



Regione Lombardia

# PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

STUDIO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA

## UNIONE DEI COMUNI RIVIERA DEL BREGAGNO -PROVINCIA DI COMO-

### Analisi delle aree in dissesto (Ambiti Fa del P.A.I.)

#### RELAZIONE TECNICA

Recepimento osservazioni Regione Lombardia  
Protocollo Z1.2011.0000401 del 10/01/2011

IL TECNICO INCARICATO:

**Geo.Te.Am.**

**Studio di Geologia Tecnica  
ed Ambientale**

*Dott. Geol. Depoli Claudio  
Dott. Geol. Adamoli Cristian*

Via Villatico 11 - 23823 Colico (Lc)

☎ +39 0341 933011

[www.studiogeoteam.com](http://www.studiogeoteam.com)

✉ tecnico@studiogeoteam.com

IL SINDACO:

IL SEGRETARIO:

DATA:

Settembre 2010  
Agg. Marzo 2011

ALL.:

B

TAV.:

---

<b><u>1</u></b>	<b><u>INTRODUZIONE</u></b>	<b><u>2</u></b>
<b><u>2</u></b>	<b><u>PREMESSA</u></b>	<b><u>3</u></b>
2.1	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOTECNICHE	4
2.2	CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE	4
2.3	REGIME PLUVIOMETRICO DELL'AREA	5
<b><u>3</u></b>	<b><u>SETTORE OVEST DELLA CAVA (ALTA)</u></b>	<b><u>8</u></b>
3.1	DESCRIZIONE METODO DI STUDIO UTILIZZATO	8
3.2	CARATTERIZZAZIONE DELLE AREE OMOGENEE	9
3.3	MODELLAZIONE ED ANALISI NUMERICA DELLA CADUTA MASSI	11
3.3.1	Metodologia operativa	11
3.3.1.1	Metodo di calcolo CRSP	12
3.3.2	Risultati ottenuti	15
3.3.2.1	Calcolo delle percentuali di instabilità della parete	16
3.3.2.2	Pericolosità definitiva	17
<b><u>4</u></b>	<b><u>SETTORE CAVA (ALTA E BASSA)</u></b>	<b><u>18</u></b>
4.1	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA	18
4.2	METODOLOGIA	21
4.3	CARATTERIZZAZIONE DELLE AREE OMOGENEE	21
4.4	ANALISI DI STABILITÀ SCARPATE IN ROCCIA	21
4.5	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	23
<b><u>5</u></b>	<b><u>SETTORE SUD CAVE - SCIVOLAMENTO</u></b>	<b><u>24</u></b>
5.1	PREMESSA	24
5.2	CARTA DELLE AREE OMOGENEE	24
5.3	CARTA DELLA PERICOLOSITÀ PRELIMINARE E DEFINITIVA: MODELLAZIONE ED ANALISI NUMERICA DELLA STABILITÀ DEL PENDIO- REVISIONE	25
5.3.1	Metodologia operativa	26
5.3.2	Introduzione all'analisi di stabilità	26
5.3.3	Metodo per il calcolo della stabilità globale di versante- pendio indefinito	27
5.3.4	Definizione pericolosità preliminare e definitiva	28
5.4	ANALISI STABILITÀ PENDIO	30
5.4.1	Risultati ottenuti	31
<b><u>6</u></b>	<b><u>SINTESI TECNICA: PROPOSTA DI RIPERIMETRAZIONE E DEFINIZIONE DELLA NUOVA FATTIBILITÀ GEOLOGICA</u></b>	<b><u>31</u></b>

---

## 1 INTRODUZIONE

Il presente documento è l'aggiornamento della documentazione geologica di supporto al PGT dell'Unione dei Comuni Riviera del Bregagno (CO) richiesto dalla Regione Lombardia (protocollo Z1.2011.0000401 del 10/01/2011) nel rispetto delle prescrizioni.

In particolare per il presente studio di approfondimento "Analisi delle aree in dissesto ambiti Fa del P.A.I." la valutazione di Regione Lombardia si fa riferimento alla richiesta formulata nel parere, ovvero:

***.....per quanto riguarda lo studio di dettaglio "Analisi delle aree in dissesto (ambiti Fa del PAI) ubicate in prossimità con il confine comunale di Dongo (Elaborato B)", si chiede di integrare la documentazione con la carta delle aree omogenee e della pericolosità (preliminare e definitiva) relative all'analisi di stabilità del pendio effettuata;***

Nell'analisi di quanto sopra riportato si è ritenuto opportuno integrare il precedente studio estendendo lo studio all'intera area Fa di PAI.

L'area di PAI è stata discriminata in base alla tipologia di dissesto che aveva portato alla sua individuazione. In particolare sono stati effettuati:

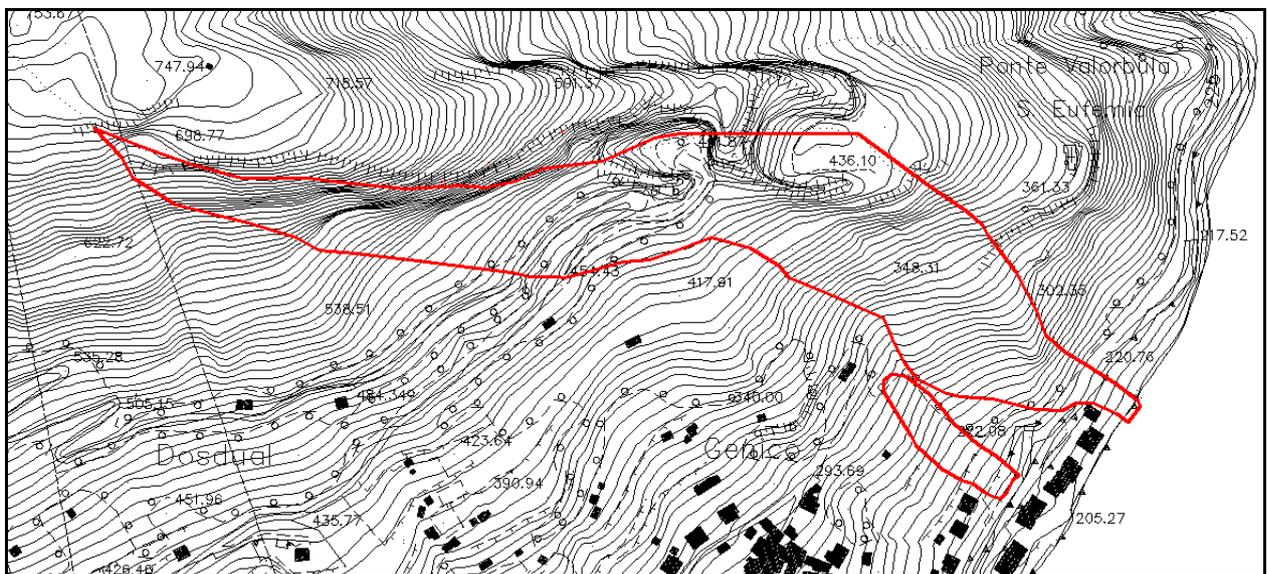
- Modellazione caduta massi ad ovest delle cava alta di marmo (approfondimento effettuato) e all'interno delle cave alta e bassa (approfondimento riportato nella presente);
- Analisi di stabilità dell'area a sud delle cave di marmo studiata come zona di scivolamento (approfondimento riportato nella presente).

A seguito dell'estensione degli approfondimenti sull'intera area Fa si sono effettuate alcune revisioni nelle relazioni tecniche e in tutta la cartografia dipendente dalla nuova perimetrazione.

## 2 PREMESSA

La presente relazione è stata redatta con lo scopo di valutare la stabilità di una porzione di versante attualmente segnalata nella cartografia regionale dei dissesti con legenda unificata P.A.I. come frana attiva (Fa) e quindi corrispondente alla classe di fattibilità geologica 4 (gravi limitazioni).

L'area si estende a monte dell'abitato di Musso coprendo un dislivello altimetrico di circa 500m lungo la costa rocciosa che caratterizza il territorio comunale in prossimità del confine con Dongo.



**Corografia Area oggetto di studio "Fa" del P.A.I.**

E' un ambito di pendio boscato con sovrastante parete rocciosa carbonatica, in parte oggetto di antica attività estrattiva di cava (marmo di Musso)

## 2.1 CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOTECNICHE

L'area dal punto di vista geologico è caratterizzata da affioramenti di roccia che si estendono con una certa continuità in una fascia compresa tra le quote 440 e 700m s.l.m.

Le litologie presenti nell'area sono perlopiù *Marmi a grana fine* (Dinarico), in passato soggetti ad attività estrattiva oggi abbandonata, e solo marginalmente *Dolomia Principale* (Dinarico).

Al fine di fornire una dettagliata caratterizzazione delle proprietà meccaniche dell'ammasso analizzato, sono stati condotti alcuni rilievi geomeccanici, i cui risultati (vedasi allegati) hanno portato ad una definizione dell'ammasso in classe II di Bieniawski avente cioè BUONE caratteristiche di stabilità ed auto sostentamento a medio-lungo termine.

