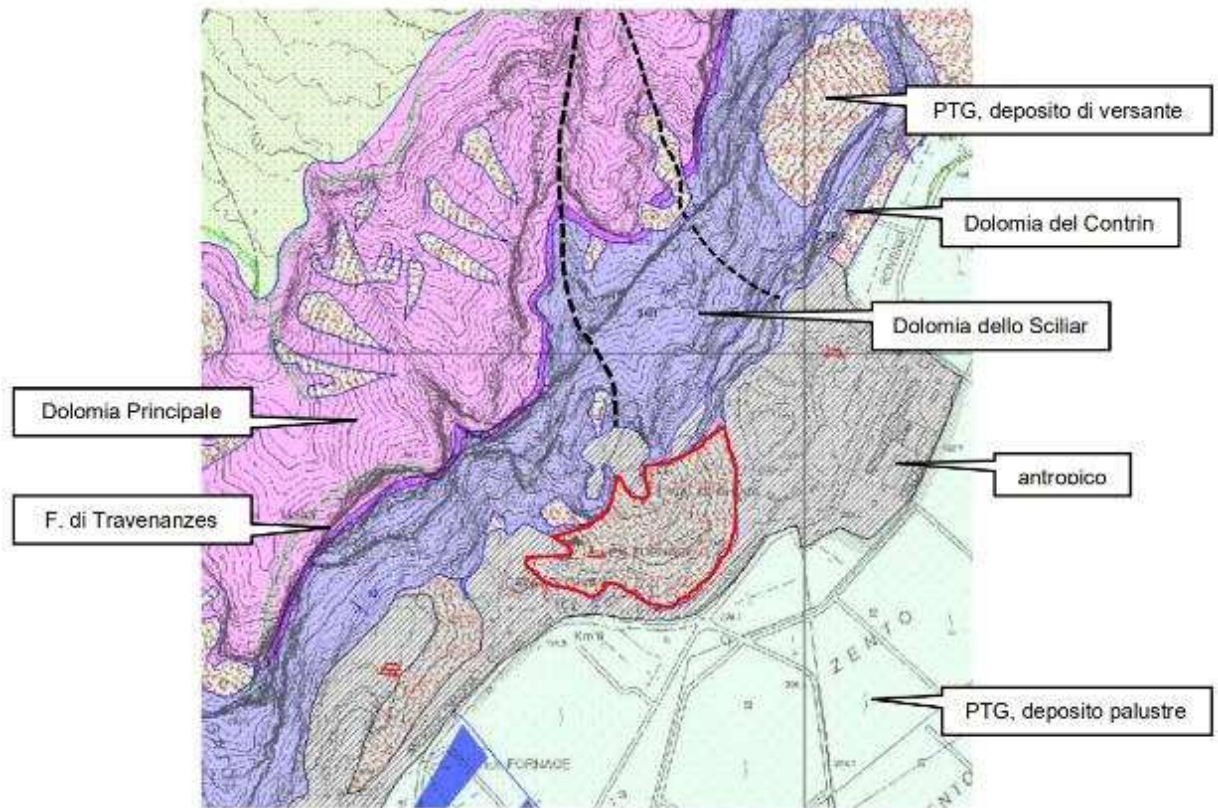


Figura 6 – estratto carta geologica CARG – foglio 043 Mezzolombardo, per il sito in esame

Il versante presenta, a grande scala, un'orientazione NE-SO ed è solcato quindi da strutture subverticali con direzione NNE-SSO cui corrispondono le incisioni nonché gli impluvi ad esse correlati.

L'area in esame è collocata al piede di una parete che si sviluppa verticalmente per centinaia di metri, come visibile in figura 7-8. Più direttamente l'area in esame è caratterizzata ad oggi dalla presenza di ciò che resta di un conoide detritico (figura 9) molto più esteso e di origine mista, formatosi per l'accumulo di materiale granulare, prevalentemente grossolano, arrivato in loco conseguentemente a fenomeni di tipo gravitativo e di trasporto solido.

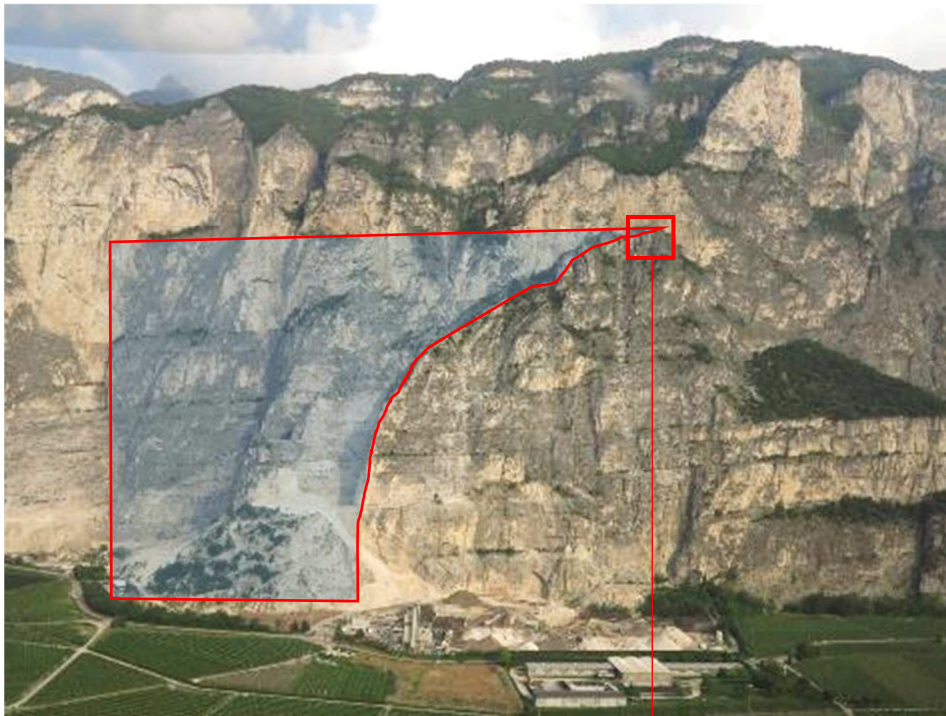


Figura 7 – grandi strutture a valenza morfologica



Figura 8 – strutture R1 e R2

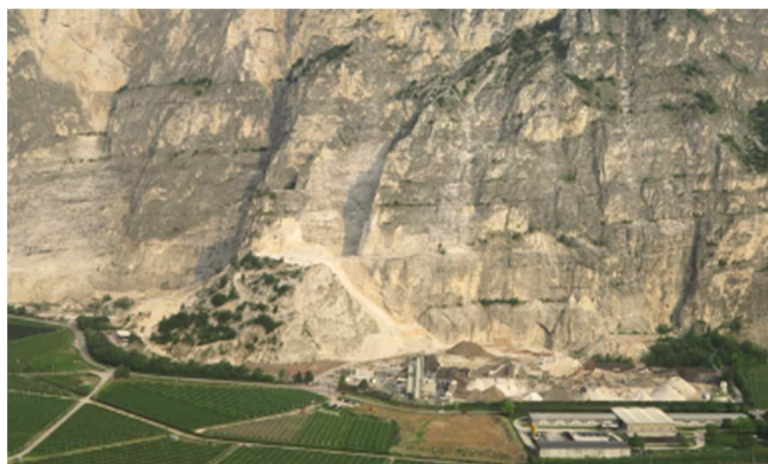


Figura 9

5.2 ASPETTI MESO-STRUTTURALI

L'ammasso roccioso in esame è caratterizzato da stratificazione suborizzontale ad alta frequenza, propria della F.ne della DOLOMIA PRINCIPALE, e da altre discontinuità, generalmente subverticali, ad alta persistenza individuate dai rilievi geostrutturali e corrispondenti a due famiglie principali di giunti KK1 e KK2 rispettivamente riportate nello stereodiagramma di Schmidt in figura successiva (figura 10). Il sistema che presenta maggiore importanza nel determinare i fenomeni di rilassamento corticale è il KK2, parallelo all'asse vallivo, che si presenta particolarmente continuo e tale da isolare placche e/o pinnacoli di spessore dipendente dal locale valore di spaziatura dello stesso sistema; generalmente si osservano spaziature variabili dell'ordine dei 2-3 m, mentre lo stesso sistema nella configurazione a più bassa persistenza (kk2) presenta spaziature molto più contenute fino alla dimensione propria del clivaggio.

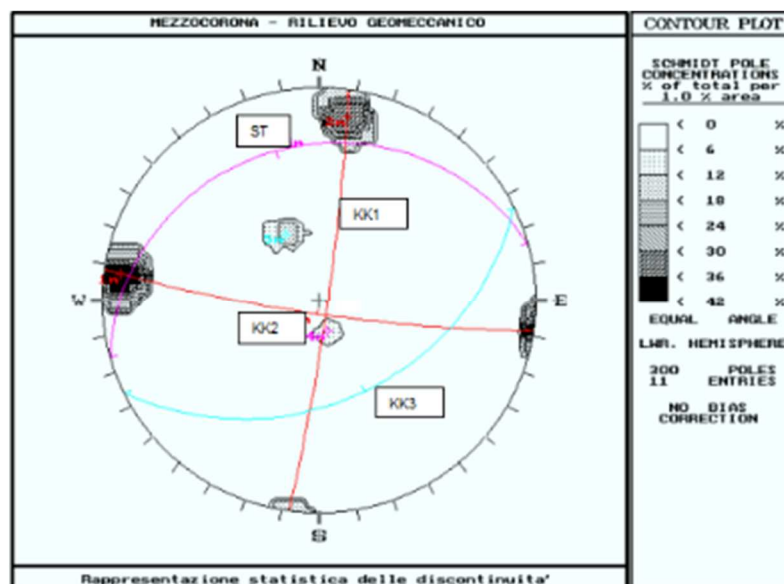


Figura 10 – stereodiagramma di Schmidt delle famiglie di giunti

Un esempio molto interessante lo troviamo in parete al di sotto dell'area evidenziata in figura 7 con rettangolino rosso, laddove, in corrispondenza di un asse disgiuntivo si osserva appunto una fascia di strutture K1 ad alta frequenza rispetto invece alle zone distali rispetto alla spaccatura laddove i valori di spaziatura sono molto più elevati.

La soluzione di continuità nella direzione opposta viene offerta dalle discontinuità appartenenti al sistema KK1 che non ha carattere "passante" nei confronti del KK2, ad alta persistenza, in quanto generalmente si interrompe a ridosso di questo. Un'altra famiglia di discontinuità individuata, di importanza decisamente minore visto l'elevata spaziatura e la scarsa frequenza, si presenta disposta trasversalmente al versante con immersione verso

NE. Questa famiglia di giunti (KK3) dà luogo a instabilità localizzata predisponendo a condizioni di scivolamento di cunei lungo tali superfici.



Figura 11

Sulla base di questo schema strutturale è chiaro quindi che i possibili cinematismi di distacco sono, per le masse di volume maggiore, essenzialmente roto-traslativi per mancato trattenimento a tergo (discontinuità KK2) e rottura in zona di piede, mentre sono abbastanza diversificati per tutte quelle innumerevoli porzioni superficiali in condizioni di equilibrio precario. In figura 12 e 13 si riportano esempi didascalici relativi a masse dell'ordine dei 10mc di circa 5m di altezza distaccate dalla parete retrostante proprio lungo una struttura KK2. Localmente, in modo decisamente subordinato, si osserva anche la possibilità di scivolamento basale, di elementi isolati, lungo KK3, ma tale fenomeno non è significativo statisticamente (per quanto è stato possibile osservare) nell'ambito del contesto più in generale.

In un quadro di sintesi meso-strutturale potremo pertanto affermare che il pattern è fortemente improntato da strutture essenzialmente verticali in un contesto dominato da strutture pervasive orizzontali corrispondenti alla stratificazione. Tale condizione favorisce il mantenimento in posto, ovvero la bassa velocità di evoluzione, di fenomeni di degradazione corticale in cui la progressiva apertura dei giunti verticali è il motore delle dinamiche di crollo che coinvolgono nei casi più importanti strutture dotate di una certa "snellezza". Tale prerogativa si riflette piuttosto significativamente sulla bassa resistenza all'urto di tali elementi unitari in relazione alla snellezza e quindi allo sbilanciamento tra spessore ed elevazione dei corpi unitari. E' principalmente questo il motivo per cui i casi di

crollo più ricorrente si caratterizzano per ridotte dimensioni degli elementi che sopraggiungono a quota campagna quale risultato di frazionamento multiplo nel corso degli impatti successivi al distacco anche favorito dalle superfici Ss ad alta frequenza.

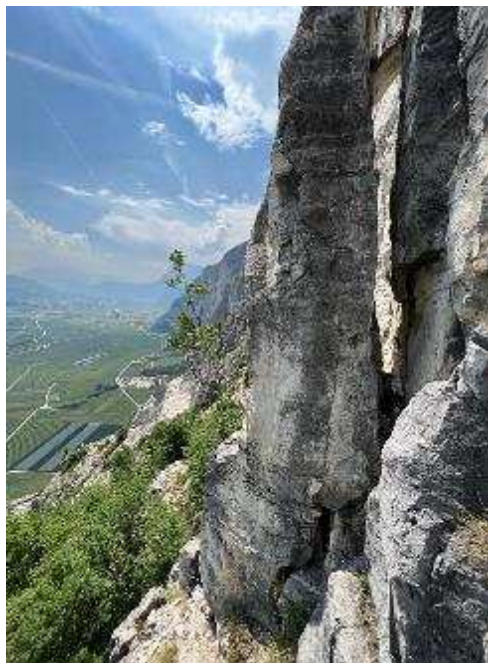


Figura 12



Figura 13

Allo stesso tempo, proprio per queste prerogative che rallentano la velocità evolutiva delle forme, è efficace l'azione di monitoraggio periodico con ispezione diretta dei versanti, provvedendo ad azioni mirate di disgiungimento di talune porzioni qualora giudicate sopraggiunte ad una condizione limite. Questa azione viene già ad oggi quasi quotidianamente operata nell'ambito dei gradoni di coltivazione laddove vengono programmate operazioni di disgiungimento al procedere delle fasi di abbassamento, mentre alle quote sommitali del versante viene svolta una azione di perlustrazione con interventi mirati di disgiungimento da parte di squadre di rocciatori con frequenza annuale. Tale procedura verrà mantenuta per tutto il perdurare dell'attività estrattiva e anche successivamente a questa almeno per il settore di versante che sovrasta la zona produttiva D2d e sotteso dall'opera paramassi prevista dal PRG laddove si svolgono e si svolgeranno attività di lavorazione, deposito di materiali inerti e trattamento rifiuti inerti.

