

REGIONE LOMBARDIA

PROVINCIA DI BRESCIA

COMUNE DI ISEO

ANALISI DEL DISSESTO DEI VERSANTI A VALLE DELLE LOCALITÀ: “ROCCA SAN GIORGIO”, “SAN FERMO” E “MONTE DEL CRILF”

STUDIO GEOLOGICO TECNICO E ANALISI CADUTA MASSI

INDICE

1.	PREMESSA	4
2.	DESCRIZIONE DEL METODO	6
2.1.	Definizione delle dimensioni e forma dei massi di progetto	6
2.2.	Definizione delle traiettorie di caduta massi.....	7
2.3.	Descrizione del codice di calcolo utilizzato nelle simulazioni	7
2.4.	Attribuzione del grado di pericolosità preliminare	12
2.5.	Valutazione dello stato di attività relativa delle zone sorgente	13
2.6.	Attribuzione del grado di pericolosità finale	14
2.7.	Indicazioni progettuali di intervento.....	14
2.8.	Definizione delle classi di fattibilità	15
3.	ZONA A – “ROCCA SAN GIORGIO”	16
3.1.	Inquadramento geologico (Tavola 2 – Zona A).....	17
3.2.	Tavola 3 – zona A “Carta geologico tecnica con elementi morfologici”	17
3.3.	Rilievi geomeccanici speditivi.....	19

3.4. Caratterizzazione dell'ammasso roccioso e possibili cinematismi da crollo.....	21
3.4.1. Classificazione di Beniaowski o indice RMR	21
3.4.2. Classificazione di Romana o indice SMR	22
3.5. Analisi massa di progetto, traiettorie di caduta e arresti.....	24
3.6. Tavola 4 – zona A “Carta della pericolosità preliminare”	34
3.7. Stato di attività relativa delle zone sorgenti dei crolli	35
3.8. Opere di difesa esistenti	36
3.9. Risultati modellazione in corrispondenza delle sezioni di controllo	37
3.9.1. Considerazioni relative alle traiettorie A-A' e B-B'	42
3.9.2. Considerazioni relative alla traiettoria C-C'	42
3.9.3. Considerazioni relative alle traiettorie D-D' e E-E'	43
3.9.4. Considerazioni relative alle traiettorie F-F' e G-G'	44
3.10. Tavola 5 – zona A “Carta della pericolosità finale”	45
3.11. Indicazioni progettuali di intervento Zona A – “Rocca S. Giorgio”	47
4. ZONA B – “SAN FERMO”	50
4.1. Inquadramento geologico (Tavola 2 – Zona B).....	50
4.2. Tavola 3 – zona B “Carta geologico tecnica con elementi morfologici”	50
4.3. Caratterizzazione di massima dell'ammasso roccioso.....	52
4.4. Analisi massa di progetto, traiettorie di caduta e arresti.....	53
4.5. Tavola 4 – zona B “Carta della pericolosità preliminare”	54
4.6. Stato di attività relativa delle zone sorgenti dei crolli	63
4.7. Opere di difesa esistenti	64

4.8. Risultati modellazione in corrispondenza delle sezioni di controllo	65
4.8.1. Considerazioni relative alle traiettorie A-A', B-B' e C-C'	70
4.8.2. Considerazioni relative alla traiettoria D-D'	70
4.8.3. Considerazioni relative alle traiettorie E-E', G-G' ed H-H'	70
4.8.4. Considerazioni relative alla traiettoria F-F'	70
4.9. Tavola 5 – zona B “Carta della pericolosità finale”	71
4.10. Indicazioni progettuali di intervento Zona B “San Fermo”	73
5. ZONA C – “MONTE DEL CRILI”	75
5.1. Inquadramento geologico (Tavola 2 – Zona C).....	75
5.2. Tavola 3 – zona B “Carta geologico tecnica con elementi morfologici”	77
5.3. Caratterizzazione di massima dell’ammasso roccioso.....	77
5.4. Analisi massa di progetto, traiettorie di caduta e arresti.....	78
5.5. Tavola 4 – zona C “Carta della pericolosità preliminare”	88
5.6. Stato di attività relativa delle zone sorgenti dei crolli	88
5.7. Risultati modellazione in corrispondenza delle sezioni di controllo	89

1. PREMESSA

L'obiettivo del presente studio è quello di caratterizzare, anche mediante l'applicazione di modelli numerici, lo stato del dissesto in tre aree del comune di Iseo (vedi Tavola 1) risultate essere oggetto di fenomeni di crollo che, per la morfologia e collocazione delle aree stesse, sono stati giudicati potenzialmente in grado di interessare porzioni di insediamenti abitativi o della rete viaria.

Al termine delle analisi e a completamento delle stesse sono sviluppate, laddove ritenuto necessario, delle ipotesi di interventi da adottare nelle aree risultate maggiormente critiche.

La prima area esaminata, nel presente studio denominata “Zona A – Rocca San Giorgio” comprende quella porzione di versante che dalla Rocca San Giorgio scende verso la s.s. n° 510 e la frazione di Covelo.

Tale area è stata in tempi recenti interessata da fenomeni di crollo (vedi Zona A – Tavola 3) dei quali il più recente del volume di circa 0.1 m^3 , dopo aver lambito le barriere paramassi esistenti, realizzate a protezione di una casa nei pressi dell'incrocio tra Via Roma e la s.s. n° 510, ha attraversato la strada sopra citata.

Un altro evento del volume di circa 0.3 m^3 , ha interessato invece la strada interna che, a partire dai pressi della rotonda, sale lungo il versante, mentre il terzo evento di un certo interesse ha coinvolto la porzione più orientale dell'area esaminata a monte rispetto alla sorgente “Covelo”.

In quest'ultimo caso il masso cartografato (n° 3 in carta), del volume approssimativo di 4.0 m^3 , è posto all'interno di un'area di accumulo di frana più ampia che comprende altri blocchi di dimensioni minori.

La seconda area presa in esame, denominata “Zona B – San Fermo”, considera la porzione di versante compresa tra San Fermo e la frazione di Pilzone.

L'attività recente dell'area per quanto riguarda la caduta massi è testimoniata, oltre che da alcune evidenze di distacchi sulle pareti (vedi Zona B – Tavola 3), dalla presenza di un blocco, del volume di circa 0.4 m^3 , che ha colliso contro le barriere paramassi esistenti e che è posto all'interno di un più ampio accumulo di frana.

Anche in passato l'area è stata interessata da crolli fra i quali si ricorda un evento (novembre 1985) che ha portato un blocco roccioso fin nei pressi di casa Consolini.

Proprio in conseguenza dell'attività franosa dell'area sono state realizzate in passato le barriere paramassi sopra citate e alcune reti paramassi addossate rinvenute in corrispondenza di un impluvio nella porzione orientale dell'area.

La terza area considerata, denominata "Zona C – Monte del Crili", prende in esame l'area compresa tra il Monte del Crili, il Monte Cognolo e la frazione di Dangoli.

In questo caso l'attività di crolli recenti avvenuti nell'area è testimoniata da una serie di nicchie di distacco piuttosto evidenti presenti sulle pareti del Monte del Crili.

Lungo il versante alla base delle pareti è inoltre presente un'area di accumulo di blocchi stabilizzata solo in parte dalla vegetazione e che si estende fino alla quota di circa 375 m s.l.m..

In considerazione sia dell'effettiva presenza di un certo grado di rischio per alcuni edifici e strade presenti nelle aree indicate, sia per venire incontro alla percezione di pericolo diffuso espressa dagli abitanti, su incarico dell'Amministrazione Comunale si è elaborato il presente studio per la valutazione e la zonazione della pericolosità da frane di crollo in accordo con la procedura prevista nei "Criteri attuativi l.r. 12/05 per il governo del territorio- Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio" (D.G.R. 22/12/2005 n.8/1566).

A tale scopo si è proceduto sinteticamente, dopo un breve ma necessario inquadramento geologico, litologico e geomorfologico a:

- analizzare, mediante sopralluoghi, le pareti rocciose presenti nelle diverse aree di indagine caratterizzando l'ammasso roccioso tramite l'esecuzione di rilievi geomeccanici là dove possibile;
- scegliere con un criterio oggettivo le traiettorie di potenziale caduta dei massi;
- definire, in base alle evidenze dei distacchi verificatisi in passato e ai blocchi presenti lungo i pendii analizzati, la dimensione dei massi di progetto da utilizzare per la modellazione;
- simulare la caduta massi;
- elaborare i dati di analisi e definire i differenti gradi di pericolosità per ciascuna area;
- suggerire eventuali interventi a difesa del territorio.

2. DESCRIZIONE DEL METODO

Il lavoro è stato suddiviso concettualmente ed operativamente in due fasi: una conoscitiva e una di analisi.

La prima fase è consistita nella raccolta, verifica e valutazione critica dei dati esistenti e in una serie di rilevamenti e indagini in situ effettuate con lo scopo di inquadrare la geologia e la geomorfologia delle singole aree e lo stato attuale del dissesto. I risultati ottenuti in tale fase sono confluiti nella realizzazione, per ciascuna area, delle Tavole 2 e 3 che descrivono appunto l'assetto geologico, oltre che fornire tutta una serie di dettagli relativi ad esempio al grado di fratturazione delle pareti, alla presenza di nicchie di distacco recenti, alla presenza di blocchi già parzialmente svincolati, ad eventuali opere di difesa già realizzate.

La seconda fase è consistita invece nelle analisi di stabilità s.s. effettuate mediante l'applicazione di simulazioni numeriche in grado di descrivere con sufficiente accuratezza il fenomeno di caduta massi e in una valutazione della pericolosità sia preliminare che finale all'interno delle singole aree. I risultati ottenuti in tale fase sono confluiti nella realizzazione, per ciascuna area, delle Tavole 4 e 5 che illustrano rispettivamente la pericolosità preliminare e finale.

2.1. Definizione delle dimensioni e forma dei massi di progetto

I rilevamenti e le indagini effettuate in situ hanno permesso l'individuazione di morfologia e volumi caratteristici dei massi già distaccatisi all'interno di ciascuna delle aree considerate e di quelli potenzialmente rimuovibili.

Sulla base di ciò e, laddove tecnicamente possibile, di rilievi geomeccanici in grado di definire lo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso sono stati considerati i volumi dei blocchi maggiormente rappresentativi per ciascuna area intesi come i volumi modali.

Qualora all'interno dello stesso sito siano presenti aree caratterizzate da differenti volumetrie modali dei blocchi distaccati sono stati considerati più di un volume significativo associando ciascuno alle relative traiettorie.

Una volta stabilito il volume dei blocchi maggiormente rappresentativo del sito questo è stato attribuito ad un masso definito "masso di progetto" da utilizzare nelle simulazioni numeriche.

Una proprietà fondamentale per le analisi di caduta massi è inoltre la forma del masso che, similmente alla rugosità della superficie del pendio contribuisce alla casualità della dinamica di caduta e definisce tipologia di movimento e rimbalzi.

L'utilizzo del codice di calcolo descritto nel § 2.3 impone l'attribuzione al "masso di progetto" di una morfologia semplificata sferica, cilindrica o discoidale.

2.2. Definizione delle traiettorie di caduta massi

Le traiettorie di caduta massi utilizzate per la creazione del modello sono state individuate sia sulla base del riconoscimento di traiettorie effettivamente già percorse da blocchi, sia sulla presenza di impluvi e vallecole in grado di rappresentare delle vie preferenziali per la caduta di blocchi e, dove non fossero evidenti queste due caratteristiche, mediante il criterio di coprire, attraverso le simulazioni, l'intero versante preso in analisi nella maniera più uniforme possibile.

A partire dalla base topografica costituita dal rilievo aerofotogrammetrico del territorio comunale sono stati ricostruiti i profili longitudinali corrispondenti a ciascuna traiettoria mediante la suddivisione della stessa in segmenti a differente pendenza. A ciascun segmento, sulla base delle osservazioni effettuate nella fase conoscitiva, è stata assegnata la relativa "morfologia" che consiste nell'attribuzione a ciascuno di un determinato coefficiente di rugosità, di un coefficiente di restituzione tangenziale e uno di restituzione normale.

Il *coefficiente di rugosità* simula l'interazione delle irregolarità della superficie del terreno con il masso ed è quindi funzione di entrambe le grandezze (vedi § 2.3).

Il *coefficiente di restituzione tangenziale* determina la misura in cui la componente della velocità del masso parallela al pendio diminuisce nell'impatto. Essa è funzione della vegetazione presente lungo il pendio e in misura minore dal materiale del pendio.

Il *coefficiente di restituzione normale* è una misura della variazione della velocità normale rispetto al pendio prima dell'impatto confrontata alla velocità normale successiva all'impatto. È funzione della rigidità della superficie del pendio.

2.3. Descrizione del codice di calcolo utilizzato nelle simulazioni

Il codice di calcolo utilizzato (PcMassi ©Bruschi Alberto) è derivato, con modificazioni, dal modello noto come CRSP (Colorado Rockfall Simulation Program) sviluppato da Pfeiffer et al. (1988,1990, 1993) e attualmente largamente utilizzato negli Stati

Uniti (Branwer, 1994); esso è basato su un modello numerico di tipo stocastico che, pur appartenendo alla categoria dei modelli *lumped-mass*, è in grado di tenere conto della dimensione e della forma del masso.

Per ogni traiettoria sono state prese in considerazione 1000 simulazioni di caduta massi.

Per descrivere il movimento del masso lungo un versante, il modello applica equazioni di accelerazione gravitazionale e di conservazione di energia.

Le ipotesi alla base dell'algoritmo di calcolo sono:

- Tutti i calcoli vengono sviluppati in forma bidimensionale.
- Si assume che il masso non si frantumi all'impatto durante la caduta, mantenendo quindi costanti forma e dimensione, che influenzano in modo sostanziale la ripartizione dell'energia di traslazione e di rotazione attraverso il momento d'inerzia, e simulando così il caso peggiore.
- La variazione statistica osservata nella realtà delle cadute massi aventi origine da uno stesso punto viene configurata variando casualmente l'angolo a cui avviene l'impatto tra un masso ed il pendio, entro limiti stabiliti dalla dimensione del masso e dal coefficiente di rugosità proprio del segmento; la tipologia del rimbalzo è sostanzialmente determinata proprio da tale angolo di impatto (Wu, 1984).

La simulazione della caduta massi inizia entro una zona verticale (zona di alimentazione) che rappresenta il punto, o i punti, di partenza del masso al quale sono assegnate le componenti nominali iniziali di velocità in orizzontale e in verticale. Su tali componenti di velocità agisce l'accelerazione gravitazionale finché la traiettoria del masso interseca il versante alla velocità risultante V_1 .

Ad ogni impatto, la velocità, l'angolo di impatto, e la velocità di rotazione vengono utilizzate per calcolare nuove componenti di velocità e di velocità di rotazione.

Al punto d'impatto, l'angolo della pendice (θ) viene fatto variare con tecnica random entro e non oltre il limite stabilito dalla variazione massima probabile relativa al segmento considerato (θ_{\max}).

La rugosità della superficie (S), definita come la variazione perpendicolare del pendio entro una distanza del pendio uguale al raggio del masso (descrive così l'angolo del pendio

come lo vede il masso al momento dell'impatto) e il raggio del masso (R) vengono utilizzati nel calcolo della variazione massima consentita nell'angolo θ_{\max} con la:

$$\theta_{\max} = \tan^{-1} (S_{\max} / R)$$

L'angolo di variazione (θ) è pertanto un angolo selezionato casualmente, inferiore rispetto al massimo calcolato, che determina la variazione nell'inclinazione del pendio (ϕ).

L'angolo di impatto " α " viene utilizzato per scomporre la velocità d'ingresso (V_1) in componenti di velocità tangenziale ($V_{t1}=V_1 \cos\alpha$) e normale ($V_{n1}=V_1 \sin\alpha$) rispetto alla superficie del pendio.

Un nuovo valore di velocità tangenziale, dal teorema della conservazione dell'energia viene calcolato dalla:

$$(1/2 I \omega_1^2 + 1/2 M V_{t1}^2) f(F) SF = 1/2 I \omega_2^2 + 1/2 M V_{t2}^2$$

dove:

M = massa del masso

I = momento d'inerzia del masso

$I = 2 M R^2/5$ (masso sferico)

$I = M R^2/2$ (masso discoidale)

$I = M R^2/4 + M L^2/ 12$ (masso cilindrico; L = lunghezza)

ω_1 = velocità iniziale di rotazione

ω_2 = velocità finale di rotazione

V_{t1} = velocità tangenziale iniziale

V_{t2} = velocità tangenziale finale

$f(F)$ = Funzione d'attrito = $R_t + (1-R_t) / \{ [(V_{t1} - \omega_1 R)/20]^2 + 1.2 \}$

SF = fattore di scala = $R_t / \{ [V_{n1} / (250 R_n)]^2 + 1 \}$

R_t = misura della resistenza d'attrito al movimento parallelo rispetto al versante

R_n = misura del grado di elasticità in una collisione normale rispetto al versante

In qualsiasi collisione non perfettamente elastica, l'energia cinetica viene perduta.

All'impatto fra un masso e il pendio, la componente di energia cinetica parallela rispetto al pendio e l'energia di rotazione sono attenuate dall'attrito e da collisioni con elementi perpendicolari al pendio.

L'attrito è una funzione del materiale costituente il versante, determinata sia dal coefficiente tangenziale sia dall'eventualità che il masso stia inizialmente rotolando o scivolando lungo la superficie.

La velocità normale al pendio riveste anch'essa un ruolo fondamentale sulla perdita di energia cinetica tangenziale al pendio. Un aumento della velocità normale rispetto alla superficie dà come risultato una forza normale maggiore durante l'impatto.

Il fattore di scala permette una correzione per le aumentate resistenze di attrito dovute ad un aumento della forza normale.

L'equazione su riportata può essere risolta al fine di ricavare nuove velocità tangenziali e di rotazione, imponendo la seguente relazione tra velocità di rotazione e velocità tangenziale:

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

Questa equazione descrive la situazione in cui il masso rotola, anziché scivolare, lungo la superficie durante l'impatto.

Da osservazioni del rimbalzo dei massi si è dimostrato che, a prescindere dalla velocità di rotazione iniziale, i massi si distaccano sempre dalla superficie rotolando.

La relazione vista sopra rende possibile l'applicazione dell'energia di rotazione alla velocità tangenziale, o l'applicazione della velocità tangenziale alla velocità di rotazione.

L'energia perduta durante il rimbalzo è determinata dalla differenza tra le velocità rotazionali e tangenziali, la velocità normale al pendio e il coefficiente tangenziale.

Le costanti utilizzate nella funzione di attrito e il fattore di scala sono stati determinati attraverso prove sperimentali.

Risolvendo l'eguaglianza per ricavare la nuova velocità tangenziale si ha:

$$V_{n2} = \sqrt{\frac{R^2(I\omega^2 + MV_{n1}^2)f(F)SF}{I + MR^2}}$$

La nuova velocità normale è data dalla:

$$V_{n2} = \frac{V_{n1}R_n}{1 + \left(\frac{V_{n1}}{30}\right)^2}$$

Questa equazione utilizza il coefficiente di restituzione (R_n) e un fattore di scala funzione della velocità $[1/(1 + V_{n1}/30)^2]$ per determinare la nuova velocità normale (V_{n1}).

Tale fattore di scala impone una correzione per la diminuzione del coefficiente normale di restituzione man mano che la velocità di impatto aumenta.

Questo fattore rappresenta una transizione da un rimbalzo più elastico a basse velocità verso un rimbalzo molto meno elastico causato dall'accresciuta frantumazione del masso e dalla formazione di impronte sul pendio a velocità di impatto più elevate (Habib, 1976).

Dopo ogni rimbalzo il programma esegue una iterazione per trovare il lasso di tempo trascorso fino al rimbalzo successivo. Il tempo trascorso è calcolato dalle velocità x e y, dall'accelerazione gravitazionale e dal profilo del pendio. Dopo aver stabilito una nuova posizione di impatto, il rimbalzo successivo viene calcolato come in precedenza.

Se la distanza percorsa dal masso tra un rimbalzo e il successivo è inferiore al suo raggio, si considera che il masso stia rotolando e gli viene data una nuova posizione x, y uguale ad una distanza di un raggio rispetto alla sua posizione precedente.

Questo procedimento consente di configurare un masso che rotola sotto forma di una serie di brevi rimbalzi, in maniera simile al modo in cui un masso irregolare rotola su di una superficie irregolare.

Al termine della simulazione delle cadute il programma permette:

- la restituzione grafica delle traiettorie di caduta
- la restituzione grafica dell'involuppo massimo delle velocità, dell'energia cinetica e dell'altezza dei rimbalzi lungo la sezione del versante

- l'analisi statistica in termini di numero di massi transitati, velocità, energia cinetica, altezza del rimbalzo, ad una stazione di monitoraggio la cui posizione sull'intercetta verticale X è imposta preliminarmente.
- la restituzione delle distanze d'arresto lungo il pendio sia come numero dei massi che come percentuale relativa (i dati sono raccolti ogni metro)

Il codice di calcolo descritto è stato oggetto di conferenza a:

Corso di Specializzazione su: I versanti in roccia: Stabilità, Dinamica dei crolli, Interventi – Istituto di Scienze della Terra, sede di Bellinzona (CH), 2001.

Giornate di Studio 2002 – Rotolamento Massi, Presentazione Modelli – Regione Autonoma Valle d'Aosta, 2002.

2.4. Attribuzione del grado di pericolosità preliminare

Sulla base dei risultati ottenuti dalle simulazioni di caduta massi è stata eseguita una zonazione longitudinale delle traiettorie di caduta suddividendole in tre zone:

- transito e di arresto del 70% dei blocchi
- arresto del 95% dei blocchi
- arresto del 100% dei blocchi

Queste percentuali vengono valutate sulla totalità delle simulazioni effettuate per ciascuna delle traiettorie.

Alle zone sopra indicate sono state rispettivamente attribuite, in accordo ai “Criteri attuativi l.r. 12/05 per il governo del territorio- Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio”, le classi di pericolosità relative H4 (70%), H3 (95%) e H2 (100%).

Il termine preliminare attribuito alla pericolosità è dovuto al fatto che in questa fase il grado di pericolosità non è ancora dipendente dal grado di attività delle pareti che rappresenta il successivo passo concettuale (vedi §2.5).

Dall'osservazione delle carte di pericolosità preliminare appare inoltre evidente come esse non tengano conto né delle eventuali opere di difesa già esistenti nell'area né del fatto che gli

edifici presenti costituiscano essi stessi delle barriere in grado di salvaguardare la porzione di territorio a valle.

Tenendo presenti le considerazioni sopra espresse la carta della pericolosità preliminare è comunque utile per una visualizzazione immediata delle zone di arresto dei blocchi ottenute dalla simulazione.

