



**studio associato**

Via Giorgio e Guido Paglia, n° 21 – 24122 **BERGAMO** – e-mail: bergamo@eurogeo.net  
Tel. +39 035 248689 – +39 035 271216 – Fax +39 035 271216

REL. SS-8 20/10/2005

## **Comune di Casnigo (Bg)**



### **ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO DI CADUTA MASSI**





## SOMMARIO

<b>1. PREMESSA</b> .....	<b>4</b>
<b>2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO</b> .....	<b>4</b>
<b>3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO</b> .....	<b>5</b>
<b>3.1 Casnigo Nord</b> .....	<b>7</b>
<u>IL SUBSTRATO ROCCIOSO</u> .....	7
<u>I DEPOSITI QUATERNARI</u> .....	7
<u>GEOMORFOLOGIA</u> .....	9
<b>3.2 Casnigo Sud</b> .....	<b>9</b>
<u>IL SUBSTRATO ROCCIOSO</u> .....	9
<u>I DEPOSITI QUATERNARI</u> .....	10
<u>GEOMORFOLOGIA</u> .....	10
<b>4. OSSERVAZIONI LITOLOGICHE E GEOMECCANICHE</b> .....	<b>11</b>
<b>4.1 Casnigo Nord</b> .....	<b>11</b>
<u>RILIEVI GEOMECCANICI</u> .....	13
<u>DIMENSIONI DEI MASSI LUNGO IL VERSANTE</u> .....	16
<b>4.2 Casnigo Sud</b> .....	<b>17</b>
<u>RILIEVI GEOMECCANICI</u> .....	18
<u>DIMENSIONI DEI MASSI</u> .....	21
<b>5. OSSERVAZIONI SULLA COPERTURA VEGETALE</b> .....	<b>21</b>
<b>5.1 Casnigo Nord</b> .....	<b>22</b>
<b>5.2 Casnigo Sud</b> .....	<b>22</b>
<b>6. PERICOLOSITÀ DELLE AREE</b> .....	<b>23</b>
<u>DEFINIZIONE DELLE AREE OMOGENEE</u> .....	23
<u>CARATTERISTICHE DEL SOFTWARE DI SIMULAZIONE</u> .....	24
<b>6.1 Casnigo Nord</b> .....	<b>26</b>
<u>ATTIVITÀ DELLE AREE OMOGENEE</u> .....	26
<u>PERICOLOSITÀ PRELIMINARE</u> .....	27
<u>PERICOLOSITÀ</u> .....	28
<b>6.2 Casnigo Sud</b> .....	<b>29</b>
<u>ATTIVITÀ DELLE AREE OMOGENEE</u> .....	29
<u>PERICOLOSITÀ PRELIMINARE</u> .....	29
<u>PERICOLOSITÀ</u> .....	31
<b>7. ZONAZIONE DEL RISCHIO</b> .....	<b>32</b>
<b>8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b> .....	<b>34</b>
<b>8.1 Casnigo Nord</b> .....	<b>34</b>
<b>8.2 Casnigo Sud</b> .....	<b>34</b>



## **ALLEGATI**

1. Inquadramento geografico;
2. Inquadramento geologico;
3. Inquadramento geomorfologico;
4. Reticoli di Schmidt;
5. Scheda crolli;
6. Simulazioni matematiche;
7. Documentazione fotografica.

## **TAVOLE**

1. Carta geomorfologica;
2. Zonazione della pericolosità preliminare;
3. Zonazione della pericolosità;
4. Carta d'uso del suolo;
5. Carta del rischio.



## 1. PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione Comunale di Casnigo è stata realizzata la zonazione del pericolo e del rischio di due aree del territorio comunale dove sono attivi fenomeni di caduta massi.

La prima area è localizzata nella parte settentrionale del comune, compresa tra la località Bot e la località Monte Penna; la seconda nella parte meridionale, nei pressi della località Romnei (Allegato 1).

Nella perimetrazione delle aree sono state rispettate le procedure suggerite dalla Struttura Rischi Idrogeologici della Regione Lombardia (*P.G. 14, Marzo 2002, pp. 39-52 e allegati*).

Per quanto riguarda i crolli di singoli massi la procedura si articola nelle seguenti fasi:

- individuazione della parete rocciosa;
- delimitazione di aree omogenee in funzione delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso, della morfologia del versante e della presenza di opere di difesa;
- simulazione di caduta tramite modelli numerici;
- zonazione longitudinale preliminare delle traiettorie di caduta evidenziando 3 zone:
  - di transito e di arresto del 70% dei blocchi;
  - di arresto del 95% dei blocchi;
  - di arresto del 100% dei blocchi;
- valutazione della probabilità di accadimento;
- zonazione finale.

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Le zone in esame si trovano nel Comune di Casnigo e sono inquadrare nei fogli C4d5 e C4d4 della Carta Tecnica Regionale (CTR; scala 1:10.000) della Regione Lombardia.

Le due aree studiate sono state denominate *Casnigo Nord* e *Casnigo Sud*.



### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

In questo capitolo sono descritti gli aspetti generali inerenti la geologia del territorio di Casnigo tratti dalla Carta Geologica della Provincia di Bergamo e dallo studio geologico redatto a supporto della Variante al Piano Regolatore Generale (Allegato 2).

Il Comune di Casnigo si colloca nella parte centrale della Valle Seriana sviluppandosi prevalentemente sulla sponda orografica sinistra del fiume Serio. Le montagne che ne costituiscono i rilievi appartengono ad un ampio dominio conosciuto con il nome di Alpi Meridionali, distinto dal corpo principale della catena Alpina dalla linea Insubrica.

All'interno di questo dominio sono riconosciuti cinque settori che presentano similitudini di associazioni tettoniche:

1. La zona del basamento orobico, compresa tra la linea Insubrica e la linea Orobica (un'altra importante superficie di sovrascorrimento che attraversa in senso est-ovest la Valle Brembana);
2. La zona delle anticlinali orobiche; delimitata tra la linea Orobica a nord e la faglia Valtorta-Valcanale e costituita da un sistema di pieghe e sovrascorrimenti nella copertura Permiana;
3. La zona delle scaglie Valtorta-Valcanale e dell'autoctono Camuno, costituita da sovrascorrimenti prevalentemente nella copertura del Triassico medio;
4. La zona del Parautoctono e delle Unità Alloctone superiori; questo settore è collocato sia a sud delle scaglie di Valtorta-Valcanale che a diretto contatto con l'Anticlinale Orobica ed è costituito dalla duplice o triplice ripetizione delle successioni carbonatiche Triassiche;
5. La zona a pieghe e faglie delle Alpi; costituisce il settore più meridionale delle Prealpi, formato da unità prevalentemente Giurassiche e Cretacee e da uno stile a pieghe con asse est-ovest.

L'assetto strutturale della catena Sudalpina è il risultato di diversi episodi tettonici:

- Due fasi tettono-metamorfiche principali prealpine, presenti nel basamento metamorfico;



- Tettonica distensiva che ha caratterizzato l'intervallo di tempo tra il Permiano e il Giurassico medio; in questa fase si aprì l'oceano ligure-piemontese e il Sudalpino ricoprì il ruolo di margine continentale passivo nel cui ambito si individuò il "Bacino Lombardo";
- Tettonica compressiva iniziata nel Cretacico superiore, che causò la chiusura del Bacino Lombardo, e perdurata sino al Neogene.