Per quanto riguarda invece i depositi terrigeni superficiali, nell'area oggetto di verifica si trovano prevalentemente *depositi eluviali* derivanti dal disfacimento chimico/fisico del substrato roccioso sottostante con spessori mediamente compresi tra 1-2 m.; in percentuale minore sono presenti anche *depositi di origine glaciale*, si tratta di depositi terrigeni costituiti da sabbie e ghiaie grossolane con ciottoli dalla forma arrotondata inseriti in un'abbondante matrice limosa, gli spessori medi riscontrati vanno da 1 a 4 m..

Da un punto di vista geomeccanico i materiali hanno discrete qualità meccaniche di resistenza al taglio in assenza di precipitazioni, mentre se si saturano gli stessi alcuni parametri si modificano e cambiano le caratteristiche geotecniche. In particolare si avranno un aumento di peso, una riduzione dell'angolo d'attrito e l'annullamento della coesione.

Vedasi tavola B1 di "Inquadramento geologico-geomorfologico"

## 2.2 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

I rilievi condotti non hanno evidenziato particolari problematiche di dinamica geomorfologica. Sono infatti stati riscontrati solo alcuni lievi dissesti di soliflusso, causati da movimenti superficiali della cotica erbosa laddove il pendio presenta elevate pendenze e segni di fenomeni di crollo di blocchi dalle pareti rocciose.(vedasi tavola B2 dei dissesti con elementi morfologici).

È inoltre da sottolineare che le pendenze medio – elevate che caratterizzano l'area o parte di essa, possono facilitare l'instabilità del pendio. Proprio quest'ultima considerazione ha portato ad una valutazione e verifica della stabilità globale del pendio come esposto nei capitoli successivi della presente relazione.

Le aree in studio sono inoltre caratterizzate dalla presenza di alcuni muretti contenimento a secco che, in base alla loro manutenzione possono dimostrarsi da un lato ottimi interventi che contribuiscono alla stabilizzazione dell'area, dall'altro, elementi che possono aggravare e/o peggiorare una possibile situazione di instabilità se in atto.

La valutazione del loro stato attuale e la sistemazione di quei muretti che dimostrano stati di abbandono, potrebbe assicurare una stabilità del versante anche nelle aree dove le pendenze risultano essere maggiori.

L'intera area risulta essere scarsamente urbanizzata e solo marginalmente interessata dalla rete viaria locale.

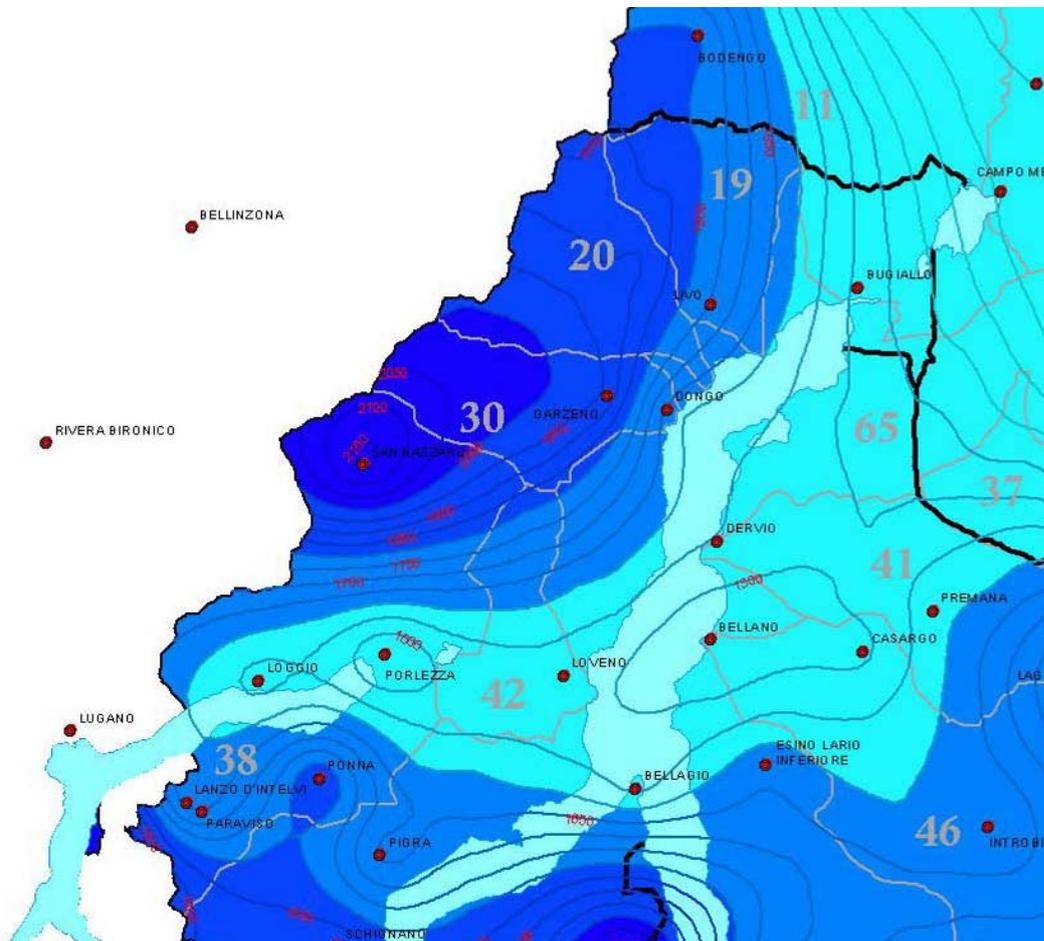
### **2.3 REGIME PLUVIOMETRICO DELL'AREA**

Le caratteristiche climatiche rappresentano un fattore molto importante; basti ricordare l'influenza delle precipitazioni (soprattutto se brevi ed intense) sul regime delle portate dei torrenti o delle sorgenti o nella stabilità dei versanti.

In riferimento all'analisi bibliografica (Regione Lombardia, "Carta delle precipitazioni del territorio alpino lombardo" a cura di *M. Ceriani e M. Carelli*) nel periodo 1891 – 1990 è stata redatta una carta delle precipitazioni con lo scopo di dare un supporto agli studi di carattere ambientale e definire alcuni interessanti aspetti.

I dati utilizzati per l'elaborazione della carta sono stati ricavati dagli "*Annali Idrologici - parte prima*" del Servizio Idrografico, Ufficio Idrografico del Po, dal 1913 al 1983, e dalla Pubblicazione n.24 "*Precipitazioni medie mensili ed annue e numero dei giorni piovosi per il trentennio 1921 - 1950 - Bacino del Po*". Per alcune aree particolarmente significative i dati sono stati integrati, fino al 1990, con il reperimento diretto degli stessi presso le aziende idroelettriche (AEM, ENEL Sondel) e il Servizio Idrografico medesimo. Particolare cura è stata riservata nella raccolta dei dati antecedenti il 1913 con una ricerca condotta nel Volume II - Bacino Imbrifero del Po - "*Osservazioni Pluviometriche raccolte a tutto l'anno 1915*" - Roma 1922, sempre del Servizio Idrografico.

Nella figura sottostante è mostrato uno stralcio della carta delle precipitazioni medie per l'area in studio.



### Legenda

-  fiumi
-  laghi
-  province
-  bacini idrografici
-  stazioni pluviometriche

#### Isoiete medie Kriging

 650 - 800	 650 - 800
 801 - 1000	 801 - 1000
 1001 - 1200	 1001 - 1200
 1201 - 1400	 1201 - 1400
 1401 - 1600	 1401 - 1600
 1601 - 1800	 1601 - 1800
 1801 - 2000	 1801 - 2000
 2001 - 2500	 2001 - 2500

### **Eventi meteorici recenti**

L'area compresa tra la parte alta del Lario e la Valtellina fu duramente colpita dall'alluvione del giugno 97 e, in minor modo, dai successivi episodi del novembre 2000 e 2002. Nel territorio si attivarono una serie di dissesti anche all'interno di ambiti che, fino ad allora, erano stati ritenuti di non particolare instabilità.

L'analisi degli eventi ha permesso di valutare come i dissesti fossero stati influenzati da una situazione territoriale predisponente e dai fattori scatenanti.

Quindi i processi morfodinamici rappresentano un'evoluzione "naturale" del territorio e non c'è dubbio che tale evoluzione sia direttamente collegabile alla particolare intensità delle precipitazioni, che in un breve lasso di tempo, successivo ad una fase preparatoria di precipitazioni, ha riversato nell'area, nell'arco delle 24 ore, 210 mm di acqua nel 1997 e valori anche superiori nel 2002.

## 3 SETTORE OVEST DELLA CAVA (ALTA)

### 3.1 DESCRIZIONE METODO DI STUDIO UTILIZZATO

Lo standard metodologico per la realizzazione del presente studio è quello contenuto nelle nuove direttive regionali .

La procedura adottata, denominata *R.H.A.P.* ( *Rockfall Hazard Assesment Procedure*), valida per crolli di singoli blocchi o per crolli di volumetria massima di 1000 m<sup>3</sup>, comprende più fasi.

