

REGIONE PIEMONTE

PROVINCIA DI VERCELLI

COMUNE DI BALMUCCIA

**MITIGAZIONE E
PREVENZIONE DEL DISSESTO
IDROGEOLOGICO A MONTE
DELLA STRADA IN
LOCALITA' SOTTO BONDE
NEL COMUNE DI BALMUCCIA**

RELAZIONE GEOLOGICA

PROPONENTE:

COMUNE DI BALMUCCIA

Via Roma, 1

13020 Balmuccia (VC)

REDAZIONE:

Dr. Geol. Michela Curnis

Regione Cadegatti, 11/a

13011 Borgosesia (VC)

Cell: 3347408943

Email: michela.curnis@geologiapiemonte.it



SETTEMBRE 2021

SOMMARIO:

PREMESSA	2
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO	2
CLASSIFICAZIONE DI PERICOLOSITÀ GEOLOGICA DEL SITO E SEGNALAZIONE DISSESTI DA PRGC.....	2
PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA).....	2
VINCOLO IDROGEOLOGICO (R.D.L. N. 3267/1923, L.R. 45/1989)	3
CLASSIFICAZIONE SISMICA	4
GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA GENERALE	5
IDROGEOLOGIA GENERALE	7
MODELLO GEOLOGICO PRESSO IL SITO DI INTERVENTO	8
CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	10
SIMULAZIONE BALISTICA DEL MOTO DI CADUTA MASSI	12
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	28
INTERVENTI PREVISTI E IMPLICAZIONI GEOLOGICO-APPLICATIVE	29

PREMESSA

Il presente elaborato rappresenta la relazione geologica relativa al progetto di sistemazione e messa in sicurezza della parete rocciosa situata a monte della SP 299 in località Sotto Bonde del Comune di Balmuccia.

Esso viene realizzato in ottemperanza della legislazione vigente, con particolare riguardo alla seguente normativa:

- Decreto Ministeriale 17.01.2018 – Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008. Circolare 2 febbraio 2009.
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007.
- Eurocodici 7 e 8.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO

- Comune: Balmuccia
- Quota sito: 550-600 m s.l.m.
- N.C.T.: F° 4 mappale 52, F° 9 mappali 38-89
- Coordinate baricentro sito di intervento (UTM – WGS84): 32T 433805 5074415
- Tavoleta III NE "Scopa", Foglio n° 30 della Carta d'Italia I.G.M.I. a scala 1:25.000;
- sez. n° 072140 della C.T.R. del Piemonte a scala 1:10.000.

CLASSIFICAZIONE DI PERICOLOSITÀ GEOLOGICA DEL SITO E SEGNALAZIONE DISSESTI DA PRGC

Il P.R.G.C. vigente non è adeguato alla circolare PGR 08/05/1996 n. 7/LAP, per cui vige la classificazione di rischio riportata nel P.A.I. del fiume PO. A tal riguardo non si rilevano dissesti censiti nell'area di intervento (v. figura 2).

PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)

La Direttiva Europea 2007/60/CE, recepita nel diritto italiano con D.Lgs. 49/2010, ha dato avvio ad una nuova fase della politica nazionale per la gestione del rischio di alluvioni, che viene attuata attraverso la formazione del Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA), il quale dirige l'azione sulle aree a rischio più significativo, organizzate e gerarchizzate rispetto all'insieme di tutte le aree a rischio e definisce gli obiettivi di sicurezza e le priorità di intervento a scala distrettuale, in modo concertato fra tutte le Amministrazioni e gli Enti gestori. L'area del distretto idrografico padano è gestita dall'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po che, con delibera del Comitato Istituzionale, ha adottato ed approvato il PGRA (deliberazione n.2/2016 del 3 marzo 2016).

Successivamente la Regione Piemonte ha reso vigente in maniera definitiva il PGRA con delibera della Giunta Regionale del 30 luglio 2018, n. 25-7286, che riporta le *"Disposizioni regionali riguardanti l'attuazione del Piano di gestione rischio alluvioni (PGRA) nel settore urbanistico (art. 58 Norme di Attuazione PAI, integrate dal Titolo V), le attività per i comuni non ancora adeguati al PAI e l'aggiornamento del quadro del dissesto a seguito di eventi calamitosi"*.

Pertanto l'analisi degli elaborati relativi alla pericolosità idraulica del PGRA ha rilevato che l'area di intervento si colloca all'esterno delle aree interessate da rischio alluvione.

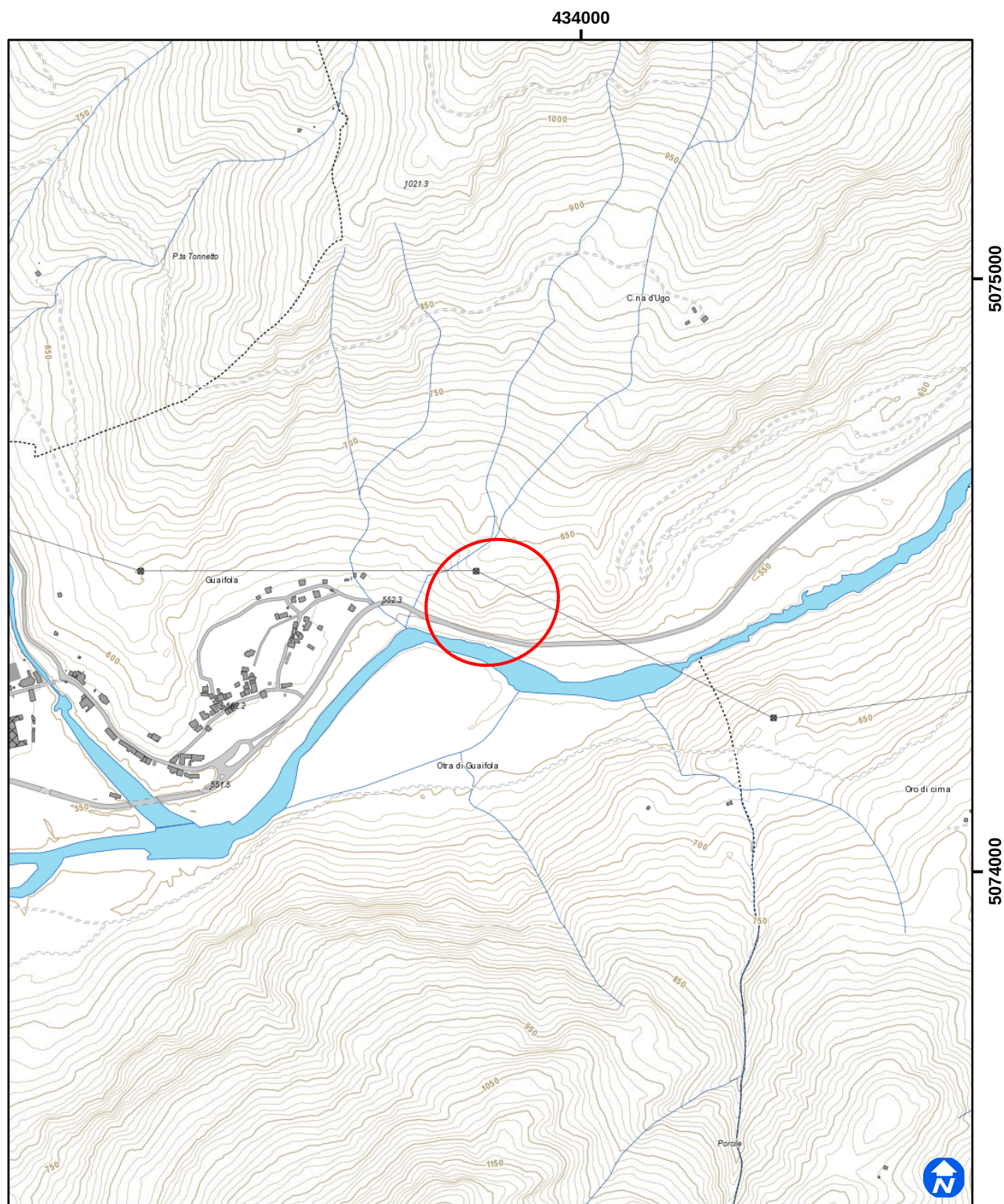


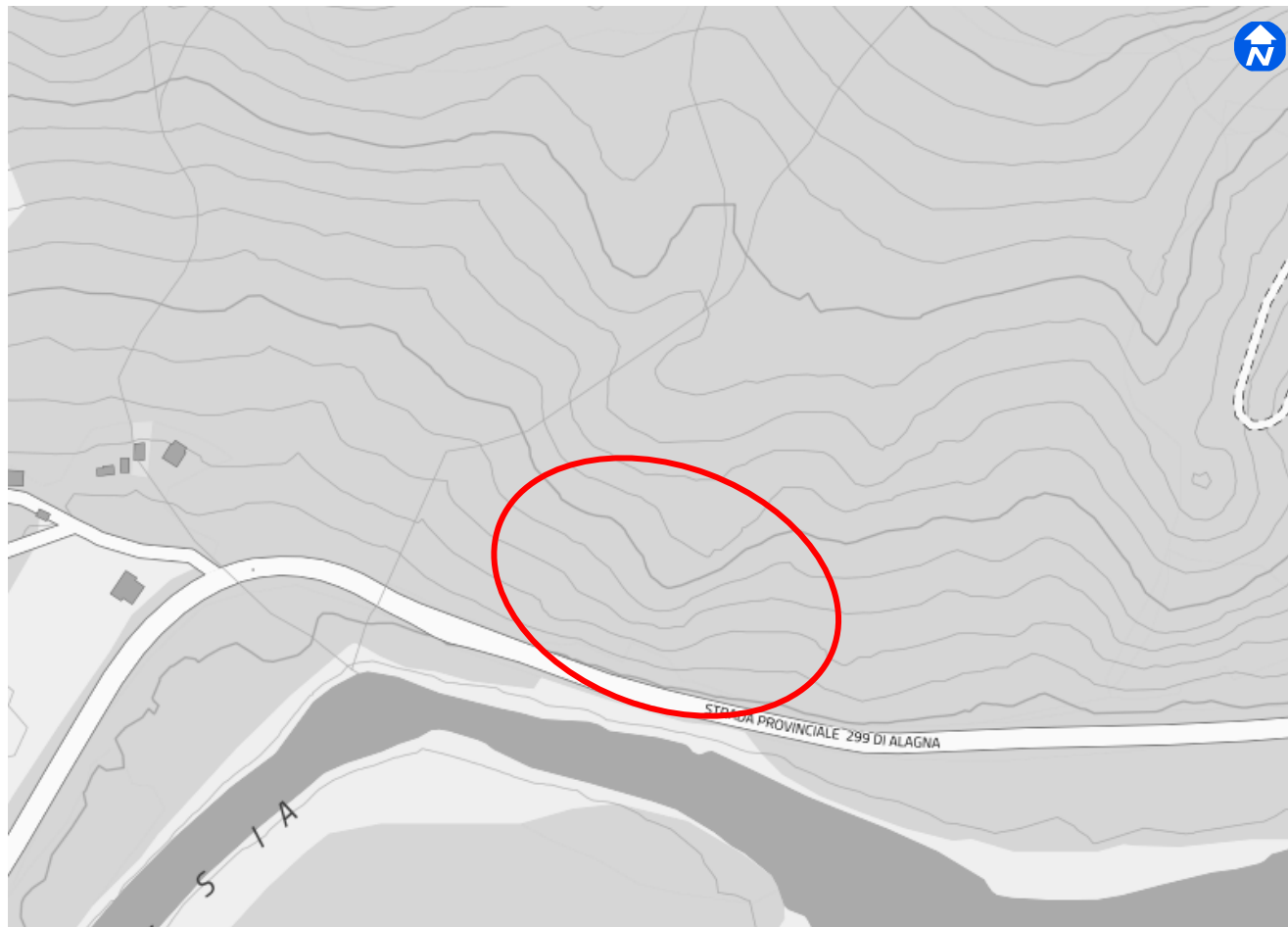
Figura 1 - Inquadramento area di intervento su sfondo cartografico di riferimento Regione Piemonte, scala 1:10000

VINCOLO IDROGEOLOGICO (R.D.L. N. 3267/1923, L.R. 45/1989)

L'area ricade all'interno del vincolo.

CLASSIFICAZIONE SISMICA

Ai sensi dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio n. 3274 del 20 marzo 2003 e della Deliberazione della Giunta Regionale 19 gennaio 2010, n. 11-13058 il comune di Balmuccia si colloca in zona 4° sismica.



