

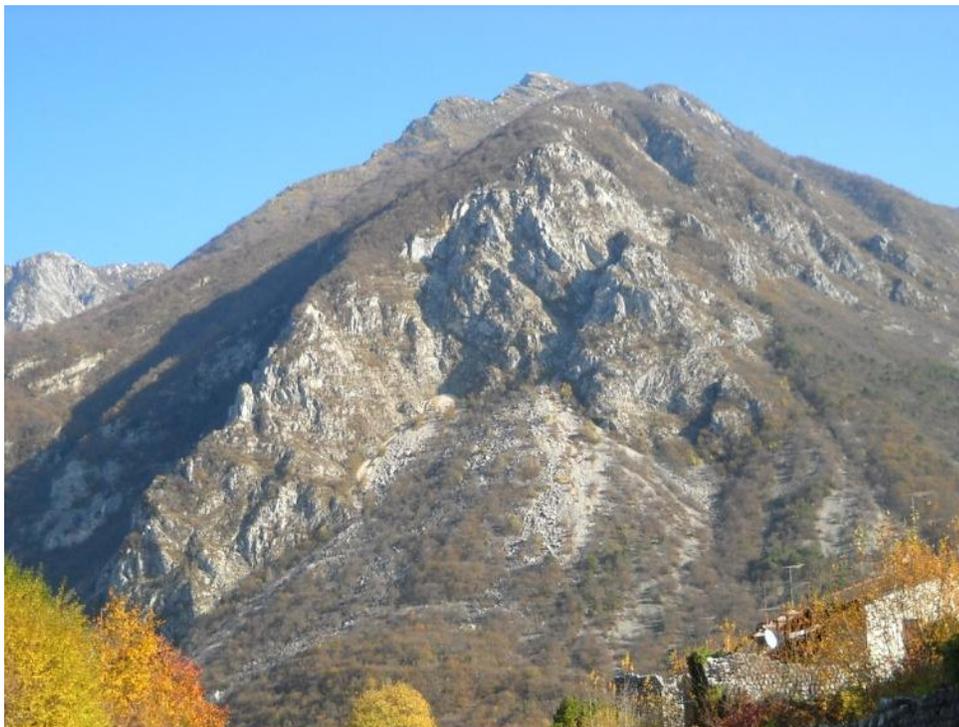


STESURA DEGLI STANDARD MINIMI PER LA COMPILAZIONE DI CARTE DI PERICOLOSITÀ  
PER FRANE DI CROLLO QUALE STRUMENTO PER LA PREVENZIONE DEI DISSESTI  
FRANOSI NELL'AMBITO DEL PROGETTO NR. 1381 – 302 INTERREG IV

MASSMOVE

**RELAZIONE FINALE**

**VENZONE**



Settembre 2011



*Dipartimento di Scienze Geologiche e Geotecnologie  
Università degli Studi di Milano - Bicocca*

---

Il documento è stato realizzato da:

Giovanni B. Crosta

Federico Agliardi

Paolo Frattini

Francesca Colucci

Andrea Crema

Andrea Valagussa

# Indice

1	Introduzione .....	5
2	Inquadramento dell'area di studio .....	7
2.1	Inquadramento geografico e morfologico .....	7
2.2	Inquadramento orografico e geomorfologico .....	9
2.3	Inquadramento geologico regionale.....	12
2.4	Inquadramento geologico locale: l'area di Venzone .....	15
2.4.1	La successione stratigrafica e i depositi quaternari .....	15
2.4.2	Il quadro strutturale.....	25
2.5	Inquadramento sismologico .....	28
3	Il Problema Della Caduta Massi.....	29
4	Caratterizzazione e modellazione della caduta massi: raccolta dati .....	30
4.1	Dataset esistenti .....	30
4.1.1	Dataset topografici.....	30
4.1.1.1	Carta topografica.....	30
4.1.1.2	LIDAR.....	31
4.1.2	Ortofoto e foto aeree .....	33
4.1.3	Dati storici su eventi di crollo .....	36
4.1.4	Carta geologica .....	44
4.2	Rilevamento di campagna .....	45
4.2.1	Carta geologica .....	45
4.2.2	Carta della litologia superficiale.....	47
4.2.2.1	Carta della fratturazione degli ammassi rocciosi.....	48
4.2.2.2	Carta della granulometria dei depositi superficiali.....	49
4.2.3	Carta dell'uso del suolo .....	50
4.2.4	Carta geomorfologica e dei lineamenti .....	52
5	Attività di campo .....	54
5.1	Rilevamento geomorfologico .....	54
5.1.1	Catalogo dei blocchi .....	54
5.1.1.1	Relazione intensità-frequenza.....	57
5.1.2	Catalogo delle opere di difesa.....	59
5.2	Rilevamento geologico-tecnico.....	66
5.2.1	Classificazioni geomeccaniche degli ammassi rocciosi.....	69
5.2.2	Rilievi geomeccanici.....	73
6	Valutazione della suscettibilità .....	104
6.1	Analisi strutturale di dati LIDAR tramite Coltop 3D .....	107
6.1.1	COLTOP 3D .....	108

6.2	Analisi della suscettibilità all'innescò con approccio deterministico .....	112
6.2.1	Verifiche di fattibilita' cinematica.....	113
6.2.2	Analisi cinematica spaziale distribuita con SlopeMap.....	116
6.3	Analisi della suscettibilità all'innescò con approccio euristico .....	121
7	Modellazione della propagazione delle frane di crollo.....	124
7.1	RocFall .....	128
7.1.1	Applicazione di Rocfall nell'area di Venzone .....	128
7.2	Modelli empirici .....	136
7.2.1	Conefall .....	138
7.2.2	Applicazione di Conefall nell'area di Venzone .....	140
7.3	Modelli matematici .....	148
7.3.1	Il codice Hy_Stone.....	150
7.3.1.1	Dati di ingresso .....	151
7.3.1.2	Descrizione della topografia: TRN.....	152
7.3.1.3	Dati di uscita.....	153
7.3.2	Applicazione di Hy_Stone nell'area di Venzone .....	154
7.3.3	La definizione del volume del "blocco di progetto" .....	159
7.3.4	Simulazioni eseguite con Hy_Stone .....	163
7.4	Valutazione della pericolosità tramite procedura RHAP .....	174
7.4.1	Applicazione della procedura RHAP nell'area di Venzone .....	176
7.5	Valutazione della pericolosità .....	180
7.5.1	Valutazione della pericolosità attraverso la procedura RHIV .....	186
7.5.1.1	Riclassificazione dei parametri.....	188
7.5.2	Applicazione della procedura RHV nell'area di Venzone.....	191
7.5.3	Valutazione della pericolosità lungo un profilo.....	198
8	Conclusioni .....	203
9	Bibliografia .....	206
10	Allegati .....	209

# 1 Introduzione

Lo scopo del progetto è quello di valutare la suscettibilità e la pericolosità di frane di crollo. Per il progetto sono state scelte dal Servizio Geologico della Regione FVG tre diverse aree di studio in provincia di Udine: Sottomonte-Portis-Carnia (Venezia), Villa Santina-Caneva di Tolmezzo e Timau.

L'oggetto di indagine è costituito dall'area di Venezia, circa 4,5 Km<sup>2</sup>, ovvero l'area maggiormente colpita dal terremoto del 1976 che ha innescato numerosi fenomeni di caduta massi e di crolli in massa.

La pericolosità da crollo può essere definita come la probabilità di accadimento di un fenomeno franoso di una certa intensità in un certo intervallo di tempo in una determinata area (Varnes et al. 1984). Questa definizione considera l'intensità, la frequenza di ricorrenza e la localizzazione nello spazio. La valutazione di queste componenti nella realtà non è molto semplice soprattutto per quanto riguarda la ricorrenza temporale dei fenomeni.

Il presente lavoro è stato strutturato nelle seguenti fasi:

- ✓ revisione della letteratura e dei dati geologici e geologico-tecnici esistenti;
- ✓ analisi stereoscopica di foto aeree di diversi anni;
- ✓ rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio;
- ✓ rilevamento geologico-tecnico in sito;
- ✓ acquisizione ed organizzazione in ambiente GIS dei dati disponibili e rilevati;
- ✓ analisi della suscettibilità all'insorgere di fenomeni di caduta massi;
- ✓ analisi e modellazione dei processi di propagazione dei blocchi;
- ✓ realizzazione delle carte di suscettibilità;
- ✓ realizzazione delle carte di pericolosità.

La prima operazione svolta è stata, quindi, quella di raccogliere il maggior numero possibile di informazioni sull'area, sia revisionando i dati già presenti in letteratura sia attraverso il rilevamento sul sito. Fondamentali per lo svolgimento dell'intero lavoro sono stati il DTM LIDAR, la CTR in scala 1:2500, le ortofoto e le foto aeree. La cartografia geologica è stata ottenuta integrando il rilevamento eseguito con quello condotto dal dott. Geol. Fulvio Podda. Il rilevamento di campo si è inoltre focalizzato sul rilevamento geomorfologico e geologico-tecnico. Sono stati realizzati 10 rilievi geomeccanici, sono stati mappati e catalogati 1127 blocchi ascrivibili a fenomeni di crollo e 18 opere di difesa dalla caduta massi.

Dopo aver digitalizzato i dati e averli inseriti in ambiente GIS si è passati alla valutazione, attraverso metodi quantitativi, della suscettibilità ovvero dalla probabilità di propagazione dei fenomeni franosi. Per la corretta valutazione della suscettibilità di fenomeni a rapido espandimento, come i crolli, è necessario stimare sia la probabilità di innesco del fenomeno che la probabilità di propagazione, ovvero la probabilità che una volta innescato il fenomeno possa raggiungere una certa posizione dello spazio. La probabilità di innesco è stata valutata sia attraverso un approccio euristico sia con quello deterministico.

La probabilità di propagazione, invece, è stata stimata utilizzando diversi modelli: il codice di calcolo Hy\_Stone che permette una modellazione 3D a cui è seguita la valutazione della pericolosità tramite la procedura RHIV, il programma Conefall che consente di valutare la massima distanza di espandimento dei blocchi attraverso l'approccio empirico del "cono d'ombra", e infine il software RocFall è stato possibile realizzare una modellazione 2D ed effettuare una zonazione della pericolosità attraverso la procedura RHAP.

I Prodotti Cartografici che sono stati realizzati nel sono:

- ✓ carta geologica;
- ✓ carta dell'uso del suolo;
- ✓ carta della litologia superficiale;
- ✓ carta geomorfologia comprendente i fenomeni franosi e le sorgenti di instabilità;
- ✓ carta dei lineamenti strutturali;
- ✓ carte di suscettibilità;
- ✓ carte di pericolosità.

## 2 Inquadramento dell'area di studio

### 2.1 Inquadramento geografico e morfologico

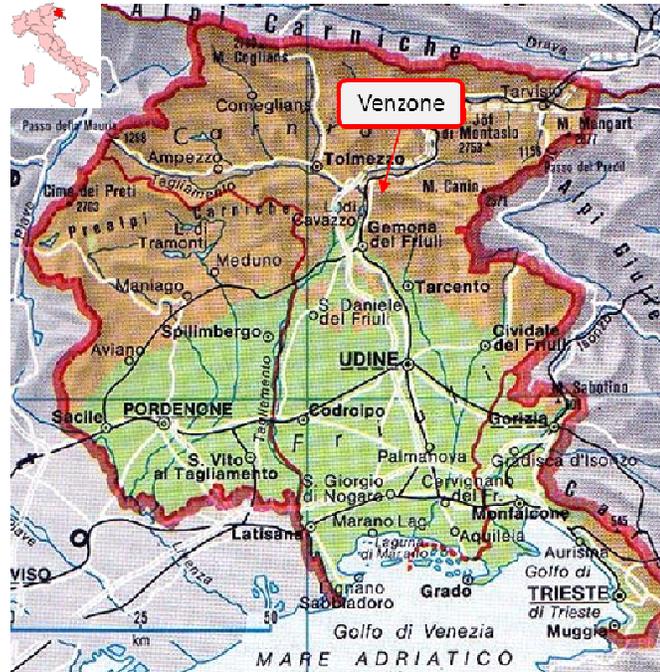


Figura 2.1 Localizzazione geografica dell'area di studio

L'area si estende per circa 4,5 km<sup>2</sup> con direzione nettamente meridiana sulla sponda sinistra idrografica del Fiume Tagliamento, nel tratto in cui, immediatamente a valle della confluenza in esso del F. Fella, il Tagliamento sfonda la catena per iniziare il suo percorso nel Campo di Osoppo e poi nella Pianura friulana. L'area si sviluppa per circa 6 km a partire dall'estremo settentrionale posto nella valle del Fella, pochi km a monte della sua confluenza nel Tagliamento, fino all'abitato di Venzone, suo estremo meridionale.

Le quote vanno dai 230-270 m del fondo valle ai 778 m del M. Clapon del Mai.

Questa zona è caratterizzata da intensa attività tettonica come testimoniato dal terremoto del 1976.

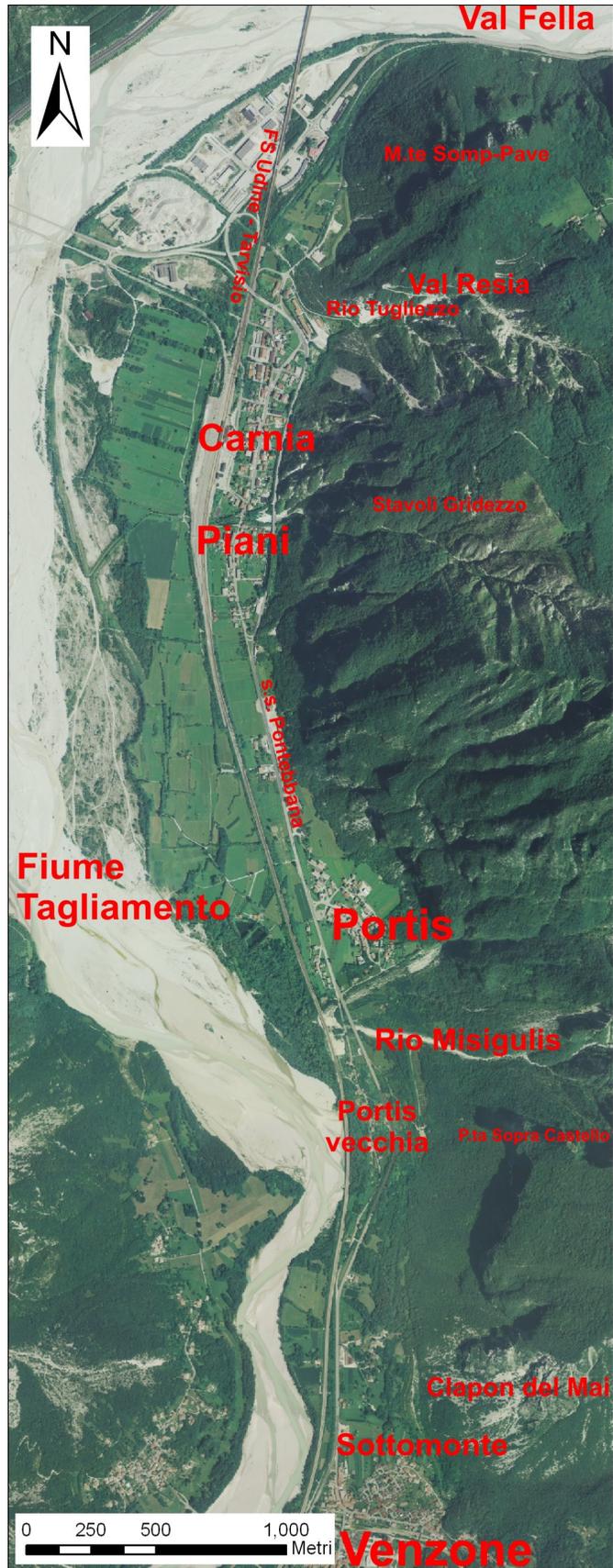


Figura 2.2 Carta topografica

## 2.2 Inquadramento orografico e geomorfologico



Figura 2.3 unità orografiche del Friuli Venezia Giulia

Il territorio del Friuli Venezia Giulia è stato suddiviso in unità orografiche aventi ciascuna una propria individualità geografica e geologica (Marinelli, 1888).

Procedendo da Nord a Sud e da Ovest a Est, esse sono:

- ✓ la Catena Carnica, estesa in senso E-W, si sviluppa dalla “linea della Gail”, segmento del “Lineamento Periadriatico” in territorio austriaco, fino all’allineamento rettilineo delle valli Pesarina, Calda, Pontaiba, Pontebbana, alto Fella. Morfologicamente è espressa dall’allineamento delle valli che collegano il Cadore con il Tarvisiano;
- ✓ le Alpi Tolmezzine o Carniche Meridionali più a S della precedente, fino all’alto corso del Tagliamento. Sono costituite da terreni mesozoici, con prevalenza di quelli medio-triassici, che si innalzano su una base permo-triassica affiorante sul fondo delle principali valli a seguito dell’erosione glaciale e fluviale operata in loro corrispondenza;
- ✓ le Alpi Giulie, ad E delle precedenti, dalle quali sono separate dal basso corso del T. Fella, e a S della Catena Paleocarnica fino alla Val Resia. Sono costituite prevalentemente da rocce triassiche con particolare sviluppo delle piattaforme carbonatiche ladino-carniche e noriche;

- ✓ le Prealpi Carniche sviluppate a S del percorso montano del Tagliamento fino ai rilievi che si affacciano sull'alta Pianura. Sono dominanti le rocce mesozoiche e cenozoiche fino ai depositi miocenici di molassa affioranti solo in questa unità orografica;
- ✓ le Prealpi Giulie sono la prosecuzione orientale delle precedenti, ma con successioni mesozoiche con maggior sviluppo delle unità silicoclastiche eoceniche ed assenza dei depositi di molassa neogenica;
- ✓ l'anfiteatro morenico situato allo sbocco, in pianura, del maggior fiume regionale, il Tagliamento. E' formato, nelle sue espressioni più superficiali, dai depositi derivanti dall'avanzata e successivo ritiro del grande ghiacciaio würmiano;
- ✓ la Pianura Friulana si estende dal piede dei rilievi prealpini fino alla linea di costa dell'Adriatico. E' divisa in Alta e Bassa Pianura dalla "linea delle risorgive" (o dei fontanili), marca la separazione fra i depositi alluvionali prevalentemente ghiaiosi e quindi permeabili, sviluppati a settentrione, da quelli più meridionali sabbioso-limosi e limoso- argillosi, meno permeabili.
- ✓ il Carso, marcato dal basso corso del F. Isonzo al suo margine N-occidentale ed esteso ad oriente fino alla costiera triestina-monfalconese ed al confine italo-sloveno. E' costituito esclusivamente da calcari di piattaforma cretaci e paleocenici con lembi di copertura di flysch eocenico.

L'area di studio, collocata nella porzione occidentale della Alpi Giulie, si inserisce in un contesto geografico e geomorfologico dominato da una morfologia di tipo giovanile le cui espressioni sono i versanti con gradienti topografici modesti e le vallate ben incise. Tale morfologia è il risultato dell'intensa attività tettonica e dell'azione erosiva dei corsi d'acqua.

Le principali evidenze geomorfologiche sono quindi legate alla forte erosione fluviale che ha portato alla formazione dei terrazzi fluvio-glaciali, dei numerosi alvi incisi e degli orli di scarpata di erosione. Le valli, inoltre, hanno generalmente un profilo a V tipico dell'erosione torrentizia.

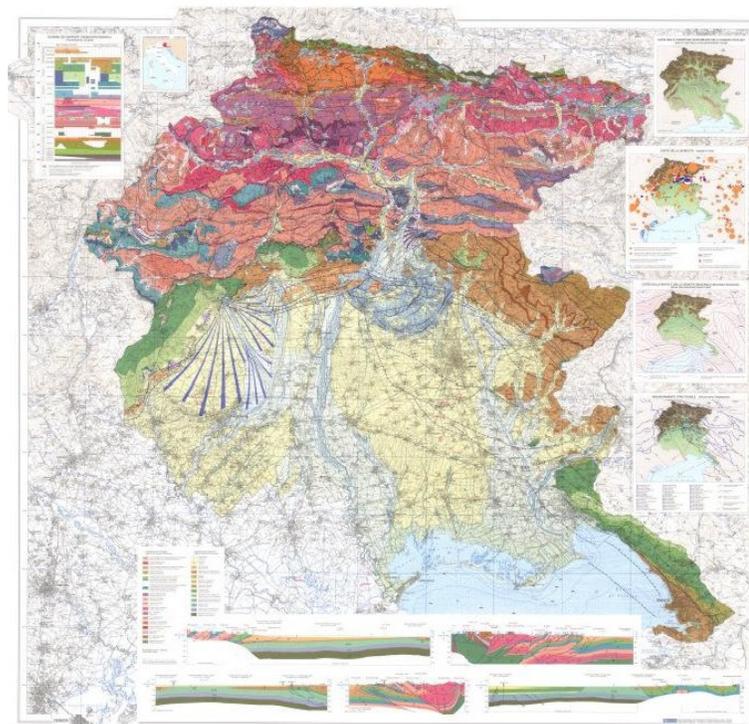
Nell'area di studio non vi sono evidenze di attività glaciale nonostante il ghiacciaio sia arrivato in tali zone. Questo è legato alla forte attività tettonica ed erosiva che ha fortemente obliterato i depositi glaciali originariamente presenti.

Le morfologie legate al ghiacciaio, presente tra i 12000 e i 14000 anni fa, sono invece molto evidenti nell'unità orografica dell'anfiteatro morenico collocato più a sud dell'area di studio.

Abbondanti detriti vengono prodotti dalla disgregazione delle pareti rocciose. Questi tendono ad accumularsi alla base delle pareti dalle quali si staccano mentre quelli di dimensione più ridotte vengono trasportati a valle dalle acque meteoriche e accumulati alla base dei versanti.

La morfologia è controllata anche dall'occorrenza dei numerosi fenomeni di caduta massi principalmente innescati dal terremoto del 1976.

## 2.3 Inquadramento geologico regionale



**Figura 2.4 Carta geologica del Friuli Venezia Giulia**

Il territorio della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia appartiene al dominio sudalpino ed è caratterizzato prevalentemente da litologie sedimentarie, con subordinati episodi effusivi testimoniati da ridotte sequenze vulcanoclastiche e vulcaniti. I limitati affioramenti metamorfici sono presenti solo nella parte Nord Occidentale (Alpi Carniche) e sono rappresentati per lo più dalle litologie basso-metamorfiche del basamento ercinico. Questi sono i termini più antichi presenti in Regione (ordoviciano inf.), i quali lasciano posto, da nord verso sud, a terreni sempre più recenti.

Le rocce affioranti nella regione rappresentano quasi l'intera scala dei tempi geologici, fatta eccezione per alcune lacune, di cui le più significative sono determinate dalle compressioni erciniche prima (Carbonifero sup. e permiano inf. - sup.) e da quelli neoalpine dopo (Pliocene). Come si può osservare dalla carta litologica (Carulli, 2006): escludendo la pianura alluvionale, la litologia predominante è quella carbonatica caratterizzata soprattutto dalle potenti sequenze triassiche e giurassiche della zona alpina e prealpina, nonché quelle cretache del Carso e della zona pedemontana. Tra le rocce terrigene predominano i depositi torbiditici, riconducibili fondamentalmente a due periodi distinti: i più antichi appartengono alla

catena paleocarnica e sono comunemente indicati con il termine flysch ercinico, caratterizzati soprattutto da argilliti e siltiti. Il deposito terrigeno più recente, genericamente denominato flysch eocenico, appartiene all'intervallo Cretacico sup. - Paleogene, ed è caratterizzato dall'alternanza di marne ed arenarie, fittamente stratificate. I depositi evaporitici, appartenenti al Permiano sup. e Carnico, sono di gran lunga subordinati in affioramento, ma hanno un ruolo decisivo nel contesto strutturale, infatti fungono da superfici di scollamento dei principali *thrust* alpini che caratterizzano l'assetto tettonico regionale, conferendogli la tipica struttura a scaglie embriciate sud-vergenti responsabile dei numerosi raccorciamenti stratigrafici e dei raddoppiamenti delle sequenze.

Questo assetto strutturale permette di suddividere il territorio regionale in tre macroaree con evidenti implicazioni litologiche e morfologiche sia a macro che a micorscala (Venturini, 1990). Da nord a sud le tre macroaree si identificano come fascia settentrionale, fascia centrale e fascia meridionale.

La fascia settentrionale comprende la Catena Paleocarnica, ed è caratterizzata da terreni paleozoici interessati dalle deformazioni dell'orogenesi ercinica. E' delimitata a Nord dalle linee della Gailtal ed a Sud dalla linea Comeglians - Paularo. Quest'ultima può essere divisa in due comparti, uno a NW e l'altro a SE, separati dalla linea della Val Bordaglia (NE-SW). Il comparto NW è costituito dal paleozoico metamorfico (ordoviciano inf., Siluriano e Devoniano) costituito da Scisti e Marmi, affioranti soprattutto nella zona del Comelico e dei Monti Peralba - Avanza. Il comparto SE della fascia settentrionale è caratterizzato dall'ercinico non metamorfico (Devoniano - Carbonifero) che interessa la sequenza calcarea devoniana e flyschoida carbonifera (Fm. dell'Hochwipfel). La linea della Val Bordaglia è di origine ercinica, riattivata poi in fase mesoalpina con attività trascorrente sinistra, assumendo un'importanza regionale e guidando le compressioni alpino-dinariche, in particolare i *thrust* sudvergenti delle Alpi Carniche Occidentali.

La fascia centrale è identificabile con le Dolomiti Pesarine, le Alpi Tolmezzine e le Alpi Giulie. E' delimitata a Nord dalla Linea della Val Bordaglia, dalla Linea Comeglians - Paularo e dalla linea Stropollach - Camporosso; a Sud dal sistema di *thrust* della linea Pinedo - Ucea e Barcis - Staro Selo. La fascia centrale può essere divisa in due zone, con comportamento tettonico differente, dalla linea di But - Chiarsò, ad andamento NE-SW. Anche questa faglia è una struttura ercinica

riattivata in periodo eocenico dalle spinte mesoalpine che le hanno conferito un'attività trascorrente sinistra. La parte occidentale di questa unità strutturale è caratterizzata da una serie di sovrascorrimenti sudvergenti, orientati E-W che da N a S sono così identificati: Linea di Sauris, Linea Ampezzo - Tolmezzo, Linea dell'Alto Tagliamento, Linea Dof - Auda ed infine la Linea Pinedo - Ucea e Barcis - Staro Selo, che delimitano le parte meridionale della fascia Centrale. In particolare la Linea di Sauris sfrutta come piano di scollamento i gessi della Fm. a Bellerophon (Permiano) ed ha portato i terreni permiani (Arenarie di Val Gardena - Fm. a Bellerophon) e soprattutto scitici (Fm. di Werfen) a sovrascorrere sui terreni ladinici (Dolomia dello Schlern). La Linea Dof - Auda, impostata sulle evaporiti del Carnico, ha portato, invece, la sequenza Norica (Dolomia di Forni - Dolomia Principale), nonché in alcune zone la Fm. di Monticello (Carnico sup.), sui termini giurassici della Fm. di Soverzene (Giurassico inf.) o addirittura dei Calcari del Vajont (Giurassico medio), sul M. Dof. Ad Est questa fascia si è comportata più rigidamente, costituendo un blocco unico identificabile con le Alpi Giulie, che è retroscorso a Nord lungo la Linea Fella - Sava. Questa struttura verso Est si flette in direzione dinarica e prende il nome di Liena Moistrocca - Bled. Il blocco delle Alpi Giulie quindi è stato spinto a Nord soprattutto dalle compressioni neoalpine, lungo due binari convergenti: a W dalla But - Chiarsò (NE - SW, trascorrente sinistra) ed a E dalla Mojstrana - Bled (NW - SE, trascorrente destra). In un secondo momento la Linea Caporetto - Canin e la Linea della Val Dogna riprendono lo stesso motivo strutturale delimitando un sottoblocco tettonico (M. Canin e M. Montasio), traslato a Nord su un secondo sistema di backthrust identificabili con la Linea della Val Resia e del M. Amariana. La fascia meridionale, delimitata a N dalla Barcis - Staro Selo, a W dalla Tramoti - Verzegnis (chiamata anche Tramonti - Barcis), è divisibile in due dalle linee verticali N-S- di Osoppo (linea di Osoppo). Il settore orientale è caratterizzato da estese linee a comportamento dinarico, parallele ed orientate NW-SE, costituite principalmente dalla Linea di Cividale, la Linea Udine - Butrio e la Linea di Palmanova. Queste hanno un'origine mesoalpina, ma in fase neoalpina sono state riattivate con attività fortemente transpressiva, tutt'ora attiva. La parte sudorientale della Regione, il Carso, è caratterizzata da un assetto plicativo dinarico ad anticlinale, con asse NO-SE, asimmetrico e vergente a SW, influenzato anche dalle strutture sepolte (Linea Udine - Butrio e Linea di Palmanova).

## 2.4 Inquadramento geologico locale: l'area di Venzone

### 2.4.1 La successione stratigrafica e i depositi quaternari

Dal punto vista delle grandi unità orografiche che caratterizzano il territorio regionale, l'area di studio rientra nell'estrema porzione occidentale delle Prealpi Giulie.

Nell'area affiora, con modalità spesso discontinue data la tettonica dell'area, una successione che va dal Carnico superiore al Cretaceo inferiore ed è costituita dai seguenti termini.

*Formazione di Travenanzes* (Carnico superiore). Nel suo complesso questa unità è costituita da varie litologie: alla base siltiti e argilliti prevalentemente rosse, talora grigio scure e verdastre, con locali lenti di arenarie e livelli dolomicritici molto sottili; seguono gessi bianchi e rosa talora alternati fittamente ad argilliti rosse; chiudono la successione dolomie vacuolari e marne dolomitiche grigio-giallastre in strati da molto sottili a sottili; frequenti corpi di breccie con clasti dolomitici e marnosi. Nella zona rilevata affiorano soltanto 4m di questa formazione individuabili nel rio che scende verso Ovest dagli Stavoli Tugliezzo. La litologia è costituita esclusivamente da argille varicolori con lenti di gesso bianco e rosato intensamente laminati (cataclasiti foliate). Si tratta di una piccola scaglia tettonica esumata alla base di un segmento fortemente rideformato del sovrascorrimento della Val Resia.



**Figura 2.5** Affioramento nel Rio Tugliezzo delle argille varicolori con lenti di gesso bianco e rosato appartenenti alla Formazione di Travenanzes.

*Dolomia Principale* (Norico). Nella porzione intermedia della Dolomia Principale affiora una potente unità di dolomie grigie, bruno scuro o nerastre, ben stratificate e fittamente laminate. Esse affiorano esclusivamente presso la località Carnia, fra il Rio Tugliezzo e Stavoli Gridezzo. Tale unità è sottostante alla Dolomia Principale in tipica facies di piattaforma peritidale.



**Figura 2.6** Strati a reggipoggio di Dolomia Principale scura ben stratificata con alla base corpo di frana ricoperto da un conoide di detrito attuale.

*Dolomia Principale* (Norico). Rappresenta la porzione stratigrafica più alta di questa formazione. La sua litofacies è caratterizzata da dolomie grigio chiare e biancastre, ben stratificate, in banchi da medi a spessi, organizzati in cicli peritidali costituiti da dolomicriti bioturbate, spesso vacuolari, con locali livelli a megalodontidi e gasteropodi e da dolomie stromatolitiche con tepee e fenestrae. Al tetto sono localmente presenti corpi tabulari pluridecimetrici di brecce monogeniche a supporto di matrice dolomicritica con clasti angolosi di dolomie stromatolitiche. Costituisce la base del M. Somp Pave a sud del F. Fella, affiora poi con una certa continuità presso la località Piani e nell'impluvio del Rio Misigulis a Est di Portis vecchia.



**Figura 2.7** Affioramento della Dolomia Principale verticalizzata a Est della località Piani.

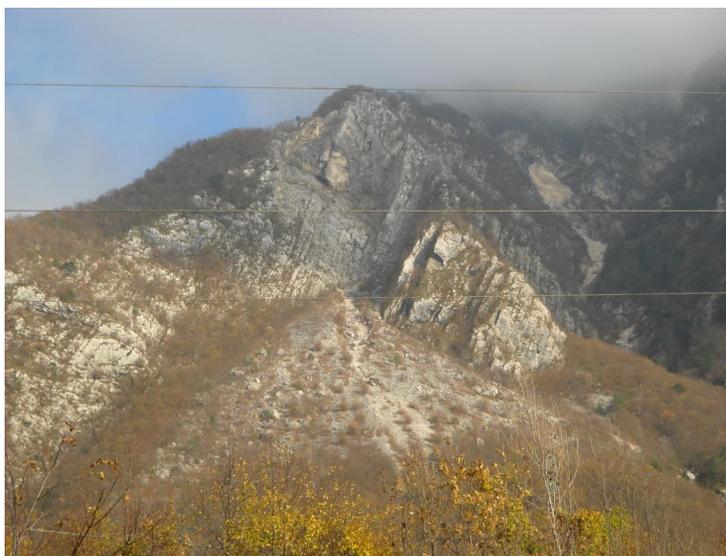
*Calcare di Dachstein* (Retico). L'alternanza di micriti biancastre massicce a Megalodon, bioturbate, e di calcari stromatolitici, organizzati in cicli metrici peritidali simili a quelli della Dolomia Principale; ampie porzioni della successione possono presentare una dolomitizzazione pervasiva a grana grossolana e corpi di breccie dolomitiche potenti anche varie decine di metri. Chiude la successione, nella zona tra Portis e Carnia, un banco di circa 20m di micriti verdognole-grigie, nodulari, con superfici di strato ondulate, e piccole tasche decimetriche riempite da cementi fibrosi varicolori. Esiste una eteropia laterale tra il Calcare di Dachstein e la Dolomia Principale procedendo da Nord verso Sud.



**Figura 2.8** Affioramento del Calcare di Dachstein a Est di Portis vecchia.

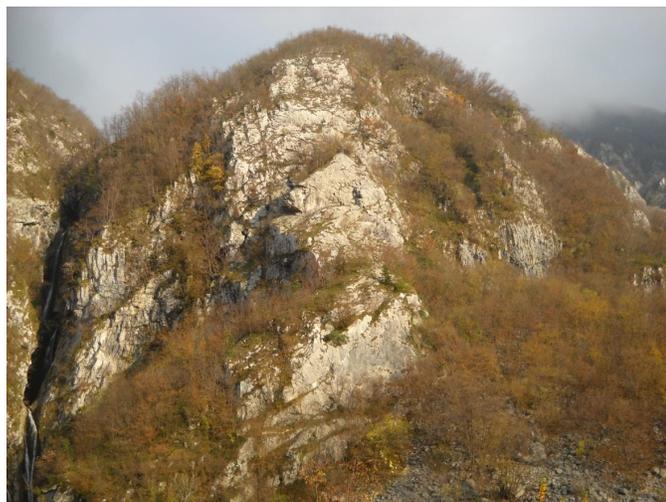
*Calcari Grigi del Friuli* (Hettangiano (Lias inf.) – Carixiano (Lias medio)). Questa formazione è composta da due unità sovrapposte. L'unità inferiore è costituita da micriti, subordinatamente dolomicriti, organizzate in cicli peritidali shallowing-upward di scala metrica, composti da una porzione subtidale inferiore micritica/dolomicritica e bioturbata, e da un intervallo intersopratidale laminato stromatolitico. L'unità superiore è invece formata da calcareniti oolitico-bioclastiche ben classate, con laminazione piano-parallela. I bioclasti sono rappresentati principalmente da frammenti di alghe dasicladali e gusci di foraminiferi bentonici, gasteropodi e bivalvi. I Calcari Grigi del Friuli affiorano nella CTR Venzone, in corrispondenza del Clapon del Mai.

*Calcari Grigi del Friuli in facies di annegamento* (Hettangiano (Lias inf.) – Carixiano (Lias medio)). Nell'area di Portis, al di sopra del Calcare del Dachstein, affiora la successione liassica caratterizzata da una serie monotona di grossi banchi micritici o calcareniti oolitiche di color nocciola, privi di noduli o letti di selce, talora fossiliferi (gasteropodi, bivalvi a guscio sottile, piccole ammoniti). E' la piattaforma dei Calcari Grigi che sta annegando ad opera di una fase tettonica distensiva (ben documentata nell'area delle Prealpi Carniche e Giulie) per divenire una rampa carbonatica.



**Figura 2.9** Confine stratigrafico tra il Calcare di Dachstein (CD) ed i soprastanti Calcari Grigi del Friuli in facies di annegamento (CGa).

*Formazione di Soverzene* (Hettangiano (Lias inf.) – Carixiano (Lias medio)). Micriti e dolomicriti grigio bruno, in strati da medi a spessi con giunti ondulati ed interstrati argillitici molto sottili, abbondanti noduli e letti di selce grigia o nera; scarso contenuto fossilifero (spicole di spugna, radiolari). Affiora al Clapon del Mai e nella sinforme della Val Lavaruzza. Rappresenta la facies bacinale classica del Bacino Carnico.



**Figura 2.10** Fianco meridionale verticalizzato della sinforme della Val Lavaruzza, in sinistra idrografica del Rio Pissanda. Sono visibili da sinistra a destra le seguenti formazioni bacinali giurassiche: *Formazione di Fonzaso (F)*, ben stratificato, il *Calcare del Vajont (CV)* con aspetto più massiccio, e a destra la *Formazione di Soverzene (S)* sottilmente stratificata.

*Calcare del Vajont* (Bajociano sup.-Bathoniano sup.). Calcareniti torbiditiche grigio-nocciola o rosa ad ooliti e bioclasti, in strati metrici talora amalgamati e gradati, alternati a micriti grigie sottilmente stratificate, a volte nodulari e con rari noduli di selce nera o rossa, con bivalvi. Affiora nella stretta sinforme della val Lavaruzza e, molto tettonizzato, al Clapon del Mai.

*Formazione di Fonzaso* (Bajociano sup.-Bathoniano sup.). Micriti grigie o verdastre sottilmente stratificate a radiolari e bivalvi pelagici, ricche di noduli e liste di selce rossa o verdastra, con laminazioni piano-parallele, che, nella parte inferiore, sono intercalate a strati sottili di calcareniti oolitico-bioclastiche; localmente sono presenti interstrati molto sottili di marne e di argilliti verdi. La formazione affiora al nucleo della sinforme della val Lavaruzza.



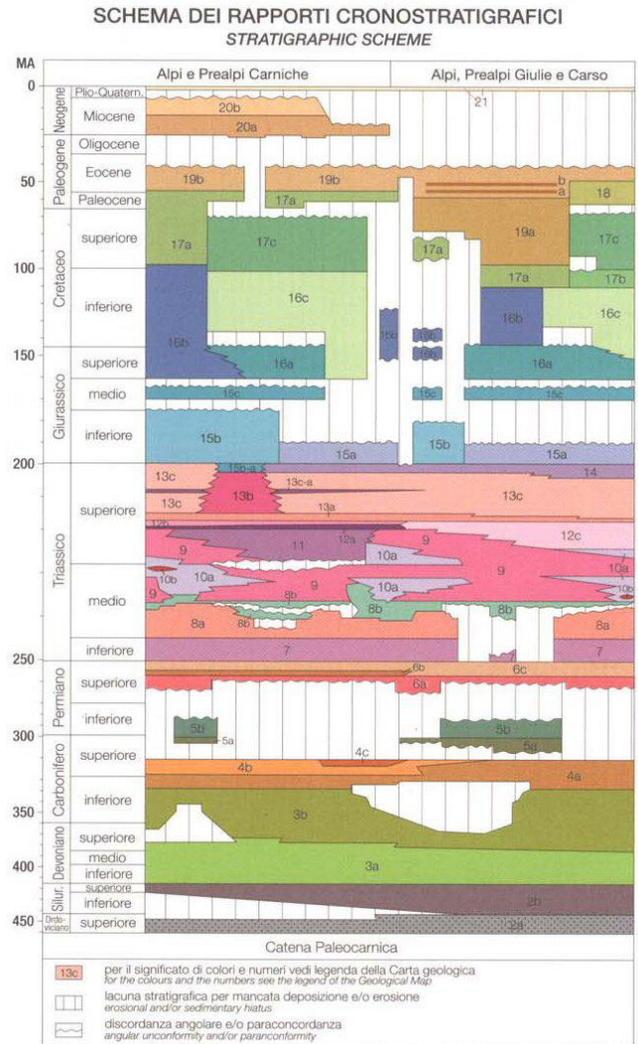
**Figura 2.11 Il versante occidentale del Clapon del Mai strutturato a scaglie tettoniche.**



**Figura 2.12 Dettaglio della foto precedente all'apice del grande conoide.**

Stratigraficamente sopra alla Formazione di Fonzaso affiora il Rosso Ammonitico superiore che in quest'area è assente per elisione tettonica. Si passa così direttamente al Biancone o Maiolica (Titaniano sup. – Barremiano). Micriti grigio chiare a calpionellidi e radiolari, in strati da sottili a medi, con noduli e letti di selce biancastra o nera, e subordinate calcareniti fini.

I rapporti stratigrafici verticali e laterali fra le unità descritte sono illustrati nella seguente immagine



**Figura 2.13** Schema dei rapporti cronostratigrafici fra le unità affioranti nella Regione Friuli Venezia Giulia (Carulli, 2006). 12b: Formazione di Travenanzes; 13c-a: Dolomia Principale scura; 13c: Dolomia Principale; 14: Calcarea di Dachstein; 15a: Calcari Grigi del Friuli e Calcari Grigi del Friuli in facies di annessamento; 15b: Formazione di Soverzene; 15c: Calcarea del Vajont; 16b: Formazione di Fonzaso e Biancone (o Maiolica)

**I depositi quaternari** presenti nella zona vengono qui descritti dal più antico al più recente:

*Conglomerati* (Pleistocene). Conglomerati ben cementati, a clasti carbonatici ed in subordinate silicei, metamorfici e vulcanici, matrice arenaceo-siltosa giallastra, clasti subarrotondati, tessitura clasto-sostenuta, stratificati, localmente clinostratificati. Sono presenti solo due piccoli affioramenti nella CTR Portis: il primo vicino alla Punta Sopra Castello a quota 700m, l'altro a quota 560 m tra le località di Portis e Piani.

*Brecce* (Pleistocene). Sono corpi decametrici di brecce di versante ben cementate, da caotiche a grossolanamente stratificate, matrice arenaceo-siltosa rosata, tessitura clasto-sostenuta. La stratificazione è inclinata di circa 40° verso Ovest ed è grosso modo parallela alla superficie-limite con il substrato. I clasti sono da angolosi a subangolosi con dimensioni variabili da centimetriche a metriche. La composizione litologica dei clasti (calcarei micritici, calcari selciferi, dolomie) denota un apporto locale del versante che li sottende. Lo spessore del deposito è di circa 270-300 metri. Queste rocce affiorano sul versante tra Venzone e Portis; caratteristici sono i blocchi crollati in seguito al terremoto presso il cimitero di Portis.



**Figura 2.14** Le brecce di versante tra Venzone e Portis



**Figura 2.15 Dettaglio delle breccie di versante**

*Deposito di frana* (Pleistocene sup.-Attuale). Deposito eterogeneo costituito da blocchi e frammenti eterometrici angolosi e/o subarrotondati immersi in matrice sabbiosa, tessitura da clasto-sostenuta a matrice sostenuta, talvolta cementati. Sono tutti depositi dalle dimensioni ridotte, rappresentativi sono quello al Clapon del, quelli presso la località Carnia e la Punta Sopra Castello.



**Figura 2.16 Deposito di frana sul versante occidentale del Clapon del Mai**

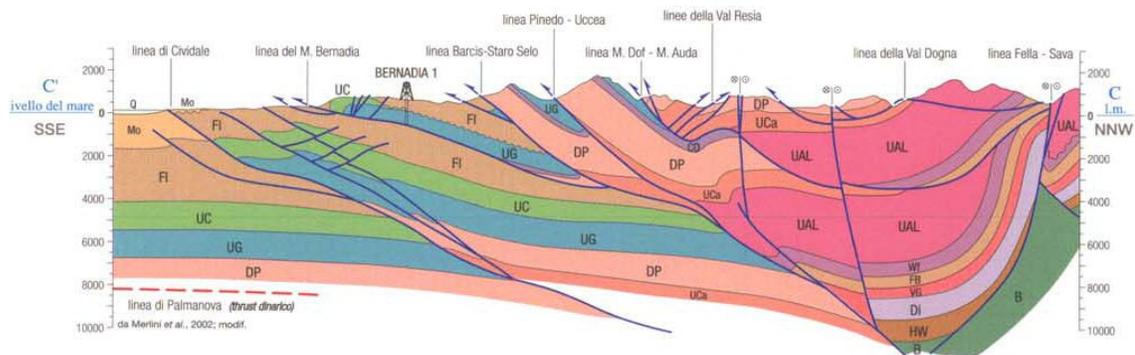
*Deposito di conoide alluvionale* (Pleistocene sup.-Attuale). Ghiaie a clasti subangolosi-subarrotondati con matrice sabbiosa, tessitura da clasto-sostenuta a matrice sostenuta. Nell'area di Venzone ricordiamo quelli del Rio Misigulis e del Rio Pissanda sui quali sorgono le località di Portis e di Portis vecchia, e più a nord quello del rio Gridezzo presso località Piani.

*Detrito di falda attuali e recente* (Olocene). Sono breccie gravitative di versante, in prevalenza sciolte, eterogenee, clinostratificate in falde e conoidi. Si rinvencono alla base dei massicci rocciosi di tutte le aree studiate. I clasti sono generalmente angolosi, eterometrici, fino a grossi blocchi. La tessitura è da clasto-sostenuta a matrice-sostenuta.



**Figura 2.17 Detrito di falda ai piedi del Clapon del Mai alimentato per lo più dai Calcari Grigi del Friuli e dal Calcare del Vajont**

## 2.4.2 Il quadro strutturale



**Fig. 2.18:** Nella sezione geologica, tracciata in senso meridiano poco ad Est dell'area di studio, è evidente lo stile tettonico a scaglie della porzione frontale della catena (Carulli, 2006).

L'area di studio rientra nel settore frontale della catena, caratterizzato da intensa attività geodinamica (sequenze sismiche storiche ripetute) con intensi sollevamenti recenti e conseguente vistosa freschezza di forme. In questo settore è particolarmente evidente lo stile tettonico della catena qui rappresentato da una fitta serie di scaglie tettoniche accavallate le une sopra le altre associate a strutture plicative molto complesse.

I principali lineamenti tettonici sono stati così individuati:

- ✓ Linea della Val Resia: è fra le principali linee tettoniche di importanza sovra regionale. Si estende in senso W-E per oltre 20 km dalla confluenza del T. Fella nel F. Tagliamento fino alla testata della Val Resia. Prosegue poi verso NE, passando sul versante settentrionale del M. Canin (tanto da prendere anche il nome di sovrascorrimento del M. Canin) e continuando in territorio sloveno lungo la Val Coritena. In tal modo la linea, che complessivamente si sviluppa per oltre 40 km, prende il nome più completo di linea Val Resia-Val Coritena (Ponton, 2002).

Il piano di scorrimento immerge a S, con conseguente vergenza a Nord delle unità stratigrafiche triassiche e giurassiche sovrastanti ad essa. Tale assetto è contrario alla quasi totalità delle principali linee tettoniche che caratterizzano sia le Alpi Carniche che le Prealpi friulane nei settori più meridionali dove le unità strutturali coinvolte presentano una netta e costante vergenza a Sud. Per questo motivo la linea della Val Resia viene interpretata come retroscorrimento, back thrust, della più meridionale linea M. Dof – M. Auda che coinvolge unità strutturali sudvergenti.

Nell'area rilevata la linea della Val Resia affiora in modo evidente lungo il Rio Tugliezzo. In prossimità del Rio, infatti, gli ammassi rocciosi si presentano fortemente fratturati a causa del danneggiamento della faglia stessa. I blocchi presenti in questa zona si fratturano ulteriormente fino ad assumere dimensioni centimetriche, questo è probabilmente legato a fratture "secondarie" presenti all'interno dei blocchi. Nel Rio Tugliezzo la linea della Val Resia porta le argille varicolori, con lenti di gesso bianco e rosato, a sovrascorrere sulla Dolomia Principale.

Il grado di deformazione delle rocce che accompagna la faglia (quasi sempre miloniti) e lo spessore notevole della fascia cataclastica indicherebbero questa linea come quella più importante presente nell'area rilevata, quella cioè che avrebbe originato i maggiori raccorciamenti.



**Figura 2.19 Dolomia Principale scura, molto fratturata, al tetto della Linea della Val Resia, nella valle del Rio Tugliezzo.**



**Figura 2.20 Cataclasite in Dolomia Principale al tetto della Linea della Val Resia.**

- ✓ Sistema trascorrente N120°destro: sono presenti una serie di faglie orientate mediamente N120° con indicatori di movimento trascorrente destro. Tali strutture spesso interagiscono con sovrascorrimenti precedenti riutilizzandone la superficie. Nel Rio Tugliezzo, ad esempio, diviene una rampa frontale di sovrascorrimento vergente a Nord evidenziata dalla verticalizzazione delle dolomie al letto del thrust.
- ✓ Il grado di deformazione associato a queste faglie può essere da moderato, come nel caso della faglia trascorrente destra ad Est di località Piani all'interno della Dolomia Principale, a forte, come avviene nel Rio Tugliezzo.
- ✓ La struttura sinforme della Val Lavaruzza: affiora nel tratto basso della valle, ad Est della località di Portis ed è riconducibile ad una stretta sinforme fagliata. Le formazioni coinvolte, e più intensamente deformate in corrispondenza del nucleo, appartengono alla successione giurassica bacinale: la Formazione di Soverzene, il Calcare del Vajont e la Formazione di Fonzaso.
- ✓ La struttura del Clapon del Mai: rappresenta il fianco settentrionale rovescio e fagliato di una profonda sinclinale la cui direzione assiale è N70 ed il cui nucleo si ritrova all'incirca presso Borgo Mastrui. Tale località, posta in destra idrografica della Val Venzonassa, ricade per qualche centinaio di metri al di fuori del settore rilevato. Il fianco rovescio della sinclinale viene sovrascorso a Nord dal Calcare del Dachstein ad opera di una faglia inversa N80° ad alto angolo.