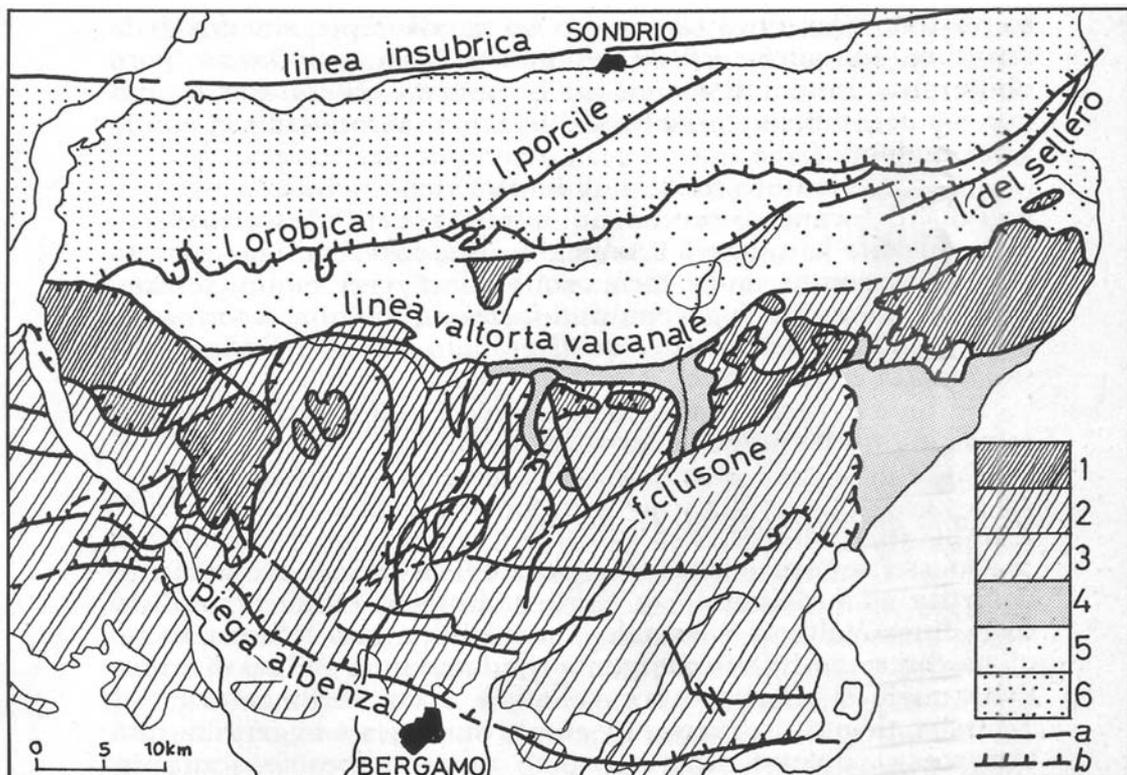


Fig. 1: Carta strutturale delle Alpi e Prealpi Bergamasche. 1 Zona delle unità alloctone superiori e delle unità Grigna e Pegherolo, 2 Zona del Parautoctono e delle unità alloctone inferiori, 3 zona a pieghe-faglie delle Prealpi, 4 Zona dell'Autoctono e delle scaglie Valtorta-Valcanale, 5 Zona delle Anticlinali Orobiche, 6 Zona del basamento Orobico a faglie, sovrascorrimenti, e pieghe faglie (Semplificato e modificato da Jadoul e Gaetani, 1979).

In particolare gli eventi che hanno maggiormente influenzato le geometrie sono quelli relativi alle fasi compressive alpine, che hanno prodotto una catena a pieghe e thrust pellicolari. Un ruolo fondamentale nella determinazione delle attuali geometrie è stato svolto dalle discontinuità generate durante la fase distensiva.

L'area di Casnigo appartiene alla zona a pieghe e faglie delle Prealpi; il substrato roccioso è formato da una successione Triassica che comprende la Dolomia principale (Norico inferiore-medio), le Dolomie Zonate (Norico medio), il Calcare di



Zorzino (Norico medio) e le Argilliti di Riva di Solto (Norico superiore). Le unità quaternarie presenti sono la Formazione di Leffe (Pliocene superiore- Pleistocene inferiore), il Complesso di Casnigo (Pleistocene inferiore) ed il Complesso del Serio (Pleistocene superiore). Il fondovalle è caratterizzato dai depositi di conoidi e alluvionali-postglaciali (Pleistocene superiore-Olocene).

### **3.1 Casnigo Nord**

#### IL SUBSTRATO ROCCIOSO

In quest'area affiora la *Dolomia Principale (Norico inferiore-medio)*. La D.P. è composta in prevalenza da dolomie grigio chiare, stratificate in grossi banchi con orizzonti bioclastici; inoltre è caratterizzata dolomie grigie, grigio scure massicce con facies di piattaforma marginale e intercalazioni di breccie intraformazionali e strati di dolomie micritiche scure (facies di transizione al gruppo dell'Aralalta).

Il "*Membro basale della Dolomia Principale*" (*Carnico superiore–Norico inferiore*) è costituito da dolomie grigio scure, laminate, localmente con brecciole e orizzonti con laminazioni stromatolitiche. Nella parte sommitale del pendio in esame affiorano in un'area molto ristretta le *Argilliti di Riva di Solto (Norico superiore)*: alternanze cicliche di spessore fino a decametrico di argilliti nere, marne e calcari marnosi grigio scuri con sottili intercalazioni bioclastiche. Alla base di questa unità sono prevalenti le argilliti e le marne argillose con subordinate intercalazioni di calcari micritici, con paraconglomerati e slumping.

Gli strati in quest'area immergono grossomodo verso SE e, rispetto al pendio hanno una geometria a reggipoggio. L'instabilità dei blocchi in parete è data dalla presenza di famiglie di discontinuità con orientazione a franapoggio.

#### I DEPOSITI QUATERNARI

L'intero versante è coperto da una coltre di sedimenti eluvio-colluviali dello spessore di alcuni decimetri, si tratti di fini massivi con clasti sparsi. I clasti, di origine carbonatica, sono di forma prismatica e spigolosi; la matrice argilloso-limosa.

Nel fondovalle si trova l'*Unità di Gazzaniga*, facente parte dei *Depositi fluvioglaciali del Complesso del Serio, (Pleistocene superiore)*. Si tratta di ghiaie stratificate a supporto clastico, matrice da assente ad abbondante, sabbiosa grossolana; ciottoli



arrotondati, selezionati, embricati; sabbie fini con laminazioni parallele corrispondenti a depositi alluvionali. I clasti sono prevalentemente carbonatici, con subordinati (40%) silicoclasti provenienti dall'alta valle. L'alterazione dei depositi è pressoché nulla; nel tratto a monte si osserva decarbonatazione solo entro i primi dieci centimetri dalla superficie, scendendo verso la pianura la profondità del fronte di decarbonatazione aumenta lievemente, non superando però mai il metro. L'unità costituisce terrazzi discontinui sia sulla riva sinistra sia su quella destra del Fiume Serio; il dislivello massimo fra il tetto dell'unità e il corso attuale del fiume non supera i 10 m. Il limite inferiore dell'unità di Gazzaniga non è mai esposto, il limite superiore è sempre la superficie topografica.

Nella fascia di raccordo tra il fondovalle ed il pendio si trova l'*Unità dei Depositi postglaciali di conoide ed alluvionali, (Pleistocene inferiore)* (Allegato 2).