Il primo passo è l'individuazione dei settori di parete rocciosa potenzialmente origine di crolli che devono essere delimitati in aree omogenee in funzione di:

1. caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso;
2. morfologia del versante lungo le traiettorie di discesa dei blocchi;
3. presenza di opere di difesa.

In ciascuna delle aree omogenee definite sono scelte, in pianta, una o più traiettorie di discesa dei blocchi su cui effettuare analisi di rotolamento con modelli numerici di tipo stocastico.

In base alle analisi di rotolamento dei massi, si esegue una zonazione longitudinale preliminare delle traiettorie di caduta suddividendole in 3 zone:

- a) di transito e di arresto del 70% dei blocchi;
- b) di arresto del 95% dei blocchi;
- c) di arresto del 100% dei blocchi.

A queste 3 zone vengono assegnate le classi di pericolosità relativa: 4 (a), 3 (b), 2 (c) e, in aggiunta, si delimita un'area di bassa pericolosità (valore 1) utilizzando la distanza massima raggiunta dal blocco di maggiori dimensioni o la distanza massima raggiunta da massi di crolli precedenti.

Successivamente si valuta la probabilità di accadimento del fenomeno in ciascuna delle aree omogenee, definendo la propensione al distacco dei blocchi.

A tale scopo si suddividono le aree omogenee in maglie, con lato da 5 m fino a 20 m, secondo la complessità geomeccanica dell'area omogenea o in base alle dimensioni della parete.

Per ciascuna maglia si verifica la presenza dei seguenti elementi di instabilità :

fratture aperte con evidenze di attività associate a cinematismi possibili;

- blocchi ruotati;

- zone intensamente fatturate;
- superfici non alterate che testimoniano recenti distacchi;
- emergenze di acqua alla base dei blocchi.

Per ogni area omogenea viene calcolata la somma di tutti gli elementi di instabilità presenti e viene ricavata la percentuale di attività in relazione al numero massimo ottenibile nell'area omogenea , dando a ciascuna maglia il valore massimo di 5.

In base alle percentuali così ricavate, le aree omogenee vengono raggruppate in 3 gruppi a differente attività relativa per il sito indagato: alta, media, bassa.

La zonazione finale della pericolosità viene definita utilizzando i valori delle classi di pericolosità relativa della zona di transito e accumulo dei blocchi, che vengono aumentati di 1, mantenuti costanti o diminuiti di 1 a seconda che le pareti sovrastanti appartengono ai gruppi di attività alta, media o bassa rispettivamente.

Si possono così avere in totale 5 classi di pericolosità, da H1 a H5.

### **3.2 CARATTERIZZAZIONE DELLE AREE OMOGENEE**

Nell'individuazione delle aree omogenee, dopo una serie di rilievi sul luogo, è stata determinata come area sorgente di possibili crolli una fascia di circa 110 m di affioramento roccioso, compresa tra le quote altimetriche 525- 595, che caratterizza la porzione di territorio in analisi a confine col comune di Dongo.

Sono state quindi definite 3 aree omogenee (vedasi tavola allegata B3) in funzione della distribuzione areale degli affioramenti rocciosi, delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso, della distribuzione delle diverse famiglie di discontinuità, della morfologia e acclività del versante lungo le traiettorie di discesa dei blocchi e dalla vegetazione presente. Per i dati riferiti ai rilievi geomeccanico (RGM 1/2) si rimanda agli elaborati allegati.

- **Area omogenea 1** (area sorgente distacco blocchi), caratterizzata da un pendio molto inclinato costituito quasi esclusivamente da affioramenti rocciosi di marmo a grana fine (Dinarico), poco fratturati, con buone caratteristiche geomeccaniche, solo parzialmente ricoperti da vegetazione arborea.
- **Area omogenea 2**, costituita da un pendio ad inclinazione medio – elevata, caratterizzata , in buona parte da depositi eluviali di modesto spessore e vegetazione arborea.

Il settore è interessato da evidenze di crolli provenienti dalla parete soprastante, i blocchi hanno una pezzatura piuttosto limitata, le volumetrie medie sono infatti nell'ordine di circa  $0.004 \text{ m}^3$

- **Area omogenea 3** costituita da un settore a medio - bassa acclività è caratterizzata da depositi eluviali ricoperti da fitta vegetazione arborea. In quest' area non sono stati riscontrati particolari fattori di instabilità



**Vista complessiva dell'area di studio tratta da Google Earth**

### **3.3 MODELLAZIONE ED ANALISI NUMERICA DELLA CADUTA MASSI**

Per la delimitazione della pericolosità preliminare bisogna determinare le traiettorie dei massi che si possono staccare dalle pareti.

In particolare è stato utilizzato un codice di calcolo monodimensionale su singole sezioni (*Rockfall* della piattaforma Rocscience), che ha consentito di definire planimetricamente le traiettorie di caduta più probabili.

Le simulazioni di caduta hanno preso in considerazione i seguenti parametri:

- zona di partenza dei blocchi: la sommità della parete;
- volumetria dei massi: le dimensioni modali, valutate in base alla fratturazione in parete, ricavata dai rilievi geomeccanici. Oltre ai volumi modali si sono presi in considerazione anche il volume maggiore e quello del blocco che ha raggiunto la distanza massima;
- forma, che è la più simile alla forma modale osservata in parete e nel detrito;
- coefficienti di restituzione e rugosità, che sono stati valutati attraverso un rilievo puntuale delle traiettorie di caduta, sia reali che ipotizzate, prestando particolare attenzione al tipo di superficie, al tipo di vegetazione presente, alla profondità e distanza tra solchi di impatti precedenti, ad eventuali danni a strutture e piante;
- numero di simulazioni: essendo questa analisi di tipo probabilistico sono state effettuate numerose simulazioni di caduta, si sono analizzate 1000 cadute per ogni traiettoria.

E' stato utilizzato un codice di calcolo monodimensionale in quanto la morfologia del pendio, nelle varie aree omogenee, consente di estendere lateralmente le analisi.

#### **3.3.1 Metodologia operativa**

Il moto di caduta di un blocco lungo una scarpata rocciosa dipende da numerosi fattori che non è facile esprimere numericamente.

Le traiettorie dei blocchi dipendono dalla geometria della scarpata, dalla forma del blocco in caduta e dalla sua velocità iniziale al momento del distacco dal pendio, ed inoltre dall'entità dell'energia dissipata per effetto degli urti durante la caduta.

I blocchi in caduta possono, infatti, scivolare, rotolare o rimbalzare a valle a seconda della loro forma, appiattita o arrotondata, e della inclinazione del pendio.

L'energia dissipata per effetto degli urti è in genere diversa al variare delle caratteristiche del moto e dipende dalle caratteristiche meccaniche del blocco e dai materiali presenti lungo la

scarpata (roccia, terreno, vegetazione) che si oppongono in misura differente al moto dei blocchi.

Nella realtà, tuttavia, è praticamente impossibile determinare puntualmente il profilo di un pendio ed individuare la forma dei diversi blocchi che potrebbero distaccarsi.

Inoltre la geometria del pendio e la natura dei materiali affioranti subiscono nel tempo modifiche, anche sensibili, per effetto, dell'alterazione della roccia, per l'accumulo di detriti nelle zone meno acclivi e per lo sviluppo della vegetazione.

Infine, diviene praticamente impossibile modellare il moto di caduta dei blocchi nei casi in cui questi si frantumino per effetto degli urti, né è possibile individuare le zone del pendio in cui si verifica la frantumazione.

Per l'analisi delle traiettorie di caduta è necessario fare riferimento a modelli molto semplificati: la progettazione geotecnica degli interventi di protezione deve essere, perciò, sviluppata sulla base di un'ampia sperimentazione numerica, che consenta di indagare sui diversi aspetti del fenomeno e riconoscere i fattori principali che influenzano il moto di caduta nella particolare situazione in esame.

Nei casi più complessi potrà essere opportuno tarare il modello sulla base di un'analisi di traiettorie rilevate con cinematografia in sito in seguito, al crollo dei blocchi.

### 3.3.1.1 Metodo di calcolo CRSP

Il modello detto *CRSP* (*Colorado Rockfall Simulation Program*) è stato messo a punto da Pfeiffer e Bowen (1989) con lo scopo di modellare il moto di caduta di blocchi aventi la forma di sfere, cilindri o dischi, con sezione circolare nel piano verticale del movimento.

Per descrivere il movimento dei blocchi il modello CRSP applica l'equazione del moto parabolico di un corpo in caduta libera ed il principio di conservazione dell'energia totale.

Il fenomeno dell'impatto viene modellato utilizzando come ulteriori parametri, rispetto al metodo *Lumped mass*, la rugosità del pendio e la dimensione dei blocchi.

In particolare il modello CRSP assume che l'angolo formato tra la direzione del blocco ed il profilo del pendio vari secondo una statistica che deve essere definita per ogni caso analizzato. Il modello tratta quindi in modo statistico anche i risultati che principalmente constano nelle velocità e nelle altezze di rimbalzo, rispetto alla superficie del pendio, durante il percorso di caduta. Il modello considera quindi le combinazioni dei movimenti di caduta libera, di rimbalzo,

di rotolamento e di scivolamento, che possono variare a seconda delle dimensioni dei blocchi e della rugosità del pendio.