## 2.5 Inquadramento sismologico

Da un punto di vista sismo-tettonico il Friuli-Venezia Giulia si inserisce in un contesto geodinamico particolarmente attivo, determinato soprattutto dalla collisione tra la microplacca adriatica e quella europea. I lineamenti sismicamente più attivi sono identificabili con quelli ad orientamento E-W della fascia pedemontana (Linea Barcis - Staro Selo ed associate) con attività principalmente inversa, nonché con quelli ad andamento NW - SE, con attività trascorrente destra ed inversa. Le aree soggette al massimo scuotimento sono ben definite nella Provincia di Udine, in particolare lungo la valle del Fiume Tagliamento (da Buia - Tarceno fino a Tolmezzo), la parte finale della valle del Fiume Fella e qualche altra limitata area alpina. La fascia pedemontana presenta un elevato gradiente che porta i valori di accelerazione sismica da 0,32 g fino a 0,56 g, con riferimento ad un tempo di ritorno pari a 475 anni, rientrando così tra le zone a pericolosità più alta dell'Italia centro-settentrionale.

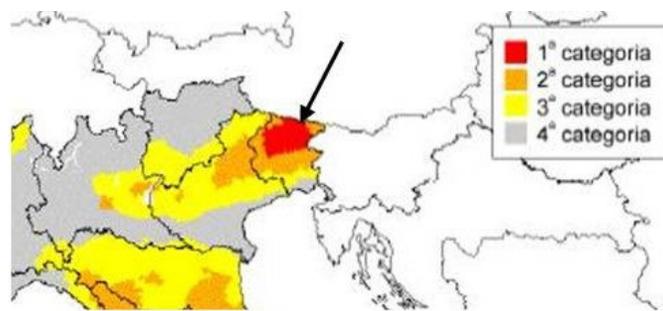


Figura 2.21 Sismicità del Friuli Venezia Giulia

Tra gli eventi sismici più forti si ricorda il terremoto del 1976. In questo terremoto si sono verificate due scosse principali, la prima il 6 maggio e la seconda il 15 settembre 1976. La zona epicentrale del primo evento venne localizzata 3 km circa ad OSO di Gemona. La scossa principale di magnitudo 6,4 durò circa 50 secondi e fu preceduta da una più debole di magnitudo 4,5. Il secondo evento si manifestò con magnitudo di 6,1 ed epicentro presso il paese di Venzone, 7 km circa a nord della zona epicentrale precedente. In entrambi i casi secondo i dati raccolti dall'Osservatorio Geofisico di Trieste, le profondità focali furono uguali o inferiori a 10 km.

I movimenti sismici sono, inoltre, di notevole importanza in quanto sono tra le principali cause di innesco dei fenomeni di crollo e ribaltamento. Infatti il terremoto del '76 causò l'occorrenza di decine di eventi di caduta massi nell'area di studio e la distruzione di alcuni centri abitati come Venzone e Portis.

## 3 Il Problema Della Caduta Massi

Il problema della caduta massi costituisce uno dei fenomeni calamitosi più gravi e ricorrenti che si verificano ove le condizioni geologiche e meteorologiche risultano particolarmente gravose per la stabilità dei versanti.

L'elevata pericolosità del processo di crollo è principalmente legata alla sua rapidissima evoluzione, con velocità dei blocchi spesso comprese tra i 30 e i 100 chilometri orari, e alla difficoltà di previsione dei punti di distacco e dei percorsi di discesa dei blocchi.

L'innesco di un movimento di caduta è determinato generalmente da una rottura per taglio o per trazione lungo i piani di discontinuità preesistenti che separano un blocco potenzialmente instabile dalla retrostante massa rocciosa costituente il pendio.

I fattori che condizionano la stabilità dei versanti rocciosi sono numerosi, spesso interdipendenti e possono essere raggruppati nel modo seguente:

- *fattori litologici;*
- *fattori tettonici;*
- *fattori morfologici;*
- *fattori idrogeologici;*
- *fattori connessi al tipo e all'uso del suolo;*
- *fattori antropici.*

## 4 Caratterizzazione e modellazione della caduta massi: raccolta dati

Per effettuare la modellazione dei fenomeni di caduta massi occorrono diverse informazioni che sono state organizzate in dataset informatici. Alcuni di questi sono stati forniti dalla Regione Friuli-Venezia Giulia, mentre altri sono stati ricavati tramite il rilevamento sul terreno.

### 4.1 Dataset esistenti

#### 4.1.1 Dataset topografici

##### 4.1.1.1 Carta topografica

La carta topografica, fornita in scala 1:5000, è stata realizzata con tecniche digitali fotogrammetriche. Questa mappa, con contour intervallati ogni 5 metri, è disponibile in formato elettronico come file CAD. Il principale limite di questa carta riguarda le linee di quota che sono state rasterizzate in prevalenza come linee spezzate mentre in limitate aree come linee continue.

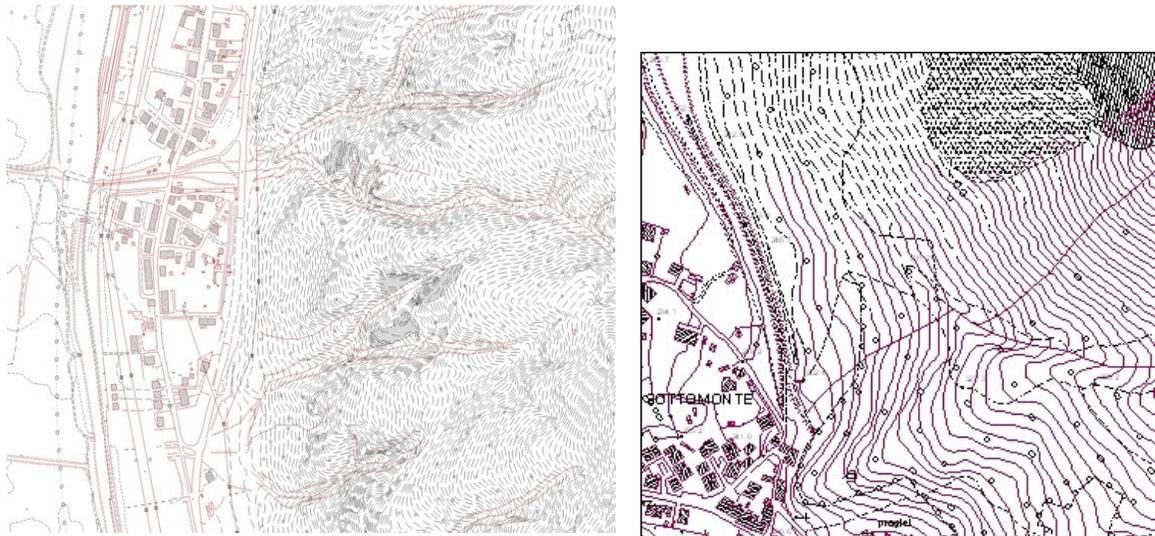


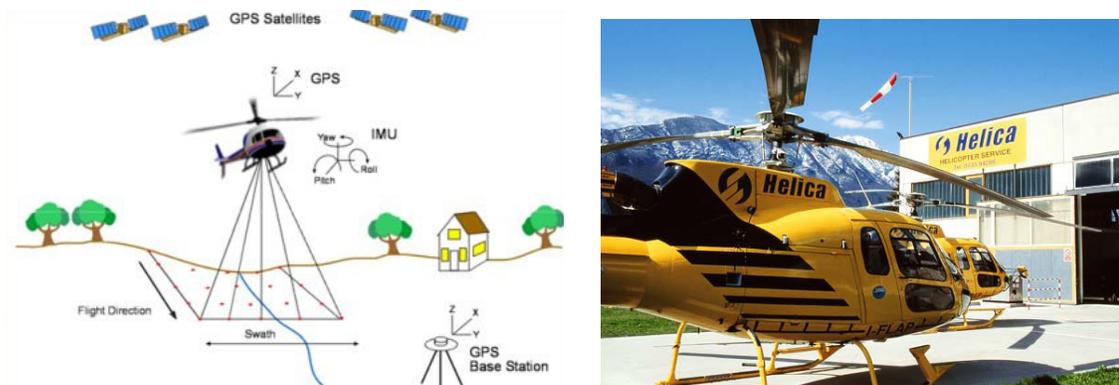
Figura 4.1 : CTR, Carta Tecnica Regionale in scala 1:2500 con linee di quota tratteggiate (sinistra) e continue (destra)

#### 4.1.1.2 LIDAR

LIDAR, Light Detection and Ranging, rappresenta una tecnica di telerilevamento che permette di ottenere dei DSM (Digital Surface Models) molto precisi, 5-20 cm e ad alta risoluzione. Il LIDAR è basato sulla combinazione di uno scanner laser montato su un aereo o un elicottero, un Global Positioning System (GPS) utilizzato per ricavare la posizione del sensore e un sistema di navigazione inerziale (Inertial Navigation System INS) per ricavare l'orientamento (Brovelli et al, 2004).

Il laser emette segnali infrarossi che “rimbalzano” al suolo e vengono catturati dal sensore. La distanza dell'oggetto è determinata misurando il tempo trascorso fra l'emissione dell'impulso e la ricezione del segnale retrodiffuso.

Partendo dal DSM è possibile ricavare il DTM (Digital Terrain Model) filtrando tutti gli elementi presenti sul terreno (alberi, edifici, ecc) usando degli algoritmi semi-automatici.



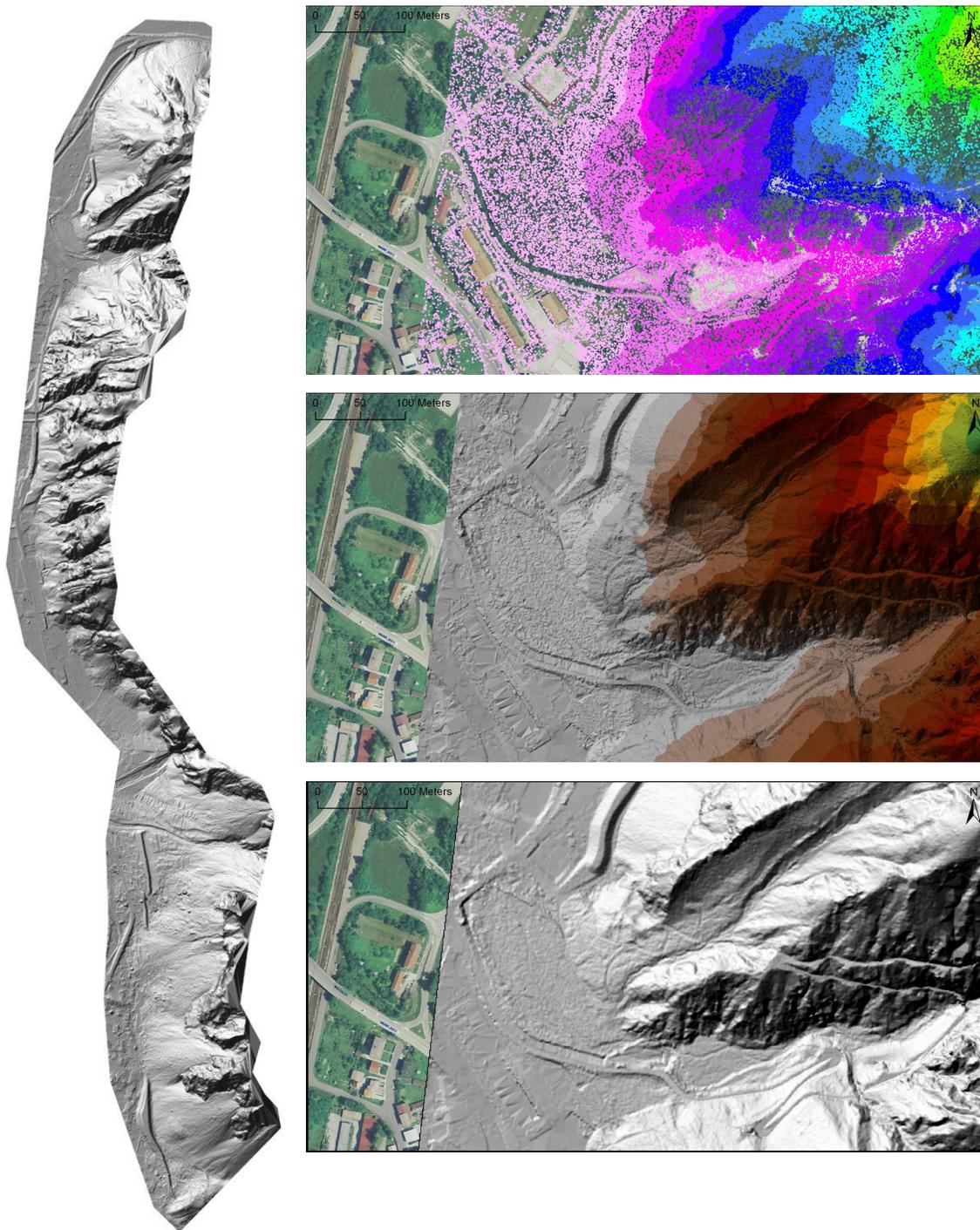
**Figura 4.2: principio di funzionamento del LIDAR (a sinistra); elicottero dotato di LIDAR (a destra)**

Per l'area di studio è stato realizzato un LIDAR con inclinazione di 45°. La scelta del LIDAR obliquo è stata determinata dalla complessità della geometria delle cime e alla loro componente verticale.

I dati relativi a questo LIDAR sono stati acquisiti dalla Helica srl. e successivamente forniti come nuvole di punti i quali sono stati utilizzati per ottenere una struttura TIN (Triangulate Irregular Network) poi convertita in formato raster con una dimensione del pixel di 1 metro.

La densità della nuvola di punti dipende dalla riflettività, dalla configurazione della scansione e dalla successiva elaborazione. Per questo lavoro si sono utilizzate delle densità di punti massime in zone rocciose (> 1.000.000 pts/km<sup>2</sup>) intermedie nelle

aree vegetate (300-400,000 pts/km<sup>2</sup>) e minime nelle aree urbane (circa 150,000 pts/km<sup>2</sup>).



**Figura 4.3: A destra il LIDAR a 45° dell'area di studio. A sinistra esempio di conversione dalla nuvola di punti al TIN al LIDAR.**

#### 4.1.2 Ortofoto e foto aeree

Diverse serie di ortofoto realizzate dal 1998 al 2007, via via con risoluzioni sempre migliori, sono disponibili per la Regione Friuli-Venezia Giulia.

Data Ortofoto	Risoluzione
1998	1m x 1m
2003	0,5m x 0,5 m
2007	0,2m x 0,2 m

Le ortofoto più recenti sono state prodotte durante la realizzazione del LIDAR DTM con una risoluzione nominale di 0,2 x 0,2 m. La risoluzione dell'immagine della superficie reale dipende dall'elevazione e potrebbe essere più alta per le montagne e più bassa per i piani vallivi.

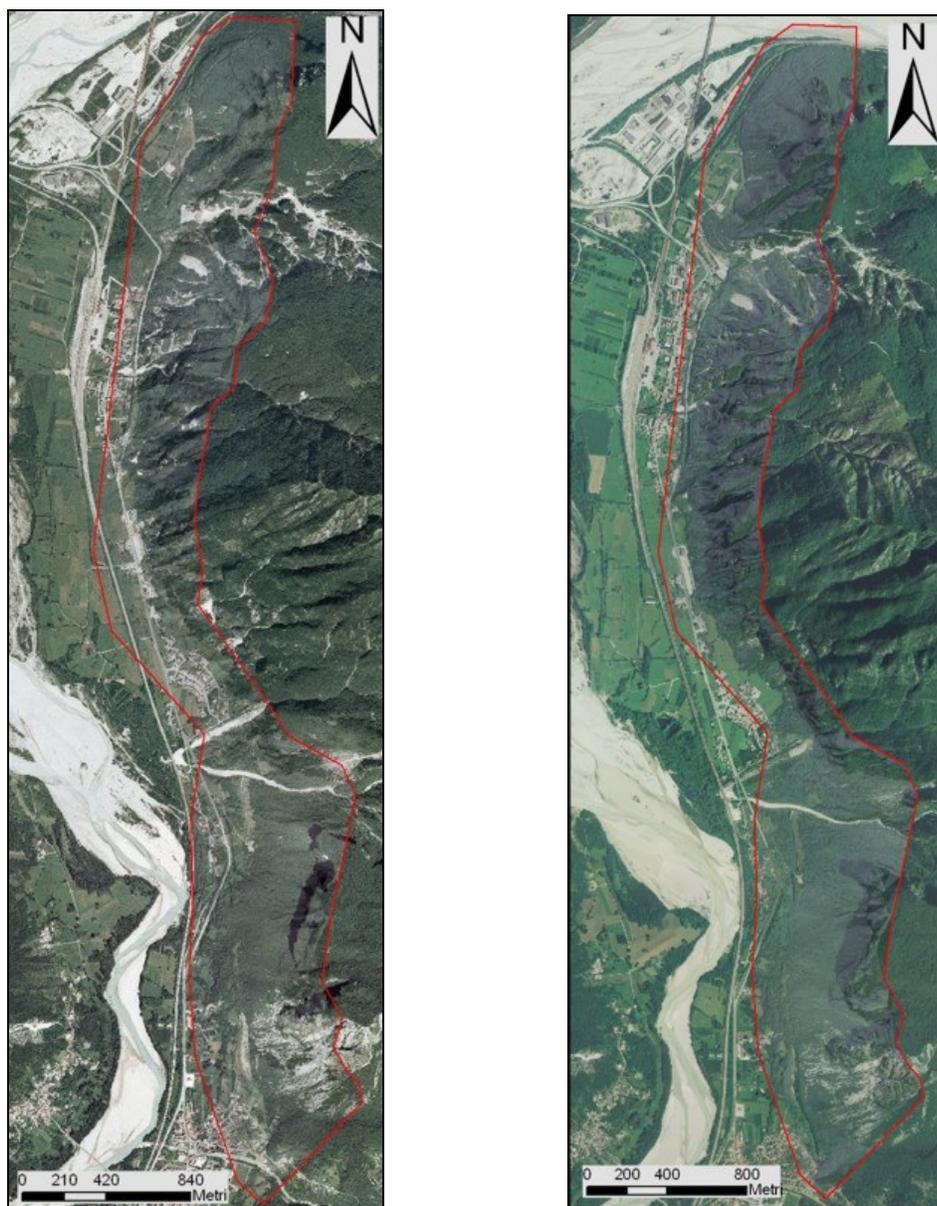
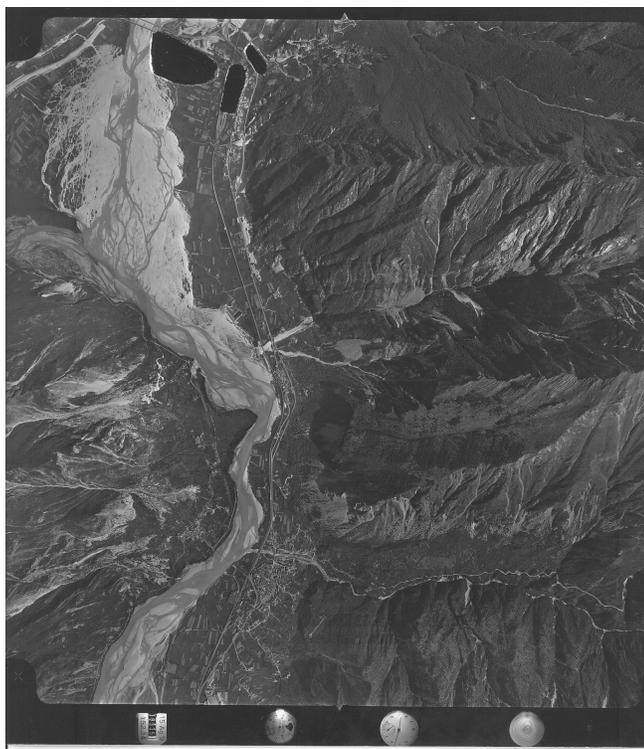


Figura 4.4 Confronto tra l'ortofoto del 2003 (sinistra) e quella aggiornata al 2007 (destra).

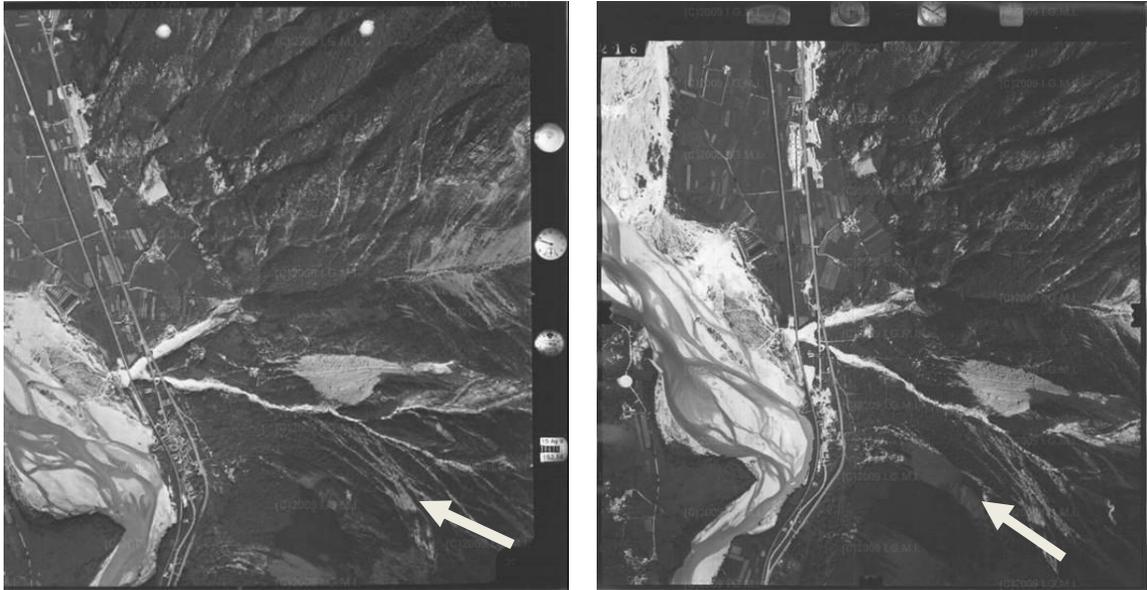


**Figura 4.3: Foto aerea del 1977, altezza di volo di 4200m**

Le foto aeree sono uno strumento fondamentale per l'identificazione e la mappatura dei fenomeni franosi in quanto vengono utilizzate per la fotointerpretazione.

L'Istituto Geografico Militare italiano, IGM, regolarmente scatta delle foto su tutto il territorio nazionale, con voli supplementari a seguito di eventi significativi (alluvioni, terremoti, incendi industriali, tempeste).

Per l'area di studio sono disponibili foto scattate in diversi anni (1954,1957, 1976,1977, 1986 e 2000) che permettono di documentare l'evoluzione storica del territorio e degli elementi a rischio in particolare permettono di studiare la situazione prima e dopo il disastroso terremoto.



**Figura 4.5: confronto delle foto aeree scattate nel 1976 (a sinistra) e quelle scattate nel 1977( a destra). Il confronto delle due immagini mostra che i principali crolli si sono verificati durante il primo evento fa eccezione il crollo avvenuto nelle brecce cementate in prossimità di Portis (freccia bianca).**

Per quanto riguarda il terremoto del 1976 è stato possibile acquisire da IGM fotoaeree scattate subito dopo il primo e il secondo terremoto. Per entrambi i terremoti è disponibile un volo a bassa quota (1800m) e un volo a alta quota (4200 m).

L'eventuale digitalizzazione delle immagini potrebbe consentire un'analisi di maggior dettaglio circa la distribuzione dei fenomeni di crollo.

Anno	Foglio	Strisciata	Fotogrammi	Altezza	Scala Nominale
1954	14	14E	4931-4933	10000	45000
1976	25	XI	9371-9378	1800	10500
1976	14	XII	9328-9331	3700	20000
1976	14	XIII	9278-9283	3700	20000
1977	14	12	288-295	4500	28000
1977	14	13	25-27	4500	28000
2000	14	37	1189-1192	5200	33000
2000	14	91	3569-3574	5040	33000

**Tabella: foto aeree utilizzate per la fotointerpretazione**

### 4.1.3 Dati storici su eventi di crollo

Lo studio della letteratura disponibile è finalizzato ad acquisire conoscenze sugli aspetti geologici, geomeccanici e geologico-tecnici dell'area di studio. Tali informazioni possono essere utile per una suddivisione preliminare dell'area in zone omogenee, per caratterizzare i materiali, per riconoscere gli eventi e per calibrare i modelli.

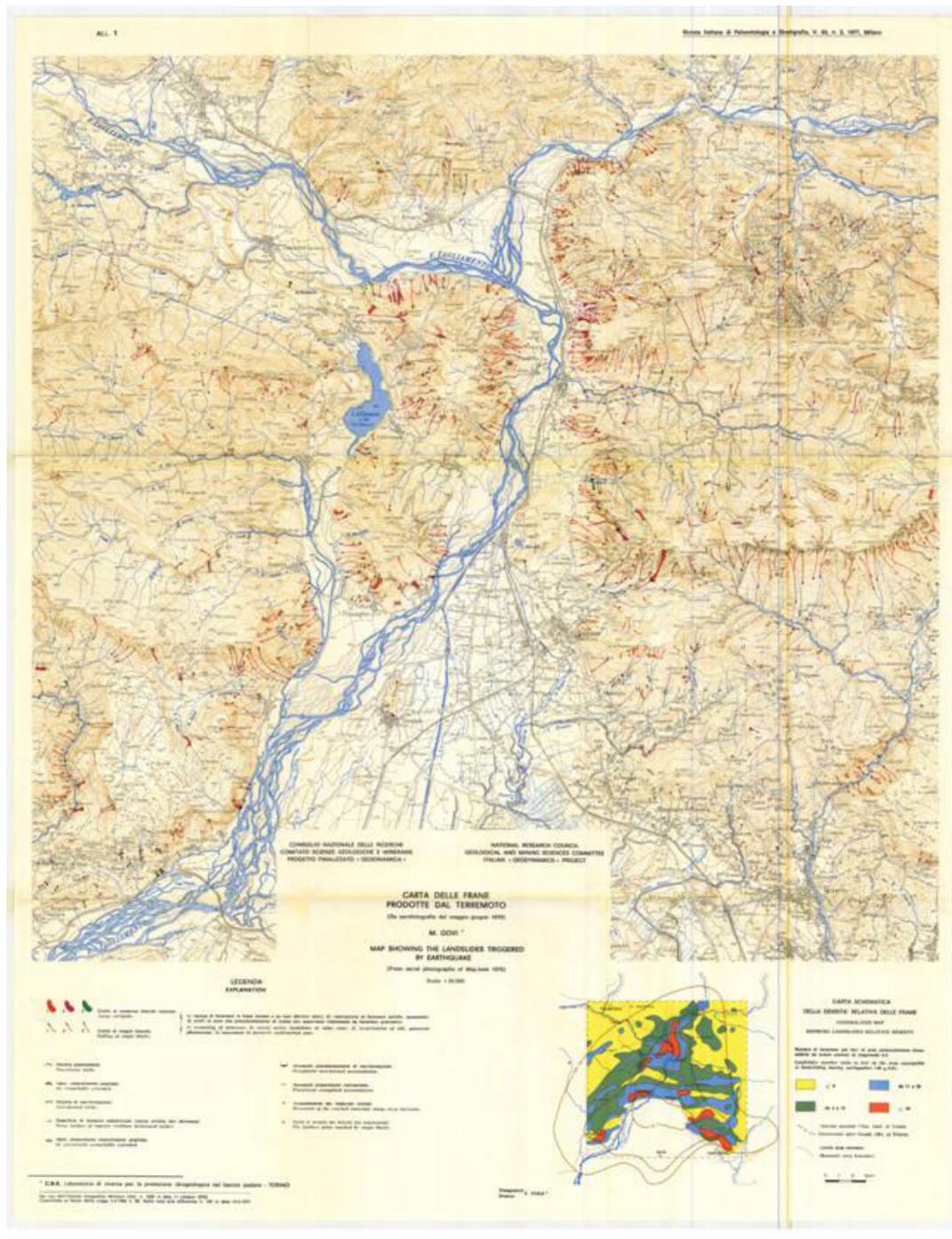


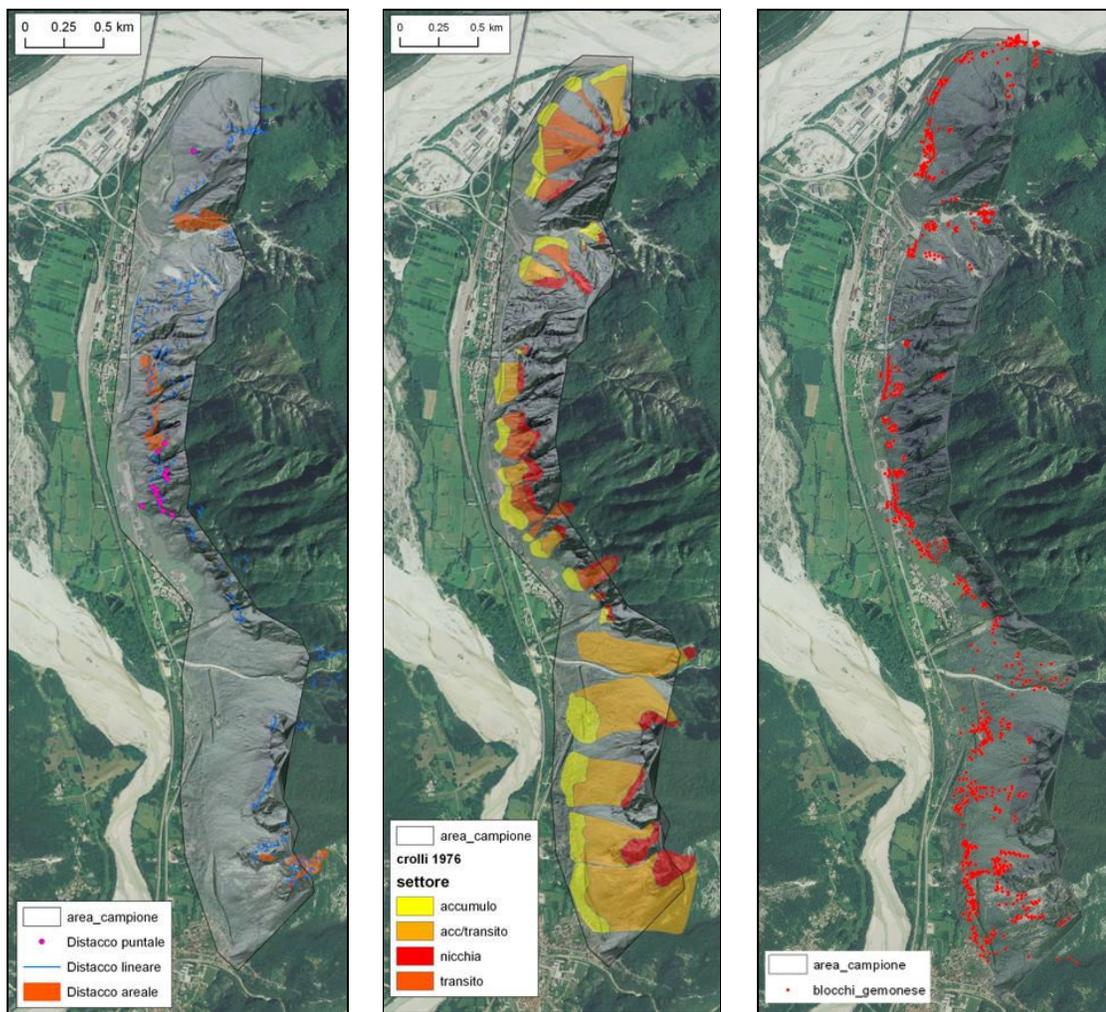
Figura 4.6: mappa delle frane indotte dal terremoto del 1976 (Govi, 1977).





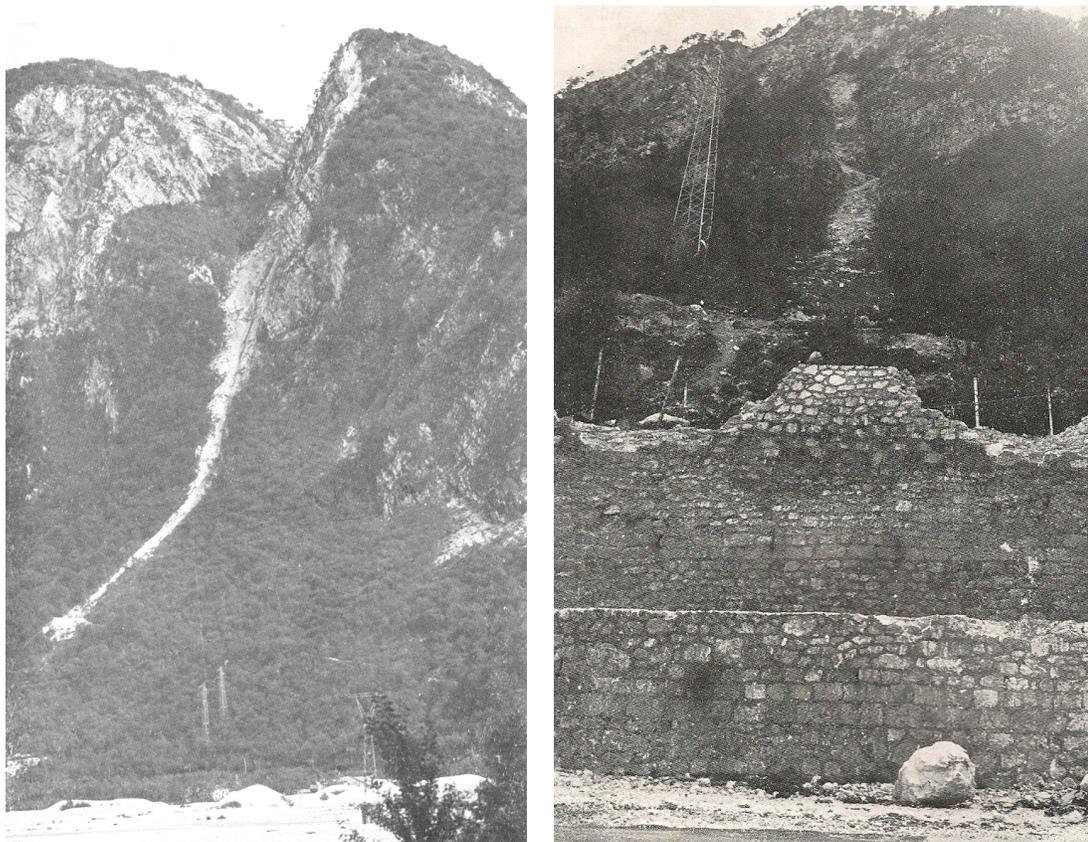
degli eventi franosi innescati dal disastroso terremoto del 1976. Si possono osservare le numerose sorgenti di distacco (puntuali, lineari e areali), le vie di percorso preferenziale e i blocchi franati. I blocchi mappati sono stati, inoltre, messi in relazione con le probabili sorgenti che li hanno generati. Dei blocchi sono stati riportati anche i principali volumi che implementati con i dati ricavati dal rilevamento di terreno potranno essere utilizzati per ottenere relazioni volume-frequenza dei blocchi che potranno risultare utili per la valutazione della suscettibilità da crollo.

La mappa del gemonese è stata digitalizzata, georeferenziata e importata in ambiente GIS, i dati ricavati possono essere utilizzati per la modellazione e la calibrazione dei parametri.



**Figura 4.9 Digitalizzazione della carta della Comunità Montana del Gemonese**

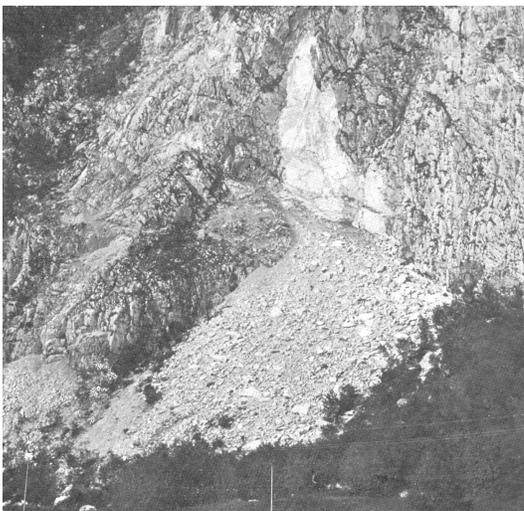
Altre importanti fonti storiche sono le foto aeree scattate negli anni successivi al terremoto. Queste importanti testimonianze permettono di individuare e mappare i fenomeni franosi, di stimare la massima distanza raggiunta dai blocchi e i danni causati dall'occorrenza di tali fenomeni.



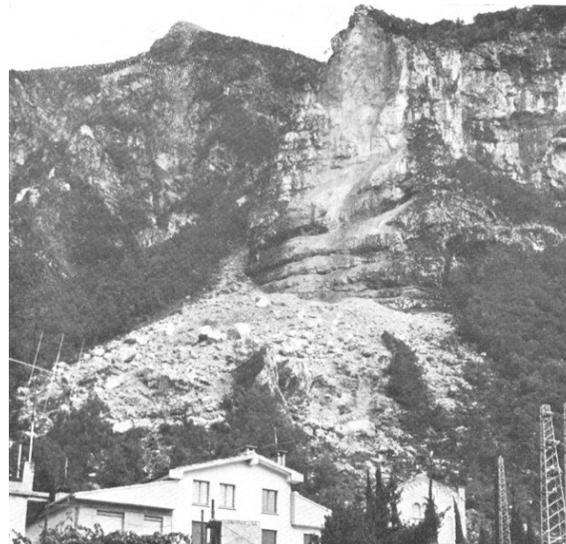
**Figura 4.10: versante sinistro della bassa Val Fella: distacchi dalle zone sommitali di pareti dolomitiche con giacitura degli strati a reggipoggio. A destra i blocchi caduti sulla statale Pontebbana.**



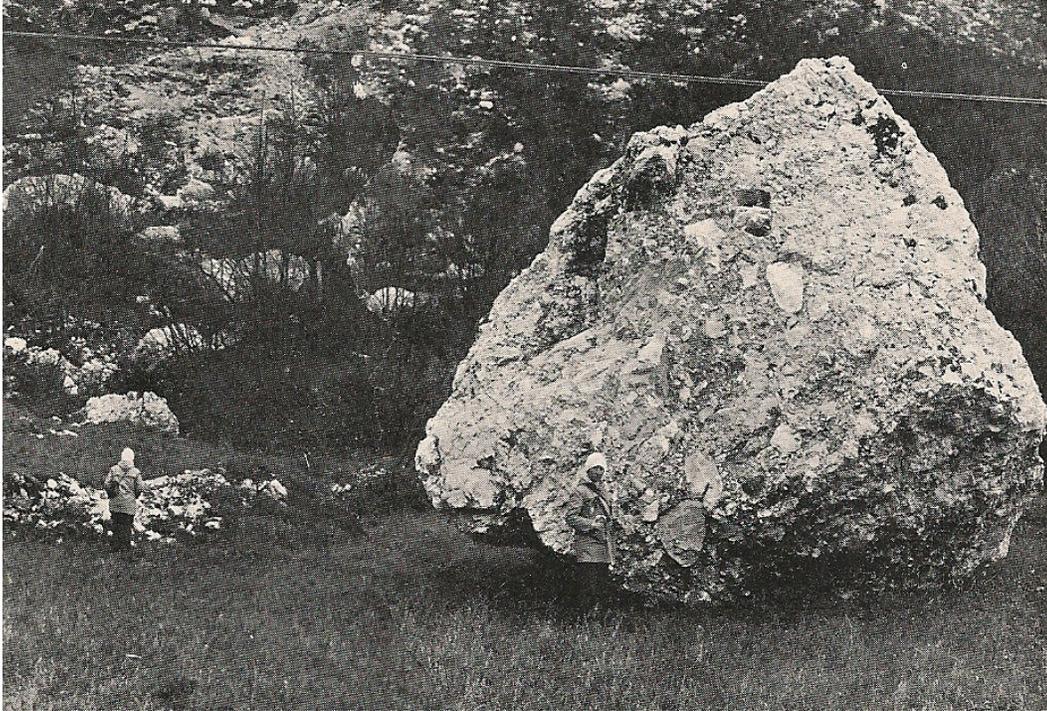
**Figura 4.11: versante sinistro della bassa Val Fella. Materiale prevalentemente fine incanalato entro una rapida incisione a seguito del terremoto di maggio, rimobilizzati e accumulati sulla sede della linea ferroviaria per effetto delle scosse di settembre.**



**Figura 4.12: versante sinistro della Valle del Tagliamento a nord di Portis. Distacco in rocce calcaree con giacitura subverticale parallela al versante.**



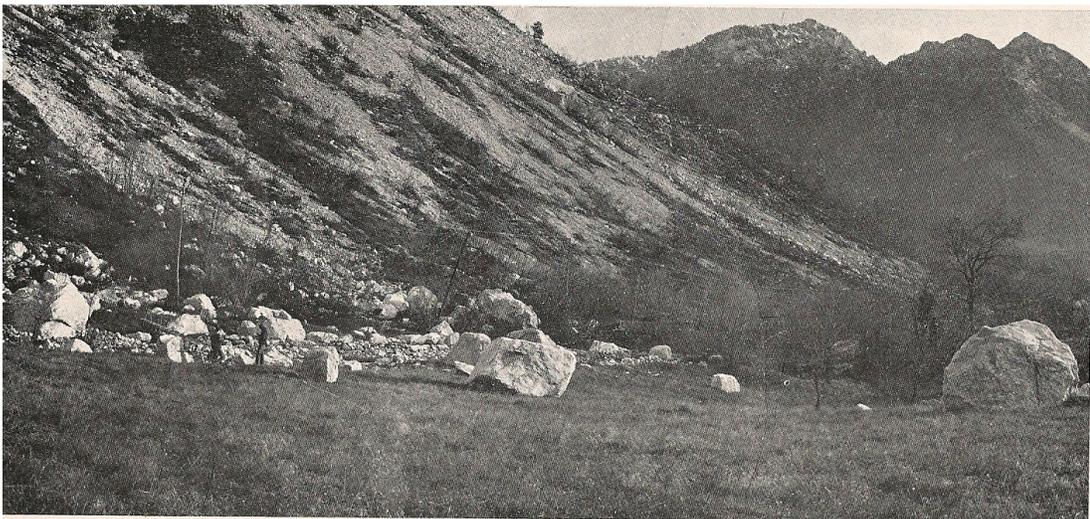
**Figura 4.13: distacchi in breccie cementate con stratificazione debolmente a franapoggio presenti a Punta Sopra Castello (Portis).**



**Figura 4.14: versante sinistro della Valle Tagliamento a sud di Portis. Alcuni fra i blocchi di maggiori dimensioni precipitati per effetto delle scosse sismiche. La presenza di massi così voluminosi è associata ad unità detritiche, rappresentate nel caso particolare da breccie ben cementate.**



**Figura 4.15: versante occidentale del M. Clapon del Mai. Distacchi in rocce calcaree fortemente tettonizzate. In primo piano nella foto a sinistra e nella foto in basso distribuzione dei blocchi di maggiori dimensioni sul terreno piano o a lieve pendenza.**



#### 4.1.4 Carta geologica

La carta geologica che è stata presa in considerazione è quella prodotta dal Servizio Geologico della Regione Friuli-Venezia Giulia in scala 1:150.000 (Carulli, 2006). Questa mappa è stata creata assemblando tutta la letteratura geologica della regione. Tuttavia, considerando la scala alla quale è stata realizzata rispetto a quella dell'area di analisi si è deciso di approfondire le informazioni geologiche con un'indagine di dettaglio sul campo.

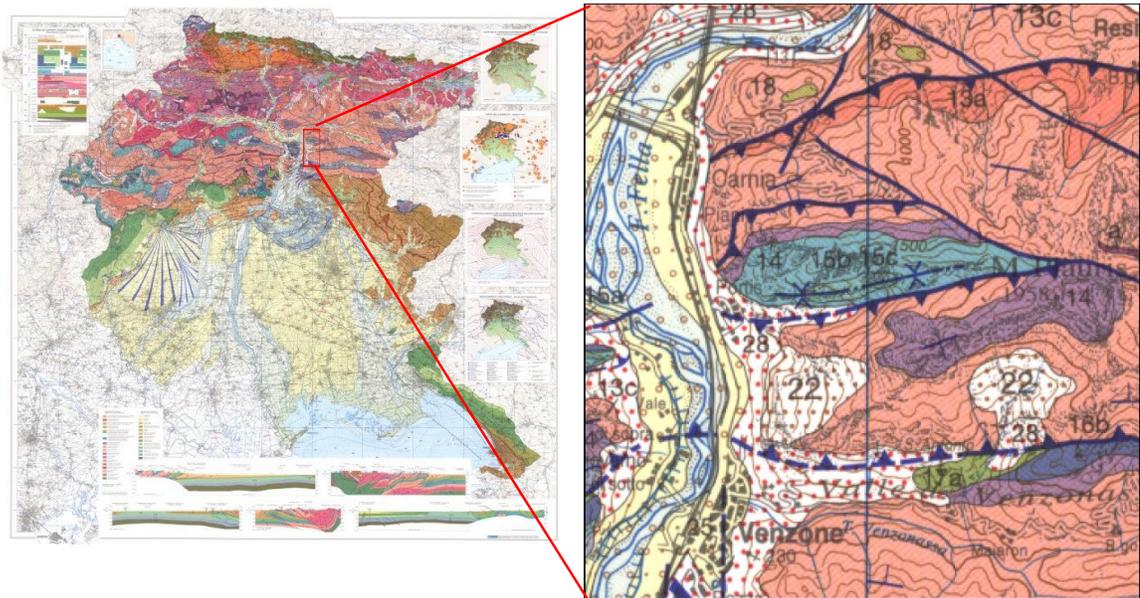


Figura 4.16: carta geologica 1:150.000 del Friuli con particolare dell'area di studio.

## 4.2 Rilevamento di campagna

L'attività di campo è stata progettata per integrare i dataset esistenti raccogliendo delle nuove informazioni necessarie per valutare:

- ✓ frequenza e suscettibilità di innesco dei crolli (stabilità dei versanti, frequenza degli eventi)
- ✓ cinematica e suscettibilità di propagazione dei crolli (traiettorie, velocità, energia)
- ✓ distribuzione, tipologia ed efficienza delle opere di difesa dal rischio.

La raccolta dei dati di terreno si è concentrata sulla:

- ✓ mappatura della geologia
- ✓ mappatura dell'uso del suolo
- ✓ mappatura delle evidenze di crollo sul campo
- ✓ mappatura dei blocchi
- ✓ caratterizzazione degli ammassi rocciosi
- ✓ analisi delle opere di difesa

I dati raccolti e/o forniti dalla Regione Friuli Venezia-Giulia sono stati validati ed organizzati in un Sistema Informativo Territoriale appositamente realizzato in ambiente ARC GIS (Esri™).

### 4.2.1 Carta geologica

La carta geologica è stata ottenuta integrando le informazioni rilevate con quelle relative al rilievo geologico condotto dal dott. Geol. F. Podda su commissione dell'Università degli studi di Milano Bicocca.

Il rilevamento geologico dell'area di studio ha diverse finalità:

- ✓ adattamento della cartografia geologica esistente alla scala del lavoro. A tale proposito si è partiti dalla base geologica disponibile (Carta 1:150.000 Regione FVG), verificandola tramite rilievi localizzati in sito ed eventualmente integrati nei settori di maggior interesse. Sono state così mappate le unità lito-stratigrafiche, le variazioni giacitureali, i depositi quaternari e i principali elementi strutturali;
- ✓ raccogliere informazioni sulle caratteristiche geologiche particolarmente rilevanti nelle analisi di caduta massi, ma non esplicitamente riportate nelle mappe esistenti. Tali informazioni riguardano le zone di faglia e le relative zone di danneggiamento, l'individualizzazione di domini strutturali omogenei,

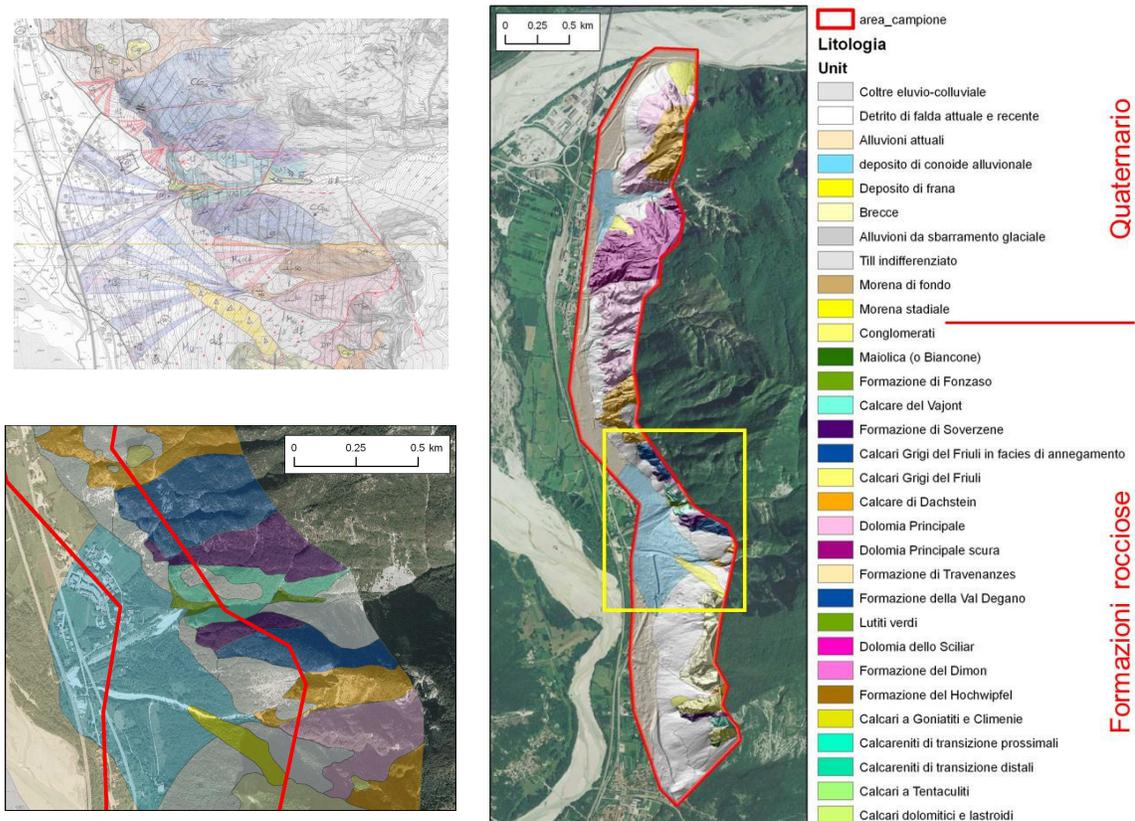
le correlazioni generali tra le unità litostratigrafiche e la qualità degli ammassi rocciosi.