I *Depositi di conoide* sono localizzati allo sbocco di corsi d'acqua, anche di carattere temporaneo, nei solchi vallivi. Sono costituiti da ghiaie anche ben selezionate con matrice sabbiosa abbondante, a supporto sia clastico che di matrice, grossolanamente stratificate; più raramente si osservano sabbie e ghiaie ben lavate. Frequentemente i clasti sono arrotondati, specie se provenienti dalla demolizione di depositi precedenti, ma l'arrotondamento può essere da scarso a nullo, in funzione del trasporto subito. Questi sedimenti sono solitamente organizzati in corpi lenticolari clinostratificati, spesso massivi, o con ciottoli isoorientati o a gradazione inversa (fenomeni di deposizione in massa), o con strutture minori quali laminazioni oblique a caratteristiche tipiche dei reticolati idrografici di tipo *braided*. I clasti sono litologicamente riferibili ai litotipi dei bacini di alimentazione locali.

I *Depositi alluvionali* si concentrano lungo le aste dei corsi d'acqua, a carattere sia effimero che perenne e sono costituiti da ghiaie a ciottoli e blocchi con matrice sabbiosa, sabbie anche con ciottoli, ghiaie ben selezionate. Le ghiaie sono in prevalenza a supporto clastico e ciottoli ben arrotondati; ovviamente nei corsi d'acqua minori e nelle aree di alimentazione la maturità tessiturale del sedimento è minore. In questi depositi, organizzati in corpi sia lenticolari che stratoidi, si osservano strutture sedimentarie dovute all'azione di corrente, quali ciottoli embricati, laminazioni oblique a basso angolo, laminazione incrociata. I clasti rispecchiano i litotipi affioranti nel bacino a monte.



## GEOMORFOLOGIA

A livello geomorfologico la parte sommitale del pendio presenta forme tipiche del paesaggio carsico con pinnacoli e doline (Allegato 3); la roccia affiorante mostra evidenti i segni dell'azione carsica (karren,...). I Pinnacoli hanno dimensioni metriche e rendono la superficie topografica irregolare, possono costituire sia ostacolo naturale al rotolamento di blocchi di piccole dimensioni sia alimentare il distacco in caso di crollo.

La parte inferiore del pendio è ha una morfologia più regolare, con minori evidenze di carsismo; il substrato roccioso è coperto da una coltre decimetrica di depositi eluvio-colluviali.

Alla base del pendio sono riconoscibili per la particolare morfologia della superficie topografica accumuli di frana dovuti a rilasci del versante per gravità.

Il tratto di raccordo tra il pendio e l'alveo del Fiume Serio, sede degli insediamenti industriali e delle infrastrutture viabilistiche è subpianeggiante e formato da depositi alluvionali attuali (ghiaie, ciottoli e blocchi in matrice sabbiosa).

### **3.2 Casnigo Sud**

#### IL SUBSTRATO ROCCIOSO

Il substrato roccioso è il *Calcare di Zorzino (Norico medio)* formato da calcari micritici scuri ben stratificati, localmente con intercalazioni calcarenitiche torbiditiche, slumping e giunti marnosi, appartiene con le Dolomie zonate e la Dolomia Principale al Gruppo dell'Aralta.

Gli strati rocciosi immergono grossomodo verso SE ed assumono una geometria a traverpoggio rispetto alla giacitura del pendio.

Localmente affiorano stock porfiritici metrici, superficialmente arenizzati (Allegato 7: Foto 32).



## I DEPOSITI QUATERNARI

Nella parte inferiore del pendio si trovano i depositi *dell'Unità di Gazzaniga* (appartenenti ai *Depositi fluvioglaciali del Complesso del Serio*) e i *Depositi postglaciali di conoide ed alluvionali*, la cui composizione tessiturale è la stessa descritta nel paragrafo precedente.

## GEOMORFOLOGIA

La parte sommitale del pendio e il pianoro soprastante (località Romnei) presentano una morfologia articolata dovuta all'attività carsica che in questa zona ha formato un esteso campo di doline.

Il substrato roccioso ha subito in quest'area un'alterazione ad organi geologici: l'alterazione si è sviluppata in profondità con un fronte ondulato dando luogo a forti differenze di pervasività verticale. Nelle aree di maggiore alterazione si sono sviluppati suoli di terre rosse che hanno raggiunto spessori decimetrici (Allegato 7: Foto 23).

La roccia in posto è generalmente subaffiorante, coperta da una coltre di spessore decimetrico di depositi eluvio-colluviali.

Affioramenti di roccia si trovano negli impluvi ed in corrispondenza di rotture di pendio, ove la coltre di terreno superficiale non può accumularsi.



## 4. OSSERVAZIONI LITOLOGICHE E GEOMECCANICHE

### 4.1 Casnigo Nord

L'area di Casnigo Nord (località Bot) è formata da un versante molto acclive, con pendenze medie attorno ai 35° e massime superiori ai 50°

I rilievi in sito hanno permesso di distinguere tre aree omogenee denominate, da nord a sud, 1N, 2N e 3N.

L'Area Omogenea N1 è formata da pareti rocciose alte una ventina di metri (Foto 1 e 2) con base a circa 530 m slm di quota. Costituiscono le zone di potenziale distacco dei massi.

In alcuni settori sono attraversate da discontinuità con apertura centimetrica che isolano blocchi di dimensioni metriche. Il pendio sottostante le pareti è formato da depositi eluvio-colluviali di natura argilloso-limosa con rari clasti sparsi, spigolosi e subangolosi. Localmente la roccia è subaffiorante.

I massi distaccatisi dalla parete e fermatisi al piede appaiono, in taluni casi, in condizioni di equilibrio limite. Si tratti di blocchi di dimensioni il mezzo metro cubo potenzialmente riattivabili.

L'Area Omogenea N2 è suddivisibile in due zone: una a monte, sopra i 450 m slm, e una a valle. Nella zona a monte si trova roccia affiorante che ha subito l'azione carsica; mancano pareti subverticale di dimensioni ragguardevoli ma sono presenti pinnacoli alti tra i tre ed i quattro metri.

La zona a valle si presenta come un pendio piuttosto regolare di depositi eluvio-colluviali, di spessore decimetrico, e raramente di roccia affiorante. Numerosi blocchi di dimensioni da decimetriche a metriche sono sparsi sul versante ed in taluni casi in condizioni di equilibrio limite.

Nell'Area Omogenea N3 si trovano pareti con sviluppo verticale attorno a cinque metri; sono costituite da ammassi rocciosi (simili a quelli della zona a monte dell'area omogenea 2N) con blocchi, isolati da discontinuità con aperture centimetriche, di dimensioni fino ad una decina di metri cubi. Anche in questa zona sono presenti massi sparsi sul pendio di dimensioni fino al metro cubo.



In ogni area omogenea così definita sono stati eseguiti i rilievi strutturali allo scopo di stabilire le dimensioni dei massi che potrebbero distaccarsi dalla parete. Tali dati sono stati integrati con l'osservazione e la quantificazione del volume dei singoli blocchi già rotolati e arrestatisi lungo il versante.