Legenda

- | | |
|---|---|
| ● Frana attiva - Fa | ▣ Frana attiva - Fa |
| ▲ Frana quiescente - Fq | ▤ Frana quiescente - Fq |
| ✱ Frana stabilizzata - Fs | ▥ Frana stabilizzata - Fs |
| ⚡ Esondazione a pericolosità molto elevata - Ee | ▧ Conoide attivo non protetto - Ca |
| ⚡ Esondazione a pericolosità elevata - Eb | ▨ Conoide attivo parzialmente protetto - Cp |
| ⚡ Esondazione a pericolosità media o moderata - Em | ▩ Conoide non recentemente attivatosi - Cn |
| ⚡ Valanga a pericolosità molto elevata o elevata - Va | ▪ Esondazione a pericolosità molto elevata - Ee |
| ⚡ Valanga a pericolosità media o moderata - Vm | ▬ Esondazione a pericolosità elevata - Eb |
| | ▬ Esondazione a pericolosità media o moderata - Em |
| | ▬ Valanga a pericolosità molto elevata o elevata - Va |
| | ▬ Valanga a pericolosità media o elevata - Vm |

Figura 2 - Stralcio della Carta del PAI vigente, non in scala

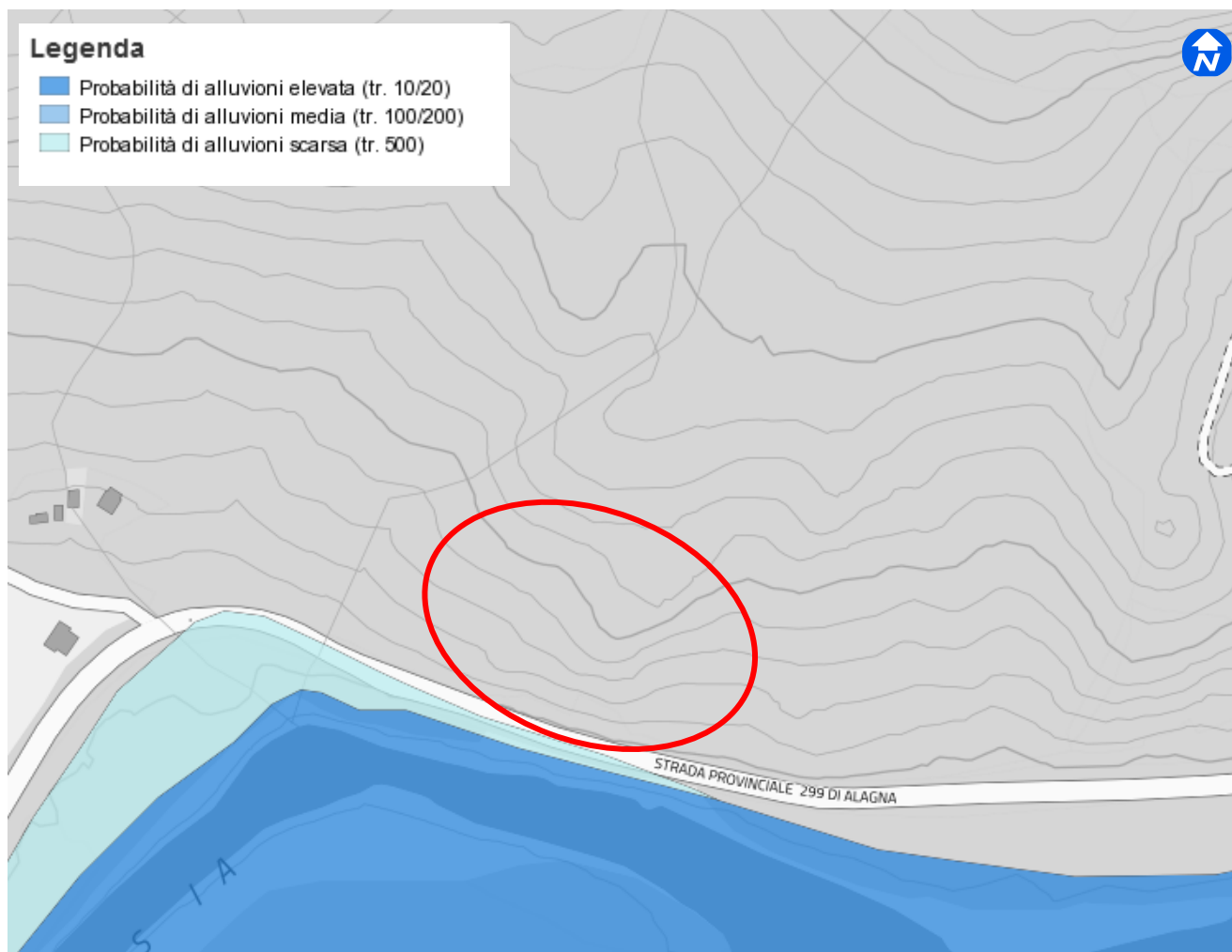


Figura 3 - Stralcio del Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) con ubicazione dell'area di intervento

GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA GENERALE

L'area esaminata nel presente studio si colloca geologicamente all'interno delle alpi occidentali, più precisamente il territorio del Comune di Balmuccia si trova a cavallo tra il complesso sistema Austroalpino (AU) e la Zona Ivrea-Verbano (IVZ); il contatto tra le due zone è sottolineato dalla presenza di una importante discontinuità tettonica alpina detta Linea Insubrica (localmente Linea del Canavese).

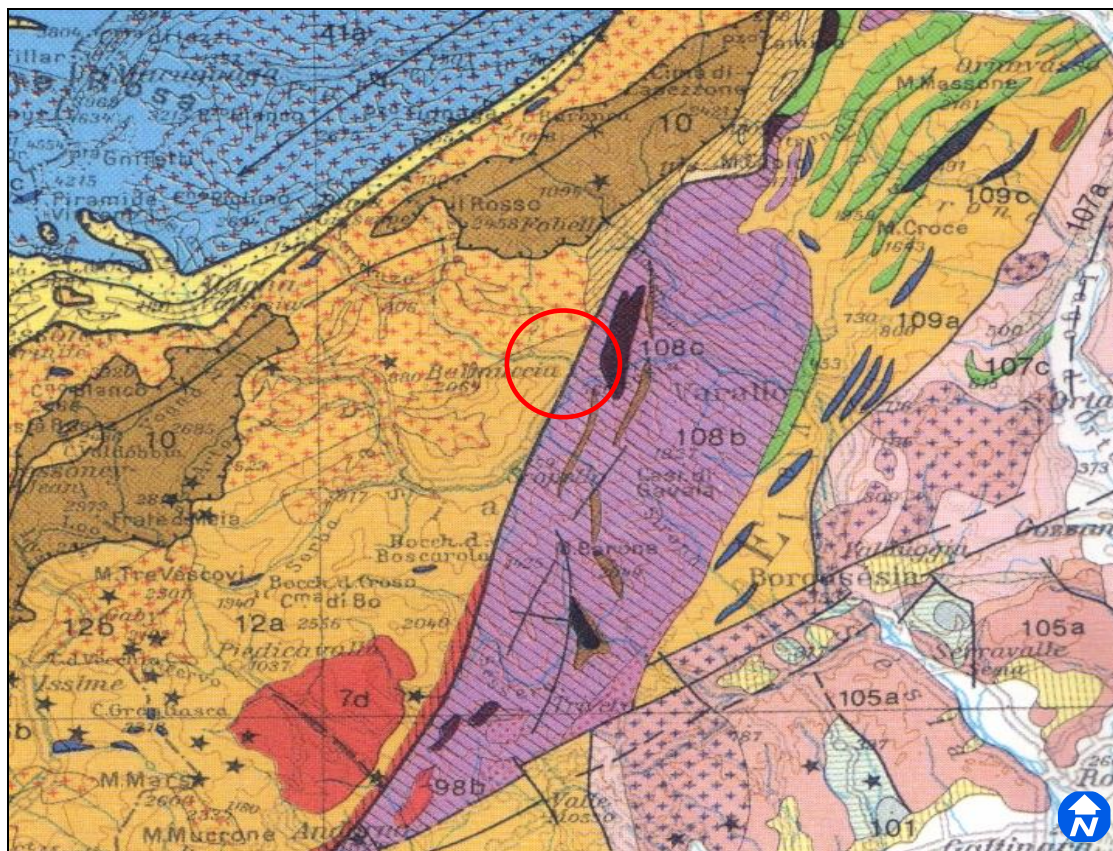
Il sistema AU è un tipico sistema composito, formato da un elemento inferiore ubiquitario e da un elemento superiore dato da lembi trasposti; l'elemento inferiore è costituito in prevalenza da parascisti polimetamorfici e da corpi intrusivi acidi e basici taldo-paleozoici, con trasformazioni metamorfiche alpine di vario tipo; l'elemento superiore è un frammento di crosta continentale profonda, con locali scaglie di peridotiti del mantello, talora metamorfosate o tettonizzate. Le unità superiori e inferiori sono separate da una vasta zona di laminazione duttile in cui sono inseriti alcuni lembi di copertura mesozoica.

L'unità inferiore è denominata Zona Sesia-Lanzo ed è costituita da vari litotipi: micascisti eclogitici con numerose lenti basiche in cui si intercalano protoliti di probabile età permiana metamorfosati; metagranitoidi massicci e scistosi con dominante impronta metaforica in scisti verdi; gneiss minuti albitici, in facies scisti verdi, di età mesoalpina e derivanti da granitoidi tardo paleozoici.

L'unità superiore è costituita dalla 2a Zona dioritico-kinzigitica (2DK) e da lembi trasposti; la 2DK presenta alcuni litotipi caratteristici: una fascia basale di miloniti, una porzione di protoliti prealpini come paragneiss a Bt - Grt - Sill (kinzigiti Auct.), intercalazioni di granuliti basiche, anfiboliti e marmi antichi e dalla piccola scaglia di peridotiti tettoniche; la sequenza è ricca

di migmatiti e pegmatiti di anatessi, ma è priva di corpi intrusivi granitici.

Per quanto riguarda la IVZ, essa è suddivisibile in due subunità: il corpo basico (gabbri e dioriti con peridotiti del mantello) e la zona *Kinzigitica* (metapeliti di grado medio-alto a sillimanite, talora con la presenza di filoni e sacche concordanti di composizione pegmatitica o aplitica).



Unità tettoniche in successione da SE a NW e dall'alto al basso:

Alpi Meridionali. Serie dei Laghi: coperture plioceniche (93a) e triassico-liassiche (101), porfidi permiani (105a), graniti permiani dei Laghi (105b), micascisti e paragneiss (106) con intercalazioni di anfiboliti (107c) e di ortogneiss granitici (107a); Zona Ivrea-Verbanò: kinzigiti (109a) con intercalazioni di metabasiti (109b) e marmi (bleu), complesso gabbro stratificato (108b), peridotiti di mantello (108c).

Zona del Canavese. Coperture mesozoiche, vulcaniti permiane, plutoniti e basamento (8).

Austroalpino. 2a Zona diorito-kinzigitica e Serie di Valpelline (10); complesso dei misascisti eclogitici (12a) con associati metagranitoidi (12b); complesso degli gneiss minuti/gneiss di Arolla (11b) e gabbri ensialici (11c); Scisti di Fobello e Rimella (11d); Zona di Roisan (11a).

Zona Piemontese. Calcescisti indifferenziati (35a), metabasalti (33c), metagabbri (33a), serpentiniti (34b).

Falde Pennidiche. Monte Rosa-Gran Paradiso: gneiss occhiadini (41a), parascisti (39a), complesso di Money (38b). Sistema del Gran San Bernardo: basamento polimetamorfico (44a), gneiss occhiadini (44b), parascisti (43a) e corpi eruttivi (43c) delle unità interne, zone houillère (47a) e coperture brianzonesi (42). Zona Sion-Courmayeur (52). Unità Pennidiche inferiori dell'Ossola-Ticino: ortogneiss granitici e minori parascisti (53a), coperture mesozoiche scollate e calcescisti vallesani (55a); micascisti di Baceno e calcescisti di Varzo (56a).

Unità Elvetiche e Ultraelvetiche. Ultraelvetiche: porfiroidi del M. Chetif e sequenze sedimentarie indifferenziate (63); Elvetica: falde elvetiche (64a), granito (75b) e parascisti (78b) del M. Bianco.

Magmatismo oligocenico. Plutoni di Biella-Traversella (7d) e Miagliano (98b), vulcaniti (6a), filoni (stelle).

Figura 4 - Carta tettonica delle Alpi Occidentali

Le formazioni del substrato sono sormontate dalle coperture sciolte dovute principalmente all'azione glaciale; tra questi elementi si ricordano i depositi glaciali e fluvioglaciali, le coperture detritiche di versante e le conoidi di deiezione torrentizia.

Per quanto riguarda i depositi glaciali essi sono prevalentemente costituiti da residui morenici e da depositi fluvio-glaciali, formati da un ramo del ghiacciaio del Sesia durante l'ultima glaciazione; geomorfologicamente sono distribuiti in diverse plaghe a varie quote e tendono ad addolcire le aree che ricoprono; nel caso dei depositi fluvio-glaciali essi formano piccoli ripiani subpianeggianti (terrazzi), i cui limiti sono sottolineati da orli morfologici. Litologicamente i depositi morenici sono costituiti da brecce e sabbie con blocchi anche di notevole dimensione, immersi in una matrice fine limoso-argillosa; i depositi fluvio-glaciali sono dati da ghiaie sabbiose o sabbie, talora anche fini.

Per quanto riguarda i detriti di falda si tratta di materiali di distacco dalle pareti rocciose depositati alla base dei versanti secondo fasce allungate o lungo i versanti stessi nelle porzioni meno acclivi. Geneticamente la loro formazione è da imputare all'azione di disaggregazione effettuata dagli agenti geomorfologici e, a partire dall'arretramento del ghiacciaio, dalla decompressione delle pareti liberate dalla massa glaciale. Litologicamente sono costituiti da pietrisco e brecce di varia pezzatura, talora immersi in materiale più fine, tanto da formare, in casi limitati, una fascia pedogenizzata con materiale organico favorevole all'impostazione di vegetazione anche di alto fusto.