2.5. Valutazione dello stato di attività relativa delle zone sorgente

I rilievi geologici tradizionali unitamente ai rilievi geomeccanici e alle osservazioni effettuate in varie occasioni nelle aree oggetto di indagine hanno permesso di individuare, all'interno delle zone "sorgente", delle aree considerate sufficientemente omogenee che sono state distinte in funzione di un differente grado di attività.

Tale attività va intesa come la maggiore o minore predisposizione all'innescio di caduta massi ed è stata valutata tramite una serie di criteri:

- fratture aperte con evidenze di attività associate a possibili cinematismi
- zone intensamente fratturate
- superfici non alterate che testimoniano distacchi recenti
- emergenze di acqua alla base dei blocchi

Sulla base di questi criteri per ogni area ritenuta omogenea è stato stimato il grado di attività suddividendo il sito in tre gruppi a differente attività relativa: alta, media e bassa.

È importante sottolineare come il grado di attività considerato assuma un significato solamente dal confronto tra le diverse zone facenti parte di un'unica area. Il termine "relativo" affiancato al "grado di attività" descrive infatti esclusivamente come una porzione del sito sia stata ritenuta maggiormente attiva rispetto ad un'altra, ma non fornisce alcuna indicazione per un confronto con un sito diverso.

Da ciò consegue come una zona collocata in un sito determinato, definita con un alto grado di attività relativa, possa avere teoricamente un'effettiva attività dovuta a crolli di massi inferiore rispetto ad un'altra zona, con un grado di attività relativa basso, appartenente ad un sito differente.

2.6. Attribuzione del grado di pericolosità finale

Al termine dei passaggi sopraesposti è stato possibile giungere ad un'attribuzione del grado di pericolosità finale.

Questa ulteriore zonazione della pericolosità è stata ottenuta partendo dai valori di pericolosità preliminare (vedi § 2.4) che sono stati aumentati di uno, mantenuti costanti o diminuiti di uno a seconda che le pareti soprastanti siano state classificate ad alta, media o bassa attività (vedi § 2.5). Si ottiene quindi ad una carta con in totale cinque possibili classi di pericolosità: da H1 a H5.

Anche in questo caso è importante sottolineare come la zonazione della pericolosità che risulta dall'applicazione di questa procedura, in accordo con i "Criteri attuativi l.r. 12/05" sopra citati, sia relativa al sito oggetto di indagine e non confrontabile coi risultati ottenuti in altri siti. Questo perché ciascun sito risulterà sempre suddiviso in aree con pericolosità da bassa ad elevata indipendentemente dal valore assoluto della pericolosità.

2.7. Indicazioni progettuali di intervento

Una volta effettuata una zonazione della pericolosità si è cercato di individuare le situazioni più critiche emerse dalle indagini per suggerire gli interventi da attuare a difesa del territorio.

È bene specificare come, in generale, tali interventi si configurino come soluzioni in grado di ridurre il rischio naturale, ma non siano quasi mai in grado di eliminarlo.

Questo perché le aree da difendere sono generalmente complesse e la probabilità di un distacco di massi dalle pareti rocciose si può realizzare a diverse quote e in diversi tratti con frequenze e intensità differenti tra loro.

Inoltre è da tener presente che anche le simulazioni più raffinate risultano affette da differenti gradi di incertezza e sono sottoposte a semplificazioni che non possono necessariamente tener conto dell'estrema variabilità del sistema naturale.

In quest'ottica si ritiene che l'obiettivo da ricercare non possa essere considerato l'azzeramento del rischio, quanto una sua ragionata mitigazione secondo i criteri del buon operato e di una certa cautela progettuale.

2.8. Definizione delle classi di fattibilità

I risultati ottenuti dallo studio e confluiti nella redazione delle carte della pericolosità finale consentono, relativamente a ciascuna delle aree oggetto di indagine, una definizione delle classi di fattibilità che saranno recepite nella “Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano” che è in corso di stesura nell’ambito della definizione della “Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio”.

In virtù delle considerazioni sopraesposte circa la possibilità di confrontare i risultati di pericolosità ottenuti tra siti diversi, ne consegue la difficoltà di attuare una rigida correlazione tra le classi di pericolosità ottenute e le classi di fattibilità mediante un unico criterio valido per tutte le aree oggetto di indagine.

La Regione Lombardia, pur avendo espresso chiaramente questa limitazione d’uso intrinseca nel metodo, fornisce comunque, sempre nei criteri attuativi della l.r. 12/05, delle indicazioni in merito prevedendo in ogni caso un certo grado di elasticità:

PERICOLOSITÀ	CLASSI DI FATTIBILITÀ
H1 per crolli e crolli in massa	Classe 2/3 – modeste o consistenti limitazioni
H2 per crolli e crolli in massa	Classe 4/3 – gravi o consistenti limitazioni
H3-H5 per crolli e crolli in massa	Classe 4 – gravi limitazioni

Attraverso queste indicazioni e mediante i risultati sito specifici ottenuti dai rilievi di campagna e dalle simulazioni numeriche che hanno permesso di fare delle valutazioni relative al grado di attività assoluto delle pareti rocciose nonché sulle volumetrie e sulle energie in gioco si è giunti ad una ragionata attribuzione delle classi di fattibilità che, come già detto, saranno riportate sulla “Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano”.

3. ZONA A – “ROCCA SAN GIORGIO”

Quest’area, denominata nel presente lavoro “Zona A – Rocca San Giorgio” comprende quella porzione del versante che dalla Rocca San Giorgio scende verso la s.s. n° 510 e la frazione di Covelo, e si estende dalla quota di circa 360 m s.l.m. fino a circa 190 m s.l.m..

Come ricordato nella premessa l’area in oggetto è stata interessata sia nell’estate 2005 che nell’autunno scorso da fenomeni di crollo dei quali il più recente, del volume di circa 0.1 m^3 , dopo aver lambito le barriere paramassi realizzate nel 2005 a protezione di una casa nei pressi dell’incrocio tra Via Roma e la s.s. n° 510, ha attraversato la strada statale (vedi masso n° 1 – Tavola 3– Zona A e Tavola fotografica zona A).

Un altro evento (masso n° 2 nella medesima carta), del volume di circa 0.3 m^3 , ha interessato invece le vicinanze di un’abitazione posta lungo una strada interna che, a partire dai pressi della rotonda, sale lungo il versante.

In seguito a questi eventi sono state realizzate da parte della Regione Lombardia le seguenti opere di pronto intervento:

- allungamento della barriera paramassi realizzata nel 2005 verso SW fino al lambire l’orlo di scarpata di degradazione esistente (vedi Tavola Fotografica zona A) intercettando così la traiettoria del masso n° 1.
- realizzazione di un vallo paramassi alla base della scarpata sopraccitata.
- realizzazione di una nuova barriera paramassi a protezione dell’abitazione coinvolta dal crollo del masso n° 2.

La porzione più orientale dell’area esaminata, a monte rispetto alla sorgente “Covelo”, è stata interessata nell’estate 2005 da una frana di crollo (Tavola 3– Zona A e Tavola fotografica zona A).

La maggior parte dei blocchi rocciosi, per lo più di forma tabulare, si sono arrestati lungo il versante a breve distanza rispetto all’area di distacco. Il masso di maggiori dimensioni (masso n° 3 in carta – Tavola 3– Zona A) ha un volume approssimativo di 15.0 m^3 . Un masso del volume di circa 0.4 m^3 è rotolato lungo l’impluvio della sorgente Covelo, arrestandosi a monte dell’abitazione (masso n° 4 in carta).

3.1. Inquadramento geologico (Tavola 2 – Zona A)

Le pareti rocciose presenti nell'area in esame appartengono tutte alla formazione della "Maiolica" costituita da calcari pelagici biancastri e grigio chiari, in strati ben definiti di spessore da centimetrico e decimetrico, a frattura concoide e attraversati da frequenti suture stilolitiche. Sono presenti noduli e liste di selce di colore chiaro alla base e grigio scure alla sommità.

Il versante sottostante è interessato da una coltre di detrito di falda con uno spessore generalmente limitato e ricoperta da vegetazione arborea ad arbustiva. È costituita da elementi clastici di grossa e media pezzatura.

Nella porzione NE dell'area esaminata affiorano depositi glaciali costituiti da ghiaie e blocchi poligenici in matrice limosa.

Nella parte invece W e NW del sito affiorano invece depositi lacustri caratterizzati da litologie prevalentemente fini (limoso argillose) spesso con livelli di torba.

Le caratteristiche geologiche relative al sito in oggetto sono state riportate nella Tavola 2 – Zona A in scala 1:2000.

3.2. Tavola 3 – zona A "Carta geologico tecnica con elementi morfologici"

I risultati dei rilievi strutturali e dei sopralluoghi sono stati invece sintetizzati nella Tavola 3 – Zona A in scala 1: 2000.

I rilievi geologici tradizionali affiancati ai rilievi geomeccanici e alle diverse tecniche e metodologie adottate per lo studio dell'area hanno permesso di ricostruire gli elementi geomorfologici di maggiore interesse presenti nell'area.

L'area è caratterizzata dalla presenza sia di pareti rocciose continue sia di una zona piuttosto estesa, nella porzione centro orientale del sito, in cui gli affioramenti rocciosi costituiscono delle balze, generalmente di limitata estensione, che interrompono la vegetazione arborea e arbustiva.

La pareti rocciose continue che costituiscono la zona centrale del sito e quelle discontinue lungo il versante si presentano piuttosto fratturate e caratterizzate localmente dalla presenza di blocchi parzialmente svincolati e da segnali di distacchi recenti soprattutto per l'azione divaricante delle radici delle piante che risultano piuttosto abbondanti sull'intero versante.

Le pareti nella parte sud occidentale del sito, utilizzate come palestra di roccia, pur evidenziando anche in questo caso qualche blocco in parte svincolato, risultano generalmente meno fratturate e si ritiene che la frequentazione di queste pareti da parte degli sportivi possa rappresentare già di per sé un monitoraggio sufficientemente continuo in grado di segnalare il crearsi di situazioni di potenziale pericolo.

La roccia che costituisce le pareti dell'area intorno al *Büs del Quai* si presenta invece decisamente più massiccia e in questo caso le evidenze di distacchi recenti sono piuttosto sporadiche.

Un altro aspetto geomorfologico è la presenza di una scarpata di degradazione che interessa il detrito di versante. Tale scarpata, posta a SE rispetto all'incrocio tra Via Roma e la s.s. n°510, presenta un'altezza intorno ai 5 m ed è impostata in un materiale detritico a pezzatura molto variabile e comprendente anche grossi blocchi.

In prossimità del confine orientale dell'area è stato cartografato un accumulo di frana da crollo all'interno del quale, nella porzione più distale, è posto il blocco chiamato n° 3 in carta.

L'area sorgente consiste in balze rocciose discontinue dove risulta ben evidente l'area di distacco recente e l'azione delle radici che tendono ad allargare le discontinuità esistenti.

Dal punto di vista idrografico si evidenzia la presenza della sorgente carsica che emerge dal *Büs del Quai*. Trattasi di una sorgente temporanea che si attiva solamente in occasione di prolungate precipitazioni e che può originare delle piene improvvise che si riversano nell'area sottostante allagandola.

Durante i sopralluoghi effettuati la sorgente è risultata sempre asciutta, mentre è stata sempre notata una modesta emergenza idrica più a valle, ad est delle pareti utilizzate come palestra di roccia.

Un'altra sorgente si trova invece in prossimità del confine orientale dell'area indagata al di sopra dell'abitato di Covelo.

Sulla Tavola 3 sono indicate anche le opere di difesa già realizzate nell'area.

Le opere esistenti consistono in:

- barriera paramassi planare ad elevata deformabilità posizionata a tergo della casa in prossimità dell'incrocio tra Via Roma e la s.s. n° 510. Tale barriera presenta un'altezza di 2.5 m e uno sviluppo lineare iniziale di circa 50 m che è stato portato a 60 m in

tempi recenti mediante l'aggiunta di una campata verso SW. Tale integrazione si è resa necessaria dopo il verificarsi del crollo di un masso (n° 1 in carta) che ha attraversato la strada statale.

- barriera paramassi planare ad elevata deformabilità posizionata a protezione di un abitazione coinvolta dal crollo del masso n° 2. Tale barriera presenta un'altezza di 2.5 m e uno sviluppo lineare di circa 20 m.
- vallo paramassi realizzato a valle della scarpata di degradazione precedentemente descritta. Il vallo presenta un'altezza di circa 1.5 m ed è stato realizzato con inerti misti a materiale di risulta da demolizione.

3.3. Rilievi geomeccanici speditivi

Nel corso dei sopralluoghi effettuati sull'area sono stati eseguiti, laddove la morfologia dei luoghi consentiva l'avvicinamento delle pareti, due rilievi geomeccanici speditivi che hanno permesso la definizione delle condizioni medie dell'ammasso.

I risultati del rilievo sono stati presentati attraverso due schede riassuntive in cui sono stati riportati i valori medi delle misure effettuate.

Brevemente si descrivono le operazioni fondamentali che sono state svolte durante l'esecuzione del rilievo geomeccanico, in modo da fornire gli strumenti per una più chiara comprensione dei risultati proposti nelle schede riassuntive (vedi Tabelle 1 e 2).

Famiglie di discontinuità dell'ammasso: durante il rilievo *in situ* si sono distinte le discontinuità dell'ammasso roccioso sulla base della loro orientazione nello spazio (giacitura), definita da immersione ed inclinazione (es.: N193°/25°). I gruppi di discontinuità aventi una orientazione simile sono state distinte in famiglie a cui è stato attribuito un simbolo (St per la stratificazione, K_i per le altre discontinuità).

Spaziatura: è definita come la distanza media fra le discontinuità appartenenti ad una stessa famiglia.

Persistenza: il termine indica l'estensione areale di una discontinuità.

Alterazione dell'ammasso e delle discontinuità: è stata fatta una descrizione qualitativa sulla base di valutazioni visive.

Apertura delle discontinuità: si intende la distanza, misurata perpendicolarmente al piano della discontinuità tra le due pareti della stessa. I range riportati nella scheda sono quelli medi per ogni singola famiglia. È importante sottolineare come le aperture misurate in parete risultino sempre maggiori di quelle esistenti all'interno dell'ammasso, risentendo le prime dell'influenza di fattori esterni(es.: alterazione superficiale).

Riempimento: è stata segnalata l'eventuale presenza di materiale terrigeno, argilloso o di mineralizzazioni.

Resistenza a compressione uniassiale della roccia: è stata condotta una stima di questo parametro sulla base del Manual Index Test.

Condizioni di umidità: per gli scopi del presente lavoro ci si è limitati ad una valutazione qualitativa delle condizioni di umidità dell'ammasso roccioso.

RQD da Palmström: l'indice RQD (Deere, 1964) prevede la determinazione del recupero percentuale di carotaggio tenendo conto dei singoli spezzoni di carote aventi una lunghezza maggiore di 10 cm. Questo metodo consente una valutazione indiretta della qualità dell'ammasso roccioso. Non avendo avuto la possibilità di effettuare carotaggi il valore di RQD è stato ricavato dalla seguente espressione proposta da Palmström: $RQD = 115 - 3.3 J_V$ dove $J_V = 1/S_1 + 1/S_2 + 1/S_N$ con S le spaziature delle singole famiglie individuate.

Famiglie di discontinuità	St	K₁	K₂	K₃
Giacitura media(°)	N355/59	N268/64	N89/65	N179/58
Persistenza (m)	> 20	Da 3 a10	<1	<1
Alterazione	deb. alterata	deb. alterata	deb. alterata	deb. alterata
Ondulazione	ondulata rugosa	ondulata rugosa	ondulata rugosa	ondulata rugosa
Apertura (mm)	0.1 - 1	<0.1	<0.1	<0.1
Riempimento	sabbioso	assente	assente	assente
Spaziatura media (cm)	20	85	48	73

Tabella 1 – Risultati rilievi geomeccanici speditivi sulle discontinuità

Descrizione geologica	Formazione geologica della “Maiolica”
Giacitura media del pendio (°)	N340/68 nella porzione centro orientale dell’area N277/68 nella porzione occidentale dell’area
Alterazione dell’ammasso	Debolmente alterato
Resistenza a compressione (MPa) da Manual Indax Test (ISRM, 1978)	40
RQD da Palmström, 1982	82
Circolazione idrica	Tracce di umidità piuttosto diffuse; sono presenti due sorgenti di natura carsica

Tabella 2 – Risultati rilievi geomeccanici speditivi sull’ammasso roccioso

3.4. Caratterizzazione dell’ammasso roccioso e possibili cinematismi da crollo

Le classificazioni tecniche per giungere ad una caratterizzazione dell’ammasso si basano sull’esame di alcuni parametri significativi ottenuti dal rilievo geomeccanico. Tali classificazioni permettono di definire il comportamento meccanico dell’ammasso e di fornire adeguate basi tecniche per lo studio dei cinematismi di crollo.

3.4.1. Classificazione di Beniaowski o indice RMR

Tale classificazione si basa su un punteggio da assegnare all’ammasso roccioso, ricavato da cinque parametri:

- Resistenza alla compressione monoassiale
- RQD
- Spaziatura dei giunti
- Condizioni dei giunti: apertura, rugosità, grado di alterazione, presenza o meno di materiale di riempimento.
- Condizioni idrauliche

Tramite apposite tabelle viene attribuito a ciascun parametro un valore numerico. La somma algebrica dei cinque indici dà il valore dell’indice complessivo RMR dell’ammasso roccioso ($RMR = P1 + P2 + P3 + P4 + P5$).

Tale classificazione suddivide l'ammasso roccioso in cinque classi sulla base dei valori di RMR; a tali classi viene inoltre attribuito un campo di valori relativo alla coesione e all'angolo d'attrito.

3.4.2. Classificazione di Romana o indice SMR

L'autore assume l'indice RMR calcolato in precedenza e lo corregge in funzione di altri quattro parametri che descrivono le condizioni di orientazione delle famiglie di discontinuità in relazione al pendio:

- correzione per il parallelismo delle giaciture (F1)
- correzione per l'inclinazione dei giunti (F2)
- correzione per la giacitura dei giunti (F3)
- correzione per il tipo di opera in esame (F4)

da cui: $SRM = RMR - (F1 \times F2 \times F3) + F4$

La classificazione corretta in questo modo, prevede cinque classi in funzione del valore SMR e per ciascuna classe fornisce un'indicazione sulla qualità della roccia e una stima della stabilità dell'ammasso roccioso.

CLASSIFICAZIONE DELL'AMMASSO ROCCIOSO		Valore numerico	Classe dell'ammasso
RMR di base (Beniawski, 1972)		57	III corrispondente a MEDIOCRE
SRM (Romana, 1985)	Condizioni del sito per ROTTURE PLANARI o RIBALTAMENTI	29	IV corrispondente a SCADENTE
	Condizioni del sito per ROTTURE A CUNEO	63	III corrispondente a BUONA

Tabella 3 – Risultati classificazione dell'ammasso roccioso

Coesione di picco (kPa)	660
Coesione residua (kPa)	130
Modulo Elastico di picco (GPa)	11
Modulo Elastico residuo (GPa)	5
Angolo d'attrito di picco (°)	51
Angolo d'attrito residuo (°)	44

Tabella 4 – Parametri relativi all'ammasso roccioso

Dai risultati della classificazione dell'ammasso roccioso si ottiene come le condizioni generali dell'ammasso siano discrete, e come i meccanismi di distacco prevalenti risultino essere gli scivolamenti planari e i ribaltamenti.

Quest'ultima caratteristica dell'ammasso risulta confermata anche dalle osservazioni effettuate nel corso dei vari sopralluoghi e dipende essenzialmente dall'orientazione del versante rispetto all'immersione della discontinuità predominante.

Nella porzione centro orientale del sito in oggetto infatti, dove l'orientazione del pendio (N 340°) coincide essenzialmente con l'immersione della stratificazione (N 355°) il cinematismo predominante è rappresentato dagli scivolamenti planari (vedi Fotografie 1 e 2).



Fotografia 1 – Cinematismi mediante scivolamento planare (la freccia poggia sul piano di scivolamento e ne indica la direzione).



Fotografia 2 – Cinematismi mediante scivolamento planare (la freccia poggia sul piano di scivolamento e ne indica la direzione). La fotografia è relativa all'area di distacco del blocco n° 3 (vedi anche Tavola fotografica – zona A).

Nella porzione più occidentale del sito invece l'orientazione del pendio (N 277°) è differente dall'immersione della stratificazione (N 355°) e il cinematismo predominante risulta essere il ribaltamento dei blocchi (vedi Fotografia 3).

3.5. Analisi massa di progetto, traiettorie di caduta e arresti

I rilevamenti e le indagini effettuate in situ hanno permesso l'individuazione della morfologia e dei volumi caratteristici dei massi già distaccatisi e presenti lungo il versante e di quelli potenzialmente rimuovibili riconosciuti in parete.

Si ricorda che per volumi caratteristici si intendono i “volumi modali” che corrispondono a quelli maggiormente ricorrenti sulla base delle osservazioni effettuate.



Fotografia 3 – Cinematismi mediante ribaltamento (la freccia indica la direzione di possibile ribaltamento). La fotografia è relativa all’area utilizzata come palestra di roccia.

Nel caso in esame si è notata una certa disomogeneità nei volumi dei blocchi presenti sul sito in esame, in quanto la porzione centrale dello stesso è risultata caratterizzata da blocchi di dimensioni più contenute rispetto a quelli presenti nelle porzioni orientale ed occidentale.

Per questo motivo si è ritenuto più significativo e maggiormente in grado di rispecchiare la situazione reale utilizzare per le simulazioni numeriche tre differenti “massi di progetto” che sono stati associati alle relative traiettorie passanti per le porzioni orientale, centrale ed occidentale del sito.

L'utilizzo del codice di calcolo ha imposto inoltre l'individuazione di una morfologia semplificata del masso di progetto. I massi presenti in situ hanno generalmente un forma tabulare che è stata ritenuta maggiormente assimilabile, ai fini delle simulazioni numeriche, a quella discoidale.

Per ciascuna porzione del sito in esame sono state, come detto, considerate alcune traiettorie di discesa dei blocchi derivate sia dal riconoscimento di traiettorie effettivamente già percorse da blocchi o dalla presenza di impluvi in grado di canalizzare gli eventuali crolli, sia mediante il criterio di coprire, attraverso le simulazioni, l'intero versante preso in analisi.

Nella tabella seguente sono sintetizzate le dimensioni caratteristiche dei massi di progetto considerati e le relative traiettorie.