L'affidabilità del modello è stata verificata attraverso confronti tra i risultati numerici e quelli ottenuti da prove in sito.

La descrizione del moto di caduta libera inizia da un punto nel quale, è nota la velocità iniziale scomposta nelle sue componenti orizzontali e verticali. Il blocco è soggetto al movimento di caduta libera fino a quando non collide con la superficie del pendio.

Dall'intersezione vengono ricavate le coordinate del punto di impatto. Il vettore della velocità di pre-impatto  $V$ , forma un angolo con il pendio.

Ad ogni impatto l'inclinazione del pendio viene fatta variare casualmente in un campo di valori compreso tra 0 ed un valore funzione della rugosità del pendio e dalla dimensione del blocco.

La velocità che si ottiene a seguito dell'impatto, viene determinata attraverso l'equazione di conservazione dell'energia totale così espressa:

$$\left( \frac{1}{2} J \omega_1^2 + \frac{1}{2} M V_{t1}^2 \right) \times f(F) \times SF = \frac{1}{2} J \omega_2^2 + \frac{1}{2} M V_{t2}^2 \quad (1)$$

dove:

- $M$  = Massa del blocco;
- $J$  = Momento d'inerzia del blocco;
- $\omega_1$  = Velocità angolare prima dell'impatto;
- $\omega_2$  = Velocità angolare dopo l'impatto;
- $V_{t1}$  = Velocità tangenziale prima dell'impatto;
- $V_{t2}$  = Velocità tangenziale dopo l'impatto;

La funzione  $f(F)$  di attrito così definita:

$$f(F) = SF + \frac{(1 - R_r)}{\left[ \left( \frac{V_{t1} - \omega_1 \times R}{20} \right)^2 + 1.2 \right]}$$

Mentre la funzione di scala SF:

$$SF = \frac{R_t}{\left[ \left( \frac{V_{n1}}{250 \times R_n} \right)^2 + 1 \right]}$$

Dove:

$R_n$  = Coefficienti di restituzione normale;

$R_t$  = Coefficienti di restituzione tangenziale;

$R$  = Raggio del blocco;

I termini  $f(F)$  e  $SF$  sono ricavabili attraverso espressioni empiriche che vengono utilizzate per valutare l'energia cinetica dissipata nelle collisioni tra blocco e pendio a causa dell'attrito e dell'urto.

L'attrito riguarda principalmente la dissipazione dell'energia prodotta dalla velocità tangenziale, l'urto quella prodotta dalla velocità normale al pendio.

Le velocità tangenziali e angolari post-collisione sono messe in relazione tra loro dalla seguente equazione:

$$V_{t2} = \omega_2 \times R$$

che assume che i blocchi abbandonino il contatto con il pendio ruotando, indipendentemente dalla velocità angolare precedente.

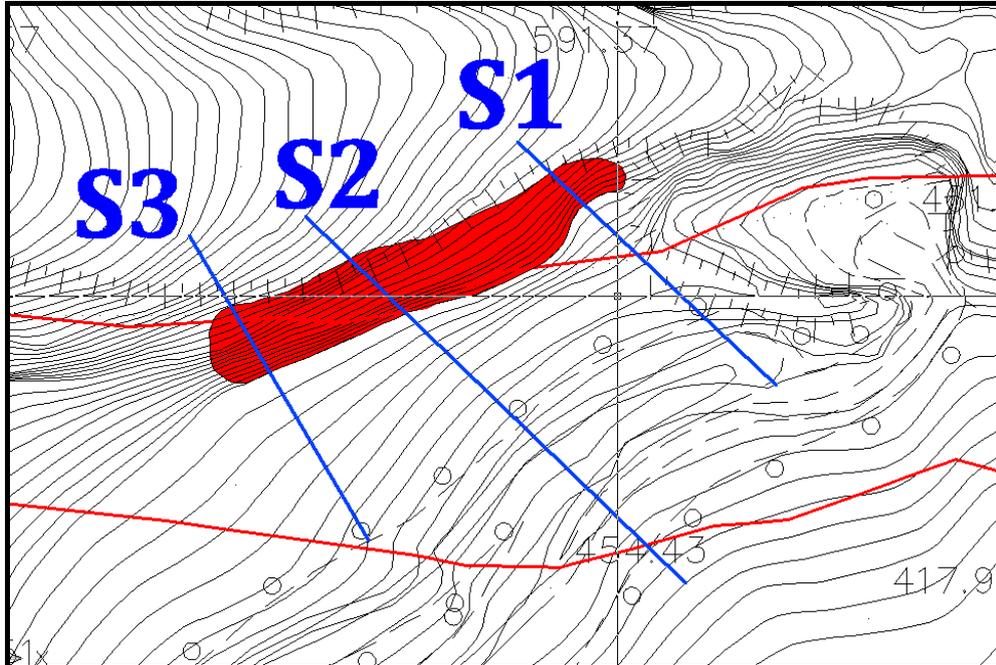
Dalla (1) si ottiene  $V_{t2}$ , mentre la velocità normale post-collisione viene ricavata dalla seguente espressione empirica:

$$V_{n2} = V_{n1} \times \frac{R_n}{\left[ 1 + \left( \frac{V_{n1}}{9} \right)^2 \right]}$$

che intende tener conto del fatto, verificato anche sperimentalmente, che il rapporto tra le velocità normali post-impatto e pre-impatto diminuisce con l'aumentare della velocità normale pre-impatto stessa.

### 3.3.2 Risultati ottenuti

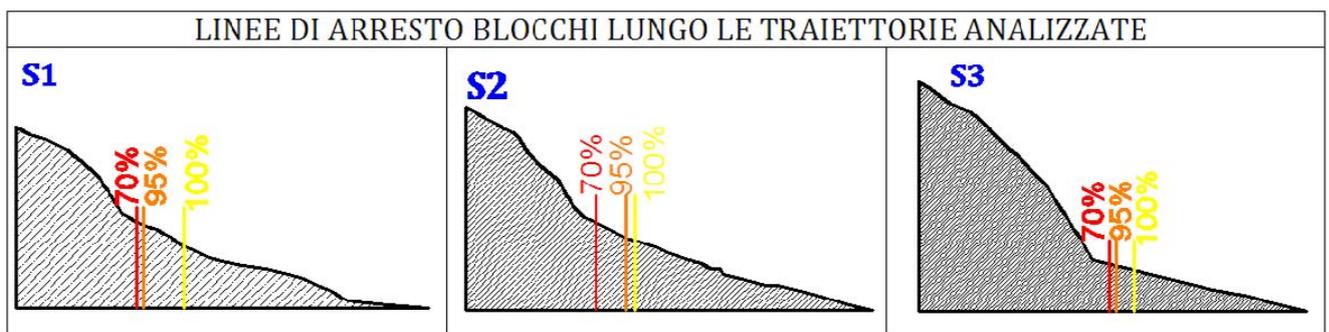
Di seguito vengono riportate le sezioni di verifica mentre i dati analitici riferiti alle singole cadute vengono forniti nell'elaborato di verifica.



Planimetria con sezioni monodimensionali di verifica caduta massi

In base ai risultati delle analisi di rotolamento dei massi, allo stato attuale, è stata eseguita la zonazione della classi di pericolosità preliminare suddividendole in quattro differenti classi (vedasi tavola allegata della pericolosità preliminare B4):

- **CLASSE H4:** 70 % dei blocchi fermati
- **CLASSE H3:** 95 % dei blocchi fermati
- **CLASSE H2:** 100 % dei blocchi fermati
- **CLASSE H1:** Area di massima elongazione delle traiettorie



### 3.3.2.1 Calcolo delle percentuali di instabilità della parete

L' area omogenea 1 individuata come area di origine del possibile distacco di blocchi è stata suddivisa in maglie con lato di 5m, principalmente secondo la complessità geomeccanica, per valutare la probabilità di accadimento del fenomeno attraverso la definizione della propensione al distacco dei blocchi.

In ogni cella è stata quindi verificata la presenza dei seguenti elementi di instabilità:

1. fratture aperte con evidenze di attività associate a cinematismi possibili;
2. blocchi ruotati;
3. zone intensamente fratturate;
4. superfici non alterate che testimoniano recenti distacchi;
5. emergenze di acqua alla base dei blocchi.

I risultati ottenuti sono quelli di un'area omogenea con una percentuale d'instabilità del 20% classificabile quindi come area ad *attività media*

### 3.3.2.2 Pericolosità definitiva

In base alle percentuali così ricavate, è stata quindi redatta la pericolosità definitiva del sito.

Questa è stata definita utilizzando i valori delle classi di pericolosità preliminare della zona di transito ed arresto dei blocchi e tenendo conto delle caratteristiche morfologiche e degli elementi d'instabilità riscontrati durante i rilievi in loco.