Data la natura aspra del territorio sono presenti diversi fenomeni di dissesto, talora anche di dimensione notevole; i processi sono collegati all'azione dei corsi d'acqua (conoidi, erosioni), della gravità (frane) e delle precipitazioni nevose (valanghe). Tali processi rendono la zona piuttosto sensibile agli interventi antropici, condizionando la possibilità di insediamenti abitativi e la realizzazione di infrastrutture; la cura del territorio risulta pertanto decisiva per il contenimento dei rischi connessi all'evoluzione geomorfologica dell'area.

IDROGEOLOGIA GENERALE

In funzione delle caratteristiche litologiche e tessiturali delle unità presenti si possono distinguere diversi complessi aventi comportamento geoidrologico omogeneo. Per quanto riguarda la definizione di complessi idrogeologici omogenei, va considerato che il flusso idrico sotterraneo avviene con modalità ed intensità estremamente variabili, in base al tipo ed al grado di permeabilità.

Le formazioni litoidi hanno una permeabilità di tipo secondario, dipendente dal grado di fratturazione della roccia si può pertanto affermare che la permeabilità del substrato roccioso sia generalmente caratterizzata da valori bassi o molto bassi, mentre valori relativamente più elevati si hanno in corrispondenza delle zone intensamente fratturate.

I materiali di copertura o i depositi sciolti sono invece caratterizzati da una permeabilità di tipo primario, dovuta alla porosità efficace del deposito; la composizione granulometrica ed il grado di addensamento dei depositi sono gli elementi che, in prima approssimazione, permettono di distinguere corpi con diversa permeabilità.

Qui di seguito vengono distinti i principali tipi di complessi idrogeologici aventi comportamento omogeneo presenti sul territorio comunale:

- Depositi alluvionali: depositi sciolti formati prevalentemente da ghiaie e sabbie e dotati di una permeabilità primaria da media ad alta (10^{-2} ÷ 10^{-4} m/sec); essi caratterizzano la valle principale del fiume Sesia, del Sermenza ed altre minori.
- Depositi detritici di versante: depositi sciolti formati da brecce e blocchi immersi talvolta in matrice sabbiosa, caratterizzati in genere da una permeabilità primaria alta quando la matrice fine è ridotta (10^{-2} ÷ 10^{-4} m/sec) o medio-bassa (10^{-5} ÷ 10^{-6} m/sec) per la presenza di frazione limosa; si sviluppano a plaghe lungo i versanti più acclivi, a bordare il centro delle valli alluvionali.
- Depositi glaciali: sono depositi abbastanza eterogenei e quindi con permeabilità primaria assai variabile; affiorano nelle aree montane meno acclivi.
- Substrato roccioso: costituito da rocce ignee e metamorfiche, è caratterizzato da una permeabilità secondaria per fessurazione, dovuta ai diversi sistemi di fratture che interessano le rocce; le fratture intersecandosi tra loro determinano, non solo l'effetto di collettori drenanti, ma anche l'effetto di barriera.

MODELLO GEOLOGICO PRESSO IL SITO DI INTERVENTO

L'area oggetto di indagine è ubicata lungo la SP299, poco prima del bivio per frazione Guaifola di Balmuccia.

La zona interessata dall'intervento di messa in sicurezza in progetto è rappresentata da una balza rocciosa che si innalza a lato della SP299, con una parete subverticale e da un ripido pendio sovrastante.

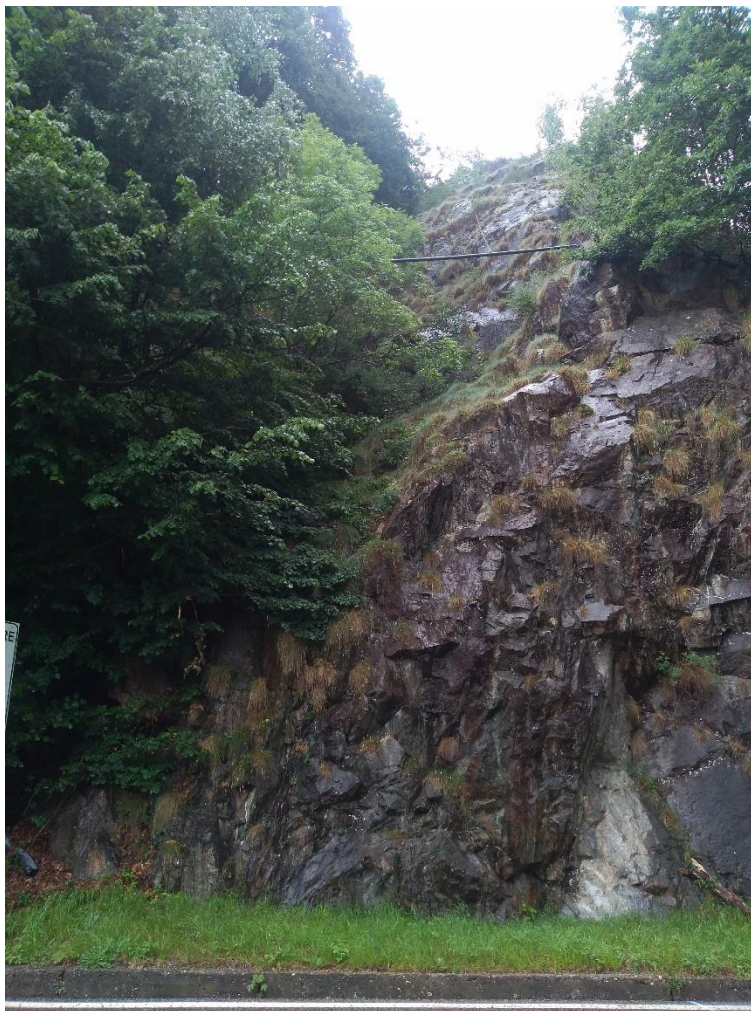


Figura 5 - Area di intervento

Dal punto di vista geologico ci troviamo nell'area di affioramento del corpo basico della Formazione Ivrea Verbano, costituito da rocce gabbriche e noritiche.

Le rocce qui presenti sono state soggette a vari stress tettonici causati dalla presenza di una importante discontinuità tettonica alpina detta Linea Insubrica, localmente Linea del Canavese, agli agenti esogeni (gelo e disgelo, sbalzi termici, neve, ghiaccio...) che le hanno modellate superficialmente e, infine, hanno subito l'intervento antropico per la realizzazione della strada.

La conseguenza di tutto ciò è nella fragilità dell'ammasso roccioso e nella sua disarticolazione in volumi che, a poco a poco, vengono a trovarsi in condizioni di disequilibrio con caduta finale sulla sede stradale.

La parete oggetto di intervento è caratterizzata localmente da una notevole fratturazione, si sono verificati negli ultimi anni distacchi anche di notevole entità e alla base del rilievo è stata notata la presenza di alcuni pezzi di roccia caduti di recente (v. figura 6-7).



Figura 6 – Parete rocciosa presso il sito di intervento recentemente interessata da distacco



Figura 7 - Blocchi di roccia staccatisi dalla parete presenti a bordo strada

Il rilievo eseguito in sito si è svolto sia lungo la SP299, sia a monte di essa: il versante di monte risulta piuttosto acclive e caratterizzato dalla presenza di un sentiero, di diversi muretti in pietra a secco piuttosto ammalorati e dalla presenza del materiale di risulta proveniente da una miniera (smarino), accumulato proprio lungo il versante davanti all'entrata della miniera. Dalla sede stradale è visibile, inoltre, la tubazione dell'acquedotto (v. figura 5-8) che si sviluppa per una cinquantina di metri, appesa alla parete rocciosa oggetto di indagine, a circa 10-15 m di altezza rispetto alla sede stradale.

Dal punto di vista delle acque è stata rilevata durante il rilievo in sito (eseguito alla fine di giugno 2021) la presenza nei pressi della miniera di alcuni modesti fronti sorgentizi, probabilmente effimeri e dovuti alle frequenti piogge che hanno interessato il territorio nel periodo del rilievo.

CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Il DM 2018 indica che le indagini e le prove geotecniche devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione, ottenendo i valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni. Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato. In pratica il valore caratteristico rappresenta la soglia al di sotto del quale si colloca non più del 5% dei valori desumibili da una serie teoricamente illimitata di prove.

Tra le metodologie per raggiungere la stima sopra citata vi sono approcci di tipo statistico e approcci di tipo prettamente fisico (geotecnico). Nel primo caso i parametri geotecnici vengono trattati come variabili casuali, rinunciando ad ogni considerazione di tipo deterministico. Nel secondo caso invece si parte dalla conoscenza dei meccanismi fisici che conducono al manifestarsi di determinati comportamenti nel materiale terreno e si conclude con l'individuazione di grandezze che hanno una variabilità ridotta.

Nella presente relazione si approccerà alla determinazione dei parametri geotecnici attraverso il metodo geotecnico.

Per la caratterizzazione della roccia si è proceduto ad un rilievo geomeccanico presso la parete rocciosa ubicata presso il sito lungo la SP299, di cui si riporta la foto nella figura seguente.



Figura 8 - Affioramento roccioso presso l'area di intervento

L'analisi è stata svolta in maniera semplificata, valutando il Geological Strength Index (GSI) dell'ammasso roccioso. Il GSI, introdotto da Hoek, Brown et al. (1994,1995 e 1998), è costituito da un metodo di stima dei valori di resistenza della roccia attraverso l'osservazione in affioramento delle configurazioni in termini di fratturazione e condizione delle superfici di discontinuità.

Utilizzando l'apposito schema (Figura 9) è pertanto possibile assegnare il valore GSI per l'affioramento considerato, che successivamente può essere caratterizzato dal punto di vista geotecnico. L'analisi ha indicato per l'affioramento oggetto di indagine un valore di *GSI compreso tra 45 e 50*, che per ragioni cautelative porta a considerare **GSI = 45**.

Dal valore GSI e da alcuni parametri tipici dell'ammasso roccioso si possono ricavare, con appositi grafici, i valori dei

parametri geotecnici significativi dell'ammasso analizzato, così come riportato nella figura 10. Nella seguente tabella si riportano i parametri ricavati dall'analisi.

GSI	m_i	σ_{ci}	C/σ_{ci}	C	ϕ	E	γ
-	-	MPa	-	Mpa	°	Gpa	kN/m ³
45	27	100	0,048	4,8	38	6,0	27