## RILIEVI GEOMECCANICI

### **Rilievo N. 1N**

Descrizione geologica: Dolomia Principale, massiva (stratificazione non evidente), colore grigio

Giacitura affioramento: 315/90

Dimensioni: 10 m x 5 m

Classe: R2

Alterazione ammasso: W1-W2

*TABELLA 1: caratteristiche dei set di discontinuità*

Set	Giac.	Spaz. (cm)	Pers. (%)	Alt. Disc.	Apertura (mm)	Ondulaz.	Riemp.	Acqua
S-k1	227/18	35, >100	<50%	WD1	Serrate; 2,5÷5	Planare	Assente	Assente
k2	310/80	30, 40, (2,4)	50÷90	WD1	<1; 2,5÷5	Ondulata	Assente; (rara calcite)	Assente
K3	37/77	20, 20, 25	50÷>90	WD1	Serrate; 1÷2,5	Ondulata	Assente	Assente

Intercetta verticale (disc/m): 8 - 10

Intercetta orizzontale (disc/m): 6 - 8

Volume Roccioso unitario: minimo 0,5 cm<sup>3</sup>  
massimo 0,25 m<sup>3</sup>

Forma dei clasti: angolosa, subarrotondata

### **Rilievo N. 2N**

Località Bot

Descrizione geologica: Dolomia Principale, da massiva a molto fratturata; colore grigio.

Giacitura affioramento: 315/85

Dimensioni: 15 m x 3 m

Classe: R2

Alterazione ammasso: W2-W3



**TABELLA 2: caratteristiche dei set di discontinuità**

Set	Giac.	Spaz. (cm)	Pers. (%)	Alt. Disc.	Apertura (mm)	Ondulaz.	Riemp.	Acqua
S-k1	117/73	100, 60	>90	WD1	>5	Planare	Assente, granulare	Assente
k2	114/20	90, 100, >150	50÷90	WD1	>5	Planare	Assente, granulare	Assente
K3	273/65	100, 200	50÷90	WD1	>5	Planare	Assente, granulare	Assente

Intercetta verticale (disc/m): 2 – 3

Intercetta orizzontale (disc/m): 2 - 3

Volume Roccioso unitario: minimo 0,5 cm<sup>3</sup>  
massimo 3 m<sup>3</sup>

Forma dei clasti: angolosa, subarrotondata

### **Rilievo N. 3N**

Località Bot

Descrizione geologica: Dolomia Principale, colore grigio.

Giacitura affioramento: 290/85

Dimensioni: 10 m x 3 m

Classe: R2

Alterazione ammasso: W2-W3

**TABELLA 3: caratteristiche dei set di discontinuità**

Set	Giac.	Spaz. (cm)	Pers. (%)	Alt. Disc.	Apertura (mm)	Ondulaz.	Riemp.	Acqua
S-k1	150/66	15, 90, >150	>90	WD1, WD2	>5	Planare	Assente, granulare	Assente
k2	39/65	10, 100	50÷90	WD1, WD2	>5	Planare	Assente, granulare	Assente
k3	174/85	NV	50÷90	WD1, WD2	1÷2,5	Planare	Assente, granulare	Assente
k4	127/20	70, >200	<50	WD1, WD2	>5	Planare	Assente, granulare	Assente

Intercetta verticale (disc/m): 2 – 3

Intercetta orizzontale (disc/m): 2 - 3

Volume Roccioso unitario: minimo 0,5 cm<sup>3</sup>



massimo 3 m<sup>3</sup>

Forma dei clasti: angolosa, subarrotondata

La discontinuità k3 non appartiene agli altri set e quindi non è valutabile la spaziatura.

### Rilievo N. 4N

Questo affioramento è uno scavo in sezione eseguito per la costruzione della mulattiera che dalla località Colle Petta porta verso la località Bot. Sono visibili due set di discontinuità le cui giaciture sono riportate in tabella 4.

La roccia (Dolomia principale) è massiva e non presenta segni di alterazione.

**TABELLA 4:** giaciture dei set di discontinuità

Set	Giac.
k1	132/22
k2	18/77

### Rilievo N. 5N

Località Colle Petta

Descrizione geologica: Dolomia Principale, massiva, colore grigio.

Giacitura affioramento: 280/85

Dimensioni: 15 m x 3 m

Classe: R2

Alterazione ammasso: W1-W2

**TABELLA 5:** caratteristiche dei set di discontinuità

Set	Giac.	Spaz. (cm)	Pers. (%)	Acqua
S-k1	320/30	1,50, 70, 40	>90	Assente
k2	172/286	NV	NV	Assente
k3	82/81	NV	NV	Assente



L'ammasso roccioso è composto dalla Dolomia Principale massiva, attraversata da discontinuità con aperture centimetriche che isolano blocchi di grandi dimensioni con volumi fino a  $5-10 \text{ m}^3$  (Allegato 7: Foto 9, 10 e 11). Le aperture sono beanti e presentano i segni dell'azione carsica. Sebbene al momento del rilievo non sono state evidenziate venute d'acqua si intuisce che le discontinuità sono la sede della circolazione carsica (Allegato 7: Foto 7 e 8).

Blocchi di tali dimensioni non sono stati considerati nelle simulazioni matematiche poiché, vista la conformazione del pendio (formato da pinnacoli e roccia subaffiorante), un eventuale ribaltamento comporterebbe una disgregazione in blocchi di dimensioni inferiori.

In allegato 4.1 sono riportati i Reticoli di Schmidt delle famiglie di discontinuità rilevate. In giallo sono evidenziate le ciclografiche ed i poli della stratificazione; in rosso quelle relative alle fratture; in verde quelle relative ai versanti.

#### DIMENSIONI DEI MASSI LUNGO IL VERSANTE

Oltre ai rilievi effettuati sugli affioramenti è stato eseguito un censimento dei blocchi sparsi sul pendio in quanto rappresentativi delle volumetrie in gioco (Tab. 6).

**TABELLA 6:** Dimensione di alcuni blocchi sparsi sul versante

<b>N. masso</b>	<b>Dimensioni(cm)</b>			<b>Volume(m<sup>3</sup>)</b>
1	100	40	35	0,14
2	40	60	45	0,11
3	80	70	100	0,56
4	50	30	60	0,09
5	40	95	100	0,38
6	70	80	80	0,45

Considerando con maggiore attenzione i blocchi trovati alla base del pendio (più pericolosi in quanto dotati di maggiore energia durante il rotolamento), si è stabilito un volume medio ( $V_m$ ) di  $0,25 \text{ m}^3$ , e un volume massimo ( $V_{max}$ ) di  $1 \text{ m}^3$ .

Utilizzando queste volumetrie e considerando un peso di volume compreso tra  $2300 \text{ kg/m}^3$  e  $2850 \text{ kg/m}^3$  si ottengono masse di circa  $m_1 = 712,5 \text{ kg}$  ed  $m_2 = 2850 \text{ m}^3$ .



Cautelativamente nelle simulazioni sono stati inseriti valori leggermente arrotondati in eccesso.

Infine per tenere conto della possibilità di frantumazione dei blocchi all'impatto con la superficie del pendio e ipotizzando in tali casi una velocità di "distacco" maggiore della usuale, nei parametri iniziali del modello matematico, è stata inserita una deviazione standard maggiore relativamente ai parametri della velocità orizzontale, verticale ed angolare di partenza.

## **4.2 Casnigo Sud**

L'area di Casnigo Sud è formata da un versante a tratti acclive che raccorda l'alveo del torrente Romna con l'altopiano di località Romnei. Le pareti rocciose sono localizzate nella parte meridionale di questo settore.

I rilievi in sito hanno permesso di distinguere tre aree omogenee denominate 1S, 2S e 3S.