- ✓ rilevamento di dettaglio dei depositi di versante alla base delle pareti, al fine di caratterizzarne forma, natura litologica, granulometria, grado di cementazione ed età relativa.

L'età relativa dei depositi permette di stimare in via preliminare l'attività delle pareti a monte, onde definirne la suscettibilità al distacco. Granulometria e forma permettono di definire le caratteristiche dei blocchi caduti, al fine di ottimizzare la simulazione. Il grado di cementazione consentirà una migliore parametrizzazione dei materiali ai fini dell'esecuzione di simulazioni di caduta massi.

Nella fase di rilievo e di analisi dei dati verranno mappate anche le aree sorgenti di crollo riconoscibili sulla base di diverse evidenze (es.: colore, presenza di accumuli e danni recenti alla vegetazione).

La carta geologica è stata dapprima realizzata sulla CTR poi successivamente digitalizzata e georeferenziata per poter essere utilizzata in ambiente GIS.



4.17 Carta geologica digitalizzata e particolari sia su CTR che in ambiente GIS

## 4.2.2 Carta della litologia superficiale

La mappa della litologia superficiale rappresenta il limite roccia-detrito individuato utilizzando le ortofoto e il LIDAR e successivamente corretto e migliorato tramite il rilevamento di terreno. Il detrito è stato suddiviso in detrito di versante, detrito alluvionale e eluvium.

Gli ammassi rocciosi sono stati poi classificati in funzione del grado di fratturazione mentre i depositi in base alla granulometria e al grado di cementazione realizzando così la carta della fratturazione degli ammassi rocciosi e la carta della granulometria dei depositi superficiali.



Figura 4.18: carta della litologia superficiale

#### 4.2.2.1 Carta della fratturazione degli ammassi rocciosi

Gli ammassi rocciosi sono stati suddivisi in base al grado di fratturazione descritto tramite l'indice Volumetric Joint Count,  $J_v$  (Palmstrom, 1982) che è definito come la somma del numero di giunti presenti per metro per ciascun set di giunti affioranti. Questi set di discontinuità isoleranno dei blocchi di varie dimensioni, utilizzando il  $J_v$  si può quindi avere una stima della dimensione media dei blocchi risultanti dagli ammassi rocciosi.

Sono state individuate quattro classi:

1.  $1 < J_v < 3$  → blocchi di notevoli dimensioni
2.  $3 < J_v < 10$  → blocchi medi
3.  $10 < J_v < 30$  → blocchi piccoli
4.  $J_v > 30$  → blocchi molto piccoli

L'utilizzo del  $J_v$  qualitativamente e diffusamente in fase di rilevamento senza l'utilizzo di alcun strumento di misura permette, quindi, di avere una stima preliminare della qualità dell'ammasso roccioso e della dimensione dei blocchi.

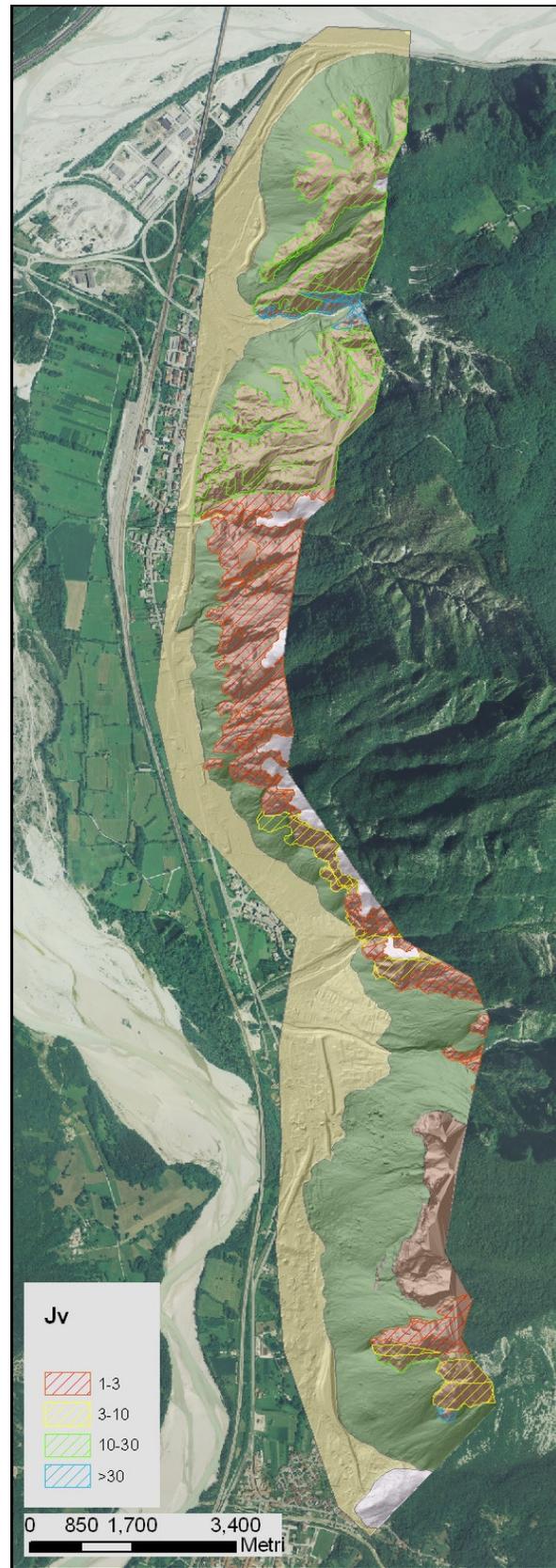


Figura 4.19: carta della fratturazione degli ammassi rocciosi

#### 4.2.2.2 Carta della granulometria dei depositi superficiali

Per quanto riguarda i depositi superficiali, durante il rilevamento, oltre a determinare la natura del deposito stesso, sono stati classificati in funzione della granulometria e del grado di cementazione.

Le classi granulometriche prese in considerazione sono tre: fino, medio, grossolano. Viene indicato come fine il deposito che presenta clasti inferiori a 10 cm, come medio quello con granulometria compresa fra 10-20 cm e grosso quello con i clasti che superano i 20-30 cm e arrivano fino ai blocchi.

Per caratterizzare un deposito, in tal senso, si è stabilito che la percentuale dei clasti facenti parti di una determinata classe deve essere in percentuale maggiore dell'80% (stima visiva). E' stato notato che numerosi depositi classificabili con la granulometria "medio" hanno al loro interno anche blocchi di notevoli dimensioni. In questo caso è stato classificato come medio con blocchi.

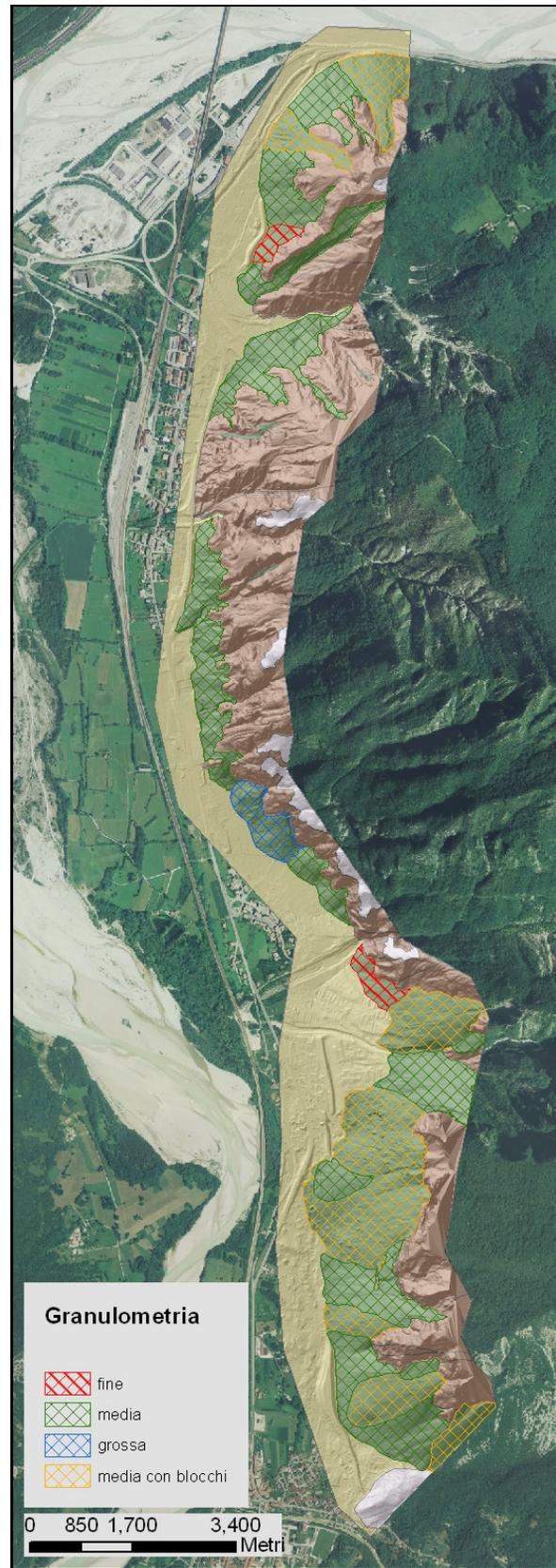


Figura 4.20: carta della granulometria dei depositi superficiali

### **4.2.3 Carta dell'uso del suolo**

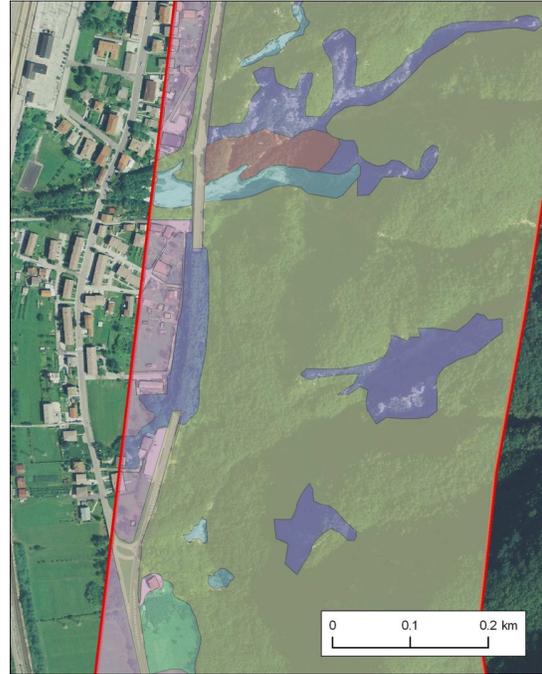
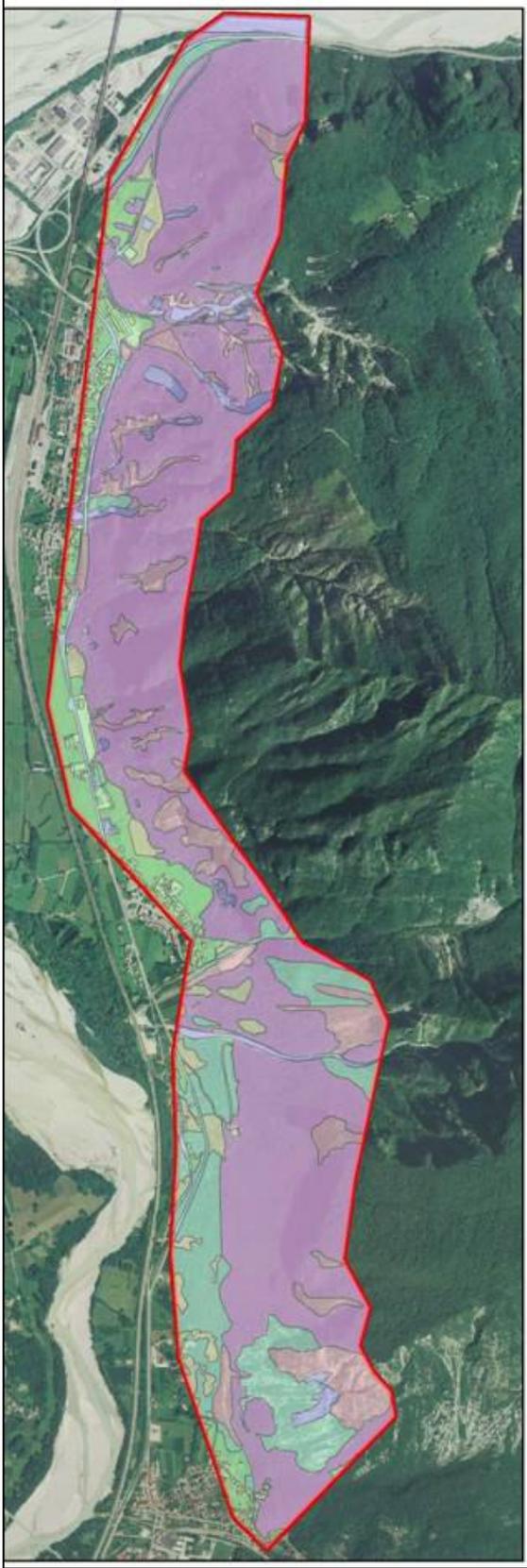
La realizzazione della carta del uso del suolo è di fondamentale importanza per la modellazione dei fenomeni di caduta massi, infatti la propagazione dei crolli richiede una conoscenza molto dettagliata dell'uso del suolo e della vegetazione.

La carta dell'uso del suolo, a scala 1:5000, è stata realizzata utilizzando le ortofoto e successivamente verificata e migliorata tramite il rilevamento sul terreno.

Le classi che sono state utilizzate per la caratterizzazione dell'uso del suolo sono:

- ✓ nudo, ovvero vegetazione assente;
- ✓ arbusti;
- ✓ bosco;
- ✓ bosco rado;
- ✓ prati e pascoli;
- ✓ strade;
- ✓ linee ferroviarie;
- ✓ urbano che è stato ulteriormente suddiviso in case, capannoni, cimitero, chiesa, campo sportivo, stazione ferroviaria, strade e prati.

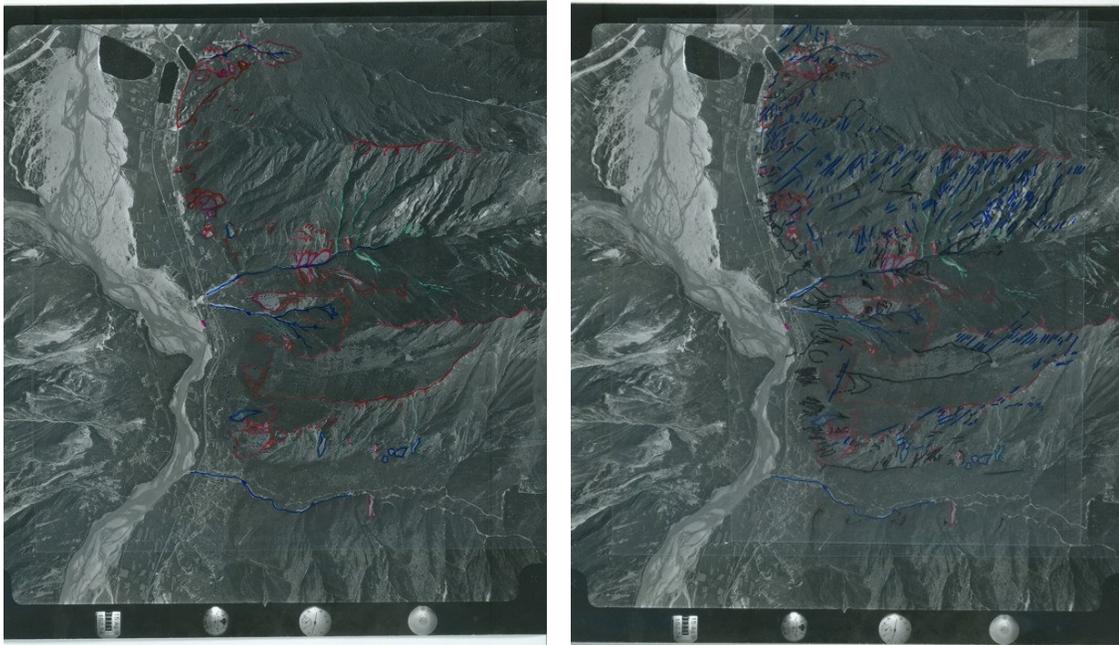
L'unione della carte dell'uso del suolo con la litologia superficiale tramite "unique condition map" permette di ottenere una carta con "unità territoriali" che sarà utilizzata per la modellazione dei fenomeni franosi.



- uso\_suolo**
- Arbusti
  - Bosco
  - Bosco rado
  - Nudo
  - Pascolo
  - Strada
  - Urbano

Figura 4.21: carta dell'uso del suolo e particolare

#### 4.2.4 Carta geomorfologica e dei lineamenti



**Figura 4.22: fotointerpretazione eseguita tramite foto aeree del 1977**

La fotointerpretazione tramite stereoscopio è indispensabile per la realizzazione della carta geomorfologica. Tramite l'analisi delle foto aeree, infatti, è stato possibile mappare i fenomeni franosi e le sorgenti di crollo (puntuali, lineari o areali) inoltre si è riusciti a classificare i depositi, gli alvei e gli orli.

I fenomeni franosi sono stati mappati confrontando le foto aeree di diversi anni, i dati storici provenienti dalla carta del gemonese e i dati raccolti in sito; per ciascuno di essi è stata delimitata l'area di nicchia e di accumulo alle quali è stato specificato lo stato di attività.

I depositi individuati tramite la fotointerpretazione sono stati classificati in coni o falde di detrito, corpo o conoide da debris flow, conoide alluvionale o di origine mista. Nell'area di studio sono diffusi i depositi di debris flow e gli alvei con evidenze di debris flow recente.

Gli orli sono stati riconosciuti prevalentemente da fotointerpretazione ma anche dal rilevamento di campo; sono stati individuati orli di scarpata di degradazione, orli di scarpata di erosione attiva e inattiva, orli di origine morfologica ma i predominanti sono gli orli di scarpata interessati da caduta massi.

I lineamenti strutturali mappati sono stati individuati prevalentemente grazie al LIDAR e alla fotointerpretazione e poi successivamente implementati utilizzando il programma Coltop.



**Figura 4.23: carta dei lineamenti**



**Figura 4.24: carta geomorfologica**

# 5 Attivita' di campo

## 5.1 Rilevamento geomorfologico

Lo scopo del rilevamento geomorfologico, eseguito utilizzando le CTR in scala 1:2500, è stato quello di individuare e mappare le evidenze di crolli. Le principali attività svolte sul campo sono state:

- ✓ individuare e mappare le sorgenti dei fenomeni franosi
- ✓ individuare zone di potenziali distacchi (aree intensamente fratturate o blocchi svincolati)
- ✓ mappare gli accumuli dei crolli e dei depositi attivi
- ✓ mappare i singoli blocchi
- ✓ individuare e mappare le vie di transito preferenziale dei blocchi

Questi dati sono fondamentali per individuare le sorgenti di caduta massi che saranno utilizzate nelle modellazioni e per definire la loro suscettibilità alla rottura. Inoltre, le evidenze della propagazione dei crolli già avvenuti sono di estrema importanza per la calibrazione della modellazione sia 2D che 3D.

### 5.1.1 Catalogo dei blocchi

I blocchi sono stati mappati sulla carta topografica a scala 1:2500 e tramite l'uso di un GPS. A ciascun blocco è stato attribuito un numero identificativo, ID, è stata annotata la forma e la stima del volume, sono state misurate le dimensioni principali (lunghezza, larghezza ed altezza) e riportate le coordinate in UTM-WGS84.

ID. BLOCCO	NUM.FOTO	LONG	LAT	ALTEZZA	FORMA	LUNG	LARG	ALTEZZA
1	1015	357223	5135316	313	prismatico	1.00	0.80	0.60
2	1021	357247	5135249	270	romboide	3.00	2.00	1.00
3	1022	357247	5135249	270	prismatico	2.00	1.70	1.50
4	1023-24-25	357247	5135249	270	prismatico	1.70	1.50	1.00
5		357150	5135226	264	prismatico	1.20	1.00	0.70

**Tabella: utilizzata in sito per riportare le caratteristiche dei blocchi**

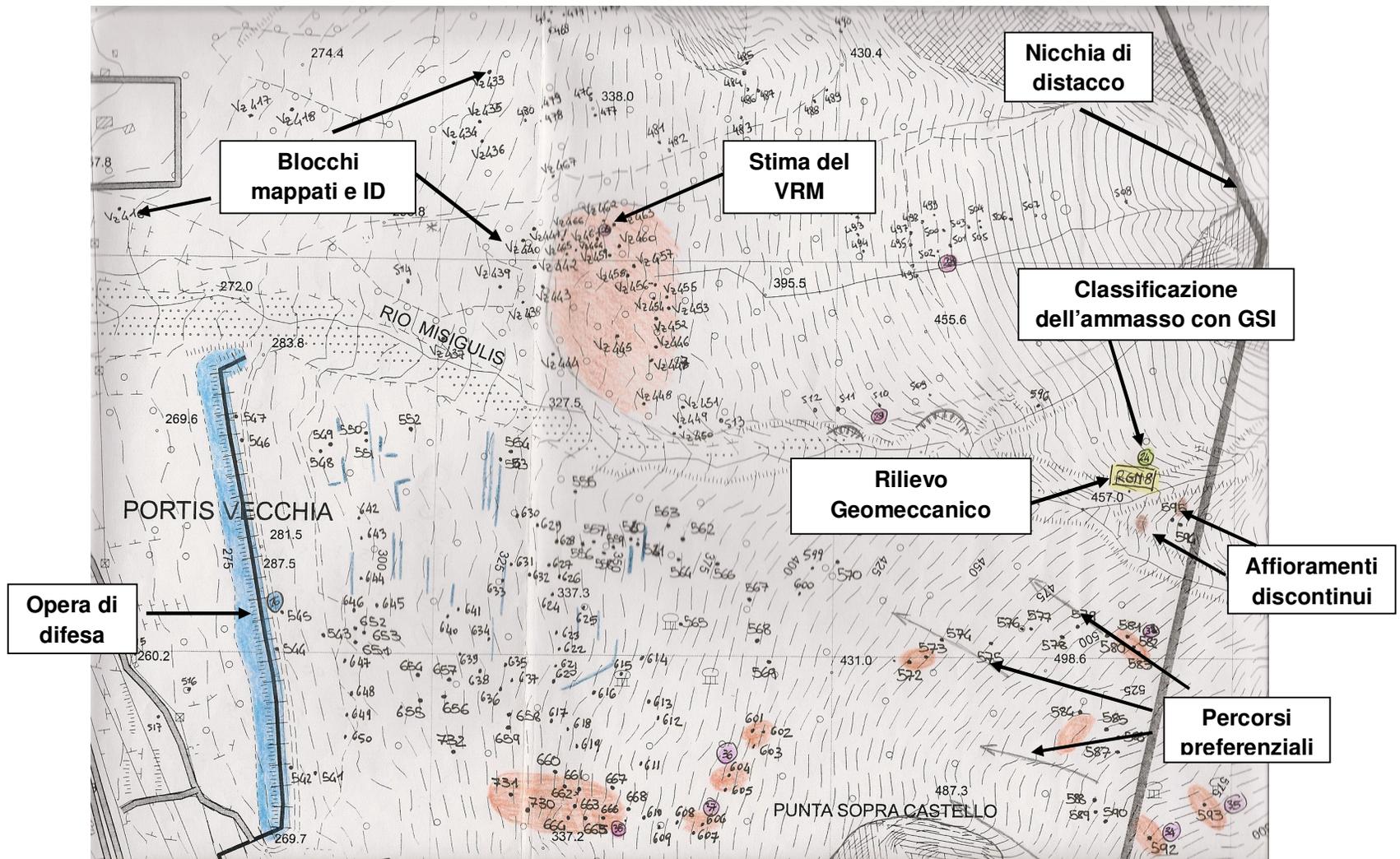
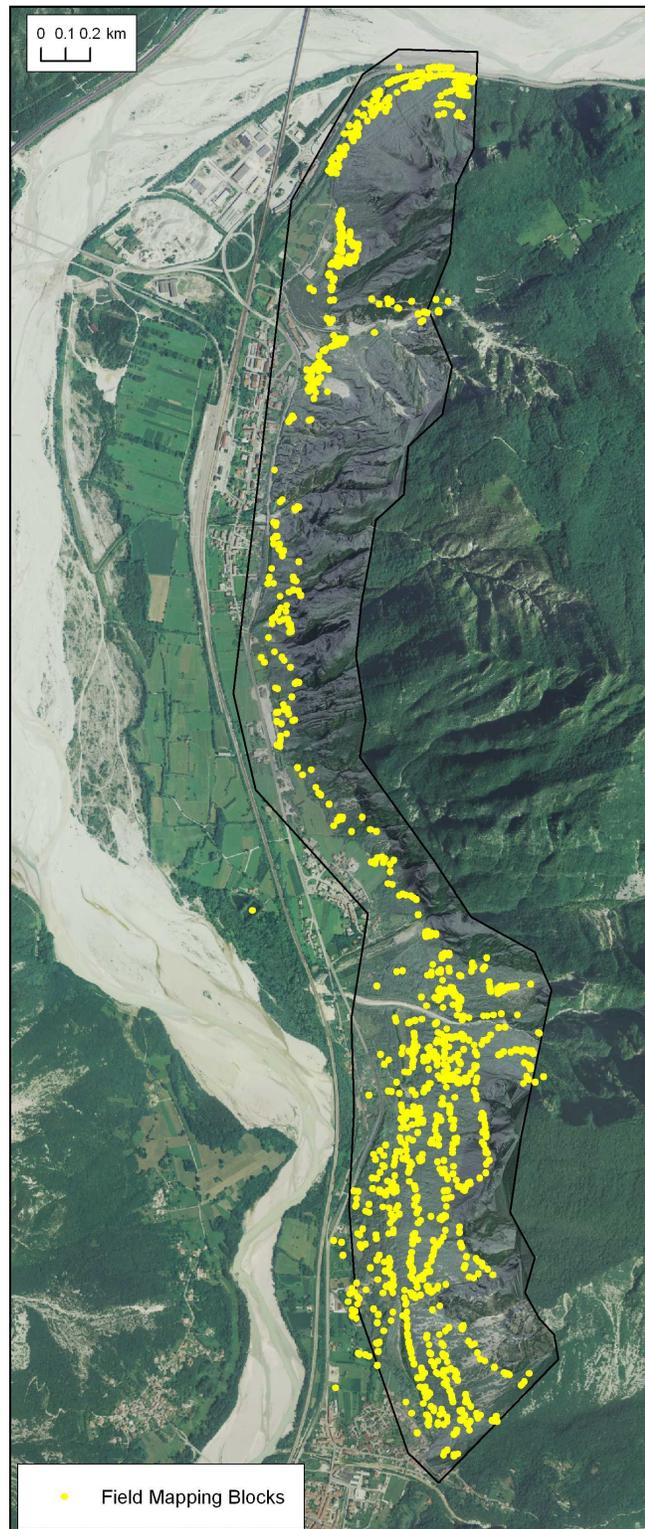


Figura 4.25: carta topografica utilizzata in sito per il rilevamento geomorfologico

Nelle zone in cui il numero dei blocchi era talmente elevato da non poter mapparli tutti si è data maggior importanza a quelli presenti in prossimità degli abitati o strade, ai blocchi marginali che permettono di capire la massima propagazione dell'evento, quelli presenti vicino le opere di difesa e quelli di notevoli dimensioni. Queste scelte condizionano la qualità e le proprietà statistiche dell'inventario.

In aree con elevata presenza di blocchi di dimensioni omogenee si è pensato di stimare un Volume Rappresentativo Medio, VRM.

Tutte le evidenze dei fenomeni franosi mappate sul terreno sono state digitalizzate per essere utilizzate in ArcGIS.



**Figura 4.26: blocchi mappati tramite rilevamento sul terreno**

I blocchi mappati sono 1127 di questi viene mostrata la statistica descrittiva ottenuta utilizzando excel.

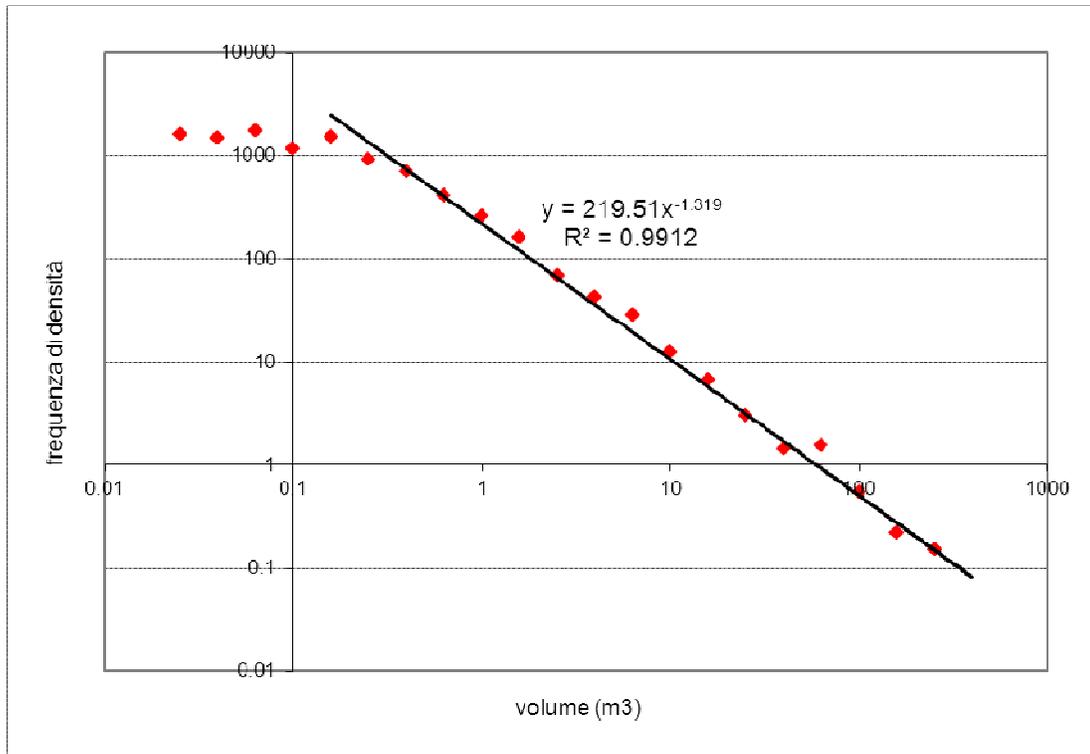
<i>Statistica descrittiva</i>	
Media	22.13563
Errore standard	4.105182
Mediana	0.84
Moda	0.12
Deviazione standard	137.8143
Varianza campionaria	18992.79
Curtosi	299.9481
Asimmetria	15.88435
Intervallo	2999.996
Minimo	0.0045
Massimo	3000
Somma	24946.85
Conteggio	1127
Più grande(1)	3000
Più piccolo(1)	0.0045
Livello di confidenza(95.0%)	8.05466
raggio medio	0.30629
raggio max	4.928668

**Tabella: statistica descrittiva del database di blocchi rilevati.**

#### **5.1.1.1. Relazione intensità-frequenza**

In letteratura si ritrovano numerose relazioni intensità-frequenza degli eventi franosi, per le frane da crollo ne sono state proposte alcune da Hunge et al.(1999) e da Dussauge et al. 2003. Queste relazioni possono essere espresse in termini di frequenza o di densità di probabilità, sia in forma cumulata che non cumulata. Generalmente per le frane da crollo si utilizzano relazioni intensità-frequenza espresse in termini di volumi e attraverso delle curve di tipo potenza.

Il database dei blocchi mappati sul terreno è stato utilizzato per realizzare delle curve non cumulate di intensità-frequenza in cui si rappresenta la frequenza della densità,  $f=dN/dV$ , rispetto al volume dei blocchi  $V$  usando un binning logaritmico.  $N$  rappresenta il numero dei blocchi aventi un volume compreso tra  $V$  e  $V+dV$ , nel caso in esame  $N=1127$ .



**Figura 4.27: grafico della distribuzione del volume dei blocchi**

I dati sono stati interpolati con una funzione potenza espressa da:

$$f(V)=AV^{-b}$$

Il coefficiente  $A$  viene ricavato dai cataloghi storici mentre  $b$  è il parametro che caratterizza la distribuzione volumetrica e in questo caso vale 1,319.

Se si conoscesse la frequenza annua dei crolli che causano blocchi maggiori di un certo volume, da cui dipende il parametro  $A$ , si potrebbe stimare il tempo di ritorno.

$$T(V)=1N(V)$$

## 5.1.2 Catalogo delle opere di difesa

Le opere di difesa da caduta massi presenti nell'area di Venzone sono state rilevate e inserite in un database. Ciò consente di aggiornare ed integrare il database compilato dalla Regione Friuli-Venezia Giulia riguardante le strutture di protezione del suolo.

Le strutture di protezione individuate e mappate sul campo sono per lo più opere di difesa passiva che si differiscono per tipologia, dimensione, energia di assorbimento, efficienza e efficacia. Con lo scopo di ottenere un database omogeneo per il rilevamento delle opere è stato utilizzato un apposito modulo all'interno del quale si riportano diverse informazioni:

- ✓ dati generali come il numero identificativo dell'opera, ID, la cartografia di riferimento, il numero progressivo di foto, l'eventuale presenza nell'inventario della Regione;
- ✓ ubicazione dell'opera rispetto alla sorgente del crollo (parete rocciosa, canale/impluvio, talus, base del talus, fondovalle);
- ✓ caratteristiche della zona sorgente ( parete rocciosa continua molto o mediamente fratturata, affioramenti discontinui, rimobilizzazione da coperture detritiche, rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana, altro);
- ✓ evidenze di attività della zona sorgente;
- ✓ tipologia di opera passiva (barriera paramassi rigida, barriera elastica a basso assorbimento, barriera deformabile a medio o alto assorbimento, muro in gabbioni o in calcestruzzo, vallo paramassi, rilevato paramassi, rete metallica in aderenza, pannelli di fune metallica in aderenza, chiodature-bullonature-legature);
- ✓ materiali costruttivi (legname, metallo, terra, terra armata/rinforzata, cemento armato),
- ✓ dimensione dell' opera (lunghezza, larghezza media alla base e alla sommità, altezza/profondità minima, media e massima);
- ✓ stato di efficienza e di efficacia dell'opera (pessimo, discreto e ottimo) e gli eventuali danni riportati all'opera;
- ✓ tipologia e quantità di elementi a rischio (edifici residenziali, industriali o di interesse pubblico, strade, ferrovie, infrastrutture tecnologiche, altro);
- ✓ annotazioni e disegni.

MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI																																																																													
Provincia	Comune	Denzone	ID opera	4	Inventario FVG (SI/NO)																																																																								
					Rilevatore																																																																								
					DATA																																																																								
					11/11/09																																																																								
INFORMAZIONI GENERALI																																																																													
Scala di rilevamento	1:2500	Cartografia di riferimento			CTR																																																																								
Ubicazione dell'opera (1)	0	NOTE	con muro adiacente																																																																										
Tipologia dell'opera (2)	8	NOTE	colonna adiacente con vallo e muro in c.a.																																																																										
Quota minima (m. s.l.m.)	200																																																																												
Quota massima (m. s.l.m.)																																																																													
Restituzione grafica dell'opera	Puntuale	Lineare		Areali	X																																																																								
CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE																																																																													
Tipologia dell'opera (3)	1	NOTE																																																																											
Estensione massima (m, m2)		NOTE																																																																											
Evidenze di attività (SI/NO)		DESCRIZIONE																																																																											
CARATTERISTICHE DELL'OPERA																																																																													
Materiali costruttivi (4)	5-3	NOTE																																																																											
Stato di efficienza (5)	3	NOTE	Efficacia (5)	3																																																																									
Descrizione dei danni																																																																													
DIMENSIONI	Lunghezza (m)	300	TIPO ELEMENTI A RISCHIO (6)	1	QUANTITA'																																																																								
	Larghezza media base (m)				1 strada																																																																								
	Larghezza media sommità (m)				diverse case																																																																								
	Altezza/prof. minima (m)																																																																												
	Altezza/prof. media (m)	2																																																																											
	Altezza/prof. massima (m)																																																																												
	Superficie (m2)																																																																												
ANNOTAZIONI E DISEGNI																																																																													
<table border="1"> <tr> <td>Progressivo foto</td> <td>Foto A-G</td> </tr> <tr> <td></td> <td>25/26 MURLO</td> </tr> <tr> <td></td> <td>27 MURLO C.C.</td> </tr> </table>						Progressivo foto	Foto A-G		25/26 MURLO		27 MURLO C.C.																																																																		
Progressivo foto	Foto A-G																																																																												
	25/26 MURLO																																																																												
	27 MURLO C.C.																																																																												
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">ATTRIBUTI</th> </tr> <tr> <td>(1)</td> <td>1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2: Canale / Ingherfo (indicare larghezza/altezza/pendenza)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3: Tabui (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4: Base del tabui (indicare pendenza locale e distanza da base)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5: Fondovalle</td> </tr> <tr> <td>(2)</td> <td>1: Barriera paramassi rigida (in legname o puntele metalliche)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2: Barriera elastica a basso assorbimento (pannelli e pannelli rete)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e frangenti)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5: Muro in gabelloni (metallo riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>7: Vallo paramassi (in scavo)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>8: Rilevato paramassi (in rilevato/porto)</td> </tr> <tr> <td>(3)</td> <td>1: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in tone metallica)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>11: Pannelli di fusa metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)</td> </tr> <tr> <td>(4)</td> <td>1: Parete rocciosa continua molto fratturata</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3: Affioramenti discontinui</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4: Rimobilizzazione di coperture detritiche</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana</td> </tr> <tr> <td></td> <td>6: Altro (indicare)</td> </tr> <tr> <td>(5)</td> <td>1: Legname</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2: Metallo</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3: Terra</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4: Terra armata/inforzata</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5: CA</td> </tr> <tr> <td>(6)</td> <td>1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)</td> </tr> <tr> <td></td> <td>6: Infrastrutture tecnologiche</td> </tr> <tr> <td></td> <td>7: Altro (indicare)</td> </tr> </table>						ATTRIBUTI		(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)		2: Canale / Ingherfo (indicare larghezza/altezza/pendenza)		3: Tabui (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)		4: Base del tabui (indicare pendenza locale e distanza da base)		5: Fondovalle	(2)	1: Barriera paramassi rigida (in legname o puntele metalliche)		2: Barriera elastica a basso assorbimento (pannelli e pannelli rete)		3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e frangenti)		4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)		5: Muro in gabelloni (metallo riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero)		6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)		7: Vallo paramassi (in scavo)		8: Rilevato paramassi (in rilevato/porto)	(3)	1: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)		10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in tone metallica)		11: Pannelli di fusa metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)		12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)	(4)	1: Parete rocciosa continua molto fratturata		2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata		3: Affioramenti discontinui		4: Rimobilizzazione di coperture detritiche		5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana		6: Altro (indicare)	(5)	1: Legname		2: Metallo		3: Terra		4: Terra armata/inforzata		5: CA	(6)	1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)		2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)		3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)		4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)		5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)		6: Infrastrutture tecnologiche		7: Altro (indicare)
ATTRIBUTI																																																																													
(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)																																																																												
	2: Canale / Ingherfo (indicare larghezza/altezza/pendenza)																																																																												
	3: Tabui (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)																																																																												
	4: Base del tabui (indicare pendenza locale e distanza da base)																																																																												
	5: Fondovalle																																																																												
(2)	1: Barriera paramassi rigida (in legname o puntele metalliche)																																																																												
	2: Barriera elastica a basso assorbimento (pannelli e pannelli rete)																																																																												
	3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e frangenti)																																																																												
	4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)																																																																												
	5: Muro in gabelloni (metallo riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero)																																																																												
	6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)																																																																												
	7: Vallo paramassi (in scavo)																																																																												
	8: Rilevato paramassi (in rilevato/porto)																																																																												
(3)	1: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)																																																																												
	10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in tone metallica)																																																																												
	11: Pannelli di fusa metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)																																																																												
	12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)																																																																												
(4)	1: Parete rocciosa continua molto fratturata																																																																												
	2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata																																																																												
	3: Affioramenti discontinui																																																																												
	4: Rimobilizzazione di coperture detritiche																																																																												
	5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana																																																																												
	6: Altro (indicare)																																																																												
(5)	1: Legname																																																																												
	2: Metallo																																																																												
	3: Terra																																																																												
	4: Terra armata/inforzata																																																																												
	5: CA																																																																												
(6)	1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)																																																																												
	2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)																																																																												
	3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)																																																																												
	4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)																																																																												
	5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)																																																																												
	6: Infrastrutture tecnologiche																																																																												
	7: Altro (indicare)																																																																												

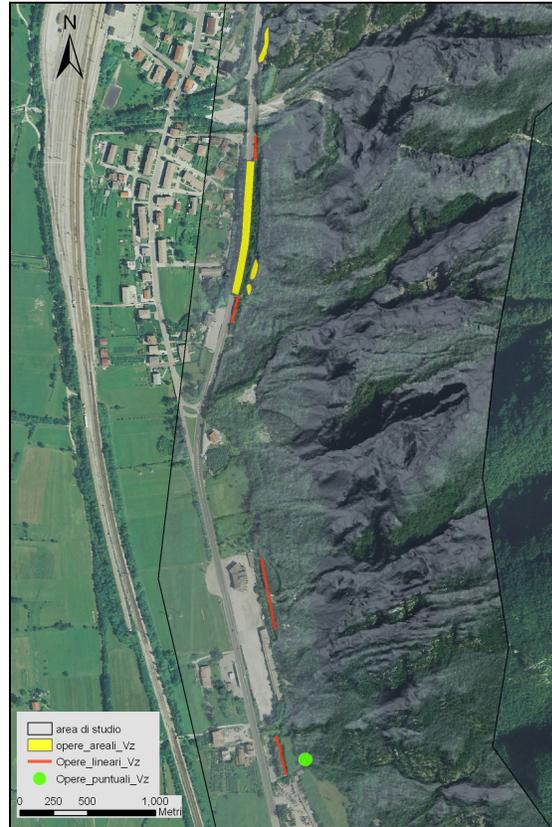
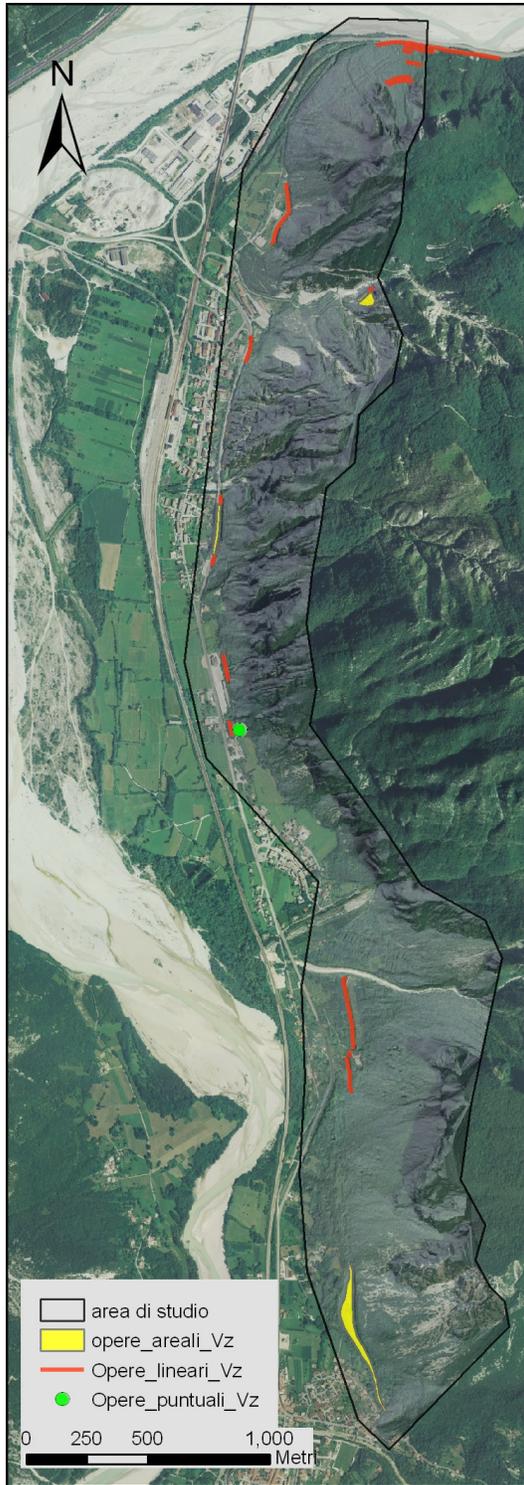
Figura 4.28: modulo per il rilevamento delle opere di difesa in campagna

Il rilevamento delle opere di difesa e la compilazione del modulo hanno permesso di valutare l'interazione tra aree sorgenti, aree di propagazione e di accumulo dei fenomeni franosi e gli elementi a rischio.

I dati ottenuti sono stati digitalizzati e riportati in ambiente GIS distinguendo opere puntuali, lineari e areali.

MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI																																																			
Provincia	UDINE	Comune	VENZONE	ID opera	4	Inventario FVG (SI / NO)	Rilevatore	DATA	11/11/2009																																										
INFORMAZIONI GENERALI																																																			
Scala di rilevamento	1:2500		Cartografia di riferimento			CTR																																													
Progressivo foto																																																			
766-767-768 AC																																																			
ATTRIBUTI																																																			
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 5%;">(1)</td><td style="width: 15%;">Parete rocciosa</td><td style="width: 80%;">(indicare altezza indicativa dalla base)</td></tr> <tr><td>(2)</td><td>Canale / Impluvio</td><td>(indicare larghezza/sezione/pendenza)</td></tr> <tr><td>(3)</td><td>Talus</td><td>(indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)</td></tr> <tr><td>(4)</td><td>Base del talus</td><td>(indicare pendenza locale e distanza da base)</td></tr> <tr><td>(5)</td><td>Fondovalle</td><td></td></tr> </table>										(1)	Parete rocciosa	(indicare altezza indicativa dalla base)	(2)	Canale / Impluvio	(indicare larghezza/sezione/pendenza)	(3)	Talus	(indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)	(4)	Base del talus	(indicare pendenza locale e distanza da base)	(5)	Fondovalle																												
(1)	Parete rocciosa	(indicare altezza indicativa dalla base)																																																	
(2)	Canale / Impluvio	(indicare larghezza/sezione/pendenza)																																																	
(3)	Talus	(indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)																																																	
(4)	Base del talus	(indicare pendenza locale e distanza da base)																																																	
(5)	Fondovalle																																																		
CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE																																																			
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 5%;">Tipologia dell'opera (3)</td><td style="width: 10%;">1</td><td style="width: 10%;">NOTE</td><td colspan="7"></td></tr> <tr><td>Estensione massima (m, m2)</td><td></td><td>NOTE</td><td colspan="7"></td></tr> <tr><td>Evidenze di attività (SI / NO)</td><td></td><td>DESCRIZIONE</td><td colspan="7"></td></tr> </table>										Tipologia dell'opera (3)	1	NOTE								Estensione massima (m, m2)		NOTE								Evidenze di attività (SI / NO)		DESCRIZIONE																			
Tipologia dell'opera (3)	1	NOTE																																																	
Estensione massima (m, m2)		NOTE																																																	
Evidenze di attività (SI / NO)		DESCRIZIONE																																																	
CARATTERISTICHE DELL'OPERA																																																			
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 5%;">Materiali costruttivi (4)</td><td style="width: 10%;">5,3</td><td style="width: 10%;">NOTE</td><td colspan="7"></td></tr> <tr><td>Stato di efficienza (5)</td><td>3</td><td>NOTE</td><td>Efficacia (5)</td><td>3</td><td colspan="5"></td></tr> <tr><td colspan="10">Descrizione dei danni</td></tr> </table>										Materiali costruttivi (4)	5,3	NOTE								Stato di efficienza (5)	3	NOTE	Efficacia (5)	3						Descrizione dei danni																					
Materiali costruttivi (4)	5,3	NOTE																																																	
Stato di efficienza (5)	3	NOTE	Efficacia (5)	3																																															
Descrizione dei danni																																																			
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">DIMENSIONI</th> <th style="width: 15%;">Lunghezza (m)</th> <th style="width: 15%;">300</th> <th style="width: 15%;">TIPO ELEMENTI A RISCHIO (6)</th> <th style="width: 10%;">QUANTITA'</th> <th style="width: 30%;">1 STRADA E DIVERSE CASE</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>ezza media base (m)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>za media sommità (m)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>zza/prof. minima (m)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>ezza/prof. media (m)</td><td></td><td>8</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>za/prof. massima (m)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Superficie (m2)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>										DIMENSIONI	Lunghezza (m)	300	TIPO ELEMENTI A RISCHIO (6)	QUANTITA'	1 STRADA E DIVERSE CASE	ezza media base (m)						za media sommità (m)						zza/prof. minima (m)						ezza/prof. media (m)		8				za/prof. massima (m)						Superficie (m2)					
DIMENSIONI	Lunghezza (m)	300	TIPO ELEMENTI A RISCHIO (6)	QUANTITA'	1 STRADA E DIVERSE CASE																																														
ezza media base (m)																																																			
za media sommità (m)																																																			
zza/prof. minima (m)																																																			
ezza/prof. media (m)		8																																																	
za/prof. massima (m)																																																			
Superficie (m2)																																																			
ANNOTAZIONI E DISEGNI																																																			
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 5%;">(4)</td> <td style="width: 15%;">Legname</td> <td style="width: 10%;">(5)</td> <td style="width: 10%;">1: Pessimo</td> </tr> <tr> <td>(4)</td> <td>Metallo</td> <td>(5)</td> <td>2: Discreto</td> </tr> <tr> <td>(4)</td> <td>Terra</td> <td>(5)</td> <td>3: Ottimo</td> </tr> <tr> <td>(4)</td> <td>Terra amata/inforzata</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>(4)</td> <td>CA</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>										(4)	Legname	(5)	1: Pessimo	(4)	Metallo	(5)	2: Discreto	(4)	Terra	(5)	3: Ottimo	(4)	Terra amata/inforzata			(4)	CA																								
(4)	Legname	(5)	1: Pessimo																																																
(4)	Metallo	(5)	2: Discreto																																																
(4)	Terra	(5)	3: Ottimo																																																
(4)	Terra amata/inforzata																																																		
(4)	CA																																																		
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 5%;">(6)</td><td style="width: 15%;">Edifici residenziali</td><td style="width: 80%;">(indicare numero e consistenza)</td></tr> <tr><td>(6)</td><td>Edifici industriali</td><td>(indicare numero e consistenza)</td></tr> <tr><td>(6)</td><td>Edifici di interesse pubblico</td><td>(es. scuole, ospedali)</td></tr> <tr><td>(6)</td><td>Strade</td><td>(indicare lunghezza tratto e calibro)</td></tr> <tr><td>(6)</td><td>Ferrovie</td><td>(indicare lunghezza tratto e numero binari)</td></tr> <tr><td>(6)</td><td>Infrastrutture tecnologiche</td><td></td></tr> <tr><td>(6)</td><td>Altro</td><td>(indicare)</td></tr> </table>										(6)	Edifici residenziali	(indicare numero e consistenza)	(6)	Edifici industriali	(indicare numero e consistenza)	(6)	Edifici di interesse pubblico	(es. scuole, ospedali)	(6)	Strade	(indicare lunghezza tratto e calibro)	(6)	Ferrovie	(indicare lunghezza tratto e numero binari)	(6)	Infrastrutture tecnologiche		(6)	Altro	(indicare)																					
(6)	Edifici residenziali	(indicare numero e consistenza)																																																	
(6)	Edifici industriali	(indicare numero e consistenza)																																																	
(6)	Edifici di interesse pubblico	(es. scuole, ospedali)																																																	
(6)	Strade	(indicare lunghezza tratto e calibro)																																																	
(6)	Ferrovie	(indicare lunghezza tratto e numero binari)																																																	
(6)	Infrastrutture tecnologiche																																																		
(6)	Altro	(indicare)																																																	

Figura 4.29: modulo digitalizzato delle opere di difesa



**Figura 4.30: mappa delle opere di difesa e particolare**



Opera ID 13



Opera ID 4



Opera ID 2



Opera ID 5



Opera ID 7



Opera ID 8



Opera ID 9



Opera ID 10



Opera ID 18

**Figura 4.31: Foto delle opere di difesa presenti nell'area**



Opera ID 9



Opera ID 9



Opera ID 14



Opera ID 14

**Figura 4.31: Foto del danneggiamento di alcune opere di difesa**

## 5.2 Rilevamento geologico-tecnico

Il rilevamento-geologico tecnico rappresenta quell'insieme di attività condotte sul terreno con mezzi semplici e finalizzate alla descrizione e classificazione tecnica sia dei materiali geologici, rocce e terreni, che degli eventuali geomateriali. L'ammasso roccioso è costituita dalla roccia intatta e dalle discontinuità. La roccia è costituita da particelle discrete, granuli o cristalli, legate tra loro da forze coesive a carattere permanente. Le discontinuità sono, invece, qualsiasi superficie di debolezza strutturale. Le discontinuità, condizionano le proprietà fisiche, meccaniche e idrauliche degli ammassi rocciosi.

Il comportamento meccanico di un ammasso roccioso dipende quindi dalle caratteristiche della roccia intatta come la resistenza e deformabilità e dalle caratteristiche sia geometriche (orientazione, frequenza) che meccaniche (resistenza) delle discontinuità. Bisognerà, inoltre, tener conto anche degli sforzi in sito e della scala del problema. Possiamo affermare che maggiori sono la densità di discontinuità che controlla la dimensione dei blocchi, l'alterazione e la persistenza delle discontinuità, minore sarà la resistenza e la durabilità della roccia.

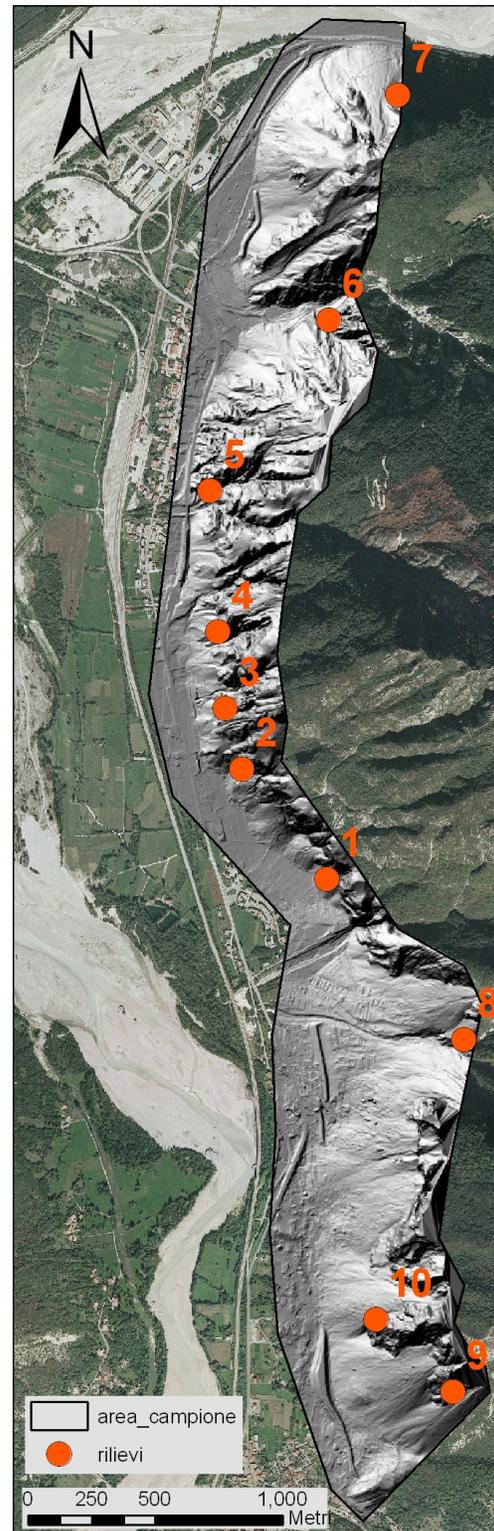


Figura 5.1: Localizzazione dei 10 rilievi geomeccanici

Nell'area di studio sono stati eseguiti 10 rilievi geomeccanici, per quanto riguarda la loro l'ubicazione è stata scelta cercando di indagare le diverse condizioni litologiche e strutturali. I rilievi sono stati condotti seguendo il campionamento oggettivo di tipo areale secondo lo standard ISRM (International Society for Rock Mechanics, 1978) il quale prevede la caratterizzazione di tutte le discontinuità ricadenti all'interno di una "finestra".



Rilievo geomeccanico n°5



Rilievo geomeccanico n°6



Rilievo geomeccanico n°8



Rilievo geomeccanico n°9

RILIEVI GEOMECCANICI					
LAVORO <u>PROSSIME</u>	LOCALITA' <u>VENZONE</u>	OPERATORE <u>RELIARDI COLUCCI CALACUSA</u>	FOTO <u>AV4-70-71-72</u>		
RILIEVO N <u>6</u>	DATA <u>10/11/09</u>	TAVOLA	DIMENS. AFFIOR. <u>Quadr. 15 x 30</u>		
GIAC. ARG. <u>32-230</u>	DIMENS. ARG.	DIMENS. ARG.			
DESCR. GEOL.					
CLASSE <u>R1R2 R3 WR</u>	ALTERAZ. AR <u>W1 W2 W3 W4 W5</u>				
GIACITURA <u>S</u>	<u>198/30, 187/22, 150/34, 168/28, 155/20, 155/24, 176/36</u>				
<u>166/28, 198/30, 202/34, 230/25</u>					
K1 <u>110/85, 100/30, 100/80, 105/30, 100/30, 105/82, 110/88, 130/88</u>					
<u>125/75, 110/75, 90/30, 102/76, 120/75, 116/64, 108/74, 101/60,</u>					
<u>112/64, 110/55, 104/84, 114/70, 118/70, 108/96</u>					
K2 <u>172/82, 010/88, 220/35, 182/82, 200/85, 210/65, 210/87</u>					
<u>012/88, 010/88, 026/82, 030/80, 215/65, 028/82, 030/87</u>					
<u>013/75, 196/88, 008/85</u>					
K3 <u>010/50, 013/26, 050/25, 012/45, 014/45</u>					
<u>040/50, 012/20, 020/50, 022/35, 020/20</u>					
<u>022/50, 025/35, 018/42, 020/60, N128</u>					
K4					
<u>44/90, 36/85, 57/88, 50/76</u>					
SPAZIATURA S <u>18/6/25/40/70/35/15/15/4/12/13/50/10/13</u>					
<u>20/32/30/25/30</u>					
K1 <u>7/10/35/2/2/9/5/52/4/27/20/10/25/27/4/3/3/2/2/</u>					
<u>57/5/9/6/7/15/9/20</u>					
K2 <u>6/4/10/7/4/6/7/13/12/45/4/12/25/15/7/4/4</u>					
<u>10/6/6/4/6/22/3/20/11/5/4</u>					
K3 <u>17/7/7/6/11/11/4/9</u>					
K4					
PERSIST.% PL<50 <u>5</u> 50<PL<90 <u>K1, K2</u> PL>90					
PA<20 20<PA<80 PA>80					
ONDULAZIONE PLANARE ONDULATO A SCALINI IRREGOLARE					
ALTERAZIONE DISC. WD1 WD2 WD3 WD4 WD5					
APERTURA mm CHIUSE <1 1/2,5 2,5/5 >=5					
RIEMPIM. ASSENTE GRANUL. COESIVO RICRIST.					
ACQUA IMPOSS. ASCIUTTA TRACCE UMIDA DISC. CONT.					
INTERC.					
VRU MEDIO <u>10x10x5</u> MIN <u>1x1x1</u> MAX <u>30x20x20</u>					
FORMA <u>↳ dimensione di Gramm.</u>					

Per l'esecuzione dei rilievi geomeccanici sono stati utilizzati degli appositi moduli dove, dopo una breve descrizione dell'ammasso roccioso, si pone maggiore attenzione sulla descrizione delle discontinuità. Di queste vengono riportate il numero delle famiglie, la loro orientazione, la spaziatura, la persistenza sia lineare che areale, l'ondulazione, l'apertura, l'alterazione, il riempimento, la presenza di acqua e l'eventuale intercetta.

Un altro importante parametro da stimare è il Volume Roccioso Unitario, VRU, cioè la dimensione del blocco medio, massimo e minimo.

Per ogni rilievo è stata inoltre descritta la scabrezza delle superfici o rugosità tramite il JRC, Joint Roughness Coefficient, e la resistenza superficiale tramite JCS, Joint wall Compressive Stress. Per la stima del JRC si è utilizzato il pettine di Barton tramite il quale sono stati eseguiti dei profili di rugosità successivamente confrontati con 10 profili di riferimento dalla lunghezza di 10 cm. Il valore del JRC è compreso tra 0 e 20. Per la stima del JCS, invece, è stato utilizzato il martello di Schmidt o sclerometro. Il valore di rimbalzo, R, che si ottiene con questo strumento, è funzione della resistenza a compressione della superficie di discontinuità. Il martello di Schmidt utilizzato è di tipo L, ovvero da roccia, con un'energia d'impatto pari a 0,73Nm. Conoscendo R, l'inclinazione con cui è stato usato il martello e la densità della roccia è possibile, tramite un apposito abaco, determinare la resistenza a compressione monoassiale e il valore di dispersione media.

## 5.2.1 Classificazioni geomeccaniche degli ammassi rocciosi

I dati raccolti sul campo sono stati usati per valutare la qualità dell'ammasso roccioso attraverso l'utilizzo di alcuni schemi di classificazione quali:

- ✓ il GSI, Geological Strength Index di Hoek et al. (1995).
- ✓ l'RQD, Rock Quality Designation proposto da Deere et al. (1967),
- ✓ l'RMR, Rock Mass Rating introdotto da Bieniawski (1976,1989),
- ✓ il Q-system, Rock Tunnelling Quality System di Barton et al. (1974),
- ✓ l'SMR, Slope Mass Rating system proposto da Romana nel 1985.

### Geological Strength Index, GSI

Questo metodo si basa sulla stima della resistenza di un ammasso roccioso fratturato.

La resistenza di un ammasso roccioso fratturato dipende dalle proprietà della roccia intatta che compone i blocchi isolati dalle discontinuità, ma anche dalla libertà che tali blocchi hanno di scorrere o ruotare lungo i piani di frattura sotto l'influenza dei diversi campi di sforzo. Questa libertà è funzione della forma dei blocchi e delle condizioni delle superfici di discontinuità. Infatti, blocchi poligonali separati da superfici ruvide e prive di riempimento, formeranno un ammasso globalmente più resistente, rispetto ad uno composto da porzioni di roccia intatta arrotondate con discontinuità riempite da materiale fine alterato.

Il Geological Strength Index, introdotto da Hoek et al. 1995, è stato determinato direttamente in sito tramite una tabella nella quale si valutano le condizioni dell'ammasso roccioso e le condizioni delle discontinuità.

Nella tabella sono state individuate 6 principali categorie di struttura rocciosa:

(i)	Intact or Massive	(Massiva)
(ii)	Blocky	(A blocchi cubici)
(iii)	Very Blocky	(A blocchi irregolari)
(iv)	Blocky/Disturbed/Seamy	(A blocchi, piegata, stratificata)
(v)	Disintegrated	(Digregata)
(vi)	Laminated/Sheared	(Laminata, foliata)

Le condizioni della superficie di discontinuità sono invece classificate in 5 categorie, simili a quelle adottate per la definizione dell'indice RMR:

(i)	Very Good	(Molto buona)
(ii)	Good	(Buona)
(iii)	Fair	(Discreta)
(iv)	Poor	(Scadente)
(v)	Very Poor	(Molto scadente)

il valore del GSI può essere determinato anche indirettamente, partendo dall' $RMR_{basic}$ :

$$GSI = RMR_{89}' - 5$$

Questa formula, però, si può utilizzare solo quando il GSI è maggiore di 25 e il parametro dell'acqua è 15 ovvero quando siamo in condizione asciutte.

#### Rock Quality Designation , RQD, Deere et al. (1967)

L'RQD è stato sviluppato per fornire una stima quantitativa della qualità degli ammassi rocciosi tramite l'analisi di carote di sondaggio. Questo indice è infatti definito anche recupero percentuale modificato in quanto è la percentuale di spezzoni di carota con una lunghezza maggiore di 10 cm rispetto alla lunghezza totale della carota di sondaggio. Tale parametro, infatti, si può ricavare direttamente se si hanno a disposizione delle carote di sondaggio. In caso contrario, come in questo caso, l'RQD si può calcolare in modo indiretto (Palmstrom 1982) per correlazione con il volumetric joint count,  $J_v$ .

$$RQD = 115 - 3,3 \cdot J_v \quad \text{per } J_v > 4,5;$$

$$RQD = 100 \quad \text{per } J_v < 4,5.$$

Il  $J_v$  è la somma del numero di discontinuità per metro cubo di ammasso roccioso. Viene determinato come sommatoria dell'inverso delle spazature relative ai differenti set di discontinuità:

$$J_v = \frac{1}{s_1} + \frac{1}{s_2} + \frac{1}{s_3} + \dots + \frac{1}{s_n} \quad \text{dove } s_n \text{ è la spaziatura media dell'n-esimo set di discontinuità.}$$

Facendo l'inverso del valore del  $J_v$  si può anche avere una stima del VRU.

In base al valore dell'RQD ottenuto si può stimare la qualità dell'ammasso roccioso.

RQD (%)	Rock Quality
< 25	Very Poor
25-50	Poor
50-75	Fair
75-90	Good
90-100	Excellent

L'RQD è un parametro importante da determinare in quanto è un componente utilizzato in altre classificazioni come l'RMR e il Q-System.

#### Geomechanics Classification, Rock Mass Rating, RMR, Bieniawski (1976,1989)

Questa classificazione esprime la qualità dell'ammasso roccioso basandosi sulla somma di cinque parametri più un fattore correttivo che considera l'orientazione delle discontinuità. Tale fattore, però, non è stato considerato nei calcoli, determinando così l' $RMR_{basic}$ .

$$RMR_{basic} = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

I cinque parametri usati sono:

- la resistenza a compressione monoassiale della roccia → stimata dal JCS
- RQD (rock quality designation index)
- spaziatura delle discontinuità
- condizioni delle discontinuità
- presenza di acqua.

In funzione del valore di questi parametri, utilizzando l'apposita tabella, gli si attribuisce dei punteggi che verranno sommati per ottenere il valore finale dell'RMR.

In funzione del valore trovato si può definire la qualità dell'ammasso roccioso.

RMR (%)	Rock Quality
81-100	Very Good
61-80	Good
41-60	Fair
21-40	Poor
< 20	Very Poor

Per l'area di Venzone è stata utilizzata lo schema di classificazione proposto nel 1989. Risulta importante specificare quale versione è stata utilizzata in quanto il valore finale dell'RMR varia tra 18 e 100 nel caso della classificazione proposta nel '76 mentre varia tra 23 e 100 in quella del 1989.

### Rock Tunnelling Quality System, Q-system

Il Q-System è un metodo di classificazione ottenuto dalla combinazione di sei parametri:

- ✓ l'RQD;
- ✓ Jn, numero di famiglie di discontinuità → termine che varia da 200 a 0,5
- ✓ Jr, rugosità delle discontinuità;
- ✓ Ja, l'alterazione delle discontinuità;
- ✓ Jw, la presenza di acqua;
- ✓ SFR, fattore di correzione dello sforzo (Stress Reduction Factor).
- ✓ Il calcolo di Q avviene mediante la formula:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF} \text{ — Stato di sforzo}$$

Struttura dell'ammasso roccioso: Resistenza al taglio  
dimensione dei blocchi tra blocchi

Il valore dell'indice Q varia da 0,001 a 100 su una scala logaritmica

Q-system	Group	Classification
10-40	1	Good
40-100		Very Good
100-400		Extremely Good
400-1000		Exceptionally Good
0.10-1.0	2	Very Poor
1.0-4.0		Poor
4.0-10.0		Fair
0.001-0.01	3	Exceptionally Poor
0.01-0.1		Extremely Poor

Uno dei limiti di questa classificazione consiste nel fatto che i parametri vengono moltiplicati tra di loro e quindi si avrà una grande sensibilità del risultato anche per variazioni molto piccole. Inoltre siccome non viene considerata l'orientazione delle discontinuità nel caso di rocce fortemente anisotrope si potranno avere dei problemi. Nell'area di studio non conoscendo le condizioni dello stato di sforzo in sito l'ultimo rapporto, ovvero  $J_w/SRF$ ,

### 5.2.2 Rilievi geomeccanici

Per ciascun rilievo geomeccanico viene riportata una descrizione dell'ubicazione e della formazione geologica in cui è stato effettuato, una scheda di sintesi dei dati raccolti, i relativi stereoplot e una tabella con riportate le classificazioni geomeccaniche e la qualità dell'ammasso roccioso. Per quanto riguarda gli stereoplot viene riportato quello che rappresenta i poli di tutte le discontinuità rilevate sul campo e lo stereoplot di densità. Dall'analisi di questi due è possibile ricavare la giacitura modale delle famiglie di discontinuità presenti le quali possono essere rappresentate con un ulteriore stereoplot.

#### Rilievo n°1

Il primo rilievo geomeccanico è stato realizzato a monte dell'abitato di Portis a una quota di 347 metri su un affioramento roccioso appartenente alla Formazione di Soverzene (Hettangiano-Carixiano). Tali rocce sono dei depositi di bacino costituiti da calcari e dolomie grigio scuri, con selce e livelli marnosi centimetrici; brecce dolomitiche alla base o in corpi irregolari all'interno.

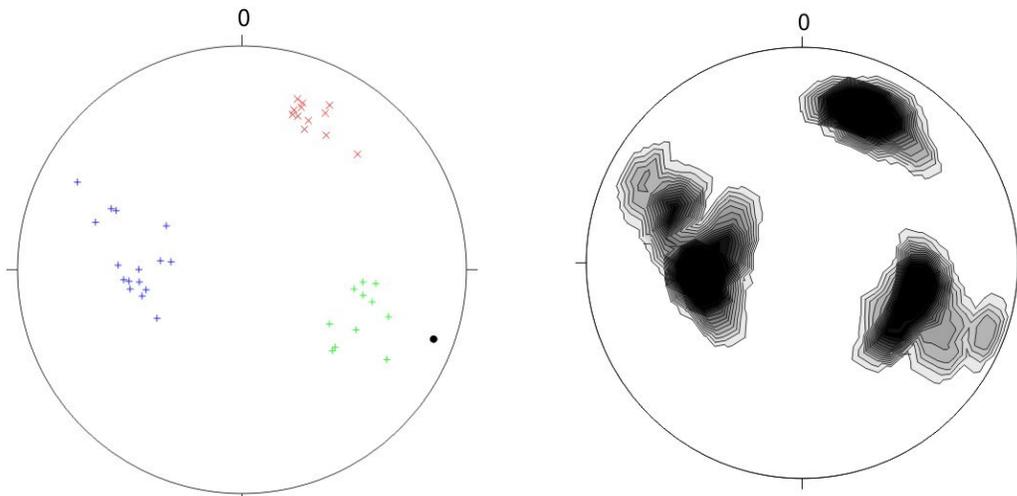


Figura 5.2: stereoplot dei poli dei piani di discontinuità e della densità

## SCHEMA DI SINTESI - STAZIONE GEOMECCANICA n° 1

### AFFIORAMENTO

Giacitura:	290/80
------------	--------

DISCONTINUITA'						DISCONTINUITA'			
Set	imm./incl. Modale	Spaziatura cm	Persistenza lin%	Apertura mm	Ondulazione	Riempimento	Alterazione	JRC	JCS
S	203/63	43.7	>90	>5	ondulata	coesivo	WD2	12-14	68
K1	87/38	19.6	< 50	chiusa	planare-a scalin	assente	WD2	12-14	40
K2	281/43	17.5	<50	chiusa	Planare-ondulat	assente	WD2	10-12	86

### AMMASSO ROCCIOSO

<b>CLASSE</b>	R2	
<b>ALTERAZIONE</b>	W2	
<b>DIMENSIONI BLOCCHI cm</b>	Media	14x6x4 cm
	Massima	20x25x30 cm
	Minima	
	parallelepipedo	
<b>Jv</b>	13.11	
<b>VRU MEDIO (da Jv)</b>	0.076	
<b>RQD = 115 - 3,3*Jv</b>	72	
<b>GSI</b>	55-65 --> B-G/F	

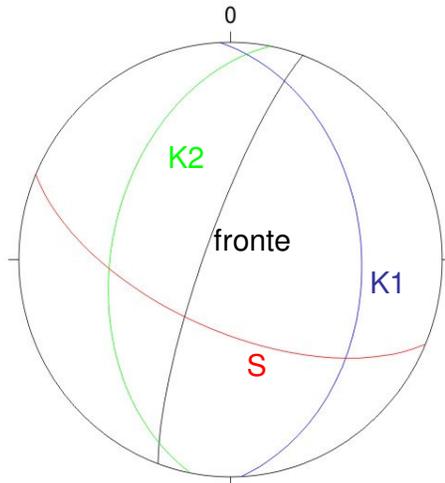


Figura 5.3: Famiglie di discontinuità

<b>Geomechanics classification (Beniawski, 1989)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
Resistenza a compressione monoassiale	MPa	65	7
RQD	%	72	13
Spaziatura delle discontinuità	cm	27	10
Condizioni delle discontinuità	-	-	26
Acqua	-	asciutto	15
<b>RMR<sub>89 basic</sub></b>			71
<b>Classe</b>			II, good rock
<b>Q-System (Barton et al., 1974)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
RQD	%	72	72
n. set di discontinuità (Jn)	-	3	12
Rugosità delle discontinuità (Jr)	-	-	3
Alterazione delle discontinuità (Ja)	-	-	2
Acqua (Jw)	-	-	1
SRF	-	-	1
<b>Q</b>			9.00
<b>Classe</b>			fair
<b>Slope Mass Rating System (Romana, 1985)</b>			
Parametro		Valore	Indice
F1		10-5°	0.85
F2		35-45°	0.85
F3		<-10°	-60
F4		-	15
<b>SMR</b>			42.65
<b>Classe</b>			III, discreta

## Rilievo n°2

Il secondo rilievo è stato realizzato più a Nord alle spalle delle case Amagress a una quota di 286 metri. L'affioramento roccioso è costituito da calcari micritici grigio chiari a megalodontidi in strati metrici alternati a calcari stromatolitici, questi sono organizzati in cicli peritidali essendo dei depositi di piattaforma appartenenti alla Formazione dei Calcari di Dachstein (Retico).

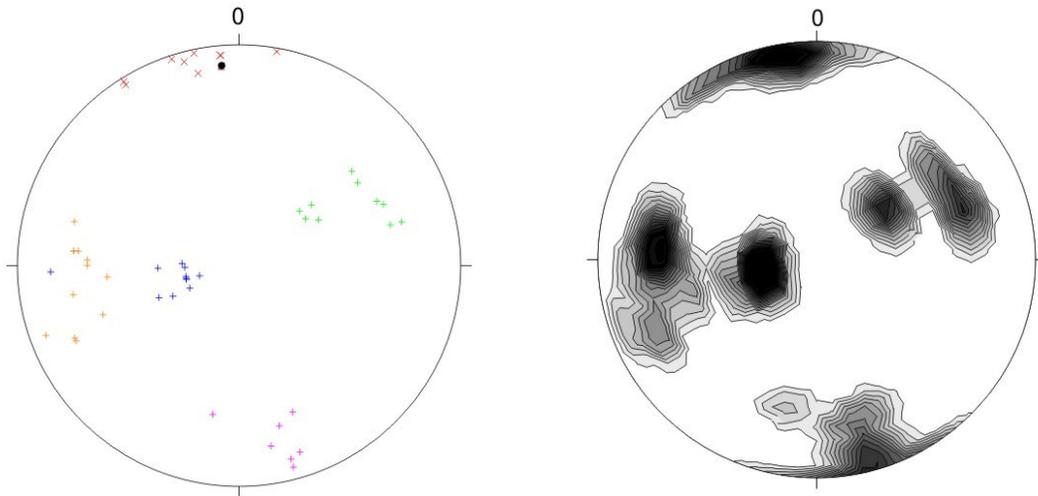


Figura 5.4: stereoplot dei poli dei piani di discontinuità e della densità

## SCHEDA DI SINTESI - STAZIONE GEOMECCANICA n° 2

### AFFIORAMENTO

Giacitura:	175/80
------------	--------

DISCONTINUITA'						DISCONTINUITA'			
Set	imm./incl. Modale	Spaziatura cm	Persistenza lin%	Apertura mm	Ondulazione	Riempimento	Alterazione	JRC	JCS
S	168/87		>90	<1	ondulata	coesivo	WD2	4-6	100
K1	73/17	21.4	< 50	<1	a scalini	assente	WD2	10-12	31
K2	232/34	33	<50	2,5/5	ondulata	coesivo (poco)	WD2	8-10	48
K3	94/60	30.3	>50 - <90	≥ 5	ondulata-a scalini	coesivo	WD2	6-8	90
K4	346/84	13.8	<50	< 1	planare	assente	WD2	2-4	86

### AMMASSO ROCCIOSO

AMMASSO ROCCIOSO		
<b>CLASSE</b>	R2	
<b>ALTERAZIONE</b>	W2	
<b>DIMENSIONI BLOCCHI cm</b>	Media	10x6x11 cm
	Massima	1-1,5 m <sup>3</sup>
	Minima	5x3x1 cm
	Forma	parallelepipedo
<b>Jv</b>	18.26	
<b>VRU MEDIO (da Jv)</b>	0.05	
<b>RQD = 115 - 3,3*Jv</b>	55	
<b>GSI</b>	52-60 --> B/VB-G	

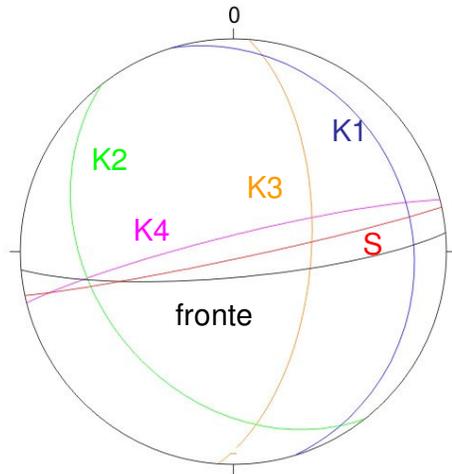


Figura 5.5: Famiglie di discontinuità

<b>Geomechanics classification (Beniawski, 1989)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
Resistenza a compressione monoassiale	MPa	71	7
RQD	%	55	13
Spaziatura delle discontinuità	cm	24.6	10
Condizioni delle discontinuità	-	-	21
Acqua	-	asciutto	15
<b>RMP<sub>89 basic</sub></b>			66
<b>Classe</b>			II, good rock
<b>Q-System (Barton et al., 1974)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
RQD	%	55	55
n. set di discontinuità (Jn)	-	5	15
Rugosità delle discontinuità (Jr)	-	-	2
Alterazione delle discontinuità (Ja)	-	-	2
Acqua (Jw)	-	-	1
SRF	-	-	1
<b>Q</b>			4
<b>Classe</b>			fair
<b>Slope Mass Rating System (Romana, 1985)</b>			
Parametro		Valore	Indice
F1		10-5°	0.85
F2		>45°	1
F3		10-0°	-6
F4		-	15
<b>SMR</b>			75.9
<b>Classe</b>			II, buona

### Rilievo n°3

Sempre procedendo verso Nord si ritrova il terzo rilievo situato a 325 metri a monte del ristorante Girarrosto. Questo affioramento, come il rilievo 2, appartiene alla Formazione dei Calcare di Dachstein (Retico).

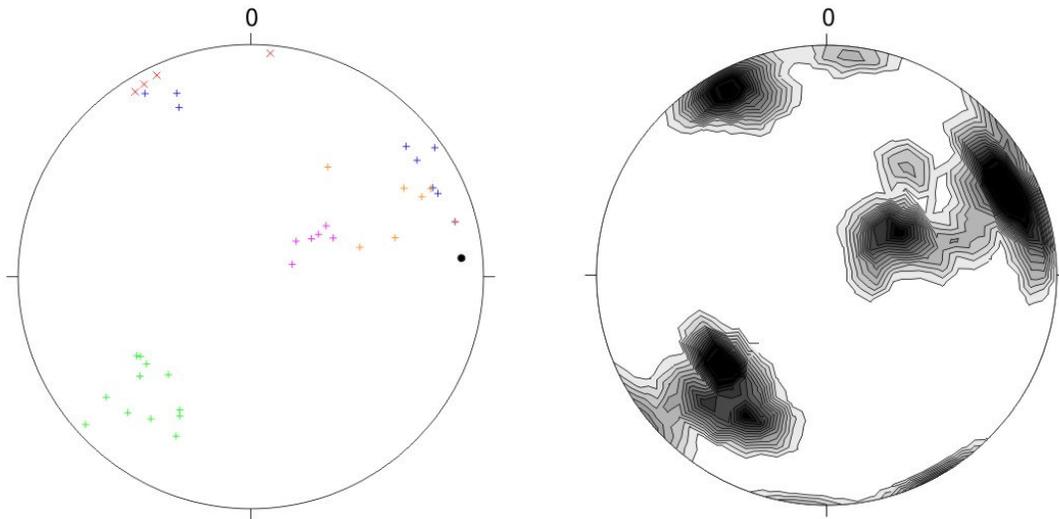


Figura 5.6: stereoplot dei poli dei piani di discontinuità e della densità

## SCHEDA DI SINTESI - STAZIONE GEOMECCANICA n° 3

### AFFIORAMENTO

Giacitura:	265/80
------------	--------

DISCONTINUITA'						DISCONTINUITA'			
Set	imm./incl. Modale	Spaziatura cm	Persistenza lin%	Apertur a mm	Ondulazione	Riempimento	Alterazi one	JRC	JCS
S	152/80		>90	≥ 5	a scalini	coesivo	WD2	6-8	53
K1	242/73		>90	≥ 5	a scalini	coesivo	WD2	8-10	86
K2	49/49	14	<50	1/2.5	ondulata	coesivo/assente	WD2	14-16	52
K3	230/61	42	<50	1/2.5	ondulata/scalini	coesivo	WD2	4-6	44
K4	240/29	25.4	<50	1/2.5	ondulata/scalini	coesivo	WD2	16-18	44

### AMMASSO ROCCIOSO

<b>CLASSE</b>	R2	
<b>ALTERAZIONE</b>	W2	
<b>DIMENSIONI BLOCCHI cm</b>	Media	10x8x5 cm
	Massima	0,5-1 mq
	Minima	3x2x1 cm
	Forma	parallelepipedo
<b>Jv</b>	13.46	
<b>VRU MEDIO (da Jv)</b>	0.07	
<b>RQD = 115 - 3,3*Jv</b>	71	
<b>GSI</b>	68-72 -->B-G	

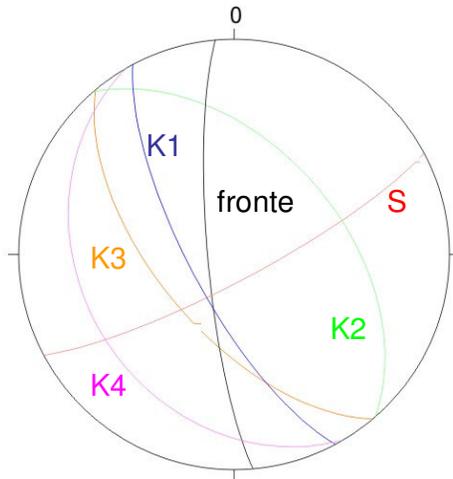


Figura 5.7:Famiglie di discontinuità

<b>Geomechanics classification (Beniawski, 1989)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
Resistenza a compressione monoassiale	MPa	56	7
RQD	%	71	13
Spaziatura delle discontinuità	cm	27	10
Condizioni delle discontinuità	-	-	20
Acqua	-	asciutto	15
<b>RMR<sub>99 basic</sub></b>			65
<b>Classe</b>			II, good rock
<b>Q-System (Barton et al., 1974)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
RQD	%	71	71
n. set di discontinuità (J <sub>n</sub> )	-	5	15
Rugosità delle discontinuità (J <sub>r</sub> )	-	-	3
Alterazione delle discontinuità (J <sub>a</sub> )	-	-	2
Acqua (J <sub>w</sub> )	-	-	1
SRF	-	-	1
<b>Q</b>			7
<b>Classe</b>			Fair
<b>Slope Mass Rating System (Romana, 1985)</b>			
Parametro		Valore	Indice
F1		30-20°	0.4
F2		>45°	1
F3		<-10°	-60
F4		-	15
<b>SMR</b>			56
<b>Classe</b>			III, discreta

#### Rilievo n°4

Il rilievo quattro è stato realizzato a Sud dell'abitato di Piani a una quota di 362 metri. E' costituito da dolomie chiare, in strati metrici e dolomie stromatolitiche organizzate in cicli peritidali essendo un deposito di piattaforma appartenente alla Formazione della Dolomia Principale (Norico).

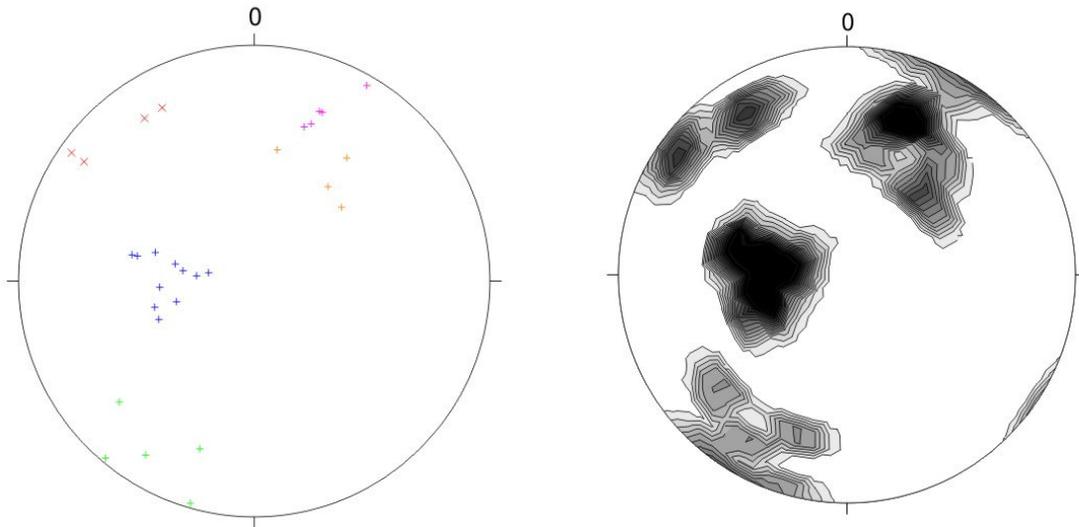


Figura 5.8: stereoplot dei poli dei piani di discontinuità e della densità

## SCHEDA DI SINTESI - STAZIONE GEOMECCANICA n° 4

### AFFIORAMENTO

Giacitura:

DISCONTINUITA'						DISCONTINUITA'			
Set	imm./incl. Modale	Spaziatura cm	Persistenza lin%	Apertura mm	Ondulazione	Riempimento	Alterazione	JRC	JCS
S	137/65	113.3	>90	≥ 5	ondulata	coesivo	WD2	8	43
K1	95/30	4.2	>50 - <90	<1	planare	assente	WD2	2-4	
K2	30/75	23.8	>90	≥ 5	ondulata- a scalini	coesivo	WD2		47
K3	224/41	3.8	<50	<1	irregolare	assente	WD2		57
K4	200/61	4	<50	<1	irregolare	assente	WD2	10-12	47

### AMMASSO ROCCIOSO

<b>CLASSE</b>	R2	
<b>ALTERAZIONE</b>	W2	
<b>DIMENSIONI BLOCCHI cm</b>	Media	
	Massima	
	Minima	
	Forma	
<b>Jv</b>	80.76	
<b>VRU MEDIO (da Jv)</b>	0.01	
<b>RQD = 115 - 3,3*Jv</b>	0	
<b>GSI</b>	45-55 --> VB-G/F	

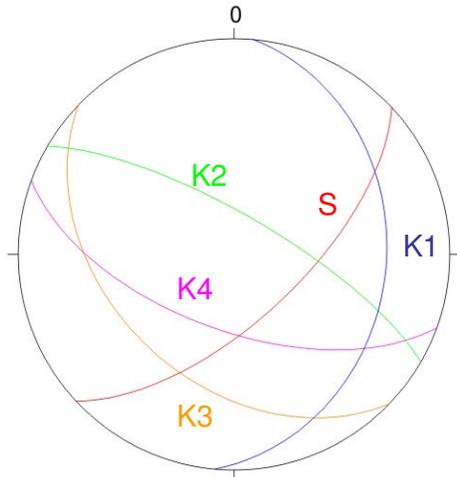


Figura 5.9:Famiglie di discontinuità

<b>Geomechanics classification (Beniawski, 1989)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
Resistenza a compressione monoassiale	MPa	49	4
RQD	%	0	3
Spaziatura delle discontinuità	cm	29.8	10
Condizioni delle discontinuità	-	-	19
Acqua	-	asciutto	15
<b>RMR<sub>89 basic</sub></b>			51
<b>Classe</b>			III, fair rock
<b>Q-System (Barton et al., 1974)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
RQD	%	0	10
n. set di discontinuità (Jn)	-	5	15
Rugosità delle discontinuità (Jr)	-	-	3
Alterazione delle discontinuità (Ja)	-	-	2
Acqua (Jw)	-	-	1
SRF	-	-	1
<b>Q</b>			1.00
<b>Classe</b>			Poor

### Rilievo n°5

Il quinto rilievo è stato eseguito a 294 metri in prossimità dell'abitato di Carnia. L'ammasso roccioso è costituito da Dolomia Principale (Norico) come quello del rilievo precedente.

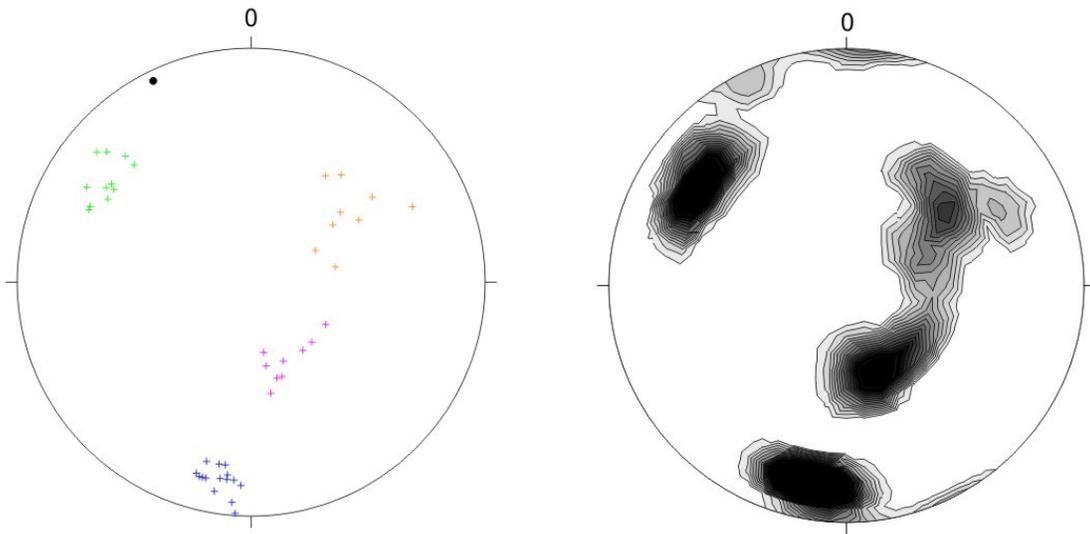


Figura 5.10: stereoplot dei poli dei piani di discontinuità e della densità

## SCHEMA DI SINTESI - STAZIONE GEOMECCANICA n° 5

### AFFIORAMENTO

Giacitura:	154/85
------------	--------

DISCONTINUITA'						DISCONTINUITA'			
Set	imm./incl. Modale	Spaziatura cm	Persistenza lin%	Apertura mm	Ondulazione	Riempimento	Alterazione	JRC	JCS
S									
K1	11/74	11,7	>90	2,5/5	planare	assente	WD2	12-14	18
K2	120/65	7,0	>50 - <90	<1	Planare - a scalini	assente	WD2	6-8	13
K3	234/43	5,2	>50 - <90	<1	ondulata- a scalini	assente	WD2	8-10	23
K4	338/32	4,7	<50	<1	ondulata- a scalini	assente	WD2	14-16	18

### AMMASSO ROCCIOSO

<b>CLASSE</b>	R2	
<b>ALTERAZIONE</b>	W2	
<b>DIMENSIONI BLOCCHI cm</b>	Media	3x2x4 cm
	Massima	10x5x6 cm
	Minima	1x1x1 cm
	Forma	parallelepipedo
<b>Jv</b>	63,54	
<b>VRU MEDIO (da Jv)</b>	0,02	
<b>RQD = 115 - 3,3*Jv</b>	0	
<b>GSI</b>	45-55 --> VB-G/F	

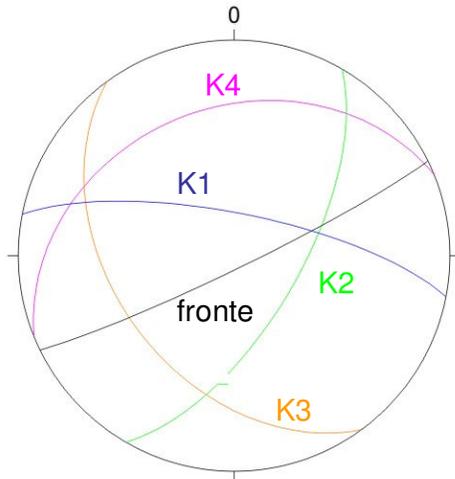


Figura 5.11:Famiglie di discontinuità

<b>Geomechanics classification (Beniawski, 1989)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
Resistenza a compressione monoassiale	MPa	18	2
RQD	%	0	3
Spaziatura delle discontinuità	cm	7.2	8
Condizioni delle discontinuità	-	-	27
Acqua	-	asciutto	15
			<b>RMR<sub>89 basic</sub></b>
			55
			<b>Classe</b>
			III, fair rock
<b>Q-System (Barton et al., 1974)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
RQD	%	0	10
n. set di discontinuità (Jn)	-	4	12
Rugosità delle discontinuità (Jr)	-	-	3
Alterazione delle discontinuità (Ja)	-	-	2
Acqua (Jw)	-	-	1
SRF	-	-	1
			<b>Q</b>
			1.25
			<b>Classe</b>
			Poor
<b>Slope Mass Rating System (Romana, 1985)</b>			
Parametro		Valore	Indice
F1		>30°	0.15
F2		>45°	1
F3		<-10°	-60
F4		-	15
			<b>SMR</b>
			61
			<b>Classe</b>
			II, buona

### Rilievo n°6

Il rilievo numero sei è stato effettuato nella valle incisa dal Rio Tugliezzo. Percorrendo la strada in salita l'affioramento si trova prima dell'ingresso in galleria, a 347 metri; questo è caratterizzato da Dolomia Principale scura (Norico) che in questo posto si distingue per la sua particolare fragilità.

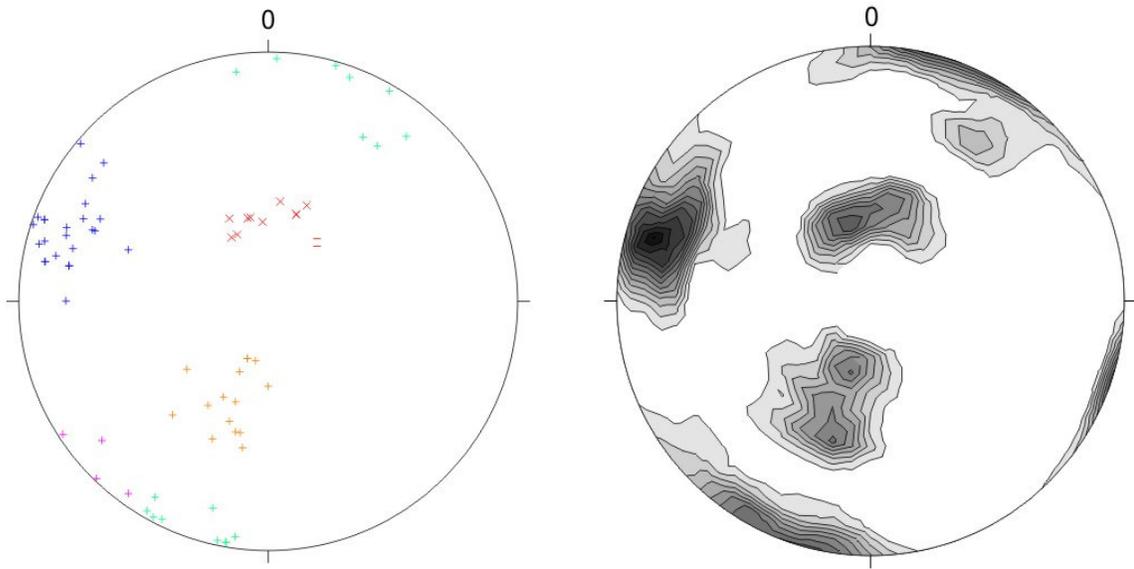


Figura 5.12: stereoplot dei poli dei piani di discontinuità e della densità

## SCHEMA DI SINTESI - STAZIONE GEOMECCANICA n° 6

### AFFIORAMENTO

Giacitura:	52/230
------------	--------

DISCONTINUITA'						DISCONTINUITA'		
Set	imm./incl. Modale	Spaziatura cm	Persistenza lin%	Apertura mm	Ondulazione	Riempimento	Alterazione	JRC
S	165/27	25,95	<50	1-2.5	ondulata	granulare-coesivo	WD1-WD2	6-8
K1	106/77	14	>50-<90	1-2.5	ondulata	assente	WD1	12
K2	200/80	10,35	>50-<90	<1	planare	assente-ricristallizzato	WD2	6-8
K3	22/34	9	---	---	---	---	---	12

### AMMASSO ROCCIOSO

AMMASSO ROCCIOSO	
<b>CLASSE</b>	R2
<b>ALTERAZIONE</b>	W2
<b>DIMENSIONI BLOCCHI cm</b>	Media Massima Minima Forma
	3x2x4 cm 10x5x6 cm 1x1x1 cm parallelepipedo
<b>Jv</b>	63,54
<b>VRU MEDIO (da Jv)</b>	0,02
<b>RQD = 115 - 3,3*Jv</b>	0
<b>GSI</b>	45-55 --> VB-G/F

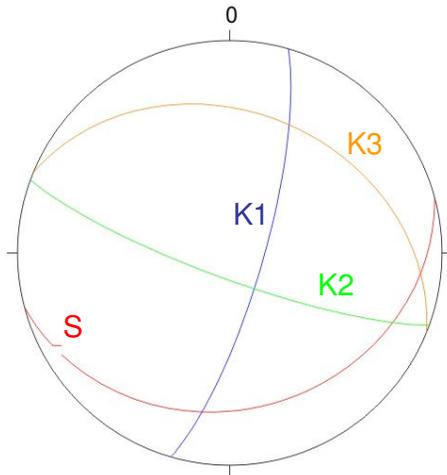


Figura 5.13: Famiglie di discontinuità

<b>Geomechanics classification (Beniawski, 1989)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
Resistenza a compressione monoassiale	MPa	71	7
RQD	%	72	13
Spaziatura delle discontinuità	cm	27	10
Condizioni delle discontinuità	-	-	26
Acqua	-	asciutto	15
<b>RMR<sub>89 basic</sub></b>			71
<b>Classe</b>			II, good rock
<b>Q-System (Barton et al., 1974)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
RQD	%	72	72
n. set di discontinuità (J <sub>n</sub> )	-	3	12
Rugosità delle discontinuità (J <sub>r</sub> )	-	-	3
Alterazione delle discontinuità (J <sub>a</sub> )	-	-	2
Acqua (J <sub>w</sub> )	-	-	1
SRF	-	-	1
<b>Q</b>			9.00
<b>Classe</b>			Fair
<b>Slope Mass Rating System (Romana, 1985)</b>			
Parametro		Valore	Indice
F1		30-20°	0.4
F2		20-30°	0.4
F3		<-10°	-60
F4		-	15
<b>SMR</b>			76.4
<b>Classe</b>			II, buono

### Rilievo n°7

Il settimo rilievo geomeccanico è stato eseguito all'estremo Nord dell'area di studio sul monte Somp-pave a una quota di 463 metri. Anche questo affioramento, come quelli precedenti, fanno parte della Formazione della Dolomia Principale (Norico).