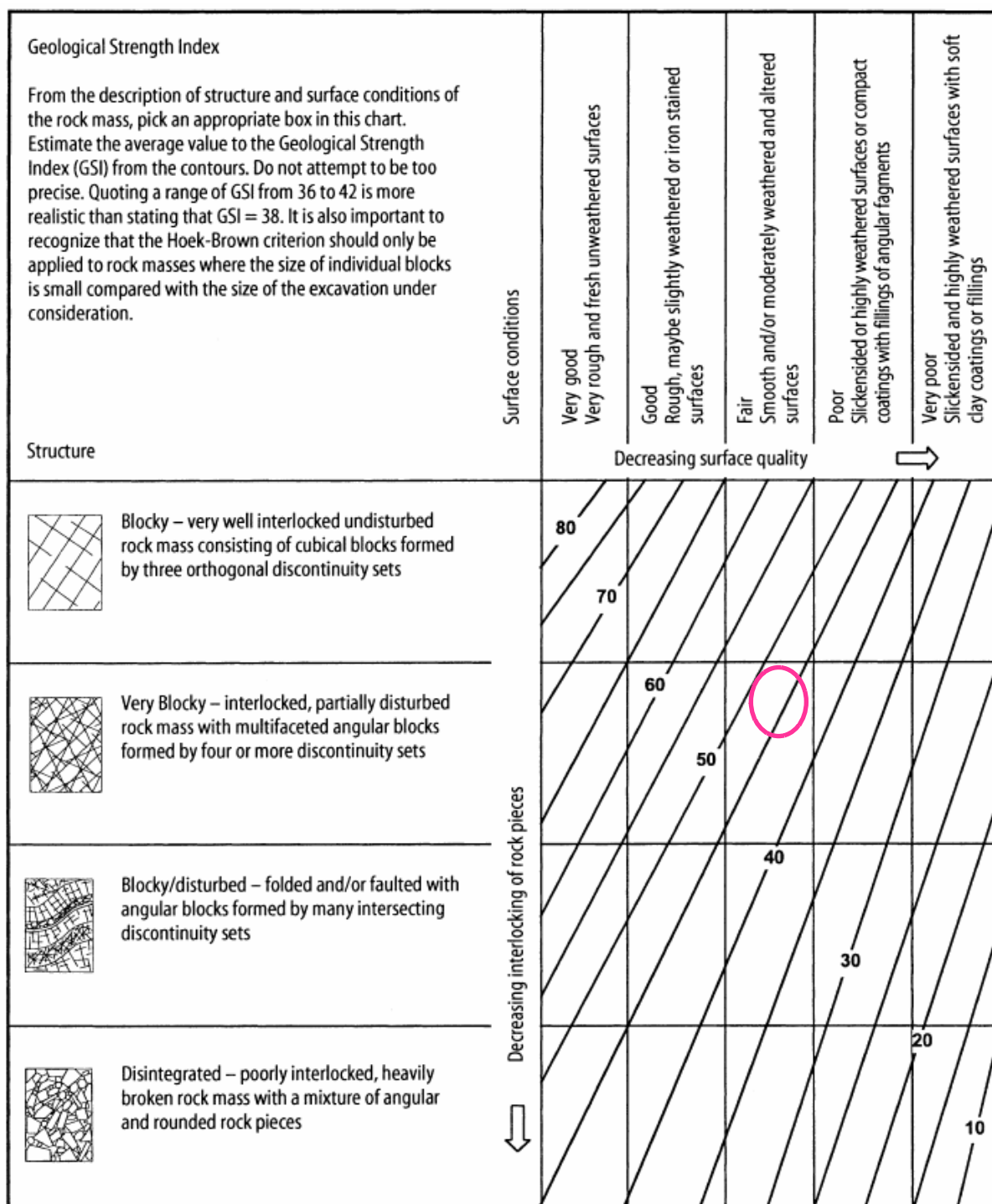


Figura 9 - Schema descrittivo degli ammassi rocciosi e relativi valori del GSI

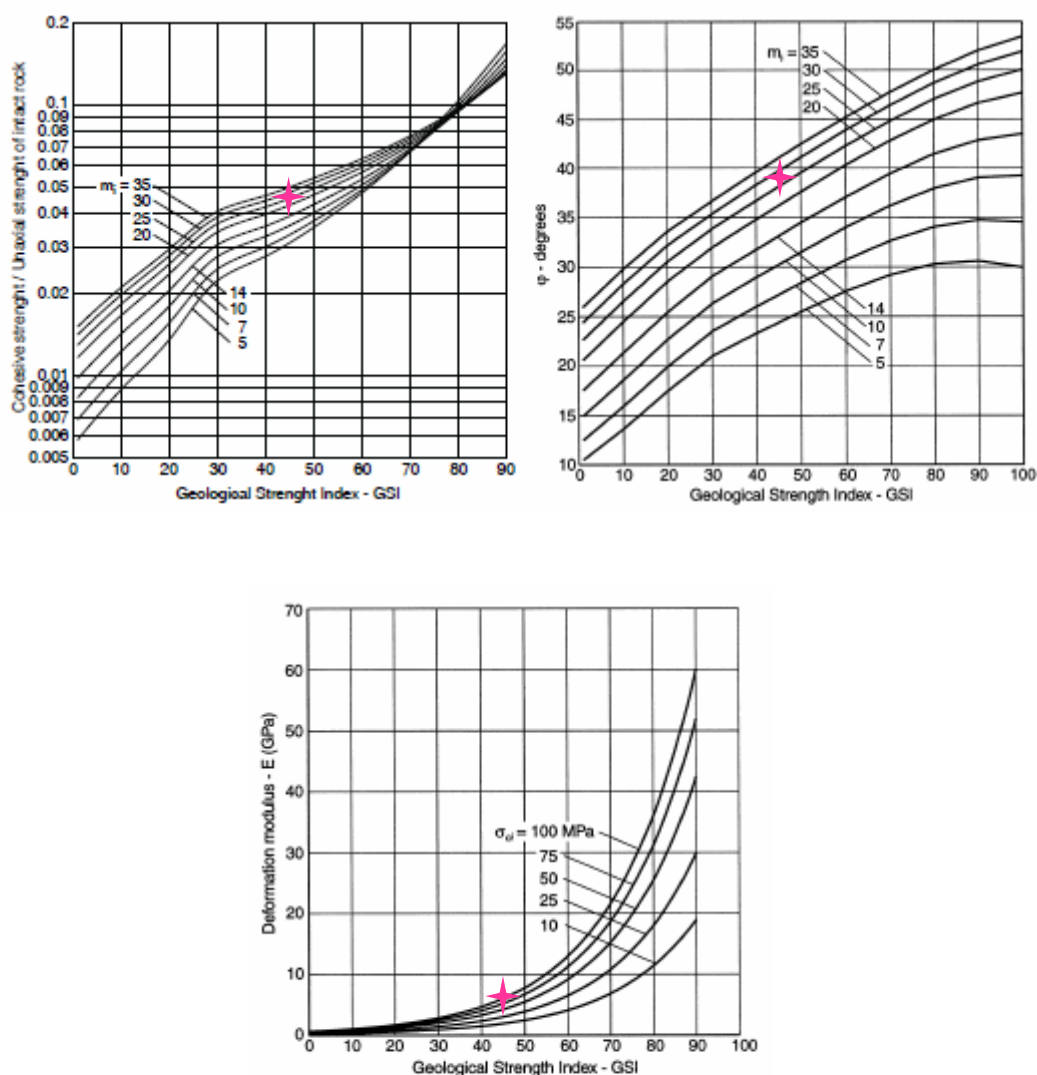


Figura 10 - Grafici correlativi tra GSI e parametri geotecnici degli ammassi rocciosi

SIMULAZIONE BALISTICA DEL MOTO DI CADUTA MASSI

Il distacco e la caduta di masse rocciose da pareti e versanti costituisce uno dei maggiori rischi geologici al quale sono esposte persone ed infrastrutture presenti in ambienti rupestri e montani.

Considerando l'importanza degli ammassi rocciosi sulla caratterizzazione geologica e geotecnica delle aree di interesse, si è proceduto ad effettuare una simulazione di caduta massi con i software della Dolmen GEOMASSI e GEOROCCE.

L'analisi si fonda sull'individuazione di ipotetiche zone di distacco, ragionate in seguito alle osservazioni desunte dai rilievi degli ammassi rocciosi dei versanti interessati.

Le zone definite generano traiettorie di caduta, che vengono integrate da un'accurata analisi di caduta bidimensionale, per valutare i parametri: velocità, altezza, energia di impatto della traiettoria più gravosa.

In base ai risultati ottenuti da queste analisi preliminari sono state individuate n. 3 zone che necessitano di messa in sicurezza; le 3 zone sono state numerate da 1 a 3 in base al loro rischio potenziale (n. 1 più pericolosa).

INTRODUZIONE ALLO STUDIO DEI FENOMENI DI CADUTA MASSI

Il fenomeno di caduta massi tratta lo studio dei singoli blocchi di roccia che messi in movimento lungo il versante ad opera

della forza di gravità, percorrono l'intero pendio con un moto di caduta libera, rimbalzo, rotolamento o scivolamento fino all'arresto al piede del versante.

In via preliminare è opportuno riassumere le condizioni di innesco del moto di caduta massi. La condizione del distacco di un blocco roccioso prevede che vi sia un meccanismo di rottura della massa rocciosa costituente il pendio; nel momento in cui il blocco si stacca può assumere i seguenti tipi di movimento:

- Caduta libera
- Rimbalzo
- Rotolamento e/o scivolamento

In seguito vengono brevemente descritte le condizioni di moto sopra elencate.

Caduta libera: il blocco è soggetto alla sola forza di gravità. Si trascura, data la sua scarsa rilevanza, la resistenza offerta dall'aria. Questa tipologia di moto equivale ad una caduta a gittata per la quale la componente orizzontale di velocità iniziale è nulla. Generalmente, si può affermare che la velocità in caduta libera è strettamente connessa all'altezza di caduta.

$$v = g \cdot t = 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right] \cdot t [s]$$

Rimbalzo: è la fase che segue la caduta libera, ovvero quando il blocco impatta lungo il pendio e subisce un urto perdendo una quantità di energia che aveva accumulato durante la fase di caduta. Per esprimere l'energia dissipata viene introdotto un coefficiente di restituzione (R):

$$R = \frac{v'}{v}$$

dove:

v, v' rappresentano le velocità prima e dopo l'impatto

Il coefficiente di restituzione varia nell'intervallo (0-1): $R=0$ urto completamente anelastico e $R=1$ urto elastico. Alcune analisi svolte con modelli matematici per ricostruire gli stessi percorsi determinati da prove in sito di caduta blocchi, hanno messo in evidenza come una miglior definizione del rimbalzo dei blocchi può essere ottenuta quando due diversi parametri R_n e R_t ; rispettivamente coefficiente di restituzione normale e tangenziale (Richards, 1988).

Si possono quindi definire:

$$R_n = \frac{v_n'}{v_n} \quad R_t = \frac{v_t'}{v_t}$$

Rotolamento e scivolamento: il passaggio da un movimento ad un altro non è istantaneo, ma può esistere la combinazione di due o più tipi di moto (es. rotolamento e scivolamento). Diversi autori tra i quali Piteau & Clayton, 1977; Bozzolo & Pamini, 1986 e Hungr & Evans, 1988 hanno sviluppato più in dettaglio l'approccio per la determinazione del passaggio tra rimbalzo e tra rotolamento e scivolamento.

Inoltre si possono considerare anche altri aspetti che possono influenzare il moto di caduta tra i quali l'effetto di forma, di dimensione e della resistenza del blocco.

Effetti di forma del blocco: blocchi di forma e di resistenza diversa compiono diversi percorsi e subiscono diversi tipi di rottura. Per elementi costituiti da rocce tenere e di forma poliedrica si possono verificare delle rotture negli spigoli dei blocchi, che subiscono collisioni multiple nell'impatto con il pendio. Il blocco tende a raggiungere una condizione di moto più efficiente man mano che le collisioni e le rotture ne arrotondano la forma.

Effetti di dimensione del blocco: sono osservabili nella caduta e nel rotolamento in materiale detritico. Se il blocco ha dimensione maggiore della dimensione media della pezzatura del materiale detritico, c'è una maggiore perdita di energia nell'impatto e il blocco tende a rotolare. Se la superficie del pendio è scabra e ondulata, il rotolamento sarà combinato con

salto e rimbalzo. Se il blocco è di dimensioni inferiori alle dimensioni medie dei blocchi costituenti il detrito, il movimento con rimbalzo predomina sul rotolamento. Si determina una grande dispersione nella distribuzione delle lunghezze di percorso dei blocchi esaminati.

Effetti della resistenza del blocco: la rottura del blocco può avvenire per una sufficientemente alta energia di impatto.

SIMULAZIONE DI CADUTA MASSI

Il versante a monte delle aree di intervento è caratterizzato da pareti da moderatamente acclivi e subverticali che espongono il substrato roccioso dell'area di interesse: si tratta di ammassi costituiti da litotipi gabbri e noritici della Zona Ivrea Verbano.

Gli affioramenti dei versanti sono mediamente fratturati, a differente orientazione, che contribuiscono a disgregare gli ammassi rocciosi in blocchi e volumi minori; questi, in particolari condizioni generate dagli agenti atmosferici e grazie alle forti pendenze in gioco, possono portare a fenomeni di crollo di masse rocciose.

Inoltre il versante posto più a ovest (verso l'abitato di Balmuccia) è caratterizzato dalla presenza di diversi muretti in pietra a secco piuttosto ammalorati e dalla presenza del materiale di risulta proveniente da una miniera (smarino), accumulato proprio lungo il versante. Sia i massi dei muretti che lo smarino potrebbero, in determinate condizioni (eventi atmosferici, animali selvatici, caduta di alberi, ...) rotolare lungo il versante e raggiungere la strada provinciale sottostante.

Quanto sopradescritto è stato studiato più in dettaglio attraverso una simulazione del fenomeno di caduta massi del versante orografico sinistro del Fiume Sesia presso la località Sopra Bonda.

In via preliminare con il software GEOMASSI si è deciso fissare n. eventi di caduta per ognuna delle zone di distacco ipotizzate che hanno descritto le traiettorie ottenute in funzione del modello digitale di elevazione del terreno (DTM) e delle caratteristiche fisiche del terreno.

Dopodiché si è deciso cautelativamente di estrarre la traiettoria ad energia cinetica maggiore ed analizzarla nel dettaglio tramite l'analisi di caduta bidimensionale.

A tal riguardo per le sezioni estratte è stato simulato il fenomeno di caduta massi in 2D con il software GEOROCCE, fissando preliminarmente n.10 eventi di caduta per ognuna delle n.3 zone di distacco.

L'analisi di caduta massi è stata effettuata considerando le seguenti ipotesi di calcolo:

- il modello di calcolo caduta utilizza il metodo Lumped Mass, con le seguenti ipotesi: schema piano, profilo del pendio ipotizzabile ad una spezzata costituita da segmenti rettilinei e blocco puntiforme e resistenza trascurabile;
- il masso è schematizzato come un punto materiale, ignorando aspetti collegati alla forma e orientamento dei blocchi all'istante dell'impatto con la superficie del pendio.
- i dati dei massi distaccati: n° massi per ogni zona = 10, diametro del masso = 100 cm, peso di volume = 27 kN/mc, ed inoltre il punto di distacco per ogni masso è stato posto poco al di sopra del pendio, in modo da accumulare un'energia "cautelativamente maggiore" durante il moto di caduta.
- il calcolo delle velocità post-impatto è eseguito con modello CRSP basato sulla conservazione dell'energia.
- la forza resistente risultante è applicata al centro di massa di ciascun blocco;
- Il fenomeno di rotoscivolamento è schematizzato con riferimento al coefficiente di attrito volvente dei terreni sul pendio.
- L'analisi delle varie fasi del moto (rimbalzo - volo - rotoscivolamento) prosegue fino all'arresto del blocco, che avviene quando l'energia traslazionale è inferiore a $1E-06$ [kJ] o la velocità traslazionale è inferiore a $0,005$ [m/s].
- nella necessità di schematizzare un fenomeno complesso, considerando l'aleatorietà dei parametri che governano l'analisi (topografia, interazione blocco-terreno, condizioni iniziali ...), si utilizza un modello statistico. Ad alcuni parametri, tra cui le dimensioni del blocco, la velocità iniziale, i coefficienti di restituzione, l'angolo d'attrito, la scabrezza ed altri, si può associare una distribuzione normale, definita dal valore medio m e dallo scarto quadratico medio (o deviazione standard) s ; nel caso in cui si assegna uno scarto nullo, il parametro avrà natura deterministica.