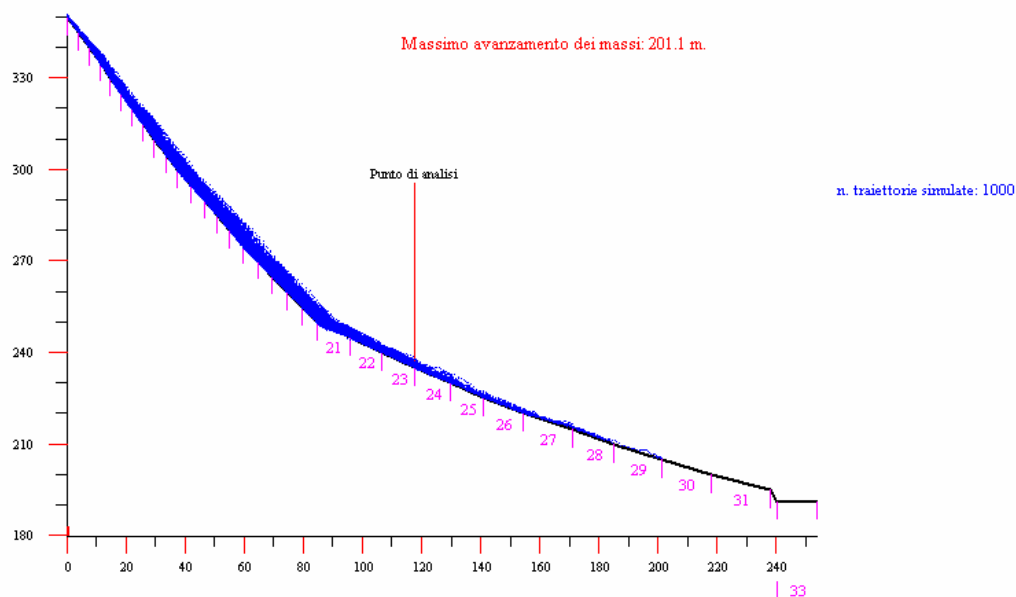
	Diametro (m) masso di progetto	Spessore (m) masso di progetto	Traiettorie relative
Porzione orientale	0.8	0.4	A-A'/B-B'/C-C'
Porzione centrale	0.6	0.3	D-D'/E-E'
Porzione occidentale	0.9	0.45	F-F'/G-G'

Per ogni traiettoria, in accordo ai “Criteri attuativi l.r. 12/05 per il governo del territorio - Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio” sono state effettuate 1000 simulazione di cadute.

I risultati della analisi in termini di velocità, energie cinetiche e altezze dei rimbalzi in corrispondenza delle sezioni di controllo ritenute significative verranno descritte nel § 3.9.

Di seguito vengono invece presentati, sezione per sezione, i risultati delle traiettorie di caduta e le distanze di arresto dei massi espresse in percentuale che sono servite per la realizzazione della tavola 4 – Zona A (vedi § seguente).

Sezione A-A' - ZONA A "San Giorgio"

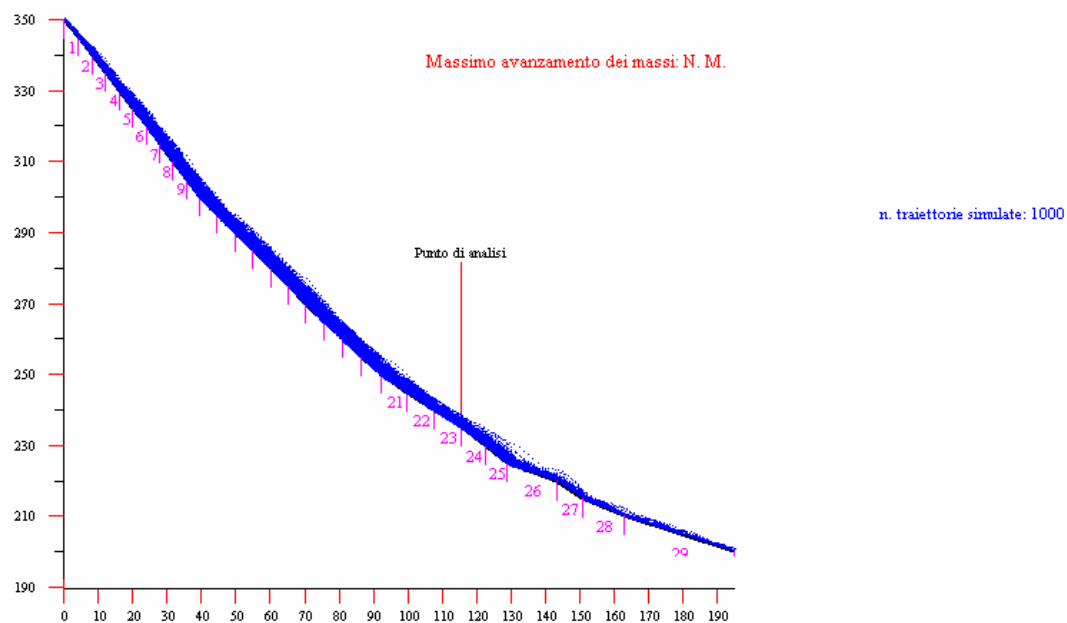


Sezione A-A'

D (m)	ΣN	%
10	32	3.2
20	63	6.3
30	110	11
40	161	16.1
50	245	24.5
60	318	31.8
70	358	35.8
80	385	38.5
90	538	53.8
100	790	79
110	895	89.5
120	957	95.7
130	982	98.2
140	984	98.4
150	985	98.5
160	991	99.1
170	993	99.3
180	995	99.5
190	996	99.6
200	1000	100

Dove: **D** = distanza dall'origine della sezione in m, **ΣN** = somma progressiva del numero di massi arrestatisi lungo il versante entro la distanza considerata e **%** = percentuale dei massi arrestatisi entro la distanza considerata.

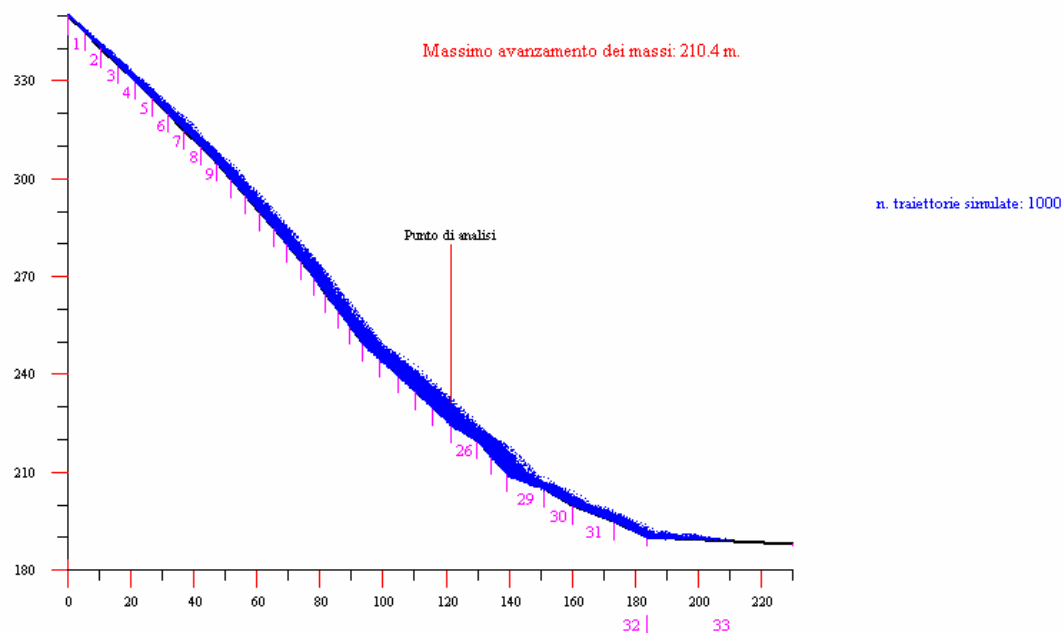
Sezione B-B' - ZONA A - "San Giorgio"



Sezione B-B'

D (m)	Σ N	%
10	50	5
20	99	9.9
30	152	15.2
40	207	20.7
50	325	32.5
60	445	44.5
70	516	51.6
80	541	54.1
90	586	58.6
100	670	67
110	771	77.1
120	827	82.7
130	877	87.7
140	961	96.1
150	976	97.6
160	977	97.7
170	984	98.4
180	990	99
190	992	99.2

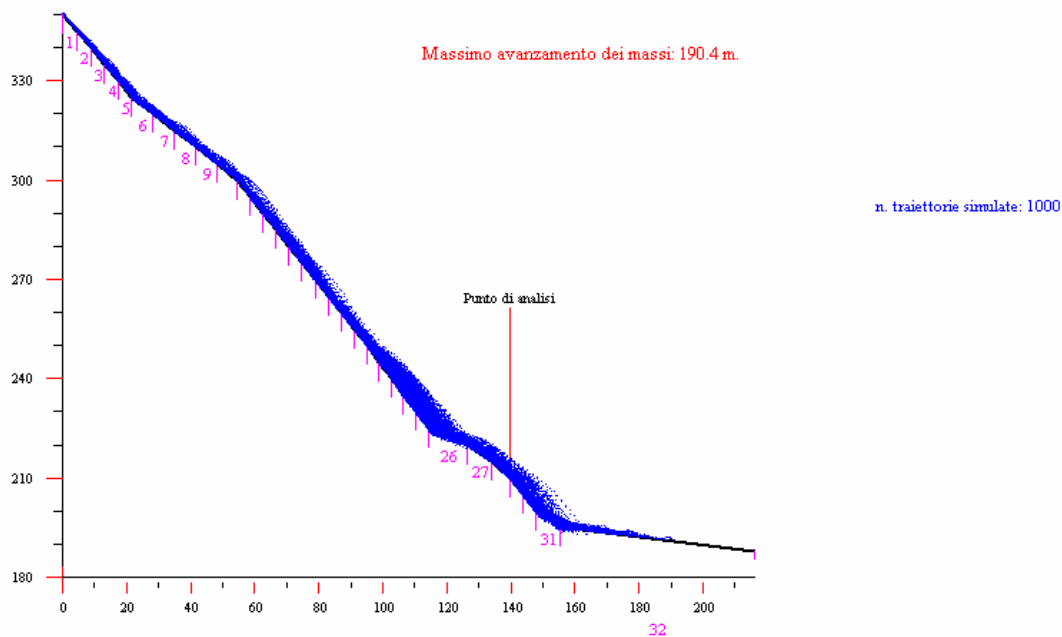
Sezione C-C' - ZONA A "San Giorgio"



Sezione C-C'

D (m)	ΣN	%
10	49	4.9
20	120	12
30	191	19.1
40	255	25.5
50	315	31.5
60	367	36.7
70	419	41.9
80	433	43.3
90	433	43.3
100	452	45.2
110	470	47
120	510	51
130	624	62.4
140	636	63.6
150	670	67
160	684	68.4
170	736	73.6
180	769	76.9
190	925	92.5
200	994	99.4
210	999	99.9
220	1000	100

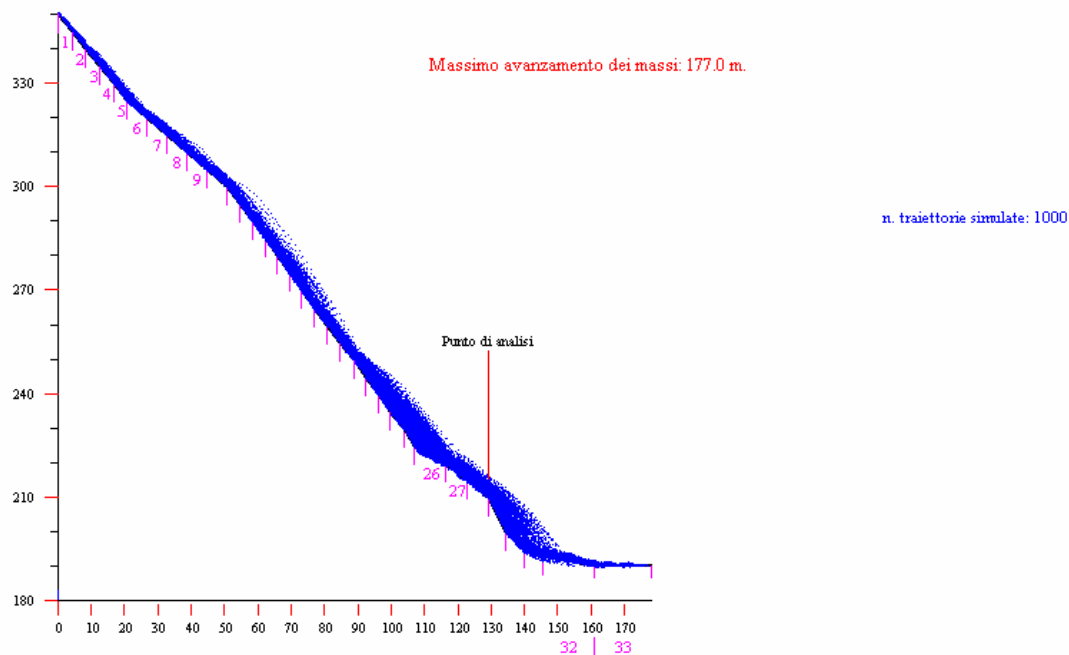
Sezione D-D' - ZONA A "San Giorgio"



Sezione D-D'

D (m)	ΣN	%
10	52	5.2
20	104	10.4
30	210	21
40	309	30.9
50	400	40
60	454	45.4
70	504	50.4
80	520	52
90	520	52
100	522	52.2
110	523	52.3
120	624	62.4
130	744	74.4
140	779	77.9
150	793	79.3
160	891	89.1
170	972	97.2
180	996	99.6
190	999	99.9
200	1000	100

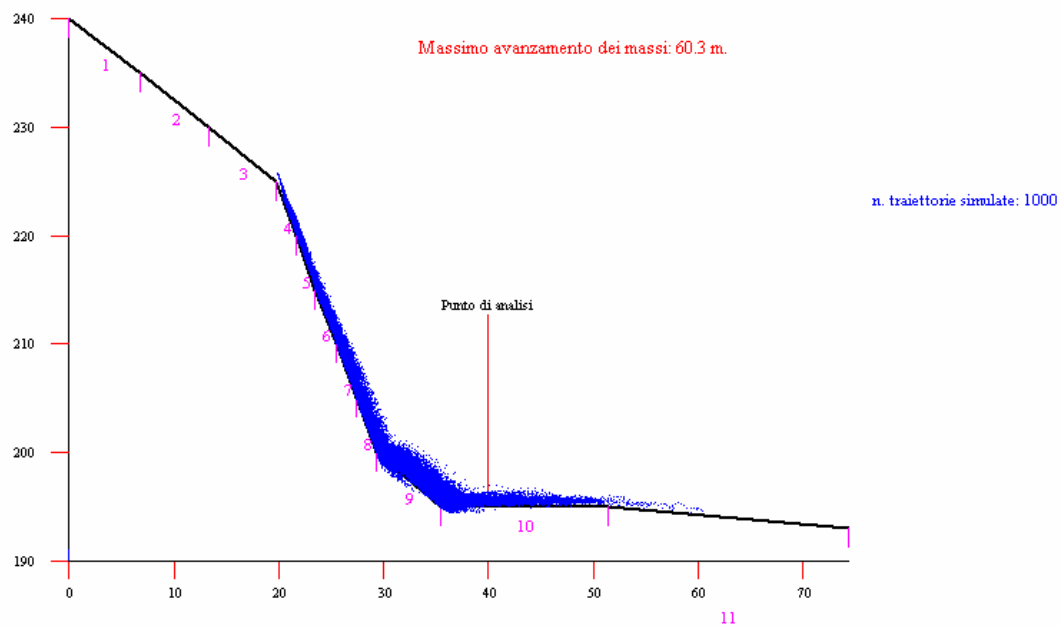
Sezione E-E' - ZONA A "San Giorgio"



Sezione E-E'

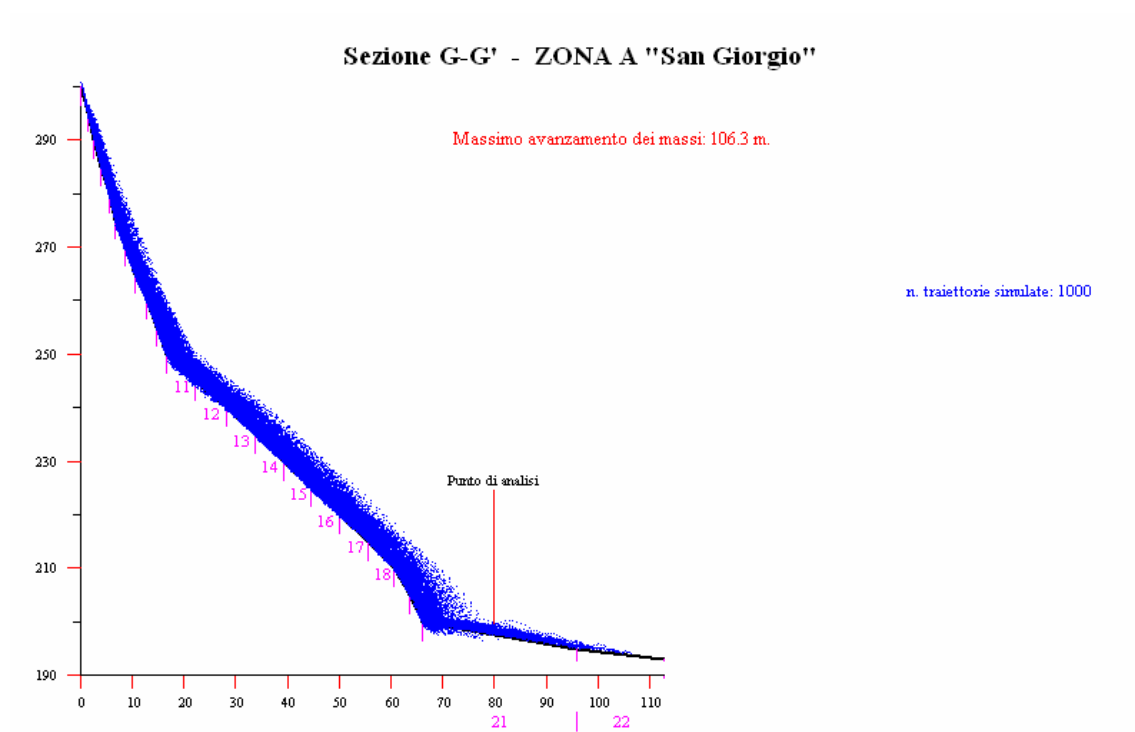
D (m)	ΣN	%
10	30	3
20	84	8.4
30	197	19.7
40	298	29.8
50	387	38.7
60	423	42.3
70	455	45.5
80	455	45.5
90	456	45.6
100	457	45.7
110	494	49.4
120	577	57.7
130	628	62.8
140	653	65.3
150	829	82.9
160	940	94
170	992	99.2
178	1000	100

Sezione F-F' - ZONA A "San Giorgio"



Sezione F-F'

D (m)	ΣN	%
10	0	0
20	0	0
30	82	8.2
40	660	66
50	983	98.3
60	999	99.9
70	1000	100



Sezione G-G'

D (m)	Σ N	%
10	0	0
20	130	13
30	254	25.4
40	340	34
50	418	41.8
60	464	46.4
70	620	62
80	887	88.7
90	971	97.1
100	996	99.6
110	1000	100

3.6. Tavola 4 – zona A “Carta della pericolosità preliminare”

Sulla base dei risultati presentati nel paragrafo precedente è stato possibile eseguire una zonazione longitudinale delle traiettorie, come spiegato nel § 2.4.

I risultati ottenuti per ciascuna traiettoria sono stati opportunamente interpolati ottenendo una suddivisione dell'area in esame in tre zone alle quali sono stati attribuiti tre differenti gradi di pericolosità preliminare (H4, H3 e H2).

Per la comprensione del significato del termine preliminare attribuito al grado di pericolosità si rimanda al § 2.4.

Si può notare come la fascia a pericolosità più elevata H4 (rappresentata dall'area di transito e arresto del 70 % dei massi della simulazione) sia chiaramente quella più a monte e vicina alle pareti rocciose e presenti estensioni piuttosto differenti tra le porzioni orientale, centrale ed occidentale dell'area in esame.

Considerazioni sulla porzione orientale del sito.

- La fascia H4 è di estensione limitata ed interessa una porzione di versante priva di edifici.
- Gli edifici presenti risultano interessati dal fenomeno di caduta massi in quanto ricadenti parte in fascia H3 e parte in fascia H2 (arresto del 100 % dei blocchi).

Considerazioni sulla porzione centrale del sito.

- La fascia H4 si spinge maggiormente a valle rispetto alla zona orientale e coinvolge, in parte, entrambe le strade che salgono lungo il versante e un edificio qui presente.
- La fascia H3 interessa parte della S.S. n° 510 e l'edificio esistente in prossimità dell'incrocio tra la statale e Via Roma.
- La parte rimanente della strada statale ricade all'interno della fascia di pericolosità H2.

Considerazioni sulla porzione occidentale del sito.

- La fascia H4 è di estensione decisamente limitata ed interessa le aree direttamente sotto le pareti rocciose sia nella zona del Bùs del Quai che in quella utilizzata come palestra di roccia.

- La strada statale risulta interessata parzialmente dalla zona H3 e per la porzione restante ricade in zona H2.

3.7. Stato di attività relativa delle zone sorgenti dei crolli

I rilievi eseguiti in sito hanno permesso di effettuare delle osservazioni sul grado di fratturazione degli ammassi rocciosi costituenti “l’area sorgente”, nonché sulla loro estensione e continuità spaziale lungo il versante, giungendo a suddividere così il sito stesso in zone ritenute sufficientemente omogenee per le quali sono state effettuate delle valutazioni sulla maggiore o minore predisposizione all’insorgere di caduta massi.

Si è perciò osservato come la porzione orientale dell’area e quella a quota più elevata della porzione centrale siano interessate da numerosi affioramenti di limitata estensione e piuttosto discontinui, ma caratterizzati dalla presenza di tracce di circolazione d’acqua e di abbondante vegetazione arbustiva che contribuisce, mediante i sistemi radicali, all’allargamento delle discontinuità presenti e alla disarticolazione di blocchi.

La porzione centrale del sito è caratterizzata, nel settore più a valle rispetto a quello descritto sopra, da pareti rocciose maggiormente continue, generalmente con una pendenza superiore rispetto agli affioramenti della porzione orientale e caratterizzate anch’esse da una certa attività divaricante degli apparati radicali a carico delle discontinuità presenti.

Queste pareti si presentano quindi con fratture piuttosto fitte e con vari blocchi già parzialmente svincolati (vedi Tavola 3 - Zona A).

La porzione occidentale dell’area è invece caratterizzata da pareti decisamente continue, con pendenze elevate e generalmente meno fratturate rispetto alle precedenti. Anche qui non mancano evidenze di circolazione d’acqua, ma lo stato generale dell’ammasso risulta piuttosto buono.