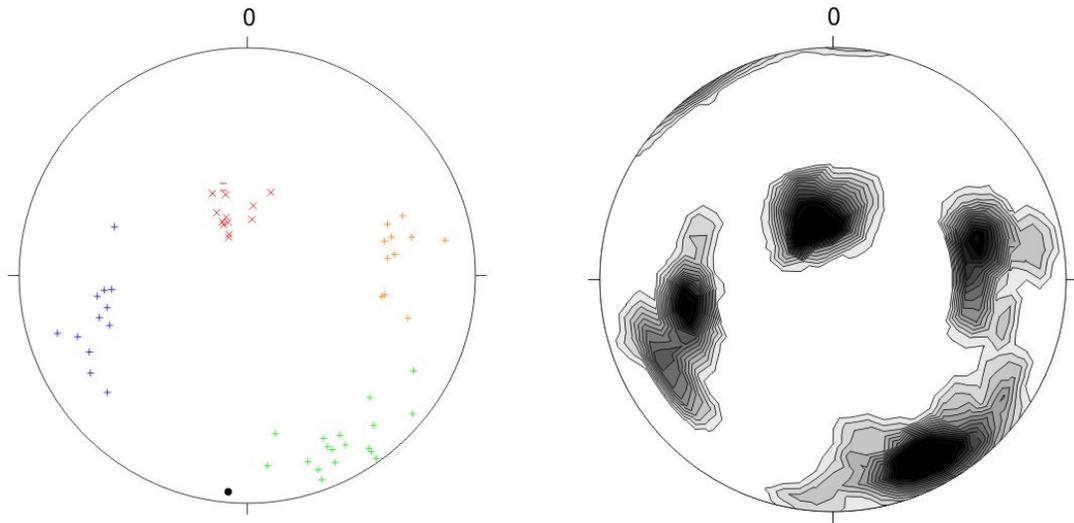


Figura 5.14: stereoplot dei poli dei piani di discontinuità e della densità

## SCHEDA DI SINTESI - STAZIONE GEOMECCANICA n° 7

### AFFIORAMENTO

Giacitura:	5/85
------------	------

DISCONTINUITA'						DISCONTINUITA'			
Set	imm./incl. Modale	Spaziatura cm	Persistenza lin%	Apertura mm	Ondulazione	Riempimento	Alterazione	JRC	JCS
S	162/19	3,5	<50	<1mm	ondulata	coesivo	WD1-WD2	6-8	---
K1	80/55	10,5	<50	<1mm	ondulata	coesivo	WD1	12	73
K2	336/70	5,0	<50	<1mm	Planare/scalini	coesivo	WD2	6-8	39
K3	254/53	4,4	<50	<1mm	a scalini	coesivo	---	12	---

### AMMASSO ROCCIOSO

<b>CLASSE</b>	R2	
<b>ALTERAZIONE</b>	W2	
<b>DIMENSIONI BLOCCHI cm</b>	Media	10x12x6 cm
	Massima	1,8x1,6x4 m
	Minima	2x2x2 cm
	Forma	parallelepipedo
<b>Jv</b>	80,79	
<b>VRU MEDIO (da Jv)</b>	0,01	
<b>RQD = 115 - 3,3*Jv</b>	0	
<b>GSI</b>	57-62 --> G-B	

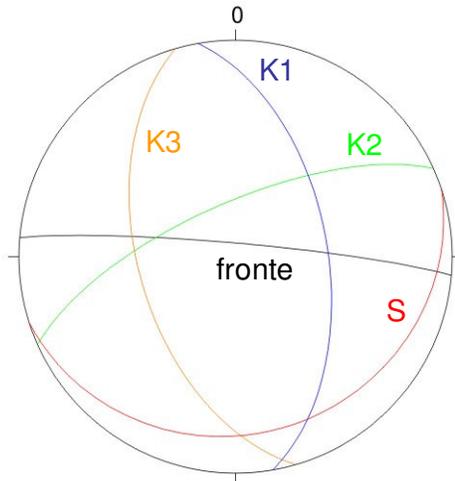


Figura 5.15:Famiglie di discontinuità

<b>Geomechanics classification (Beniawski, 1989)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
Resistenza a compressione monoassiale	MPa	35	4
RQD	%	0	3
Spaziatura delle discontinuità	cm	5.9	8
Condizioni delle discontinuità	-	-	22
Acqua	-	-	15
<b>RMR<sub>89 basic</sub></b>			52
<b>Classe</b>			III, fair rock
<b>Q-System (Barton et al., 1974)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
RQD	%	0	10
n. set di discontinuità (J <sub>n</sub> )	-	4	15
Rugosità delle discontinuità (J <sub>r</sub> )	-	-	3
Alterazione delle discontinuità (J <sub>a</sub> )	-	-	2
Acqua (J <sub>w</sub> )	-	-	1
SRF	-	-	1
<b>Q</b>			1.00
<b>Classe</b>			Poor
<b>Slope Mass Rating System (Romana, 1985)</b>			
Parametro		Valore	Indice
F1		>30°	0.15
F2		>45°	1
F3		<-10°	-60
F4		-	15
<b>SMR</b>			58
<b>Classe</b>			III, discreta

### Rilievo n°8

Questo rilievo è stato realizzato a monte di Portis vecchia a una quota di 510 metri in prossimità del Rio Misigulis. L'affioramento roccioso è costituito da calcari micritici grigio chiari a megalodontidi in strati metrici alternati a calcari stromatolitici, questi sono organizzati in cicli peritidali essendo dei depositi di piattaforma appartenenti alla Formazione dei Calcari di Dachstein (Retico).

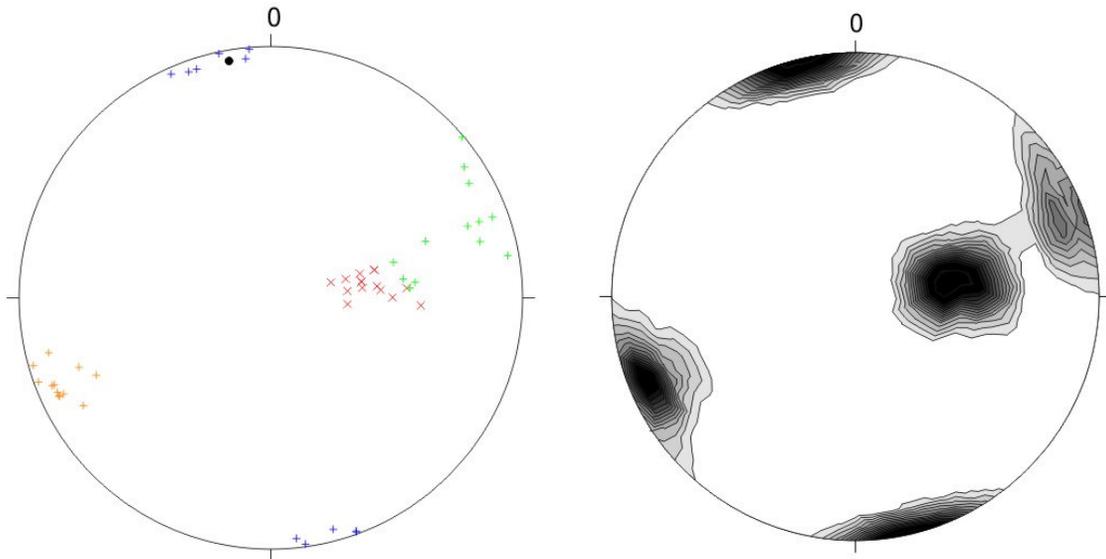


Figura 5.16: stereoplot dei poli dei piani di discontinuità e della densità

## SCHEDA DI SINTESI - STAZIONE GEOMECCANICA n° 8

### AFFIORAMENTO

Giacitura:	170/85
------------	--------

DISCONTINUITA'						DISCONTINUITA'				
Set	imm./incl. Modale	Spaziatura cm	Persistenza lin%	Apertura mm	Ondulazione	Riempimento	Alterazione	JRC	JCS	
S	261/23	19,2	>90	1/2,5	ondulata	coesivo	WD2	6-8	60	
K1	167/88	12,5	>90	chiusa	ondulata	assente	WD2	8-10	69	
K2	250/78	20,4	>50-<90	1/2,5	ondulata-a scalini	assente/coesivo	WD2	8-10	42	
K3	68/83	11,9	<50	<1-1/2,5	planare-ondulata	assente	WD2	4-6	94	

### AMMASSO ROCCIOSO

<b>CLASSE</b>	R2	
<b>ALTERAZIONE</b>	W2	
<b>DIMENSIONI BLOCCHI</b> cm	Media	20x15x3 cm
	Massima	80x50x30 cm
	Minima	2x2x1 cm
	Forma	parallelepipedo
<b>Jv</b>	26,48	
<b>VRU MEDIO (da Jv)</b>	0,04	
<b>RQD = 115 - 3,3*Jv</b>	28	
<b>GSI</b>	65-70 --> B/G	condizioni migliori
	45-50 --> VB-F	condizioni peggiori

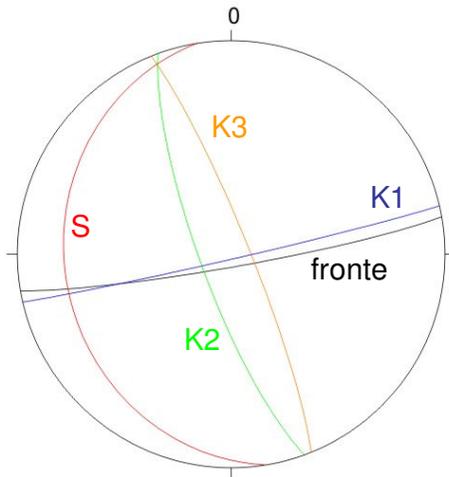


Figura 5.17:Famiglie di discontinuità

<b>Geomechanics classification (Beniawski, 1989)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
Resistenza a compressione monoassiale	MPa	66	7
RQD	%	28	8
Spaziatura delle discontinuità	cm	16	8
Condizioni delle discontinuità	-	-	16
Acqua	-	-	15
<b>RMP<sub>89 basic</sub></b>			54
<b>Classe</b>			III, fair rock
<b>Q-System (Barton et al., 1974)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
RQD	%	28	28
n. set di discontinuità (Jn)	-	4	15
Rugosità delle discontinuità (Jr)	-	-	2
Alterazione delle discontinuità (Ja)	-	-	2
Acqua (Jw)	-	-	1
SRF	-	-	1
<b>Q</b>			1.87
<b>Classe</b>			Poor
<b>Slope Mass Rating System (Romana, 1985)</b>			
Parametro		Valore	Indice
F1		<5°	1
F2		>45°	1
F3		10-0°	-6
F4		-	15
<b>SMR</b>			63
<b>Classe</b>			II, buono

### Rilievo n°9

Il rilievo nove è collocato all'estremo Sud dell'area di studio, sul monte Clapon del Mai a una quota di 520 metri. L'ammasso roccioso appartiene alla Formazione denominata Calcari Grigi del Friuli (Hettangiano-Carixiano), si tratta di calcari micritici grigi alternati a calcari stromatolitici, calcari oolitici biancastri e calcari a oncoidi appartenenti a depositi di piattaforma e di margine.

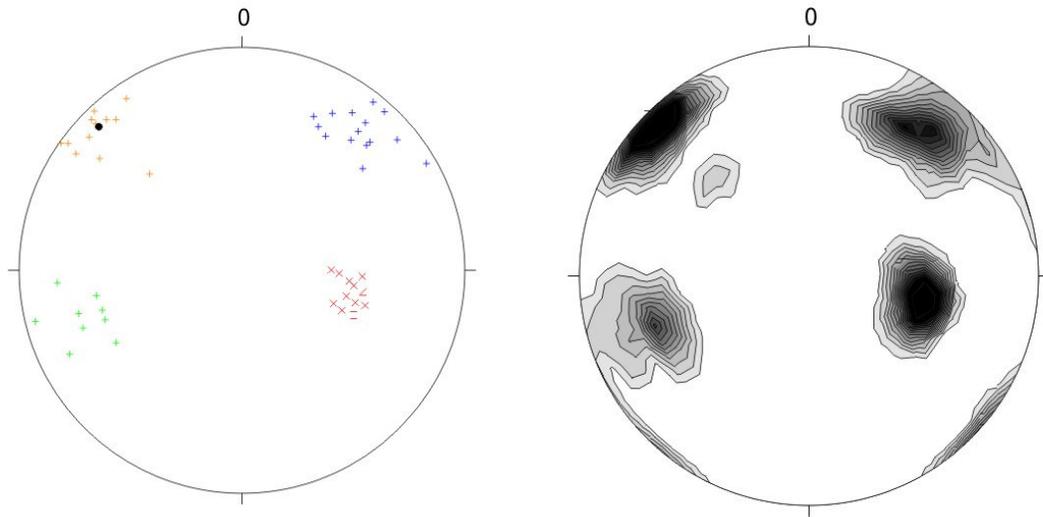


Figura 5.18: stereoplot dei poli dei piani di discontinuità e della densità

## SCHEDA DI SINTESI - STAZIONE GEOMECCANICA n° 9

### AFFIORAMENTO

Giacitura:	135/80
------------	--------

DISCONTINUITA'						DISCONTINUITA'			
Set	imm./incl. Modale	Spaziatura cm	Persistenza lin%	Apertura mm	Ondulazione	Riempimento	Alterazione	JRC	JCS
S	282/43	7,7	>90	1/2,5	planare/ondulata	coesivo	WD2	4-6	57
K1	218/70	7,4	>50-<90	<1	ondulata	assente	WD2	6-8	46
K2	71/60	10,9	<50	1/2,5	ondulata	assente/coesivo	WD2	8-10	56
K3	135/81	19	>50-<90	1/2,5	planare	coesivo	WD2	4-6	56

### AMMASSO ROCCIOSO

<b>CLASSE</b>	R2	
<b>ALTERAZIONE</b>	W2	
<b>DIMENSIONI BLOCCHI cm</b>	Media	25x10x15 cm
	Massima	50x20x20 cm
	Minima	2x2x4 cm
	Forma	parallelepipedo
<b>Jv</b>	40,93	
<b>VRU MEDIO (da Jv)</b>	0,02	
<b>RQD = 115 - 3,3*Jv</b>	0	
<b>GSI</b>	55-60 --> B/VB-G	

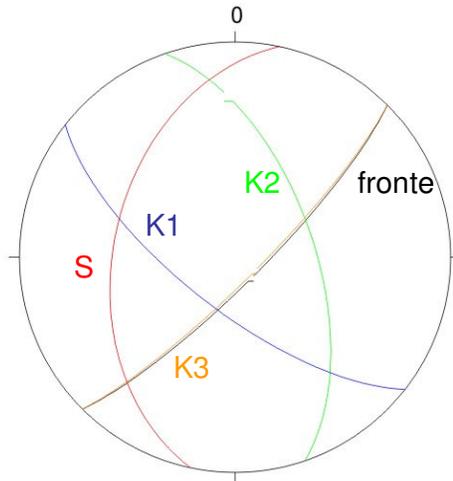


Figura 5.19:Famiglie di discontinuità

<b>Geomechanics classification (Beniawski, 1989)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
Resistenza a compressione monoassiale	MPa	53	7
RQD	%	0	3
Spaziatura delle discontinuità	cm	11.3	8
Condizioni delle discontinuità	-	-	16
Acqua	-	-	15
<b>RMR<sub>89 basic</sub></b>			49
<b>Classe</b>			III, fair rock
<b>Q-System (Barton et al., 1974)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
RQD	%	0	10
n. set di discontinuità (Jn)	-	4	15
Rugosità delle discontinuità (Jr)	-	-	2
Alterazione delle discontinuità (Ja)	-	-	2
Acqua (Jw)	-	-	1
SRF	-	-	1
<b>Q</b>			0.67
<b>Classe</b>			Very Poor
<b>Slope Mass Rating System (Romana, 1985)</b>			
Parametro		Valore	Indice
F1		<5°	1
F2		>45°	1
F3		10-0°	-6
F4		-	15
<b>SMR</b>			58
<b>Classe</b>			III, discreta

### Rilievo n°10

L'ultimo rilievo è stato effettuato sul monte Clapon del Mai a una quota di 382 metri. L'affioramento è costituito da calcari micritici nocciola e grigio chiari, a frattura conocide, con selce grigio scura o biancastra, questi appartengono alla Formazione della Maiolica anche chiamata Biancone (Titoniano sup. - Barremiano).

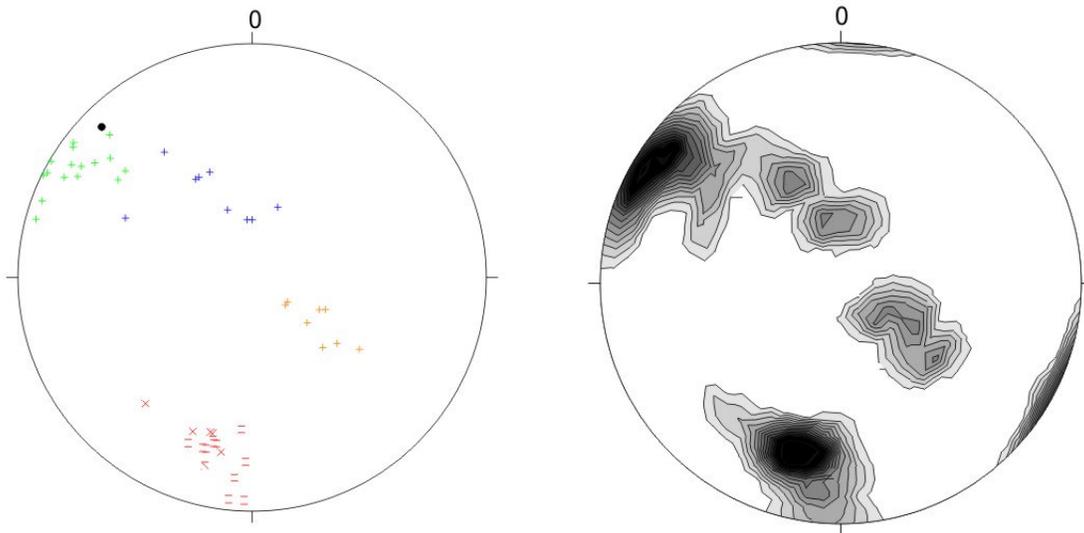


Figura 5.20: stereoplot dei poli dei piani di discontinuità e della densità

## SCHEMA DI SINTESI - STAZIONE GEOMECCANICA n° 10

### AFFIORAMENTO

Giacitura:	135/80
------------	--------

DISCONTINUITA'						DISCONTINUITA'			
Set	imm./incl. Modale	Spaziatura cm	Persistenza lin%	Apertura mm	Ondulazione	Riempimento	Alterazione	JRC	JCS
S	15/63	22,4	>90	>5	ondulata	coesivo	WD2	10-12	45
K1	155/40	10,4	<50	<1	ondulata	assente	WD2	8-10	67
K2	121/82	21,3	>50-<90	<1	ondulata/scalini	assente	WD2	12-14	39
K3	300/30	16,3	<50	<1	planare/ondulata	assente	WD2	8-10	32

### AMMASSO ROCCIOSO

<b>CLASSE</b>	R2	
<b>ALTERAZIONE</b>	W2	
<b>DIMENSIONI BLOCCHI cm</b>	Media	25x10x15 cm
	Massima	50x20x20 cm
	Minima	2x2x4 cm
	Forma	parallelepipedo
<b>Jv</b>	40,93	
<b>VRU MEDIO (da Jv)</b>	0,02	
<b>RQD = 115 - 3,3*Jv</b>	0	
<b>GSI</b>	55-60 --> B/VB-G	

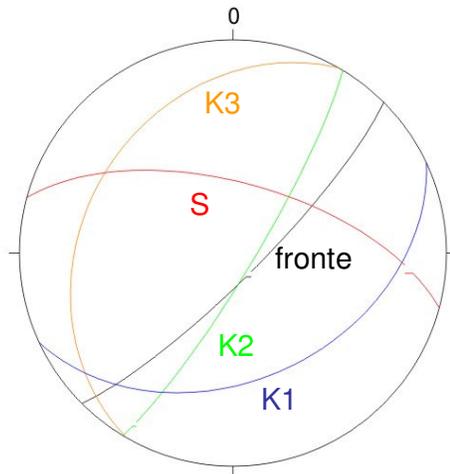


Figura 5.21: Famiglie di discontinuità

<b>Geomechanics classification (Beniawski, 1989)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
Resistenza a compressione monoassiale	MPa	46	4
RQD	%	33	8
Spaziatura delle discontinuità	cm	17.6	8
Condizioni delle discontinuità	-	-	27
Acqua	-	-	15
<b>RMR<sub>89 basic</sub></b>			62
<b>Classe</b>			II, good rock
<b>Q-System (Barton et al., 1974)</b>			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
RQD	%	33	33
n. set di discontinuità (J <sub>n</sub> )	-	4	15
Rugosità delle discontinuità (J <sub>r</sub> )	-	-	3
Alterazione delle discontinuità (J <sub>a</sub> )	-	-	2
Acqua (J <sub>w</sub> )	-	-	1
SRF	-	-	1
<b>Q</b>			3.30
<b>Classe</b>			Poor
<b>Slope Mass Rating System (Romana, 1985)</b>			
Parametro		Valore	Indice
F1		10-5°	0.85
F2		>45°	1
F3		10-0°	-6
F4		-	15
<b>SMR</b>			71.9
<b>Classe</b>			II, buona

Per ogni rilievo la seguente tabella mostra in maniera schematica le classi e la qualità degli ammassi rocciosi ottenuti con le diverse classificazioni geomeccaniche. Si può notare che nella maggior parte dei casi, una roccia classificata come “good” usando la classificazione di Bieniawski ovvero l’RMR, risulta essere “fair” secondo il Q-System, mentre secondo l’SMR di Romana può risultare “buona” o “discreta”. In generale, da questo confronto risulta che con la classificazione di Barton, il Q-System, l’ammasso roccioso risulta avere una qualità peggiore. Si può affermare che sebbene gli ammassi rocciosi dal punto di vista geomeccanico risultano essere abbastanza buoni se si considera l’instabilità dei pendii la qualità diventa per lo più scadente.

	<b>RMR</b>	<b>Q-System</b>	<b>SMR</b>	<b>GSI</b>
RGM 1	II, good rock	fair	III, discreta	55-65
RGM 2	II, good rock	fair	II, buona	52-60
RGM 3	II, good rock	fair	III, discreta	68-72
RGM 4	III, fair rock	poor		45-55
RGM 5	III, fair rock	poor	II, buona	45-55
RGM 6	II, good rock	fair	II, buona	45-55
RGM 7	III, fair rock	poor	III, discreta	57-62
RGM 8	III, fair rock	poor	II, buona	45-50
RGM 9	III, fair rock	very poor	III, discreta	55-60
RGM 10	II, good rock	poor	II, buona	55-60

**Tabella: riassunto delle classificazioni dei rilievi geomeccanici**

## 6 Valutazione della suscettibilità

La suscettibilità di frana viene definita come la propensione di un'area all'innescare di fenomeni franosi, quindi questa rappresenta la pericolosità spaziale.

La previsione della suscettibilità consiste nella valutazione della pericolosità relativa ovvero nella stima del grado di instabilità di un versante rispetto ad un altro versante senza tener conto della probabilità di occorrenza dei fenomeni franosi.

Per definire la suscettibilità di un'area è necessario suddividerla in *unità territoriali*, ovvero in porzioni di spazio omogenee, anche chiamati domini, alle quali si attribuisce il valore di suscettibilità.

Per definire la suscettibilità nell'area di Venzone sono stati adottati due diversi metodi: l'approccio deterministico e quello euristico.

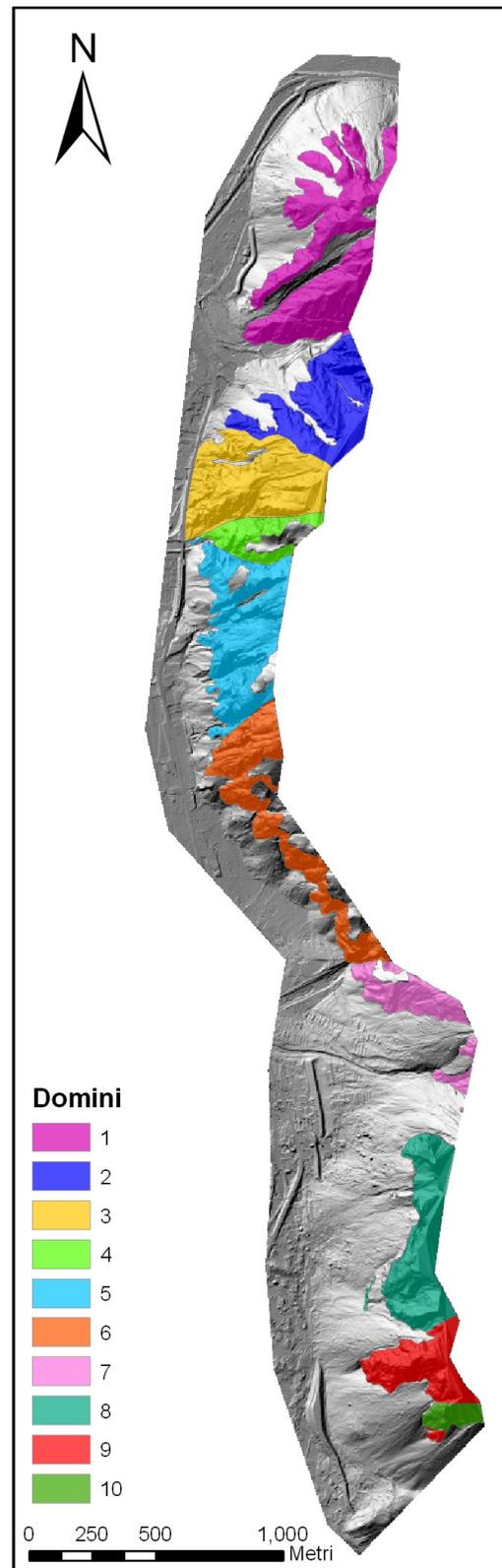
Per la delimitazione dei *domini omogenei* nell'area di studio sono state utilizzate diverse fonti quali la carta geologica del Carulli (2006) e i dati di terreno. Tutti questi dati sono finalizzati a determinare dei domini quanto più omogenei possibile sia dal punto di vista litologico che strutturale.

Nell'area di Venzone sono stati individuati 10 domini; i primi sei presentano una giacitura immergente verso Sud ma con diversi angoli di inclinazione. Nel primo dominio, infatti, gli strati sono a bassa pendenza ma poi cresce via via nei domini successivi fino a diventare sub-verticale nel sesto dominio. Dal settimo dominio l'assetto strutturale cambia significativamente, questo, infatti, immerge verso Nord. Il cambio così improvviso di giacitura è legato alla presenza di una sinclinale.

Analizziamo, ora, i domini con maggior dettaglio:

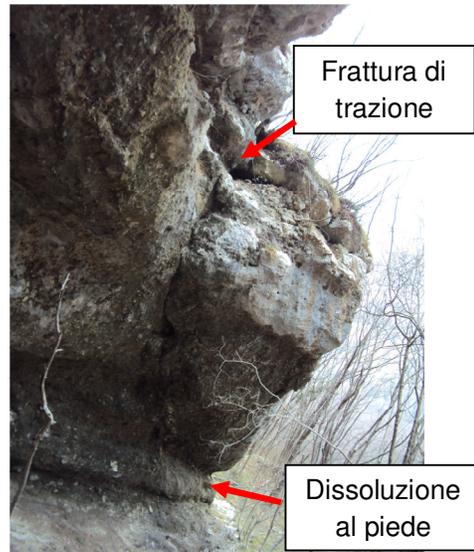
- ✓ Il dominio 1, prevalentemente costituito da Dolomia Principale, è caratterizzato da un'immersione compresa tra  $160^{\circ}$ - $200^{\circ}$  e un'inclinazione di  $10^{\circ}$ - $30^{\circ}$ ;

- ✓ Il secondo dominio sempre con immersione tra  $160^{\circ}$ - $200^{\circ}$  presenta un'inclinazione maggiore compresa tra  $30^{\circ}$ - $50^{\circ}$  ed è costituito da Dolomia Principale scura. L'ammasso roccioso si presenta fortemente fratturato, è infatti stato interpretato come la zona di danneggiamento della vicina linea della Val Resia. Tale fratturazione è particolarmente evidente in prossimità della valle del Rio Tugliezzo. I blocchi presenti in questa zona di danneggiamento si fratturano facilmente fino ad assumere dimensioni centimetriche, questo è probabilmente legato a fratture "secondarie" presenti all'interno del blocco stesso.
- ✓ Il terzo dominio è costituito anch'esso di Dolomia Principale scura ma è molto meno fratturata rispetto al dominio precedente. Ha una giacitura compresa tra i  $160^{\circ}$ - $200^{\circ}$  con strati più inclinati,  $70^{\circ}$ - $90^{\circ}$ ;
- ✓ Il dominio 4, costituito da Dolomia Principale ha un'immersione compresa tra i  $160^{\circ}$ - $200^{\circ}$  e inclinazione tra  $70^{\circ}$ - $90^{\circ}$ ;
- ✓ Il quinto dominio è caratterizzato da Dolomia Principale con immersione tra  $110^{\circ}$ - $160^{\circ}$  e inclinazione tra  $50^{\circ}$ - $70^{\circ}$ ;



**Figura 6.1: domini omogeni presenti nell'area**

- ✓ Il dominio 6 è prevalentemente costituito da Calcarea di Dachstein, presenta una giacitura compresa tra  $160^{\circ}$ - $200^{\circ}$  e  $50^{\circ}$ - $70^{\circ}$ ;
- ✓ Il dominio 7 è caratterizzato dalla presenza di Calcari Grigi del Friuli e di Calcarea di Dachstein, immerge verso Nord,  $340^{\circ}$ - $20^{\circ}$ , con inclinazione di  $50^{\circ}$ - $70^{\circ}$ ;
- ✓ Il dominio 8 si distingue in quanto costituito da Breccie che presentano un'immersione compresa tra i  $250^{\circ}$ - $290^{\circ}$  e inclinazione tra  $10^{\circ}$ - $30^{\circ}$ ; in questo dominio a causa della litologia non si è riuscito ad effettuare un rilievo geomeccanico. Sono comunque state effettuate delle considerazioni in quanto sono numerosi i blocchi che si distaccano da questa litologia e si ritrovano su tutto il versante. Alcuni blocchi sono calcarei o dolomitici e sono stati interpretati come dei grossi clasti arrotondati della breccia stessa. I blocchi si pensa che si siano originati per due cause principali: la dissoluzione al piede legata agli orizzonti meno cementati e la formazione di fratture di trazione per gravità. Se quest'ultime vengono osservate lateralmente si può notare la loro massima apertura nella parte sommitale e come si restringono fino a sparire alla base;



**Figura 6.2: breccie cementate che caratterizzano l'ottavo dominio**

- ✓ Il nono dominio presenta un'immersione tra  $340^{\circ}$ - $20^{\circ}$  e inclinazione tra  $50^{\circ}$ - $70^{\circ}$  ed è caratterizzato prevalentemente dai Calcari Grigi del Friuli;
- ✓ Il decimo dominio immerge a  $160^{\circ}$ - $200^{\circ}$  con immersione  $30^{\circ}$ - $50^{\circ}$  ed è anch'esso costituito dai Calcari Grigi del Friuli.

## 6.1 Analisi strutturale di dati LIDAR tramite Coltop 3D

L'elevata risoluzione del LIDAR consente di avere delle indicazioni sull'orientazione della superficie. A tale scopo, tramite lo *Spatial Analyst* a partire dal LIDAR stesso, si devono realizzare due carte, quella dell'esposizione, aspect, e quella delle pendenze, slope. Quest'ultimo viene creato usando un algoritmo che calcola per ogni pixel il gradiente della pendenza sfruttando una finestra mobile, detta kernel, di 3 per 3 pixel.

Dalla combinazione di queste due carte è dunque possibile avere un'indicazione dell'immersione e dell'inclinazione della superficie infatti la carta dell'esposizione indica la direzione per ogni pixel mentre lo slope l'inclinazione.

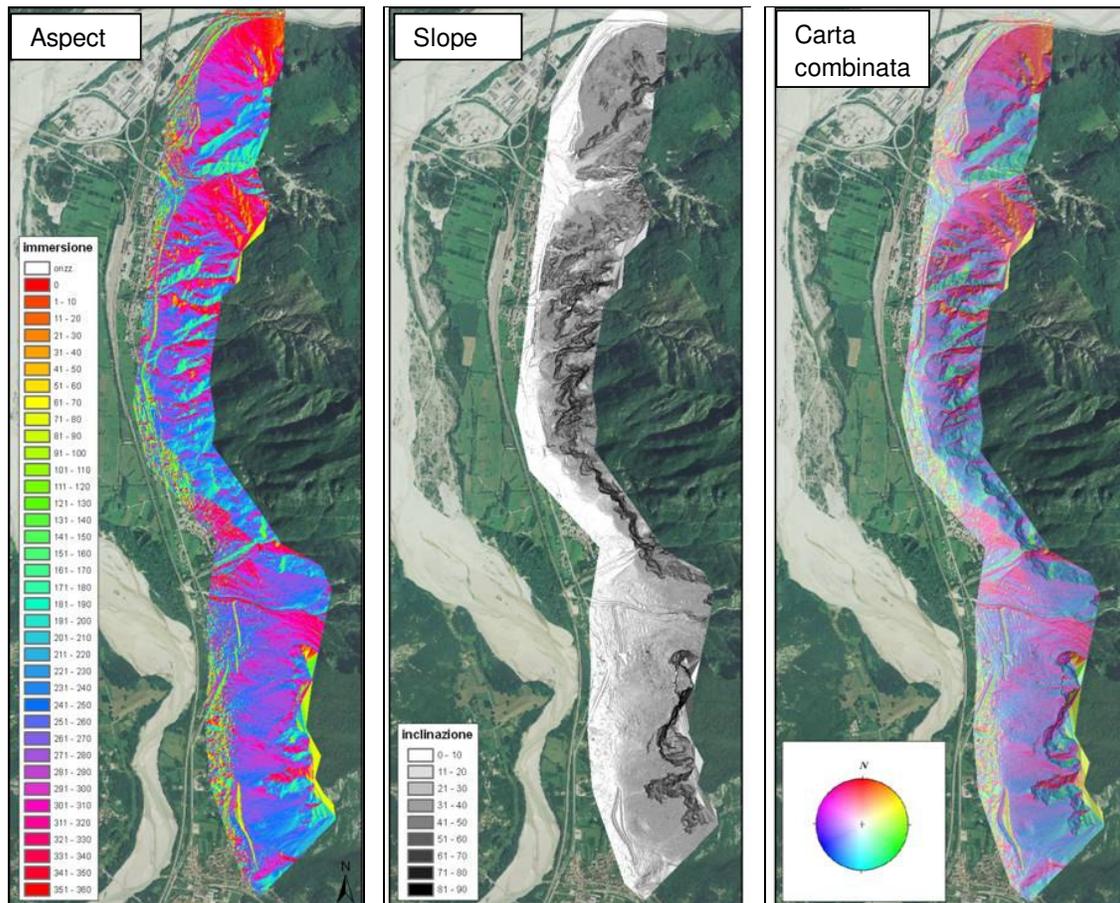


Figura 6.3: la costruzione della carta combinata per l'area di studio è stata realizzata sovrapponendo la carta dell'aspect e dello slope

L'analisi di questa carta combinata potrebbe, quindi, essere un importante strumento per l'identificazione delle principali famiglie di discontinuità e dei più significativi lineamenti strutturali. A causa, però, della forte influenza dell'orientazione della superficie topografica, è necessario interpretare la correttezza delle strutture individuate attraverso la carta combinata.

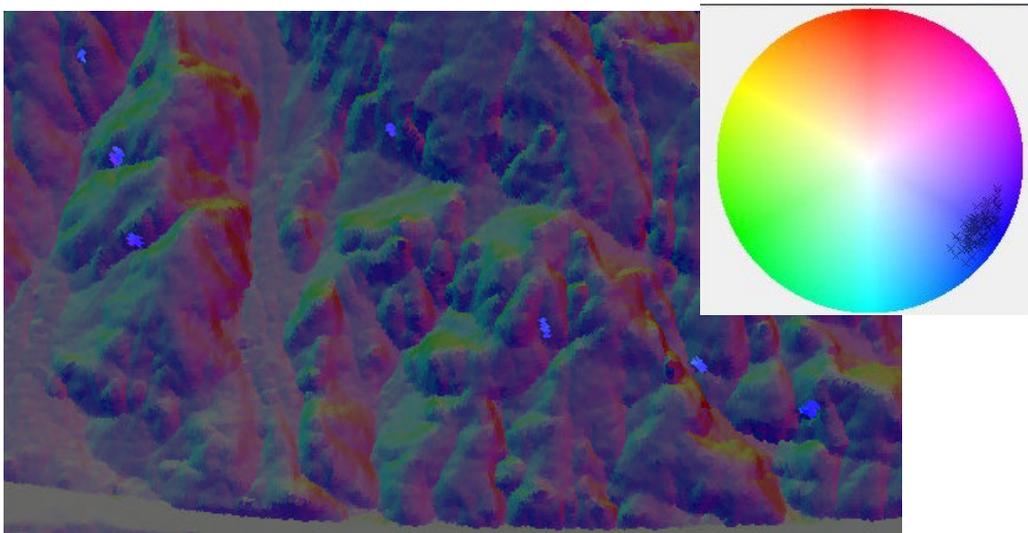
Sfruttando il concetto della carta combinata Jaboyedoff et al. nel 2005 hanno realizzato un apposito software chiamato Coltop 3D.

### **6.1.1 COLTOP 3D**

Coltop 3D è un programma per l'analisi tridimensionale della topografia che consente di individuare, mappare e misurare le principali strutture, come le faglie, e di ottenere una definizione preliminare dei domini omogenei utili per la caratterizzazione geomeccanica dell'area di studio.

Importando il LIDAR in formato Ascii all'interno del programma si ottiene una nuvola di punti, a ciascun dei quali verrà attribuito un colore che deriva dalla combinazione dell'immersione e dell'inclinazione della cella che costituiva il LIDAR. I diversi colori rappresentano i poli dei piani che vengono raffigurati utilizzando il reticolo inferiore di Schmidt. In particolare il color rosso indica piani immergenti a sud, l'azzurro i piani immergenti a nord, il verde quelli ad est mentre il viola quelli ad ovest.

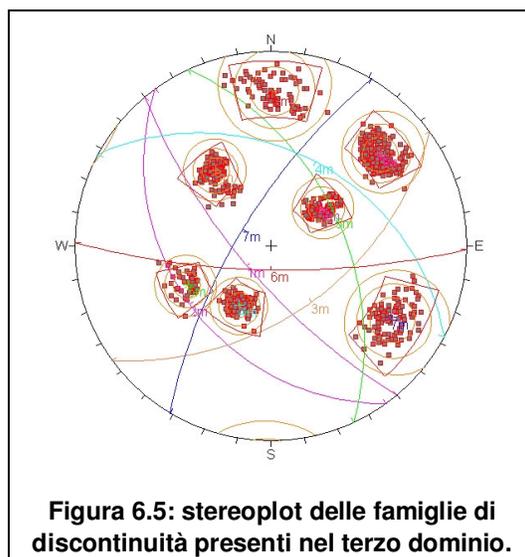
Il programma Coltop è stato utilizzato per definire la giacitura dei principali set di discontinuità presenti all'interno di ciascun dominio omogeneo precedentemente individuato. In funzione dei dati ottenuti si potrà decidere se accorpare, separare o confermare le zone omogenee. La prima operazione effettuata è stata selezionare all'interno di ciascun dominio i poligoni con giacitura simile ovvero costituiti da punti con colore il più simile possibile. Per ogni famiglia di discontinuità individuata si deve mappare un numero statisticamente significativo di poligoni.



**Figura 6.4: selezione dei poligoni con giacitura simile**

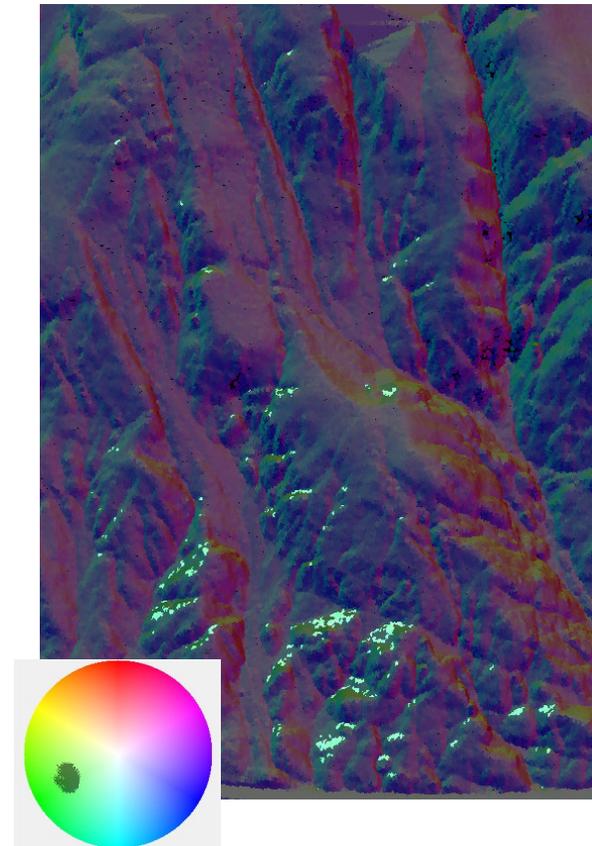
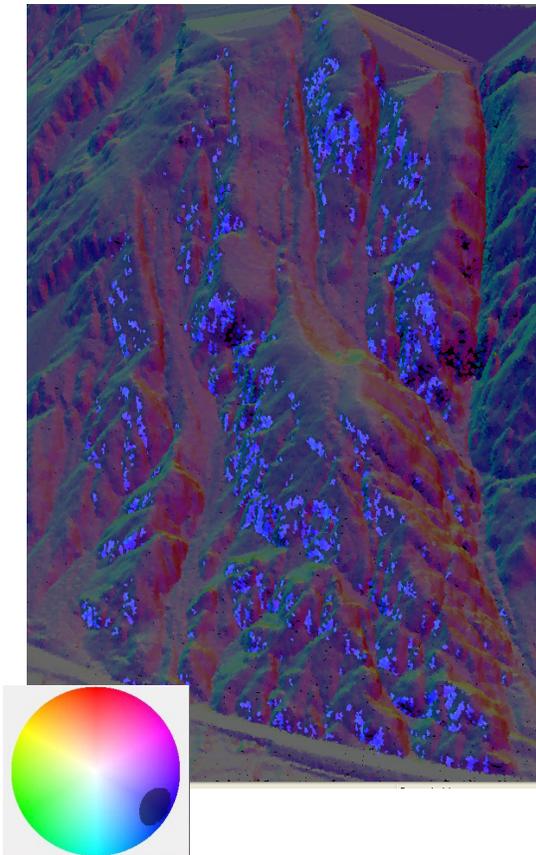
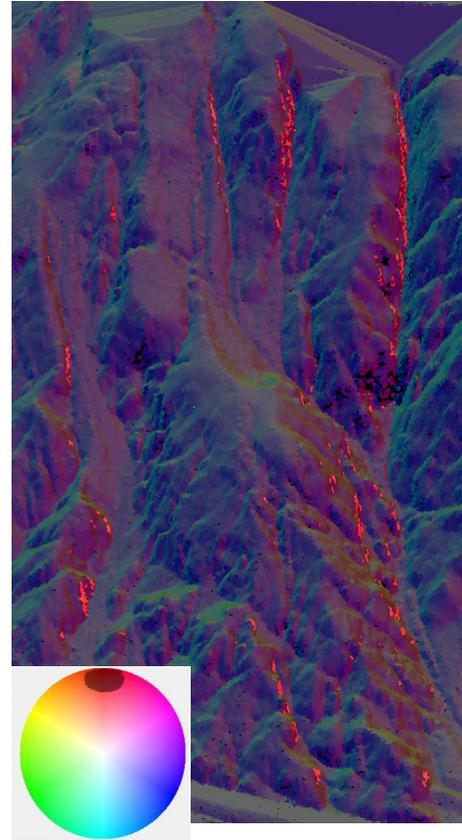
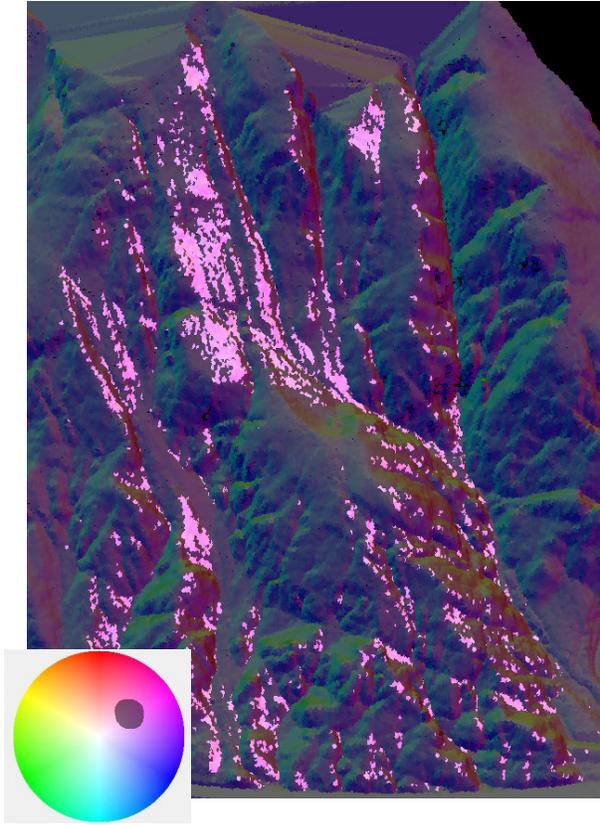
La giacitura dei punti selezionati è stata esportata in formato .txt tramite il comando *export selected points* e successivamente importati e analizzati tramite il software *Dips*, un programma della Rocscience.