Ad ogni evento lungo il percorso di un blocco, viene valutato un nuovo valore casuale.

I terreni sono caratterizzati dai coefficienti di restituzione e dall'angolo di attrito. Il loro valore è definito dalla coppia di parametri valor medio e scarto quadratico medio (o deviazione standard); lo scarto σ può essere nullo.

In seguito si riportano i valori utilizzati per la trattazione dei materiali del versante:

descrizione terreno	Rn	Rn- σ	Rt	Rt- σ
roccia in posto	0,4	0	0,87	0

Tale verifica si pone come obiettivo quello di stabilire se la massima distanza percorribile dal masso distaccato, la massima altezza di volo e la massima energia d'impatto.

INPUT DATI

- Profilo del versante:

Il profilo del versante è definito da una sequenza di superfici triangolari. Le coordinate dei punti sono state importate da file DTM ASCII.

I vertici estremi del profilo lungo gli assi principali X e Y sono i seguenti, in [m]: (0, 0, 545.833); (660, 0, 663.485); (0, 635, 797.146); (660, 635, 762.283).

I valori massimi e minimi delle coordinate analizzate sono i seguenti, in [m]: xmin = 0, xmax = 660, ymin = 0, ymax = 635, zmin = 526.308, zmax = 802.936.

La maglia di triangoli ha le seguenti caratteristiche:

Numero di vertici = 17024

Numero di triangoli = 33528

Lunghezza minima lato triangolo = 5 [m]

Lunghezza massima lato triangolo = 25.924 [m]

Lunghezza media lato triangolo = 6.3538 [m]

Superficie totale = 503039.42649 [m²]

Superficie totale, tipo terreno "Roccia in posto" = 503039.42649 [m²]

- Zone di distacco

Zona di distacco 1:

- linea di distacco

- coord. X₁ = 143.9482 [m]

- coord. Y₁ = 251.8146 [m]

- coord. Z₁ = 576.6533 [m]

- coord. X₂ = 152.3884 [m]

- coord. Y₂ = 246.4516 [m]

- coord. Z₂ = 577.8198 [m]

- n° massi generati = 10

- peso di volume = 27 [kN/m³]

- diametro = 1 [m] (s = 0 [m])

- velocità iniziali:

lungo X = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])

lungo Y = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])

lungo Z = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])

Zona di distacco 1:

- linea di distacco

- coord. $X_1 = 152.3884$ [m]

- coord. $Y_1 = 246.4516$ [m]

- coord. $Z_1 = 577.8198$ [m]

- coord. $X_2 = 166.6151$ [m]

- coord. $Y_2 = 241.021$ [m]

- coord. $Z_2 = 578.0671$ [m]

- n° massi generati = 10

- peso di volume = 27 [kN/m³]

- diametro = 1 [m] (s = 0 [m])

- velocità iniziali:

lungo X = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])

lungo Y = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])

lungo Z = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])

Zona di distacco 2:

- linea di distacco

- coord. $X_1 = 171.2089$ [m]

- coord. $Y_1 = 270.0213$ [m]

- coord. $Z_1 = 597.4431$ [m]

- coord. $X_2 = 177.6218$ [m]

- coord. $Y_2 = 259.2244$ [m]

- coord. $Z_2 = 597.9979$ [m]

- n° massi generati = 10

- peso di volume = 27 [kN/m³]

- diametro = 1 [m] (s = 0 [m])

- velocità iniziali :

lungo X = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])

lungo Y = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])

lungo Z = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])

Zona di distacco 2:

- linea di distacco

BALMUCCIA

- BALMUCCIA (VC) -

- coord. $X_1 = 177.6218$ [m]
- coord. $Y_1 = 259.2244$ [m]
- coord. $Z_1 = 597.9979$ [m]
- coord. $X_2 = 188.4168$ [m]
- coord. $Y_2 = 250.7577$ [m]
- coord. $Z_2 = 597.4618$ [m]
- n° massi generati = 10
- peso di volume = 27 [kN/m³]
- diametro = 1 [m] (s = 0 [m])
- velocità iniziali :
 - lungo X = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])
 - lungo Y = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])
 - lungo Z = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])

Zona di distacco 2:

- linea di distacco
- coord. $X_1 = 188.4168$ [m]
- coord. $Y_1 = 250.7577$ [m]
- coord. $Z_1 = 597.4618$ [m]
- coord. $X_2 = 213.8169$ [m]
- coord. $Y_2 = 259.6477$ [m]
- coord. $Z_2 = 596.7445$ [m]
- n° massi generati = 10
- peso di volume = 27 [kN/m³]
- diametro = 1 [m] (s = 0 [m])
- velocità iniziali :
 - lungo X = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])
 - lungo Y = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])
 - lungo Z = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])

Zona di distacco 3:

- linea di distacco
- coord. $X_1 = 171.0601$ [m]
- coord. $Y_1 = 289.9161$ [m]
- coord. $Z_1 = 608.9897$ [m]
- coord. $X_2 = 184.1835$ [m]
- coord. $Y_2 = 282.2961$ [m]
- coord. $Z_2 = 609.5415$ [m]

RELAZIONE GEOLOGICA

- PROGETTO DEFINITIVO -

- n° massi generati = 10
- peso di volume = 27 [kN/m³]
- diametro = 1 [m] (s = 0 [m])
- velocità iniziali :
 - lungo X = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])
 - lungo Y = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])
 - lungo Z = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])

Zona di distacco 3:

- linea di distacco
- coord. X₁ = 184.1835 [m]
- coord. Y₁ = 282.2961 [m]
- coord. Z₁ = 609.5415 [m]
- coord. X₂ = 194.9926 [m]
- coord. Y₂ = 269.2594 [m]
- coord. Z₂ = 609.8417 [m]
- n° massi generati = 10
- peso di volume = 27 [kN/m³]
- diametro = 1 [m] (s = 0 [m])
- velocità iniziali :
 - lungo X = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])
 - lungo Y = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])
 - lungo Z = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])

Zona di distacco 3:

- linea di distacco
- coord. X₁ = 194.9926 [m]
- coord. Y₁ = 269.2594 [m]
- coord. Z₁ = 609.8417 [m]
- coord. X₂ = 205.7735 [m]
- coord. Y₂ = 264.5161 [m]
- coord. Z₂ = 608.504 [m]
- n° massi generati = 10
- peso di volume = 27 [kN/m³]
- diametro = 1 [m] (s = 0 [m])
- velocità iniziali :
 - lungo X = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])
 - lungo Y = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])

lungo Z = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])

Zona di distacco 3:

- linea di distacco
- linea di distacco
- coord. $X_1 = 205.7735$ [m]
- coord. $Y_1 = 264.5161$ [m]
- coord. $Z_1 = 608.504$ [m]
- coord. $X_2 = 222.0719$ [m]
- coord. $Y_2 = 273.8294$ [m]
- coord. $Z_2 = 605.6054$ [m]
- n° massi generati = 10
- peso di volume = 27 [kN/m³]
- diametro = 1 [m] (s = 0 [m])
- velocità iniziali :
 - lungo X = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])
 - lungo Y = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])
 - lungo Z = 0 [m/s] (s = 0 [m/s])

RISULTATI OTTENUTI

Percorso della traiettoria più lunga:

Dettaglio dei risultati per la traiettoria che raggiunge la maggior distanza dall'origine (misurata sul piano orizzontale):

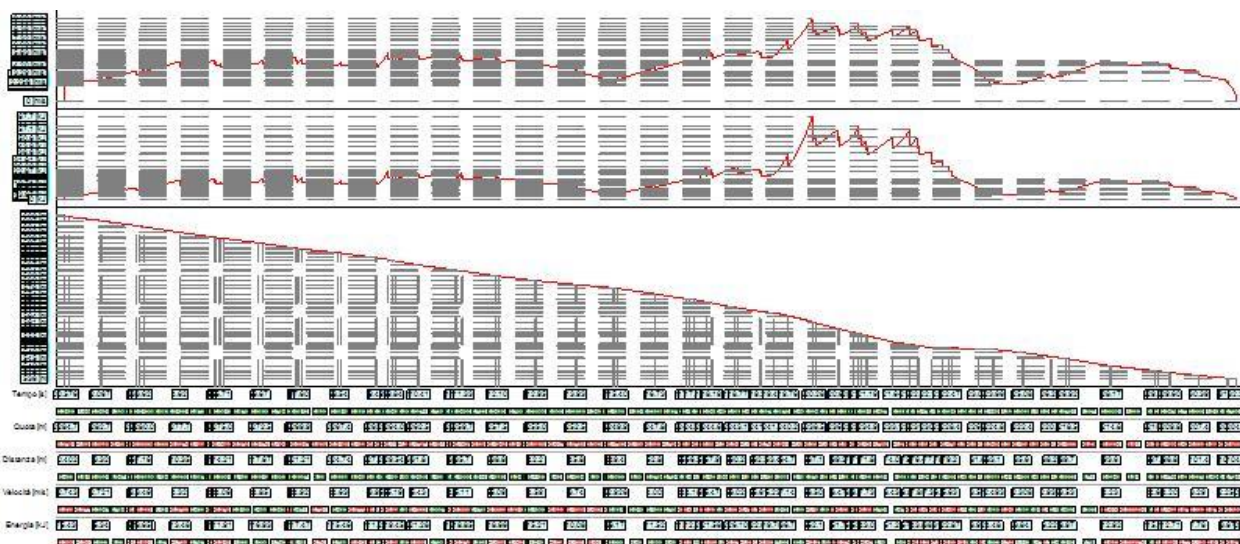


Figura 11 - Percorso della traiettoria più lunga

Nella seguente tabella si riporta il dettaglio della traiettoria che ha raggiunto la massima distanza sul piano orizzontale dal punto di distacco.

Diametro = 1 [m]. Volume = 0.52359878 [m³]. Massa = 1.44159 [t].

BALMUCCIA

- BALMUCCIA (VC) -

n.	Xr,Yr,Zr,dZr[m]	t.sup.	d.sup.	t[s]	t.m.	Vu[m/s]	E.c.p.[kJ]	E.c.d.[kJ]	E.di.[kJ]
1	x= 179.5917 y= 179.5917 z= 284.9623 dz= -	-	-	0	volo	0 x: 0 y: 0 z: 0	0	-	-
2	x= 179.5917 y= 179.5917 z= 284.9623 dz= 0	Terreno	Roccia in posto	0	volo	1.66 x: -1.19 y: -1.19 z: -1.14	7.692	1.997	5.695
3	x= 179.3017 y= 179.3017 z= 284.6842 dz= 0.2781	Terreno	Roccia in posto	0	attrito	2.13 x: -1.44 y: -1.44 z: -1.38	5.425	3.261	2.164
4	x= 177.2672 y= 177.2672 z= 282.7328 dz= 1.9514	-	-	2	volo	2.47 x: -1.52 y: -1.52 z: -1.46	4.384	4.384	0
5	x= 177.1985 y= 177.1985 z= 282.667 dz= 0.0659	Terreno	Roccia in posto	2	attrito	2.44 x: -1.47 y: -1.47 z: -1.41	5.337	4.3	1.037
6	x= 175 y= 175 z= 280.5577 dz= 2.1093	Terreno	Roccia in posto	3	volo	3.23 x: -2.01 y: -2.01 z: -1.96	8.856	7.519	1.337
7	x= 174.9541 y= 174.9541 z= 280.5128 dz= 0.0449	Terreno	Roccia in posto	3	attrito	3.06 x: -1.87 y: -1.87 z: -1.84	8.074	6.733	1.341
8	x= 174.7186 y= 174.7186 z= 280.2814 dz= 0.2314	-	-	3	volo	3.1 x: -1.88 y: -1.88 z: -1.85	6.907	6.907	0
9	x= 174.4527 y= 174.4527 z= 280.0203 dz= 0.2612	Terreno	Roccia in posto	4	attrito	3.45 x: -1.92 y: -1.92 z: -1.95	11.507	8.587	2.921
10	x= 174.4326 y= 174.4326 z= 280 dz= 0.0203	Terreno	Roccia in posto	4	attrito	3.46 x: -1.84 y: -1.84 z: -1.85	8.647	8.647	0
11	x= 172.2197 y= 172.2197 z= 277.7803 dz= 2.2197	Terreno	Roccia in posto	5	volo	4.24 x: -2.46 y: -2.46 z: -2.46	15.213	12.941	2.272
12	x= 172.1823 y= 172.1823 z= 277.7429 dz= 0.0374	Terreno	Roccia in posto	5	attrito	3.97 x: -2.29 y: -2.29 z: -2.29	13.477	11.339	2.138
13	x= 170 y= 170 z= 275.5599 dz= 2.183	Terreno	Roccia in posto	5	volo	4.37 x: -2.68 y: -2.68 z: -2.74	16.244	13.774	2.47
14	x= 169.898 y= 169.898 z= 275.4554 dz= 0.1045	Terreno	Roccia in posto	6	attrito	4.16 x: -2.5 y: -2.5 z: -2.59	15.007	12.46	2.546
15	x= 169.724 y= 169.724 z= 275.276 dz= 0.1794	-	-	6	volo	4.17 x: -2.49 y: -2.49 z: -2.57	12.556	12.556	0
16	x= 169.6002 y= 169.6002 z= 275.1485 dz= 0.1275	Terreno	Roccia in posto	6	attrito	4.03 x: -2.35 y: -2.35 z: -2.45	14.227	11.69	2.538
17	x= 169.4573 y= 169.4573 z= 275 dz= 0.1485	Terreno	Roccia in posto	6	attrito	4.06 x: -2.35 y: -2.35 z: -2.44	11.908	11.908	0
18	x= 167.2746 y= 167.2746 z= 272.7254 dz= 2.2746	-	-	7	volo	4.38 x: -2.58 y: -2.58 z: -2.69	13.831	13.831	0
19	x= 167.066 y= 167.066	Terreno	Roccia in posto	7	attrito	4.35 x: -2.48	16.927	13.62	3.307