L'Area Omogenea 1S individua una zona acclive formata da pareti rocciose di dimensioni significative.

Gli affioramenti si estendono in modo discontinuo per circa 250 m ed hanno sviluppo verticale superiore a 5 m. Il resto del pendio è costellato di massi di dimensioni eterogenee (da decimetriche a mezzo metro cubo), che si concentrano in piccoli avvallamenti del versante.

L'Area Omogenea 2S è anch'essa acclive ma formata da roccia subaffiorante solo a tratti affiorante. Il distacco dei blocchi si ha in corrispondenza di:

- rotture di pendio ove la roccia passa da subaffiorante ad affiorante;
- massi isolati sparsi lungo il versante.

In passato l'area è stata oggetto di distacchi di un certo rilievo come il masso di un metro cubo circa che ha raggiunto gli insediamenti industriali della ditta FAB S.p.a. nel gennaio 2004. Percorrendo a ritroso la probabile traiettoria del masso è stata riconosciuto il punto di distacco e il meccanismo di innesco in corrispondenza di una rottura del pendio che ha favorito il distacco di un blocco isolato dal sistema di discontinuità dell'ammasso roccioso.



Situazioni simili sono difficilmente riconoscibili prima che il fenomeno si palesi, poiché la copertura superficiale non permette l'osservazione dell'apertura delle discontinuità che isolano i blocchi.

L'Area Omogenea 3S ha un'estensione molto limitata. E' presente una parete di roccia di limitata estensione e alta circa 3 metri.

Non sono state osservate situazioni di particolare gravità sia per lo scarso sviluppo della possibile zona di distacco, sia per la topografia della versante che non consente ai blocchi di percorrere lunghe distanza e quindi di accumulare energia.

#### RILIEVI GEOMECCANICI

#### **Rilievo N. 1S**

Descrizione geologica: Calcare di Zorzino, stratificato; strati da centimetreci a decimetrici. L'ammasso roccioso è alterato.

Giacitura affioramento: 30/56

Dimensioni: 10 m x 4 m

Classe: R2

Alterazione ammasso: W3

*TABELLA 7: caratteristiche dei set di discontinuità*

Set	Giac.	Spaz. (cm)	Pers. (%)	Alt. Disc.	Apertura (mm)	Ondulaz.	Riemp.	Acqua
S-k1	80/70	20 (max 30)	>90	WD3- WD4	<1 ÷ 2,5	Ondulato	Argilla	Assente
k2	340/60	15 (max 30)	50÷90	WD3- WD4	1÷2,5; >5	Ondulato	Argilla	Assente
k3	203/75	10 (max 27)	>90	WD3- WD4	<1; 2,5÷5	Planare	Argilla	Assente

Intercetta verticale (disc/m): 8 - 25

Intercetta orizzontale (disc/m): 13 - 26

Volume Roccioso unitario: medio  $1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$

minimo  $8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$

massimo  $0,1 \text{ m}^3$

Forma dei clasti: prismatica, tabulare; angolosa, spigolosa



Questo affioramento presenta un'elevata alterazione. Blocchi apparentemente sani si rompono facilmente; le superfici delle discontinuità hanno una patina di colore rosso. In frattura il colore del materiale roccia è grigio chiaro. La parte superiore dell'affioramento è ricoperta da un suolo di colore rosso, argilloso-limoso, con poca sabbia media. La parte inferiore dell'affioramento sembra essere meno alterata.

## Rilievo N. 2S

Località Romnei

Descrizione geologica: Calcare di Zorzino, stratificato e fratturato

Giacitura affioramento: 15/62

Dimensioni: 10 m x >3 m

Classe: R2

Alterazione ammasso: W2

**TABELLA 8: caratteristiche dei set di discontinuità**

Set	Giac.	Spaz. (cm)	Pers. (%)	Alt. Disc.	Apertura (mm)	Ondulaz.	Riemp.	Acqua
S-k1	215/18	25 (max 50)	> 90	WD1	1÷2,5	Planare	Coesivo (raro)	Assente
k2	31/66	22 (max 40)	< 50	WD1	<1÷2,5	Planare	Assente	Assente
k3	29/60	19 (max 30)	< 50	WD1	<1÷2,5	Planare	Assente	Assente

Intercetta verticale (disc/m): 14 - 13

Intercetta orizzontale (disc/m): 7 - 6

Volume Roccioso unitario: medio  $2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

minimo  $1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$

massimo  $0,12 \text{ m}^3$

Forma dei clasti: prismatica, tabulare; angolosa, spigolosa



### Rilievo N. 3S

Località Romnei

Descrizione geologica: Calcare di Zorzino, stratificato e fratturato.

Giacitura affioramento: 45/85

Dimensioni: 5 m x 3 m

Classe: R2

Alterazione ammasso: W1-W2

**TABELLA 9:** caratteristiche dei set di discontinuità

Set	Giac.	Spaz. (cm)	Pers. (%)	Alt. Disc.	Apertura (mm)	Ondulaz.	Riemp.	Acqua
S-k1	160/13	30, 60	>90	WD1	<1 ÷ 2,5	Planare	Poca argilla	Assente
k2	290/80	20, 40	50 ÷ >90	WD1	1 ÷ 2,5	Planare	Poca argilla	Assente
k3	359/85	7	50 ÷ >90	WD1	1 ÷ 2,5	Planare	Poca argilla	Assente

Intercetta verticale (disc/m): 7 - 8

Intercetta orizzontale (disc/m): 6 - 14

Volume Roccioso unitario: medio  $6 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$   
 minimo  $1 \cdot 10^{-6} \text{ dm}^3$   
 massimo  $0,25 \text{ m}^3$

Forma dei clasti: prismatica, tabulare; angolosa, spigolosa

Questo affioramento si può suddividere in due parti, una superiore ed una inferiore; la prima è massiva, la seconda intensamente fratturata. Le discontinuità dei set k2 e k3 hanno una persistenza inferiore rispetto a quelle del set k1; esse interessano comunque tutto lo spessore degli strati, isolando blocchi di roccia di dimensioni decimetriche.

In allegato 4.2 sono riportati i Reticoli di Schmidt relativi alle giaciture rilevate. In giallo sono evidenziate le ciclografiche ed i poli della stratificazione; in rosso quelle relative alle fratture; in verde quelle relative ai versanti.



## DIMENSIONI DEI MASSI

Oltre ai rilievi effettuati sugli affioramenti è stato eseguito un censimento dei blocchi sparsi sul pendio in quanto rappresentativi delle volumetrie in gioco (Tab. 10).

**TABELLA 10:** dimensione di alcuni blocchi sparsi sul versante (\* masso presso ditta FAB S.p.a. )

<b>N. Masso</b>	<b>Dimensioni (cm)</b>			<b>Volume (m<sup>3</sup>)</b>
1	60	30	40	0,07
2	45	60	35	0,1
3	60	80	85	0,41
4	50	80	60	0,24
5	45	25	20	0,02
6*	120	100	100	1,20

Considerando con attenzione i blocchi trovati alla base del pendio (più pericolosi in quanto dotati di maggiore energia durante il rotolamento), si è stabilito un volume medio ( $V_m$ ) di  $0,30 m^3$ , mentre il volume massimo ( $V_{max}$ ) è  $1,2 m^3$ .

Il peso di volume dei calcari utilizzato per la definizione dei valori di massa inserito nel modello matematico è di  $2500 kg/m^3$ . Si ottengono masse di circa  $m_1 = 750 kg$  e  $m_2 = 3000 m^3$ .