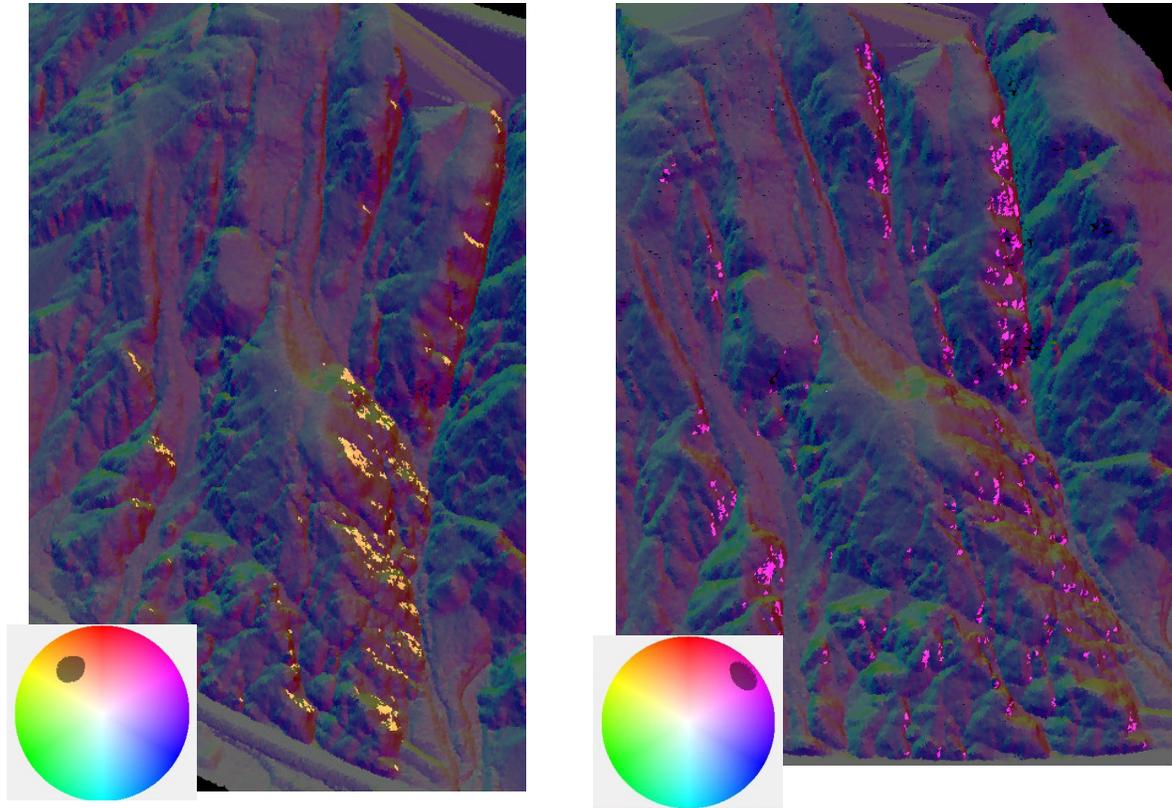
Per ciascun dominio si realizza tramite questo programma uno stereoplot dei punti appartenenti alle diverse famiglie di discontinuità individuate all'interno del dominio stesso. Per ogni famiglia si effettua un'analisi statistica per ricavare la giacitura media e la dispersione dei punti dello stesso colore, quindi appartenenti allo stesso set di discontinuità. Tale operazione viene effettuata con il comando *Edit Sets* spuntando l'opzione *variability*.



**Figura 6.5: stereoplot delle famiglie di discontinuità presenti nel terzo dominio.**

I valori di giacitura media e di dispersione così ottenuti vengono nuovamente inseriti in Coltop 3D così da selezionare per ogni dominio i piani di discontinuità di ciascuna famiglia.

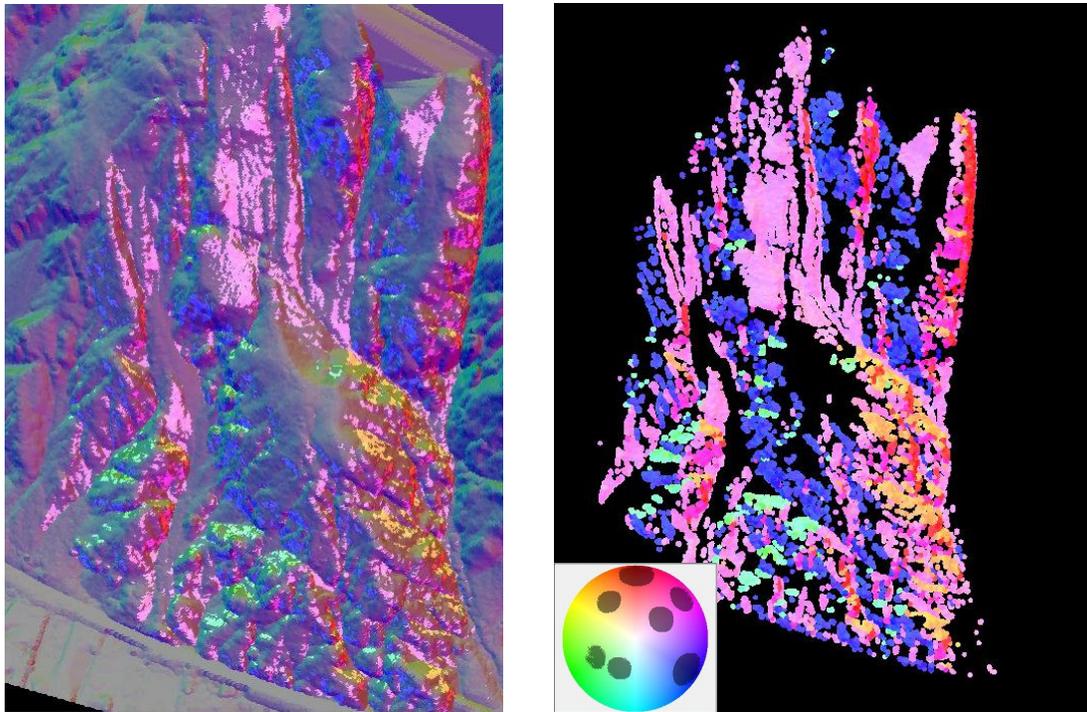




**Figura 6.6: Famiglie di discontinuità presenti nel dominio 3**

Nella seguente tabella vengono riportati i valori di giacitura ottenuti utilizzando *Dips* per le 8 famiglie di discontinuità individuate tramite Coltop. Le celle vuote indicano che quella famiglia di discontinuità non è stata individuata in quel particolare dominio.

Domini	S		K1		K2		K3		K4		K5		K6		K7	
	imm	inc														
1	160	20	227	41	230	72	303	73	14	47	180	68	139	43	61	54
2	165	50	230	43	228	71	301	74	24	41	185	71	137	41	60	52
3	180	80	234	36	230	72	301	71	28	38	181	76	144	51	65	50
4	180	55	232	67	232	67	302	74	21	47	185	76	146	51	57	51
5	140	65	235	36	229	74	304	72	25	47	180	78	139	52	62	55
6	180	65	228	44	229	72	304	75	21	50	182	78	142	47	--	--
7	360	60	234	41	229	73	304	72	33	46	181	70	156	43	--	--
8	270	20	236	35	230	73	300	82	358	63	183	76	146	43	--	--
9	10	65	229	39	230	70	302	77	17	55	182	68	150	41	--	--
10	165	43	228	38	231	70	302	59	18	46	175	72	149	46	--	--



**Figure 6.7: famiglie di discontinuità individuate nel terzo dominio**

La maggior parte delle famiglie di discontinuità sono state ritrovate anche sul terreno confermando la validità del metodo utilizzando. Per quanto riguarda le famiglie rilevate sul terreno ma non riscontrate in Coltop può essere dovuto al fatto che questo programma è fortemente controllato della topografia. Possiamo concludere, quindi, affermando che Coltop 3D è un buon strumento per validare e implementare le informazioni sulle caratteristiche geomeccaniche dei domini omogenei. Il più grosso limite di questo programma consiste nella scarsa capacità di ottenere informazioni riguardanti la dimensione dei blocchi.

## **6.2 Analisi della suscettibilità all'innescò con approccio deterministico**

I dati giacitureali ricavati da Coltop 3D hanno permesso di eseguire una valutazione della suscettibilità all'innescò secondo un approccio deterministico. Questo si basa su un'analisi cinematica distribuita della stabilità dei blocchi rocciosi. Tale analisi è stata eseguita col software SlopeMap, un'estensione di ARcView sviluppata da Günther (2003).

## 6.2.1 Verifiche di fattibilità cinematica

Per valutare la stabilità di un pendio in roccia si ricorre spesso all'uso delle proiezioni stereografiche. Le proiezioni stereografiche sono lo strumento fondamentale per la rappresentazione dei dati riguardanti le discontinuità presenti entro un ammasso roccioso e allo stesso tempo consentono l'esecuzione di alcune analisi. Queste eliminano una dimensione nella rappresentazione del problema infatti i piani rappresentati come linee, le linee come punti.

Le verifiche di fattibilità cinematica studiano i movimenti dei blocchi senza considerare le forze che li hanno prodotti. I metodi cinematici considerano, oltre alle condizioni di rimovibilità dei blocchi, anche le possibilità di scorrimento lungo i piani di discontinuità per effetto del peso proprio dei blocchi. Questi metodi sfruttano il concetto di cono d'attrito (friction cone) che in questo lavoro è stato posto pari a  $30^\circ$ . I cinematismi instabili che si possono verificare in un pendio roccioso possono essere analizzati attraverso SlopeMap.

Le assunzioni di questo metodo sono:

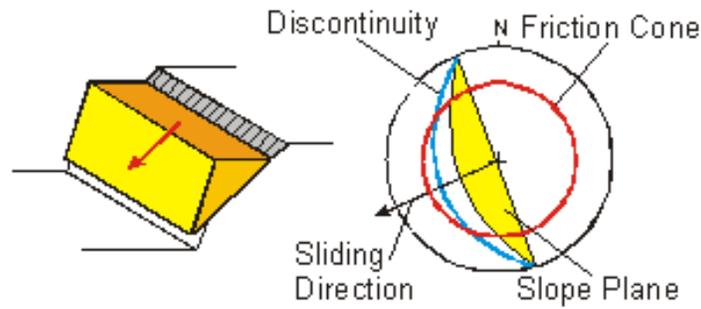
- ✓ le discontinuità piane presenti nell'ammasso roccioso vengono assunte infinitamente estese;
- ✓ la resistenza al taglio lungo le discontinuità è puramente frizionale;
- ✓ i blocchi sono soggetti alla sola forza peso.

I possibili cinematismi sono:

### *Scivolamento planare*

L'occorrenza dello scivolamento planare avviene sotto le seguenti condizioni (Hoek e Bray, 1985):

- ✓ l'immersione del piano di scorrimento è compresa in un intervallo  $\pm 20^\circ$  dall'immersione del pendio;
- ✓ l'inclinazione della discontinuità planare è minore dell'inclinazione apparente del versante nella direzione di immersione del piano di scorrimento (il quale deve affiorare);
- ✓ l'inclinazione della discontinuità è maggiore dell'angolo di attrito posto (pari a  $30^\circ$ ).



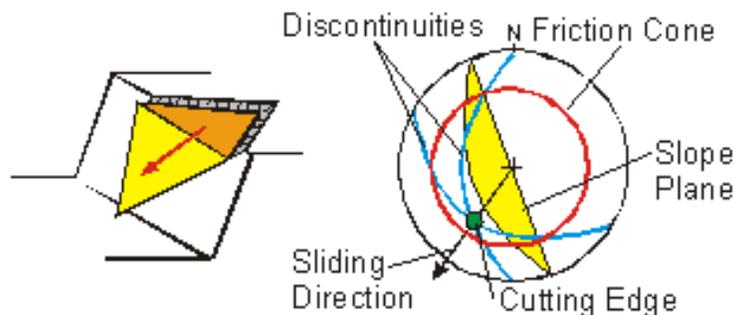
**Figura 6.8: condizioni che determinano l'occorrenza dello scivolamento planare**

### *Scivolamento a cuneo, Wedge failure*

L'occorrenza dello scivolamento a cuneo avviene sotto le seguenti condizioni (Hoek e Bray, 1985):

- ✓ la linea di intersezione tra due piani di discontinuità immerge nello stesso verso del pendio;
- ✓ l'inclinazione apparente del pendio nella direzione di immersione della linea di intersezione è maggiore dell'inclinazione della linea di intersezione (la quale deve affiorare sul pendio);
- ✓ l'inclinazione della linea di intersezione è maggiore dell'angolo di attrito medio ( $30^\circ$ ) sui due piani.

Nella stabilità dei cunei è rilevante anche il ruolo della forma che dipende dall'angolo di apertura del cuneo e dalla obliquità rispetto all'orizzonte.

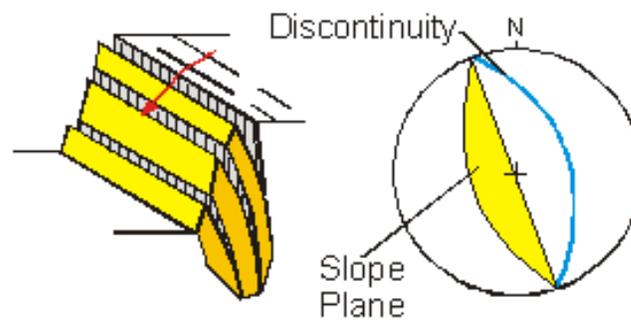


**Figura 6.9: condizioni che determinano l'occorrenza dello scivolamento a cuneo**

### *Ribaltamento , toppling*

L'occorrenza del ribaltamento avviene sotto le seguenti condizioni (Hoek e Bray ,1985):

- ✓ la direzione dello strato o del piano di discontinuità deve essere circa parallela al versante ( $\pm 20^\circ$  accettabile con possibile correzione).
- ✓ giacitura a reggipoggio, ossia direzione di immersione tra  $160-200^\circ$  dalla direzione di immersione del pendio;
- ✓ affinché si realizzi lo scorrimento interstrato, la normale al piano di ribaltamento deve avere: immersione  $<$  (inclinazione pendio - angolo di attrito).



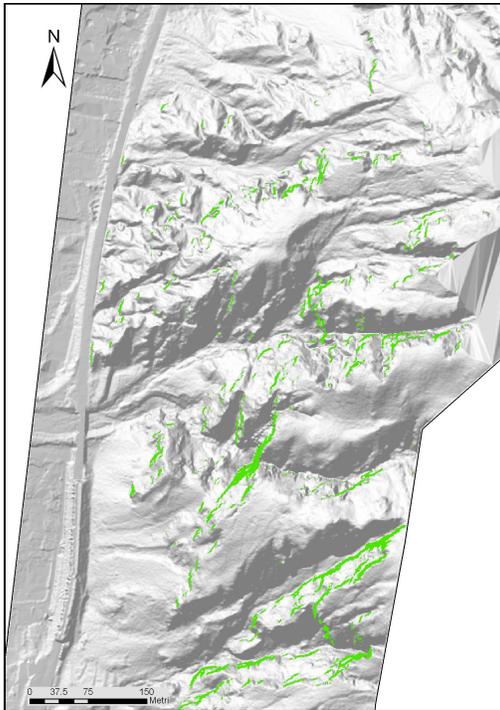
**Figura 6.10: condizioni che determinano l'occorrenza dello scivolamento a cuneo**

## 6.2.2 Analisi cinematica spaziale distribuita con SlopeMap

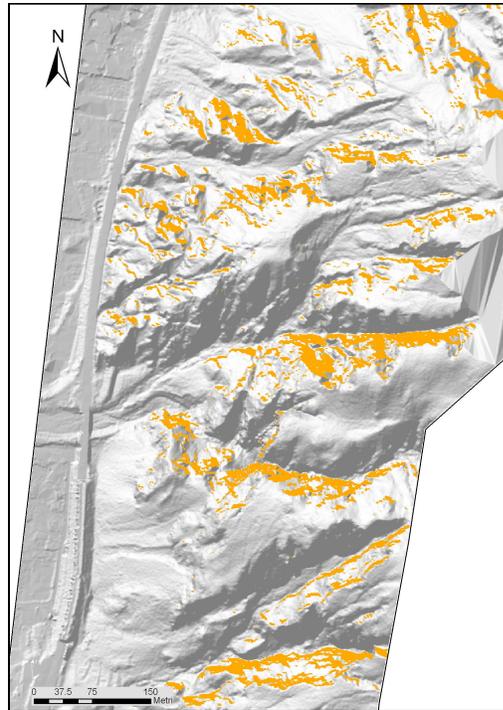
Utilizzando l'estensione *SlopMap* in Arcview è stato possibile realizzare la carta di suscettibilità all'innescio di crolli tenendo conto dei possibili cinematismi di rottura. Per ottenere questa carta la prima operazione da fare è unire la tabella con i dati giacituriali delle famiglie di discontinuità ottenute con Coltop con lo shapefile vettoriale in cui sono rappresentati i domini omogenei. Gli attributi "immersione" e "inclinazione" di ciascuna famiglia sono stati convertiti in formato raster col comando *Convert Feature to Raster* e importati in ArcView insieme alle carte della pendenza, slope, e a quella dell'esposizione, aspect. Attraverso l'estensione SlopeMap è stato possibile analizzare per ciascuna famiglia di discontinuità diversi cinematismi quali il ribaltamento, lo scivolamento planare e a cuneo.

Per determinare in quali celle del DTM si possono verificare scivolamenti planari o fenomeni di ribaltamento basta combinare tra loro immersione e inclinazione di ogni famiglia con lo slope e l'aspect. I comandi per effettuare queste operazioni sono *Unique Plane/Wedge Failures* e *Topple Failures*.

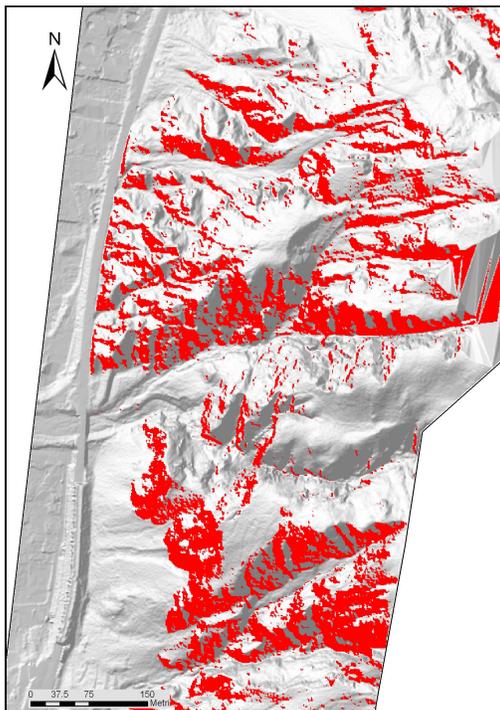
Per individuare in quali celle può avvenire lo scivolamento a cuneo bisogna primaditutto specificare le due famiglie di discontinuità per cui si vuole effettuare il calcolo, si procede determinando la giacitura, espressa da trend e plunge, della linea di intersezione dei piani precedentemente scelti. Per tale operazione si devono combinare a due a due tutte le famiglie di discontinuità. Infine combinando il trend e plunge della linee di intersezione dei due piani di discontinuità con lo slope e l'aspect del DTM si calcola in quante celle può avvenire lo scivolamento a cuneo.



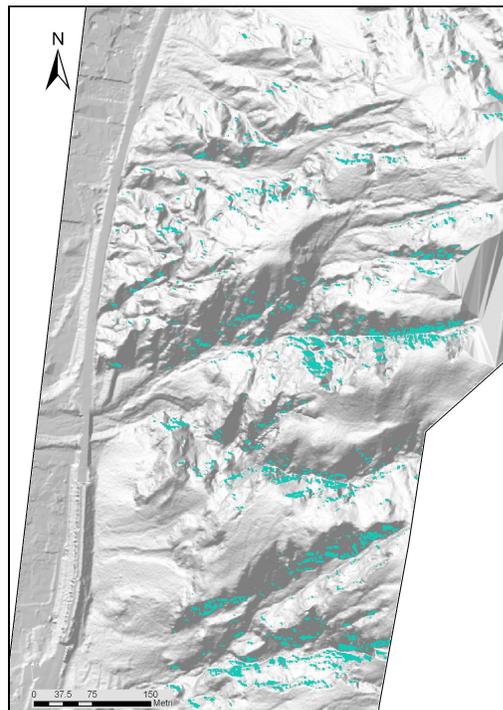
Scivolamento planare K3



Scivolamento planare K4



Scivolamento a cuneo K1-K3



Ribaltamento K5

**Figura 6.11: esempi di distribuzione dei cinematismi di rottura nei dintorni dell'abitato di Piani.**

Una volta effettuate tutte le analisi, con un ulteriore comando, chiamato *Failure Count*, si ottiene un nuovo file che somma il numero dei diversi cinematismi instabili reali avvenuti in ciascuna cella del DTM.

Nell'area di Venzone il numero massimo di cinematismi instabili che possono avvenire in una stessa cella è 15.

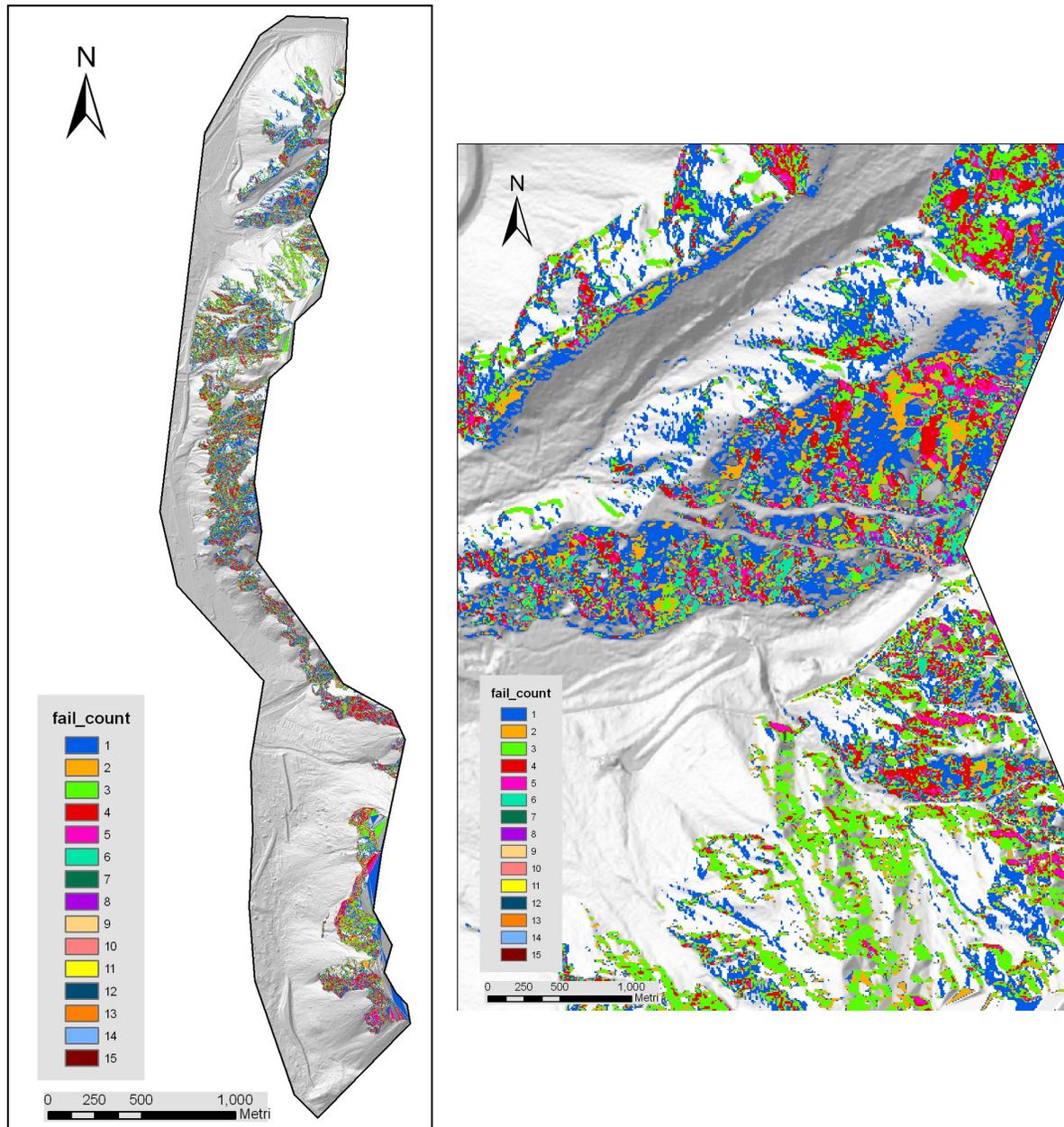


Figura 6.12: carta che rappresenta il numero di cinematismi reali (fail\_count) e particolare della Val Resia

Utilizzando il failcount si può realizzare una carta di suscettibilità spaziale scalata per la probabilità di innesco questa viene ottenuta mettendo in relazione il numero di cinematismi instabili rispetto a quelli potenziali.

Per realizzare questa carta si deve:

- ✓ aggiungere un campo chiamato *N\_tot\_cinematismi*, corrispondente al numero dei potenziali cinematismi instabili, nella tabella del file dei domini omogenei. Se nel dominio sono presenti 7 famiglie di discontinuità, come avviene nei domini numero 7, 8, 9 e 10, i cinematismi potenziali sono 42. Questi si ottengono sommando 7 scivolamenti planari, 7 ribaltamenti e 28 scivolamenti a cuneo. Se nel dominio sono presenti 8 famiglie di discontinuità i cinematismi potenziali diventeranno 51 in quanto si dovrà aggiungere un scivolamento planare, un ribaltamento e 7 scivolamenti a cuneo.
- ✓ Si converte in raster il campo della tabella appena generato, *N\_tot\_cinematismi*.
- ✓ Tramite il Raster Calculator si divide il numero di cinematismi reali (*fail\_count*) rispetto al numero di cinematismi potenziali (*N\_tot\_cinematismi*). In questo modo si ottiene la probabilità di innesco cioè la probabilità che si verificano dei cinematismi instabili all'interno del dominio.
- ✓ I valori ottenuti vengono normalizzati rispetto a cento sempre utilizzando Raster Calculator. La carta di suscettibilità all'innesco così realizzata è stata chiamata *sorgpro*

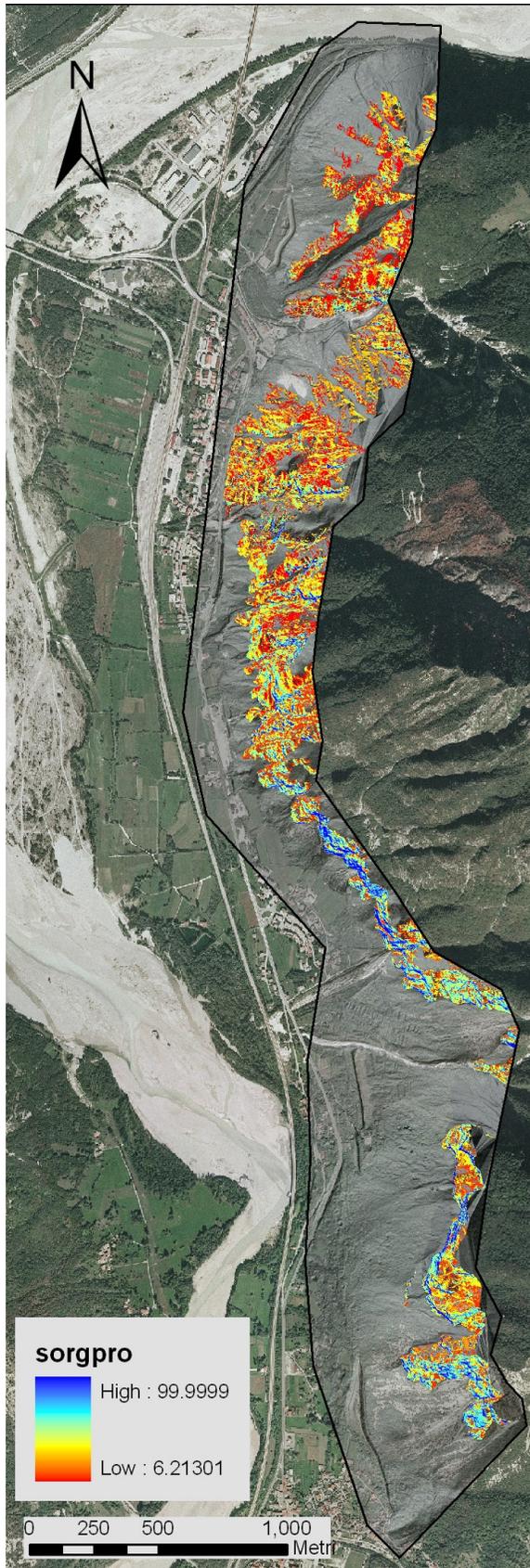


Figura 6.13: carta della suscettibilità all'innesco ottenuta tramite approccio deterministico

## 6.3 Analisi della suscettibilità all'innescò con approccio euristico

L'approccio euristico è indiretto e qualitativo, inoltre dipende fortemente dalla capacità dell'esperto di comprendere tutti i processi geomorfologici che avvengono in una determinata area. I fattori predisponenti vengono classificati e gli si attribuisce un peso in base alla loro importanza nel determinare i fenomeni franosi.

I vantaggi di questo metodo consistono nel descrivere la pericolosità relativa di un'area attraverso l'identificazione dei meccanismi generali di causa-effetto delle frane. Questi dipendono principalmente dai parametri predisponenti come la litologia e la giacitura delle rocce, la struttura e la pendenza del versante e l'uso del suolo.

Lo svantaggio maggiore è legato alla soggettività nell'attribuire i pesi; spesso per effettuare una valutazione più oggettiva si utilizzano delle procedure statistiche per valutare il contributo dei singoli parametri predisponenti lo sviluppo di fenomeni franosi.

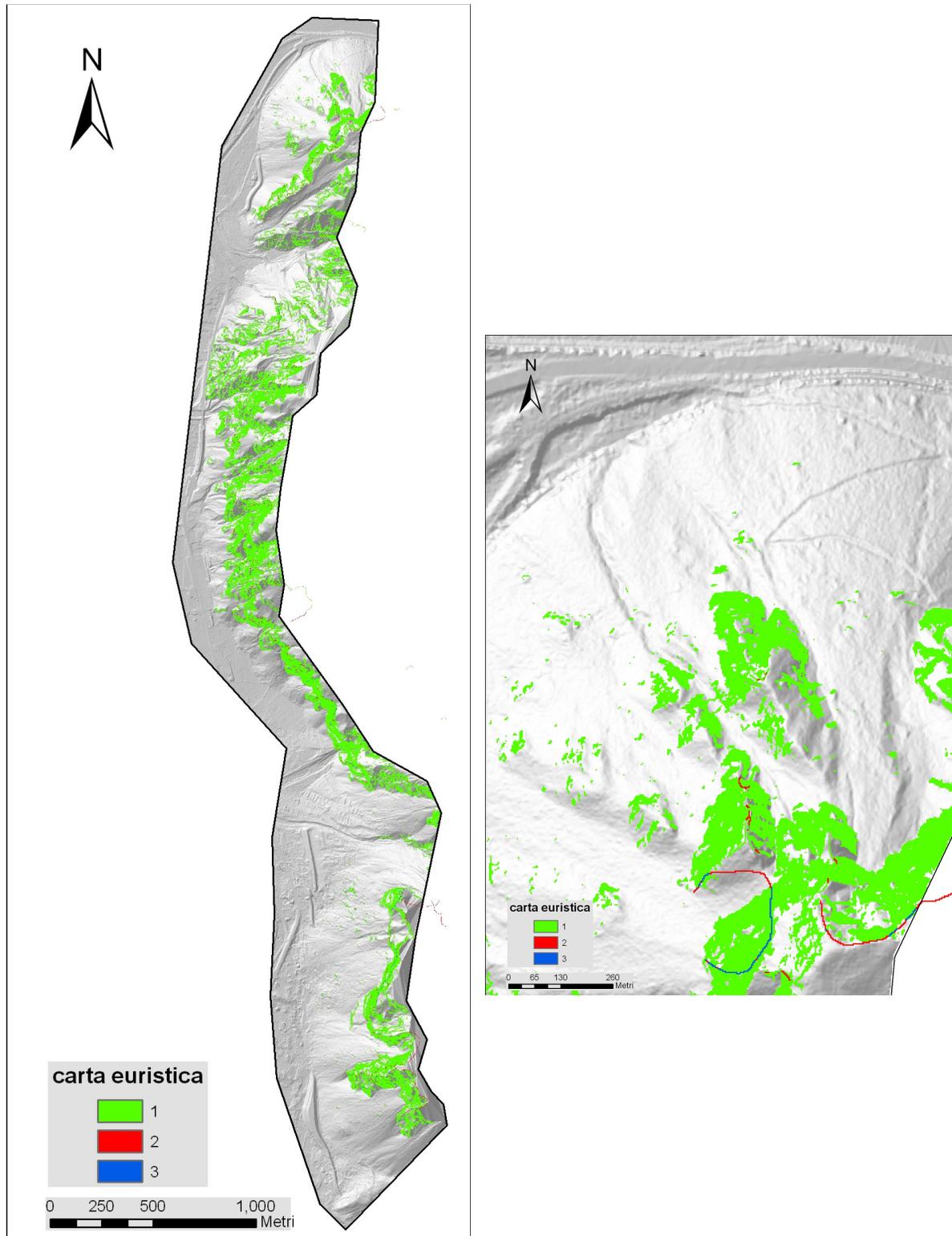
L'utilizzo di ambienti GIS per la realizzazione di tali carte è fondamentale in quanto permette di effettuare operazioni di sovrapposizione con estrema facilità.

Nella realizzazione della carta di suscettibilità con approccio euristico per l'area di Venzone sono stati considerati tre diversi fattori predisponenti:

- ✓ le sorgenti lineari di crollo che sono state mappate attraverso la fotointerpretazione e il LIDAR;
- ✓ le nicchie dei corpi di frana rappresentati nella carta geomorfologica. Questi sono stati mappati grazie alla fotointerpretazione, ai dati storici e a quelli raccolti sul campo;
- ✓ le sorgenti areali che sono state individuate riclassificando la carta delle pendenze e considerando solo i valori superiori a 50°.

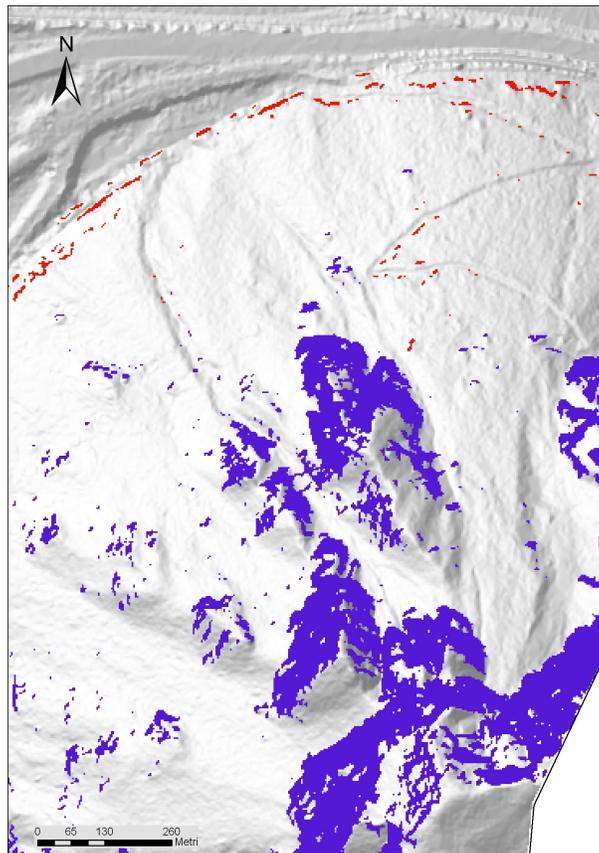
A ciascun fattore predisponente è stato assegnato il valore 1 e successivamente questi tre fattori sono stati sommati tramite *Raster Calculator* ottenendo così una mappa raster con valore 1, 2 o 3 in funzione di quanti fattori predisponenti sono presenti in quel pixel.

La carta così ottenuta è stata poi riclassificata assegnando ai precedenti valori 1,2 e 3 un peso corrispondente alla probabilità di innescò. Il valore 1 è stato riclassificato con una probabilità del 50%, il valore 2 con una probabilità del 75% mentre il valore 3 con una probabilità del 100%.



**Figura 6.14: carta della suscettibilità all'innesco ottenuta con approccio euristico e particolare del MonteSomp-Pave**

Per ottenere una carta significativa euristica quando si riclassificano le pendenze e si considerano solo quelle superiori al 50% bisogna eliminare i pixel poco significativi come quelli presenti lungo il bordo delle strade o lungo le opere in quanto non coincidono con aree di roccia affiorante. Tali pixel non devono essere considerati in quanto non potranno essere delle sorgenti di fenomeni da crollo ma sono legati alle imperfezioni del LIDAR. Per tale operazione la carta delle pendenze è stata convertita in vector, eliminati i pixel poco significativi, riconvertita in raster e infine utilizzata per realizzare carta di suscettibilità.



**Figura 6.15: In blu sono rappresentati i pixel utilizzati per realizzare la carta della suscettibilità mentre in rosso quelli che devono essere eliminati perché non coincidono con roccia affiorante.**

# 7 Modellazione della propagazione delle frane di crollo

Il crescente interesse per le conseguenze dei fenomeni di caduta massi in termini di danni a esseri umani e infrastrutture (centri abitati, strade, "lifelines") ha portato allo sviluppo di metodi e modelli predittivi sempre più complessi.

Le finalità applicative della modellazione della caduta massi sono:

- ✓ previsione delle traiettorie potenziali del blocco "di progetto" (blocco di dimensione massima o modale);
- ✓ previsione della massima distanza di espansione (runout), misurata a partire dal punto sorgente (nicchia di distacco) del blocco;
- ✓ calcolo dei parametri cinematici (posizione, velocità di traslazione e/o rotazione e altezza dalla topografia) e dinamici (energia cinetica) dei blocchi, e la loro distribuzione lungo il percorso di caduta;
- ✓ back analysis di eventi pregressi, finalizzata alla determinazione dei coefficienti di restituzione ed attrito per la calibrazione di modelli numerici in aree adiacenti o simili dal punto di vista geologico e geomorfologico.

I risultati della modellazione costituiscono il punto di partenza per la:

- ✓ definizione a scala regionale delle aree soggette a fenomeni di caduta massi, del massimo espansione dei fenomeni e della possibile interazione con gli elementi a rischio;
- ✓ progettazione a scala locale di opere di difesa passiva, quali riprofilatura del versante, barriere paramassi elastiche o elasto-plastiche, valli in terra sciolta o rinforzata, fossati e berme, gallerie paramassi;
- ✓ valutazione e zonazione, a scala regionale e locale, della pericolosità indotta da crolli.

I modelli predittivi proposti in letteratura differiscono per approccio (fisico-equivalente, empirico-statistico, matematico), assunzioni, dimensioni (2D e 3D) e formulazione fisico-matematica.

Nonostante siano stati proposti diversi codici di calcolo e algoritmi, pochi di questi sono tridimensionali. Perciò, occorrono nuovi modelli per simulare crolli in 3D

usando dati topografici, geologici e di uso del suolo sempre più disponibili per eseguire una modellazione spazialmente distribuita.

La dinamica di un crollo è funzione della posizione del punto di distacco, della geometria e delle proprietà meccaniche sia del blocco che del pendio. Teoricamente, conoscendo le condizioni iniziali, la geometria del pendio e le relazioni che descrivono la perdita di energia per impatto e rotolamento, dovrebbe essere possibile calcolare la posizione e la velocità di un blocco in qualsiasi istante. Ciononostante, quando si ha a che fare con pendii (naturali o artificiali), la maggior parte dei parametri rilevanti è difficile da accertare sia nello spazio che nel tempo, anche dopo che una frana si è verificata. Infatti, la forma, la dimensione e le proprietà geomeccaniche dei blocchi e l'esatta ubicazione delle aree sorgenti spesso non è ben nota. Inoltre, le caratteristiche geometriche e meccaniche della superficie del materiale possono variare di molto lungo un pendio. L'energia dei blocchi persa per impatto e rotolamento è funzione della rugosità del versante, delle proprietà geotecniche del versante (distribuzione della grana, indice dei vuoti, moduli elastici, contenuto d'acqua) e della forma e dinamica del blocco (velocità angolare e di traslazione, angolo di impatto). Le relazioni che legano la perdita di energia alle variabili differenti non sono chiaramente definite. Nella maggior parte dei casi, tutti gli effetti dovuti alla deformazione plastica del substrato e alla configurazione geometrica dell'impatto sono presi in considerazione dalle "funzioni di contatto" che riguardano la cinematica del blocco (in termini di velocità) o la sua dinamica (in termini di energia) prima e dopo l'impatto. Tali funzioni sono espresse come coefficienti di restituzione e di attrito, di solito considerati come costanti del materiale. Pfeiffer e Bowen (1989), e Jones et al. (2000) hanno sviluppato una gamma di funzioni relative ai coefficienti di restituzione alla velocità di impatto.

Sfortunatamente, tali funzioni sono empiriche e sono basate su specifici dataset ottenuti da misure in situ eseguite in differenti condizioni. Per questo la calibrazione dei coefficienti di restituzione non è semplice a causa della limitata informazione disponibile.

La predizione affidabile di un crollo è ulteriormente complicata dalla natura tridimensionale della geometria dei pendii reali, che cambiano lateralmente per la presenza di forre e canali, convessità e creste longitudinali, i quali influenzano le traiettorie e la partizione dell'energia cinetica in componenti traslative e rotazionali. Il più importante effetto tridimensionale è la presenza della "dispersione laterale", cioè

il rapporto tra la distanza laterale che separa le due estreme traiettorie di caduta e la lunghezza del pendio. La dispersione laterale è la deviazione delle traiettorie dalla direzione lungo cui il gradiente è più rigido.

Se si adotta un approccio bidimensionale la presenza della dispersione rende difficile scegliere a priori il percorso del crollo.

Quindi, una completa descrizione della topografia e un approccio probabilistico forniscono un'opportunità per modellare un maggior numero di impatti e di traiettorie che si considerano per la variabilità spaziale dei parametri e il rischio di traiettorie meno frequenti. Vale la pena sottolineare l'importanza del concetto di "evento inatteso" nella modellazione di crollo: gli eventi più pericolosi sono possibilmente quelli meno probabili, specialmente quando si considera una topografia 3D. Quindi, un approccio cosiddetto "conservativo" che considera solo la traiettoria di caduta più diretta qualche volta può essere inconcludente. Inoltre, l'influenza della topografia 3D diviene più rilevante quando la lunghezza del percorso di caduta aumenta, dato che l'errore dovuto alla variabilità dei parametri si propaga a causa del crescente numero di impatti e dei cambiamenti morfologici che il blocco incontra. Eventualmente, l'uso della modellazione 3D potrebbe essere fondamentale nell'affrontare diversi tipi di problemi di rischio, ossia: puntiformi (elementi singoli, aree ristrette), lineari (lifelines, strade) e areali (aree urbane, aree soggette a pianificazione). Questi problemi sono caratterizzati da una difficoltà crescente nella valutazione del rischio.

I problemi sopra citati sottolineano l'importanza di giungere ad un compromesso tra differenti approcci per la modellazione di crolli. Da un punto di vista teorico, algoritmi di modellazione efficaci possono includere fenomeni il più possibile legati ad un crollo adottando un contesto pienamente dinamico. Ciononostante, spesso sono convenienti algoritmi semplificati che usano approcci ibridi o cinematici, sia a causa degli aspetti computazionali che dell'incertezza che riguarda i parametri di modellazione. Un approccio probabilistico è quindi fondamentale nella simulazione di crollo, dato che la sua importanza dipende dalla quantità di caratterizzazione di ogni variabile coinvolta. Il movimento di caduta può esplicarsi secondo i moti gravitativi di caduta libera, rimbalzo, rotolamento e scivolamento. Il principio fondamentale che regola la caduta dei massi è comunque quello secondo il quale ogni blocco, soggetto ad un movimento su un pendio, rispetta, in ogni istante, la condizione di massima efficienza del moto. Di conseguenza sia le traiettorie compiute da un blocco, sia il

tipo di moto assunto durante il percorso sono quelli che determinano la minor perdita di energia cinetica. Per analizzare il movimento di caduta e tentare di individuare le aree maggiormente soggette a propagazione di massi si possono utilizzare diversi metodi che possono venir applicati per approssimare la situazione reale. Tali metodi possono essere suddivisi in due macrogruppi fondamentali: i modelli di tipo morfologico (o empirici) e i modelli fisicamente basati (o cinematici). I modelli morfologici sono essenzialmente indicati per la valutazione del massimo avanzamento dei massi, dipendono dalla topografia del versante e si basano su analisi statistiche eseguite su crolli storici. Rappresentativi di questo tipo di modello sono i metodi zenitali sviluppati da diversi autori (Onofri & Candian, 1979; Heinimann et al., 1998; Jaboyedoff & Labiouse, 2003). I modelli cinematici affrontano invece il problema della delimitazione del massimo avanzamento dei blocchi in modo analitico considerando la fisica del moto e le relative equazioni pur con qualche necessaria semplificazione. Sono basati su diversi algoritmi che descrivono le relazioni esistenti tra tipo di movimento (caduta, rimbalzo, rotolamento e scivolamento), energia del blocco e coefficienti di restituzione del versante. Tali modelli di simulazione, nonostante il numero necessariamente limitato di variabili introducibili e l'aleatorietà insita nella determinazione dei parametri del moto, hanno il vantaggio di consentire simulazioni che ricostruiscono il comportamento della frana determinando le traiettorie, le velocità e le energie cinetiche dei massi durante il loro moto di caduta. La stima di tali dati risulta, infatti, essenziale per la pianificazione del territorio e la progettazione di opere di difesa.

## 7.1 RocFall

La valutazione della pericolosità lungo un pendio può essere valutata tramite l'utilizzo di RocFall, un programma in 2 dimensioni basato sull'analisi statistica.

Questo programma utilizza un metodo di calcolo di tipo ibrido dove la massa dei blocchi viene considerata come puntiforme per le equazioni di moto e come dotata di dimensioni nel calcolo delle energie e dei coefficienti di restituzione lungo il pendio.

RocFall consente di analizzare in modo probabilistico le traiettorie e le energie prodotte dai massi durante la loro caduta. I parametri di calcolo (topografia, coefficienti di restituzione, volume del blocco roccioso) e la quantità di simulazioni eseguite, vengono fatti oscillare in un intervallo prestabilito.

La principale difficoltà consiste nel valutare i percorsi preferenziali dei blocchi di cui non si conoscono né le dimensioni né la forma. Quello che si può valutare è il comportamento medio, determinato attraverso la simulazione di un gran numero di casi. Queste simulazioni forniscono l'informazione relativa ad un percorso medio e più probabile tra tutti quelli fisicamente ammissibili.

I principali svantaggi di RocFall sono la difficoltà di interpolare i dati ricavati per i diversi profili e il fatto di non considerare la terza dimensione. La modellazione 2D ha anche dei vantaggi quale la facile implementazione del pendio considerato, la facile visualizzazione delle traiettorie di impatto e rimbalzo, la facilità con cui si possono simulare la presenza delle strutture difensive e la possibilità di eseguire modelli stocastici.

### 7.1.1 Applicazione di Rocfall nell'area di Venzone

Questo programma non è stato utilizzato su tutta l'area di studio ma solo su due settori. Il primo collocato all'estremo Nord dell'area corrispondente al Monte Somp-Pave e il secondo all'estremo Sud, in prossimità dell'abitato di Sottomonte e corrispondente al Clapon del Mai. Utilizzando ArcGIS, in entrambe le aree sono stati tracciati tre profili tenendo conto dei percorsi di discesa preferenziale dei blocchi. Per ciascun profilo sono stati campionati i valori di quota ogni 3 metri utilizzando l'estensione *Easy Profiler*. Per questa operazione bisogna innanzitutto specificare nel setting dell'estensione l'intervallo 3 metri e l'utilizzo di multiple layers, successivamente attraverso il comando *Get Profile Chart from Selected Polyline* si deve inserire il LIDAR così da considerare la quota.

Questa operazione deve essere effettuata per tutti i profili ottenendo per ciascuno di essi una tabella con le coordinate dei punti che costituiscono il profilo associate alla quota e alla distanza dall'origine del profilo. Se si rappresentano i punti rispetto alla distanza e alla quota si ottiene il profilo in due dimensioni che verrà importato in RocFall.

Prima di iniziare le modellazioni con RocFall si devono specificare i parametri da utilizzare nella simulazione. N sono:

- ✓ 1000 blocchi lanciati da ciascun segmento che costituisce la zona di distacco. I blocchi lanciati hanno la stessa probabilità e si utilizza un approccio casuale;
- ✓ il volume dei blocchi è posto pari a  $1,5 \text{ m}^3$ ;
- ✓ la velocità orizzontale di partenza è assunta pari a  $1,5 \text{ m/s}$  considerando una deviazione standard pari a  $0,1$ ;
- ✓ la densità della roccia è stata considerata pari a  $2100 \text{ kg/m}^3$ ;
- ✓ il coefficiente di restituzione normale,  $R_n$ , viene scalato in base alla velocità del blocco, considerando  $K=9,144 \text{ m/s}$ .

Si procede attribuendo i materiali e i relativi coefficienti di restituzione. Nel caso di studio sono stati considerati tre principali materiali quali la roccia calcarea, il talus vegetato e il rilevato.

	$R_n$	Deviazione Std	$R_t$	Deviazione Std	Phi	Deviazione Std
Roccia	0.55	0.055	0.99	0.099	28	2.8
Talus Vegetato	0.32	0.112	0.85	0.2975	20	7
Rilevato	0.3	0,105	0,8	0,28	25	8,75

**Valori dei coefficienti di restituzione normale,  $R_n$  e tangenziale,  $R_t$ , dell'angolo di attrito,  $\Phi$  e delle rispettive deviazioni standard per i tre materiali utilizzati nella simulazione.**

Il valore della deviazione standard è stato definito in base alla distribuzione dei punti di arresto in particolare è stato considerato il 10% dei valori assegnati alla roccia e il 35% di quelli attribuiti al talus vegetato e al rilevato.

Infine si selezionano i segmenti di distacco dei blocchi e si inizia la simulazione. Nel caso in esame è stata praticamente considerata l'intera parete rocciosa come sorgente di distacco dei blocchi.

Per ciascun profilo simulato vengono di seguito riportati i risultati della simulazione e i grafici che mostrano il numero di blocchi arrestati a una certa distanza.