RELAZIONE GEOLOGICA

- PROGETTO DEFINITIVO -

BALMUCCIA

- BALMUCCIA (VC) -

n.	Xr,Yr,Zr,dZr[m]	t.sup.	d.sup.	t[s]	t.m.	Vu[m/s]	E.c.p.[kJ]	E.c.d.[kJ]	E.di.[kJ]
	z= 272.5081 dz= 0.2174					y: -2.48 z: -2.6			
20	x= 165 y= 165 z= 270.3436 dz= 2.1645	Terreno	Roccia in posto	7	volo	4.69 x: -2.75 y: -2.75 z: -2.96	18.667	15.85	2.816
21	x= 164.9091 y= 164.9091 z= 270.2458 dz= 0.0978	Terreno	Roccia in posto	7	attrito	4.44 x: -2.56 y: -2.56 z: -2.78	17.04	14.205	2.835
22	x= 164.8348 y= 164.8348 z= 270.1652 dz= 0.0806	-	-	8	volo	4.45 x: -2.55 y: -2.55 z: -2.77	14.285	14.285	0
23	x= 164.6275 y= 164.6275 z= 269.9405 dz= 0.2247	Terreno	Roccia in posto	8	attrito	4.37 x: -2.86 y: -2.86 z: -2.85	17.468	13.734	3.734
24	x= 162.3654 y= 162.3654 z= 267.6346 dz= 2.306	-	-	8	volo	4.2 x: -2.6 y: -2.6 z: -2.65	12.725	12.725	0
25	x= 162.1527 y= 162.1527 z= 267.4177 dz= 0.2169	Terreno	Roccia in posto	9	attrito	4.16 x: -2.54 y: -2.54 z: -2.52	15.463	12.458	3.005
26	x= 160 y= 160 z= 265.263 dz= 2.1547	Terreno	Roccia in posto	9	volo	4.19 x: -2.7 y: -2.7 z: -2.71	14.951	12.652	2.299
27	x= 159.8835 y= 159.8835 z= 265.1458 dz= 0.1172	Terreno	Roccia in posto	9	attrito	3.99 x: -2.53 y: -2.53 z: -2.56	13.821	11.462	2.36
28	x= 159.8689 y= 159.8689 z= 265.1311 dz= 0.0147	-	-	9	volo	3.98 x: -2.51 y: -2.51 z: -2.53	11.445	11.445	0
29	x= 159.1799 y= 159.1799 z= 264.4367 dz= 0.6943	Terreno	Roccia in posto	10	volo	4.82 x: -2.75 y: -2.75 z: -2.75	23.589	16.769	6.82
30	x= 158.8784 y= 158.8784 z= 264.1346 dz= 0.3021	Terreno	Roccia in posto	10	volo	4.91 x: -2.69 y: -2.69 z: -2.69	22.038	17.392	4.646
31	x= 158.7605 y= 158.7605 z= 264.0167 dz= 0.1179	Terreno	Roccia in posto	10	attrito	4.72 x: -2.54 y: -2.54 z: -2.54	19.451	16.041	3.409
32	x= 157.3718 y= 157.3718 z= 262.6282 dz= 1.3885	Terreno	Roccia in posto	10	volo	5.11 x: -3.05 y: -3.05 z: -3.04	22.251	18.831	3.42
33	x= 157.1977 y= 157.1977 z= 262.4546 dz= 0.1737	Terreno	Roccia in posto	10	attrito	4.93 x: -2.89 y: -2.89 z: -2.88	21.283	17.492	3.791
34	x= 155 y= 155 z= 260.2635 dz= 2.1911	Terreno	Roccia in posto	11	volo	5.1 x: -3.1 y: -3.1 z: -3.13	22.039	18.722	3.317
35	x= 154.9009 y= 154.9009 z= 260.1633 dz= 0.1002	Terreno	Roccia in posto	11	attrito	4.81 x: -2.89 y: -2.89 z: -2.93	19.955	16.676	3.279
36	x= 154.869 y= 154.869 z= 260.131 dz= 0.0323	-	-	11	volo	4.81 x: -2.87 y: -2.87 z: -2.91	16.702	16.702	0
37	x= 154.573 y= 154.573 z= 259.8307 dz= 0.3003	Terreno	Roccia in posto	11	volo	4.83 x: -2.83 y: -2.83 z: -2.88	21.128	16.826	4.302

RELAZIONE GEOLOGICA

- PROGETTO DEFINITIVO -

BALMUCCIA

- BALMUCCIA (VC) -

n.	Xr,Yr,Zr,dZr[m]	t.sup.	d.sup.	t[s]	t.m.	Vu[m/s]	E.c.p.[kJ]	E.c.d.[kJ]	E.di.[kJ]
38	x= 154.4329 y= 154.4329 z= 259.688 dz= 0.1427	Terreno	Roccia in posto	11	attrito	4.64 x: -2.67 y: -2.67 z: -2.73	18.853	15.534	3.319
39	x= 152.3928 y= 152.3928 z= 257.6072 dz= 2.0808	Terreno	Roccia in posto	12	volo	4.87 x: -2.99 y: -2.99 z: -3.06	20.156	17.085	3.07
40	x= 152.2615 y= 152.2615 z= 257.4727 dz= 0.1345	Terreno	Roccia in posto	12	attrito	4.63 x: -2.81 y: -2.81 z: -2.88	18.657	15.481	3.177
41	x= 150 y= 150 z= 255.1547 dz= 2.318	-	-	13	volo	4.79 x: -2.88 y: -2.88 z: -2.95	16.513	16.513	0
42	x= 149.9855 y= 149.9855 z= 255.1398 dz= 0.0149	Terreno	Roccia in posto	13	attrito	4.43 x: -2.66 y: -2.66 z: -2.73	16.688	14.161	2.527
43	x= 149.9236 y= 149.9236 z= 255.0764 dz= 0.0634	-	-	13	volo	4.44 x: -2.66 y: -2.66 z: -2.73	14.195	14.195	0
44	x= 149.8447 y= 149.8447 z= 254.9955 dz= 0.0809	Terreno	Roccia in posto	13	attrito	4.18 x: -2.71 y: -2.71 z: -2.67	15.211	12.607	2.604
45	x= 147.4216 y= 147.4216 z= 252.5784 dz= 2.4172	Terreno	Roccia in posto	14	volo	3.63 x: -2.44 y: -2.44 z: -2.37	11.181	9.478	1.702
46	x= 147.3474 y= 147.3474 z= 252.5063 dz= 0.072	Terreno	Roccia in posto	14	attrito	3.42 x: -2.29 y: -2.29 z: -2.2	10.08	8.424	1.656
47	x= 145 y= 145 z= 250.2444 dz= 2.2619	-	-	15	volo	2.25 x: -1.5 y: -1.5 z: -1.44	3.641	3.641	0
48	x= 144.9669 y= 144.9669 z= 250.2125 dz= 0.0319	Terreno	Roccia in posto	15	attrito	2.13 x: -1.42 y: -1.42 z: -1.34	3.942	3.279	0.663
49	x= 144.875 y= 144.875 z= 250.125 dz= 0.0875	-	-	15	volo	2.09 x: -1.38 y: -1.38 z: -1.31	3.163	3.163	0
50	x= 144.6866 y= 144.6866 z= 249.9458 dz= 0.1792	Terreno	Roccia in posto	15	attrito	2.46 x: -1.66 y: -1.66 z: -1.32	6.172	4.375	1.798
51	x= 142.1601 y= 142.1601 z= 247.8399 dz= 2.106	-	-	17	volo	3.85 x: -2.37 y: -2.37 z: -1.98	10.657	10.657	0
52	x= 142.0999 y= 142.0999 z= 247.7897 dz= 0.0502	Terreno	Roccia in posto	17	attrito	3.65 x: -2.24 y: -2.24 z: -1.84	11.523	9.594	1.929
53	x= 140 y= 140 z= 246.0587 dz= 1.7309	Terreno	Roccia in posto	18	volo	4.31 x: -3.04 y: -3.04 z: -2.46	15.949	13.392	2.557
54	x= 139.7895 y= 139.7895 z= 245.8881 dz= 0.1707	Terreno	Roccia in posto	18	attrito	4.19 x: -2.9 y: -2.9 z: -2.34	15.506	12.639	2.867
55	x= 139.4146 y= 139.4146 z= 245.5854 dz= 0.3026	-	-	18	volo	4.18 x: -2.85 y: -2.85 z: -2.3	12.59	12.59	0
56	x= 138.5916 y= 138.5916	Terreno	Roccia in posto	18	volo	5.13 x: -3	26.634	18.978	7.656

RELAZIONE GEOLOGICA

- PROGETTO DEFINITIVO -

BALMUCCIA

- BALMUCCIA (VC) -

n.	Xr,Yr,Zr,dZr[m]	t.sup.	d.sup.	t[s]	t.m.	Vu[m/s]	E.c.p.[kJ]	E.c.d.[kJ]	E.di.[kJ]
	z= 244.921 dz= 0.6644					y: -3 z: -2.49			
57	x= 138.2876 y= 138.2876 z= 244.6681 dz= 0.2529	Terreno	Roccia in posto	18	volo	5.19 x: -2.91 y: -2.91 z: -2.44	24.48	19.433	5.047
58	x= 138.1698 y= 138.1698 z= 244.5691 dz= 0.099	Terreno	Roccia in posto	18	attrito	4.97 x: -2.74 y: -2.74 z: -2.31	21.575	17.832	3.743
59	x= 136.6832 y= 136.6832 z= 243.3168 dz= 1.2523	Terreno	Roccia in posto	19	volo	5.53 x: -3.52 y: -3.52 z: -3	26.169	22.053	4.116
60	x= 136.3913 y= 136.3913 z= 243.0679 dz= 0.2489	Terreno	Roccia in posto	19	attrito	5.42 x: -3.36 y: -3.36 z: -2.88	26.097	21.175	4.923
61	x= 135 y= 135 z= 241.8786 dz= 1.1893	Terreno	Roccia in posto	19	volo	5.38 x: -3.49 y: -3.49 z: -3.06	24.598	20.869	3.729
62	x= 134.8464 y= 134.8464 z= 241.7437 dz= 0.1349	Terreno	Roccia in posto	19	attrito	5.11 x: -3.26 y: -3.26 z: -2.9	22.695	18.856	3.839
63	x= 134.003 y= 134.003 z= 240.997 dz= 0.7466	-	-	19	volo	5.23 x: -3.31 y: -3.31 z: -2.93	19.703	19.703	0
64	x= 133.0533 y= 133.0533 z= 240.1564 dz= 0.8407	Terreno	Roccia in posto	20	volo	6.09 x: -3.42 y: -3.42 z: -3.19	36.749	26.774	9.975
65	x= 131.4551 y= 131.4551 z= 238.6657 dz= 1.4907	Terreno	Roccia in posto	20	volo	8.08 x: -3.37 y: -3.37 z: -3.76	67.703	47.057	20.646
66	x= 131.2708 y= 131.2708 z= 238.4603 dz= 0.2053	Terreno	Roccia in posto	20	attrito	7.73 x: -3.19 y: -3.19 z: -3.72	52.135	43.069	9.066
67	x= 130 y= 130 z= 237.0001 dz= 1.4603	Terreno	Roccia in posto	21	volo	8.21 x: -3.44 y: -3.44 z: -4.11	57.083	48.564	8.52
68	x= 129.8795 y= 129.8795 z= 236.8558 dz= 0.1442	Terreno	Roccia in posto	21	attrito	7.75 x: -3.18 y: -3.18 z: -3.87	51.73	43.254	8.476
69	x= 129.0948 y= 129.0948 z= 235.9052 dz= 0.9506	-	-	21	volo	8.45 x: -3.45 y: -3.45 z: -4.18	51.456	51.456	0
70	x= 128.7874 y= 128.7874 z= 235.5327 dz= 0.3725	Terreno	Roccia in posto	21	volo	8.25 x: -3.21 y: -3.21 z: -4.03	60.162	49.062	11.1
71	x= 128.6731 y= 128.6731 z= 235.3891 dz= 0.1436	Terreno	Roccia in posto	21	attrito	7.79 x: -2.97 y: -2.97 z: -3.79	52.391	43.777	8.614
72	x= 128.367 y= 128.367 z= 235 dz= 0.3891	Terreno	Roccia in posto	21	volo	7.49 x: -2.93 y: -2.93 z: -3.85	47.5	40.411	7.089
73	x= 128.2745 y= 128.2745 z= 234.8787 dz= 0.1213	Terreno	Roccia in posto	21	attrito	7.07 x: -2.72 y: -2.72 z: -3.61	43.029	35.982	7.047
74	x= 126.9175 y= 126.9175 z= 233.0825 dz= 1.7962	Terreno	Roccia in posto	22	volo	7.6 x: -3.12 y: -3.12 z: -5.92	51.186	41.589	9.597