## **5. OSSERVAZIONI SULLA COPERTURA VEGETALE**

### **5.1 *Casnigo Nord***

La copertura vegetale è formata da boschi cedui, altofusti di diametro decimetrico e scarso sottobosco arbustivo. Questa tipologia di vegetazione contribuisce a rallentare e in alcuni casi bloccare massi di piccole dimensioni (nell'ordine di 25/30 cm<sup>3</sup>) ma non ha effetti significativi su massi di dimensioni maggiori.

### **5.2 *Casnigo Sud***

La copertura vegetale del pendio è formata principalmente da altofusti e risulta nel complesso libera da arbusti e rovi. Le dimensioni degli alberi presenti sono tali da poter rallentare ed in alcuni casi fermare massi di piccole dimensioni. Tuttavia una vegetazione di questo tipo non svolge una funzione protettiva sufficiente a rallentare massi di dimensioni metriche, come già verificato nel caso del blocco rotolato sino al limite dell'edificio dell'azienda FAB S.p.a..



## 6. PERICOLOSITÀ DELLE AREE

### DEFINIZIONE DELLE AREE OMOGENEE

Le indicazioni della Struttura Rischi Idrogeologici della Regione Lombardia suggeriscono di suddividere le pareti rocciose (potenziale origine dei crolli) in aree omogenee, a seconda delle caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso roccioso (definite tramite i rilievi effettuati), della morfologia del versante e della presenza di opere di difesa.

Nel caso in esame il fenomeno di rotolamento massi non è strettamente legato alla presenza di pareti rocciose. La presenza di massi appoggiati sui versanti e di roccia subaffiorante costituiscono degli elementi di pericolosità oggettivi (come testimoniato da recenti accadimenti) non trascurabili. La normativa regionale non prevede un contesto di tale tipo lasciando una lacuna nella metodologia di zonazione.

Per ovviare a questo problema si è deciso di effettuare una suddivisione preliminare delle aree omogenee, a seconda che esse siano caratterizzate da:

- presenza di pareti rocciose;
- assenza di pareti rocciose e presenza di massi isolati e roccia subaffiorante.

A seconda della tipologia di area omogenea identificato sono state utilizzate due differenti metodologie di zonazione, qui di seguito esposte.

### Aree formate da pareti rocciose

Per ogni area omogenea è stata valutata la propensione al distacco, suddividendo le pareti in maglie di 20 m x 20 m e verificando la presenza dei seguenti elementi di instabilità:

- fratture aperte con evidenze di attività associate a cinematismi possibili;
- blocchi ruotati;
- zone intensamente fratturate;
- superfici non alterate che testimoniano recenti distacchi;



- emergenze di acqua alla base dei blocchi.

In ogni maglia il punteggio di attività massima è 5; sommando i valori ottenuti per tutta la griglia rapportati al valore massimo possibile sono state calcolate le percentuali di attività delle aree omogenee e conseguentemente sono stati assegnati i valori di attività (ALTA, MEDIA, BASSA).

#### Aree non formate da pareti rocciose

In queste aree è impossibile valutare la propensione al distacco con il metodo di cui sopra. A queste aree omogenee è stata assegnata una propensione al distacco BASSA.

#### CARATTERISTICHE DEL SOFTWARE DI SIMULAZIONE

Il programma utilizzato per la modellizzazione è ROCKFALL Ver. 4.042 delle RocScience Inc. di Toronto (CANADA).

L'algoritmo di calcolo è suddiviso in tre sezioni distinte: l'algoritmo di particella, l'algoritmo del moto dei proiettili e l'algoritmo dello scivolamento. L'algoritmo di particella verifica che tutti i parametri della simulazione siano validi, regola le condizioni iniziali in preparazione all'esecuzione dei successivi algoritmi e avvia l'algoritmo del moto dei proiettili. L'algoritmo del moto dei proiettili è utilizzato per calcolare il movimento dei massi durante la fase di volo, compresa tra due rimbalzi successivi sul pendio. L'algoritmo di scivolamento è utilizzato per calcolare il movimento dei massi mentre sono in contatto con il pendio. La maggior parte dell'elaborazione dati nella simulazione riguarda l'algoritmo del moto dei proiettili.

Ogni masso è modellizzato come un cerchio di dimensioni infinitesimali; in questo modo le dimensioni e la forma dei massi non influenzano gli algoritmi. Le equazioni utilizzate nell'algoritmo di scivolamento implicano una forma circolare. Poiché non ci sono interazioni tra particelle, ogni roccia si comporta come se fosse l'unica presente nella simulazione.

Sebbene i massi siano considerati puntiformi, posseggono una massa. La massa non è utilizzata nelle equazioni per il calcolo delle traiettorie che non ne risultano dunque influenzate. La massa dei massi è utilizzata solo per il calcolo delle energie cinetiche quando vengono creati i grafici e presentati i risultati. La massa rimane



costante durante tutta la simulazione. I blocchi non si frazionano in alcun modo durante la simulazione. La massa può essere specificata come un valore costante oppure come una distribuzione casuale di valori.

L'attrito dell'aria non è considerato in alcuna equazione. Si suppone che i blocchi abbiano una massa e una velocità sufficientemente bassa da rendere trascurabile l'effetto dell'attrito dell'aria.

Il pendio è modellato come un gruppo continuo di segmenti lineari, connessi tra loro agli estremi. I segmenti non possono intersecarsi tra loro e i vertici non possono coincidere. A parte queste restrizioni la costruzione del pendio è libera.

#### *L'algoritmo del moto dei proiettili*

Questo algoritmo assume che i massi abbiano una velocità che li conduce da un punto del pendio ad un altro. La traiettoria percorsa dai massi è descritta dalle equazioni del moto parabolico dei proiettili e risulterà dunque una parabola.

#### *L'algoritmo di scivolamento*

Questo algoritmo è utilizzato per calcolare il movimento dei massi dopo che sono usciti dall'algoritmo del moto dei proiettili. I massi possono scivolare su ognuno dei segmenti che costituiscono il pendio e su ogni barriera. Ognuno dei tratti di pendio su cui i massi possono scivolare consiste in un segmento lineare caratterizzato da un angolo di inclinazione ( $\theta$ ) e un angolo di attrito ( $\Phi$ ). L'angolo di attrito del pendio può essere specificato come un valore costante oppure come una distribuzione casuale di valori. Il Masso può cominciare a scivolare in ogni punto lungo il segmento e avere una velocità iniziale diretta verso il basso o l'alto del pendio. Solo la componente tangenziale al pendio è considerata nelle equazioni di questo algoritmo. Una volta cominciato lo scivolamento, l'algoritmo utilizzato dipende dal verso iniziale della velocità.

#### *Parametri da inserire*

Al fine di dare un'interpretazione statistica alle simulazioni, i parametri che entrano in gioco nel modello di calcolo sono tutti forniti di una deviazione standard introdotta



dall'utente. Inoltre il programma utilizza, nel calcolo degli algoritmi, una variabile casuale che, a parità di condizioni iniziali, fornisce una distribuzione normale dei punti di arresto dei blocchi dopo il primo rimbalzo; tutti i rimbalzi successivi subiscono poi la stessa dispersione. In questo modo due masse con stesso punto d'origine possono avere due traiettorie molto differenti.