5.3 ASPETTI MORFOLOGICI

L'originaria morfologia dell'accumulo detritico di conoide è stata rimodellata nel tempo; negli anni, infatti, sono state asportate significative quantità di materiale per via

dell'attività estrattiva della cava. L'attuale aspetto del conoide si discosta quindi dalla naturale morfologia che avrebbe caratterizzato il deposito in assenza dell'attività antropica di coltivazione, pertanto la superficie di materiale granulare che attualmente è esposta a giorno corrisponde ad orizzonti precedentemente sepolti nel corpo del conoide che hanno subito un certo grado di addensamento in risposta ai carichi indotti dall'accumulo del materiale sovrastante oggi asportato.

L'origine del conoide va ricercata nell'attività mista alluvionale/gravitativa svolta dalle acque di ruscellamento superficiale raccolte dai bacini scolanti a monte del deposito e nelle caratteristiche litologico-morfologiche delle alte pareti strapiombanti interessate da distacchi multipli a seguito dell'ultimo detensionamento postglaciale e solcate dall'erosione localizzata prevalentemente in corrispondenza delle fasce cataclastiche pervasive. Di questi fenomeni si ritrova ampia trattazione nella relazione idraulica di IN.GE.Na allegata.



Figura 14 – foto panoramica del versante

In prospettiva geomorfologica potremo quindi affermare che le caratteristiche strutturali che caratterizzano l'ammasso costituente le pareti verticali che sovrastano l'area, possono favorire il distacco di porzioni litoidi dalle volumetrie che al momento del distacco rientrano in un range di valori potenziali estremamente variabili e dipendenti dal locale valore delle spaziature tra le famiglie di discontinuità. Il grado di meso/micro fratturazione che le caratterizza favorisce tuttavia nettamente la frammentazione della massa iniziale nel corso di impatti contro roccia, da cui la netta prevalenza della matrice rispetto alle porzioni massive nell'ambito degli accumuli al piede delle pareti. Si ritiene che

volumetrie residuali più imponenti possano essere attribuite agli esiti di crolli in massa di porzioni rocciose importanti. Ragionevolmente e sulla base dell'esperienza maturata sul tipo di attività di queste pareti si osserva attualmente il prevalere di un ordinario stillicidio di elementi minori che ricorre quindi con tempi di ritorno molto brevi (giornaliero) e che, nel tempo, è andato a costituire la “matrice di fondo” del conoide, mentre con tempi di ritorno molto più elevati (10^1 anni) si sono registrati distacchi un po' più importanti, fino a quelli di carattere per lo più eccezionale che possono ricorrere con tempi di ritorno 10^2 - 10^3 anni. Nella figura di seguito si può avere una panoramica sulla granulometria del deposito corrispondente dove si caratterizza chiaramente per un sostegno di matrice rispetto porzione grossolana incassata. Evidente anche la caratteristica spigolosità da accentuata a semi-arrotondata del materiale incassato che ne denota l'origine mista.



Figura 15 – dettaglio della granulometria del deposito

A carattere più generale e in riferimento alle pareti che sovrastano la Valle dell'Adige, in questi ultimi anni si sono registrati dei crolli importanti nelle località di Salorno e di Mezzocorona quali quello della loc. Masetto e più recentemente Castello San Gottardo; tra i due probabilmente quello di S.Gottardo, struttura realizzata sicuramente prima del 1181, è caratterizzato da tempi di ritorno di portata millenaria. In questo caso il mantenimento post-distacco di volumi al suolo ancora importanti (data la spaziatura elevata del giunto Ss) è dovuto più probabilmente al verificarsi di un solo impatto roccia-contro-roccia in zona di cengia, dopo di che gli impatti successivi sono stati regolati da un rapporto blocco-detrito



che, in quanto tale, ha ridotto fortemente ulteriori possibilità di frammentazione mantenendo preferenzialmente la forma.

In ogni caso tali fenomeni esogeni hanno pertanto contribuito all'accrescimento delle conoidi che occupavano il fondovalle interdigitandosi progressivamente con i depositi alluvionali che si accumulavano a quota via via crescente sul fondovalle fino all'attuale configurazione morfologica. In questa sorta di progressiva obliterazione delle forme in cui si articolava la prima morfologia postglaciale venivano ad essere in parte riassorbite le irregolarità che sono sopravvissute alla de glaciazione e che costituivano di volta in volta prevalentemente dorsali (Cimitero di Mezzocorona) o terrazzi morfologici, piuttosto che forme più slanciate (Grumo) in qualità comunque di irregolarità maggiormente prossime al fianco vallivo.

Anche nel caso in esame l'indagine sismica mette in luce la presenza di "anomalie" morfologiche che danno luogo, da un lato, ad una sorta di dorsale in qualità di forma leggermente "avanzata" sul solco vallivo rispetto al versante orografico destro e dall'altro ad una sorta di solco ipogeo che stacca dal versante orografico tale forma. Forma che va peraltro inquadrata in un andamento del versante particolarmente articolato che già al confine con l'area di competenza del Lotto 2 mette in risalto l'evidente "torrione" roccioso che separa i due ambiti estrattivi .

Sulla base dell'indagine geofisica (vedi ALL.1) sono stati ricostruiti i profili più probabili del substrato affiorante rispetto alla quota di fondovalle.

5.4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Dal punto di vista idrogeologico il sottosuolo dell'area di studio è caratterizzato dall'acquifero a falda libera della piana alluvionale dell'Adige. In particolare in tale settore i depositi sabbiosi debolmente limosi di esondazione della piana alluvionale interdigitati alle ghiaie dell'unghia del complesso detritico costituiscono un'unità idrogeologica a permeabilità primaria da medio bassa ad elevata, con locale livello di base costituito dalle alluvioni fini limoso - argillose sottostanti.

Idraulicamente l'acquifero in questione costituisce un sistema globale con il F. Adige. In considerazione della situazione idrografica ed idrogeologica individuate è quindi possibile affermare che le escursioni stagionali del livello di falda, in prossimità dell'alveo, sono governate dalle oscillazioni del fiume tra le fasi di magra e di piena. Periodo di magra del F. Adige e della falda possono mediamente essere considerati i mesi di gennaio, febbraio e marzo, mentre periodi di morbida possono mediamente essere considerati i

mesi di giugno-luglio ed ottobre-novembre. Sulla base dei dati a disposizione, il livello statico della falda è attualmente posizionato a 204m s.l.m., la quota di sistemazione finale, che corrisponde alla quota di massimo scavo è stata fissata a 208 m s.l.m., pertanto ad oggi 4 m più alta.

Nell'ambito delle valutazioni di ordine idrogeologico e con riferimento all'auspicabile fattibilità di una gestione delle portate liquide fuoriuscenti dalle vasche di deposito (vedi studio idraulico allegato) si è passati alla valutazione del più probabile valore di permeabilità dei depositi grossolani che costituiscono gli accumuli gravitativi attraverso prove di permeabilità pozzetti scavati a sezione controllata.

La capacità di dispersione per percorsi di filtrazione verticali di un sottosuolo insaturo in cui la falda si trovi ad una profondità elevata rispetto alla quota di infiltrazione (nel nostro caso nell'ordine dei 4m) è stata valutata attraverso prove di permeabilità in 2 pozzetti (figura 16) scavati per mezzo di escavatore (2.0m x2.0m x1,30m), riempito di acqua grazie alla portata in ingresso concessa dalle potenzialità di una cisterna da 3mc e registrando gli abbassamenti in funzione del tempo. Si sono quindi ottenuta una curva di svaso che ha permesso di calcolare il dato di permeabilità (vedi figura 17).



Figura 16

Nell'ambito dei due pozzetti scavati al piede del conoide principale è stata testata la permeabilità del terreno presente nell'ordine di 10^{-3} - 10^{-4} m/s. A favore di sicurezza si è assunto il valore più basso di permeabilità, pari a $8.7 \cdot 10^{-4}$ m/s.

Sulla base di questo valore è stato dimensionato il sistema di gestione della portata liquida in arrivo nella zona della cava nel caso degli eventi di precipitazione intensa considerati (tempi di ritorno di 30, 100 e 200 anni) venendo così a verificare la reale possibilità di dispersione delle acque nel sottosuolo attraverso un sistema di vasche e trincee come riportato in dettaglio nello studio idraulico allegato.

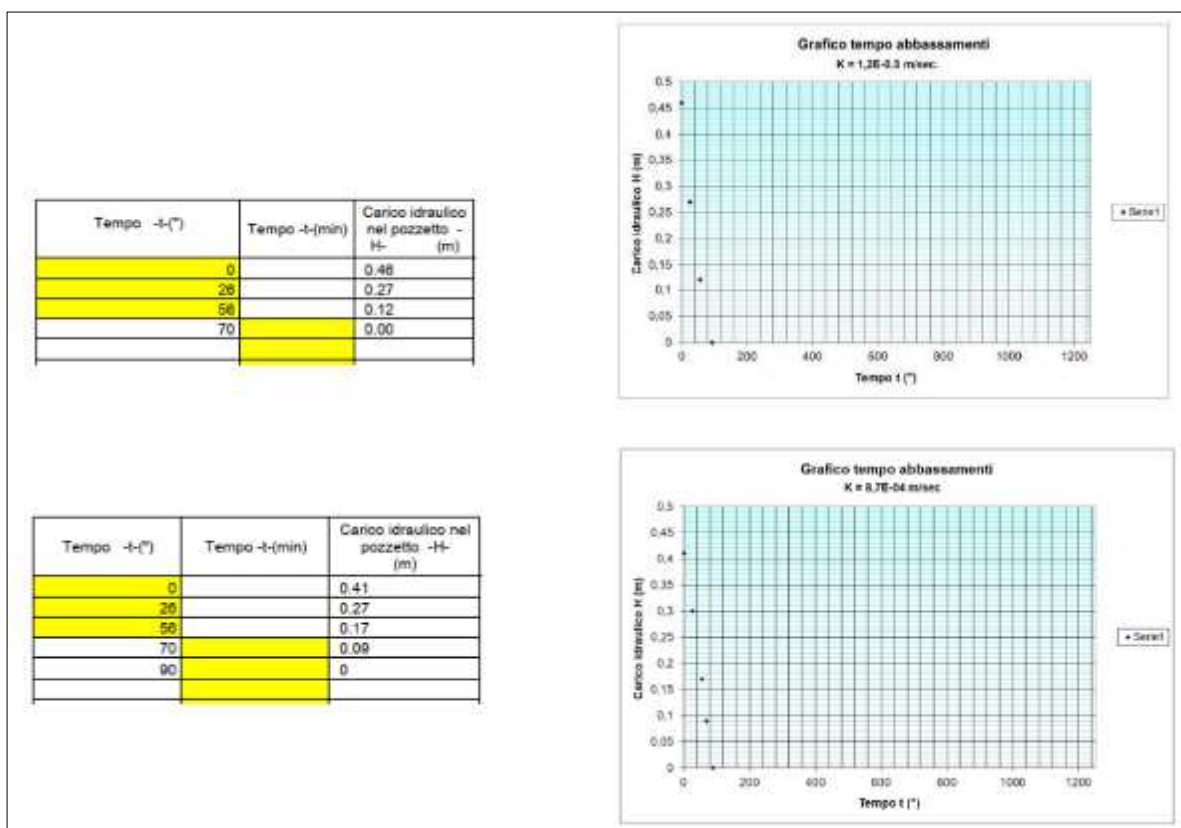


Figura 17

6. INDAGINI GEOFISICHE E MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Come precedentemente menzionato, con l'intento di identificare con sufficiente approssimazione l'andamento ipogeo della roccia del versante orografico rispetto alle coperture quaternarie del deposito di conoide detritico, è stata condotta una campagna d'indagini geofisiche basata sull'acquisizione di dati mediante tre stendimenti sismici disposti sulla superficie del conoide seguendo le direzioni riportate in rosso nella figura 18 sottostante.

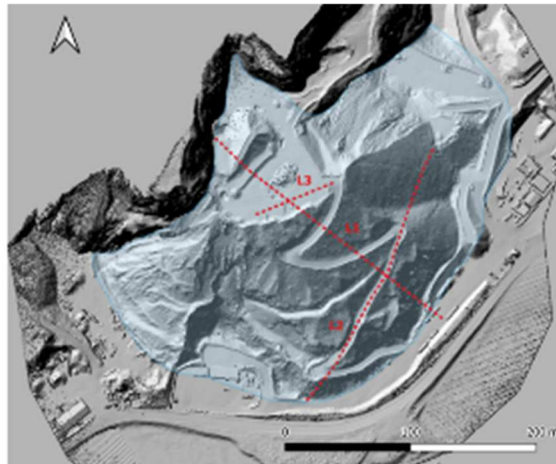


Figura 18 – stendimenti indagine geofisica

Sintesi dei risultati

Le indagini geofisiche (vedi ALL.1) hanno rilevato una situazione caratterizzata da depositi di conoide con un grado di addensamento via via maggiore all'aumentare della profondità. Essi giacciono su un substrato roccioso che presenta una morfologia insolita nel tratto ubicato al di sotto della porzione più distale del conoide: in tale posizione, infatti, il substrato presenta un cambio di pendenza e una morfologia a forma di dosso.

Riportando in sintesi gli esiti dello studio (figg.19-21), per la consultazione estesa del quale si rimanda all'ALL.1, tracciando una sezione trasversale al conoide detritico che segue la direzione di massima pendenza del versante, si osserva che gli spessori dei depositi quaternari aumentano progressivamente da 10 m a maggiori di 90 m procedendo dalla zona prossimale a quella intermedia in cui si evidenzia un solco morfologico sepolto, per poi assottigliarsi nuovamente fino a spessori di circa 20-30 m in corrispondenza del dosso al di sotto della zona distale del conoide.