Sulla base delle considerazioni di cui sopra è stata quindi effettuata una zonazione del sito in tre aree a differente attività relativa: alta, media e bassa (vedi tavole 4 e 5 - Zona A).

Si ricorda come il termine relativo (vedi § 2.5) stia a significare come i gradi di attività considerati servano esclusivamente come confronto tra aree appartenenti ad un medesimo sito, ma non possano essere usati per analisi e confronti tra siti differenti.

3.8. Opere di difesa esistenti

L'area in esame risulta caratterizzata dalla presenza di alcune opere di difesa installate a seguito di episodi di crollo verificatisi in tempi medio recenti.

Una prima rete paramassi è stata installata alla quota di circa 210 m s.l.m. a monte rispetto all'edificio posto all'incrocio tra la s.s. n° 510 e via Roma ed è stata recentemente allungata (dopo il crollo del masso n° 1 – vedi Tavola 3 – Zona A e Tavola fotografica Zona A) fino a lambire una nicchia di degradazione presente appena a SW dell'edificio stesso.

Sulla base delle osservazioni effettuate nel corso dei sopralluoghi le possono essere attribuite le seguenti caratteristiche:

- rete paramassi di tipo planare con una lunghezza complessiva di circa 60 m.
- altezza totale, non calcolata perpendicolarmente al pendio, di circa 2.5 m.
- struttura di supporto data da montanti costituiti da profilati metallici rigidamente vincolati e disposti con interasse di circa 10 m.
- struttura di intercettazione data da pannelli di rete costituiti da funi metalliche connesse da borchie e funi longitudinali collegate ai montanti mediante giunzioni morsettate.
- ancoraggi laterali e di monte realizzati mediante controventi costituiti da funi collegate con giunzioni morsettate.

Una seconda rete paramassi è stata installata alla quota di circa 225 m s.l.m. a monte rispetto all'edificio in parte coinvolto dal crollo del masso n° 2 (vedi Tavola 3 – Zona A e Tavola fotografica Zona A).

Sulla base delle osservazioni effettuate nel corso dei sopralluoghi le possono essere attribuite le seguenti caratteristiche:

- rete paramassi di tipo planare con una lunghezza complessiva di circa 20 m.
- altezza totale, non calcolata perpendicolarmente al pendio, di circa 2.5 m.
- struttura di supporto data da montanti costituiti da profilati metallici rigidamente vincolati e disposti con interasse di circa 10 m.

- struttura di intercettazione data da pannelli di rete costituiti da funi metalliche connesse da borchie e funi longitudinali collegate ai montanti mediante giunzioni morsettate.
- ancoraggi laterali, senza quelli di monte, realizzati mediante controventi costituiti da funi collegate con giunzioni morsettate.

Una terza opera di difesa esistente è costituita da un vallo paramassi realizzato a valle della nicchia di degradazione presente, come detto, a SW rispetto alla casa in prossimità dell'incrocio tra la s.s. n° 510 e via Roma.

Sulla base delle osservazioni effettuate nel corso dei sopralluoghi gli possono essere attribuite le seguenti caratteristiche:

- vallo in terreno di riporto con lunghezza approssimativa di 40 m e un'altezza di circa 1.5 m.

3.9. Risultati modellazione in corrispondenza delle sezioni di controllo

Le sezioni di controllo sono state scelte lungo le traiettorie prese in esame (da A-A' a G-G') con criteri differenti a seconda dell'obiettivo dell'analisi.

Per quanto riguarda le traiettorie A-A' e B-B' le sezioni di controllo sono state scelte ad una quota di 235 m s.l.m. appena a monte degli edifici della frazione di Covelò posti più in alto lungo il versante con lo scopo di verificare le energie, velocità e rimbalzi dei massi in grado di transitare a questa quota e prevedere quindi eventuali opere di difesa.

Per quanto riguarda le traiettorie C-C', D-D' e E-E' le sezioni di controllo sono state poste per la prima traiettoria ad una quota di 225 m s.l.m. e per le altre due ad una quota di 210 m s.l.m..

Le sezioni di analisi risultano quindi collocate in corrispondenza delle barriere paramassi già presenti sull'area in esame con lo scopo di verificarne l'efficacia analizzando energie, velocità e rimbalzi dei massi.

Nel caso della traiettoria E-E' si è considerata una seconda sezione di controllo alla quota di circa 190 m s.l.m. con lo scopo di verificare l'efficacia del vallo realizzato appena ad w della traiettoria stessa.

Vista la conformazione del versante si ritiene che la simulazione, pur effettuata lungo E-E' possa essere ritenuta sufficientemente significativa anche per gli scopi di cui sopra.

Per quanto riguarda invece le traiettorie F-F' e G-G' le sezioni di controllo sono state posizionate in corrispondenza del ciglio della s.s. n° 510 con lo scopo di valutare energie, velocità e rimbalzi dei massi potenzialmente in grado di invadere la carreggiata.

Nelle tabelle seguenti vengono presentati i risultati della modellazione in corrispondenza delle sezioni di controllo sopra indicate:

Traiettoria A-A' – Zona A

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	235
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	117.7
Masso di progetto	diametro (m) 0.8
	spessore (m) 0.4
	peso (kg) 522
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	54/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 20
	max 89
Velocità masso di progetto (m/s)	media 7
	max 16
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 0.6
	75% massi ≤ 0.9
	90% massi ≤ 1.2

Traiettoria B-B' – Zona A

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	235
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	115.4
Masso di progetto	diametro (m) 0.8
	spessore (m) 0.4
	peso (kg) 522
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	196/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 30
	max 120
Velocità masso di progetto (m/s)	media 9
	max 18
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 0.9
	75% massi ≤ 1.4
	90% massi ≤ 1.9

Traiettoria C-C' – Zona A

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	225
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	121.4
Masso di progetto	diametro (m) 0.8 spessore (m) 0.4 peso (kg) 522
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	487/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 61 max 211
Velocità masso di progetto (m/s)	media 13 max 26
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 1.8 75% massi ≤ 2.9 90% massi ≤ 3.8

Traiettoria D-D' – Zona A

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	210
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	139.6
Masso di progetto	diametro (m) 0.6 spessore (m) 0.3 peso (kg) 220
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	221/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 20 max 73
Velocità masso di progetto (m/s)	media 11 max 23
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 1.5 75% massi ≤ 2.4 90% massi ≤ 3.2

Traiettoria E-E' – Zona A

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	210
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	129.2
Masso di progetto	diametro (m) 0.6 spessore (m) 0.3 peso (kg) 220
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	372/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 22 max 103
Velocità masso di progetto (m/s)	media 11 max 28
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 1.5 75% massi ≤ 2.4 90% massi ≤ 3.2

Traiettoria E-E' bis – Zona A

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	190
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	152
Masso di progetto	diametro (m) 0.6 spessore (m) 0.3 peso (kg) 220
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	151/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 12 max 89
Velocità masso di progetto (m/s)	media 8 max 26
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 0.5 75% massi ≤ 0.8 90% massi ≤ 1.2

Traiettoria F-F' – Zona A

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	195
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	40
Masso di progetto	diametro (m) 0.9 spessore (m) 0.45 peso (kg) 744
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	344/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 15 max 86
Velocità masso di progetto (m/s)	media 5 max 14
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 0.2 75% massi ≤ 0.4 90% massi ≤ 0.5

Traiettoria G-G' – Zona A

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	195
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	80
Masso di progetto	diametro (m) 0.9 spessore (m) 0.45 peso (kg) 744
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	123/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 24 max 86
Velocità masso di progetto (m/s)	media 6 max 13
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 0.3 75% massi ≤ 0.5 90% massi ≤ 0.7

3.9.1. Considerazioni relative alle traiettorie A-A' e B-B'

Nella porzione orientale dell'area oggetto di studio (traiettorie A-A' e B-B') i massi che arrivano in corrispondenza della sezione di controllo presentano dei valori di energia cinetica, velocità e rimbalzi piuttosto modesti anche a causa della distanza non trascurabile della sezione considerata rispetto alle pareti sorgente.

3.9.2. Considerazioni relative alla traiettoria C-C'

Per quanto riguarda la sezione lungo la traiettoria C-C', energie, velocità e rimbalzi diventano maggiormente rilevanti a causa della maggiore pendenza del versante e della vicinanza delle pareti rocciose rispetto alla barriera considerata come sezione di controllo.

Per valutare l'efficienza della barriera paramassi esistente è risultato necessario considerare l'effettiva altezza di intercettazione rispetto ai blocchi provenienti dal versante.



Fotografia 4 – Valutazione dell'altezza effettiva di intercettazione confrontata con quella teoricamente disponibile (2.5 m).

Tale altezza non coincide necessariamente con l'altezza totale della barriera e, dipendendo dalla morfologia del pendio e dalla modalità di posizionamento della barriera stessa, deve essere calcolata perpendicolarmente al versante.

Sulla base delle osservazioni effettuate durante i sopralluoghi risulta evidente (vedi fotografia 4) come la barriera sia stata posizionata lungo un tratto acclive e piuttosto addossata al versante; situazione che, diminuendone l'altezza di intercettazione teorica (2.5 m), ne riduce in parte l'efficacia.

Da una valutazione dei possibili rimbalzi riportati in tabella e dal numero di massi in grado di raggiungere la sezione di controllo, emerge come sia possibile uno scavalco della barriera da parte di circa il 25% dei blocchi della simulazione.

3.9.3. Considerazioni relative alle traiettorie D-D' e E-E'

Per quanto riguarda le sezioni lungo le traiettorie in oggetto soprattutto i rimbalzi risultano di un certo rilievo sempre a causa della pendenza del versante e della vicinanza delle pareti rocciose rispetto alla barriera considerata come sezione di controllo.

Per valutare l'efficienza della barriera paramassi esistente è risultato necessario, come per la barriera lungo la traiettoria C-C', considerare l'effettiva altezza di intercettazione rispetto ai blocchi provenienti dal versante.



Fotografia 5 – Valutazione dell'altezza effettiva di intercettazione confrontata con quella teoricamente disponibile (2.5 m).

Sulla base delle osservazioni effettuate durante i sopralluoghi risulta evidente anche in questo caso (vedi fotografia 5) come la barriera sia stata posizionata lungo un tratto acclive e addossata al versante; situazione che, diminuendone l'altezza di intercettazione teorica (2.5 m), ne riduce in parte l'efficacia.

Da una valutazione dei possibili rimbalzi riportati in tabella e dal numero di massi in grado di raggiungere la sezione di controllo, emerge come sia possibile uno scavalco della barriera da parte di circa il 15% dei blocchi della simulazione.

Nel caso della traiettoria E-E' è stata, come detto, considerata un'ulteriore sezione con lo scopo di verificare l'efficacia del vallo realizzato appena ad w della traiettoria stessa.

Si può notare come i rimbalzi si attestino su valori piuttosto contenuti e in grado di essere statisticamente intercettati dal vallo che, sulla base delle osservazioni effettuate, presenta infatti un'altezza variabile da circa 1.5 m a 2.0 m.

L'analisi della totalità delle simulazioni ha però mostrato come vi siano blocchi in grado di transitare comunque attraverso la sezione mediante rimbalzi anche notevoli (> 3m). e come quindi tale opera, pur dotata teoricamente di buona efficacia, non sia in grado di assicurare un azzeramento del rischio.

3.9.4. Considerazioni relative alle traiettorie F-F' e G-G'

Nel caso delle traiettorie in oggetto è possibile notare come energie, velocità e rimbalzi alla sezione di controllo, posta sul ciglio della strada, siano piuttosto contenuti.

Si sottolinea inoltre come in prossimità del ciglio della statale sia anche presente un piccolo fossato profondo 1.5 m e di larghezza totale di circa 3.0 m nella parte più settentrionale e un muretto in pietra, alto circa 0.5 m, in quella più meridionale.

Queste strutture dovrebbero essere in grado di intercettare la maggior parte dei massi della simulazione.

Anche in questo caso però i risultati ottenuti dalla modellazione mostrano che esistono comunque massi della simulazione in grado di invadere potenzialmente la carreggiata e come quindi la situazione attuale non sia in grado di assicurare l'azzeramento del rischio.

3.10. Tavola 5 – zona A “Carta della pericolosità finale”

Partendo dai risultati confluiti nella carta di pericolosità preliminare (vedi § 3.6) e sulla base della suddivisione dell’area sorgente dei crolli in zone ad alta, media e bassa attività relativa (vedi § 3.7) è stato possibile costruire una carta della pericolosità finale.

Questa ulteriore zonazione della pericolosità (da H1 a H5) è stata ottenuta, come descritto nel § 2.6, partendo dai valori di pericolosità preliminare che sono stati aumentati di uno, mantenuti costanti o diminuiti di uno a seconda che le pareti soprastanti siano state classificate ad alta, media o bassa attività.

Essendo però già presenti nell’area di indagine opere di difesa da caduta massi (vedi § 3.8) il criterio sopra descritto è stato localmente modificato tenendo conto dell’efficienza delle opere stesse.

A valle di tali opere quindi il grado di pericolosità è stato ridefinito in base ai risultati della modellazione sulle sezioni di controllo confrontati con le caratteristiche costruttive e le modalità di installazione delle barriere.

Il grado di pericolosità finale attribuito a queste aree dipende quindi sostanzialmente dalla possibilità che le opere di difesa subiscano o meno uno scavalcamento da parte dei massi che raggiungono tali opere (vedi § 3.9).

Un ulteriore elemento che deve essere necessariamente tenuto in considerazione è il grado di protezione offerto degli edifici presenti in grado di costituire essi stessi delle “barriere” per la porzione di territorio a valle.

Le zone di “ombra” prodotte degli edifici sono state costruite mediante le linee di massima pendenza del versante.

È bene comunque tenere presente che le traiettorie effettive dei massi possono essere anche piuttosto variabili rispetto alla linea di massima pendenza; questo in funzione sia delle variazioni a piccola scala della morfologia del versante sia per la possibilità che si verifichino rimbalzi lungo gli spigoli dei blocchi in grado produrre scarti anche di un certo rilievo.

Per le considerazioni di cui sopra si è adottato un criterio cautelativo attribuendo comunque una classe di pericolosità H1 anche a tergo di tali edifici.

Sono state inoltre considerate in qualche misura le rotture di pendenza costituite dalle due strade e relative opere accessorie che portano alle abitazioni più alte della frazione di Covelo.

Tali variazioni morfologiche, poco rilevanti alla scala dell'intero versante (la strada più alta non risulta nemmeno cartografata), risultano invece importanti nella determinazione del comportamento dei massi nella fase finale del loro tragitto lungo il pendio.

La presenza di questi elementi è stata tenuta in conto modificando localmente le fasce di pericolosità laddove, anche sulla base delle osservazioni effettuate in occasione dei sopralluoghi, la loro presenza è stata ritenuta in grado di influire in maniera tangibile sul fenomeno di caduta massi.

Considerazioni sulla porzione orientale del sito.

- La fascia H4 risulta ovviamente quella più vicina alle pareti rocciose ed interessa una porzione di versante priva di edifici.
- Alcuni edifici presenti e appartenenti alla frazione di Covelo risultano interessati dal fenomeno di caduta massi; quelli maggiormente esposti rispetto al versante ricadono in fascia H3 e parte in H2.
- La porzione di territorio a valle di tali edifici è posta in fascia H1.
- La fascia H2 interessa inoltre la porzione più vicina al confine dell'area esaminata dove non compaiono edifici.

Considerazioni sulla porzione centrale del sito.

- La fascia H5 interessa la zona direttamente a contatto con le pareti rocciose e si spinge a valle fino ad intercettare la più alta delle due strade che tagliano il versante.
- Dove sono presenti le opere di difesa la fascia H5 risulta interrotta e a valle delle stesse è stata sostituita dalle fasce H3 o H2 in funzione dell'efficienza dei sistemi di intercettazione (vedi § 3.9).
- La fascia H4, nell'area lasciata scoperta dalle barriere, intercetta invece la più bassa delle due strade che tagliano il versante.
- La strada statale risulta in parte interessata dalla fascia H1, in parte dalla H2 e nella zona lasciata scoperta dalle barriere esistenti dalla fascia H3.

Considerazioni sulla porzione occidentale del sito.

- Le fasce H3 ed H2 sono di estensione decisamente limitata ed interessano le aree direttamente sotto le pareti rocciose sia nella zona del Bùs del Quai che in quella utilizzata come palestra di roccia.
- La strada statale risulta interessata esclusivamente dalla fascia H1 in quanto è stata tenuta in considerazione la citata presenza di un piccolo fossato e di un muretto in grado di intercettare la maggior parte dei massi della simulazione.

3.11. Conclusioni con indicazioni progettuali di intervento Zona A – “Rocca S. Giorgio”

La ricostruzione storica degli eventi di caduta massi verificatesi negli ultimi anni, le informazioni ottenute dallo studio geologico e geomeccanico e le simulazioni numeriche eseguite e confluite nella suddivisione dell’area in fasce a differente pericolosità, hanno permesso di individuare le criticità presenti nel territorio e di formulare delle proposte di difesa dello stesso secondo alcune priorità di intervento (Tavola 6 - Zona A).

L’area che presenta la priorità più alta è la porzione centro orientale del sito indagato in cui vi sono gli edifici più alti della frazione di Covelo che ricadono in fascia di pericolosità H3 oltre ad un tratto della statale situato in corrispondenza di una porzione di pendio lasciata scoperta dalle barriere esistenti.

In questa fase sono state ricercate, più che l’ubicazione precisa delle opere di difesa da adottare che necessiterebbe di un livello progettuale più avanzato, delle aree all’interno delle quali installare le opere stesse che permettano, mediante opportune sovrapposizioni, di mitigare la pericolosità dell’area.

Le opere che si ritengono idonee a questo scopo consistono in barriere paramassi da 500 kJ che, se correttamente posizionate, dovrebbero essere in grado, con un certo margine di sicurezza, di arrestare i singoli massi aventi caratteristiche analoghe al masso di progetto utilizzato per la modellazione.

È di estrema importanza che la barriera sia stata testata su un campo prove di vera grandezza e certificata da un istituto internazionale riconosciuto: allo stato attuale è questo l’unico modo per avere la certezza che la barriera sia in possesso dei requisiti richiesti.

La barriera paramassi che si propone è una barriera ad assorbimento di energia per deformazione, composta da pannelli in rete in fune di acciaio zincato, con maglie di forma anulare o a maglia quadrata diagonale, supportate da montanti in acciaio controventati a

monte mediante funi di acciaio assicurate agli ancoraggi in acciaio, solidarizzati al terreno mediante micropali con profondità variabili secondo le indicazioni progettuali o tirafondi.

La barriera dovrà inoltre essere munita di due ordini di funi longitudinali in sommità e al suolo.

Gli elementi di dissipazione sono posti sui seguenti componenti:

- funi controvento dei pali a monte;
- funi longitudinali superiori e inferiori;
- il sistema è completato con tiranti laterali muniti anch'essi di dissipatori.

La barriera dovrà inoltre possedere i seguenti requisiti fondamentali:

- altezza utile minima 2.5 metri;
- dimensione del franco non superiore a 0.80 metri;
- lunghezza massima del modulo di deformazione 10 metri;
- ogni modulo deve prevedere l'agevole sostituzione di ogni componente e la sostituzione di un elemento danneggiato della barriera, senza smontare completamente la barriera;
- la struttura della barriera deve adattarsi in modo agevole al profilo del terreno;
- tutti i componenti della barriera devono essere zincati per resistere all'ossidazione dell'acciaio.

La barriera paramassi dovrà inoltre essere corredata di:

- elaborati grafici della barriera;
- manuale di manutenzione;
- autocertificazione comprovante che il sistema di qualità del produttore rilasciato per barriere paramassi è conforme alla norma UNI EN ISO 9000;
- copertura assicurativa responsabilità civile del produttore contro eventuali danni involontariamente causati a persone o cose derivanti dal mancato funzionamento del prodotto

Spostandosi in corrispondenza del confine sud-occidentale del sito oggetto di indagine si suggerisce inoltre il posizionamento di opere di difesa attive, consistenti in reti armate con chiodi e funi correnti, in corrispondenza delle pareti più alte soprastanti la strada statale.

Tale intervento presenta una priorità inferiore rispetto al precedente in quanto le pareti considerate sono state classificate con una bassa probabilità relativa di distacco, ma se ne consiglia comunque la realizzazione in considerazione sia dell'elevata altezza delle pareti in

rapporto alla loro distanza dalla strada sia del fatto che una bassa probabilità relativa di distacco non esclude affatto che possano verificarsi dei crolli (vedi § 2.5).

Inoltre, un intervento generalizzato che risulta necessario prevedere su tutta l'area consiste nella salvaguardia, con funzione protettiva, del bosco esistente sull'interno versante.

Le simulazioni di caduta massi e le evidenze sul territorio hanno dimostrato che l'esistenza della vegetazione arborea ed arbustiva favorisce in maniera determinante la diminuzione della velocità dei massi e conseguentemente della loro energia e le altezze dei rimbalzi.

A questo proposito sarebbe opportuna l'applicazione del vincolo previsto dall'art. 17 del Regio Decreto 1923 relativo ai boschi con funzione protettiva.

Si ricorda infine, come già scritto nel § 2.7, che gli interventi suggeriti si configurano come soluzioni in grado di ridurre il rischio naturale, ma non di azzerarlo completamente.

Gli interventi di difesa proposti devono inoltre essere considerati come indicazioni progettuali di massima, e dovranno in ogni caso essere oggetto di un progetto preliminare – definitivo ed esecutivo a firma di un ingegnere che potrà richiedere ulteriori approfondimenti e formulare soluzioni progettuali differenti.

4. ZONA B – “SAN FERMO”

L'area , denominata nel presente lavoro “Zona B - San Fermo” comprende quella porzione di versante che da San Fermo scende verso la frazione di Pilzone e che si estende dalla quota di circa 450 m s.l.m. fino a circa 210 m s.l.m.

Come ricordato nella premessa l'area in oggetto è stata interessata da fenomeni di crollo testimoniati, oltre che da alcune evidenze di distacchi sulle pareti, dalla presenza di blocchi lungo l'intero versante.

Fra questi è particolarmente significativo un blocco caduto recentemente, posto all'interno di un accumulo di frana più ampio e del volume di circa 0.4 m^3 , che ha colliso contro le barriere paramassi già esistenti sull'area (Tavola fotografica).

Anche in passato l'area è stata interessata da crolli fra i quali si ricorda un evento che ha portato (novembre 1985) un blocco roccioso fin nei pressi di casa Consolini.

4.1. Inquadramento geologico (Tavola 2 – Zona B)

Le pareti rocciose presenti nell'area in esame appartengono tutte alla formazione della “Maiolica” costituita da calcari pelagici biancastri e grigio chiari, in strati ben definiti di spessore da centimetrico e decimetrico, a frattura concoide e attraversati da frequenti suture stilolitiche. Sono presenti noduli e liste di selce di colore chiaro alla base e grigio scure alla sommità.