La geometria del pendio è definita bidimensionalmente e ogni vertice ha una deviazione standard; in questo modo si può ovviare a delle piccole incertezze geometriche o simulare un modello pseudo-3D. L'inclinazione dei tratti del pendio influenza notevolmente le accelerazioni e le decelerazioni dei massi variando di conseguenza le traiettorie che assumono.

Il materiale che costituisce il pendio è caratterizzato dai coefficienti di restituzione normale  $R_n$  e tangenziale  $R_t$ , dall'angolo di attrito dinamico  $\Phi$  e dalla rugosità del pendio, definita da una deviazione standard rispetto all'inclinazione del pendio. Per i primi tre parametri è possibile inserire una deviazione standard.

Le condizioni iniziali dei blocchi sono definite dalla zona di distacco (che può essere puntuale o lineare), dalla velocità orizzontale, dalla velocità verticale e dalla velocità angolare dei massi. L'altro parametro iniziale da inserire è la massa dei blocchi.

Una volta inserite le condizioni al contorno si esegue la simulazione su di un numero a scelta di massi.

Il modello restituisce le seguenti informazioni:

- profilo del pendio con le traiettorie calcolate;
- istogramma dei punti di arresto dei massi e relative statistiche;
- grafici riguardanti la velocità dei massi, l'energia cinetica, l'altezza di volo, ....

## **6.1 Casnigo Nord**

### ATTIVITÀ DELLE AREE OMOGENEE

Ad ognuna delle tre aree omogenee in cui è stata suddivisa questa porzione di territorio sono state assegnate le rispettive classi di attività, riportate in tabella 11.



L'area omogenea N2 è stata classificata con attività bassa in quanto non sono presenti pareti rocciose suddivisibili in maglie.

**TABELLA 11:** propensione al distacco di blocchi nelle rispettive aree omogenee

Area omogenea	Percentuale di attività	Classe di attività
<b>N1</b>	43 %	MEDIA
<b>N2</b>	N.v.	BASSA
<b>N3</b>	45 %	MEDIA

#### PERICOLOSITÀ PRELIMINARE

La carta della Pericolosità Preliminare (TAV. 2N) è stata realizzata analizzando le traiettorie di caduta lungo sette profili di caduta.

#### *Parametri inseriti nel modello matematico*

**TABELLA 12:** parametri che definiscono le caratteristiche dei materiali lungo i profili modellizzati

Materiale pendio	$R_n$	St. dev.	$R_t$	St. dev.	$\phi$	St. dev.	Rugosità (St. dev.)
<b>Detrito vegetato terreno</b>	0,30	0,05	0,83	0,05	24,00	0,05	0,20
<b>Roccia</b>	0,42	0,05	0,92	0,05	30,00	0,05	0,20
<b>Roccia subaffiorante</b>	0,35	0,04	0,85	0,04	30,00	2,00	0
<b>Suolo</b>	0,25	0,05	0,55	0,05	21,00	0,05	0,20
<b>Asfalto</b>	0,40	0,04	0,90	0,04	30,00	2,00	0,20

Ai vertici dei segmenti che costituiscono i profili è stata assegnata una deviazione standard pari a  $St.Dev = 0,1$ . I parametri che definiscono i materiali nei profili sono elencati nella tabella 12.

I parametri utilizzati per modellizzare le condizioni iniziali della simulazione sono elencati nella successiva tabella 13.



*TABELLA 13: valori dei parametri iniziali della simulazione per i blocchi che si staccano dalle pareti*

	<b>Valore</b>	<b>St. dev.</b>
<b>V<sub>verticale</sub></b>	0,2 m/s	0,4
<b>V<sub>orizzontale</sub></b>	0,2 m/s	0,4
<b>Massa</b>	750 kg – 3000 kg	0,2
<b>Velocità angolare</b>	0,2 m/s	0,4

Per la simulazione del rotolamento dei massi appoggiati sul pendio sono stati utilizzati, in alcuni profili, i parametri elencati nella seguente tabella 14.

*TABELLA 14: valori dei parametri iniziali della simulazione per i blocchi sparsi sul pendio*

	<b>Valore</b>	<b>St. dev.</b>
<b>V<sub>verticale</sub></b>	0,001 m/s	0,2
<b>V<sub>orizzontale</sub></b>	0,001 m/s	0,2
<b>Massa</b>	750 kg	0,2
<b>Velocità angolare</b>	0,001 m/s	0,2

I profili utilizzati per le simulazioni, le traiettorie ottenute e i grafici relativi a energia, velocità e altezza di volo, sono riportati in allegato 6.

Grazie ai risultati delle simulazioni matematiche sono state costituite, per ogni zona omogenea, le fasce di pericolosità preliminare H4, H3 ed H2 a seconda delle percentuali di arresto dei massi ottenute. E' stata aggiunta, la fascia di pericolosità preliminare H1 (bassa pericolosità).

## PERICOLOSITÀ

La zonazione della Pericolosità (TAV. 3N) è ottenuta dalla sovrapposizione della zonazione preliminare con le percentuali di attività di ogni zona omogenea. A seconda che l'attività sia stata definita ALTA, MEDIA o BASSA, i valori delle classi di pericolosità relativa sono stati aumentati di 1, mantenuti uguali o diminuiti di 1. Si sono ottenute 5 fasce di pericolosità, appartenenti alle classi H4, H3, H2, H1 e H0. La classe H0 (Pericolosità potenziale) è il risultato dell'abbassamento della classe di pericolosità preliminare H1 ad H0 nelle aree omogenee con BASSA propensione al distacco.



## 6.2 Casnigo Sud

### ATTIVITÀ DELLE AREE OMOGENEE

Ad ognuna delle tre aree omogenee in cui è stata suddivisa questa porzione di territorio sono state assegnate le rispettive classi di attività, riportate in tabella 15.

- L'area omogenea S1 è stata classificata con attività bassa;
- l'area omogenea S2 è stata classificata con attività bassa per la presenza di roccia subaffiorante e massi sparsi lungo il pendio;
- l'area omogenea S3 è stata classificata con attività media a causa della presenza di pareti rocciose che hanno uno sviluppo verticale limitato (attorno al decametro).

**TABELLA 15:** propensione al distacco di blocchi nelle rispettive aree omogenee

<b>N. Area omogenea</b>	<b>Percentuale di attività</b>	<b>Classe di attività</b>
<b>S1</b>	N.v.	MEDIA
<b>S2</b>	N.v.	BASSA
<b>S3</b>	42 %	MEDIA

### PERICOLOSITÀ PRELIMINARE

La carta della Pericolosità Preliminare (TAV. 2S) è stata realizzata analizzando le traiettorie di caduta lungo 10 profili di caduta.

#### *Parametri inseriti nel modello matematico*

Ai vertici dei segmenti che costituiscono i profili è stata assegnata una deviazione standard pari a  $St.Dev = 0,1$ . I parametri che definiscono i materiali nei profili sono elencati nella successiva tabella 16;



**TABELLA 16:** parametri che definiscono le caratteristiche dei materiali lungo i profili modellizzati

Materiale pendio	$R_n$	St. dev.	$R_t$	St. dev.	$\Phi$	St. dev.	Rugosità (st. dev.)
Detrito vegetato Terreno	0,30	0,05	0,83	0,05	24,00	0,05	0,20
Roccia	0,42	0,05	0,92	0,05	30,00	0,05	0,20
Roccia subaffiorante	0,35	0,04	0,85	0,04	30,00	2,00	0
Detrito	0,33	0,05	0,85	0,05	41,00	0,05	0,2
Suolo	0,25	0,05	0,55	0,05	21,00	0,05	0,20
Asfalto	0,40	0,04	0,90	0,04	30,00	2,00	0,20

I parametri utilizzati per modellizzare le condizioni iniziali della simulazione sono elencati nella successiva tabella 17. Per la simulazione del rotolamento dei massi appoggiati sul pendio sono stati utilizzati i parametri elencati nella seguente tabella 18.