Il modello geologico interpretativo locale vede la presenza di materiali granulari da sciolti ad addensati, fino a molto addensati e in parte cementati, appartenenti ad una struttura di conoide detritico accresciutosi nel corso degli eventi misti di tipo gravitativo e di trasporto solido che hanno interessato il versante roccioso soprastante.

Tale materiale è caratterizzato da un fuso granulometrico decisamente grossolano in cui si alternano ciottoli e trovanti inglobati in una matrice di fondo ghiaiosa-sabbiosa.

- I depositi di conoide, Unità Q, sono stati suddivisi in tre differenti orizzonti con un diverso grado di addensamento all'aumentare della profondità. Essi sono stati denominati Q3 (detrito sciolto), Q2 (detrito mediamente addensato) e Q1 (detrito addensato).

- Il substrato costituito da Dolomia Principale, Unità DPR, è stato a sua volta suddiviso nel modello geologico in substrato fratturato ed alterato (DPR 2) e substrato compatto (DPR 1)

Quanto detto finora è riassunto nella seguente tabella

UNITÀ LITOSTRATIGRAFICA	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE
Unità Q	Deposito di conoide detritico	Materiale granulare sciolto-poco addensato (Q3), mediamente addensato (Q2) ed addensato (Q1): ciottoli e trovanti in matrice ghiaioso sabbiosa.
Unità DPR	Substrato roccioso	Dolomia principale compatta (DPR1) o alterata/fratturata (DPR2)

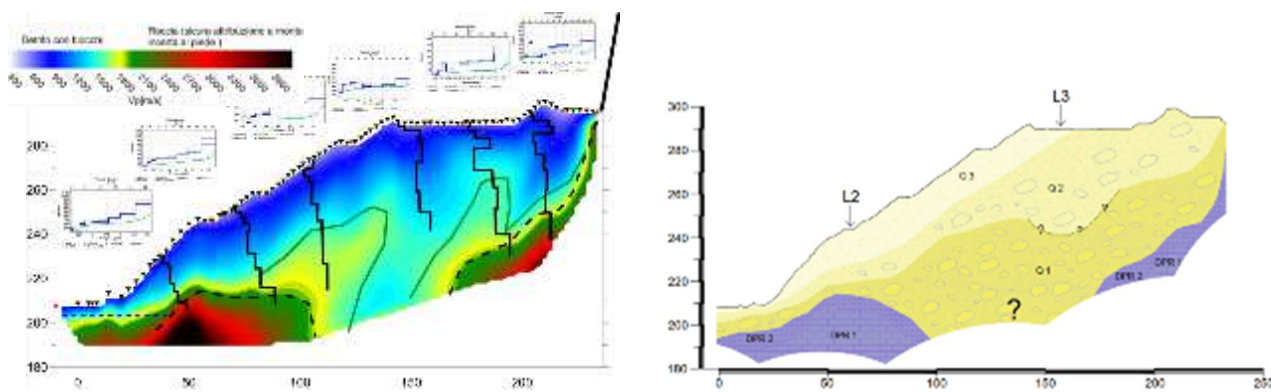


Figura 19 – risultati indagine geofisica L1 e relativa interpretazione geologica

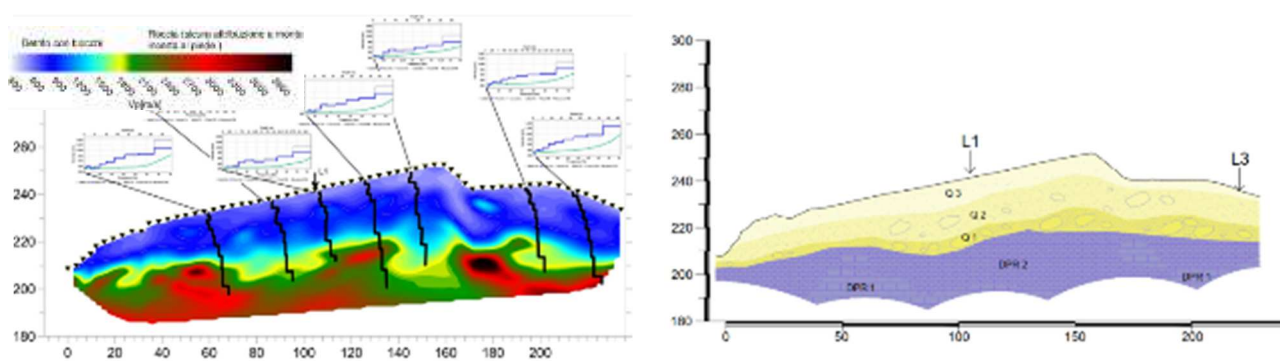


Figura 20 – risultati indagine geofisica L2 e relativa interpretazione geologica

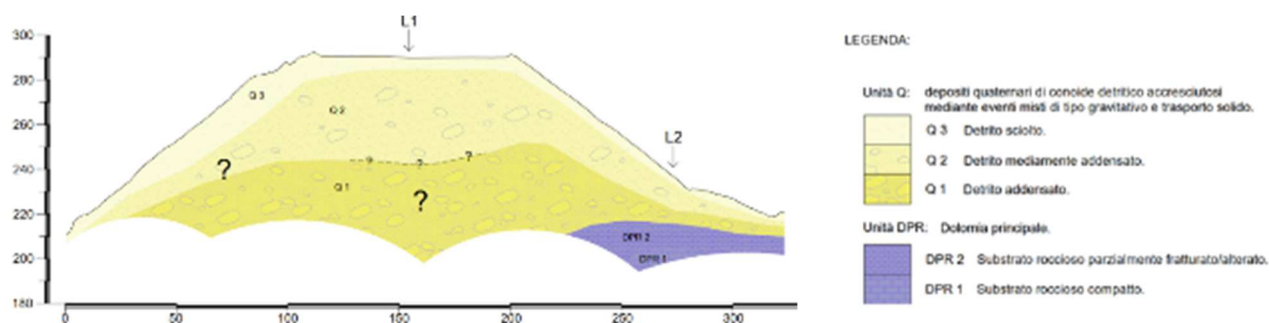


Figura 21 – sezione geologica trasversale del conoide



L'analisi interpretativa ha portato all'elaborazione di un modello geologico morfologico ipogeo piuttosto approfondito. Sussistono tuttavia alcune incertezze circa la profondità del substrato nella porzione intermedia del conoide detritico, dove la profondità di quest'ultimo supera quella indagata dalle indagini geofisiche.

L'anomalia morfologica ipogea descritta, si colloca nell'ambito dell'esteso versante che si estende tra Mezzocorona e Roverè della Luna in cui questo perde la propria linearità. E' di tutta evidenza infatti l'articolata morfologia della zona a confine tra la cava lotto 2 e la cava in oggetto. Sulla base di una interpretazione strutturale tale "anomalia" potrebbe corrispondere probabilmente ad una risalita del substrato secondo una paleomorfologia sepolta; meno probabilmente ad una zona frontale di accumulo di materiale di frana in grossi blocchi a sovrastare comunque una porzione rocciosa sub-emergente sulla quota del fondovalle. Nello specifico è molto probabile che tale forma si allinei con una faglia a direzione parallela al fianco vallivo nonché all'asse longitudinale della stessa struttura morfologica sepolta che ha condizionato l'andamento delle direttrici di erosione. E' evidente tuttavia che tale contesto potrebbe trovare chiarimento definitivo solo di fronte e riscontri diretti (sondaggi). Va peraltro detto, a differenza della zona del solco ipogeo, che quest'ultima porzione rimarrà ad una quota inferiore a quella di massimo scavo e pertanto non condizionerà le opportunità estrattive sviluppate in progetto.

7. VALUTAZIONI SULLA PERICOLOSITA' DA CROLLI

Le caratteristiche mesostrutturali discusse nei capitoli precedenti, che caratterizzano l'ammasso costituente le pareti verticali che sovrastano l'area favoriscono il distacco di porzioni litoidi dalle volumetrie che al momento del distacco rientrano in un range di valori potenziali estremamente variabili.

Nello specifico l'esperienza dell'ambiente di cava porta a far registrare uno stillicidio piuttosto ordinario di piccoli elementi rocciosi che, come documentato durante operazioni di disaggio coordinate dallo scrivente, possono a volte corrispondere anche ai risultati di una frammentazione, di elementi di volume maggiore durante la traiettoria di crollo, durante impatti lungo le frequenti piccole cenge (figura 22) che caratterizzano il profilo del versante e che, per esperienza derivata dai disaggi, determina un importante smorzamento delle traiettorie ivi sopraggiungenti. L'associazione del clivaggio e della degradazione superficiale favoriscono spesso tali fenomeni di frammentazione. Tale stillicidio va sicuramente rapportato a tempi di ritorno molto ristretti, legati prevalentemente alle

escursioni termiche giornaliere, piuttosto che al gelo/disgelo o alle precipitazioni, e pertanto hanno ordine di grandezza che può essere considerato, almeno per i fenomeni legati al differenziale termico, quotidiano e più probabilmente correlato alla fascia oraria del primo mattino (insolazione delle pareti dopo le temperature rigide della notte); in effetti lo stillicidio più frequente lo si osserva nel periodo invernale/primaverile e si caratterizza per la proiezione di detrito (ordine di grandezza del volume registrato al suolo: cmc-dmc) in una fascia di qualche decina di metri dal piede del versante.



Figura 22 – cengia con accumuli di detrito

Fenomeni di crollo con tempi di ritorno molto maggiori (decine di anni) possono essere correlati al rilascio di volumi rocciosi importanti provenienti da porzioni del tipo inquadrato nella foto seguente (figura 23 e 24) e che in ogni caso si organizzano nell'ambito di un ammasso roccioso molto degradato. Nel caso specifico tali porzioni ricadono generalmente subito all'esterno di una fascia cataclastica di spessore decametrico già raffigurata in figura 24 afferente una faglia transpressiva che ha generato una sovra fratturazione delle porzioni al contorno.

Le osservazioni condotte nel tempo hanno portato a verificare come le superfici poste in zone distali rispetto al piede delle pareti siano interessate da impatti al suolo di “schegge” provenienti dalle pareti soprastanti e che possono (seppure in rari casi osservati) talora proiettarsi a più di 50m dal piede parete (volume con ordine di grandezza 10^2 cmc).



Figura 23 – porzione di ammasso molto degradato situato a Nord del conoide



Figura 24

Sulla base delle osservazioni effettuate si è pertanto proceduto alle simulazioni di crollo utilizzando esclusivamente software di modellazione 2D, nello specifico costituito dal codice di calcolo Rocfall, per una stima della gittata delle traiettorie virtuali di caduta.

Non sono state effettuate modellazioni 3D sullo stato finale in quanto non è noto ad oggi l'andamento esatto delle pareti se non nel tratto nord della cava.



Non potendo il simulatore considerare gli effetti del frazionamento e allo stesso tempo non potendo efficacemente simulare il moto masse di volumi rapportabili a quello di una scheggia (in quanto troppo sottoposta a fenomeni di rallentamento nelle fasi di impatto e rotolamento) si è proceduto considerando comunque volumetrie non frammentate di $1,0 \text{ m}^3$. Lo scenario virtuale, ricavato sulla base delle simulazioni, presenta così maggiori margini di probabilità da avvicinarlo molto ai riscontri di esperienze già maturate nel controllo di fasi di disgaggio condotte nelle due aree di cava gestite rispettivamente da INERTI MEZZOCORONA e ADIGEBITUMI.

Nel caso delle simulazioni dedicate a questo studio e che definiscono un proprio scenario traiettografico, emerge la peculiarità prevalente delle posizioni dei primi impatti al suolo afferenti fasci di traiettorie ad elevata componente di moto verticale. Tale scenario consente valutazioni inerenti la selezione di aree variamente interessate dalle traiettorie cui dedicare opere di difesa differenziate.

7.1 FINALITÀ E ITER DELLE SIMULAZIONI

Riprendendo quindi il concetto appena espresso in calce al capitolo precedente, nella consapevolezza, peraltro confermata dai riscontri analitici, che le traiettorie di crollo all'impatto con il piazzale sono caratterizzate da moto verticale a scarsa componente orizzontale, l'analisi per la Variante 2 ha avuto lo scopo precipuo di valutare senz'altro la posizione del tomo paramassi previsto ma soprattutto se e quanto le aree a valle di questo possono essere direttamente sottoposte alle traiettorie e in che misura, nella prospettiva di una ipotesi di destinazione d'uso produttivo di tipo locale – area “Fornaci” -ZPL (zone D2d).

Questo contesto di valutazioni riguarda principalmente il settore nord, ovvero laddove l'andamento della roccia è ad oggi certo e maggiormente prossimo alle aree produttive previste dal Piano. Per il settore sud (Variante 10), dove comunque è stata effettuata una verifica traiettografica su un andamento ipotetico delle pareti, la definizione delle aree utili è ragionevolmente esterna anche alla proiezione di elementi provenienti dalla frammentazione del blocco di partenza ma in ogni caso qualsiasi valutazione di merito è al momento attuale prematura.

Come primo passo sono state quindi identificate le sezioni delle pareti rocciose più sfavorevoli, sia in termini di geometria e condizioni dell'ammasso sia in funzione della sistemazione finale prevista.

La scelta è ricaduta su due ambiti che grossomodo possono essere ricondotti alle



sezioni 3 e 9 di progetto. Su tali sezioni sono state condotte le modellazioni 2D analizzando principalmente le traiettorie dei blocchi e calibrando i dati di input in relazione alle condizioni in situ e ai risultati di modellazioni eseguite precedentemente in condizioni analoghe. La scelta dell'approccio 2D è legato a due aspetti importanti:

1. nella zona nord il problema è spiccatamente bidimensionale in quanto al di sopra della zona il versante è piuttosto omogeneo e come risultato dai disaggi osservati in questi anni le traiettorie, ad una vista prospettica, assumono andamento praticamente rettilineo
2. nella zona sud la topografia sepolta è invece sicuramente più articolata ma al momento i pochi dati stimati sulla base della geofisica renderebbero la simulazione 3D un solo esercizio di stile in quanto non ancorato ad una realtà topografica. In questa zona pertanto tutte le considerazioni traiettografiche, di opportunità di opere di difesa e di utilizzo delle aree è da ridefinirsi più puntualmente alla luce dei riscontri al momento della conclusione dell'asporto del conoide detritico.