Tutte le informazioni raccolte sono occorse alla redazione della carta di pericolosità finale che comprende le seguenti classi:

- **CLASSE H1:** Pericolosità molto bassa
- **CLASSE H2:** Pericolosità bassa
- **CLASSE H3:** Pericolosità media
- **CLASSE H4:** Pericolosità alta

ad esse si sono fatte corrispondere le classi di fattibilità e le nuove voci legenda P.A.I..

**Tabella 2: Correlazione tra classi di Pericolosità, classi di Fattibilità geologica per le azioni di piano e voci della legenda PAI**

<i>Pericolosità/ rischio</i>	<i>Classi di fattibilità</i>	<i>Voci legenda PAI</i>
H1 su conoide	Classe 1/2 – senza o con modeste limitazioni	Cn – conoide protetta ...
H2 su conoide	Classe 2/3 – modeste o consistenti limitazioni	Cn – conoide protetta ...
H3 su conoide	Classe 3 – consistenti limitazioni	Cp – conoide parz. protetta (1) Cn – conoide protetta ...
H4-H5 su conoide	Classe 4 – gravi limitazioni	Ca – conoide attiva non protetta
H1 per crolli, crolli in massa e scivolamenti	Classe 2/3 – modeste o consistenti limitazioni	Fs – frana stabilizzata
H2 per crolli e crolli in massa H2-H3 per scivolamenti	Classe 4/3 – gravi o consistenti limitazioni	Fq – frana quiescente (2)
H3-H5 per crolli e crolli in massa H4-H5 per scivolamenti	Classe 4 – gravi limitazioni	Fa – frana attiva
R1-R2 per esondazione	Classe 2/3 – modeste o consistenti limitazioni	Em – pericolosità media o moderata di esondazione

## 4 SETTORE CAVA (ALTA E BASSA)

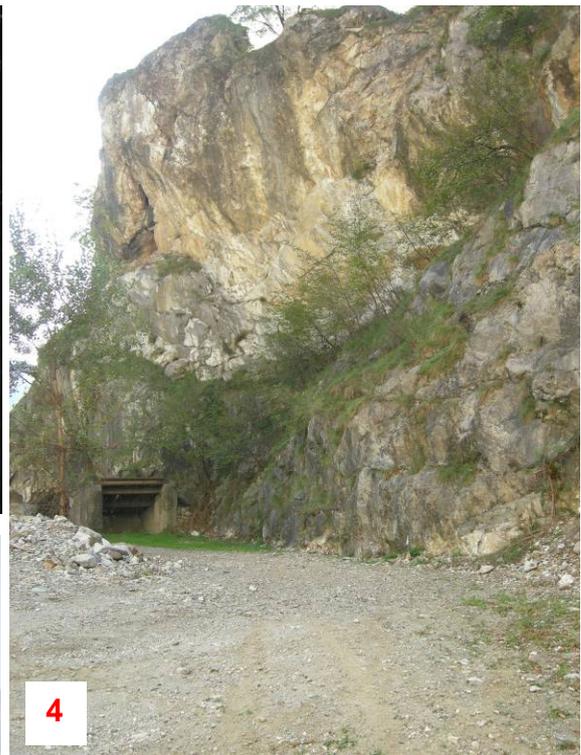
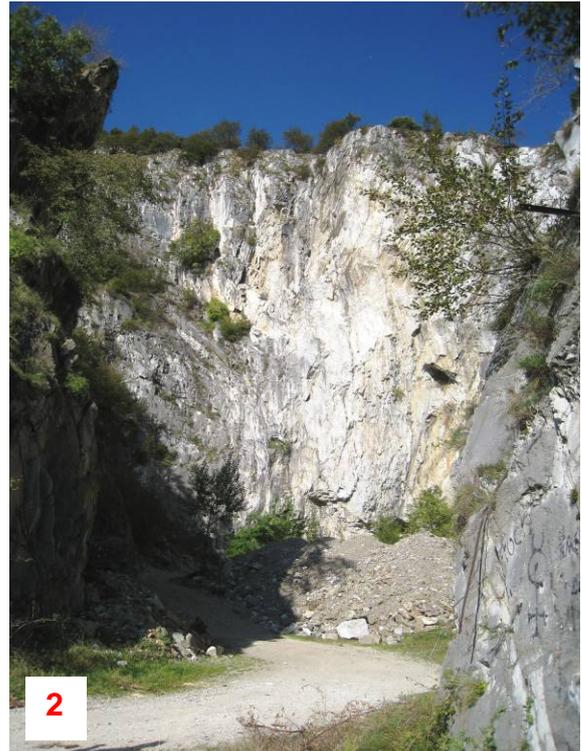
### 4.1 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA

Il Marmo di Musso deriva dal metamorfismo di un calcare di età Paleozoica che durante l'orogenesi Ercinica a seguito di elevate temperature e pressioni fu completamente trasformato e ricristallizzato. La lente di marmo ha una giacitura subverticale, larga da poche decine di metri a 300 m e si estende per circa 1 km da quota 740 m al livello del lago.

Il marmo è intercalato a micascisti e gneiss all'interno del basamento metamorfico delle Alpi Meridionali, in un'area fortemente deformata da una faglia con direzione est-ovest, detta Faglia di Musso, che separa due porzioni differenti dello stesso basamento (unità Dervio - Olginasca da unità Domaso - Cortafò). La lente di marmo sporge rispetto alle rocce incassanti per erosione selettiva perché molto più resistente ai processi erosivi.



Di seguito vengono riportate alcune foto per meglio caratterizzare le due cave, denominate Cava Alta e Cava Bassa.

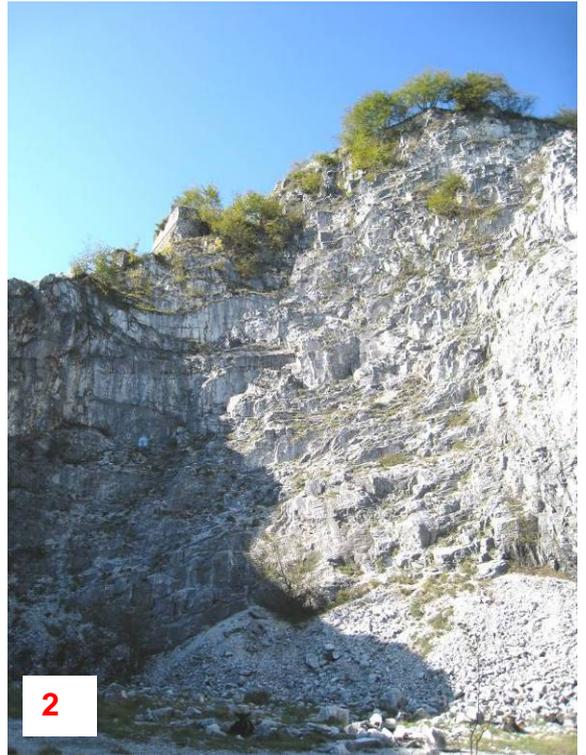


**Cava Alta**

1. Fronte est della Cava Alta.
2. Imbocco della Cava Alta; è visibile il fronte nord-ovest.
3. Fronte nord della Cava Alta.
4. Fronte sud della Cava Alta.
5. Sperone in roccia che delimita esternamente il lato sud della Cava Alta



1



2



3



4



5

### **Cava Bassa**

1. Fronte nord Cava Bassa.
2. Fronte ovest Cava Bassa.
3. Fronte ovest-sud Cava Bassa.
4. Porzione pianeggiante antistante i fronti che costituiscono la Cava Bassa.
5. Fronte nord ovest Cava Bassa.

## **4.2 METODOLOGIA**

Lo standard metodologico utilizzato nel presente studio è quello contenuto nelle nuove direttive regionali; in particolare la procedura adottata, denominata *R.H.A.P. (Rockfall Hazard Assessment Procedure)*, è quella valida per crolli di singoli blocchi o per crolli di volumetria massima di 1000 m<sup>3</sup> (vedasi capitolo precedente).

## **4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLE AREE OMOGENEE**

La procedura per la zonazione della pericolosità prevede l'individuazione di ambiti omogenei per identiche caratteristiche geomeccaniche e morfologiche.

Nell'area è stata individuata un'unica classe omogenea che comprende entrambi i passati ambiti estrattivi.

Successivamente è stata valutata la probabilità di accadimento del fenomeno definendo la propensione al distacco dei blocchi. A tale scopo le pareti sono state suddivise in maglie con lato 10x10 m e per ciascuna di essa si è verificata la presenza o meno di elementi di instabilità (fratture aperte, blocchi ruotati, zone intensamente fratturate, superfici non alterate che testimoniano recenti distacchi, emergenze d'acqua, ecc.).

È stato quindi indicato il numero di elementi di instabilità (26) ed è stata ricavata la percentuale di attività (6%) in relazione al numero massimo di elementi ottenibile nell'area omogenea (435).

La percentuale di attività risulta inferiore al 10% e pertanto in base alla normativa di riferimento non si ritiene necessario effettuare la zonazione della pericolosità.

Al fine di valutare comunque, nel complesso, la pericolosità dell'area, si è provveduto alla verifica di stabilità globale dei fronti rocciosi.