**TABELLA 17:** valori dei parametri iniziali della simulazione per i blocchi che si staccano dalle pareti

	Valore	St. dev.
$V_{\text{verticale}}$	0,2 m/s	0,2
$V_{\text{orizzontale}}$	0,2 m/s	0,2
Massa	800 kg - 3250 kg	0,2
Velocità angolare	0,2 m/s	0,2

**TABELLA 18:** valori dei parametri iniziali della simulazione per i blocchi sparsi sul pendio

	Valore	St. dev.
$V_{\text{verticale}}$	0,001 m/s	0,2
$V_{\text{orizzontale}}$	0,001 m/s	0,2
Massa	800 kg	0,2
Velocità angolare	0,001 m/s 1	0,2

I profili utilizzati per le simulazioni, le traiettorie ottenute e i grafici relativi a energia, velocità e altezza di volo, sono riportati in allegato 6.



Grazie ai risultati delle simulazioni matematiche sono state costituite, per ogni zona omogenea, le fasce di pericolosità preliminare H4, H3 ed H2 a seconda delle percentuali di arresto dei massi ottenute.

E' stata aggiunta, la fascia di pericolosità preliminare H1 (bassa pericolosità).

#### PERICOLOSITÀ

La zonazione della Pericolosità (TAV. 3N) è ottenuta dalla sovrapposizione della zonazione preliminare con le percentuali di attività di ogni zona omogenea.

A seconda che l'attività sia stata definita ALTA, MEDIA o BASSA, i valori delle classi di pericolosità relativa sono stati aumentati di 1, mantenuti uguali o diminuiti di 1. Sono state ottenute 5 fasce di pericolosità, appartenenti alle classi H4, H3, H2, H1 e H0.

La classe H0 (Pericolosità potenziale) è il risultato dell'abbassamento della classe di pericolosità preliminare H1 ad H0 nelle aree omogenee con BASSA propensione al distacco.



## 7. ZONAZIONE DEL RISCHIO

La zonazione del rischio è ottenuta sovrapponendo la carta delle *Categorie d'uso del Suolo* (TAV. 4N e 4S) con quella della pericolosità (TAV 3N e 3S). Le classi di rischio sono: R4, rischio elevato; R3, rischio alto; R2, rischio medio; R1, rischio basso. Le categorie d'uso del suolo sono riportate in tabella 19.

Al fine di individuare le aree appartenenti alle classi sopraindicate è stato fatto riferimento alla variante n. 1 del *Piano Regolatore Generale* del Comune di Casnigo, approvata dal Consiglio Comunale con delibera n. 2 del 21 gennaio 2005.

Le molteplici classi presenti nel PRG sono state accorpate nelle 4 classi di elementi a rischio necessarie. La suddivisione ottenuta è riportata nelle TAV. 4N e 4S. Di seguito è riportata la matrice che consente la definizione delle classi di rischio (R) in base alle classi di pericolosità (H) e alle classi degli elementi a rischio (E).

E' stata in questo modo redatta la **Carta del rischio** (TAV. 5N e 5S) relativa al fenomeno di caduta massi.

**Tabella 19:** Metodo di classificazione degli elementi a rischio in base alle categorie di uso del suolo

Classi di elementi a rischio	CATEGORIE D'USO DEL SUOLO
E1	Zona boschiva Zona agricola non edificabile Demanio pubblico non edificato o edificabile
E2	Zona agricola generica (con possibilità di edificazione) Infrastrutture pubbliche (strade comunali o consortili non strategiche) Zona di protezione ambientale, rispetto, verde privato Parchi, verde pubblico non edificato
E3	Infrastrutture pubbliche (strade statali, provinciali e comunali strategiche, ferrovie; lifelines: oleodotti, elettrodotti, acquedotti) Zona per impianti tecnologici e discariche RSU o inerti; zona di cava
E4	Centri urbani Nuclei rurali minori di particolare pregio Zona di espansione Zona artigianale, industriale, commerciale Servizi pubblici prevalentemente con fabbricati Infrastrutture pubbliche (infrastrutture varie principali strategiche) Zona discarica speciali o tossico-nocivi Zona alberghiere Zona per campeggi e villaggi turistici



**TABELLA 20:** Matrice per la classificazione del rischio (R) in relazione alla pericolosità (H) e alle categorie d'uso del suolo (E)

	H1	H2	H3	H4	H5
E1	R1	R1	R1	R1	R2
E2	R1	R1	R2	R2	R3
E3	R1	R2	R2	R3	R4
E4	R1	R2	R3	R4	R4



## **8. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE**

### **8.1 Casnigo Nord**

La maggior parte del territorio preso in esame è stato classificato con un rischio basso, R1. Ciò è dovuto al fatto che la presenza di obiettivi sensibili (edifici, infrastrutture,...) è concentrata nel fondovalle mentre il versante è quasi totalmente occupato da boschi e prati.

Ciò detto, si comprende come le aree a maggior rischio si concentrino a ridosso della S.S. 671. In questa fascia di territorio troviamo aree a rischio molto alto, R4, nelle aree omogenee N1 e N3. Una lunga fascia a pericolosità alta R3 e media R2 si estende parallelamente la strada statale della Valle Seriana, comprendendo l'asse viario per un lungo tratto.

La presenza, a monte della S.S. 671, di un canale di derivazione delle acque del Serio costituisce nelle simulazioni un ostacolo lungo la possibile traiettoria di caduta dei blocchi e abbassa il rischio di una fascia di terreno a valle del canale per una lunghezza di circa 600 m. Nel complesso, tuttavia, il fondovalle risulta caratterizzato da un elevato livello di rischio per le infrastrutture che vi si concentrano ed è pertanto consigliabile la predisposizione di un progetto preliminare di messa in sicurezza.

Si vuole sottolineare come alcuni privati abbiano già operato in tal senso al fine di proteggere i propri beni, installando delle reti paramassi sostenute da putrelle e funi d'acciaio.

### **8.2 Casnigo Sud**

Anche in questa zona la categoria di rischio più rappresentata è la R1 (rischio basso). Le aree classificate come R2 (rischio medio) sono concentrate nella parte nord ed in alcune fasce che si sviluppano parallelamente al fondovalle, dove si concentrano i potenziali obiettivi sensibili.

Le aree a rischio alto (R2) sono concentrate nell'area omogenea S2. Le aree a rischio molto elevato (R1) hanno scarsa estensione e sono localizzate nel settore dell'area omogenea S1.



Indipendentemente dalla classe di rischio gli insediamenti produttivi e la S.P. 42 (Via lungo Romna), sviluppati nel fondovalle, risultano a rischio per ciò che concerne la caduta massi e pertanto, come per l'area Nord, è consigliabile la predisposizione di un progetto preliminare organico di messa in sicurezza che riguardi l'intero tratto a rischio e non limitato alle singole proprietà private.

Dott. Geol Renato Caldarelli

Dott. Geol. Massimo Elitropi

Dott. Simone Scola