Per ottenere un risultato coerente con le aspettative dettate dall'esperienza degli scriventi, nell'ambito dell'osservazione di un numero elevato di traiettorie durante operazioni di disaggio sia nella cava in oggetto che nella cava del Lotto 2, sono stati ottimizzati una serie di parametri che il setup del software consente di relazionare il coefficiente di restituzione R_n dei vari "suoli" al variare della velocità di impatto:

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

Venendo quindi alla velocità in presenza di una parete a sviluppo verticalizzato costituita da una serie di tratti verticali raccordati tra loro da superfici inclinate dove i blocchi in caduta libera possono raggiungere velocità di impatto importanti e superiori a quelle ritenute "*ordinarie*", si è visto che i risultati maggiormente aderenti ai riscontri diretti, ottenuti anche dalle osservazioni dei disaggi eseguiti su queste pareti, sono stati ottenuti scalando il coefficiente R_n in funzione della velocità attraverso la variabile **K**.

Esplicitando il concetto possiamo dire che mentre a velocità relativamente basse ci si potrebbe aspettare che un masso rimbalzi su terreni morbidi, a velocità più alte lo stesso masso affonda di più nello stesso terreno prima di rimbalzare. In questi casi il valore effettivo di R_n diminuisce al crescere della velocità; questo è ciò che l'equazione cerca quindi di catturare. Al contrario a velocità molto alte in presenza di impatti su suolo rigido

massi caratterizzati da materiale con resistenza a trazione non particolarmente elevata, come nel caso dei calcari, subiscono una elevata frantumazione, ma questo fenomeno non è computabile con i software comunemente impiegati (sia che adottino modelli lumped-mass piuttosto che a blocco rigido dimensionato) che non tengono conto della riduzione della massa del blocco nella generazione della traiettoria durante i rimbalzi su superficie rigida. Succede inoltre, come esperienza insegna, che nel caso di frammentazione la traiettoria di uscita degli elementi risultanti spesso non risponde alle leggi della restituzione di energia in campo elastico.

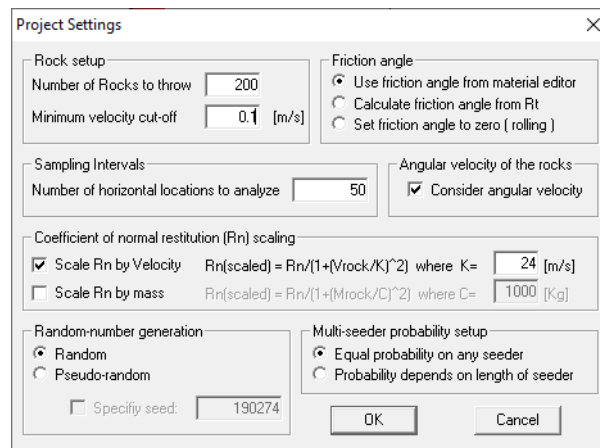


Tabella 1: Settaggio del modello.

L'introduzione della variabile **K** a 24m/sec offre "rimbalzi" più realistici, nell'ambito del problema in esame. Nel caso di pareti ad elevato sviluppo verticale, come nei casi riportati in Figura 25 si nota come le traiettorie risultino maggiormente disperse nella simulazione di sinistra nella quale il coefficiente R_n non viene scalato in funzione della velocità rispetto a quanto mostrato a destra dove R_n viene scalato. La dispersione, data da rimbalzi decisamente poco realistici, aumenta all'aumentare della velocità di impatto e quindi queste traiettorie appaiono più evidenti alla base del versante dove si generano rimbalzi di oltre 60 m di altezza che messi a confronto con quanto rilevato durante i disaggi risultano inesistenti e quindi decisamente "fuori scala". Da quanto detto la simulazione di destra risulta quella più coerente con le aspettative e pertanto nelle simulazioni effettuate si tiene conto di questa correzione.

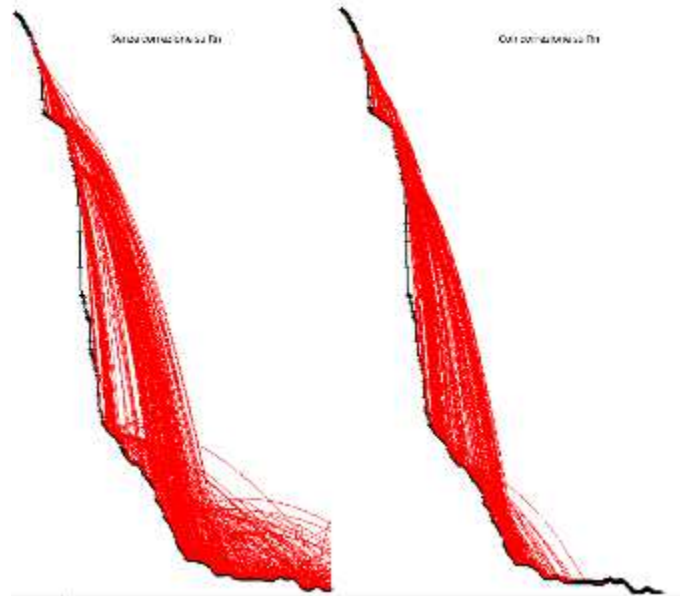


Figura 25 – Confronto tra due simulazioni simili tranne che per come viene calato il coefficiente R_n . A sinistra nessuna riduzione. A destra il parametro R_n viene scalato in funzione della velocità.

Detto questo, che assume valore generale nell'approccio adottato, al fine di simulare in qualche modo, per quanto grossolano, le massime gittate che possono verificarsi nel caso di frammentazione di un blocco in caduta, i valori di R_n sono stati mantenuti nella parte alta del range (0,35-0,45) per quanto concerne la condizione di impatti in roccia fessurata come quella in esame per tentare di simulare quelle che possono essere gittate con massime distanze di impatto al suolo rapportabili al processo di frammentazione appena descritto.

Si riportano di seguito i parametri di input R_N e R_T utilizzati per le simulazioni.

Tipologia di substrato	R_N	R_T
parete rocciosa fratturata	0.42	0.88
parete rocciosa intatta	0.45	0.94
cengia detritica (materiale sciolto)	0.32	0.84
tomo e piazzale	0.30	0.80

I risultati così ottenuti, che rappresentano comunque sempre una stima cautelativa pur tuttavia dotata di una certa solidità, in quanto ancorata ai risultati di una sperimentazione diretta (non virtuale) attraverso l'osservazione di una moltitudine di traiettorie nel corso di attività di disgiungimento, vengono ritenuti piuttosto attendibili e riteniamo possano fornire indicazioni decisive sulle modalità di controllo del rischio da crolli. In virtù di queste considerazioni e sulla base di una analisi comparata di risultati virtuali e riscontri



in loco si ritiene che la prevista area produttiva nord possa trovare margini di ottimizzazione del suo utilizzo, nell'ambito delle usuali pratiche industriali rientranti nell'attività estrattiva e di trasformazione dei materiali estratti (impianti di trattamento inerti) nonché delle previsioni di Piano di cui alla Variante 2 (Art.18ter), attraverso una articolazione del sistema di mitigazione della pericolosità da crolli che prevede la coesistenza di due diverse modalità di controllo "strutturale" del rischio unitamente alla necessità di un controllo "non strutturale" dello stesso.

7.2 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI E RAPPORTI CON LA VARIANTE DI PIANO

I risultati delle simulazioni vengono riportati nelle tavole allegate dove la Tav.1 riporta la sovrapposizione dei tomi di progetto rispetto alla zonazione della pericolosità specifica.

Nella Tav.2 si riportano le simulazioni riferibili alla zona sud e nella Tav.3 quelle riferite alla zona nord. Le simulazioni della parte sud afferiscono un profilo topografico "virtuale" che deriva dall'interpretazione dell'andamento del substrato rilevato con l'indagine geofisica e ovviamente prospettano una situazione di previsione, completamente diversa dalla situazione più a nord che corrisponde invece all'attualità topografica dei luoghi e che, differentemente dalla prima, rimarrà pressoché invariata.

Delle due condizioni è quella nord (Variante n.2) che presenta la necessità di valutazioni ulteriori anche in relazione alla destinazione d'uso dell'area, mentre per quella sud le condizioni sono tali per cui ad asporto completato del conoide il problema della compatibilità verrà meglio definito in futuro (Variante n.10).

Nell'ambito della valutazione dei risultati ottenuti per la situazione nord, finalizzati a valutare l'estensione della fascia interessata da impatti al suolo a partire dal piede delle pareti e quindi non solo del migliore posizionamento delle opere paramassi bensì della sussistenza di una compatibilità con l'area per insediamenti produttivi di tipo locale – area "Fornaci" - ZPL (zona D2d), si è fatto riferimento al 95° percentile del punto di arresto raggiunto dai blocchi, su un campione di 1000 lanci. Nel caso in esame tale valore lo si verifica ad una distanza di ca. 40m dal piede della parete rocciosa. In questa zona la carta della pericolosità nel layer crolli classifica l'area come P4 fino a 50 m dalla parete rocciosa, per poi scendere a P3 per ulteriori 30 - 50 m e infine a P2 per 15 m verso valle (figura 26).

Si ritiene che il prospetto della pericolosità riportato nella CsP sia piuttosto probabile in quanto nella zona centrale della cava (parte sinistra della zonazione di cui all'estratto della CsP in figura 26) la morfologia offra meno possibilità di dilatazione delle gittate data la scarsità di cenge estese.



Figura 26 – aree di pericolosità crolli con sezione di verifica (magenta)

In particolare dalle simulazioni effettuate emergono due dati rilevanti:

- il 95° percentile dei punti di arresto ricade prevalentemente a monte del tomo e in parte direttamente sul paramento di monte del tomo
- una piccola parte dello scenario traiettografico pari al 2% delle traiettorie (20 dei 1000 blocchi lanciati) mostra il superamento del tomo, con impatti al suolo fino a 30 m più a valle dello stesso (figura 27); le traiettorie di risulta dall'impatto contro il tomo non assumono significato in quanto, nella realtà cinematica si è constatato che il moto del blocco, nel caso di traiettorie a così alto angolo, viene praticamente ad estinguersi al momento dell'impatto. In ragione di questo aspetto è evidente che le dimensioni del tomo non afferiscono alla necessità di soddisfare necessità inerziali ma semmai a quelle di determinare, nel complesso dei provvedimenti di progetto, una fascia di "copertura" delle zone a pericolosità P4 e in parte P3, oltre a quelle di opportunità, ovvero di ricollocazione produttiva dei limi di lavaggio.

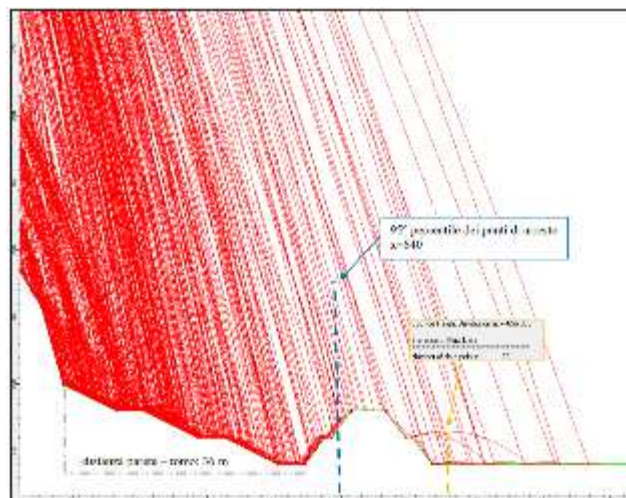


Figura 27 – estratto della simulazione 2d con posizione del tomo

Sulla base di queste evidenze si devono fare alcune considerazioni sul sito in esame



e sulla destinazione d'uso produttiva.

Facendo ancora riferimento alla figura 27, laddove a valle del tomo abbiamo una certa percentuale di impatti al suolo ragionevolmente attribuibili a proiezioni di prodotti di frammentazione per impatti lungo il versante soprastante cui potrebbe ancora corrispondere un'area a pericolosità P3 e successivamente P2 spostandosi progressivamente verso Est, la condizione per poter mantenere la destinazione d'uso produttiva è quella di estendere ad est del piede di valle del tomo una copertura che intercetti le traiettorie sopraggiungenti, a prevalente componente di moto verticale, prima dell'impatto al suolo.

Tale area, estesa a sottendere l'intero sviluppo del tomo paramassi, avrà una larghezza non inferiore ai 30m e la copertura completa dell'area risultante avrà una altezza compatibile con tutte le lavorazioni previste compresa la movimentazione con autoarticolati dotati di cassone basculante. Tali esigenze verranno garantite dall'adozione di un'altezza delle protezioni non inferiori a 16-18m. La copertura, indipendentemente dai materiali impiegati, dovrà essere orientativamente adeguata a resistere ad una azione di punzonamento da parte di una massa non inferiore ai 20kg corrispondente ad un cubo di 20cm di lato dotata di velocità di caduta dell'ordine dei 50m/sec. capace di mobilitare una energia all'impatto di 60 KJ. Fatta salva la necessità di adeguare la copertura alle esigenze di carattere dinamico (energie d'impatto), le esigenze attuali dell'Azienda operante sono quelle di poter disporre anche di una zona a copertura integrale (capace di evitare l'idratazione meteorica del materiale).

In sede di progettazione verranno quindi operate scelte strutturali adeguate alle luci corrispondenti alla soluzione adottata nonché alla condizione di input e l'orientamento si articolerà secondo due principi base:

- la difesa che implica la possibilità di sottrarre parte degli accumuli agli effetti di idratazione delle acque meteoriche sarà orientata alla realizzazione di una soletta portante uno strato di argilla espansa adatte, nell'effetto sinergico, a resistere almeno alla sollecitazione indicata
- la difesa che implica solamente aspetti di contenimento del "proiettile tipo" sarà orientata all'impiego di un doppio strato di rete metallica da roccia (8x10cm) solidarizzato ad un pannello in rete fune o rete ad anelli (tra le due verrà scelto il materiale più leggero a parità di prestazione) adeguatamente posato e "tesato" a copertura dell'area.