Il versante sottostante è interessato da una coltre di detrito di falda con uno spessore generalmente limitato e ricoperta da vegetazione arborea ad arbustiva. È costituita da elementi clastici di grossa e media pezzatura.

Nella porzione più bassa del versante considerato affiorano invece depositi glaciali costituiti da ghiaie e blocchi poligenici in matrice limosa.

Le caratteristiche geologiche relative al sito in oggetto sono state riportate nella Tavola 2 – Zona B in scala 1:5000.

4.2. Tavola 3 – zona B “Carta geologico tecnica con elementi morfologici”

I risultati dei rilievi e dei sopralluoghi effettuati in situ sono stati sintetizzati nella Tavola 3 – Zona B in scala 1: 5000. I rilievi geologici tradizionali affiancati alle diverse tecniche e

metodologie adottate per lo studio dell'area hanno permesso di ricostruire gli elementi geomorfologici di maggiore interesse.

L'area è caratterizzata dalla presenza di pareti rocciose continue e da porzioni di versante in cui gli affioramenti rocciosi costituiscono delle balze, generalmente di limitata estensione che interrompono la vegetazione arborea e arbustiva.

Nella porzione più orientale dell'area di indagine le pareti scendono fino ad una quota di circa 320 m s.l.m. e, non presentando delle pendenze elevate, assumono un aspetto piuttosto frammentato anche per l'abbondante copertura vegetale che contribuisce, mediante l'azione divaricante delle radici ad una certa fratturazione dell'ammasso.

Spostandosi verso SW le pareti si alzano in quota lungo il versante (la parte più bassa è a circa 400 m s.l.m.) e diventano più continue e ripide. Se la porzione inferiore (vedi Tavola fotografica Zona B) presenta una stratificazione piuttosto fitta, la parte più alta appare invece decisamente più massiccia.

La porzione centrale dell'area presenta pareti simili a quelle descritte per la zona più orientale e qui scendono fino ad una quota di circa 310 m s.l.m.. Anche qui l'ammasso si presenta piuttosto fratturato e coperto da vegetazione.

La porzione occidentale del sito è quella più eterogenea perché presenta nella parte alta pareti piuttosto continue che, scendendo lungo il versante, generano invece balze e affioramenti di estensione limitata interrotti dalla vegetazione.

Ai piedi delle pareti della zona centrale del sito è stato cartografato un accumulo di frana da crollo all'interno del quale, nella porzione più distale, è posto un blocco (n° 1 in carta) del quale è ben visibile l'area di distacco recente.

Dal punto di vista idrografico si evidenzia la presenza di due impluvi di particolare rilievo, uno nella porzione centrale del sito e uno quasi in coincidenza con il confine orientale dell'area esaminata.

Sempre in coincidenza con il confine orientale dell'area è presente un blocco calcareo ciclopico del volume approssimativo di 400 m³ costituito da depositi travertinosi. Potrebbe trattarsi di un blocco proveniente dalla parete rocciosa sovrastante, staccatosi dopo lo scioglimento del ghiacciaio, in seguito a fenomeni di detensionamento. In alternativa potrebbe trattarsi di un masso erratico.

In questa carta sono inoltre presenti le opere di difesa già realizzate in situ che corrispondono a una barriera paramassi installata a valle dello sperone centrale e di reti paramassi addossate poste all'interno dell'impluvio più orientale.

4.3. Caratterizzazione di massima dell'ammasso roccioso

In quest'area, in considerazione dell'inaccessibilità delle pareti ritenute maggiormente significative per estensione e continuità, non è stato eseguito un rilievo geomeccanico sul modello di quello effettuato per l'area della Rocca di S. Giorgio. Le osservazioni dirette effettuate nel corso dei sopralluoghi sulle pareti discontinue raggiunte e sulla morfologia dei blocchi presenti lungo il versante hanno però permesso di effettuare delle valutazioni sullo stato dell'ammasso roccioso e sui meccanismi prevalenti di distacco.



Fotografia 6 - Cinematismi mediante scivolamento planare e ribaltamento. La fotografia è relativa alla zona orientale del sito in esame (vedi anche Tavola fotografica – zona B).

Lo stato generale dell'ammasso roccioso è stato valutato discreto in quanto la Maiolica che costituisce le pareti in oggetto è risultata sostanzialmente nelle medesime condizioni di quella affiorante nella zona della Rocca di San Giorgio (vedi § 3.4).

Anche per quanto riguarda i meccanismi di distacco si è trovata una somiglianza con quanto emerso per la zona della Rocca in quanto la giacitura della discontinuità prevalente (stratificazione) presenta un'immersione (N 325°) che essenzialmente coincide con l'orientazione del versante, ma con un'inclinazione generalmente inferiore.

Di conseguenza i cinematismi predominanti risultano essere gli scivolamenti planari e i ribaltamenti (vedi fotografia 6).

4.4. Analisi massa di progetto, traiettorie di caduta e arresti

Le indagini effettuate in situ hanno permesso l'individuazione della morfologia e dei volumi caratteristici dei massi già distaccatisi e presenti lungo il versante e di quelli potenzialmente rimuovibili riconosciuti in parete.

Si ricorda che per volumi caratteristici si intendono i “volumi modali” che corrispondono a quelli maggiormente ricorrenti sulla base delle osservazioni effettuate.

Una volta stabilito il volume dei blocchi maggiormente rappresentativo del sito questo è stato attribuito ad un massa definito “masso di progetto” da utilizzare nelle simulazioni numeriche.

L'utilizzo del codice di calcolo ha imposto inoltre l'individuazione di una morfologia semplificata del massa di progetto. I massi presenti in situ hanno generalmente un forma tabulare che è stata ritenuta maggiormente assimilabile, ai fini delle simulazioni numeriche, a quella discoidale.

Per il sito in esame sono state, come detto, considerate alcune traiettorie di discesa dei blocchi derivate sia dal riconoscimento di traiettorie effettivamente già percorse da blocchi o dalla presenza di impluvi in grado di canalizzare gli eventuali crolli, sia mediante il criterio di coprire, attraverso le simulazioni, l'intero versante preso in analisi.

Nella tabella seguente sono riportate le dimensioni caratteristiche di quello che è stato definito come “masso di progetto” per l'intero sito:

MASSO DI PROGETTO	Diametro (m)	Spessore (m)	Forma per le
	masso di progetto	masso di progetto	simulazioni
	0.9	0.5	discoidale

Per ogni traiettoria, in accordo ai “Criteri attuativi l.r. 12/05 per il governo del territorio - Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio” sono state effettuate 1000 simulazione di cadute.

I risultati della analisi in termini di velocità, energie cinetiche e altezze dei rimbalzi in corrispondenza delle sezioni di controllo ritenute significative verranno descritte nel § 4.8.

Di seguito vengono invece presentati, sezione per sezione, i risultati delle traiettorie di caduta e le distanze di arresto dei massi espresse in percentuale che sono servite per la realizzazione della tavola 4 – Zona B (vedi § seguente).

4.5. Tavola 4 – zona B “Carta della pericolosità preliminare”

Sulla base dei risultati presentati nel paragrafo precedente è stato possibile eseguire una zonazione longitudinale delle traiettorie, come spiegato nel § 2.4.

I risultati ottenuti per ciascuna traiettoria sono stati opportunamente interpolati ottenendo una suddivisione dell’area in esame in tre zone alle quali sono stati attribuiti tre differenti gradi di pericolosità preliminare (H4, H3 e H2).

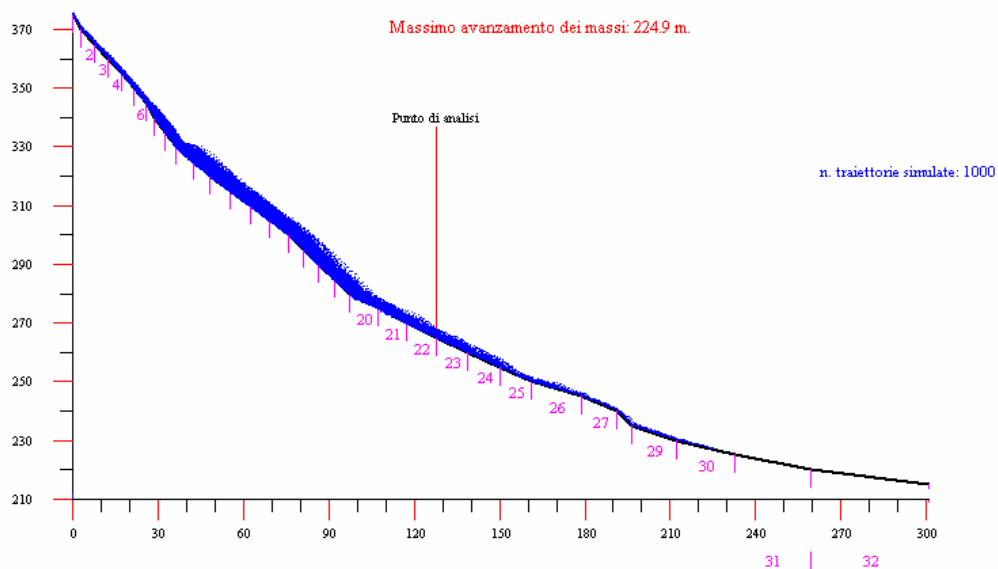
Per la comprensione del significato del termine preliminare attribuito al grado di pericolosità si rimanda al § 2.4.

Si può notare come la fascia a pericolosità più elevata H4 (rappresentata dall’area di transito e arresto del 70 % dei massi della simulazione) sia chiaramente quella più a monte e vicina alle pareti rocciose e presenti un andamento che ricalca quello delle pareti considerate sorgenti dei crolli.

Considerazioni sulla porzione centro orientale del sito.

- La fascia H4 è di estensione piuttosto limitata ed interessa una porzione di versante priva di edifici.
- Gli edifici presenti e appartenenti alla frazione di Pilzone risultano interessati solo parzialmente dal fenomeno di caduta massi in quanto ricadenti in fascia H2.

Sezione A-A' - Zona B "San Fermo"

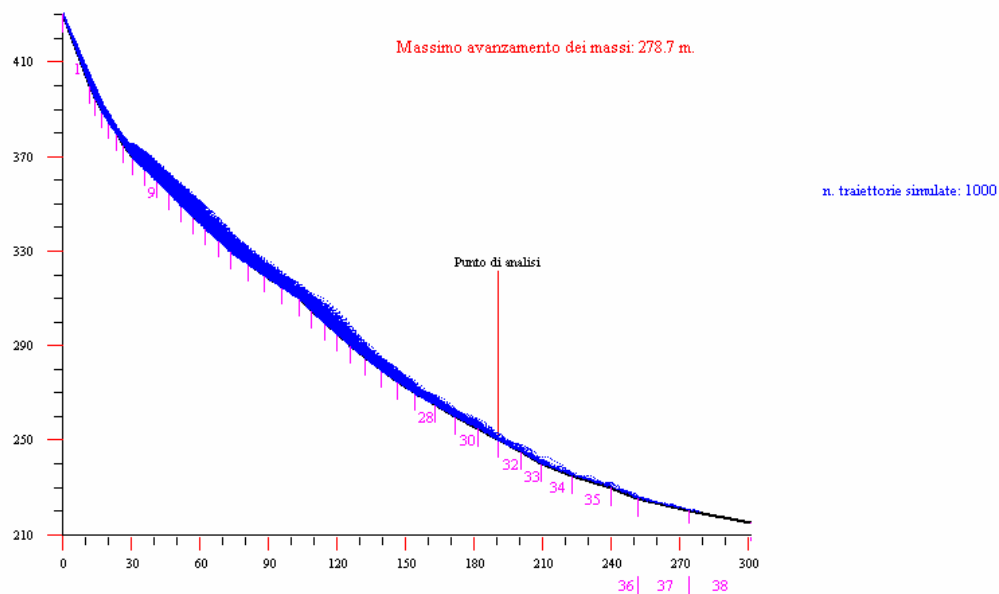


Sezione A-A'

D (m)	ΣN	%
10	0	0
20	0	0
30	1	0.1
40	15	1.5
50	100	10
60	245	24.5
70	358	35.8
80	446	44.6
90	481	48.1
100	572	57.2
110	747	74.7
120	862	86.2
130	931	93.1
140	959	95.9
150	982	98.2
160	983	98.3
170	988	98.8
180	994	99.4
190	995	99.5
200	995	99.5
210	997	99.7
220	999	99.9
230	1000	100

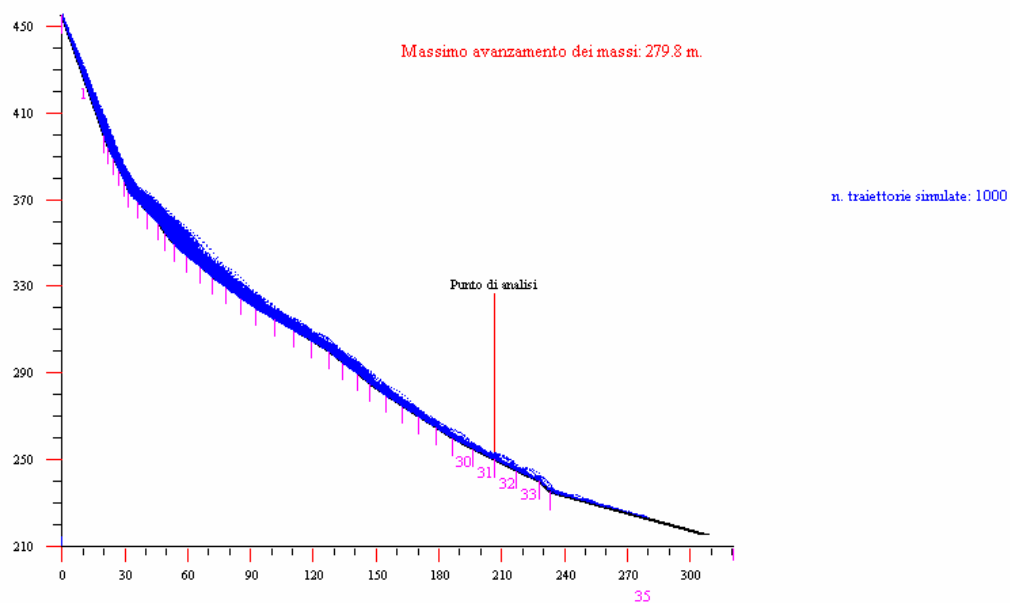
Dove: **D** = distanza dall'origine della sezione in m, **ΣN** = somma progressiva del numero di massi arrestatisi lungo il versante entro la distanza considerata e **%** = percentuale dei massi arrestatisi entro la distanza considerata.

Sezione B-B' - Zona B "San Fermo"



D (m)	ΣN	%
10	0	0
20	0	0
30	1	0.1
40	13	1.3
50	35	3.5
60	77	7.7
70	134	13.4
80	240	24
90	395	39.5
100	527	52.7
110	594	59.4
120	636	63.6
130	675	67.5
140	733	73.3
150	799	79.9
160	861	86.1
170	917	91.7
180	960	96
190	970	97
200	982	98.2
210	988	98.8
220	993	99.3
230	994	99.4
240	996	99.6
250	996	99.6
260	998	99.8
270	999	99.9
280	1000	100

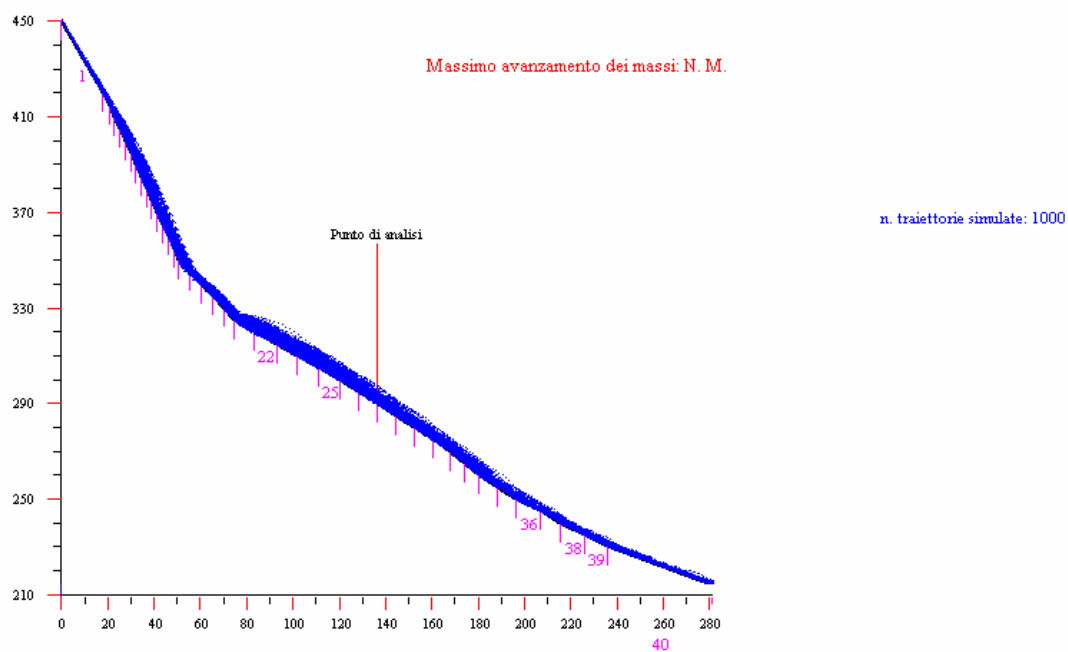
Sezione C-C' - Zona B "San Fermo"



Sezione C-C'

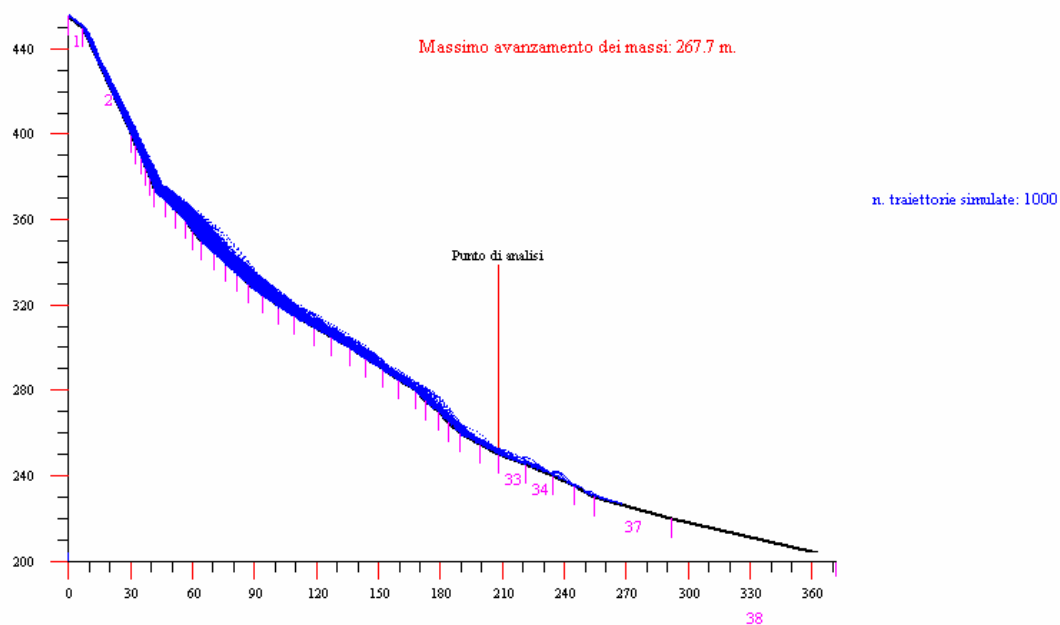
D (m)	ΣN	%
30	0	0
40	39	3.9
50	46	4.6
60	87	8.7
70	173	17.3
80	274	27.4
90	410	41
100	600	60
110	731	73.1
120	808	80.8
130	859	85.9
140	879	87.9
150	897	89.7
160	918	91.8
170	938	93.8
180	954	95.4
190	970	97
200	977	97.7
210	979	97.9
220	985	98.5
230	991	99.1
240	992	99.2
250	995	99.5
260	998	99.8
270	999	99.9
280	1000	100

Sezione D-D' - Zona B "San Fermo"



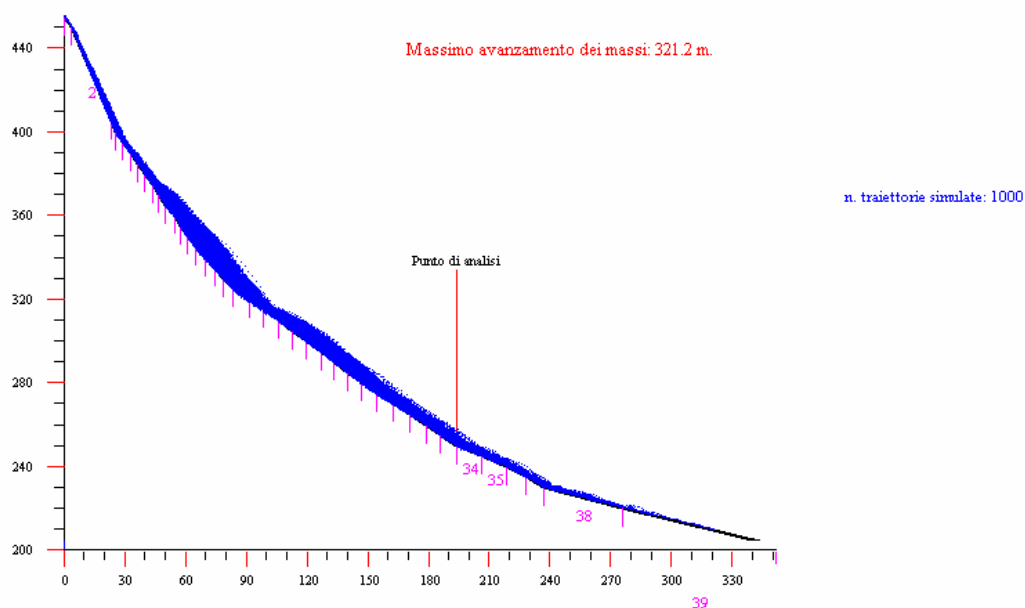
D (m)	ΣN	%
20	0	0
30	1	0.1
40	1	0.1
50	1	0.1
60	1	0.1
70	1	0.1
80	40	4
90	163	16.3
100	339	33.9
110	466	46.6
120	572	57.2
130	653	65.3
140	726	72.6
150	787	78.7
160	828	82.8
170	856	85.6
180	873	87.3
190	904	90.4
200	919	91.9
210	919	91.9
220	919	91.9
230	920	92
240	923	92.3
250	931	93.1
260	948	94.8
270	959	95.9
280	993	99.3