## **4.4 ANALISI DI STABILITÀ SCARPATE IN ROCCIA**

È stata studiata la stabilità dei fronti di scavo in roccia utilizzando il codice di calcolo SWEDGE – “Surface Wedge Stability Analysis”.

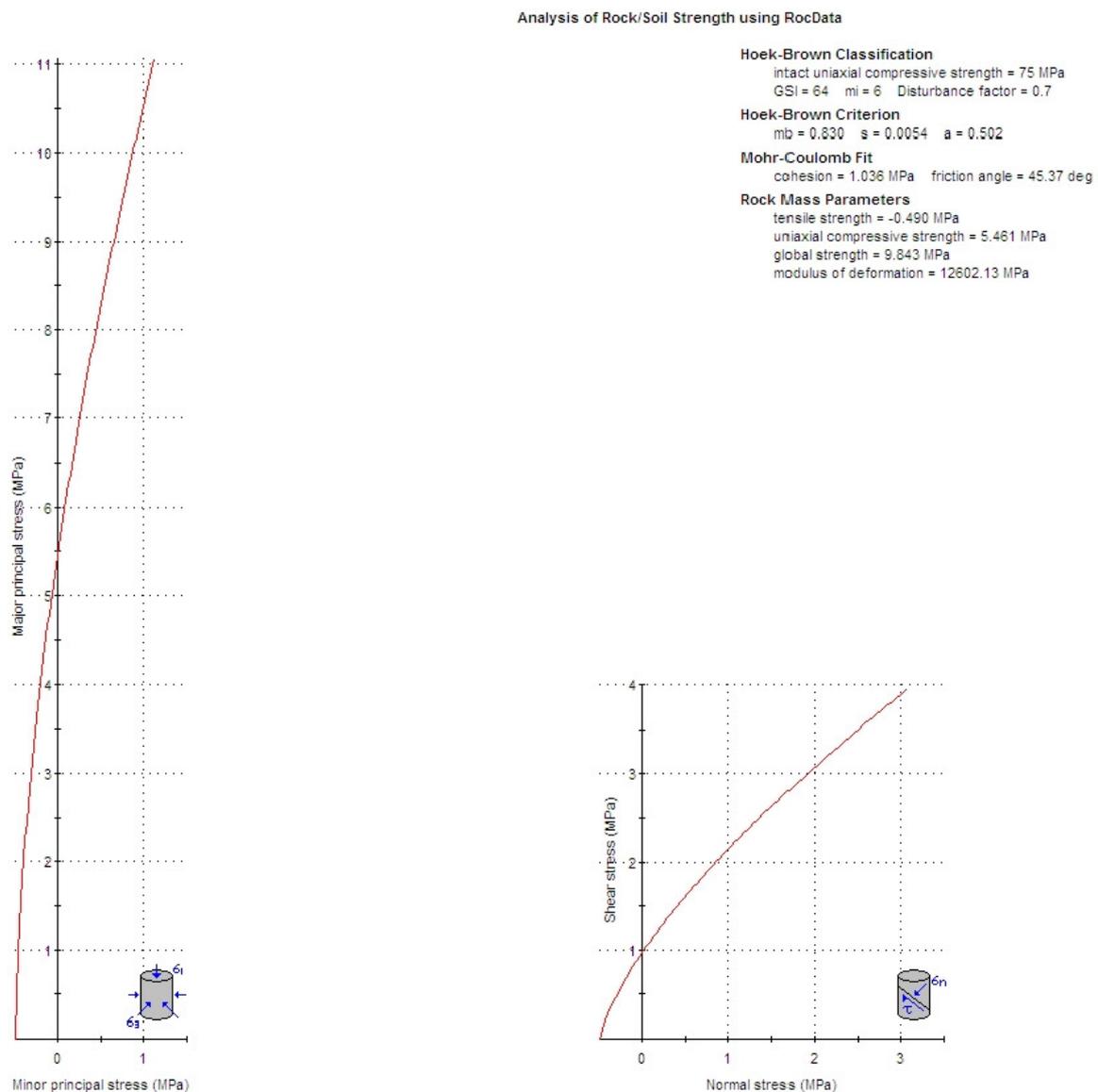
Il programma permette di calcolare il fattore di sicurezza dei cunei che si formano lungo una scarpata di scavo, ciò include i seguenti passi:

- Determinare la geometria dei cunei utilizzando la block theory (Goodman e Shi, 1985)
- Determinare tutte le forze agenti su un cuneo, poi calcolare la risultante attiva e passiva del vettore forza sul cuneo stesso

- Determinare la direzione di scivolamento del cuneo
- Determinare le forze normali su ogni cuneo
- Calcolare le forze resistenti dovute alla resistenza al taglio dei giunti e alla trazione.
- Calcolare il fattore di sicurezza.

Nel codice di calcolo sono stati inseriti le giaciture del versante (anfiteatro) e le orientazioni delle superfici di discontinuità tenendo conto della loro reale giacitura nello spazio (direzione, immersione, inclinazione).

Infine si sono definite le proprietà geomeccaniche principali dei giunti, in base alla bibliografia esistente ed all'esperienza dello scrivente, fondamentali per le analisi quali: angolo di attrito ( $\phi$ ), la coesione ( $c$ ) e la resistenza a trazione



Il codice di calcolo permette di verificare la stabilità dei cunei delimitati dalle discontinuità in funzione delle orientazioni delle pareti di scavo e delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso.

I risultati delle verifiche effettuate sono riportate nello specifico allegato di verifica.

#### **4.5 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

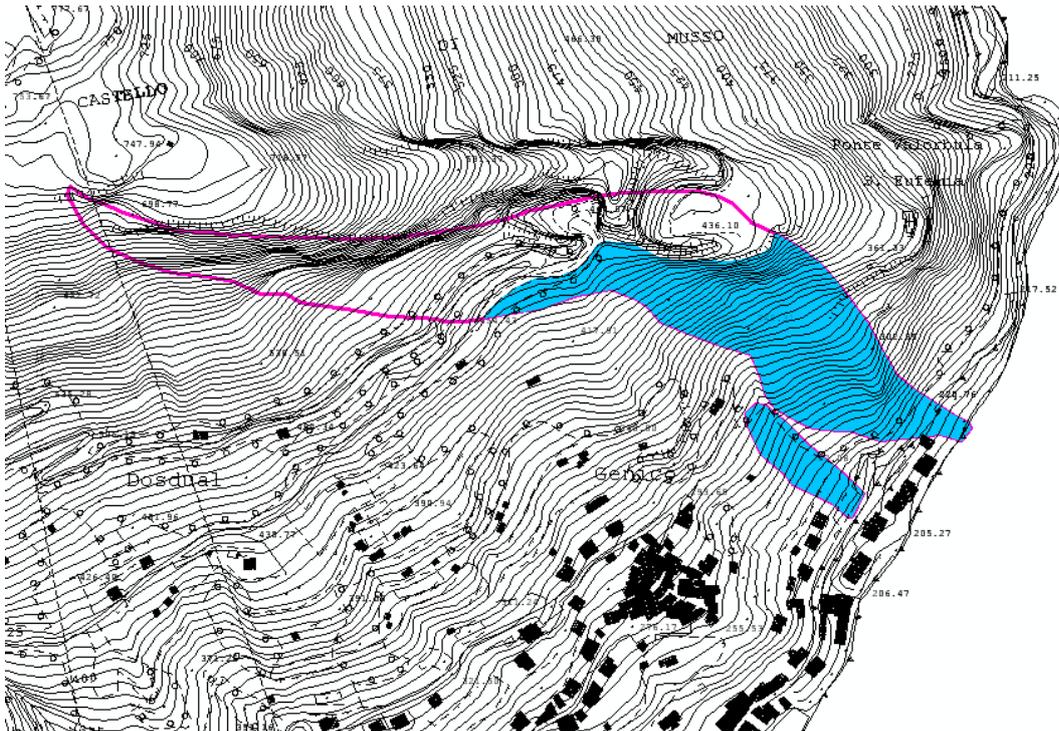
Le elaborazioni sono state effettuate combinando a due a due i sistemi di frattura e hanno permesso di definire i fattori di sicurezza riportati nella tabella seguente:

<b>Localizzazione</b>	<b>Combinazioni</b>	<b>Fattori sicurezza</b>
Sito A	K2-K4	4.75
Sito B	K1-K2	3.24
	K1-K4	8.68
	K2-K4	3.06
Sito C1	Nessuna	
Sito C2	K1-K3	2.43
Sito D1	K1-K3	1.45
	K1-K4	2.36
	K1-K5	9.84
	K4-K5	2.59
Sito D2	K1-K3	2.02
	K3-K4	4.65
	K3-K5	2.74

## 5 SETTORE SUD CAVE - SCIVOLAMENTO

### 5.1 PREMESSA

Nella figura sottostante è stata evidenziata in azzurro l'area in cui è stato effettuato lo studio di approfondimento a sud delle due cave..



### 5.2 CARTA DELLE AREE OMOGENEE

Le aree omogenee sono state definite confrontando e sovrapponendo i dati derivanti dalle carte clivometrica e litotecnica.