La protezione in rete dovrà tuttavia essere prevista non solamente in qualità di protezione a copertura dell'area, disposta quindi orizzontalmente e sostenuta da adeguati



pilastrì, ma anche verticalmente sul lato rivolto verso il tomo paramassi in modo da intercettare anche le traiettorie non necessariamente verticali. Tale area, per la quale vige in ogni caso la destinazione prevista per le aree D2d, sarà gravata da un vincolo che la lega direttamente all'opera paramassi in quanto parte funzionale accessoria. Qualsiasi modifica riguardante in futuro l'area sottesa sarà sottoposta a valutazione di compatibilità in quanto potenzialmente incidente sulla modalità di gestione del rischio.

In Tav.4 si riporta quindi l'ipotesi di zonazione.

In qualità di provvedimenti non strutturali integrativi e finalizzati ad accrescere la storicità del decorso del rischio specifico individuato e alla mitigazione del quale sono riferite le opere di cui sopra, è prevista per il solo settore nord (area sottesa dal tomo e dalla copertura adiacente) l'attività di presidio del versante con ispezione periodica (ogni 2 anni) soprattutto della zona di faglia soprastante per mantenere sotto controllo l'unico ambito nel quale si sono ravvisate maggiori possibilità evolutive nel tempo. Questa azione di controllo verrà svolta dalla Ditta titolare dell'attività in area produttiva e verrà rendicontata negli aspetti geologici che determinano la condizione di rischio con cadenza biennale mediante rapporto dedicato a firma di un Geologo.

8. VALUTAZIONE DELLE OPERE DI MITIGAZIONE DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA

Per quanto concerne gli aspetti di controllo della pericolosità idraulica le analisi idrauliche svolte allo stato di fatto hanno evidenziato la presenza di due fenomeni di natura idraulica che discendono il versante sovrastante la cava di inerti (si faccia riferimento alla Figura 28). All'interno dei bacini idrografici di entrambi questi fossati identificati come B1 e B2 sono presenti importanti quantità di materiale solido sciolto che potrebbe venire movimentato in caso di piogge intense, dando così luogo a fenomeni di colata detritica. Per entrambi questi fenomeni sono stati valutati gli effetti degli interventi di ripristino previsti rispetto alla pericolosità idraulica. Dai risultati delle modellazioni emerge che allo stato di fatto i pericoli idraulici relativi ai fossati identificati come B1 e B2 risultano rispettivamente localizzati nel settore a sud, dove si trova il maggiore deposito di materiale inerte, e nel settore nord-est. In entrambi i casi le frazioni liquide dei deflussi vanno a divagare anche attraverso le zone coltivate presenti esternamente all'areale della cava per poi immettersi nella fossa Pedemontana.

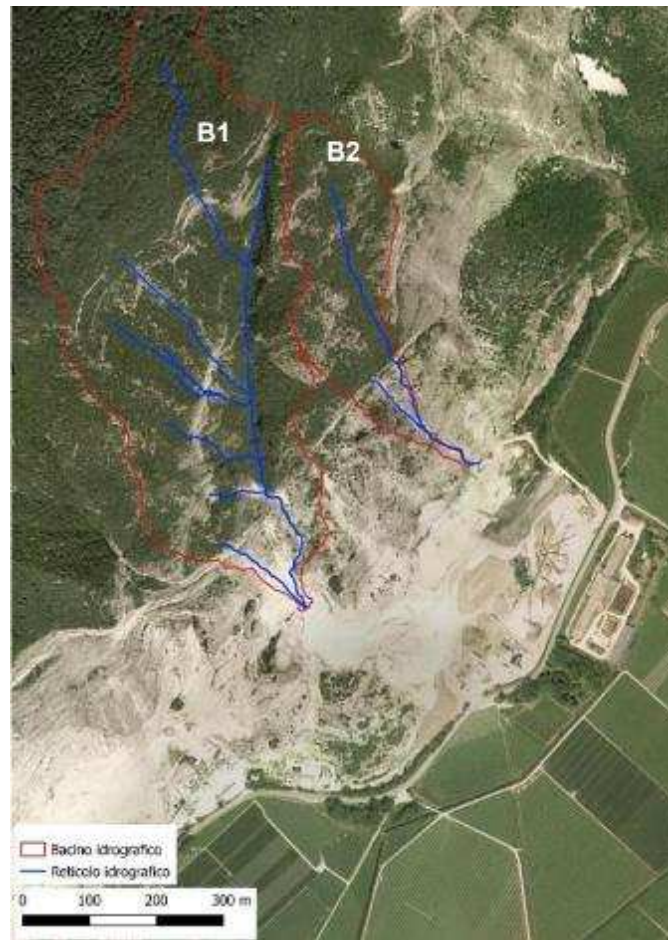


Figura 28

Nella configurazione di progetto della cava a fine coltivazione, alla base delle incisioni dei fossati B1 e B2 è prevista la realizzazione di due zone per il deposito del materiale solido mobilitato sia dai processi geologici che da quelli idraulici. Queste zone sono localizzate alla base del versante e sono confinate lateralmente dal rilevato di ripristino ambientale che viene modellato con una “morfologia ad imbuto”. A valle, i processi di colata detritica vengono invece arrestati dai tomi paramassi che fungono anche da barriera per la protezione dei processi di colata detritica. La zona di deposito prevista a tergo del vallo paramassi alla base dell’incisione del fossato B1 ha una capacità di trattenuta del materiale solido di circa 7400 m^3 , mentre quella alla base del fossato B2 presenta una capacità di trattenuta di circa 4000 m^3 . La stima dell’apporto di materiale solido nei due casi è di circa 2500 m^3 per il fossato B1 e di circa 1200 m^3 per il fossato B2 nel caso di evento di colata detritica caratterizzato da un tempo di ritorno di 200 anni. La superficie prevista per il deposito di materiale solido risulta pertanto ampiamente sufficiente a trattenere l’intero volume di materiale detritico mobilitato dai processi di colata detritica che a scala di evento si possono verificare lungo i fossati B1 e B2. Per quanto riguarda lo smaltimento della

portata liquida, sulla base dei valori di permeabilità stimati e riportati nel cap.5.4 è stato predisposto un sistema di smaltimento costituito da elementi drenanti lineari disposti tra il piede dei profili di ripristino e il tomo paramassi il cui predimensionamento è riportato nello studio idraulico. In figura 29-30 vengono riportati gli schemi delle opere di mitigazione idraulica rimandando allo studio allegato per tutti i dettagli.

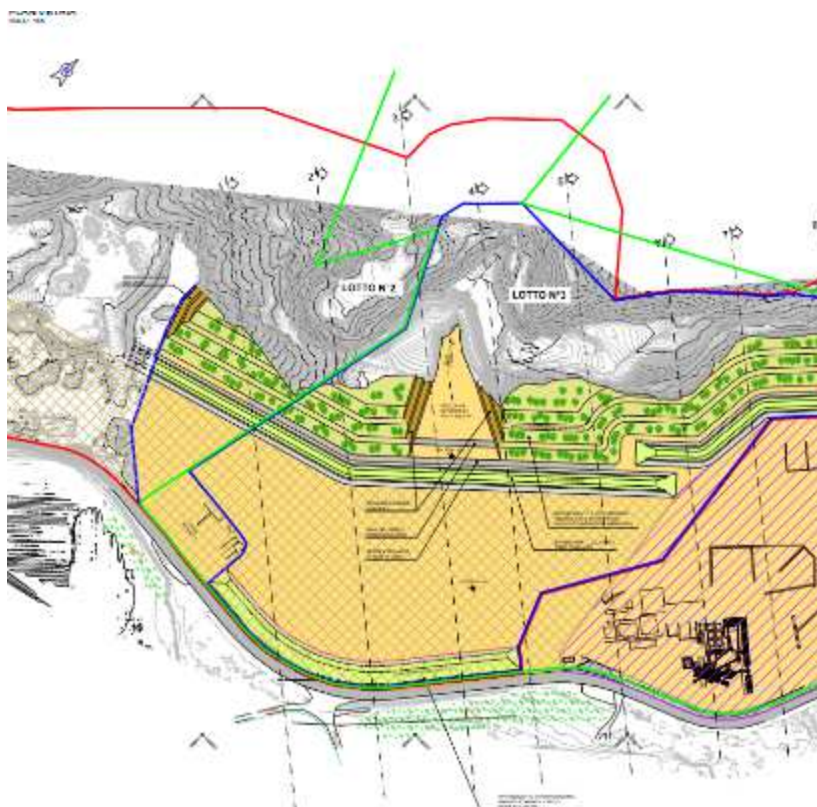


Figura 29: opere di mitigazione idraulica

Le verifiche idrauliche svolte hanno mostrato che gli interventi descritti risultano verificati nella gestione delle portate liquide e solide in arrivo dai due fossati denominati B1 e B2 in caso di eventi di precipitazione intensa. Nello scenario di progetto che considera la configurazione della cava alla fine del periodo di coltivazione non si hanno pertanto incrementi della pericolosità idraulica della zona né in termini di estensione delle zone allagate, né in termini del livello di pericolosità. Le verifiche svolte rispetto alla capacità di trattenuta del materiale solido ed allo smaltimento delle portate liquide in arrivo dai due fossati mostrano invece che gli interventi previsti nella configurazione alla fine del periodo di coltivazione della cava portano ad una riduzione del livello di pericolo nell'area della cava a valle dei tomi paramassi previsti e non comportano danni o rischi maggiori a terzi. Le verifiche svolte per il pre-dimensionamento degli elementi previsti (trincee drenanti e

vasche filtranti – figura 30) dovranno tuttavia essere aggiornate nel momento del raggiungimento della condizione di fine coltivazione della cava, in modo da considerare i parametri del terreno (permeabilità e posizione della falda) effettivamente presenti nell'area in esame.

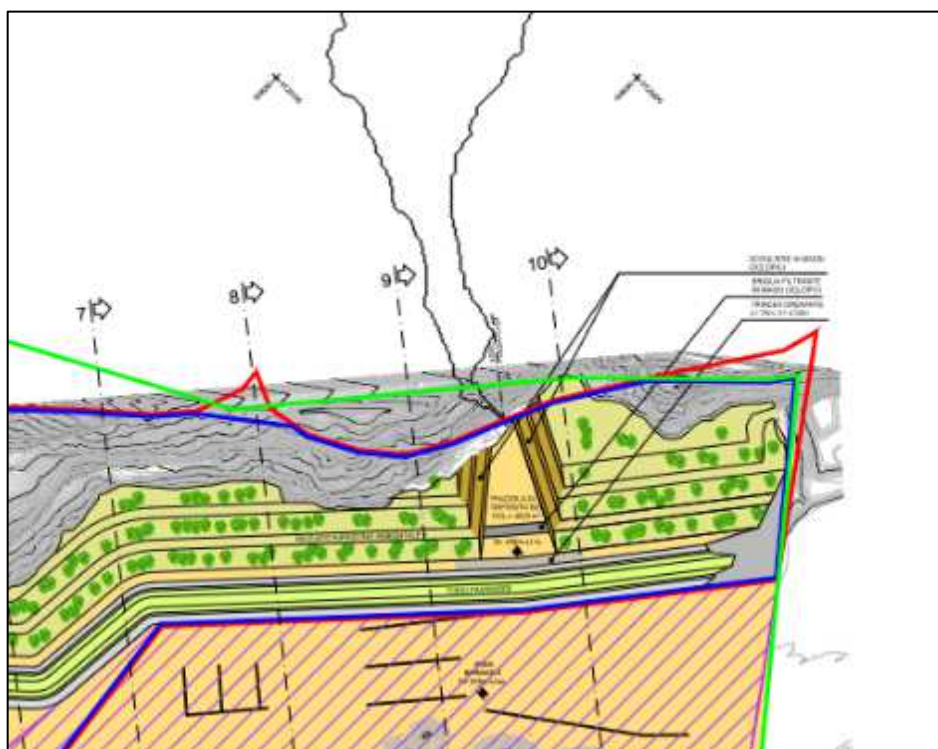


Figura 30

9. VERIFICHE DI STABILITÀ DEL RILEVATO 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). A tal fine sono state effettuate prove di taglio sui materiali (vedi prove di laboratorio geotecnico ALL.3) che verranno posti a dimora e che hanno fornito i seguenti risultati medi:

Limi di lavaggio

Peso di volume:	20.1 KN/mc
Angolo d'attrito interno:	33,3°-33,8°
Coesione c:	3,5-3,6 KPa

La verifica di stabilità viene effettuata, analogamente a quanto previsto al § 6.8 delle

NTC 2018, 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.

- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

tenendo conto dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 7.III.II.a e 7.III.II.b per le azioni ed i parametri geotecnici, e nella Tabella 7.III.II.C per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e fronti di scavo.

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

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

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G2}

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

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

Tab. 6.2.III – Coefficienti parziali sulle azioni per le verifiche nei confronti di stati limite di sollevamento

	Effetto	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	Sollevamento (UPL)
Carichi permanenti G_1	Favorevole	γ_{G1}	0,9
	Sfavorevole		1,1
Carichi permanenti $G_2^{(1)}$	Favorevole	γ_{G2}	0,8
	Sfavorevole		1,5
Azioni variabili Q	Favorevole	γ_{Qi}	0,0
	Sfavorevole		1,5

⁽¹⁾ Per i carichi permanenti G_2 si applica quanto indicato alla Tabella 2.6.I. Per la spinta delle terre si fa riferimento ai coefficienti γ_{G2}

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

COEFFICIENTE	R2
γ_k	1,1



Le verifiche di stabilità dei fronti scavo vengono eseguite con riferimento agli *stati limite ultimi* (SLU) in accordo con la normativa vigente. Le verifiche SLU rispettano la seguente condizione:

$$E_d \leq R_d$$

dove:

E_d = valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni.

R_d = valore di progetto della resistenza del terreno.

Nelle presenti verifiche la resistenza R_d è determinata in modo analitico, con riferimento ai valori dei parametri geotecnici di resistenza, divisi per il coefficiente parziale γ_m del caso M2 della TABELLA 6.2.II.

Le analisi di stabilità sono state condotte ricorrendo a modelli basati sulla teoria dell'equilibrio limite nell'ambito della quale i materiali vengono caratterizzati secondo il criterio di Hoek mentre i valori di resistenza vengono poi tradotti nel criterio di rottura alla *Mohr-Coulomb* (analisi in termini di sforzi efficaci). Per l'analisi si fa riferimento ad un metodo rigoroso. La letteratura tecnica riporta numerosi metodi rigorosi per il calcolo del fattore di sicurezza; tra questi si è optato per quello proposto da *Spencer* (1967) per superfici di rottura di forma pseudocircolare, così come implementato nel codice di calcolo SLIDE della Rocscience.