### Profilo n°1

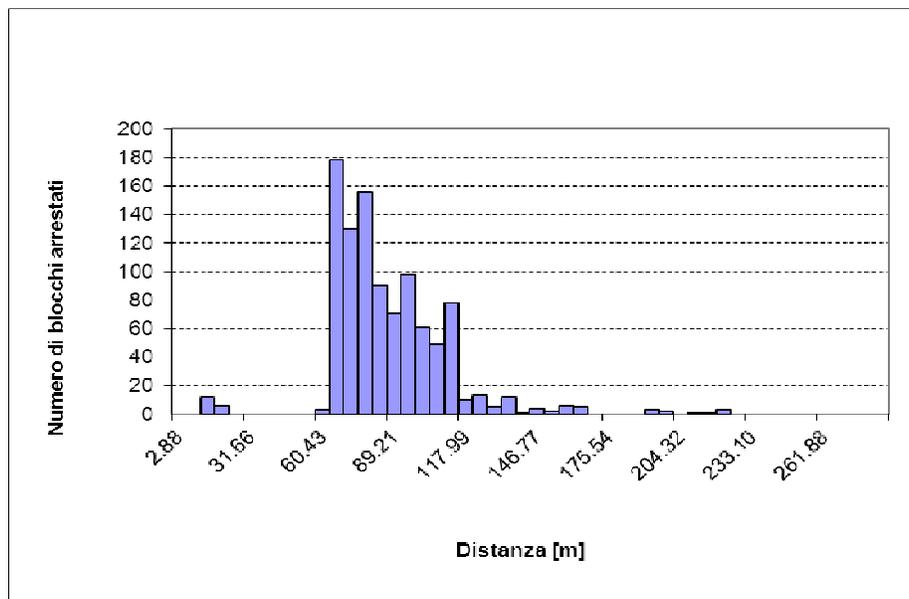
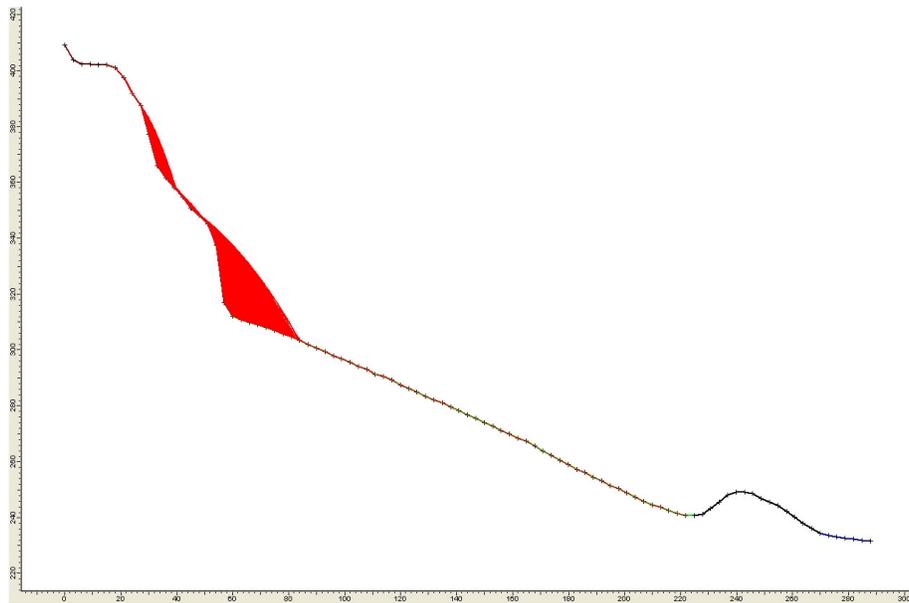


Figura 7.1: profilo degli scendimenti e grafico dei punti di arresto del profilo 1

## Profilo n°2

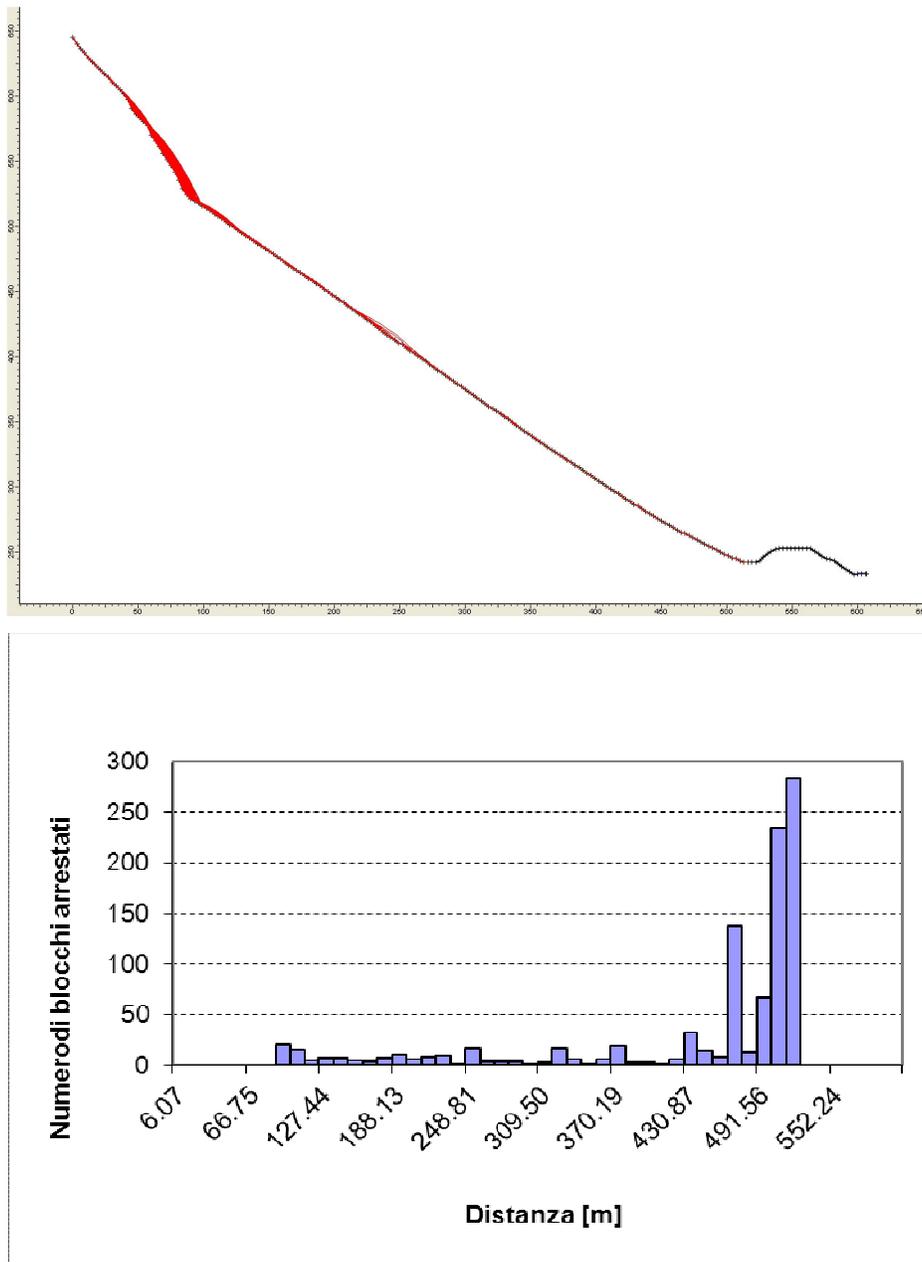


Figura 7.2: profilo degli scendimenti e grafico dei punti di arresto del profilo 2

### Profilo n°3

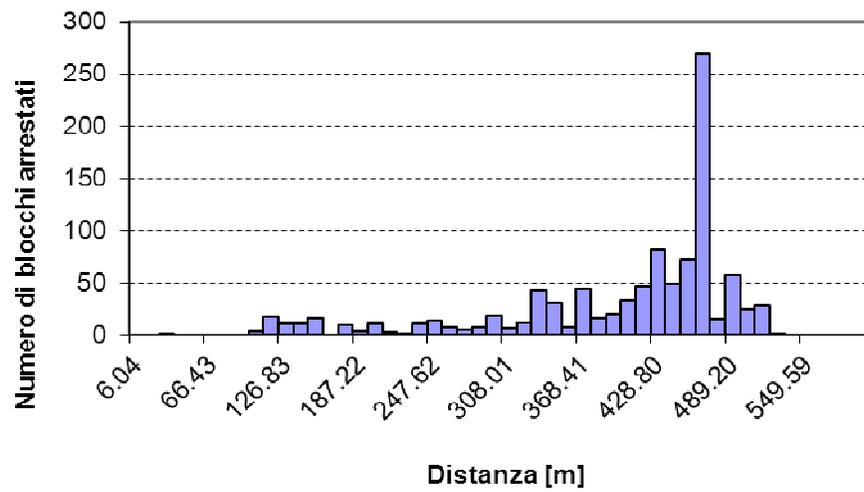
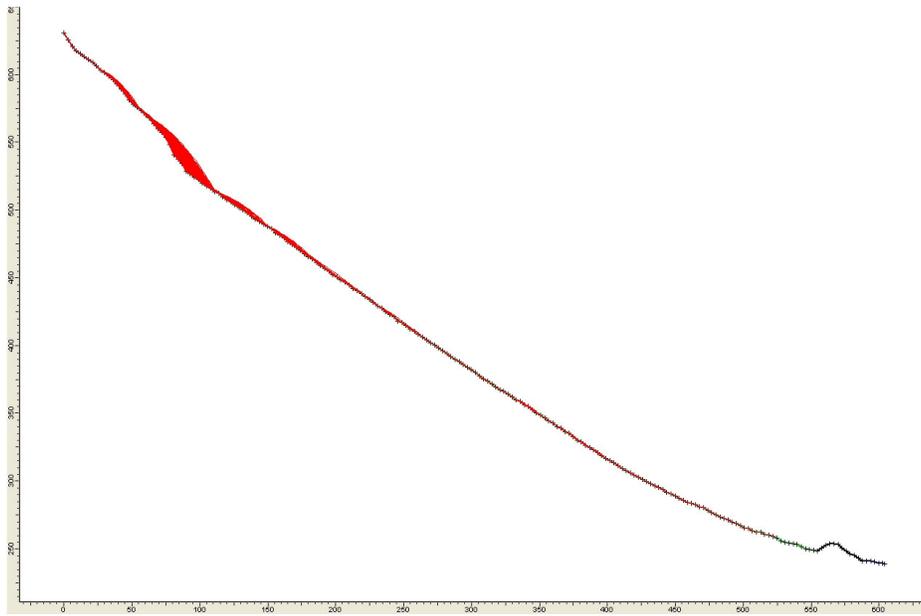


Figura 7.3: profilo degli scendimenti e grafico dei punti di arresto del profilo 3

### Profilo n°4

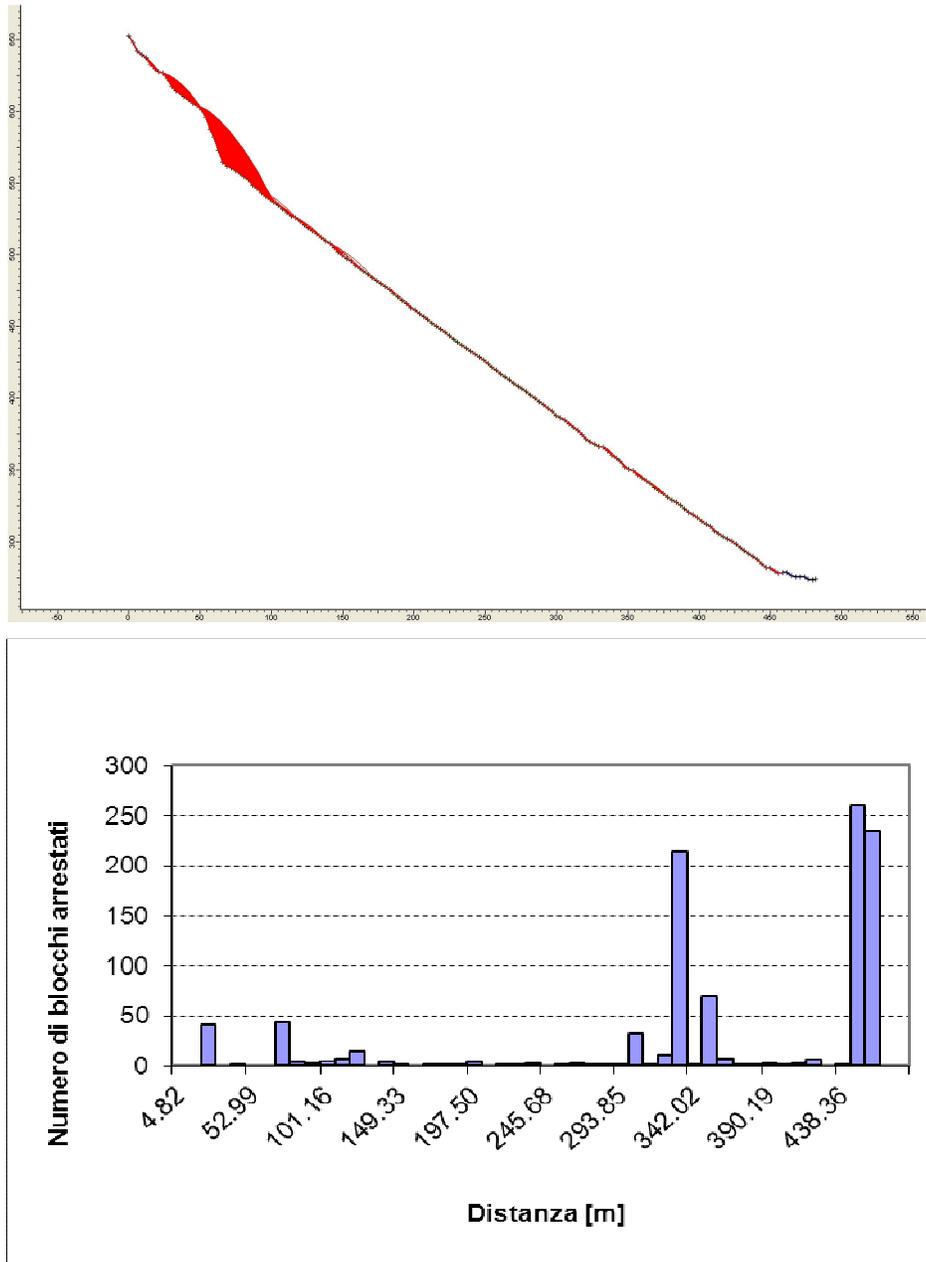


Figura 7.4: profilo degli scendimenti e grafico dei punti di arresto del profilo 4

### Profilo n°5

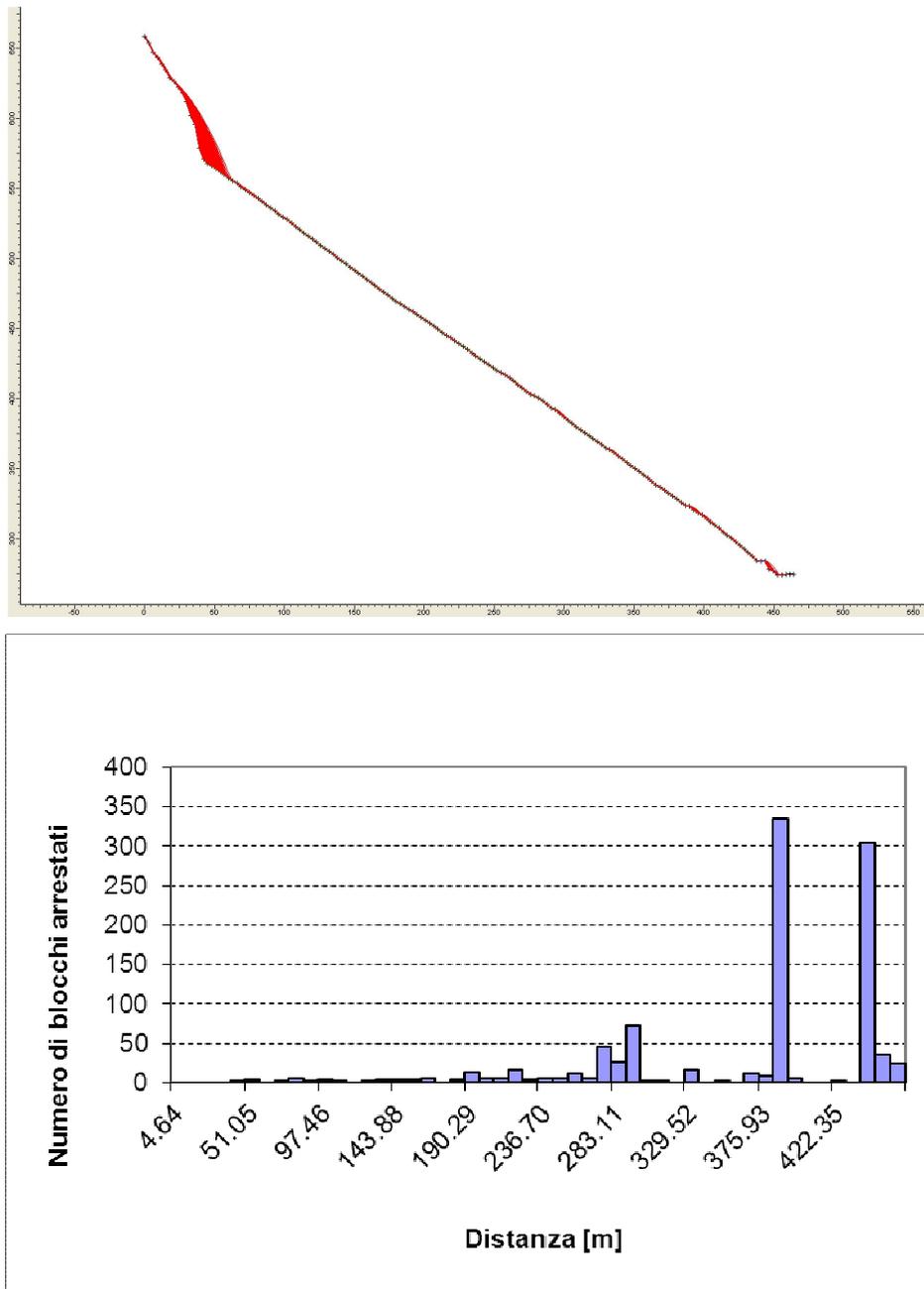


Figura 7.5: profilo degli scendimenti e grafico dei punti di arresto del profilo 5

### Profilo n°6

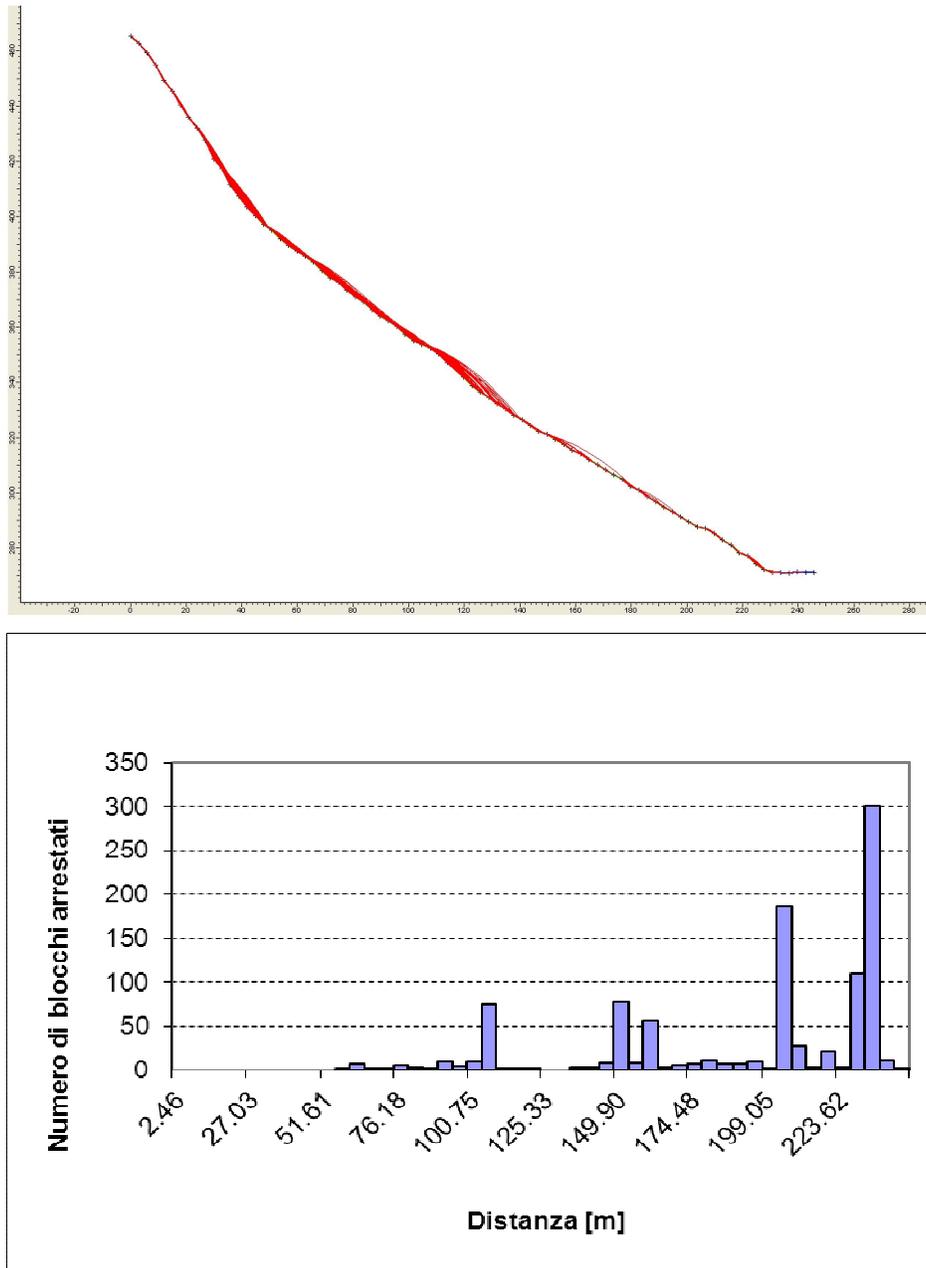


Figura 7.6: profilo degli scendimenti e grafico dei punti di arresto del profilo 6

Per ogni profilo può essere utile ricavare il punto corrispondente a una certa percentuale di arresto dei blocchi. Se si vuole ad esempio valutare la pericolosità attraverso la procedura RHAP bisogna trovare i punti corrispondenti al 70%, 95% e 100% degli arresti. A tale scopo in RocFall si estraggono i dati corrispondenti ai punti di arresto che verranno analizzati in excel. Si ottengono così il numero di blocchi che

si sono arrestati alle diverse distanze del profilo. Le distanze vengono espresse tramite le coordinate X e Y. I dati vengono ordinati per valori crescenti della coordinata X in modo da ricavare le coordinate e il numero dei blocchi arrestati corrispondenti alle varie percentuali di arresto che ci interessa conoscere.

## 7.2 Modelli empirici

I modelli empirici si basano sull'analisi statistica delle relazioni che intercorrono tra morfometria del versante e distanza di massimo espandimento dei blocchi, e consentono di determinare l'estensione del "cono d'ombra", ovvero dello spazio che sottende la distanza di arresto dei blocchi.

Dal punto di vista teorico, i metodi sono basati sui concetti di "linea di energia" e di "angolo di attrito equivalente" (Heim, 1932).

Il metodo dello scivolamento equivalente è stato proposto per la prima volta dal fisico Muller-Bernet nell'analisi a posteriori della frana di Elm (Heim, 1882; 1932). Il metodo permette di calcolare la velocità della massa in frana, tramite un modello cinematico bidimensionale di puro scivolamento su una successione di piani inclinati scabri (modello "a slitta"). Il modello simula il reale percorso della frana, desunto dalle osservazioni di compagna. Nell'applicazione di Muller-Bernet gli attriti dinamici attribuiti al sistema punto materiale-piano sono stati ricavati dall'inclinazione della congiungente il punto di massima quota della nicchia di distacco e il punto di massimo espandimento del corpo di frana a valle. Questa linea, detta "linea di energia", è stata successivamente utilizzata da Shreve (1968) per determinare il "coefficiente di attrito equivalente" della frana.

Heim (1932) riconobbe tramite osservazioni empiriche che la massima distanza percorribile da una frana è funzione dell'altezza di caduta, della regolarità del percorso e della massa del materiale mobilizzato. Se la massa scivola, il legame tra distanza raggiunta (L) e altezza di caduta (H) è dato dalla legge di attrito di Coulomb ( $H = \tan \alpha L$ ). Il valore di  $\tan \alpha$  ricavato viene utilizzato come "coefficiente di attrito equivalente" della frana ed assegnato a tutti i segmenti rettilinei, di inclinazione  $\beta_1$ , che discretizzano il versante. Ciò permette di calcolare la velocità della frana e le sue variazioni secondo la direzione longitudinale del versante. Il coefficiente di attrito equivalente che si ricava dalla "linea di energia" descrive il fenomeno in modo

fisicamente verosimile solo nel caso di crolli di volumi di roccia limitati (crolli in massa senza interazione con volumi inferiori a  $10^5 \text{ m}^3$  secondo Rochet, 1987).

Quando la linea di energia interseca la topografia i blocchi si fermano in quanto l'energia cinetica diventa nullo.

La perdita di energia dovuta al rimbalzo e al rotolamento dei blocchi sulla superficie è controllata da diversi fattori come la litologia, l'uso del suolo, i depositi superficiali, ecc. Inoltre, in caso di pareti verticali, l'altezza della parete controlla il cono d'ombra, in particolare si ha un aumento non lineare della massima distanza di propagazione con l'aumentare dell'altezza della parete. Per questo motivo alcuni autori hanno proposto valori del cono d'ombra a partire dalla base della parete e non dalla cima.

L'applicazione di questi concetti, tramite analisi statistica di osservazioni di campagna effettuate su un numero rappresentativo di casi reali, ha permesso a vari autori di ricavare i valori angolari di apertura del cono d'ombra in sezione e di suddividere lo stesso in zone caratterizzate da diversa probabilità di espansione.

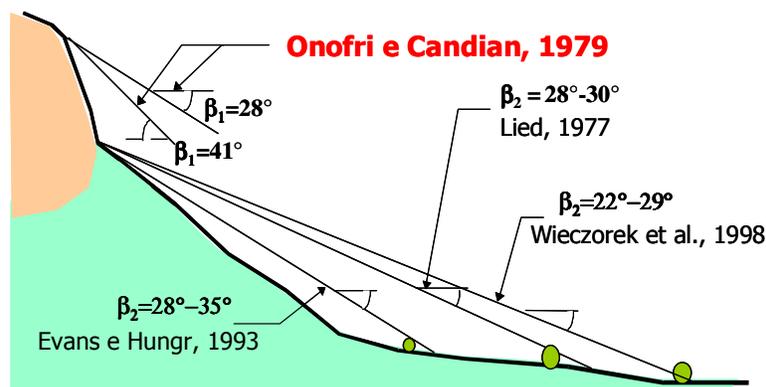


Figura 7.7: definizione del cono d'ombra secondo diversi autori.

Onofri e Candian (1979) hanno analizzato statisticamente i parametri L e H osservati in 98 frane di crollo (blocchi di volume compreso tra  $0.5$  e  $4 \text{ m}^3$ ) innescate dal terremoto del 1976 in Friuli. La corretta valutazione del parametro  $\beta_1$  richiede che la linea di energia sia tracciata congiungendo la nicchia di distacco e il punto di massimo espandimento relativi allo stesso evento. Ciò è spesso molto difficoltoso, specialmente nel caso di crolli frequenti e zone sorgenti estese. Onofri e Candian riportano valori di  $\beta_1$  compresi tra  $28^\circ$  e  $41^\circ$ . Essi hanno osservato il 50% degli arresti entro  $\beta_1 = 33.5^\circ$  e il 72% entro  $\beta_1 = 32^\circ$ . Gli autori hanno inoltre osservato che i valori di  $\beta_1$  seguono una distribuzione normale (gaussiana). La conoscenza della

distribuzione statistica dell'angolo  $\beta_1$ , valida in contesti morfoclimatici simili a quelli in cui tale distribuzione è stata definita, consente di costruire un “cono d'ombra” nel quale la probabilità che tutti i blocchi si arrestino è nota.

Il cono d'ombra dipende da diversi fattori che controllano la dissipazione dell'energia a causa del rimbalzo e del rotolamento dei blocchi sulla superficie, quali ad esempio la litologia, l'uso del suolo, la copertura del suolo, ecc.

Evans e Hungr (1993) hanno proposto un approccio che definisce un angolo di massimo espandimento detto “angolo d'ombra minimo” ( $\beta_2$ ) definito dall'inclinazione della retta che congiunge l'apice del talus (e non la zona di distacco) col blocco più lontano. Secondo questi due autori il valore medio di  $\beta_2$ , ricavato dalle analisi effettuate in 16 località in British Columbia (Canada), è 27.5°. Per Evans e Hungr l'energia cinetica acquistata dal corpo nella fase di caduta libera viene dissipata in larga misura durante i primi impatti alla base della parete rocciosa. In questo modo, indipendentemente dall'altezza di caduta ogni frammento inizia a rotolare sul pendio detritico, e la sua distanza finale di espandimento si ricava in modo approssimato proiettando dall'apice del talus la pendenza corrispondente al coefficiente di attrito al rotolamento.

La modellazione della caduta massi nell'area oggetto di studio con l'approccio del “cono d'ombra” è stata condotta col software Conefall utilizzando gli angoli proposti da Onofri e Candian.

### 7.2.1 Conefall

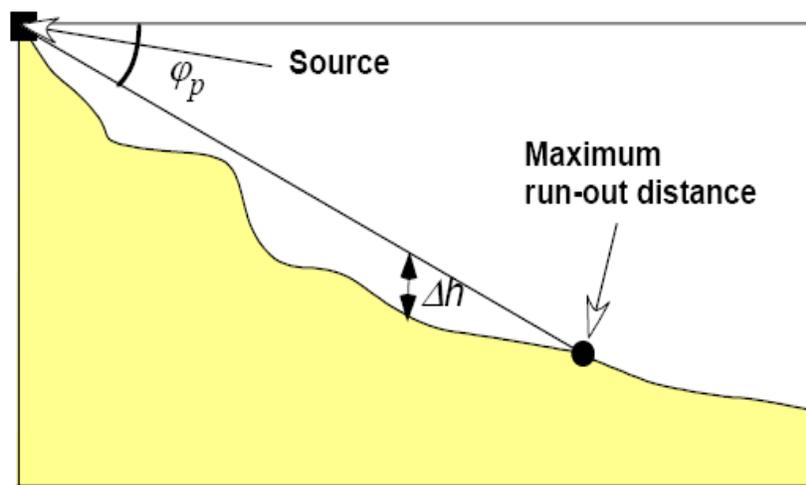


Figura 7.8: relazione tra  $\varphi_p$  e la distanza massima di espandimento

Il programma Conefall (Jaboyedoff e Labiouse,2003) permette di definire il potenziale di propagazione dei blocchi che si possono staccare dalle aree sorgenti.

Il programma si basa sul concetto del cono d'ombra e su metodi geometrici semplici infatti il blocco si propaga se il pendio è sufficientemente ripido. Fisicamente il programma considera che se il pendio è più ripido dell'angolo  $\varphi_p$ , il blocco accelera, se è più basso decelera. Il metodo dei coni si basa sulla definizione della distanza massima di percorrenza dei blocchi che si staccano dalle aree sorgenti. Il blocco percorre una distanza che è proporzionale all'angolo d'inclinazione del pendio. L'angolo orizzontale tra la linea del punto di arresto e il punto sorgente non supera in genere un angolo limite  $\varphi_p$ , il cui range è compreso tra 27-38°, che dipende dal modo in cui vengono definite le aree sorgente. Questo angolo definisce una zona potenziale di propagazione corrispondente ad un cono per ogni singolo pixel sorgente. I diversi pixel generano una superficie corrispondente all'involuppo dei coni (massimo valore di tutti i coni) di tutte le aree sorgenti che contribuiscono al valore medio di altezza. Utilizzando queste superfici e le altezze topografiche si possono effettuare delle stime relative all'energia cinetica o alla velocità. La velocità media dei blocchi è funzione della differenza di altezza  $\Delta h$  tra il cono e la topografia. Questa differenza di altezza  $\Delta h$  è proporzionale all'energia cinetica che può essere acquisita dal blocco durante la caduta secondo la seguente relazione:

$$\Delta h = \frac{v^2(x)}{2g}$$

Dove  $g$  è l'accelerazione di gravità.

La velocità traslazionale si può stimare attraverso la formula:

$$v_{trans}(x) = f_v \sqrt{2g\Delta h}$$

Nel programma è possibile definire una direzione preferenziale delle traiettorie delle cadute, ovvero si può settare un angolo  $\omega$  che va da 0 a 360°. Questo angolo rappresenta la direzione (azimuth) di propagazione rispetto al N e quindi definisce i limiti laterali del cono. (figura). Nella modellazione effettuata sull'area di studio tale

angolo non è stato settato ma è stata utilizzata l'opzione *No limit Angle* in modo da permettere al blocco di propagarsi in qualsiasi direzione.

Un altro angolo che il programma permette di inserire è l'angolo di apertura del cono  $\pm\alpha$ . Per utilizzare correttamente tale angolo i pixel delle sorgenti devono contenere l'informazione relativa all'esposizione. A tale scopo le sorgenti vengono intersecate con l'aspect, per effettuare tale operazione in ArcGis si è utilizzata la funzione Extract by mask ponendo come file di input la carta dell'esposizione, l'aspect, e come maschera le sorgenti in formato raster.

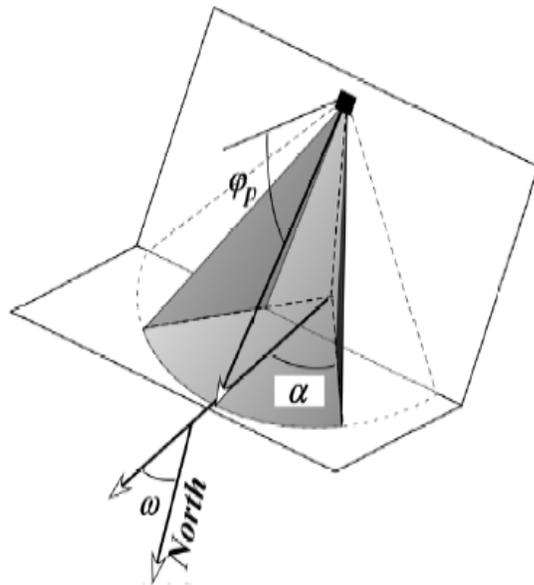


Figura 7.9: definizione dell'angolo del cono  $\varphi_p$ , della direzione del cono  $\omega$  e del range di apertura  $\pm\alpha$

## 7.2.2 Applicazione di Conefall nell'area di Venzone

Il programma utilizza come file di input il modello digitale del terreno (DEM) e il file delle sorgenti di crollo. Questi devono avere la stessa estensione e devono essere forniti in formato GridAscii.

Per quanto riguarda il modello digitale del terreno è stato utilizzato il LIDAR a 45° con dimensione della cella pari a 3m. Come file delle sorgenti sono state utilizzate sia le sorgenti lineari ricavate dalla fotointerpretazione che le sorgenti areali ottenute considerando la pendenza superiore al 50%.

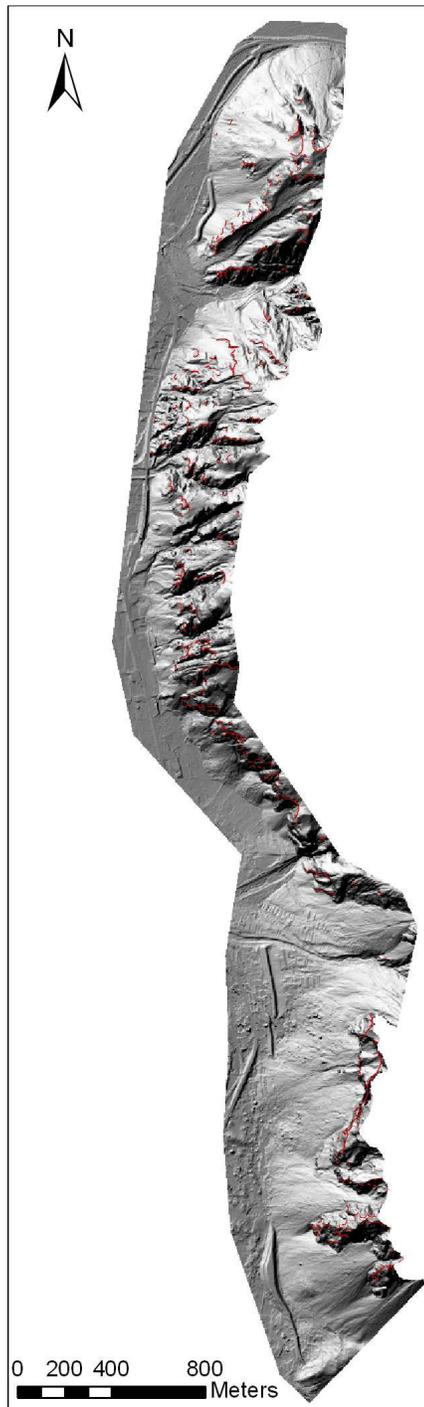
Gli angoli del cono  $\varphi_p$  utilizzati per la modellazione sono 28° e 33,5°, ovvero gli angoli ricavati da Onori e Candian sulla base delle analisi statistiche della

propagazione dei blocchi causati dal terremoto del 1976 in Friuli. All'angolo di apertura orizzontale del cono  $\pm\alpha$  è stato assegnato un range di  $\pm 15^\circ$ .

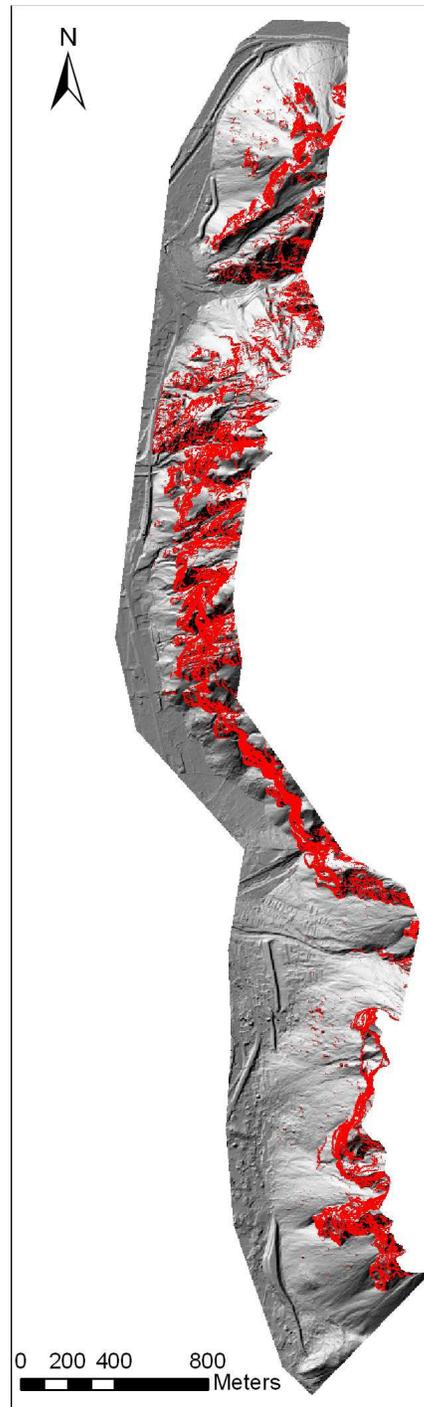
I risultati ottenuti utilizzando Conefall sono diversi:

- ✓ la frequenza di transito dei blocchi (count);
- ✓ la velocità traslazionale media o massima in m/s, specificando il fattore di moltiplicazione  $f_v$ , che per l'area di studio è stato mantenuto pari a 1;
- ✓ l'energia cinetica totale media e massima in kJ, specificando la massa del blocco in kg.

Per il calcolo della massa è stato considerato il volume medio calcolato con il metodo degli outlier con coefficiente di 1,5. Per l'area di studio il volume medio è risultato essere pari a  $1,5\text{m}^3$  e considerando una densità della roccia pari a  $2600\text{ kg/m}^3$  si ottiene una massa di  $3900\text{kg}$ .

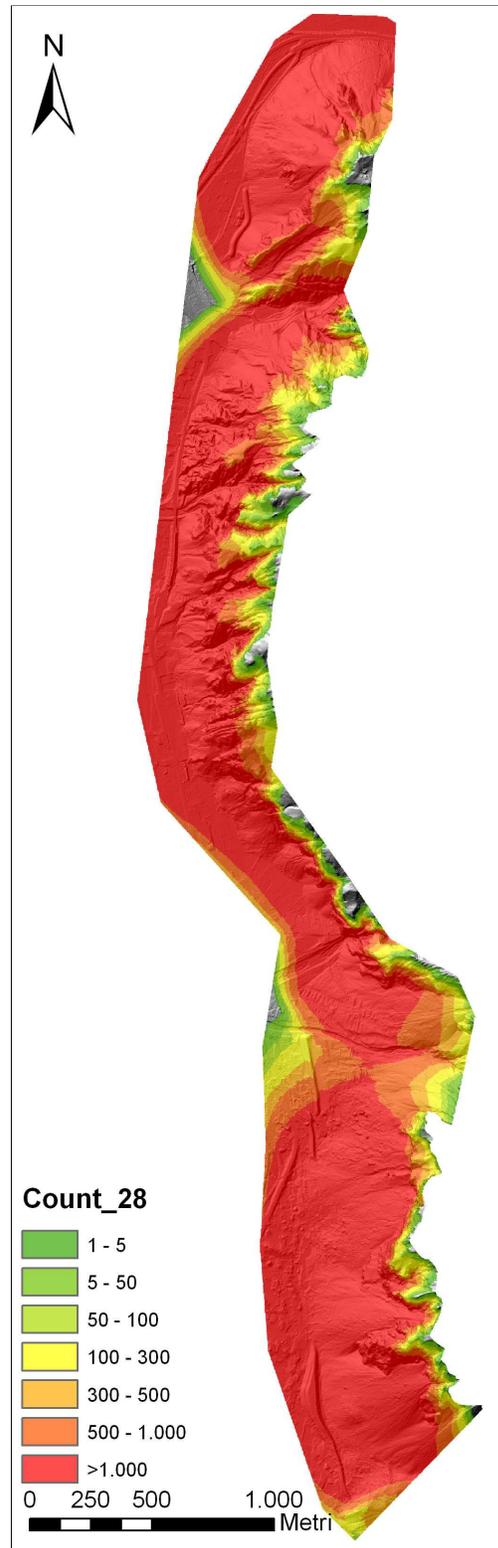
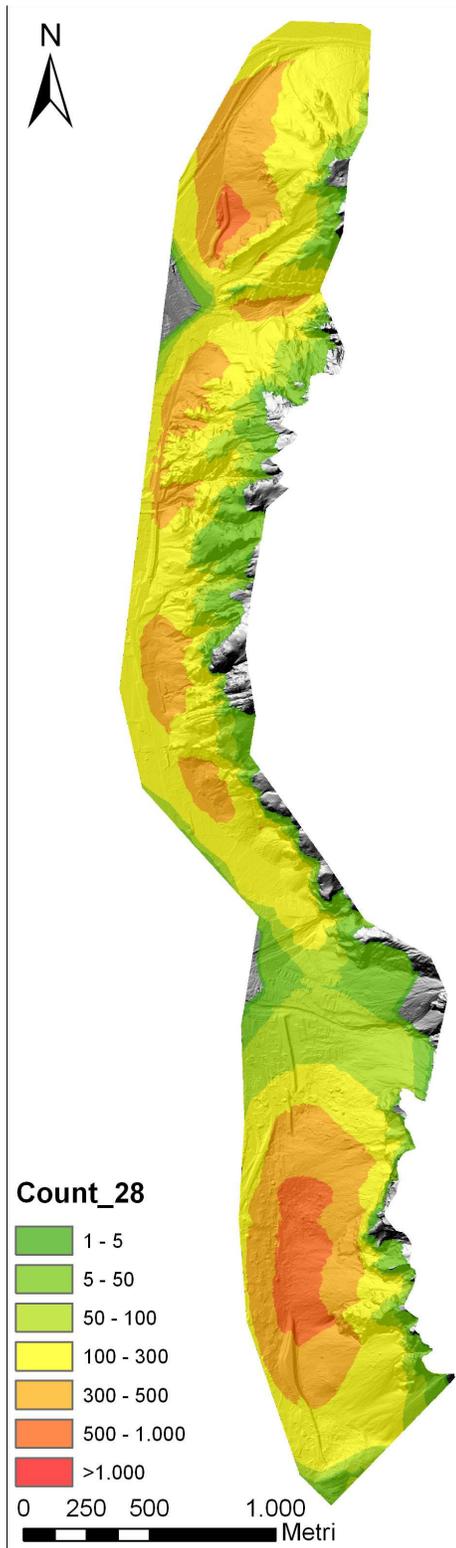


SORGENTI LINEARI



SORGENTI AREALI

Figura 7.10: confronto della diversa tipologia di sorgenti



COUNT CON ANGOLO 28° E SORGENTI

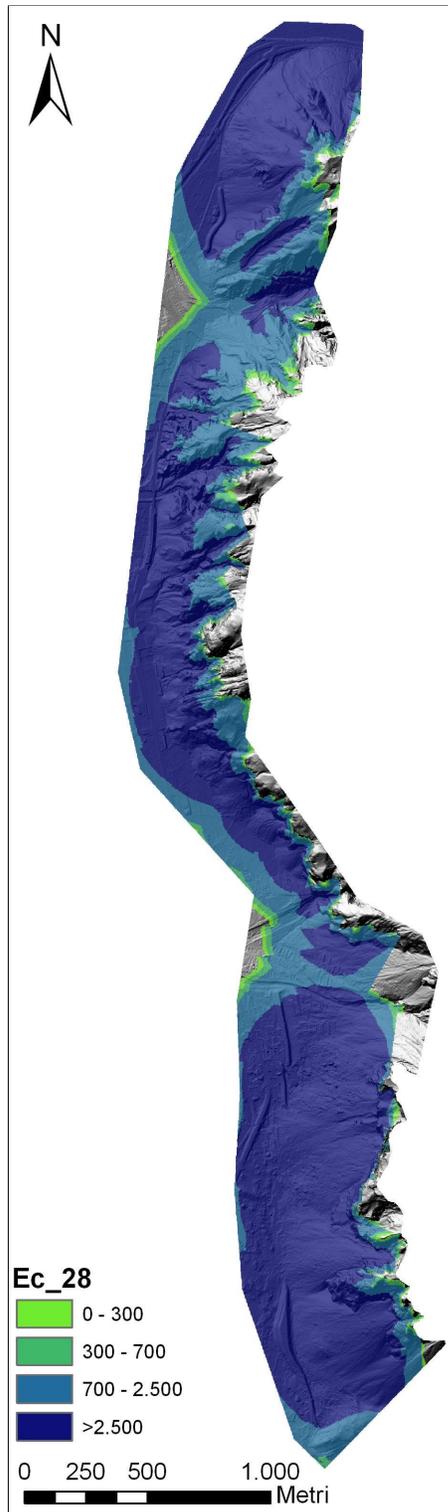
LINEARI

COUNT CON ANGOLO 28° E SORGENTI

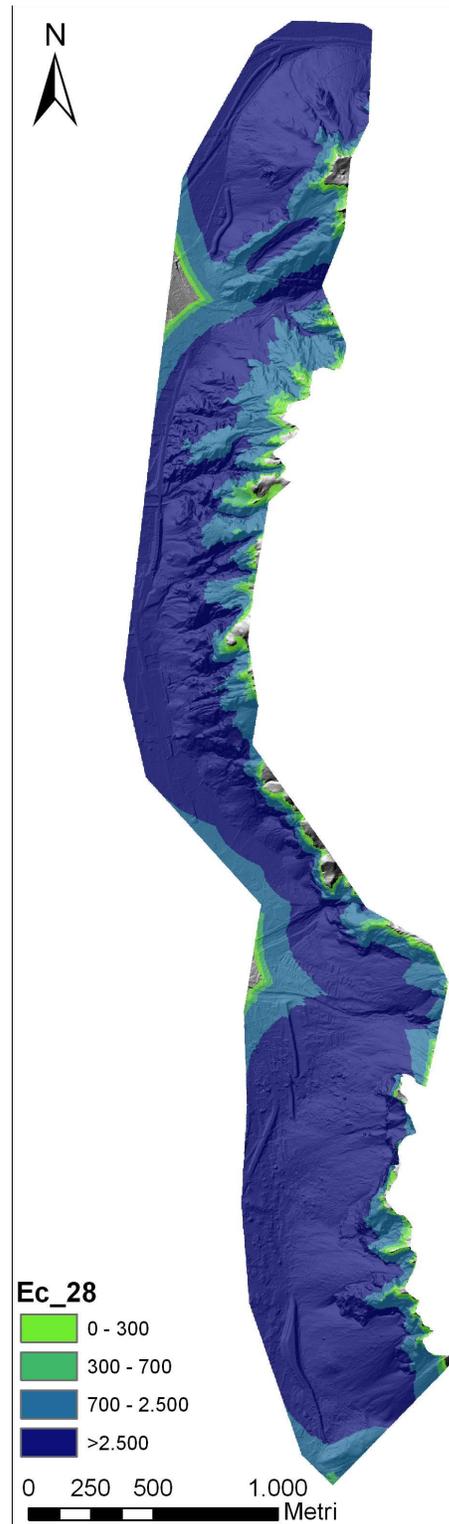
AREALI

**Figura 7.11: confronto del count ottenuto con lo stesso angolo (28°) ma variando la tipologia di sorgente**

Dal confronto delle sorgenti si può notare che le sorgenti areali sono molte più numerose di quelle lineari questo causa delle notevoli differenze anche nella mappa delle frequenze di transito. Dal confronto delle mappe del count eseguite con un angolo di  $28^\circ$  usando i due tipi di sorgenti si può, infatti, osservare che i valori predominanti nel caso di sorgenti lineari sono compresi tra 100 e 500 mentre nel caso delle sorgenti areali superano i 1000. Occorre specificare che questi valori non sono riferiti al numero di blocchi che transitano per ciascuna cella del DEM come nel caso di Hy\_Stone, ma indicano il numero di celle contribuenti, quindi un "proxy" della probabilità di propagazione.