La carta clivometrica è stata redatta sulla base del volo aerofotogrammetrico a scala 1:5.000 del Comune di Musso ed in funzione delle caratteristiche morfologiche del versante sono state evidenziate cinque classi di pendenza.

La carta litotecnica caratterizza l'area in studio in base ai parametri fisico-meccanici delle terre ed in particolare alle caratteristiche di resistenza al taglio. Nell'area sono state evidenziate tre litofacies: deposito glaciale, deposito eluviale e deposito detritico.

Il documento redatto e la conseguente carta ha consentito di individuare 10 classi omogenee ove la differenziazione è legata prevalentemente alle differenti pendenze.

Le classi omogenee sono state così definite:

Pendenza	Area omogenea	Litologia - Parametri meccanici
20-30%	G1	Glaciale $\gamma=1900\text{kg/cm}^3$ ; $c=0.2\text{ kg/cm}^2$ ; $\phi= 31^\circ$
	D1	Detritico $\gamma=1900\text{kg/cm}^3$ ; $c=0.1\text{ kg/cm}^2$ ; $\phi= 35^\circ$
	E1	Eluviale $\gamma=1700\text{kg/cm}^3$ ; $c=0.1\text{ kg/cm}^2$ ; $\phi= 26^\circ$
30-40%	G2	Glaciale $\gamma=1900\text{kg/cm}^3$ ; $c=0.2\text{ kg/cm}^2$ ; $\phi= 31^\circ$
	D2	Detritico $\gamma=1900\text{kg/cm}^3$ ; $c=0.1\text{ kg/cm}^2$ ; $\phi= 35^\circ$
	E2	Eluviale $\gamma=1700\text{kg/cm}^3$ ; $c=0.1\text{ kg/cm}^2$ ; $\phi= 26^\circ$
40-55%	D3	Detritico $\gamma=1900\text{kg/cm}^3$ ; $c=0.1\text{ kg/cm}^2$ ; $\phi= 35^\circ$
	E3	Eluviale $\gamma=1700\text{kg/cm}^3$ ; $c=0.1\text{ kg/cm}^2$ ; $\phi= 26^\circ$
55-65%	D4	Detritico $\gamma=1900\text{kg/cm}^3$ ; $c=0.1\text{ kg/cm}^2$ ; $\phi= 35^\circ$
	E4	Eluviale $\gamma=1700\text{kg/cm}^3$ ; $c=0.1\text{ kg/cm}^2$ ; $\phi= 26^\circ$

### 5.3 CARTA DELLA PERICOLOSITÀ PRELIMINARE E DEFINITIVA: MODELLAZIONE ED ANALISI NUMERICA DELLA STABILITÀ DEL PENDIO- REVISIONE

La fase di successiva analisi, dopo aver predisposto la tavola delle classi omogenee è stata dapprima la definizione della pericolosità preliminare e successivamente della pericolosità definitiva.

Per tale processo è stata prioritaria la valutazione della stabilità delle terre ed il successivo confronto con le caratteristiche idrogeologiche, vegetazionali e l'interazione con le opere esistenti.

Nel rispetto delle prescrizioni regionali si è provveduto ad una migliore definizione delle singole classi di pericolosità preliminare e definitiva.

Da un punto di vista meccanico la vegetazione può agire in diversi modi sui processi di dissesto. Innanzitutto ha un'azione di rinforzo meccanico legato alla mobilitazione della resistenza a trazione delle radici per mezzo dell'attrito che si genera tra suolo e radici stesse.

In secondo luogo, nel caso della vegetazione arborea le piante, ancorandosi al substrato attraverso l'apparato radicale possono generare un effetto contrafforte in grado di scaricare parte delle tensioni del terreno e al tempo stesso offrire un supporto alla parte del versante che grava direttamente su di esse.

In taluni casi la vegetazione arborea può costituire sovraccarico in grado di destabilizzare i versanti, effetto rilevante nel caso di boschi d'alto fusto. Esistono inoltre dimostrazioni in bibliografia che in alcune condizioni, quali bassa coesione e pendenza moderata, il

sovraccarico ha invece un effetto stabilizzante. Controverse sono anche le opinioni sull'effetto leva del vento che agendo sulla chioma trasferisce, mediante il fusto, le tensioni al terreno. Tale effetto è ritenuto stabilizzante in relazione della direzione del vento ed all'inclinazione del versante, mentre nel caso di versanti rocciosi le radici possono creare delle fessurazioni che riducono la resistenza del substrato lapideo.

Per quanto riguarda la presenza di manto erboso può produrre effetti sia positivi sia negativi. Infatti, a seguito di piogge intense permette la non infiltrazione delle piogge, ma di contro lo scorrimento e la concentrazione delle acque in posizioni in cui si possono verificare escavazioni localizzate.

### **5.3.1 Metodologia operativa**

I settori di versante sono costituiti da depositi glaciali, eluviali e detritici di spessori variabili poggiati su substrato roccioso.

La stabilità dei depositi dipende da numerosi fattori tra i quali i più importanti sono l'inclinazione del pendio, lo spessore dei depositi e lo stato di saturazione in cui si trovano, la tipologia di vegetazione, oltre al principale fattore rappresentato dai parametri fisico-meccanici.

Di seguito viene fornita la descrizione di alcuni dei metodi più noti ed utilizzati per la valutazione della stabilità dei depositi superficiali.

### **5.3.2 Introduzione all'analisi di stabilità**

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni sono anisotropi ed il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico, ma anche da quello normale.

A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

(a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( $C$ ) e angolo di

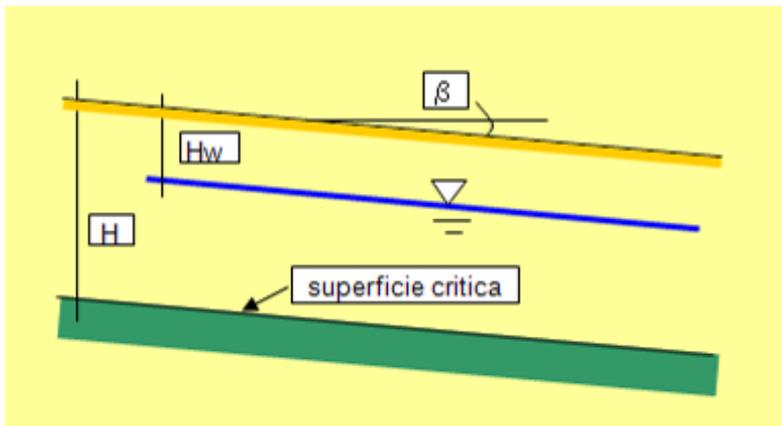
resistenza al taglio ( $\phi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

(b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

### 5.3.3 Metodo per il calcolo della stabilità globale di versante- pendio indefinito

L'analisi attuata è lo sviluppo successivo alla discretizzazione delle aree omogenee effettuato nel settore in esame.

Ogni ambito presenta una sovrapposizione fra pendenza omogenea e parametri meccanici; la successiva fase di verifica di stabilità, attuata con un foglio di calcolo, prevede la verifica del pendio indefinito mediante la seguente formula:



$$Fs = \frac{c'}{(h_w \times \gamma_{sat} + \gamma \times h) \times \sin \beta \times \cos \beta} + \frac{(h_w \times \gamma' + \gamma \times h) \times \tan \phi'}{(h_w \times \gamma_{sat} + \gamma \times h) \times \tan \beta}$$

Dove

$\gamma$	Peso dell'unità di volume
$\gamma_s$	Peso specifico dei grani
$\gamma_w$	Peso specifico dell'acqua
$\gamma_{sat}$	Peso dell'unità di volume saturo
$\gamma^p$	Peso dell'unità di volume immerso
$c'$	Coesione efficace
$\phi'$	Angolo d'attrito interno efficace
$\beta$	Angolo d'inclinazione del pendio
H	Spessore dello strato dei terreni della coltre superficiale eluvio-colluviale
h	Profondità del pelo libero della falda dal piano campagna
$h_w$	Altezza della falda = H-h

### 5.3.4 Definizione pericolosità preliminare e definitiva

Ad ogni valore di pendenza dell'area si è abbinato un differente coefficiente di sicurezza i cui dati sono sintetizzati nelle tabelle successive e riportati nell'elaborato di verifica.

L'analisi ha quindi consentito di definire i differenti "range" del fattore di sicurezza al variare dell'inclinazione del pendio e dei parametri fisici caratteristici delle aree, in accordo con la normativa attuale, e successivamente di assegnare le classi di pericolosità preliminare.