Il livello di sicurezza $[F_s]$ è espresso come rapporto tra resistenza a taglio disponibile $[R_d]$ e resistenza a taglio mobilizzata dalle azioni e dai loro effetti $[E_d]$.

Ad un $F_s > 1$ corrisponde la condizione $E_d < R_d$ di verifica allo stato *limite ultimo* SLU.

Per le verifiche si fa riferimento alla sezione tipo di sistemazione dei limi di lavaggio:

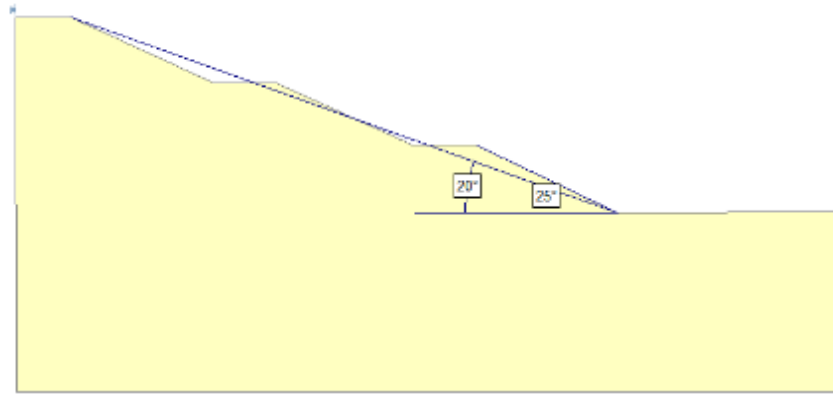


Figura 31

I parametri di resistenza del terreno utilizzati per le verifiche di stabilità vengono opportunamente ridotti, secondo la TABELLA 6.2.II, mentre per le azioni E_d ed i relativi coefficienti parziali γ_g da applicare relativamente al caso A2, sono indicati nella TABELLA 6.2.III

Parametri ridotti:

Peso di volume:	20.1 KN/mc
Angolo d'attrito interno:	28°
Coesione c:	2,0 KPa

RISULTATI DELLE VERIFICHE

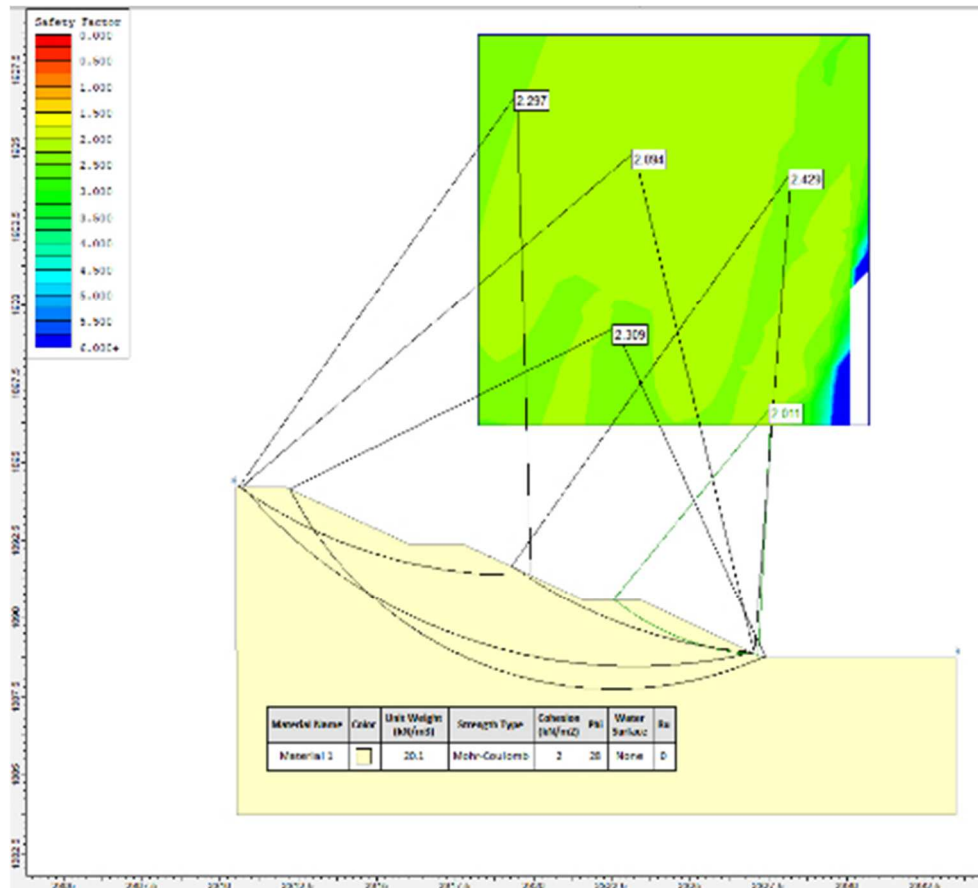


Figura 32

I risultati delle verifiche esprimono un coefficiente di sicurezza non inferiore a 2 (figura 32) e che considerando anche valori di coesione nulli scendono ad un valore di 1.12 (figura 33) ancora compatibile con il minimo da normativa..

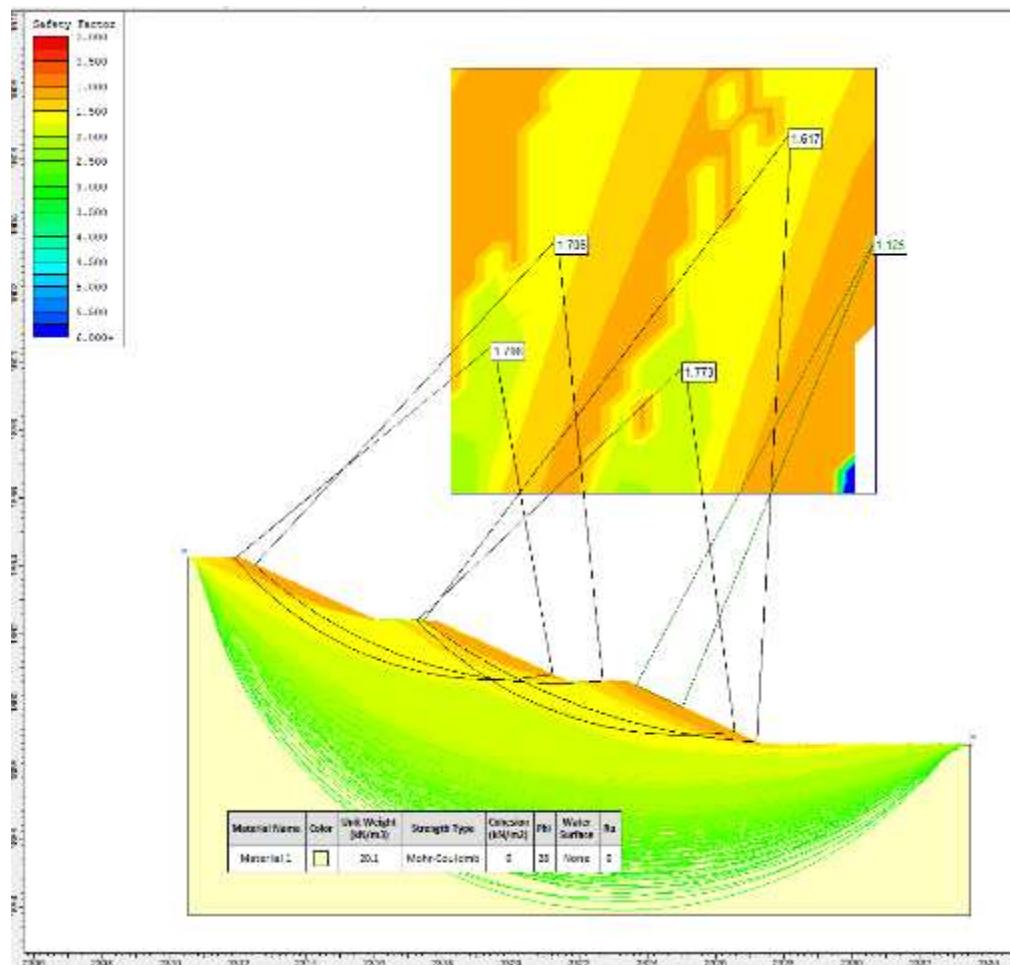


Figura 33

Le verifiche portano pertanto a giudicare compatibili le geometrie di progetto dei profili di ripristino.

10. CONCLUSIONI

Lo studio geologico effettuato a supporto del nuovo progetto di coltivazione individua gli aspetti di ordine geologico, geomeccanico, idrogeologico nonché geotecnico che condizionano il progetto e nell'ambito di una dedicata valutazione delle pericolosità individuate dalla CsP, valutare la compatibilità delle scelte progettuali rispetto alle opere di mitigazione riferibili ai problemi "crolli" e "idraulico" attraverso l'adozione delle necessarie opere e provvedimenti di mitigazione del rischio, nella prospettiva di una destinazione produttiva dell'area, nei termini analizzati e previsti dal PRG.

A tal fine, anche avvalendosi di dati raccolti nel corso di campagne di indagine precedenti, sono state prodotte indagini specifiche rivolte all'individuazione dell'andamento delle pareti rocciose (vedi ALL.1), alla caratterizzazione geomeccanica dei versanti e alla



caratterizzazione fisico-meccanica dei materiali “sciolti” al fine di definire i migliori profili di stabilità dello stato finale.

Quanto contenuto nella presente relazione definisce pertanto indicazioni e prescrizioni recepite dal progetto principalmente dedicate alla delicata fase di ripristino e riutilizzo finale delle aree in relazione al tipo di pericolosità individuata.

Le considerazioni riportate nel presente documento si basano per l'appunto anche sui risultati emersi da una campagna di indagini geofisiche rivolte principalmente all'individuazione dell'andamento ipogeo della roccia rispetto alle coperture quaternarie, per la cui descrizione dettagliata si fa riferimento allo studio di cui all'ALL.1.

I passaggi centrali dello studio riguardano pertanto l'analisi dei fattori di condizionamento della stabilità dei versanti rocciosi che sovrastano l'area e l'analisi della pericolosità da crolli, mentre in modo dedicato è stata sviluppata dal ns. partner IN.GE.NA la problematica idraulica che regola il deflusso delle acque superficiali nonché l'interazione con la natura del soprassuolo sede della corrivazione superficiale quali processi di potenziale criticità per le aree sottoposte.

Gli esiti dello studio geomeccanico e traiettografico hanno portato alla previsione di interventi di mitigazione/difesa strutturali che nel complesso costituiscono una risposta alla mitigazione del rischio da crolli nel solco dei principi della norma UNI-11211. Gli stessi consisteranno nella realizzazione di un vallo-tomo cui farà seguito ad est del paramento di valle dello stesso una copertura in grado di intercettare traiettorie a prevalente andamento verticale e non solo. Tale copertura va considerata quale integrazione irrinunciabile nell'azione sinergica con il tomo nel controllare la condizione di rischio specifico.

La norma urbanistica di merito prevede un comma che demanda allo studio di compatibilità l'individuazione delle soluzioni progettuali da adottare per ciascun intervento edilizio che presenti interazione diretta con la zonazione del rischio da crolli e che recita come di seguito:

“Tutti gli interventi edilizi sono subordinati alla realizzazione delle opere di mitigazione del rischio, come individuate negli studi di compatibilità alla CSP predisposti in fase di pianificazione e allegati alla variante '2-2024 Aree estrattive'. Tali opere potranno essere eseguite per stralci, in funzione dell'estensione e della tipologia dei singoli interventi previsti, nonché dello stato di avanzamento della coltivazione del giacimento minerario, previa elaborazione di uno studio di compatibilità specifico in fase progettuale.”



In questa fase di studio di compatibilità a supporto della Variante n.2, a seguito dei risultati ottenuti dalle analisi prodotte, si precisa pertanto che gli interventi nella fascia di 30 metri dal tomo sono ammissibili solo previa realizzazione delle opere di mitigazione da esso stesso previste e saranno supportati da studio di compatibilità dedicato alle scelte progettuali esecutive adottate.

Infine si è ritenuto di fondamentale importanza l'adozione di provvedimenti non strutturali integrativi, per il solo settore nord (area sottesa dal secondo tomo, ovvero quello più a nord), consistenti in una attività di presidio del versante con ispezione periodica (ogni 2 anni) e disaggi eventuali soprattutto della zona di faglia per mantenere il controllo nel tempo dell'unico ambito nel quale si sono ravvisate maggiori possibilità evolutive. Questa attività sarà ad appannaggio del titolare dell'attività produttiva in essere nell'area prospiciente l'opera paramassi ed il mantenimento dell'autorizzazione sarà subordinato alla presentazione di un rapporto sul decorso delle attività di ispezione e di manutenzione delle opere paramassi che avrà cadenza biennale.

Per quanto attiene la pericolosità idraulica lo studio ha portato a prevedere opere di controllo idraulico delle portate liquide e solide attraverso la realizzazione di elementi di contenimento e dissipazione delle portate riferibili a due impluvi che confluiscono il deflusso verso i piazzali di cava. La risagomatura dei profili di ripristino in corrispondenza delle due direttrici consente la creazione di vasche di deposito cui fanno seguito opere di drenaggio e dispersione della portata liquida in guisa di trincee drenanti di sezione importante. Al fine di mantenerne il più possibile inalterata la capacità dissipativa esse sono precedute (lato monte) da trincee a piccola sezione destinate a raccogliere i prodotti di dilavamento dei profili gradonati nella fase transitoria pre attecchimento della copertura vegetale.