Sezione E-E' - Zona B " San Fermo"

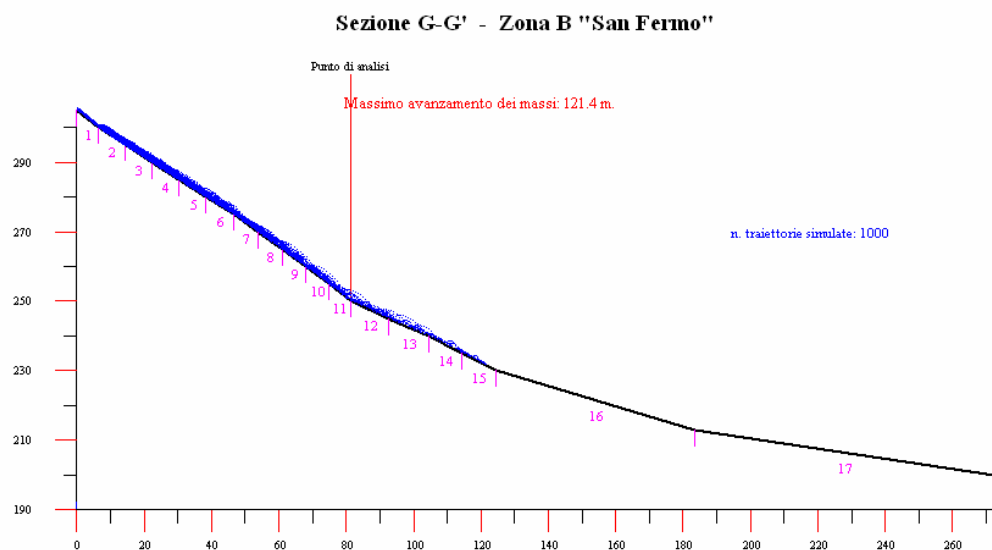


D (m)	Σ N	%
10	2	0.2
20	2	0.2
30	2	0.2
40	2	0.2
50	45	4.5
60	56	5.6
70	104	10.4
80	158	15.8
90	229	22.9
100	375	37.5
110	530	53
120	683	68.3
130	780	78
140	850	85
150	890	89
160	915	91.5
170	938	93.8
180	947	94.7
190	947	94.7
200	966	96.6
210	979	97.9
220	990	99
230	995	99.5
240	997	99.7
250	997	99.7
260	999	99.9
270	1000	100

Sezione F-F' - Zona B " San Fermo"



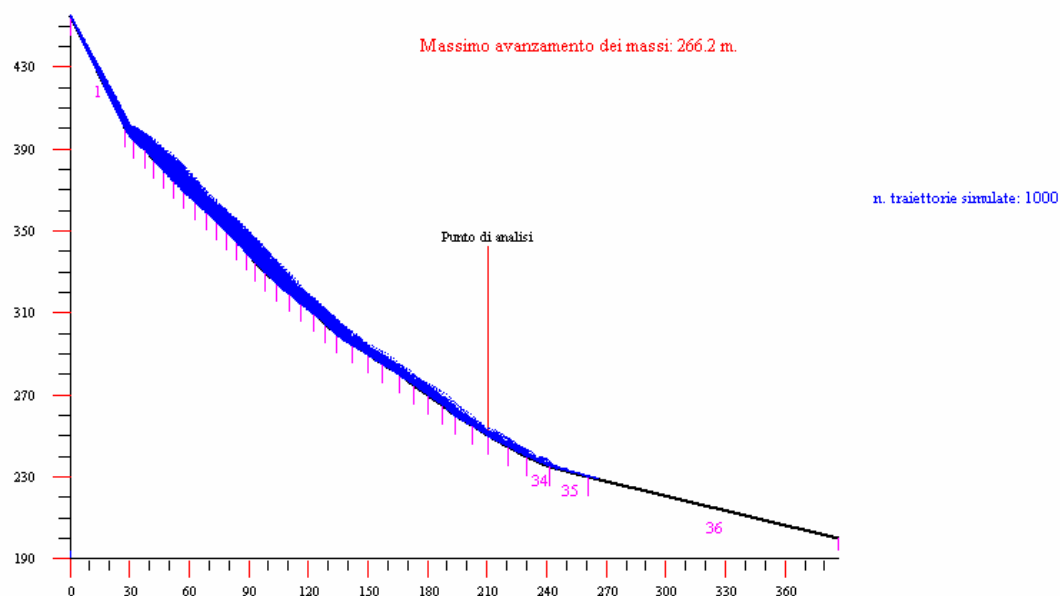
D (m)	ΣN	%
60	2	0.2
70	10	1
80	16	1.6
90	16	1.6
100	18	1.8
110	31	3.1
120	39	3.9
130	60	6
140	127	12.7
150	215	21.5
160	383	38.3
170	507	50.7
180	624	62.4
190	693	69.3
200	811	81.1
210	886	88.6
220	935	93.5
230	954	95.4
240	967	96.7
250	976	97.6
260	985	98.5
270	991	99.1
280	995	99.5
290	997	99.7
300	999	99.9
310	999	99.9
320	999	99.9
330	1000	100



Sezione G-G'

D (m)	ΣN	%
10	292	29.2
20	731	73.1
30	882	88.2
40	938	93.8
50	962	96.2
60	972	97.2
70	977	97.7
80	985	98.5
90	990	99
100	993	99.3
110	996	99.6
120	999	99.9
130	1000	100

Sezione H-H' - Zona B "San Fermo"



D (m)	Σ N	%
20	0	0
30	2	0.2
40	9	0.9
50	16	1.6
60	35	3.5
70	74	7.4
80	108	10.8
90	136	13.6
100	158	15.8
110	227	22.7
120	323	32.3
130	372	37.2
140	482	48.2
150	599	59.9
160	715	71.5
170	814	81.4
180	863	86.3
190	892	89.2
200	930	93
210	947	94.7
220	963	96.3
230	975	97.5
240	989	98.9
250	996	99.6
260	997	99.7
270	1000	100

Considerazioni sulla porzione centro occidentale del sito.

- La fascia H4 si spinge maggiormente a valle rispetto alla zona orientale ma interessa comunque porzioni di versante prive di edifici.
- La fascia H3 interessa solamente gli edifici costruiti più a monte nella zona centrale e per la parte restante interessa tratti disabitati del pendio.
- La fascia di edifici presenti ai piedi del versante ricade, come per la porzione orientale del sito all'interno della fascia H2.

4.6. Stato di attività relativa delle zone sorgenti dei crolli

Le indagini eseguite in sito hanno permesso di effettuare delle osservazioni sul grado di fratturazione degli ammassi rocciosi costituenti “l'area sorgente”, nonché sulla loro estensione e continuità spaziale lungo il versante, giungendo a suddividere così il sito stesso in zone ritenute sufficientemente omogenee per le quali sono state effettuate delle valutazioni sulla maggiore o minore predisposizione all'innescio di caduta massi (vedi anche § 4.2).

Porzione orientale del sito

Le pareti si presentano piuttosto frammentate e coperte da abbondante vegetazione i cui apparati radicali contribuiscono in maniera sostanziale alla fratturazione dell'ammasso.

Porzione centro orientale del sito

Le pareti si alzano in quota lungo il versante e presentano nella zona più bassa una stratificazione piuttosto fitta che tende invece a diventare massiccia nella parte più elevata.

Porzione centrale del sito

Le pareti sono sostanzialmente simili a quelle presenti nella porzione orientale del sito: anche qui risultano piuttosto fratturate e ricoperte da vegetazione.

Porzione centro occidentale del sito

Le pareti della parte alta del versante sono piuttosto continue, mentre quelle a quota inferiore risultano costituite da affioramenti di estensione limitata, coperti da vegetazione e con un grado di fratturazione piuttosto variabile.

Sulla base delle considerazioni di cui sopra è stata quindi effettuata una zonazione del sito in tre aree a differente attività relativa: alta, media e bassa (vedi tavole 4 e 5 - Zona B).

Si ricorda come il termine relativo (vedi § 2.5) stia a significare come i gradi di attività considerati servano esclusivamente come confronto tra aree appartenenti ad un medesimo sito, ma non possano essere usati per analisi e confronti tra siti differenti.

4.7. Opere di difesa esistenti

L'area in esame risulta caratterizzata dalla presenza di alcune opere di difesa installate a seguito di episodi di crollo verificatisi in passato.

È presente un rete paramassi installata alla quota di circa 290 m s.l.m. in corrispondenza delle sperone roccioso che nella zona centrale si spinge maggiormente verso valle e dove è presente un accumulo di frana da crollo (vedi anche § 4.2).

Sulla base delle osservazioni effettuate nel corso dei sopralluoghi le possono essere attribuite le seguenti caratteristiche:

- rete paramassi di tipo planare con una lunghezza complessiva di circa 60 m costituita da due tronconi separati e installati con una zona di sovrapposizione di circa 5 m.
- altezza totale, non calcolata perpendicolarmente al pendio, di circa 2.5 m.
- struttura di supporto data da montanti costituiti da profilati metallici rigidamente vincolati e disposti con interasse di circa 10 m ad esclusione di quelli della zona di sovrapposizione che presentano un interasse di 5 m.
- struttura di intercettazione data da una rete metallica primaria in grado di sostenere la maggior parte della forza trasmessa dal blocco e una rete secondaria con la funzione di intercettare gli elementi lapidei di dimensioni minori. La rete primaria è costituita da funi metalliche connesse da borchie e da funi longitudinali e trasversali ed è realizzata da pannelli di larghezza di circa 5 m giuntati mediante funi di collegamento. Le funi trasversali sono incrociate e collegate ai montanti mediante dissipatori di energia. La rete secondaria è invece costituita da una semplice rete metallica a maglia esagonale a doppia torsione.
- ancoraggi laterali e di monte realizzati mediante controventi costituiti da funi collegate con giunzioni morsettate e dotate anch'esse di dissipatori di energia.

È stata inoltre rilevata, all'interno dell'alveo presente verso il confine orientale dell'area indagata, una rete metallica addossata che presenta le seguenti caratteristiche:

- rete a maglia esagonale a doppia torsione ancorata alle pareti mediante barre filettate e piastre metalliche di aderenza.
- non è stato possibile valutare l'estensione effettiva del tratto coperto dalla rete in quanto il suo sviluppo è ormai celato dalla vegetazione. Non si hanno garanzie sulla sua effettiva efficacia in quanto gli ancoraggi appaiono coperti da ruggine.

4.8. Risultati modellazione in corrispondenza delle sezioni di controllo

Le sezioni di controllo sono state scelte lungo le traiettorie prese in esame (da A-A' a H-H') con criteri differenti a seconda dell'obiettivo dell'analisi.

Per quanto riguarda la traiettoria A-A' la sezione di controllo è stata scelta ad una quota di 265 m s.l.m. a monte degli edifici della frazione di Pilzone presenti, con lo scopo di verificare energie, velocità e rimbalzi dei massi in grado di transitare a questa quota e prevedere quindi eventuali opere di difesa.

Per quanto riguarda le traiettorie B-B', C-C', E-E' F-F' e H-H' le sezioni di controllo sono state poste ad una quota di 250 m s.l.m. a monte rispetto agli edifici della frazione di Pilzone ai piedi del versante con il medesimo scopo di cui sopra.

Per quanto riguarda la traiettoria D-D' la sezione di analisi è stata posta ad una quota di 290 m s.l.m. in corrispondenza della barriera paramassi già presente sull'area in esame con lo scopo di verificarne l'efficacia analizzando energie, velocità e rimbalzi dei massi.

Per la traiettoria G-G' la sezione di controllo è stata posta alla quota di 250 m s.l.m. e ha lo scopo di valutare energie, velocità e rimbalzi dei massi che provengono esclusivamente dalle pareti più basse per capirne la differenza di comportamento rispetto a quelli provenienti da quote maggiori.

Nelle tabelle seguenti vengono presentati i risultati della modellazione in corrispondenza delle sezioni di controllo sopra indicate:

Traiettoria A-A' – Zona B

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	265
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	127.9
Masso di progetto	diametro (m) 0.9 spessore (m) 0.5 peso (kg) 827
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	82/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 51 max 200
Velocità masso di progetto (m/s)	media 9 max 19
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 0.8 75% massi ≤ 1.3 90% massi ≤ 1.8

Traiettoria B-B' – Zona B

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	250
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	190.2
Masso di progetto	diametro (m) 0.9 spessore (m) 0.5 peso (kg) 827
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	30/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 51 max 200
Velocità masso di progetto (m/s)	media 9 max 19
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 0.7 75% massi ≤ 1.2 90% massi ≤ 1.6

Traiettoria C-C' – Zona B

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	250
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	206.7
Masso di progetto	diametro (m) 0.9 spessore (m) 0.5 peso (kg) 827
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	21/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 48 max 164
Velocità masso di progetto (m/s)	media 9 max 18
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 1.0 75% massi ≤ 1.6 90% massi ≤ 2.1

Traiettoria D-D' – Zona B

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	290
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	136.5
Masso di progetto	diametro (m) 0.9 spessore (m) 0.5 peso (kg) 827
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	302/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 106 max 469
Velocità masso di progetto (m/s)	media 12 max 30
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 1.5 75% massi ≤ 2.4 90% massi ≤ 3.3

Traiettoria E-E' – Zona B

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	250
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	208.2
Masso di progetto	diametro (m) 0.9 spessore (m) 0.5 peso (kg) 827
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	23/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 53 max 251
Velocità masso di progetto (m/s)	media 9 max 22
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 0.8 75% massi ≤ 1.2 90% massi ≤ 1.7

Traiettoria F-F' – Zona B

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	250
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	194
Masso di progetto	diametro (m) 0.9 spessore (m) 0.5 peso (kg) 827
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	275/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 88 max 488
Velocità masso di progetto (m/s)	media 11 max 31
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 1.4 75% massi ≤ 2.3 90% massi ≤ 3.1

Traiettoria G-G' – Zona B

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	250
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	81.4
Masso di progetto	diametro (m) 0.9 spessore (m) 0.5 peso (kg) 827
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	14/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 50 max 105
Velocità masso di progetto (m/s)	media 9 max 14
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 1.0 75% massi ≤ 1.6 90% massi ≤ 2.1

Traiettoria H-H' – Zona B

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	250
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	210.4
Masso di progetto	diametro (m) 0.9 spessore (m) 0.5 peso (kg) 827
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	53/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 64 max 191
Velocità masso di progetto (m/s)	media 10 max 20
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 1.0 75% massi ≤ 1.5 90% massi ≤ 2.0

4.8.1. Considerazioni relative alle traiettorie A-A', B-B' e C-C'

Nella porzione centro orientale dell'area oggetto di studio i massi che arrivano in corrispondenza delle sezioni di controllo, poste tra i 265 e i 250 m, presentano valori di energia cinetica, velocità e rimbalzi da modesti a mediocri anche a causa della distanza non trascurabile delle sezioni considerate rispetto alle pareti sorgente.

4.8.2. Considerazioni relative alla traiettoria D-D'

Per quanto riguarda la sezione lungo la traiettoria D-D', energie, velocità e rimbalzi diventano maggiormente rilevanti a causa soprattutto della vicinanza delle pareti rocciose rispetto alla barriera considerata come sezione di controllo.

Per valutare l'efficienza della barriera paramassi esistente è risultato necessario considerare l'effettiva altezza di intercettazione rispetto ai blocchi provenienti dal versante. Tale altezza non coincide necessariamente con l'altezza totale della barriera e, dipendendo dalla morfologia del pendio e dalla modalità di posizionamento della barriera stessa, deve essere calcolata perpendicolarmente al versante. Sulla base delle osservazioni effettuate durante i sopralluoghi risulta come la barriera sia stata posizionata lungo un tratto non particolarmente acclive; situazione che, mantenendo intatta l'altezza di intercettazione totale (2.5 m), non ne compromette l'efficacia.

L'analisi delle simulazioni ha però mostrato come i rimbalzi in corrispondenza della sezione possano essere anche piuttosto rilevanti e come quindi l'opera, pur dotata teoricamente di buona efficacia, non sia in grado di assicurare un azzeramento del rischio.

4.8.3. Considerazioni relative alle traiettorie E-E', G-G' ed H-H'

Per quanto riguarda le traiettorie in oggetto si osserva come i valori di energia, velocità e rimbalzi in corrispondenza delle sezioni considerate siano, similmente alle traiettorie della porzione centro orientale del sito, da modesti a mediocri sempre per la distanza delle sezioni considerate rispetto alle pareti sorgente.

4.8.4. Considerazioni relative alla traiettoria F-F'

Per quanto riguarda la sezione lungo la traiettoria considerata energie, velocità e rimbalzi sono piuttosto rilevanti a causa delle pareti rocciose intermedie che, oltre ad essere sorgenti di crollo esse stesse, fungono da "trampolino" per i massi provenienti dalle pareti più alte.

4.9. Tavola 5 – zona B “Carta della pericolosità finale”

Partendo dai risultati confluiti nella carta di pericolosità preliminare (vedi § 4.5) e sulla base della suddivisione dell’area sorgente dei crolli in zone ad alta, media e bassa attività relativa (vedi § 4.6) è stato possibile costruire una carta della pericolosità finale.

Questa ulteriore zonazione della pericolosità (da H1 a H5) è stata ottenuta, come descritto nel § 2.6, partendo dai valori di pericolosità preliminare che sono stati aumentati di uno, mantenuti costanti o diminuiti di uno a seconda che le pareti soprastanti siano state classificate ad alta, media o bassa attività.

Essendo però già presente nell’area di indagine una barriera paramassi (vedi § 4.7) il criterio sopra descritto è stato localmente modificato tenendo conto dell’efficienza dell’opera stessa. A valle di tale opera quindi il grado di pericolosità è stato ridefinito in base ai risultati della modellazione sulla sezione di controllo confrontati con le caratteristiche costruttive e le modalità di installazione della barriera.

Il grado di pericolosità finale attribuito a quest’aree dipende quindi sostanzialmente dalla possibilità che l’opera di difesa subisca o meno uno scavalco da parte dei massi che la raggiungono (vedi § 4.8).

Un ulteriore elemento che deve essere necessariamente tenuto in considerazione è il grado di protezione offerto dagli edifici presenti in grado di costituire essi stessi delle “barriere” per la porzione di territorio a valle. Le zone di “ombra” prodotte dagli edifici sono state costruite mediante le linee di massima pendenza del versante.

È bene comunque tenere presente che le traiettorie effettive dei massi possono essere anche piuttosto variabili rispetto alla linea di massima pendenza; questo in funzione sia delle variazioni a piccola scala della morfologia del versante sia per la possibilità che si verifichino rimbalzi lungo gli spigoli dei blocchi in grado produrre scarti anche di un certo rilievo.

Per le considerazioni di cui sopra si è adottato un criterio cautelativo attribuendo comunque una classe di pericolosità H1 anche a tergo di tali edifici.

Si ricorda inoltre come la zonazione della pericolosità che risulta dall’applicazione di questa procedura, in accordo ai “Criteri attuativi l.r. 12/05 per il governo del territorio-Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio”, sia relativa al sito oggetto di indagine e non confrontabile coi risultati ottenuti in altri siti.

Considerazioni sulla porzione orientale del sito.

- La fascia H4 risulta ovviamente quella più vicina alle pareti rocciose ed interessa una porzione di versante priva di edifici.
- La fascia H3 è piuttosto ristretta e interessa anch'essa una parte del versante senza edifici.
- Gli edifici presenti alla base del pendio ricadono in fascia H2.

Considerazioni sulla porzione centro-orientale del sito.

- La zona a contatto con le pareti rocciose ricade qui in fascia H3 in considerazione del fatto che le pareti presentano una probabilità relativa di distacco prevalentemente bassa.
- La fascia H2 è piuttosto ristretta e interessa, come per altro la zona precedente, una porzione del versante priva di edifici.
- Gli edifici presenti più a valle ricadono invece in fascia H1.

Considerazioni sulla porzione centrale del sito.

- La fascia H5 interessa la zona direttamente a contatto con le pareti rocciose ed è interrotta a valle per la presenza di un'opera paramassi (vedi § 4.7).
- A valle di tale opera la fascia H5 è stata quindi sostituita dalla fascia H2 in funzione dell'efficienza dei sistemi di intercettazione (vedi § 4.8).
- Gli edifici presenti più a valle ricadono invece in fascia H1.

Considerazioni sulla porzione occidentale del sito.

- La fascia H4 risulta piuttosto estesa anche per la presenza di pareti rocciose discontinue lungo il versante, ma interessa una porzione di territorio priva di edifici.
- La fascia H3 è di estensione limitata e interessa anch'essa una parte di pendio senza edifici.
- Alcuni edifici presenti alla base del versante ricadono in fascia H2.

4.10. Conclusioni Zona B “San Fermo”

La ricostruzione storica degli eventi di caduta massi verificatisi negli anni, le informazioni ottenute dallo studio geologico e geomeccanico e le simulazioni numeriche eseguite hanno permesso di suddividere il territorio ai piedi delle pareti in aree a diversa pericolosità.

Le simulazioni di caduta massi hanno confermato le evidenze raccolte recentemente nel corso dei sopralluoghi effettuati in sito relativamente al fatto che la distanza degli edifici a valle delle pareti rocciose è tale da far ritenere che sia remota la possibilità che possano essere colpiti da massi aventi energie elevate.

In genere le simulazioni hanno preso come riferimento sezioni di controllo di transito dei massi per valutare la loro energia e velocità in zone che sono state poste a monte delle abitazioni, ad una distanza dalle abitazioni variabile da sezione a sezione che è compresa tra 30 – 50 m; vi è quindi uno spazio, sebbene modesto, di sicurezza ulteriore in relazione alla bassa energia dei massi.

Infatti, il masso percorrendo questo tratto, a causa della morfologia a bassa pendenza del versante, può ancora rallentare, diminuendo ulteriormente la sua modesta energia prima di impattare eventualmente contro gli edifici.

A questo fatto si aggiunge la considerazione che in genere le abitazioni presentano sul lato di monte alberi e vegetazione arbustiva, tratti pianeggianti, recinzioni, muri di confine e capezzagne che a loro volta costituiscono un ostacolo alla progressione di un masso avente bassa energia.

Trattandosi di un'area molto vasta, naturalmente vi possono essere situazioni morfologiche particolari che possono determinare accelerazioni non prevedibili oppure aree in cui il versante in roccia è ad una distanza dalle abitazioni minore rispetto ad altre zone: tutti fattori che possono determinare un grado di pericolosità relativamente superiore, ma non tale da richiedere interventi impegnativi dal punto di vista economico per l'Amministrazione Comunale come una difesa completa in linea mediante barriera paramassi che risulterebbe sovradimensionata sulla base delle analisi effettuate e degli eventi verificatisi fino ad oggi.