RELAZIONE GEOLOGICA

- PROGETTO DEFINITIVO -

BALMUCCIA

- BALMUCCIA (VC) -

n.	Xr,Yr,Zr,dZr[m]	t.sup.	d.sup.	t[s]	t.m.	Vu[m/s]	E.c.p.[kJ]	E.c.d.[kJ]	E.di.[kJ]
75	x= 126.1929 y= 126.1929 z= 231.7099 dz= 1.3725	Terreno	Roccia in posto	22	volo	7.85 x: -2.81 y: -2.81 z: -5.94	57.111	44.411	12.7
76	x= 125.935 y= 125.935 z= 231.1638 dz= 0.5461	Terreno	Roccia in posto	22	volo	7.59 x: -2.56 y: -2.56 z: -5.67	50.568	41.477	9.09
77	x= 125.8411 y= 125.8411 z= 230.9557 dz= 0.2081	Terreno	Roccia in posto	22	attrito	7.14 x: -2.35 y: -2.35 z: -5.31	43.821	36.718	7.103
78	x= 125.4156 y= 125.4156 z= 230 dz= 0.9557	Terreno	Roccia in posto	22	volo	6.4 x: -2.47 y: -2.47 z: -5.9	38.625	29.502	9.123
79	x= 125.0113 y= 125.0113 z= 229.0321 dz= 0.9679	Terreno	Roccia in posto	22	volo	5.99 x: -2.23 y: -2.23 z: -5.55	31.608	25.886	5.722
80	x= 124.8185 y= 124.8185 z= 228.5535 dz= 0.4787	Terreno	Roccia in posto	22	volo	5.59 x: -2.06 y: -2.06 z: -5.17	26.825	22.523	4.302
81	x= 124.7482 y= 124.7482 z= 228.3768 dz= 0.1766	Terreno	Roccia in posto	22	attrito	5.18 x: -1.9 y: -1.9 z: -4.79	22.87	19.368	3.503
82	x= 123.8604 y= 123.8604 z= 226.1396 dz= 2.2373	-	-	23	volo	3.52 x: -1.29 y: -1.29 z: -3.24	8.908	8.908	0
83	x= 123.8526 y= 123.8526 z= 226.1198 dz= 0.0197	Terreno	Roccia in posto	23	attrito	3.25 x: -1.19 y: -1.19 z: -2.99	8.95	7.607	1.342
84	x= 123.4086 y= 123.4086 z= 225 dz= 1.1198	-	-	24	volo	1.85 x: -0.68 y: -0.68 z: -1.71	2.477	2.477	0
85	x= 123.3098 y= 123.3098 z= 224.7506 dz= 0.2494	Terreno	Roccia in posto	24	attrito	2.11 x: -0.6 y: -0.6 z: -1.87	4.48	3.199	1.281
86	x= 122.5315 y= 122.5315 z= 222.4685 dz= 2.2821	-	-	25	volo	1.95 x: -0.55 y: -0.55 z: -1.62	2.727	2.727	0
87	x= 122.4962 y= 122.4962 z= 222.365 dz= 0.1035	Terreno	Roccia in posto	25	attrito	2.03 x: -0.53 y: -0.53 z: -1.62	3.838	2.976	0.863
88	x= 121.7114 y= 121.7114 z= 220 dz= 2.365	Terreno	Roccia in posto	26	volo	2.88 x: -0.76 y: -0.76 z: -2.3	7.01	5.963	1.048
89	x= 121.7029 y= 121.7029 z= 219.9743 dz= 0.0257	Terreno	Roccia in posto	26	attrito	2.69 x: -0.7 y: -0.7 z: -2.14	6.217	5.229	0.988
90	x= 121.2886 y= 121.2886 z= 218.7114 dz= 1.2629	-	-	27	volo	3.04 x: -0.79 y: -0.79 z: -2.4	6.655	6.655	0
91	x= 121.2262 y= 121.2262 z= 218.5212 dz= 0.1902	Terreno	Roccia in posto	27	attrito	3.13 x: -0.79 y: -0.79 z: -2.37	8.974	7.045	1.929
92	x= 120.0612 y= 120.0612 z= 215 dz= 3.5212	Terreno	Roccia in posto	28	volo	4.43 x: -1.24 y: -1.24 z: -3.61	16.752	14.173	2.579
93	x= 120.0112 y= 120.0112	Terreno	Roccia in posto	28	attrito	4.23 x: -1.19	15.568	12.893	2.675

RELAZIONE GEOLOGICA

- PROGETTO DEFINITIVO -

BALMUCCIA

- BALMUCCIA (VC) -

n.	Xr,Yr,Zr,dZr[m]	t.sup.	d.sup.	t[s]	t.m.	Vu[m/s]	E.c.p.[kJ]	E.c.d.[kJ]	E.di.[kJ]
	z= 214.8549 dz= 0.1451					y: -1.19 z: -3.4			
94	x= 120 y= 120 z= 214.8225 dz= 0.0324	Terreno	Roccia in posto	28	attrito	4.23 x: -1.17 y: -1.17 z: -3.37	12.916	12.916	0
95	x= 118.7901 y= 118.7901 z= 211.2099 dz= 3.6126	-	-	29	volo	4.23 x: -1.18 y: -1.18 z: -3.51	12.913	12.913	0
96	x= 118.6982 y= 118.6982 z= 210.9357 dz= 0.2742	Terreno	Roccia in posto	29	attrito	4.18 x: -1.09 y: -1.09 z: -3.39	15.605	12.594	3.011
97	x= 118.3936 y= 118.3936 z= 210 dz= 0.9357	Terreno	Roccia in posto	30	volo	3.99 x: -1.1 y: -1.1 z: -3.49	13.596	11.483	2.113
98	x= 118.3414 y= 118.3414 z= 209.8336 dz= 0.1664	Terreno	Roccia in posto	30	attrito	3.82 x: -1.02 y: -1.02 z: -3.3	12.712	10.499	2.213
99	x= 117.5893 y= 117.5893 z= 207.4107 dz= 2.4229	Terreno	Roccia in posto	30	volo	3.25 x: -0.87 y: -0.87 z: -2.83	8.938	7.605	1.334
100	x= 117.5814 y= 117.5814 z= 207.3848 dz= 0.0259	Terreno	Roccia in posto	30	attrito	3.02 x: -0.8 y: -0.8 z: -2.63	7.782	6.58	1.202
101	x= 116.8518 y= 116.8518 z= 205 dz= 2.3848	Terreno	Roccia in posto	31	volo	2.17 x: -0.65 y: -0.65 z: -2.07	4.176	3.409	0.767
102	x= 116.8158 y= 116.8158 z= 204.8859 dz= 0.1141	Terreno	Roccia in posto	31	attrito	2.05 x: -0.62 y: -0.62 z: -1.94	3.667	3.023	0.644
103	x= 116.5937 y= 116.5937 z= 204.1867 dz= 0.6992	Terreno	Roccia in posto	32	-	0 x: 0 y: 0 z: 0	0	0	0

n.= indice dell'evento. X= coordinata X dell'evento. Z= coordinata Z dell'evento. dZ= altezza di caduta dell'evento precedente. t.sup.= tipo di materiale su cui avviene l'evento. d.sup.= descrizione del materiale su cui avviene l'evento. t.= istante in cui avviene l'evento. t.m.= tipo moto successivo all'evento. Vu= velocità di uscita. E.c.p.= energia cinetica traslazionale prima dell'impatto. E.c.d.= energia cinetica traslazionale dopo l'impatto. E.di.= energia dissipata nell'impatto.

DATI TRAIETTORIE

Nella seguente tabella si riportano i dati principali per tutte le traiettorie calcolate.

n.tr.	n.e.	t [s]	dxy [m]	t.a.
1	5	2	0.7192	VELOCITÀ MIN
2	3	2	0.6054	VELOCITÀ MIN
3	3	0	0.0846	VELOCITÀ MIN
4	3	0	0.0846	VELOCITÀ MIN
5	3	0	0.0846	VELOCITÀ MIN
6	4	2	0.5155	VELOCITÀ MIN
7	3	2	0.6054	VELOCITÀ MIN
8	3	0	0.0846	VELOCITÀ MIN
9	3	1	0.481	VELOCITÀ MIN
10	3	0	0.0846	VELOCITÀ MIN
11	37	8	29.3861	VELOCITÀ MIN
12	54	14	50.1552	VELOCITÀ MIN
13	53	14	48.7729	VELOCITÀ MIN
14	3	1	0.1831	VELOCITÀ MIN
15	56	15	49.3648	VELOCITÀ MIN
16	52	12	50.2204	VELOCITÀ MIN
17	56	13	49.0605	VELOCITÀ MIN
18	3	0	0.1354	VELOCITÀ MIN
19	3	0	0.0014	VELOCITÀ MIN
20	37	7	29.5417	VELOCITÀ MIN

RELAZIONE GEOLOGICA

- PROGETTO DEFINITIVO -

BALMUCCIA

- BALMUCCIA (VC) -

n.tr.	n.e.	t [s]	dxy [m]	t.a.
21	34	13	30.1005	VELOCITÀ MIN
22	34	11	29.5285	VELOCITÀ MIN
23	88	20	75.0664	VELOCITÀ MIN
24	37	17	32.1573	VELOCITÀ MIN
25	84	25	78.054	VELOCITÀ MIN
26	33	12	29.8793	VELOCITÀ MIN
27	35	14	31.3942	VELOCITÀ MIN
28	35	12	30.2859	VELOCITÀ MIN
29	35	12	29.9891	VELOCITÀ MIN
30	35	12	30.3193	VELOCITÀ MIN
31	81	17	71.4187	VELOCITÀ MIN
32	68	14	65.6734	VELOCITÀ MIN
33	82	18	68.295	VELOCITÀ MIN
34	75	16	66.2982	VELOCITÀ MIN
35	88	19	71.2329	VELOCITÀ MIN
36	84	19	72.0992	VELOCITÀ MIN
37	69	17	66.1294	VELOCITÀ MIN
38	70	17	66.2464	VELOCITÀ MIN
39	86	17	72.549	VELOCITÀ MIN
40	75	18	70.3187	VELOCITÀ MIN
41	57	14	62.0094	VELOCITÀ MIN
42	54	14	59.6676	VELOCITÀ MIN
43	55	14	61.9372	VELOCITÀ MIN
44	54	14	63.3022	VELOCITÀ MIN
45	67	17	71.1971	VELOCITÀ MIN
46	67	16	73.2839	VELOCITÀ MIN
47	53	14	63.1989	VELOCITÀ MIN
48	56	14	62.3047	VELOCITÀ MIN
49	53	14	60.4379	VELOCITÀ MIN
50	55	14	60.3133	VELOCITÀ MIN
51	53	18	49.566	VELOCITÀ MIN
52	56	17	47.3457	VELOCITÀ MIN
53	3	0	0.0938	VELOCITÀ MIN
54	56	17	47.3787	VELOCITÀ MIN
55	3	0	0.211	VELOCITÀ MIN
56	103	32	102.4375	VELOCITÀ MIN
57	112	37	102.184	VELOCITÀ MIN
58	111	31	100.9353	VELOCITÀ MIN
59	55	17	47.4021	VELOCITÀ MIN
60	3	0	0.1208	VELOCITÀ MIN
61	105	35	101.0945	VELOCITÀ MIN
62	3	0	0.0375	VELOCITÀ MIN
63	109	31	94.0296	VELOCITÀ MIN
64	56	17	49.3379	VELOCITÀ MIN
65	109	29	92.0003	VELOCITÀ MIN
66	53	19	51.2923	VELOCITÀ MIN
67	4	1	0.3789	VELOCITÀ MIN
68	111	30	92.0108	VELOCITÀ MIN
69	3	0	0.0425	VELOCITÀ MIN
70	3	2	0.9347	VELOCITÀ MIN
71	5	2	0.8339	VELOCITÀ MIN
72	3	2	0.7146	VELOCITÀ MIN
73	5	2	0.7543	VELOCITÀ MIN
74	3	2	0.7146	VELOCITÀ MIN
75	3	2	0.7146	VELOCITÀ MIN
76	4	1	0.6032	VELOCITÀ MIN
77	5	2	0.9399	VELOCITÀ MIN
78	3	2	0.7146	VELOCITÀ MIN
79	64	17	70.1164	VELOCITÀ MIN
80	5	2	0.8072	VELOCITÀ MIN
81	64	17	74.1859	VELOCITÀ MIN
82	70	22	82.0665	VELOCITÀ MIN
83	64	20	79.6631	VELOCITÀ MIN
84	70	22	82.1603	VELOCITÀ MIN
85	70	23	85.0595	VELOCITÀ MIN
86	62	16	72.083	VELOCITÀ MIN
87	72	24	84.5048	VELOCITÀ MIN
88	62	16	71.7815	VELOCITÀ MIN
89	64	16	69.4022	VELOCITÀ MIN
90	64	22	79.9339	VELOCITÀ MIN
n.tr.= indice della traiettoria. n.e.= numero di eventi. t = tempo totale di caduta. dxy = distanza dal punto di distacco (proiettata sul piano XY).				

RELAZIONE GEOLOGICA

- PROGETTO DEFINITIVO -

BALMUCCIA

- BALMUCCIA (VC) -

n.tr.	n.e.	t [s]	dxy [m]	t.a.
t.a. = tipo di arresto.				