Mezzocorona, luglio 2025

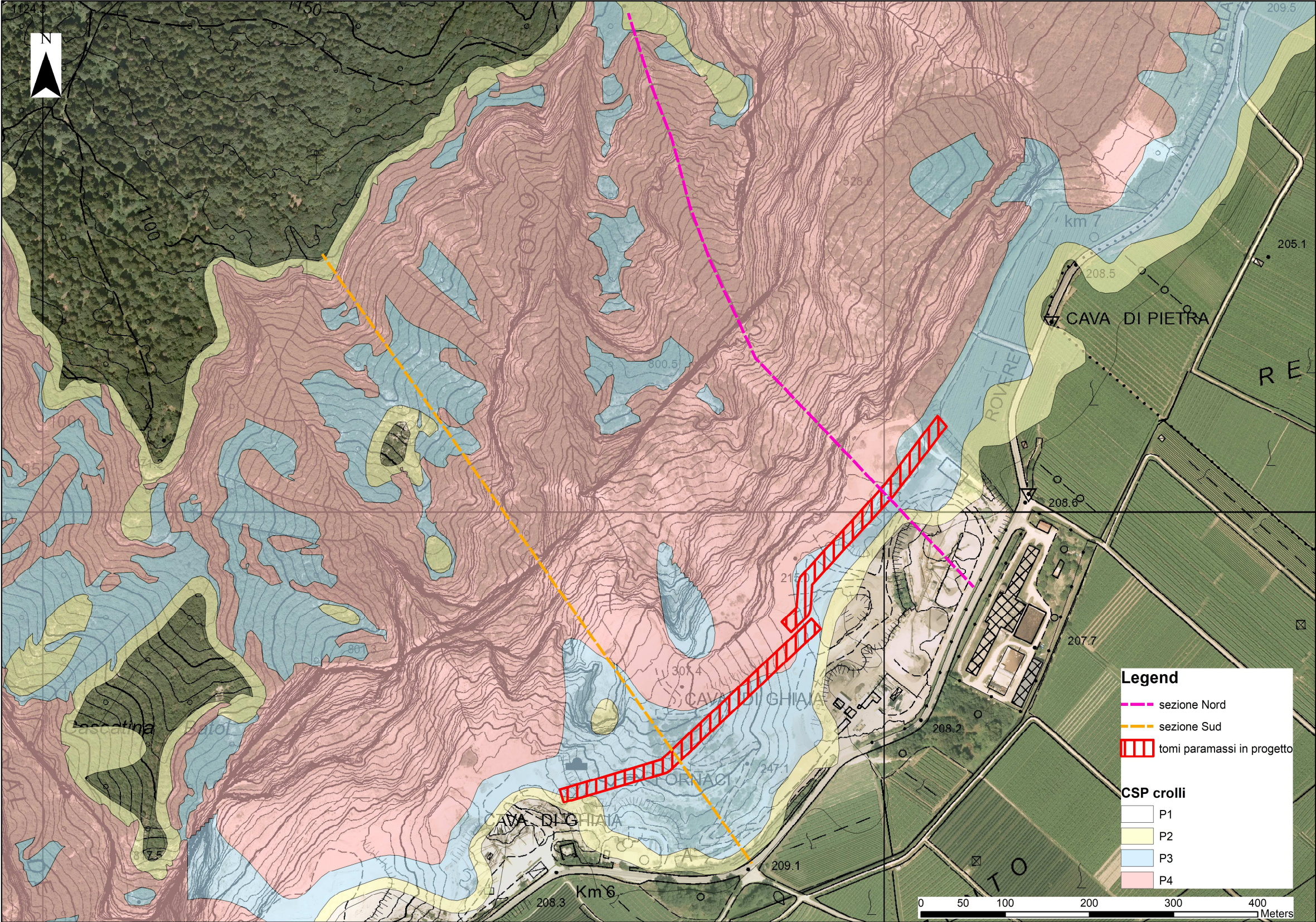
ALLEGATI IN TESTO:

- Tavole grafiche

ALLEGATI FUORI TESTO

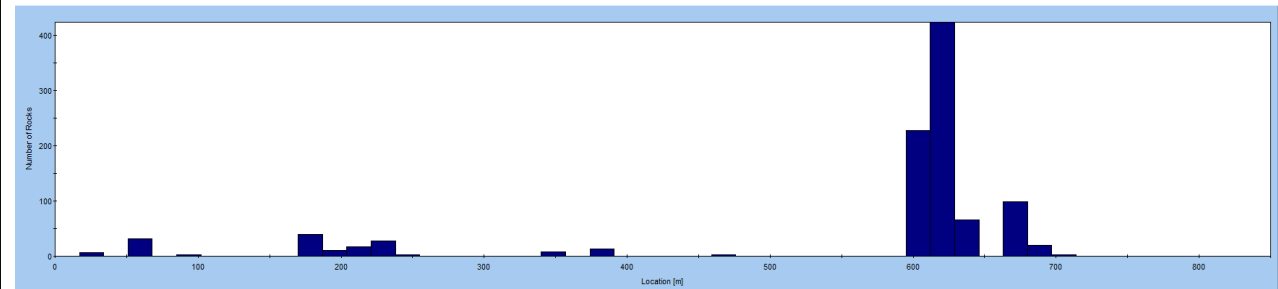
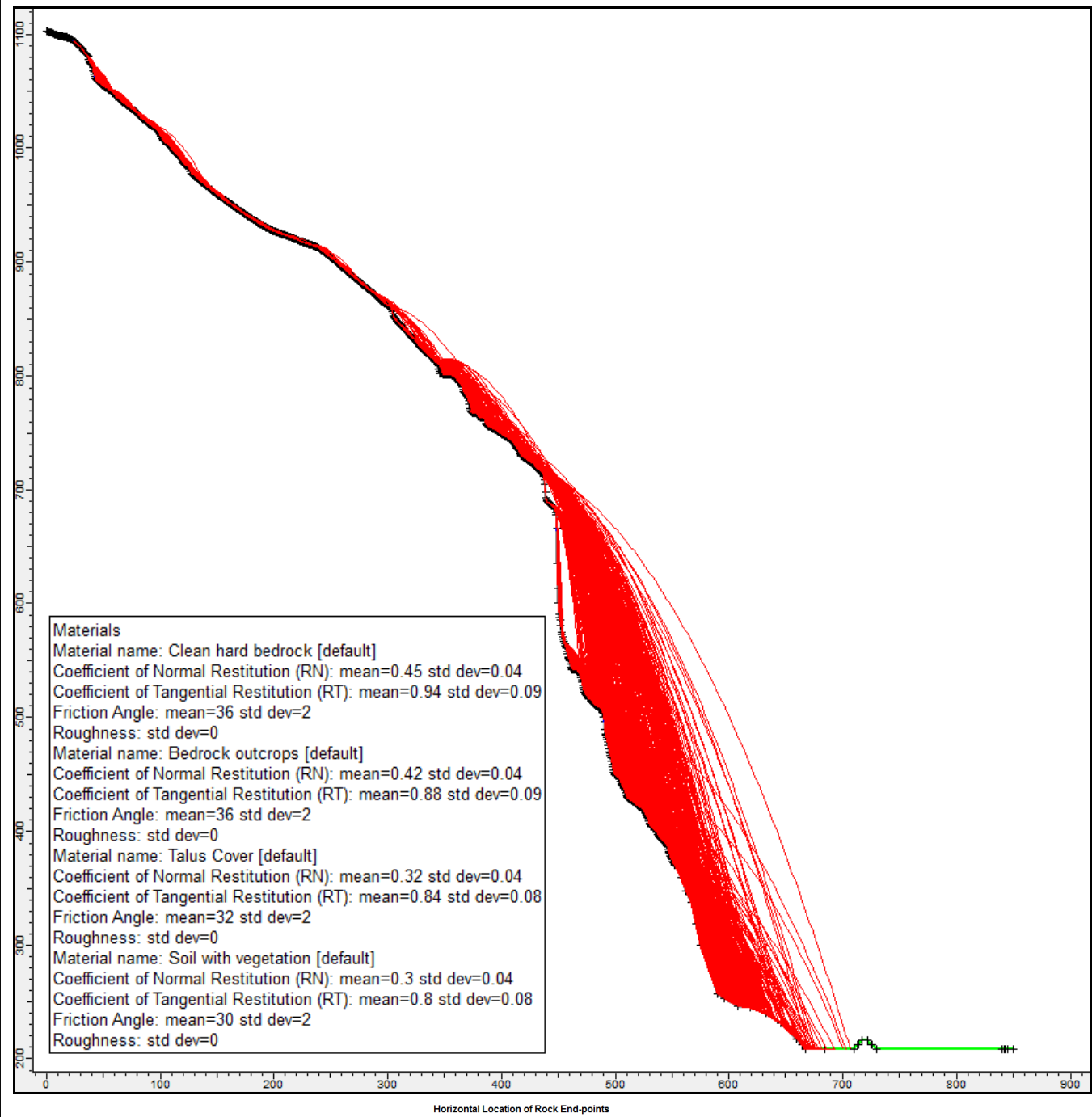
- ALL.1 - RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOFISICHE
- ALL.2 - STUDIO IDRAULICO IN.GE.NA
- ALL.3 - LABORATORIO GEOTECNICO GEOMISURE

ORTOFOTO DEL SITO CON TOMI PARAMASSI E CSP



ALL.2 - Tavole in testo Data: GIUGNO 2024	GRUPPO ADIGE BITUMI S.p.a. NUOVO PIANO DI COLTIVAZIONE DELLA CAVA DI INERTE CALCREO DENOMINATA "CASETTA 2" - LOTTO 3 NEL COMUNE DI MEZZOCORONA (TN)	GEOLOGIA APPLICATA Studio Associato 
TAVOLA 2	RELAZIONE GEOLOGICA A SUPPORTO DEL PROGETTO ESECUTIVO	