La zona più critica proprio per la morfologia del pendio risulta essere quella centrale dell'area che però è già adeguatamente difesa da barriere paramassi (vedi § 4.8).

In conclusione si suggerisce all'Amministrazione Comunale di deliberare una prescrizione normativa su tutta l'area che consiste nella salvaguardia, con funzione protettiva, del bosco

esistente sull'intero versante. Le simulazioni di caduta massi e le evidenze sul territorio hanno dimostrato che l'esistenza della vegetazione arborea ed arbustiva favorisce in maniera determinante la diminuzione della velocità dei massi e conseguentemente della loro energia e le altezze dei rimbalzi.

A questo proposito sarebbe opportuna l'applicazione del vincolo previsto dall'art. 17 del Regio Decreto 1923 relativo ai boschi con funzione protettiva.

Si sconsiglia, inoltre, la realizzazione di nuove abitazioni soprattutto se le previsioni insediative riguardano aree verso monte, quindi più vicine alle pareti rocciose di quanto lo siano gli edifici esistenti.

Infine per gli edifici esistenti, cautelativamente si suggerisce di invitare i privati a verificare lo stato di consistenza delle recinzioni e dei muri di confine verso monte e ove non vi fossero a provvedere alla loro realizzazione. Infatti sebbene sia remota la possibilità che un masso raggiunga gli attuali edifici, la presenza di recinzioni robuste o muri di confine di altezza non inferiore a 1,5 m possono rappresentare un ulteriore elemento di sicurezza soprattutto per le abitazioni più esposte verso monte e ricomprese all'interno delle classi di rischio H3/H2.

5. ZONA C – “MONTE DEL CRILI”

L'area, denominata nel presente lavoro “Zona C – Monte del Crili” comprende quella porzione di versante che dal monte medesimo scende verso la frazione di Dangoli e che si estende dalla quota di circa 650 m fino a circa 200 m s.l.m..

Come ricordato nella premessa l'attività di crolli recenti che ha interessato l'area è testimoniata da una serie di nicchie di distacco di aspetto piuttosto “fresco” (vedi tavola fotografica – Zona C) lungo le pareti rocciose, da un accumulo di frana da crollo solo in parte stabilizzato dalla vegetazione oltre che dalla presenza di blocchi lungo l'intero versante.

5.1. Inquadramento geologico (Tavola 2 – Zona C)

L'area in esame vede affiorare differenti formazioni geologiche che vengono descritte a partire dalla più antica:

- Formazione di Villa Carcina costituita da calciruditi fini e calcareniti di colore bruno- nocciola, riccamente selciose, in banchi e/o strati gradati e laminati di natura torbida intercalati a peliti e calcari marnosi.
- Formazione dei “Calcari medoloidi” caratterizzata da calcari e calcari marnosi grigi, bioturbati e attraversati da sottili listarelle centimetriche di selce, in banchi e strati separati da marne.
- Formazione delle “Radiolariti” costituita da selci policrome in strati centimetrici, di colore prevalentemente verdastro nella parte inferiore e rosso in quella superiore. Localmente presenta intercalazioni di marne e argilliti.
- Formazione del “Rosso ad aptici” formato da calcari marnosi, marne calcaree e marne, spesso silicei, di colore prevalentemente rosso, in banchi e strati, con selce rossastra e talora verdognola per lo più disposta a listarelle.

Il versante sottostante le pareti è interessato da una coltre di detrito di falda, costituita da elementi clastici di grossa e media pezzatura, con uno spessore generalmente limitato e ricoperta da vegetazione arborea ed arbustiva (vedi fotografia 7).

Nella porzione inferiore del versante affiorano invece depositi glaciali costituiti da ghiaie e blocchi poligenici in matrice limosa (vedi fotografia 8) che localmente sono coperti da frammenti rocciosi detritici; ne deriva che il limite tra depositi glaciali e detrito di falda non è sempre facilmente individuabile e di conseguenza esso è stato tracciato anche sulla base dei risultati della modellazione.



Fotografia 7 – Detrito di falda in cui è possibile notare la natura omogenea (calcareo) dei clasti e la forma spigolosa degli stessi, indice di un trasporto limitato.



Fotografia 8 – Deposito glaciale in cui è possibile notare la natura eterogenea dei clasti e la loro forma generalmente arrotondata. Si noti anche la granulometria del deposito estremamente eterogenea e variabile dalle sabbie e limi fino ai blocchi.

5.2. Tavola 3 – zona B “Carta geologico tecnica con elementi morfologici”

I risultati dei rilievi e dei sopralluoghi effettuati in situ sono stati sintetizzati nella Tavola 3 – Zona C in scala 1:5000.

I rilievi geologici tradizionali affiancati alla diverse tecniche e metodologie adottate per lo studio dell'area hanno permesso di ricostruire gli elementi morfologici di maggiore interesse presenti.

L'area è caratterizzata dalla presenza sia di pareti rocciose continue, nella porzione centrale del sito, sia di affioramenti rocciosi di limitata estensione che interrompono la vegetazione arborea ed arbustiva.

Le pareti rocciose, che affiorano con maggior continuità nella zona centrale del sito, risultano caratterizzate da una stratificazione decisamente fitta, presentano segnali di distacchi recenti (vedi tavola fotografica Zona C) oltre ad essere interessate da numerose fratture profonde (vedi fotografie 7 e 8).

Lungo il versante ai piedi di queste pareti è stato cartografato un accumulo di frana da crollo (vedi tavola fotografica Zona C) che risulta parzialmente coperto dalla vegetazione.

Lungo l'intero versante risultano comunque evidenti blocchi franati provenienti dalle pareti sovrastanti che presentano un aspetto piuttosto “fresco” indice di crolli relativamente recenti.

Dal punto di vista idrografico si evidenzia la presenza di numerosi impluvi piuttosto incisi che possono rappresentare delle vie preferenziali per il rotolamento di blocchi rocciosi provenienti dal versante.

5.3. Caratterizzazione di massima dell'ammasso roccioso

In considerazione dell'inaccessibilità della base delle pareti presenti nell'area di indagine non è stato possibile effettuare un rilievo geomeccanico.

L'accesso alla cima del Monte del Crili dal comune di Provaglio d'Iseo, oltre alle osservazioni sulla morfologia dei blocchi presenti lungo il versante, ha però permesso di effettuare dei rilievi e delle valutazioni sulle famiglie di discontinuità presenti e sulla loro orientazione in modo da giungere ad una caratterizzazione dell'ammasso roccioso e dei cinematismi di distacco prevalenti.

Dalle misure effettuate è stato possibile individuare tre sistemi principali di discontinuità tra i quali il predominante, la stratificazione, presenta una giacitura sub orizzontale o con una debole pendenza verso NW (vedi tabella seguente).

Famiglie di discontinuità	St	K₁	K₂
Giacitura media(°)	N300/4	N290/84	N90/80

Le osservazioni condotte in situ sulle discontinuità presenti e la loro spaziatura hanno permesso di comprendere come l'ammasso presenti condizioni generali scadenti e come i meccanismi di distacco prevalenti risultino essere i ribaltamenti e gli scivolamenti planari.

Praticamente sull'intero ammasso roccioso sono state inoltre osservate numerose e profonde fratture in grado di isolare porzioni di roccia e speroni anche di rilevanti dimensioni (vedi fotografie 9 e 10).

In considerazione però delle condizioni scadenti dell'ammasso e della stratificazione piuttosto fitta si ritiene ragionevole che il distacco di porzioni anche importanti di pareti rocciose debba portare, all'atto del primo impatto, ad un'estrema frammentazione del blocco originario.

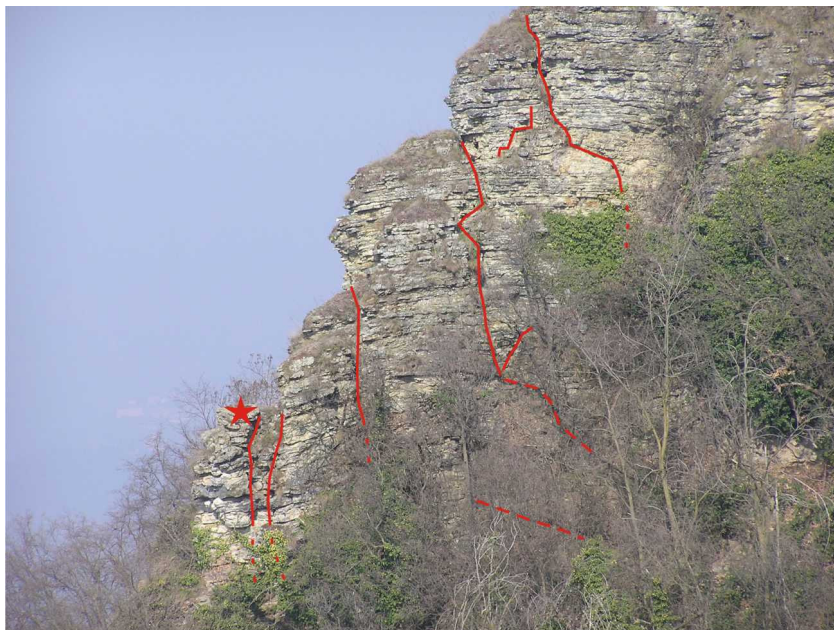
Ci si attende pertanto, anche sulla base delle osservazioni effettuate sulla pezzatura dei blocchi presenti lungo l'intero versante, che il verificarsi di un distacco di notevoli proporzioni abbia come effetto il rotolamento lungo il pendio di numerosi frammenti di dimensioni limitate piuttosto che quello di un singolo enorme blocco (vedi anche § 5.8).

5.4. Analisi massa di progetto, traiettorie di caduta e arresti

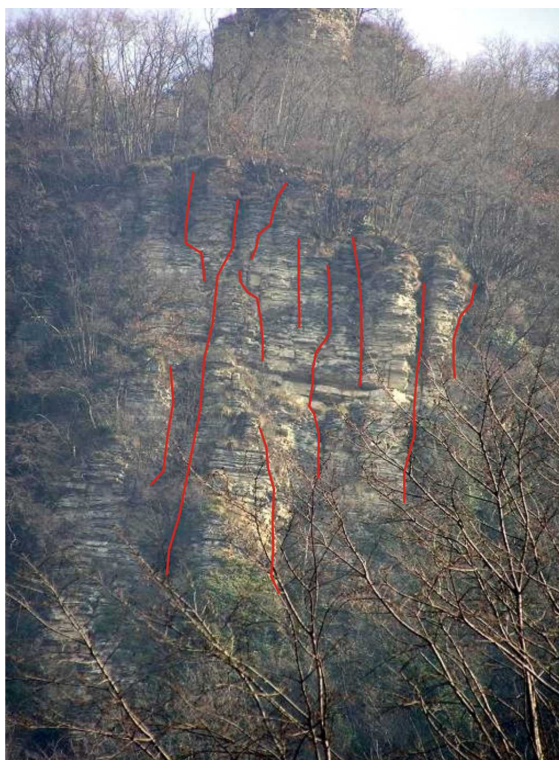
Le indagini effettuate in situ hanno permesso, come già anticipato, l'individuazione della morfologia e dei volumi caratteristici dei massi già distaccatisi e presenti lungo il versante e di quelli potenzialmente rimuovibili riconosciuti in parete.

Si ricorda che per volumi caratteristici si intendono i "volumi modali" che corrispondono a quelli maggiormente ricorrenti sulla base delle osservazioni effettuate.

Una volta stabilito il volume dei blocchi maggiormente rappresentativo del sito questo è stato attribuito ad un masso definito "masso di progetto" da utilizzare nelle simulazioni numeriche.



Fotografia 9 – Fratture continue nella parte alta del versante; la stella indica un blocco in equilibrio precario.



Fotografia 10 – Fratture presenti nella porzione sud occidentale delle pareti rocciose.

L'utilizzo del codice di calcolo ha imposto inoltre l'individuazione di una morfologia semplificata del masso di progetto.

I massi presenti in situ hanno generalmente una forma tabulare che è stata ritenuta maggiormente assimilabile, ai fini delle simulazioni numeriche, a quella discoidale.

Essendo il sito in esame caratterizzato dalla presenza di numerosi impluvi ben delineati (vedi tavola fotografica - Zona C) si è considerato come questi possano effettivamente rappresentare delle vie preferenziali per la caduta massi e quindi sono stati fatti coincidere con le traiettorie utilizzate per le simulazioni numeriche.

Nella porzione centrale dell'area, dove non sono risultati evidenti impluvi simili a quelli descritti, è stata tracciata un'ulteriore traiettoria che avesse una validità generale per tutta la porzione di versante sotto le pareti rocciose principali.

Nella tabella seguente sono riportate le dimensioni caratteristiche di quello che è stato definito come "masso di progetto" per l'intero sito:

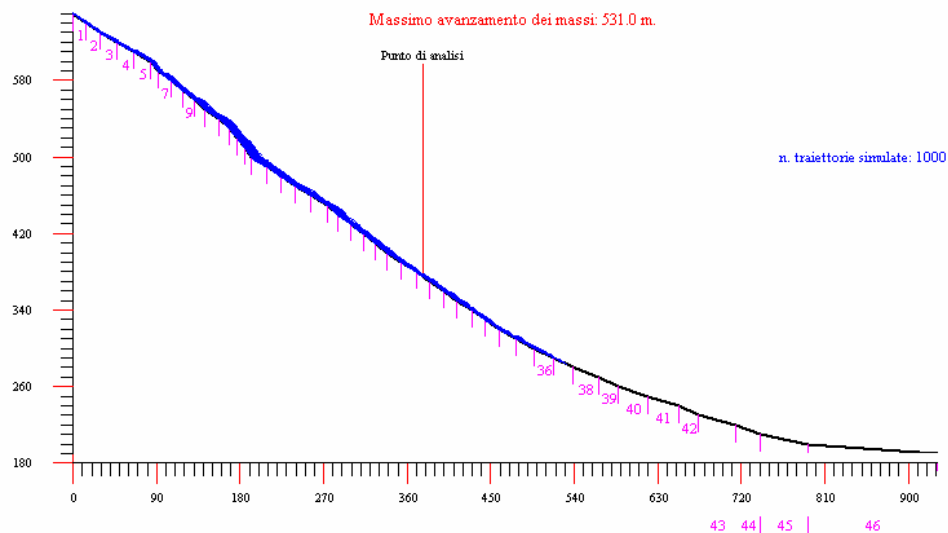
MASSO DI PROGETTO	Diametro (m)	Spessore (m)	Forma per le
	masso di progetto	masso di progetto	simulazioni
	0.6	0.2	discoidale

Per ogni traiettoria, in accordo ai "Criteri attuativi l.r. 12/05 per il governo del territorio - Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio" sono state effettuate 1000 simulazioni di cadute.

I risultati della analisi in termini di velocità, energie cinetiche e altezze dei rimbalzi in corrispondenza delle sezioni di controllo ritenute significative verranno descritte nel § 5.7.

Di seguito vengono invece presentati, sezione per sezione, i risultati delle traiettorie di caduta e le distanze di arresto dei massi espresse in percentuale che sono servite per la realizzazione della tavola 4 – Zona C (vedi § seguente).

Sezione A-A' - Zona C "Monte del Crili"

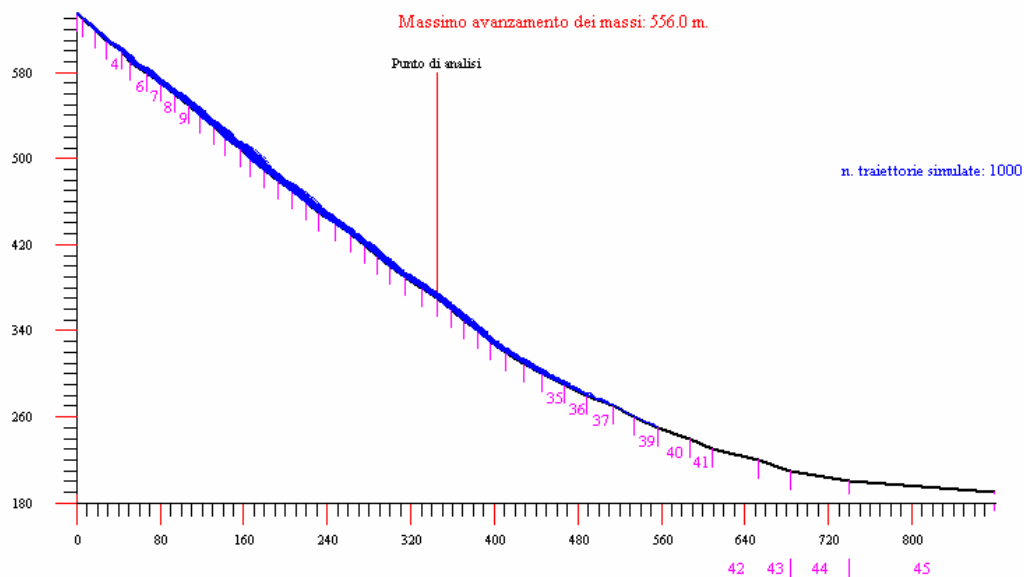


Sezione A-A'

D (m)	ΣN	%
30	82	8.2
60	213	21.3
90	322	32.2
120	380	38
150	442	44.2
180	473	47.3
210	592	59.2
240	742	74.2
270	882	88.2
300	914	91.4
330	928	92.8
360	948	94.8
390	965	96.5
420	977	97.7
450	982	98.2
480	990	99
510	996	99.6
540	1000	100

Dove: **D** = distanza dall'origine della sezione in m, **ΣN** = somma progressiva del numero di massi arrestatisi lungo il versante entro la distanza considerata e **%** = percentuale dei massi arrestatisi entro la distanza considerata.

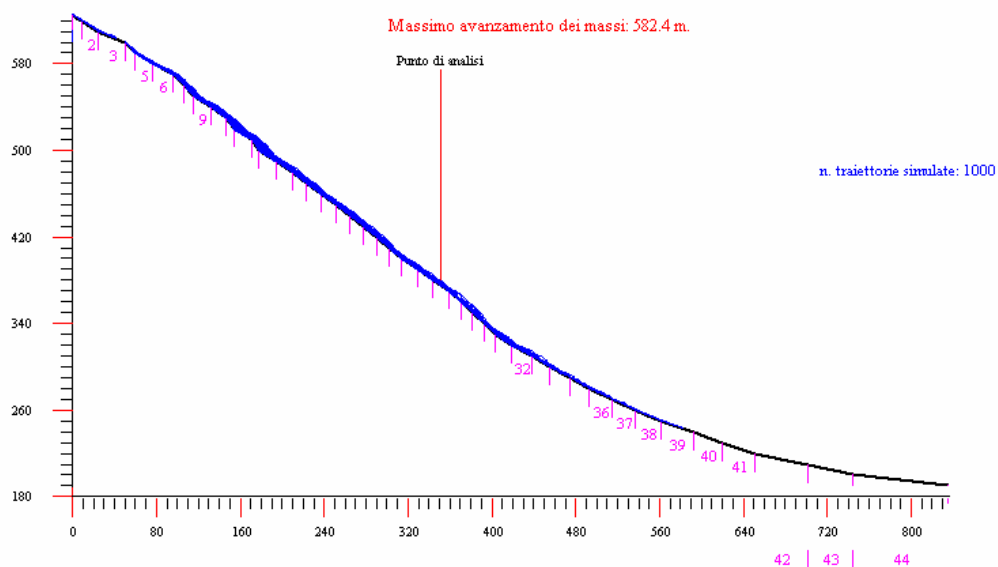
Sezione B-B' - Zona C "Monte del Crili"



Sezione B-B'

D (m)	ΣN	%
30	33	3.3
60	103	10.3
90	175	17.5
120	226	22.6
150	282	28.2
180	353	35.3
210	470	47
240	582	58.2
270	743	74.3
300	791	79.1
330	869	86.9
360	913	91.3
390	929	92.9
420	945	94.5
450	973	97.3
480	989	98.9
510	999	99.9
540	999	99.9
570	1000	100

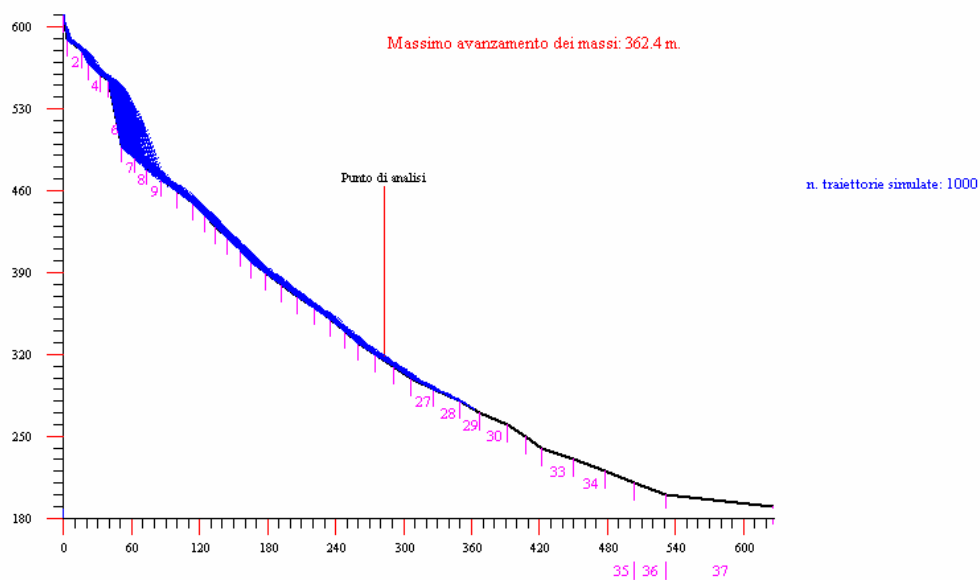
Sezione C-C' - Zona C "Monte del Crili"



Sezione C-C'

D (m)	ΣN	%
30	193	19.3
60	201	20.1
90	341	34.1
120	398	39.8
150	510	51
180	628	62.8
210	801	80.1
240	854	85.4
270	912	91.2
300	933	93.3
330	950	95
360	969	96.9
390	973	97.3
420	976	97.6
450	989	98.9
480	995	99.5
510	996	99.6
540	997	99.7
570	998	99.8
600	1000	100