#### Glaciale

Pendenza		Fattore di sicurezza	Normativa	Pericolosità preliminare	Corrispondenza aree omogenee
Gradi (°)	Percentuale (%)				
<19	<34	>2.02	<b>&gt;2.00</b>	H1	G1
19-28	34-53	2.02-1.42	<b>2.00-1.40</b>	H2	G2
28-32	53-63	1.31-1.26	<b>1.40-1.20</b>	H3	
32-39	63-81	1.26-1.09	<b>1.20-1.00</b>	H4	

#### Eluviale

Pendenza		Fattore di sicurezza	Normativa	Pericolosità preliminare	Corrispondenza aree omogenee
Gradi (°)	Percentuale (%)				
<18	<32	>2.06	<b>&gt;2.00</b>	H1	E1
18-27	32-51	2.02-1.43	<b>2.00-1.40</b>	H2	E2 – E3
27-33	51-65	1.43-1.22	<b>1.40-1.20</b>	H3	E4
33-39	65-81	1.22-1.09	<b>1.20-1.00</b>	H4	

#### Detritico

Pendenza		Fattore di sicurezza	Normativa	Pericolosità preliminare	Corrispondenza aree omogenee
Gradi (°)	Percentuale (%)				
<18	<32	>2.03	<b>&gt;2.00</b>	H1	D1
18-26	32-49	2.03-1.42	<b>2.00-1.40</b>	H2	D2
26-31	49-60	1.42-1.21	<b>1.40-1.20</b>	H3	D3
31-35	60-70	1.21-1.08	<b>1.20-1.00</b>	H4	

Successivamente si sono ridefinite le porzioni di territorio tenendo in considerazione le caratteristiche idrogeologiche, geomorfologiche e vegetazionali delle due aree e le possibili interazioni con opere antropiche esistenti quali strade, muretti e terrazzamenti. È stata quindi redatta una carta di pericolosità definitiva su cui si sono eseguite alcune considerazioni circa l'assegnazione delle classi di fattibilità.

A differenza della carta di pericolosità preliminare sono stati ridefiniti alcuni limiti in base ad alcune evidenze morfologiche.

In conclusione le aree sono state suddivise in quattro classi di pericolosità H1, H2, H3 e ad esse si sono fatte corrispondere le classi di fattibilità e le nuove voci legenda P.A.I..

**Tabella 2: Correlazione tra classi di Pericolosità, classi di Fattibilità geologica per le azioni di piano e voci della legenda PAI**

<i>Pericolosità/rischio</i>	<i>Classi di fattibilità</i>	<i>Voci legenda PAI</i>
H1 per crolli, crolli in massa e scivolamenti	Classe 2/3 – modeste o consistenti limitazioni	Fs – frana stabilizzata
H2 per crolli e crolli in massa H2-H3 per scivolamenti	Classe 4/3 – gravi o consistenti limitazioni	Fq – frana quiescente <sup>2</sup>
H3-H5 per crolli e crolli in massa H4-H5 per scivolamenti	Classe 4 – gravi limitazioni	Fa – frana attiva
R1-R2 per esondazione	Classe 2/3 – modeste o consistenti limitazioni	Em – pericolosità media o moderata di esondazione
R3 per esondazione	Classe 3 – consistenti limitazioni (con norma più restrittiva art. 9 comma 6)	Eb – pericolosità elevata di esondazione
R4 per esondazione	Classe 4 – gravi limitazioni	Ee – pericolosità molto elevata

*Note alla tabella 2:*

1 – Per le zone ricadenti in H3 – classe 3 di fattibilità, l’inserimento in Cp o Cn è lasciato alla valutazione del professionista. Qualora l’area venga inserita in Cp, la norma dell’art. 9, comma 8, delle N.d.A. del PAI prevale, in quanto più restrittiva, su quella di classe 3.

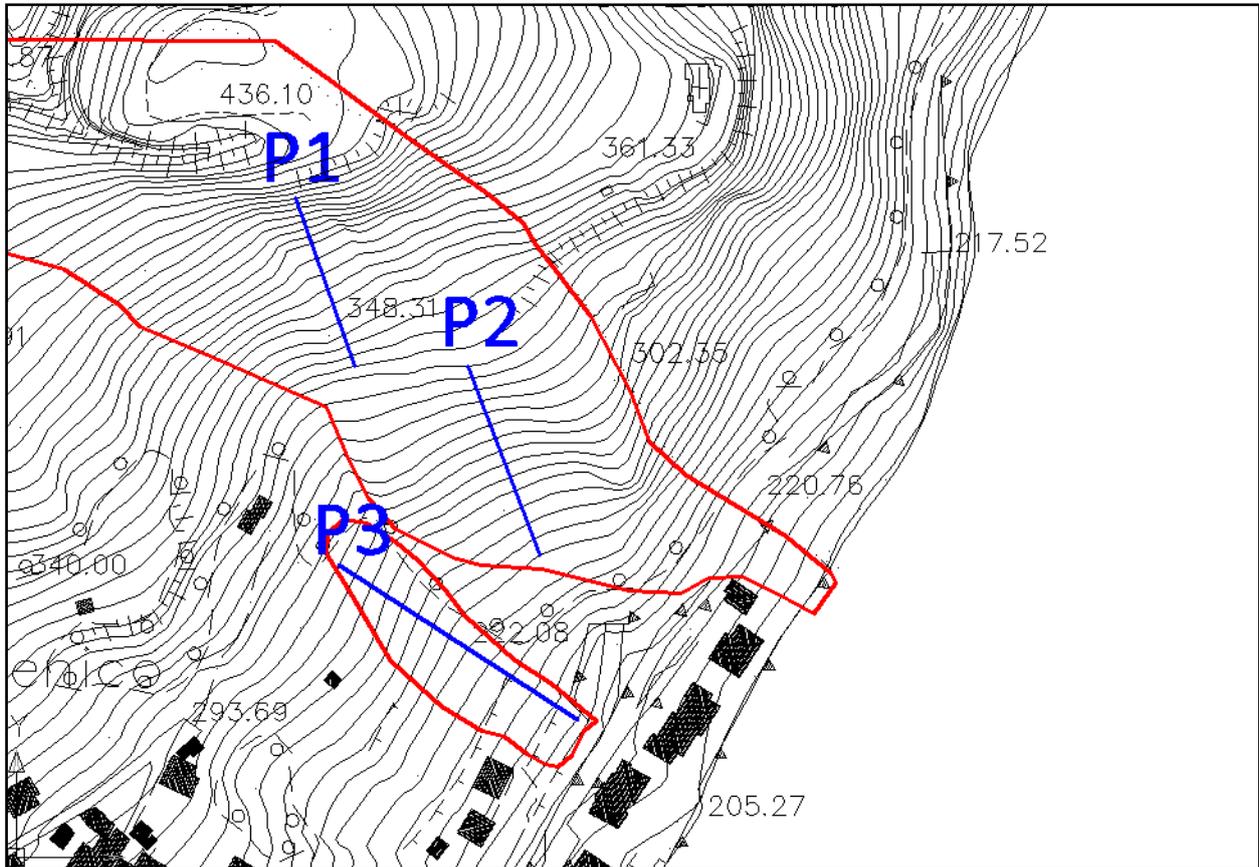
2 – Come previsto dall’art. 9 comma 3 delle N.d.A. del PAI alle aree Fq può essere attribuita la classe 3 di fattibilità con norma stabilita dal professionista solo nel caso sia stata effettuata la verifica di compatibilità mediante uno studio specifico sull’area e gli interventi edificatori di cui all’art. 9, comma 3, stesso siano consentiti dallo strumento urbanistico.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva:

<b>Pericolosità definitiva</b>	<b>Classi di fattibilità</b>	<b>Voci legenda PAI</b>
H1	Classe 2	Fs
H2	Classe 3a	Fq
H3	Classe 3a	Fq

## 5.4 ANALISI STABILITÀ PENDIO

Al fine di valutare e caratterizzare globalmente la stabilità dei versanti in studio sono state scelte tre sezioni su cui condurre verifiche di stabilità.



Traccia sezioni di verifica

I parametri di resistenza utilizzati per la valutazione della stabilità globale del pendio prendono in considerazione situazioni di completa saturazione dei terreni e condizioni normali. I parametri sono riassunti nella tabella sottostante:

	Peso unità di volume (kg/m <sup>3</sup> )	Peso saturo (kg/m <sup>3</sup> )	Coesione (kg/cm <sup>2</sup> )	Angolo di resistenza al picco (°)
Deposito eluviale	1700	1900	0.1	28
Deposito glaciale	1900	2100	0.2	31
Substrato roccioso	2300	2500	0	45

### **5.4.1 Risultati ottenuti**

Nella tabella sottostante sono riassunti i fattori di sicurezza per le sezioni rappresentative dei due versanti in studio.

<b>SEZIONE</b>	<b>JANBU - FS</b>
Sezione 1	1.93
Sezione 2	2.88
Sezione 3	2.27

## **6 SINTESI TECNICA: PROPOSTA DI RIPERIMETRAZIONE E DEFINIZIONE DELLA NUOVA FATTIBILITÀ GEOLOGICA**

Le valutazioni condotte hanno consentito di aggiornare e di discretizzare gli ambiti che presentano maggior grado di pericolo.

Ne deriva quale proposta una nuova perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico riducendo e/o escludendo alcuni settori alla luce dell'analisi mirata eseguita nel presente studio.

Per quanto riguarda l'assegnazione delle classi di fattibilità geologica si rimanda alla relazione redatta a supporto dello studio per il Piano Governo del Territorio.

Colico, Settembre 2010

**Agg. Marzo 2011**

Il tecnico incaricato

Dott. Geol.

Cristian Adamoli