SIMULAZIONE 2D DI CADUTA MASSI CON TOMO – SEZIONE SUD



Dettaglio impatti piede della parete e tomo

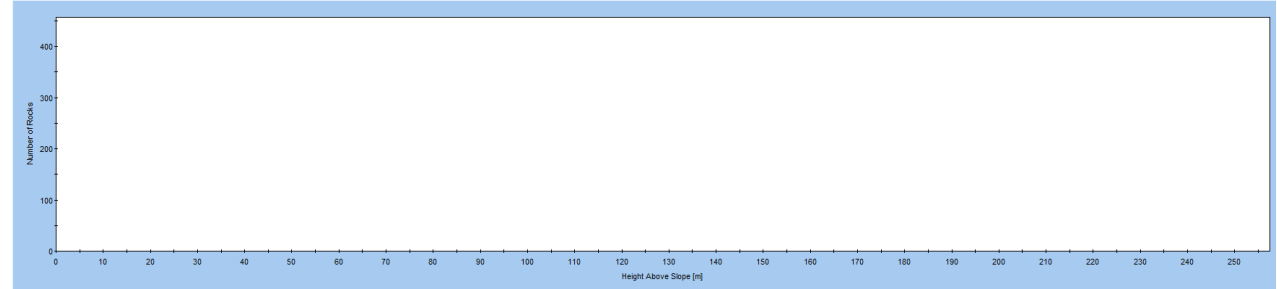
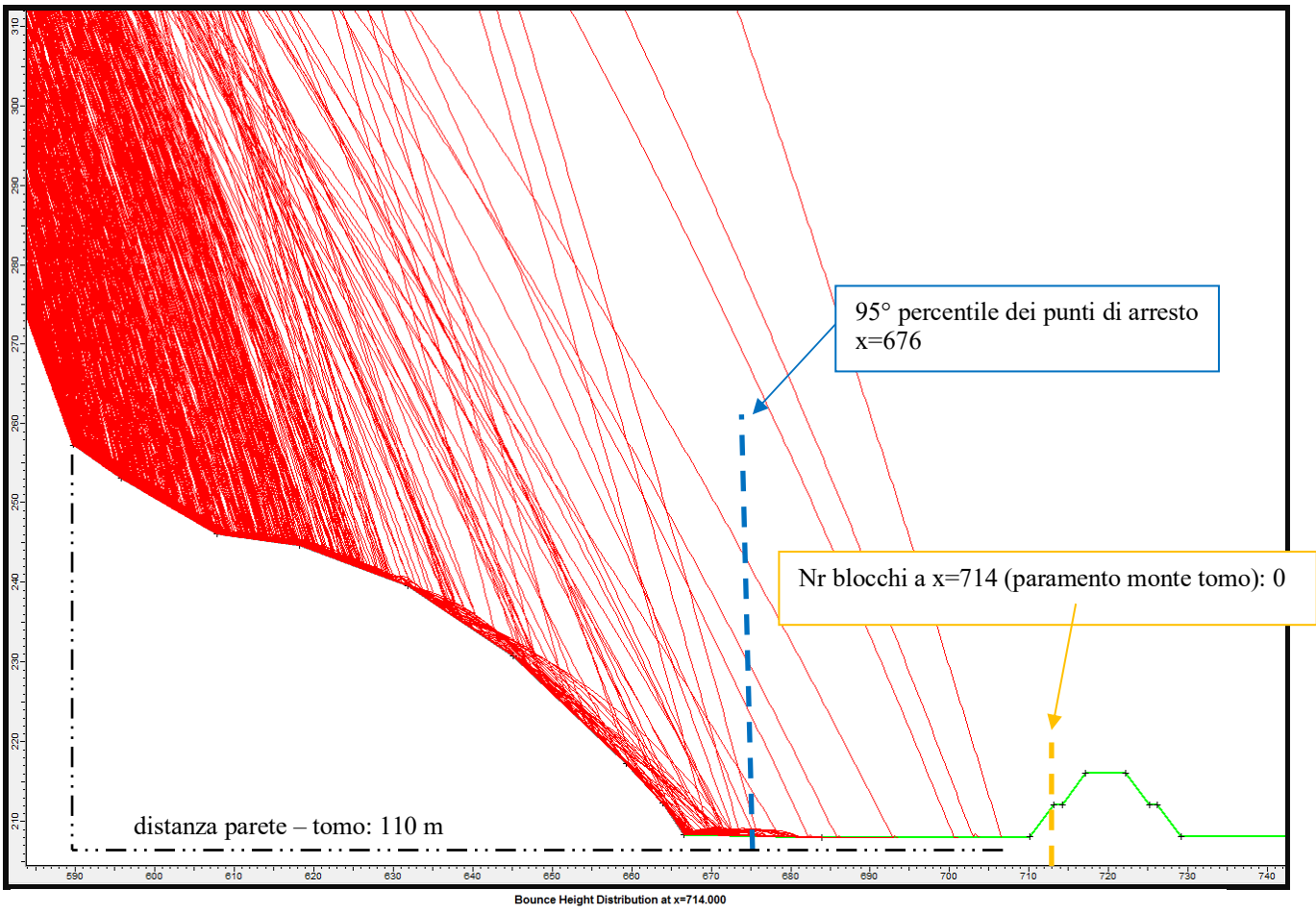
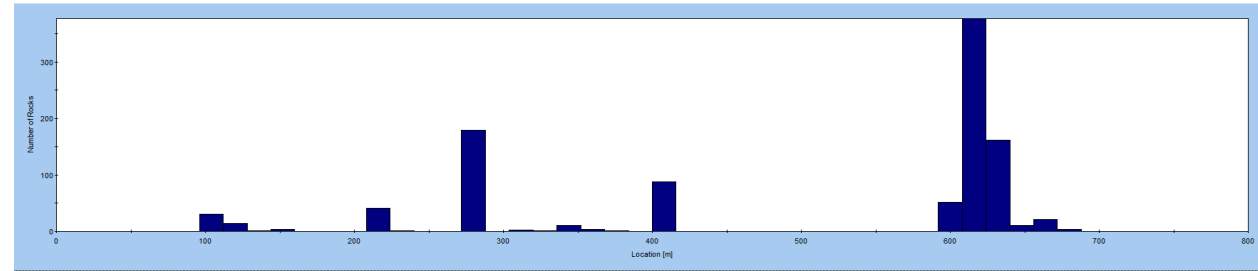
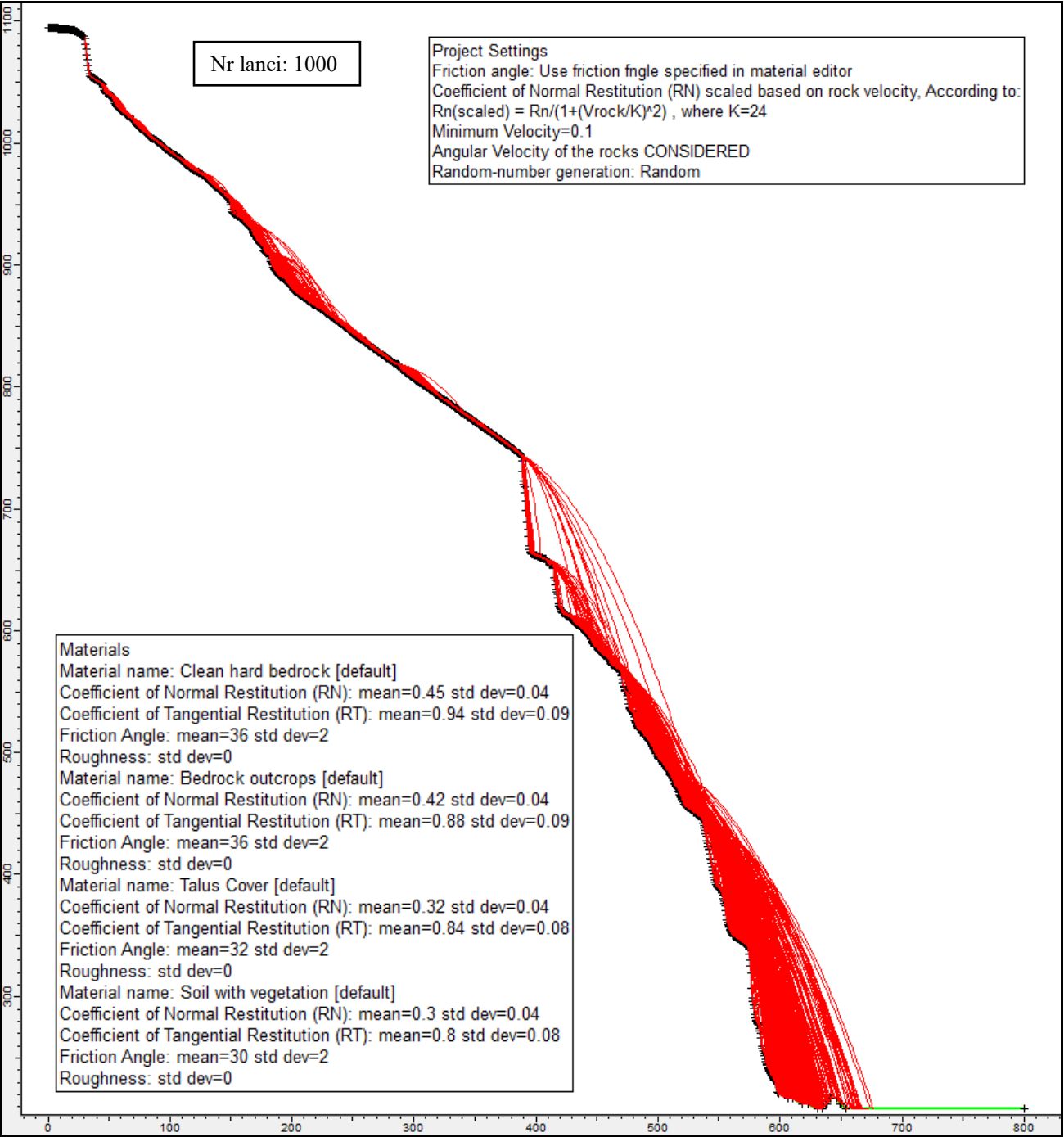




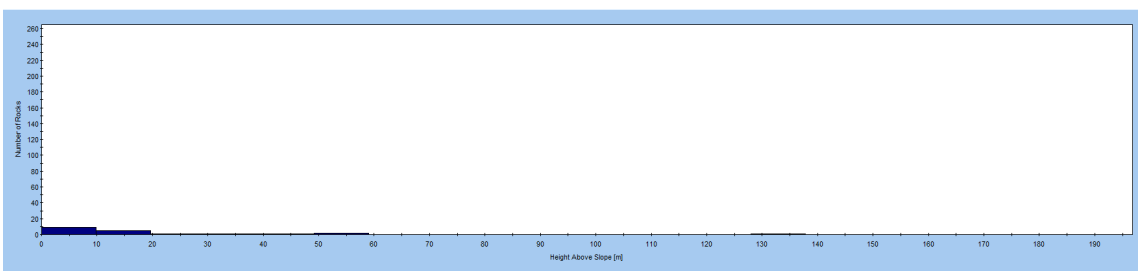
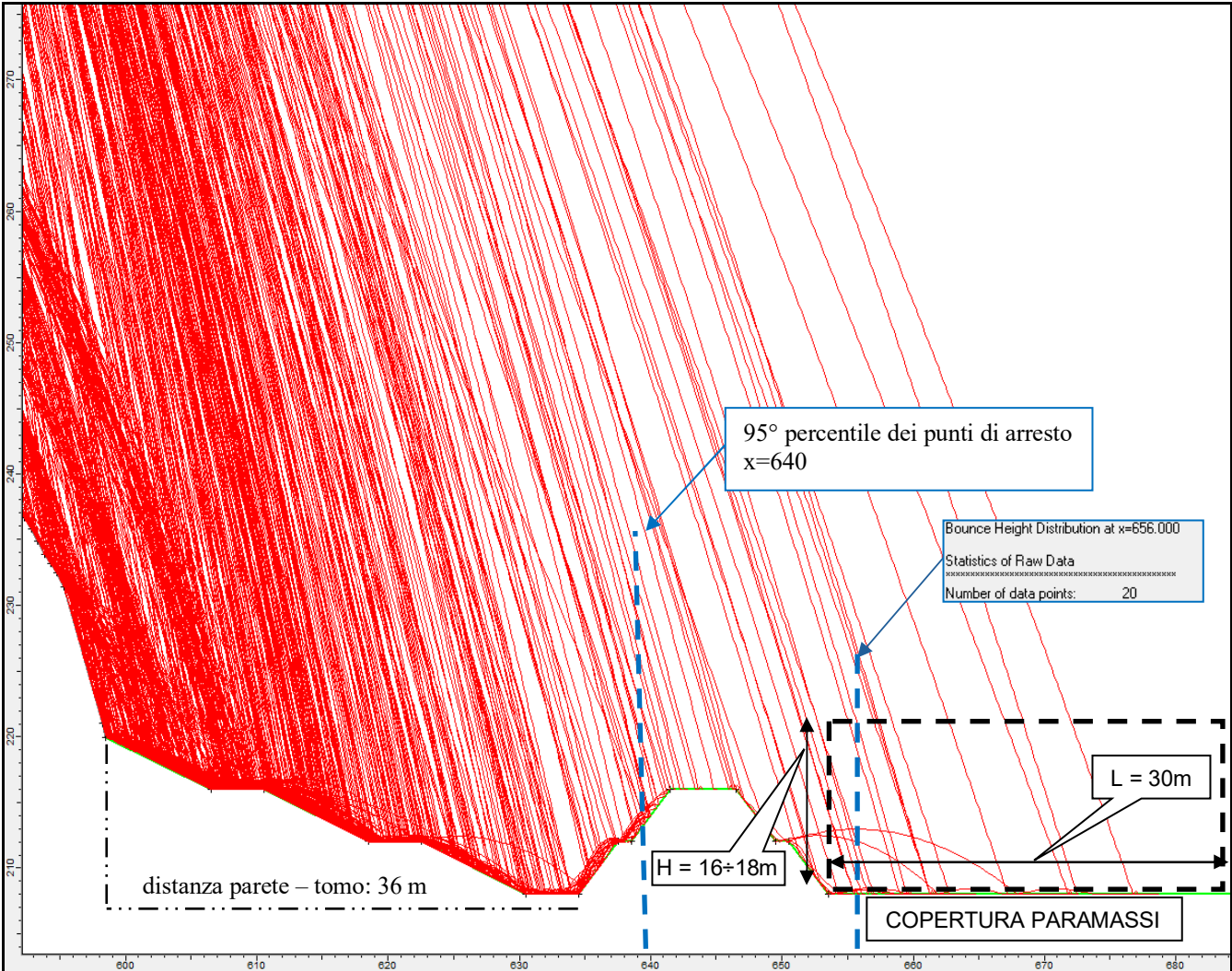
TAVOLA 3

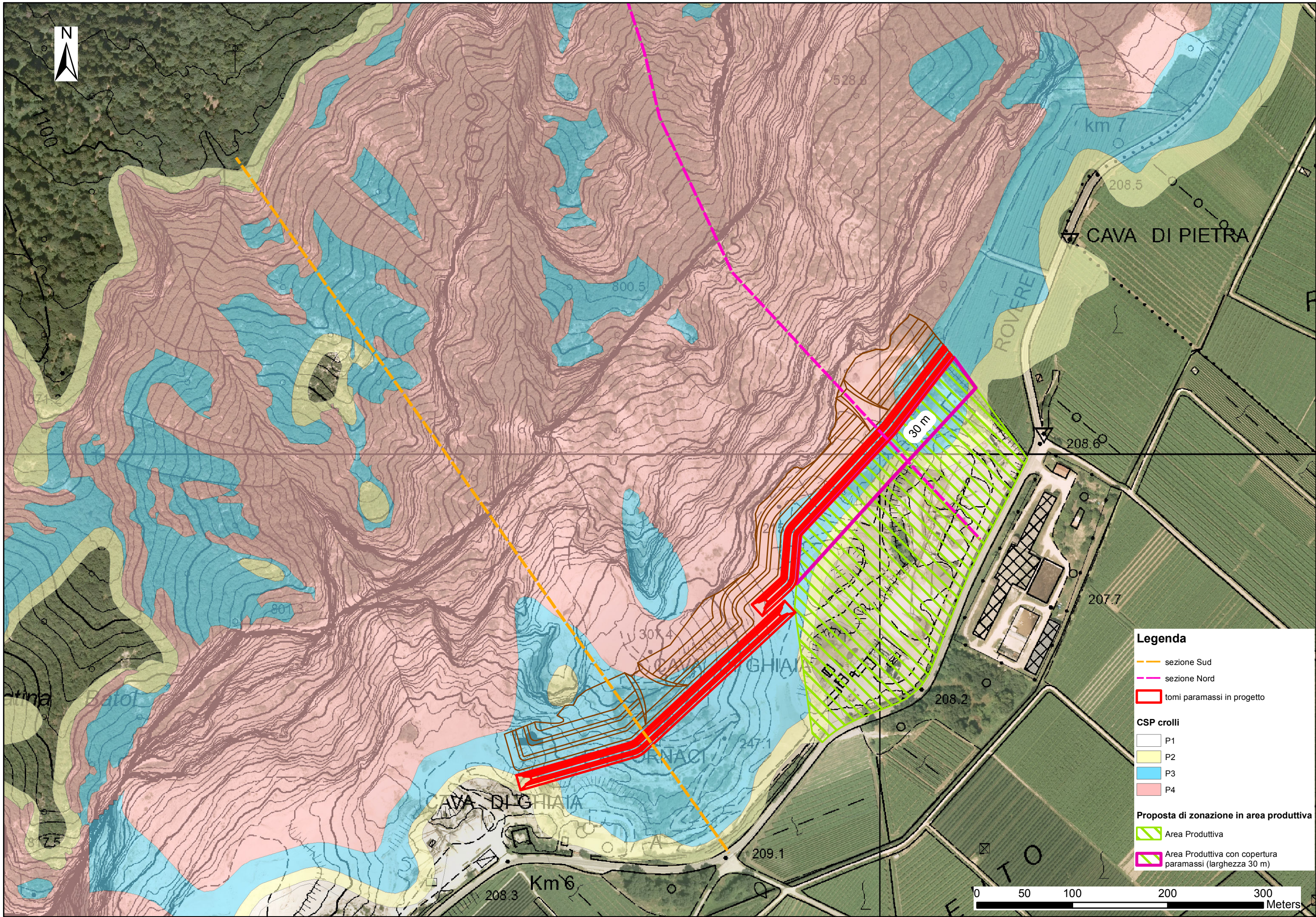
RELAZIONE GEOLOGICA A SUPPORTO DEL PROGETTO ESECUTIVO

SIMULAZIONE 2D DI CADUTA MASSI CON TOMO – SEZIONE NORD



Dettaglio impatti piede della parete e tomo





Legenda

— sezione Sud
— sezione Nord
▭ tomi paramassi in progetto

CSP crolli

▭ P1
▭ P2
▭ P3
▭ P4

Proposta di zonazione in area produttiva

▨ Area Produttiva
▨ Area Produttiva con copertura paramassi (larghezza 30 m)