STATISTICHE RACCOLTE PER I TIPI DI TERRENO SUL VERSANTE

Si riportano i valori massimi misurati per ciascuna tipologia di terreno.

Valori massimi - tutti i massi che transitano (sorvolano, colpiscono o si fermano) / solo i massi che colpiscono									
Nome	n° _{tra}	H _{MAX} [m]	V _{tr,MAX} [m/s]	E _{tr,MAX} [kJ]	n° _{col}	V _{tr,MAX} [m/s]	E _{tr,MAX} [kJ]	n° _{fer}	
Gruppo 1 (Roccia in posto)	90	0.1835	14.44	150.385	90	14.44	150.385	90	

Segue l'analisi dettagliata per ciascun tipo di terreno su cui sono stati misurati eventi:

Analisi statistica - tutti i massi che transitano (sorvolano, colpiscono o si fermano) / solo i massi che colpiscono					
Numerosità campione = 90			Numerosità campione = 90		
	Quota sul profilo [m]	Velocità traslazionale [m/s]	Energia traslazionale [kJ]	Velocità traslazionale [m/s]	Energia traslazionale [kJ]
Minimo	0	0.13	0.012	0.13	0.012
Massimo	0.1835	14.44	150.385	14.44	150.385
Media	0.0015	5.83	28.889	5.78	28.465
Dev. standard	0.0114	2.47	23.197	2.46	22.99
95° percentile	0.0203	9.89	67.019	9.83	66.255

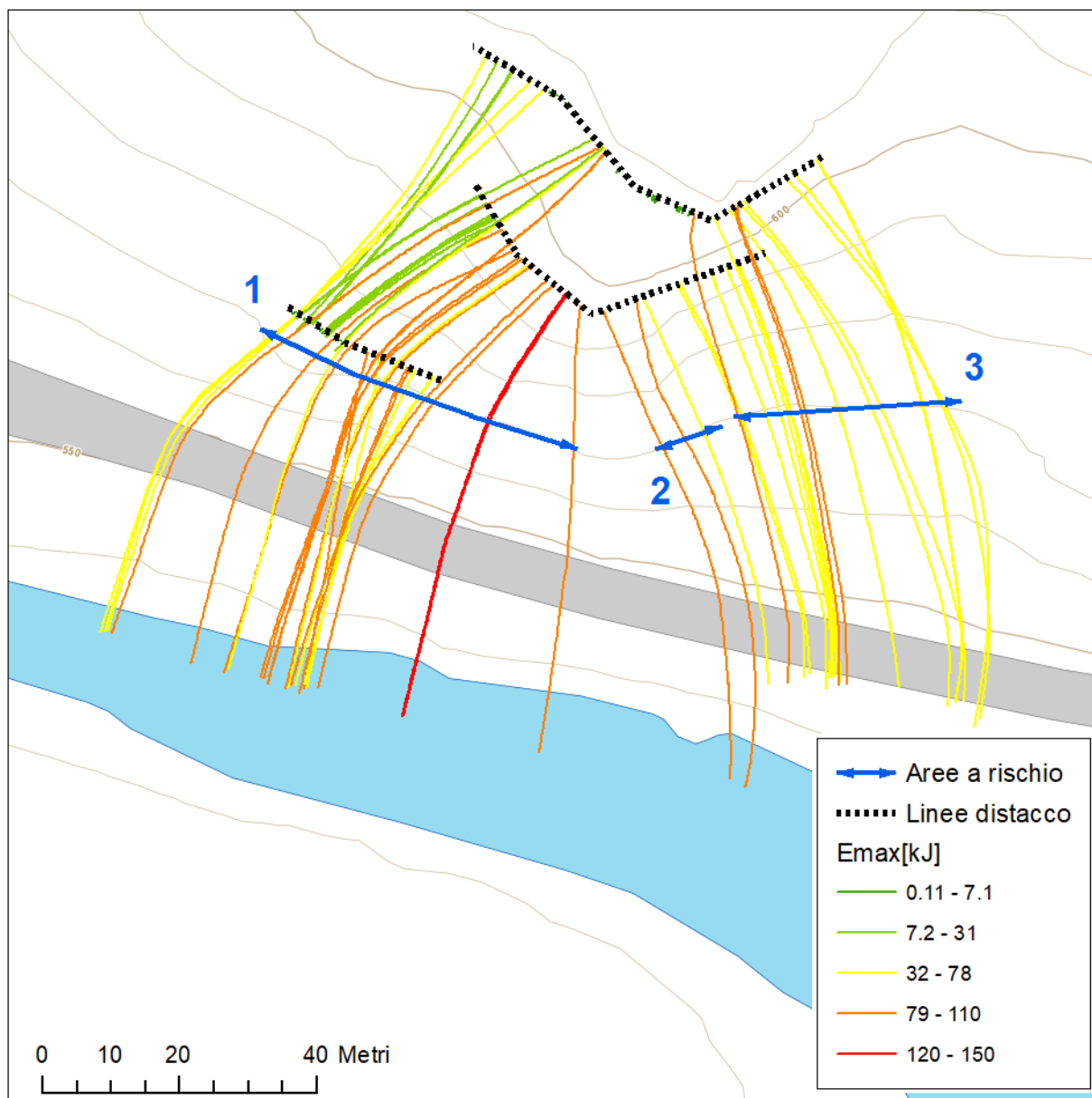


Figura 12 – Traiettorie ed energie ottenute dall'analisi della caduta massi e aree a rischio individuate

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dai rilievi effettuati e dai risultati ottenuti dalle analisi si riportano di seguito le seguenti considerazioni di carattere geologico applicativo:

- L'area di intervento è potenzialmente soggetta da fenomeni di caduta massi, provenienti sia dalle pareti rocciose limitrofe alla sede stradale sia dal versante soprastante
- Gli affioramenti dei versanti sono mediamente fratturati, a differente orientazione, che contribuiscono a disgregare gli ammassi rocciosi in blocchi e volumi minori; questi, in particolari condizioni generate dagli agenti atmosferici e grazie alle forti pendenze in gioco, possono portare a fenomeni di crollo di masse rocciose.
- Il versante posto più a ovest (verso l'abitato di Balmuccia) è caratterizzato dalla presenza di diversi muretti in pietra a secco piuttosto ammalorati e dalla presenza del materiale di risulta proveniente da una miniera (smarino),

accumulato proprio lungo il versante stesso. Sia i massi dei muretti che lo smarino potrebbero, in determinate condizioni (eventi atmosferici, animali selvatici, caduta di alberi, ...) rotolare lungo il versante e raggiungere la strada provinciale sottostante.

- Gli interventi consigliati per la messa in sicurezza dell'area sono rappresentati dal disgaggio dell'area e dalla messa in opera di barriere paramassi e di reti armate addossate.
- Le barriere paramassi dovranno avere un assorbimento energetico di almeno 500 KJ e una altezza di 3 m.
- La prima zona da mettere in sicurezza è rappresentata dall'area contraddistinta dal numero 1, considerata più pericolosa e a rischio più elevato. A seguire la n. 2 e infine la 3.

INTERVENTI PREVISTI E IMPLICAZIONI GEOLOGICO-APPLICATIVE

I lavori in progetto hanno lo scopo di mettere in sicurezza la strada SP299 dall'eventuale distacco di rocce provenienti dal versante a monte della strada stessa.

A questo scopo sono previste le seguenti opere (per maggiori dettagli si vedano gli elaborati progettuali a firma del Dott. Ing. Giorgio Cerin, di cui si riporta uno stralcio in figura 13):

- Abbattimento di alberi e decespugliamento
- Operazioni di disgaggio per l'abbattimento dei volumi di roccia instabili per una superficie di 300 mq e filatura della scarpata
- Rivestimento scarpata con rete metallica a doppia torsione con maglia esagonale per una superficie di 300 mq.
- Chiodature per il consolidamento delle pareti rocciose o dei grossi blocchi attraverso la fornitura e posa in opera di barre d'acciaio del diametro di 24 mm.
- Posa in opera di n. 3 barriere paramassi con assorbimento energetico pari a 500 KJ, altezza di 3 m e lunghezza 32 m, 18 m e 12 m.

Le operazioni di disgaggio sono necessarie per eliminare solo i blocchi e le porzioni di roccia giudicati instabili e più fragili: in questo modo si andrà a ridurre la probabilità di caduta di massi instabili.

La rete metallica armata andrà a consolidare la parete rocciosa: gli ancoraggi, di lunghezza pari a 3 m, supereranno la parte superficiale più fratturata e si assesteranno nella porzione più compatta della roccia.

Per quanto riguarda la chiodatura in fase esecutiva verranno individuate le porzioni rocciose da stabilizzare.

Le caratteristiche della barriera paramassi sono adeguate a contenere gli eventuali distacchi, così come dimostra l'analisi della caduta massi che rileva energie massime dell'ordine dei 150 KJ.

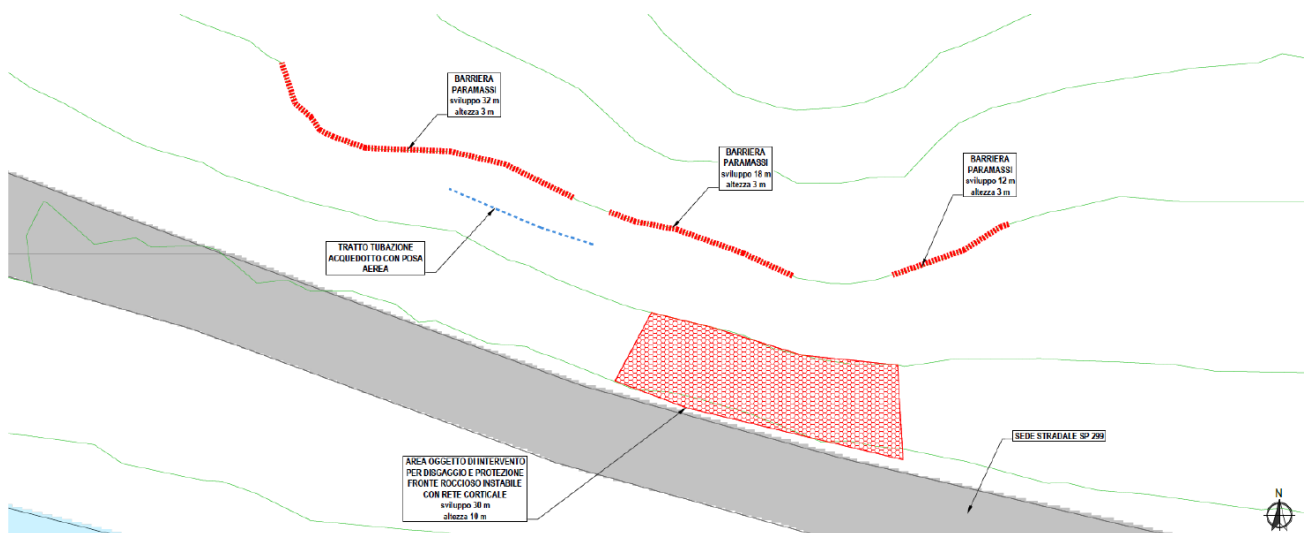
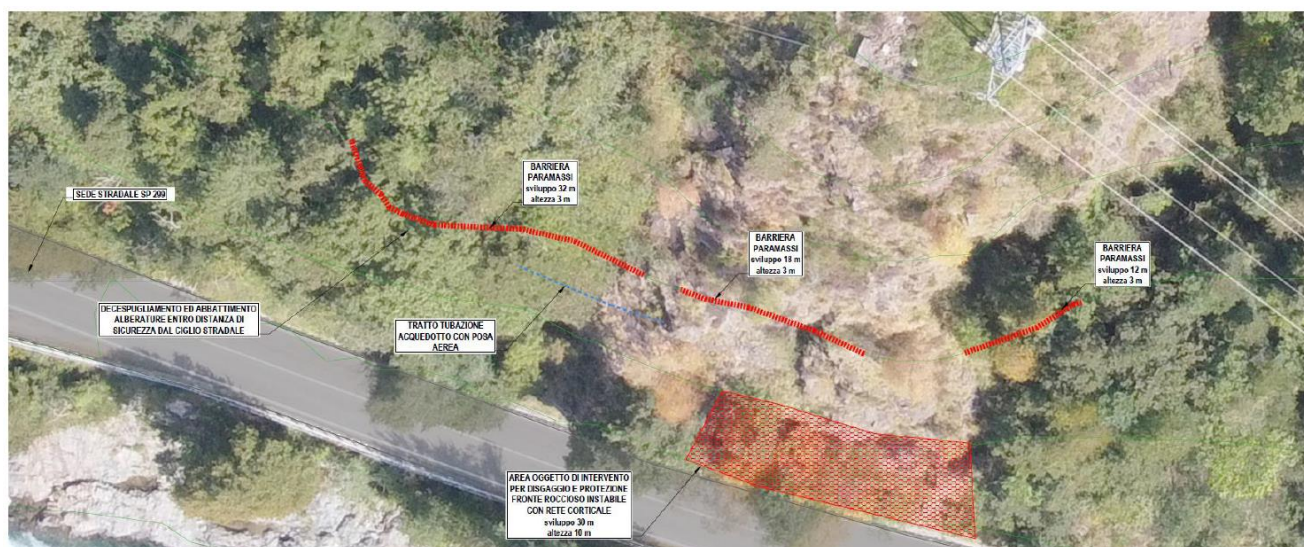


Figura 13 - Stralcio elaborati progettuali