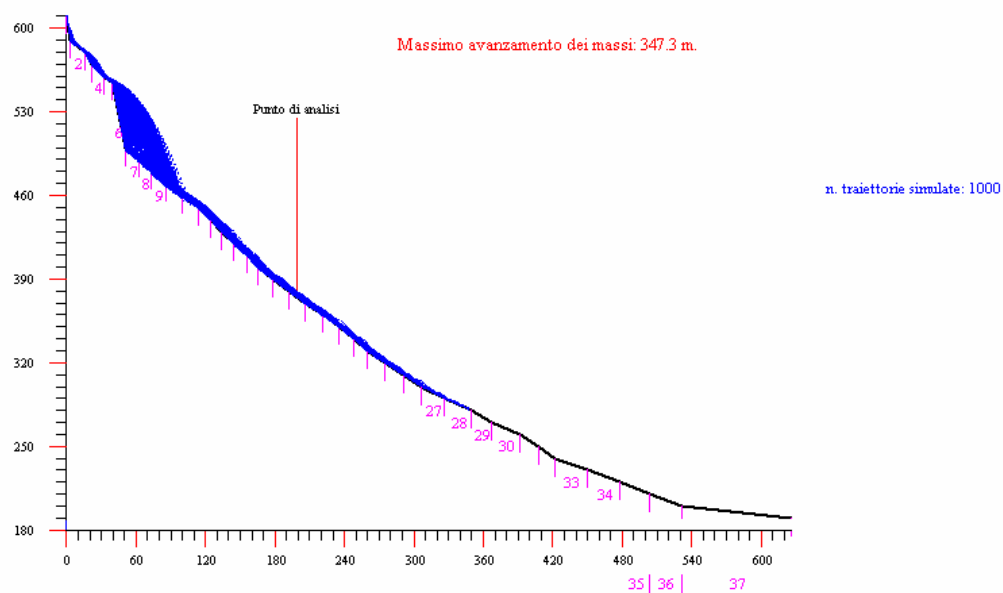
Sezione D-D' - Zona C "Monte del Crili"



Sezione D-D'

D (m)	ΣN	%
30	83	8.3
60	321	32.1
90	442	44.2
120	593	59.3
150	615	61.5
180	664	66.4
210	772	77.2
240	864	86.4
270	897	89.7
300	951	95.1
330	984	98.4
360	999	99.9
390	1000	100

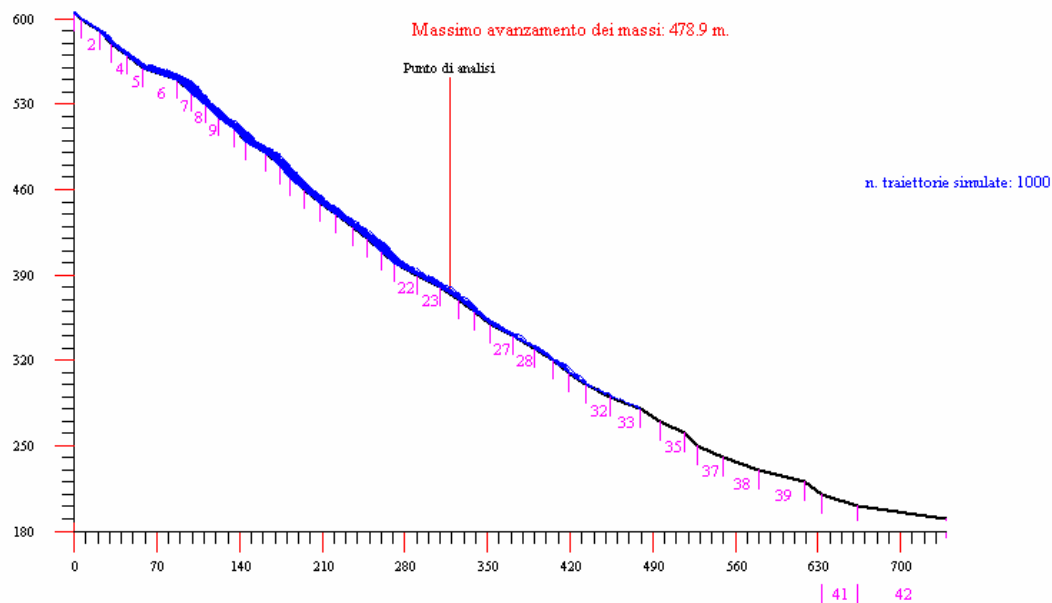
Sezione E-E' - Zona C "Monte del Crili"



Sezione E-E'

D (m)	ΣN	%
30	2	0.2
60	176	17.6
90	359	35.9
120	545	54.5
150	577	57.7
180	678	67.8
210	823	82.3
240	925	92.5
270	943	94.3
300	973	97.3
330	990	99
360	1000	100

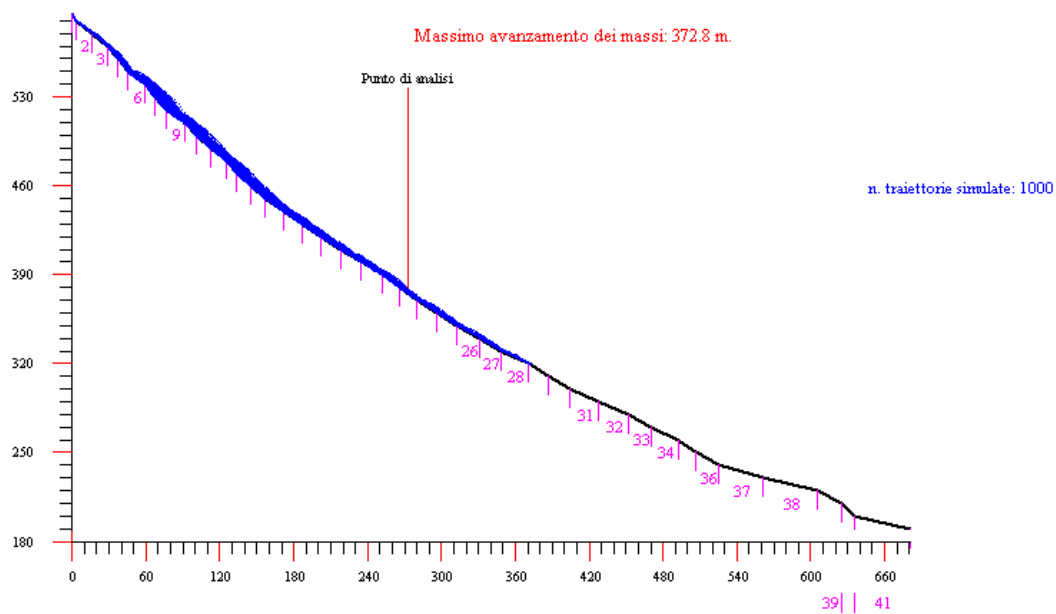
Sezione F-F' - Zona C "Monte del Crili"



Sezione F-F'

D (m)	ΣN	%
30	37	3.7
60	82	8.2
90	410	41
120	464	46.4
150	576	57.6
180	705	70.5
210	757	75.7
240	819	81.9
270	844	84.4
300	951	95.1
330	978	97.8
360	984	98.4
390	993	99.3
420	995	99.5
450	998	99.8
480	1000	100

Sezione G-G' - Zona C "Monte del Crili"



Sezione G-G'

D (m)	ΣN	%
30	17	1.7
60	21	2.1
90	88	8.8
120	149	14.9
150	195	19.5
180	371	37.1
210	643	64.3
240	850	85
270	923	92.3
300	955	95.5
330	980	98
360	996	99.6
390	1000	100

5.5. Tavola 4 – zona C “Carta della pericolosità preliminare”

Sulla base dei risultati presentati nel paragrafo precedente è stato possibile eseguire una zonazione longitudinale delle traiettorie, come spiegato nel § 2.4.

I risultati ottenuti per ciascuna traiettoria sono stati opportunamente interpolati ottenendo una suddivisione dell'area in esame in tre zone alle quali sono stati attribuiti tre differenti gradi di pericolosità preliminare (H4, H3 e H2).

Per la comprensione del significato del termine preliminare attribuito al grado di pericolosità si rimanda al § 2.4.

Si può notare come la fascia a pericolosità più elevata H4 (rappresentata dall'area di transito e arresto del 70 % dei massi della simulazione) sia chiaramente quella più a monte e vicina alle pareti rocciose e presenti un andamento che ricalca quello delle pareti considerate sorgenti dei crolli.

È possibile osservare come le fasce di pericolosità H4 ed H3 interessino una porzione del versante priva di edifici o opere antropiche, ad esclusione della parte più occidentale dove è presente una strada sterrata che rientra in parte in fascia H3.

La fascia H2, oltre a comprendere una parte della strada sopraccitata, lambisce solamente la parte antropizzata posta alla base del versante.

5.6. Stato di attività relativa delle zone sorgenti dei crolli

Le indagini eseguite in sito hanno permesso di effettuare delle osservazioni sul grado di fratturazione degli ammassi rocciosi costituenti “l'area sorgente”, nonché sulla loro estensione e continuità spaziale lungo il versante, giungendo a suddividere così il sito stesso in zone ritenute sufficientemente omogenee per le quali sono state effettuate delle valutazioni sulla maggiore o minore predisposizione all'innescio di caduta massi (vedi anche § 5.2 e 5.3).

Mentre quindi le zone orientale ed occidentale del sito risultano caratterizzate da pareti discontinue, coperte da abbondante vegetazione e con una pendenza media generalmente modesta, la porzione centrale presenta pendenze maggiori ed è caratterizzata in parte da vallecole profondamente incise e abbondante vegetazione e in parte da pareti decisamente continue, con una stratificazione fitta e numerose fratture.

Sulla base delle considerazioni di cui sopra è stata quindi effettuata una zonazione del sito in tre aree a differente attività relativa: alta, media e bassa (vedi tavole 4 e 5 - Zona C).

Si ricorda come il termine relativo (vedi § 2.5) stia a significare come i gradi di attività considerati servano esclusivamente come confronto tra aree appartenenti ad un medesimo sito, ma non possano essere usati per analisi e confronti tra siti differenti.

5.7. Risultati modellazione in corrispondenza delle sezioni di controllo

Non essendo presenti sul versante barriere paramassi già installate delle quali valutare l'efficienza e non coinvolgendo con la simulazione di caduta massi, edifici per i quali dimensionare le opere di difesa, le sezioni di controllo sono state scelte in una posizione intermedia lungo il pendio con lo scopo di verificare energie, velocità e rimbalzi dei massi in grado di transitare a quella quota.

Per tutte le traiettorie esaminate (da A-A' a G-G') la sezione di controllo è stata quindi scelta ad una quota di 375 m s.l.m..

Nelle tabelle seguenti vengono presentati i risultati della modellazione in corrispondenza delle sezioni di controllo sopra indicate:

Traiettoria A-A' – Zona C

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	375
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	377
Masso di progetto	diametro (m) 0.6 spessore (m) 0.2 peso (kg) 147
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	40/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 7 max 25
Velocità masso di progetto (m/s)	media 8 max 17
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 0.6 75% massi ≤ 1.0 90% massi ≤ 1.3

Traiettoria B-B' – Zona C

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	375
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	345.6
Masso di progetto	diametro (m) 0.6 spessore (m) 0.2 peso (kg) 147
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	100/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 10 max 40
Velocità masso di progetto (m/s)	media 9 max 22
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 1.0 75% massi ≤ 1.7 90% massi ≤ 2.3

Traiettoria C-C' – Zona C

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	375
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	351
Masso di progetto	diametro (m) 0.6 spessore (m) 0.2 peso (kg) 147
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	35/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 8 max 32
Velocità masso di progetto (m/s)	media 9 max 19
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 1.0 75% massi ≤ 1.6 90% massi ≤ 2.1

Traiettoria D-D' – Zona C

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	375
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	283.4
Masso di progetto	diametro (m) 0.6 spessore (m) 0.2 peso (kg) 147
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	71/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 9 max 26
Velocità masso di progetto (m/s)	media 9 max 16
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 0.8 75% massi ≤ 1.3 90% massi ≤ 1.8

Traiettoria E-E' – Zona C

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	375
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	199.2
Masso di progetto	diametro (m) 0.6 spessore (m) 0.2 peso (kg) 147
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	236/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 10 max 42
Velocità masso di progetto (m/s)	media 10 max 22
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 1.1 75% massi ≤ 1.8 90% massi ≤ 2.4

Traiettoria F-F' – Zona C

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	375
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	317.9
Masso di progetto	diametro (m) 0.6 spessore (m) 0.2 peso (kg) 147
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	27/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 9 max 24
Velocità masso di progetto (m/s)	media 9 max 15
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 1.1 75% massi ≤ 2.0 90% massi ≤ 2.7

Traiettoria G-G' – Zona C

Quota sezione di controllo (m s.l.m.)	375
Distanza della sezione di controllo dell'inizio della traiettoria (m)	272.9
Masso di progetto	diametro (m) 0.6 spessore (m) 0.2 peso (kg) 147
Numero massi che transitano per la sezione su totale simulazioni	73/1000
Energia masso di progetto (kJ)	media 9 max 35
Velocità masso di progetto (m/s)	media 10 max 20
Rimbalzi masso di progetto (m)	50% massi ≤ 1.0 75% massi ≤ 1.6 90% massi ≤ 2.1

Dall'osservazione dei risultati sintetizzati nelle tabelle proposte emerge come alla quota scelta come sezione di controllo, intermedia rispetto allo sviluppo del versante, velocità e soprattutto energie siano decisamente modeste, in linea con le dimensioni contenute dei blocchi presenti sul pendio.

I rimbalzi invece si attestano su valori discreti, anche per la vicinanza delle sezioni di controllo alle pareti sorgente dei crolli, senza che emergano differenze rilevanti tra una zona e l'altra del versante considerato.

5.8. Modellazione per crolli in massa.

Come ricordato nel paragrafo 5.3 le pareti rocciose dell'area in esame risultano anche caratterizzate da numerose e continue fratture che, se prive di ponti di roccia, sono potenzialmente in grado di isolare e rendere instabili porzioni di roccia e speroni anche di rilevanti dimensioni.

Si è inoltre sottolineato come il verificarsi di un tale evento, in considerazione della stratificazione molto fitta dell'ammasso, debba tradursi ragionevolmente, nel momento del primo impatto col versante, in un'estrema frammentazione del volume originario.

Tale frammentazione comporta che il processo gravitativo di collasso non possa essere descritto e analizzato come il crollo di un singolo enorme blocco, ma debba essere considerato maggiormente assimilabile ad un "crollo in massa".

Questo processi, caratterizzati da lunghezze di percorso molto elevate in relazione all'area di origine, consistono proprio in una disintegrazione della massa di frana iniziale

È intuitivo come questa tipologia di fenomeno gravitativo, pur essendo caratterizzata da frammenti con pezzatura confrontabile con il "blocco di progetto" analizzato nei paragrafi precedenti, abbia la possibilità di spingersi più lontano anche per l'effetto distruttivo del fronte della frana nei confronti della vegetazione presente sul versante.

Tale fenomeno comporta infatti una drastica diminuzione del coefficiente d'attrito del versante nei confronti dei blocchi che transitano a seguito del passaggio del fronte della frana con la possibilità quindi di spingersi maggiormente a valle.

In casi come quello descritto l'aspetto fondamentale, e di difficile previsione a causa della complessità del fenomeno, consiste nell'indicazione della massima distanza raggiungibile da tali crolli.

Per valutare tale grandezza è possibile comunque affidarsi a correlazioni semi-empiriche – ricavate dall’osservazione di un certo numero di casi reali - tra la massima distanza di percorso e il volume potenziale della massa di frana come quella di Scheiddegger (1973) qui utilizzata.

$$\log (H/L) = - 0.15666 \log V + 0.62419 \pm 0.14298$$

dove:

H = dislivello totale tra la zona di accumulo e la zona di partenza del movimento franoso

V = volume potenziale della massa di frana

L = massima distanza di percorso

La presenza nella formula della deviazione standard indica come tale relazione sia da intendersi comunque in termini probabilistici e a questo scopo il percorso della frana può essere distinto (Nicoletti, 1989) in tre zone:

- zona di distruzione: tutto quanto esiste sul percorso viene spazzato via
- zona di rischio: entro tale zona la massa della frana procede fino ad arrestarsi
- zona di sicurezza: al di là della zona di rischio.

Si precisa, così come indicato anche nei “Criteri attuativi l.r. 12/05 per il governo del territorio - Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio”, che per poter considerare un movimento gravitativo come “crollo in massa”, e quindi perché anche la correlazione sopra indicata assuma validità, tale movimento dovrà interessare volumi di roccia di almeno qualche migliaio di m³.

Nel caso in esame, sulla base dell’osservazione delle pareti rocciose e dei sistemi di fratturazione, si è provato ad assumere che il massimo volume potenziale di frana sia circa 6000 m³.

Considerando il dislivello totale pari a 365 m nella porzione centrale del sito oggetto di indagine e applicando la relazione sopra indicata si ottengono i risultati della tabella seguente.

	H/L	L (m)
medio	1.08	339
minimo	1.50	243
massimo	0.78	468

Sulla base di questi risultati il percorso potenziale della frana può essere così suddiviso:

- zona di distruzione: $L_{\text{medio}} - L_{\text{min}} = 96$ m
- zona di rischio: fino a $L_{\text{max}} = 468$ m
- zona di sicurezza: oltre L_{max}

Si precisa comunque come sulla base delle osservazioni effettuate durante i sopralluoghi non siano emerse evidenze di accadimenti passati di questa portata e al momento della stesura del presente studio non si sono evidenziati diedri di roccia completamente isolati dalle pareti rocciose.

Si tratta quindi di una valutazione preliminare che meriterebbe senza dubbio un maggior approfondimento sia dal punto di vista dei rilievi da effettuare in parete sia dal punto di vista del metodo di analisi.

5.9. Tavola 5 – zona C “Carta della pericolosità finale”

Partendo dai risultati confluiti nella carta di pericolosità preliminare (vedi § 5.5) e sulla base della suddivisione dell’area sorgente dei crolli in zone ad alta, media e bassa attività relativa (vedi § 5.6) è stato possibile costruire una carta della pericolosità finale.

Questa ulteriore zonazione della pericolosità (da H1 a H5) è stata ottenuta, come descritto nel § 2.6, partendo dai valori di pericolosità preliminare che sono stati aumentati di uno, mantenuti costanti o diminuiti di uno a seconda che le pareti soprastanti siano state classificate ad alta, media o bassa attività.

Si ricorda inoltre come la zonazione della pericolosità che risulta dall’applicazione di questa procedura, in accordo ai “Criteri attuativi l.r. 12/05 per il governo del territorio-Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio”, sia relativa al sito oggetto di indagine e non confrontabile coi risultati ottenuti in altri siti.

Nel caso in oggetto è stata apportata una modifica rispetto alla procedura descritta mediante l'aggiunta di un'ulteriore fascia chiamata H1*.

Tale fascia ha lo scopo di considerare anche quella porzione di versante che potrebbe essere interessata da un fenomeno di “crollo in massa” con un volume massimo stimato di circa 6000 m³ (vedi § 5.8) e rappresenta statisticamente il limite massimo raggiungibile dell'evento di frana.

Benché, come detto precedentemente, la probabilità di accadimento di un fenomeno di questo tipo sia piuttosto bassa, si è ritenuto a favore di sicurezza indicare anche tale fascia con lo scopo di segnalare come al suo interno esista comunque un rischio sotteso.

Dall'osservazione della tavola in oggetto è possibile trarre le seguenti considerazioni:

- La fascia H5 è presente esclusivamente nella zona centrale del sito ed interessa una porzione di versante priva di edifici.
- Per quanto riguarda le altre fasce di pericolosità, esse si distribuiscono lungo il pendio secondo i criteri precedentemente discussi senza intercettare alcuno degli edifici esistenti alla base del versante.
- La strada sterrata presente a mezza costa sul confine occidentale dell'area di indagine ricade parte in fascia H2 e parte in H1.
- La parte basale del versante è inserita invece nella fascia di pericolosità H1* che coinvolge alcuni degli edifici della frazione di Dangoli e una parte della strada che attraversa questa frazione.

5.10. Conclusioni Zona C “Monte del Crili”

Sulla base di quanto emerso dallo studio dell'area di indagine si ritiene che la distanza degli edifici presenti rispetto alle pareti rocciose sia tale da non rendere necessaria alcuna opera di difesa rispetto al pericolo di caduta massi.

Anche nell'ipotesi remota che si possa verificare un “crollo in massa” con i volumi sopra indicati è realisticamente molto bassa la probabilità che il materiale possa raggiungere gli edifici al piede del versante. Si sottolinea che la verifica della massima distanza che un crollo di massa può raggiungere si è basata su criteri semi - empirici che non simulano il reale cinematisma della massa di roccia e gli effetti della morfologia e della vegetazione sul cinematisma di propagazione a valle del materiale. In ogni caso non vi sono informazioni storiche che in passato vi siano stati crolli di volumi significativi che abbiano raggiunto la base del versante.

Del resto i rilievi effettuati non hanno evidenziato la presenza di diedri di roccia completamente isolati e si ricorda che fenomeni così importanti hanno tempi di ritorno estremamente lunghi (centinaia di anni). Senza dubbio per riuscire ad avere una valutazione più precisa bisognerebbe effettuare approfondimenti di analisi con l'impiego di tecnologie e risorse nella fase di studio che esulano dagli obiettivi della presente indagine.

Le osservazioni e i rilievi effettuati in sito hanno fino ad oggi evidenziato come le condizioni scadenti dell'ammasso in parete e la stratificazione piuttosto fitta, determino il distacco frequente di massi e blocchi di piccole dimensioni che portano ad una lenta e progressiva disgregazione della parete attraverso la mobilitazione di volumi piuttosto limitati di materiale che al primo impatto con il suolo si frammentano ulteriormente.

Di conseguenza l'energia di questi blocchi di dimensioni modeste una volta raggiunto il fondovalle risulta bassa avendo disperso parte dell'energia per percorrere un lungo tratto di versante caratterizzato da fitta vegetazione e bosco.

Le simulazioni di caduta massi e le evidenze sul territorio hanno dimostrato che l'esistenza della vegetazione arborea ed arbustiva favorisce in maniera determinante la diminuzione della velocità dei massi e conseguentemente della loro energia e le altezze dei rimbalzi. Di conseguenza si consiglia un intervento generalizzato su tutta l'area che consiste nella salvaguardia, con funzione protettiva, del bosco esistente sull'intero versante.

A questo proposito sarebbe opportuna l'applicazione del vincolo previsto dall'art. 17 del Regio Decreto 1923 relativo ai boschi con funzione protettiva.

Infine per gli edifici esistenti, cautelativamente si suggerisce di invitare i privati a verificare lo stato di consistenza delle recinzioni e dei muri di confine verso monte e, ove non vi fossero, a provvedere alla loro realizzazione.

Infatti, sebbene sia remota la possibilità che un masso o più massi raggiungano gli attuali edifici, la presenza di recinzioni robuste o muri di confine di altezza non inferiore a 1,5 m possono rappresentare un ulteriore elemento di sicurezza in virtù del fatto che le energie attese nell'ipotesi più penalizzante del crollo di volumi molto significativi sono comunque basse.

Brescia, maggio 2011

Dott. Geol. Laura Ziliani Dott. Geol. Davide Gasparetti Dott. Geol. Samuele Corradini