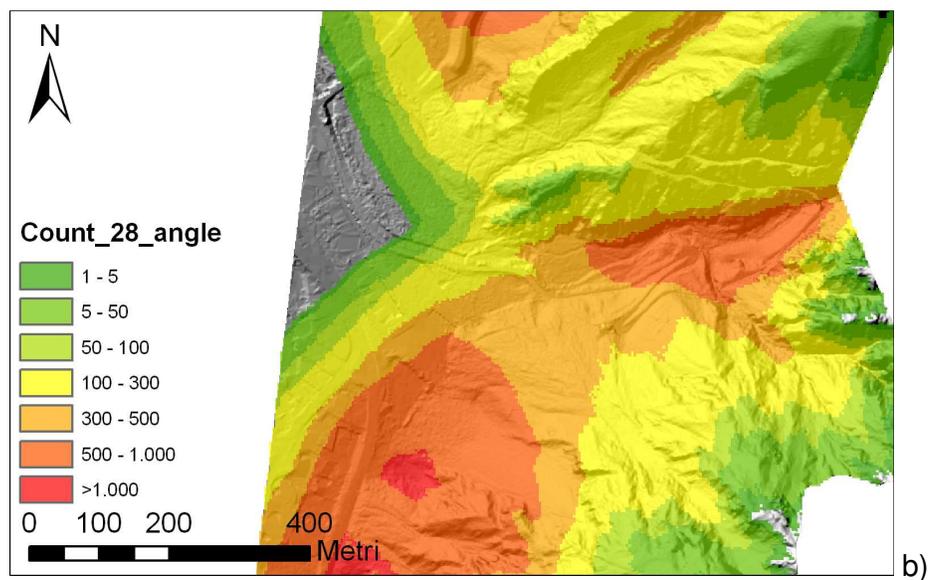
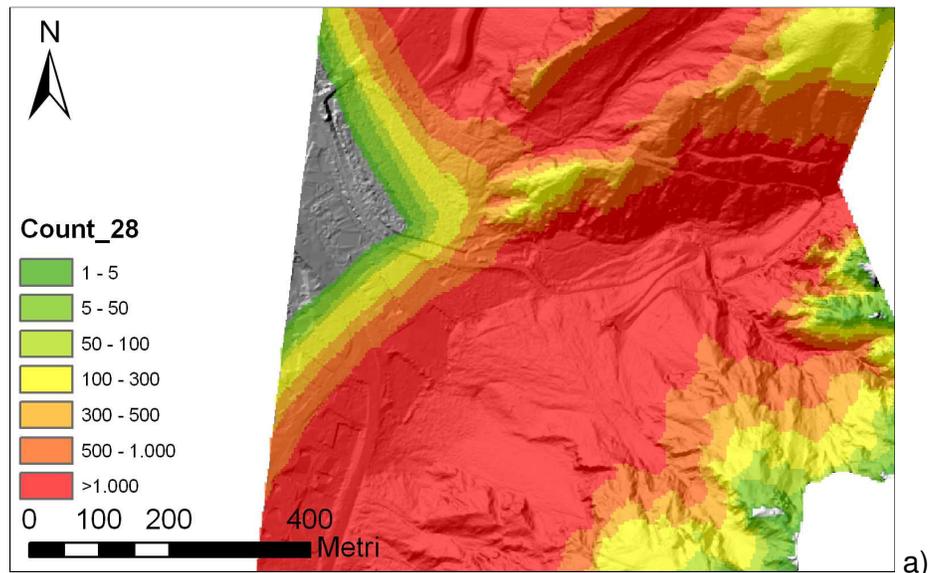
ENERGIA CINETICA CON ANGOLO 28° E  
SORGENTI LINEARI

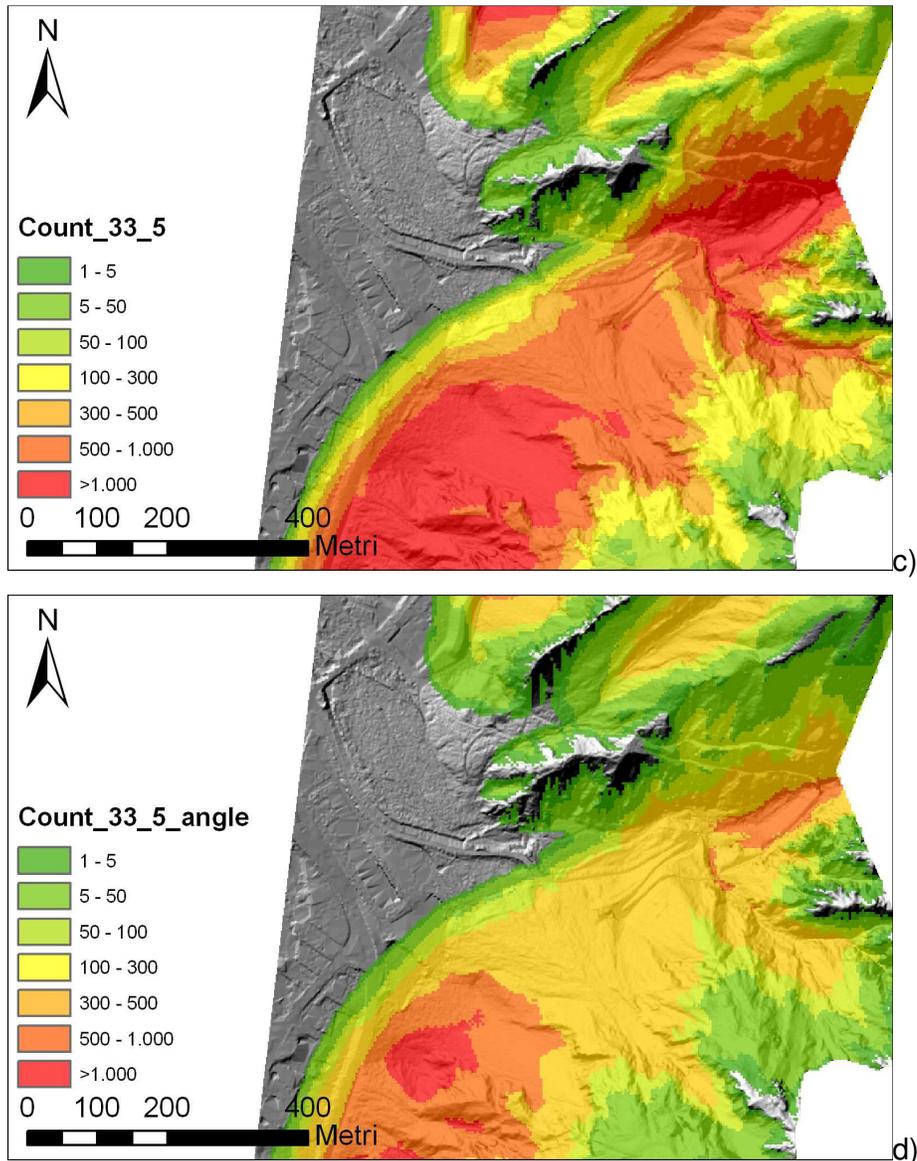


ENERGIA CINETICA CON ANGOLO 28° E  
SORGENTI AREALI

**Figura 7.12: confronto dell'energia cinetica ottenuto con lo stesso angolo (28°) ma variando la tipologia di sorgente**

Osservando le mappe dell'energia cinetica, sempre eseguite con un angolo di  $28^\circ$  e per le due tipologie di sorgente si può notare che i valori predominanti in entrambe le mappe sono superiori ai 2500 kJ. Per quanto riguarda l'energia non c'è dunque una differenza così evidente utilizzando sorgenti lineari o areali come nel caso del count.





**Figura 7.13: a) count con angolo di apertura del cono di 28°; b) count con angolo di apertura del cono di 28° e range di 15°; c) count con angolo di apertura del cono di 33,5°; d) count con angolo di apertura del cono di 33,5° e range di 15°;**

Per l'area di studio è stato indagato, anche, l'effetto dovuto alla presenza o meno dell'angolo di apertura orizzontale del cono  $\pm\alpha$ , è stato considerato un range di  $\pm 15^\circ$ . Dal confronto dei risultati si può notare che i modelli in cui si impone un range di apertura del cono  $\pm 15^\circ$  sembrano più realistici rispetto a quelli senza vincoli. In quest'ultimi infatti il cono risulta troppo esteso. In generale si può affermare che l'applicazione del metodo del cono d'ombra nell'area di Venzone fornisce dei buoni risultati in quanto sono stati adoperati gli angoli di apertura del cono proposti e tarati da Onofri e Candian (1979) proprio nell'area di Venzone.

## 7.3 Modelli matematici

I modelli matematici simulano il moto dei blocchi lungo un versante in un contesto bidimensionale o tridimensionale implementando in specifici algoritmi risolutivi le equazioni cinematiche e dinamiche relative ai diversi tipi di moto. I modelli di calcolo proposti in letteratura possono essere classificati in base all'approccio matematico, alle leggi fisiche utilizzate e alle assunzioni introdotte.

I modelli matematici più semplici considerano il blocco come un punto materiale nel quale la massa del corpo è concentrata. I modelli di questo tipo permettono di simulare moti di caduta libera, impatto-rimbalzo, rotolamento e scivolamento utilizzando equazioni orarie, che esprimono la posizione del punto materiale, la sua velocità ed accelerazione rispetto al tempo, secondo un approccio di tipo cinematico nel quale il legame tra le forze in gioco e i parametri del moto non è considerato esplicitamente. La massa e il momento di inerzia dei corpi, che esprimono tale legame rispettivamente per moti di traslazione e rotazione, non compaiono infatti nelle equazioni cinematiche. Inoltre, poiché il blocco è descritto come un punto privo di dimensioni finite, non è possibile includere nella modellazione i moti di rotazione del corpo attorno al centro di massa e il relativo contributo all'energia cinetica totale. L'energia cinetica può essere calcolata a posteriori introducendo la massa ai soli fini del calcolo dell'energia cinetica traslazionale dei singoli blocchi.

I modelli cinematici permettono di simulare la dissipazione di energia cinetica in corrispondenza degli impatti tramite "funzioni di contatto" semplificate, ovvero i coefficienti di restituzione normale ( $e_n$ ) e tangenziale ( $e_t$ ) in termini di velocità. Questi coefficienti permettono di descrivere empiricamente il lavoro di deformazione, gli effetti di attrito e i moti di rotazione istantanei che si verificano in un impatto. Il comportamento tenso-deformativo dei corpi a contatto non può essere descritto, dal momento che il corpo non ha dimensioni finite. Quando il punto materiale entra in contatto col versante, la componente normale della velocità viene ridotta di un fattore  $e_n$ . Allo stesso modo, la velocità tangenziale viene ridotta di  $e_t$ . Analogamente, i modelli cinematici descrivono i moti di rotolamento secondo un approccio cinematico, simulando lo "scivolamento equivalente" tramite un coefficiente di attrito dinamico al rotolamento ( $\tan\phi_r$ ).

I modelli cinematici presentano importanti limitazioni dal punto di vista teorico, a vantaggio di una maggiore efficienza computazionale, che permette di eseguire un

elevato numero di simulazioni in breve tempo e facilita l'implementazione di un approccio probabilistico. Inoltre, questi modelli operano utilizzando pochi e semplici parametri di ingresso. Ciò semplifica la calibrazione dei modelli, che costituisce la fase più importante dell'intero processo di modellazione.

Modelli più sofisticati sono stati proposti per simulare il comportamento di blocchi indeformabili di dimensione e massa finite, caratterizzati da una forma semplice (sfera, disco, cilindro) o complessa (ellissoide, forma qualsiasi) tramite le leggi della dinamica del corpo rigido. I modelli dinamici simulano i moti di rotazione e il relativo contributo in termini di energia, e forniscono una descrizione completa dei fenomeni di impatto, rimbalzo e rotolamento ("puro" o costituito da una successione di rimbalzi ravvicinati).

I modelli dinamici permettono una modellazione deterministica rigorosa. D'altra parte, essi si prestano con difficoltà all'utilizzo di un approccio probabilistico, a causa della notevole complessità computazionale introdotta dalla descrizione fisica. Inoltre un corretto utilizzo dei modelli dinamici implica la caratterizzazione di un elevato numero di parametri (caratteristiche meccaniche del corpo e del substrato, forma del corpo, ecc.) spesso difficili da acquisire in pratica e che, in ogni caso, introducono ulteriore incertezza nella modellazione di fenomeni già in buona parte "stocastici". La necessità di introdurre una componente stocastica nella modellazione rende vantaggioso, in campo applicativo, l'utilizzo di modelli cinematici, mentre i modelli dinamici possono fornire un contributo importante nella modellazione di aspetti dinamici specifici quando sono disponibili dati di estremo dettaglio su singoli blocchi e sulle caratteristiche geotecniche di porzioni localizzate di versanti instabili.

L'introduzione di un approccio dinamico semplificato ha portato allo sviluppo di modelli ibridi. Tali modelli utilizzano un approccio cinematico nelle fasi di caduta lineare e, talora, per la descrizione dello scivolamento, mentre le equazioni dinamiche simulano i fenomeni di impatto e rotolamento. I modelli ibridi permettono di ottenere simulazioni fisicamente rigorose senza tendere eccessivamente pesante il calcolo. In questo modo è possibile effettuare un gran numero di simulazioni per ogni caso di studio, introducendo una componente stocastica.

La modellazione numerica di caduta massi deve affrontare difficoltà legate a:

- ✓ geometria tridimensionale dei versanti naturali. La presenza di canali, creste concavità e convessità implica una serie di effetti meccanici (dissipazione dell'energia e direzioni di rimbalzo "fuori piano", problemi nella simulazione del rotolamento, ecc.) che aumentano l'incertezza dei risultati e possono rendere inaffidabile una modellazione bidimensionale;
- ✓ aleatorietà e variabilità spaziale dei parametri in gioco (geometria del pendio, rugosità del versante e microtopografia, parametri cinematici e dinamici del blocco e del versante) che rendono necessario un approccio spazialmente distribuito con componenti stocastiche;
- ✓ conoscenza limitata dei fenomeni di impatto e delle leggi che descrivono la dissipazione di energia durante lo stesso;
- ✓ difficile descrizione del rotolamento, che nella realtà non è un moto puro, ma risulta dal concorso di fattori complessi necessariamente semplificati in fase di modellazione;
- ✓ scelta delle condizioni che determinano la transizione tra diversi cinematismi;
- ✓ fenomeni complessi (frammentazione del blocco all'impatto, proiezione di schegge) difficilmente modellizzabili;
- ✓ difficoltà di calibrazione dei modelli;
- ✓ difficoltà nella definizione del "blocco di progetto".

Infine, è molto importante anche l'integrazione tra algoritmi di simulazione della caduta massi e ambienti GIS. Questi hanno potenzialità praticamente illimitate nella gestione dell'informazione geografica (topografia, caratteristiche dei materiali costituenti i versanti, ubicazione delle zone sorgenti). Di conseguenza, l'integrazione operativa tra GIS e modelli di simulazione può fornire uno strumento insostituibile per una modellazione spazialmente distribuita e "multiscala" dei crolli in roccia.

### **7.3.1 Il codice Hy\_Stone**

Hy\_Stone (Crosta et al., 2004; Frattini et al., 2008; Agliardi et al., 2009) è un codice di calcolo che permette di simulare il moto di blocchi rocciosi non interagenti in un sistema di riferimento tridimensionale, utilizzando un modello digitale del terreno (DTM) per descrivere la topografia del versante. Il codice utilizza un algoritmo di tipo ibrido in grado di simulare in modo cinematico il moto parabolico ed in modo

dinamico i processi di rotolamento ed impatto. La perdita di energia ad impatti successivi è descritta tramite coefficienti di restituzione (normale e tangenziale,  $e_n$  ed  $e_t$ ), mentre la perdita di energia per rotolamento è descritta tramite un coefficiente di attrito dinamico al rotolamento ( $\tan\phi_r$ ). Il blocco è descritto da una forma geometrica solida (sfera, disco o cilindro) dotata di un certo volume e di una certa massa. Il modello è quindi in grado di simulare il moto di rotazione (Crosta et al., 2004). Il codice consente, inoltre, ove ritenuto necessario, la simulazione della presenza della vegetazione, di opere di difesa, dei processi di frammentazione dei blocchi. Per incorporare nel modello l'incertezza dei parametri e la loro variabilità spazio-temporale è possibile effettuare simulazioni di tipo stocastico, lanciando più blocchi da ogni area sorgente e variando alcuni parametri secondo una certa distribuzione di probabilità all'interno di un certo range stocastico (con un approccio pseudo-casuale) specificato nel file dei parametri (stone.par).

#### **7.3.1.1 Dati di ingresso**

Il codice Hy\_Stone necessita dei seguenti dati di ingresso, codificati in griglie raster caratterizzate dalla stessa dimensione e risoluzione:

- un DEM (Digital Elevation Model), che costituisce una rappresentazione discreta della topografia;
- una griglia contenente la localizzazione delle sorgenti potenziali di crolli. Ogni cella è caratterizzata da un attributo numerico che la qualifica come "sorgente" e specifica il numero di blocchi che devono essere lanciati;
- due griglie contenenti, rispettivamente, i valori dei coefficienti di restituzione normale ( $e_n$ ) e tangenziale ( $e_t$ ) definiti cella per cella;
- una griglia contenente i valori del coefficiente di attrito dinamico al rotolamento ( $\tan\phi_r$ );
- un file di testo (stone.par) che definisce i parametri di controllo della simulazione. In particolare, il file di parametri permette al programma di riconoscere la velocità iniziale (in m/s), la velocità minima (soglia di arresto), la soglia di transizione tra moti di rimbalzo e rotolamento, la frequenza di calcolo e campionamento dei risultati lungo le traiettorie, la tipologia dei file di output e i parametri di controllo della simulazione stocastica.

Eventualmente, si può inserire nei file di input anche una griglia che rappresenta la probabilità di innesco, ovvero la probabilità spaziale relativa di innesco di crolli di ciascuna cella sorgente. I valori di questa probabilità sono usati dal codice per scalare il valore della frequenza di crollo calcolata dal modello per ciascuna cella. In questo lavoro la probabilità di innesco (variabile tra 0 e 100%) è stata valutata secondo un approccio deterministico e uno euristico.

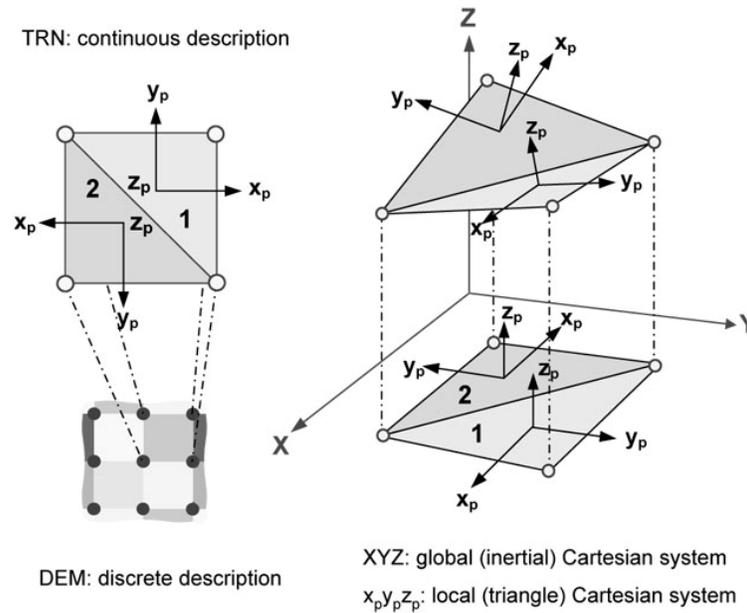
La modellazione della caduta massi in Hy\_Stone viene eseguita attraverso le seguenti fasi operative:

- importazione o creazione di un DEM in formato raster;
- digitalizzazione e georeferenziazione, attribuzione ed eventuale rasterizzazione dei dati di ingresso richiesti (geologici, geomorfologici e geomeccanici) in ambiente GIS;
- ricodifica dei dati di ingresso tramite un approccio “unique condition” e attribuzione dei parametri di restituzione ed attrito;
- conversione dei dati di ingresso in formato GridAscii (\*.asc);
- esecuzione e calibrazione del modello in Hy\_Stone;
- importazione dei risultati (in formato raster e/o vettoriale) in ambiente GIS per la visualizzazione ed analisi dei risultati.

#### **7.3.1.2 Descrizione della topografia: TRN**

La fase più impegnativa della modellazione numerica della caduta massi consiste nel simulare l'interazione, discontinua nel tempo, del blocco con la topografia (impatto/rimbalzo, rotolamento). La descrizione di tale interazione necessita di una rappresentazione continua (vettoriale) della topografia.

La descrizione della topografia fornita dal DEM in formato raster, tuttavia, non è adatta alla modellazione dei processi di impatto/rimbalzo e di rotolamento. Infatti, il DEM è costituito da una matrice quadrangolare (XY) di valori di quota (Z), attribuiti a celle di forma quadrata e dimensione finita, nell'ambito dei quali la quota è costante; il risultato è una superficie “a gradini”, che non consente di rappresentare una morfologia continua. Il problema si risolve implementando un'apposita routine che, partendo dal DEM, costruisce una rappresentazione vettoriale della topografia definita “Rete Regolare di Triangoli” (Triangulate Regular Network, TRN). La figura descrive il procedimento utilizzato da Hy\_Stone per passare da una rappresentazione discreta della topografia (DEM) ad una continua (TRN).



**Figura 7.14: rappresentazione continua della topografia (TRN) calcolata a partire da un DEM in formato raster.**

La definizione della TRN permette di introdurre diversi sistemi di coordinate cartesiane, utilizzate dall’algoritmo di calcolo:

- ✓ un sistema di riferimento “inerziale” (globale) XYZ, che coincide con il sistema di coordinate del DEM e dei dati di ingresso;
- ✓ una serie di sistemi di riferimenti “locali”  $x_p, y_p, z_p$ , vincolati ai singoli triangoli della TRN. Gli assi così definiti sono paralleli al piano del relativo triangolo e le loro componenti nel piano XY hanno direzioni parallele agli assi inerziali X e Y, mentre l’asse  $z_p$  è perpendicolare al piano del triangolo verso l’esterno del pendio.

Il programma calcola le traiettorie di caduta libera nel sistema di riferimento XYZ, trasformando in coordinate locali, tramite apposite matrici di rototraslazione, quando il punto materiale interagisce con la topografia (impatto o rotolamento).

### 7.3.1.3 Dati di uscita

Il programma fornisce i risultati della simulazione come file in formato raster (2D) e vettoriale (3D). I risultati raster sono prodotti nello stesso formato (GridAscii) dei file di ingresso affinché possano essere agevolmente importati e gestiti in ARcGIS a scopo di visualizzazione ed analisi. Le griglie raster prodotte (dello stesso formato, dimensione e risoluzione delle griglie di ingresso) contengono le seguenti informazioni:

- ✓ numero cumulativo (count) dei transiti di traiettorie attraverso ogni cella. Questo valore permette di visualizzare in modo efficace il numero e il pattern delle traiettorie 3D, proiettate “in pianta” in una vista bidimensionale, e rappresenta un “proxy” della frequenza e, indirettamente, della probabilità di transito, fondamentale per la valutazione della pericolosità;
- ✓ numero cumulativo delle traiettorie di crollo attraverso ogni cella pesato per il valore della suscettibilità di innesco. A ciascun blocco che passa per una cella è dato un peso che dipende dalla probabilità di innesco relativa della cella sorgente da cui è partito;
- ✓ numero cumulativo degli impatti dei blocchi in ciascuna cella. Questo rappresenta un “proxy” della probabilità di impatto in una data cella;
- ✓ altezza di volo massima, media e minima (in metri) dei blocchi rispetto alla superficie topografica calcolata per ogni cella;
- ✓ velocità massima, media e minima (in m/s) dei blocchi in ogni cella;
- ✓ energia cinetica totale massima, media e minima (in J) dei blocchi in ogni cella.

I risultati vettoriali sono file in formato Ascii contenenti dati istantanei del moto (massa e momento di inerzia di ciascun blocco), traiettorie tridimensionali, coordinate dei punti di arresto dei singoli blocchi. Nel caso in cui sia stata incorporata nella simulazione anche la presenza delle opere di difesa, il programma produce un ulteriore file Ascii contenente le coordinate dei punti di impatto dei blocchi contro le opere.

### **7.3.2 Applicazione di Hy\_Stone nell'area di Venzone**

La modellazione 3D nell'area di Venzone è stata effettuata tramite Hy\_Stone. Il modello digitale del terreno che è stato utilizzato è il LIDAR con dimensione della cella di 1 metro.

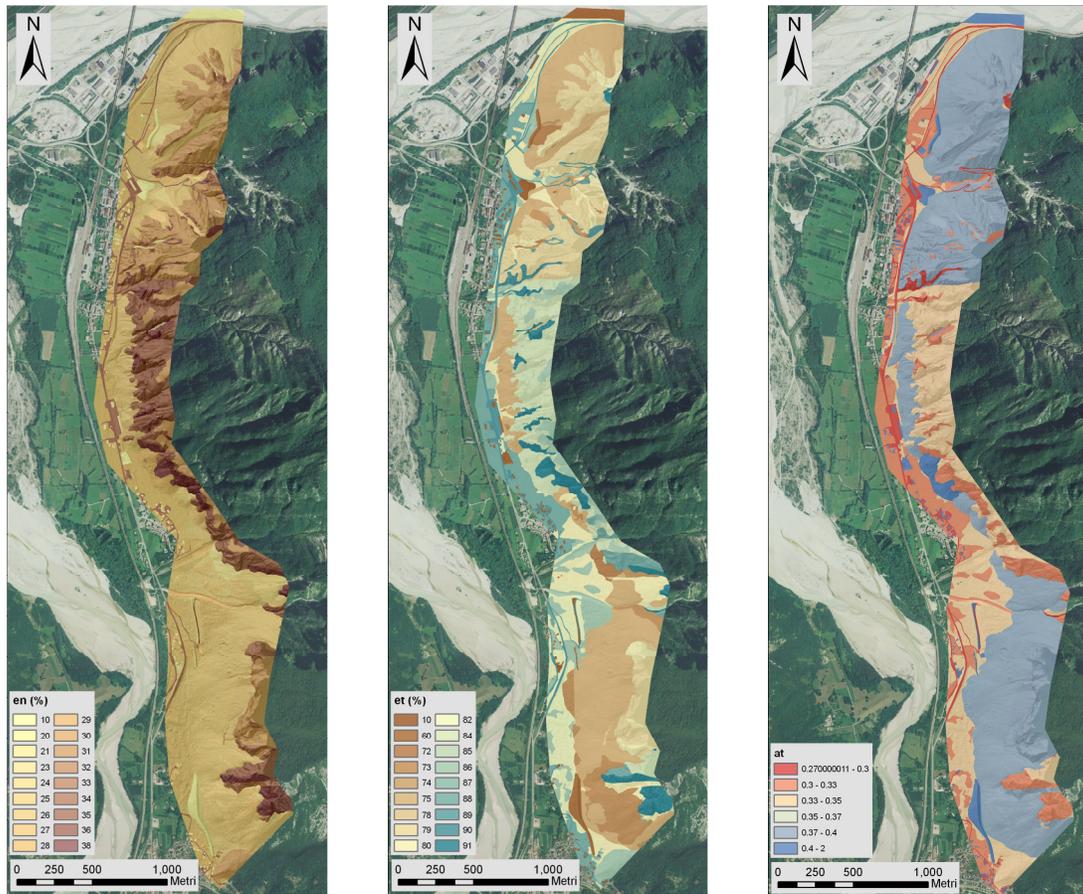
La mappa che viene utilizzata per attribuire i coefficienti di restituzione e di attrito deriva dalla sovrapposizione della carta dell'uso del suolo e della litologia superficiale. Con questa operazione si ottiene una “unique condition map” caratterizzata da 490 poligoni suddivisi in 34 classi alle quali sono stati associati i coefficienti di restituzione e di attrito che vengono riportati nella tabella 7.1. Per ricavare i valori dei coefficienti, per le diverse classi, si è partiti da dati di letteratura

e in seguito si sono effettuate numerose calibrazioni confrontando i risultati della simulazione sia con i blocchi storici e che con i quelli mappati sul terreno.

	AT	EN	ET
Acqua	2.00	10	10
Deposito alluvionale, nudo	0.31	29	86
Deposito alluvionale, arbusti	0.34	27	86
Deposito alluvionale, boschi	0.35	25	80
Deposito alluvionale, bosco rado	0.35	26	82
Deposito alluvionale	0.31	27	86
Detrito fine, arbusti	0.37	21	78
Detrito fine, boschi	0.39	23	72
Detrito fine, nudo	0.39	26	74
Detrito medio, arbusti	0.38	24	80
Detrito medio, boschi	0.39	26	75
Detrito medio, bosco rado	0.39	26	73
Detrito medio, nudo	0.39	27	73
Detrito grossolano, bosco	0.40	28	84
Detrito grossolano, nudo	0.40	32	85
Eluvio, arbusti	0.32	35	91
Eluvio, bosco	0.33	30	86
Eluvio, bosco rado	0.32	31	87
Eluvio, prati e pascoli	0.29	32	91
Roccia debolmente fratturata, arbusti	0.30	38	91
Roccia debolmente fratturata, bosco	0.33	34	84
Roccia debolmente fratturata, bosco rado	0.31	34	88
Roccia debolmente fratturata, nudo	0.29	38	91
Roccia fratturata, arbusti	0.37	33	80
Roccia fratturata, bosco	0.38	30	79
Roccia fratturata, bosco rado	0.33	32	86
Roccia fratturata, nudo	0.31	36	89
Urbano, casa	2.00	10	10
Urbano, cimitero	0.40	25	80
Urbano, galleria	0.37	25	60
Urbano, industria	2.00	10	10
Urbano, prati	0.30	27	88
Urbano, rilevato	0.70	20	60
Urbano, strade	0.27	35	90

Tabella: coefficienti di restituzione e attrito utilizzati nelle simulazioni

Per ricavare le mappe dei coefficienti di restituzione e di attrito sono stati rasterizzati i rispettivi campi presenti nella tabella degli attributi della unique condition map. Tale operazione viene effettuata tramite *Spatial Analyst, Convert Features to Raster* specificando il campo che si vuole rasterizzare.



**Figura 7.15: mappe dei coefficienti di restituzione normale ( a sinistra) tangenziale (al centro) e di attrito dinamico al rotolamento (a destra).**

Tutte le simulazioni eseguite nell'area di Venzone considerano i seguenti parametri:

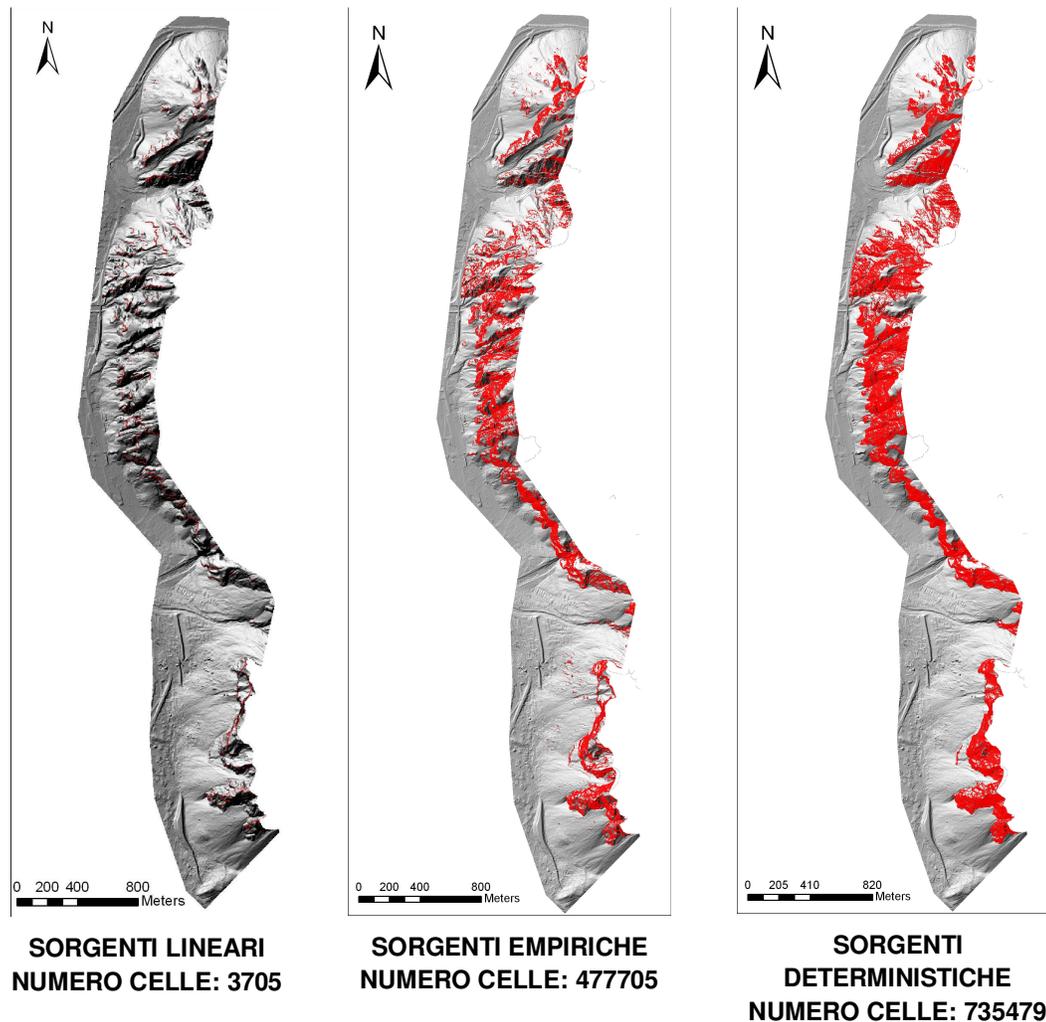
- ✓ blocchi assunti di forma sferica;
- ✓ densità dei blocchi pari a  $2600 \text{ Kg/m}^3$  ;
- ✓ la velocità orizzontale di partenza è assunta pari a  $1,5 \text{ m/s}$ ;
- ✓ il coefficiente di restituzione normale,  $R_n$ , viene scalato in base alla velocità del blocco, considerando  $K=9,144 \text{ m/s}$ ;
- ✓ distribuzione statistica esponenziale per il raggio dei blocchi e normale per i coefficienti di restituzione ed attrito;
- ✓ la presenza delle opere di difesa.

Per simulare la presenza delle opere di difesa si deve fornire un file in formato .txt in cui sono riportate le coordinate iniziali e finali dei segmenti che costituiscono le opere, per ciascuno dei quali deve essere specificata l'altezza e la capacità di

assorbimento espressa in J. Nell'area di studio sono presenti anche delle reti in aderenza che però Hy\_Stone non riesce a simulare.

Le sorgenti che sono state considerate per le modellazioni sono di tre tipi:

- ✓ lineari → derivanti dalla rasterizzazione delle sorgenti mappate attraverso la fotointerpretazione e rappresentate nella carta geomorfologica;
- ✓ areali → ottenute utilizzando le sorgenti considerate per la realizzazione della carta della suscettibilità all'innesco ricavata con approccio euristico. Queste sorgenti sono state riclassificate per attribuire a tutti i pixel lo stesso valore corrispondente al numero dei blocchi lanciati per ciascuna cella. In questo caso sono stati considerati 10 blocchi per ogni pixel.
- ✓ areali → ricavate utilizzando i cinematismi reali (fail\_count) che sono stati calcolati per realizzare la carta di suscettibilità all'innesco ricavata con approccio deterministico. A tal fine lo shapefile chiamato fail\_count è stato riclassificato per ottenere una carta delle aree sorgenti uniformi per le quali da ciascun pixel vengono lanciati 10 blocchi.



**Figura 7.16: Confronto del diverso tipo di sorgenti utilizzate nei modelli**

In Stone vi è la possibilità di considerare anche la suscettibilità all'innesco ovvero la probabilità spaziale di innesco dei crolli in ciascuna cella sorgente. I valori di questa probabilità sono usati dal codice per scalare il valore della frequenza di crollo calcolata dal modello per ciascuna cella.

Nell'area di studio sono stati realizzati dei modelli considerando o meno la suscettibilità all'innesco. Si parla di modelli con suscettibilità all'innesco di tipo *uniforme* quando questa non è stata specificata e quindi, i 10 blocchi che partono da ogni pixel che costituisce la sorgente, hanno la stessa probabilità, pari al 100%. Sono poi stati realizzati altri modelli in cui si considera la suscettibilità all'innesco valutata con l'approccio *empirico/euristico* o con quello *deterministico* precedentemente esposti. Combinando i diversi tipi di sorgenti con le suscettibilità all'innesco valutate con i differenti approcci è stato possibile ottenere vari modelli.

### **7.3.3 La definizione del volume del “blocco di progetto”**

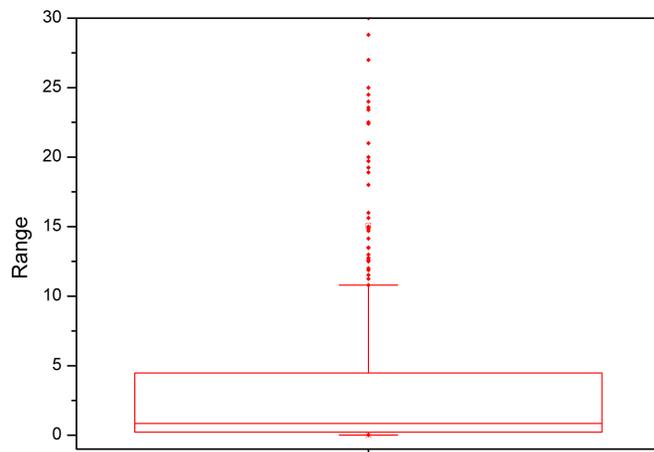
Per effettuare le simulazioni si deve specificare un altro importante parametro ovvero il volume modale dei blocchi che verranno lanciati. Questo influenzerà notevolmente i risultati delle analisi pertanto deve essere valutato con estrema attenzione. Tuttavia, la determinazione del volume modale non è esente da difficoltà. Il blocco di dimensioni modali che viene utilizzato per le simulazioni viene definito “blocco di progetto”. Per definire il suo volume si possono considerare i dati relativi al Volume Roccioso Unitario medio che è stato specificato in tutti i rilievi geomeccanici. Tuttavia se l'area di studio è estesa i VRU non sono statisticamente rappresentativi. Per tale motivo nell'area di Venzone la definizione del blocco di progetto è stata effettuata basandosi sull'analisi statistica dei volumi dei blocchi che sono stati mappati durante il rilevamento di campo. Questi essendo 1127 possono essere utilizzati in quanto sono un campione statisticamente rappresentativo.

Inizialmente al blocco medio considerato per le simulazioni era stato assegnato un raggio sferico di 0.3 m corrispondente a un volume di  $0,12 \text{ m}^3$ . Questo volume corrisponde al valore modale dell'intero dataset dei blocchi. Nelle simulazioni con Stone bisogna specificare anche il volume massimo dei blocchi. In questo caso il raggio massimo considerato è stato posto pari a 5 m corrispondenti a un volume di  $500 \text{ m}^3$ . Questo parametro è stato scelto in modo soggettivo considerando il volume più ricorrente tra i blocchi di elevate dimensioni che sono stati mappati.

Tuttavia, dai risultati di queste simulazioni è emerso che l'energia cinetica presentava valori troppo esigui a causa del ridotto volume del blocco modale. Al fine di ottenere un volume più affine alla realtà, il volume medio è stato valutato in maniera più oggettiva basandosi su metodi statistici.

Considerando l'intero catalogo dei volumi dei blocchi mappati sul terreno, è stato creato un box-plot col programma OriginPro. In statistica, il box-plot è una rappresentazione grafica utilizzata per descrivere la distribuzione di un campione tramite semplici indici di dispersione e di posizione. Il grafico è costituito da un rettangolo (box) diviso in due parti e da due segmenti (whiskers). L'estremità del rettangolo rappresentano il primo e il terzo quartile,  $q_{1/4}$  e  $q_{3/4}$ , mentre la linea che lo separa in due rappresenta la mediana,  $q_{1/2}$ . I segmenti che si dipartono dal rettangolo terminano in corrispondenza del valore massimo e minimo.

I valori presenti al di fuori di questi segmenti sono considerati outliers anche chiamati valori anomali. Gli outlier sono valori numericamente distanti dal resto dei dati raccolti, per tale motivo non vengono considerati nelle analisi statistiche.



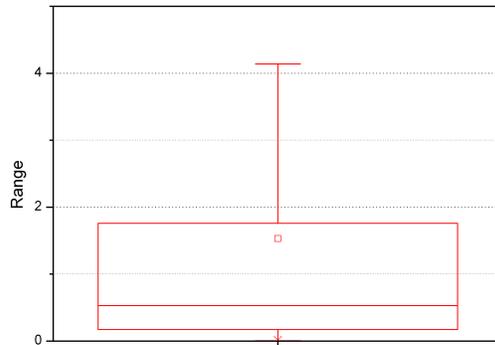
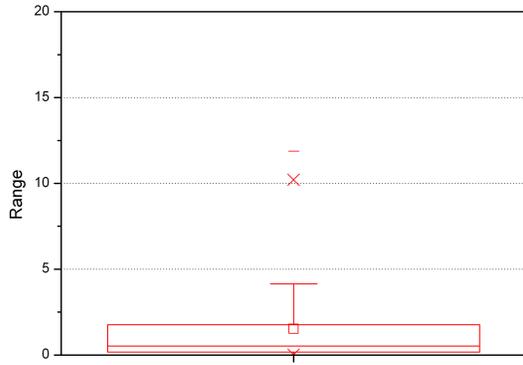
box-plot dell'intero dataset con outliers

Dopo aver costruito un primo box-plot di tutto il dataset, ne è stato creato un secondo contenente solo i volumi non considerati come outliers dal primo box-plot.

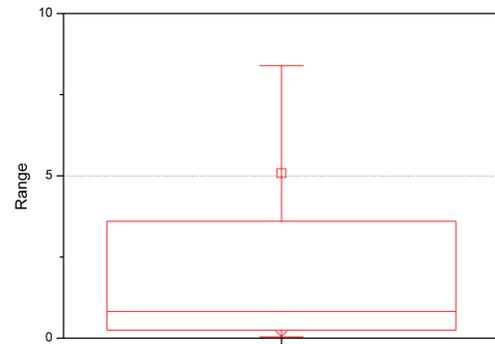
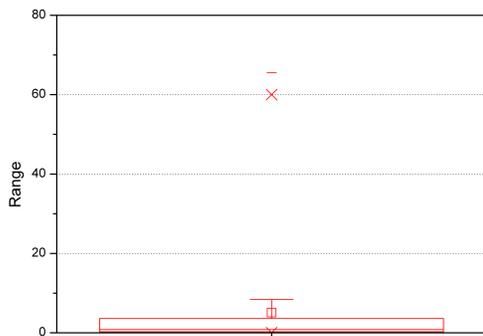
In questo secondo box-plot gli outliers vengono individuati considerando un coefficiente di 1,5. Tale coefficiente controlla la lunghezza dei baffi

(whiskers) del box-plot. Il valore medio calcolato in questo secondo box-plot, pari a  $1,5 \text{ m}^3$ , è stato considerato come volume modale dei blocchi e si è scelto di utilizzare tale volume per le modellazioni. Il volume massimo che viene ricavato con il metodo degli outliers con coefficiente di 1.5 risulta essere di  $12 \text{ m}^3$  pari ad un raggio di 1,42 m. Tale volume è stato considerato troppo piccolo considerando i blocchi di elevate dimensioni che sono stati mappati in sito (volume massimo  $3000 \text{ m}^3$ ).

Per questo motivo è stato realizzato un altro box-plot in cui si pone l'estremità dei baffi in corrispondenza del quinto e del novantacinquesimo percentile (Whisker 5-95). Individuando gli outliers tramite Whisker 5-95 il volume massimo dei blocchi risulta pari a  $70 \text{ m}^3$  ovvero ad un raggio di 2,56 m. Il volume medio calcolato con questo metodo, invece, risulta pari a  $5 \text{ m}^3$  corrispondenti ad un raggio di 1,06 m.

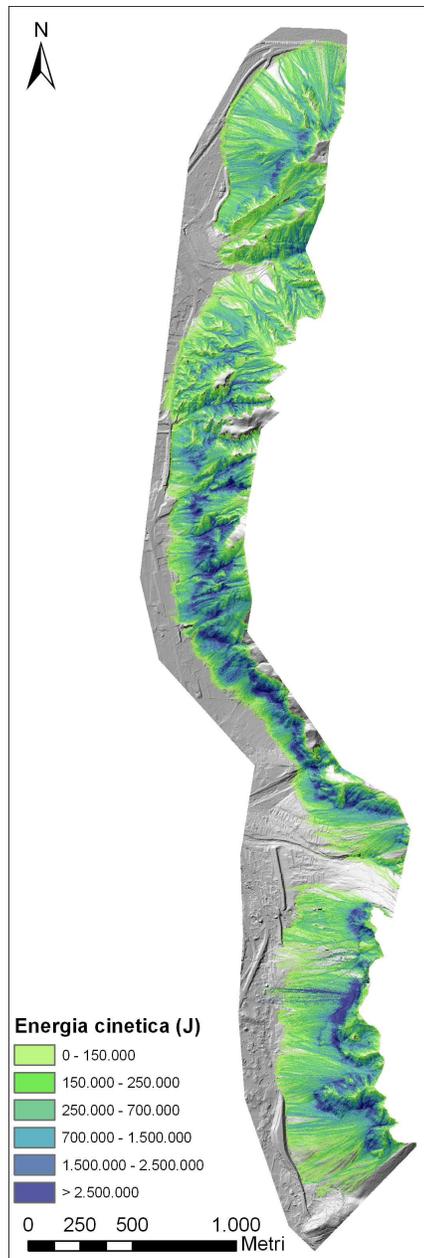


Metodo degli outliers con coefficiente di 1.5. Nella prima immagine il trattino indica il volume massimo e il quadratino quello medio. Quest'ultimo è meglio rappresentato nella seconda immagine.

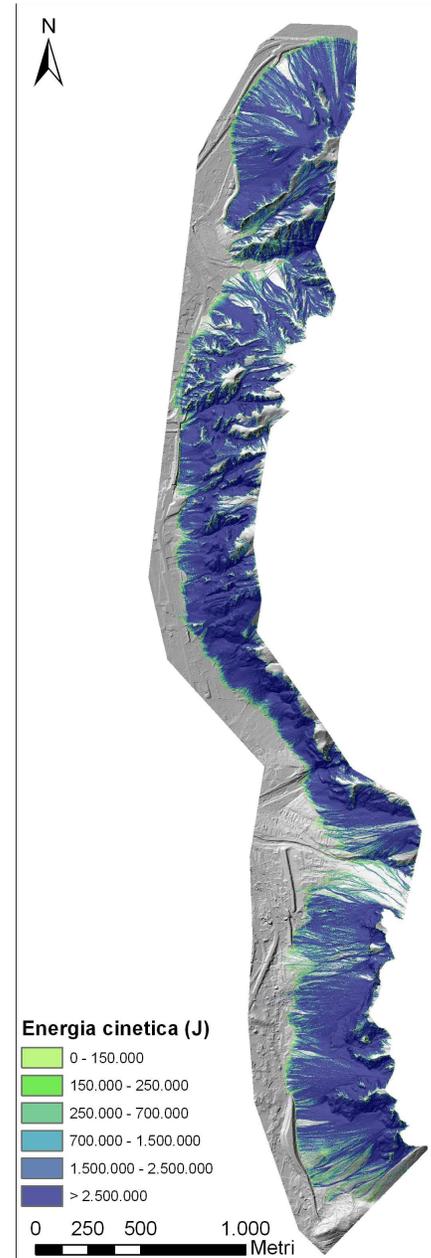


Metodo di Whisker 5-95. Nella prima immagine il trattino indica il volume massimo e il quadratino quello medio. Quest'ultimo è meglio rappresentato nella seconda immagine.

Il volume modale dei blocchi influisce soprattutto sull'energia cinetica. Questo può essere facilmente osservato confrontando le mappe dell'energia cinetica effettuate per lo stesso tipo di sorgenti e di suscettibilità all'innesco ma variando il volume dei blocchi. In particolare sono state considerate le sorgenti areali e la suscettibilità all'innesco ricavate dall'approccio deterministico. Nella fig 7.17 si è considerato il volume modale pari alla moda dei volumi dei blocchi mappati durante il rilevamento di campo, mentre nella fig 7.18 si è considerato il volume modale determinato tramite il metodo degli outlier con coefficiente 1,5 e volume massimo determinato con il metodo di Whisker 5-95.



**Fig. 7.17: mappa dell'energia cinetica  
ottenuta con  
V modale =0,12 m<sup>3</sup> e V massimo =500 m<sup>3</sup>**



**fig 7.18: mappa dell'energia cinetica  
ottenuta con  
V modale = 1,5 m<sup>3</sup> e V massimo=70 m<sup>3</sup>**

Si può notare che nel primo modello (fig 7.17) i valori di energia cinetica sono principalmente compresi tra 150000 J e 250000 J mentre nella secondo (fig 7.18) superano i 2500000 Joule. L'energia cinetica è uno dei parametri considerati nel calcolo per la realizzazione delle carte di pericolosità. In tali carte, quindi, si avranno valori più elevati utilizzando volumi maggiori. Da questo confronto si è dedotto che utilizzando un volume modale pari a 1,5 m<sup>3</sup> si ottengono dei risultati più realistici.

### 7.3.4 Simulazioni eseguite con Hy\_Stone

Prendiamo in considerazione i modelli realizzati con il volume modale determinato tramite il metodo degli outlier con coefficiente 1,5 e volume massimo determinato con il metodo di Whisker 5-95. Il volume medio considerato è pari a  $1.5 \text{ m}^3$  (raggio 0.71 m) mentre il volume massimo considerato è  $70 \text{ m}^3$  pari ad un raggio di 2.56 m.

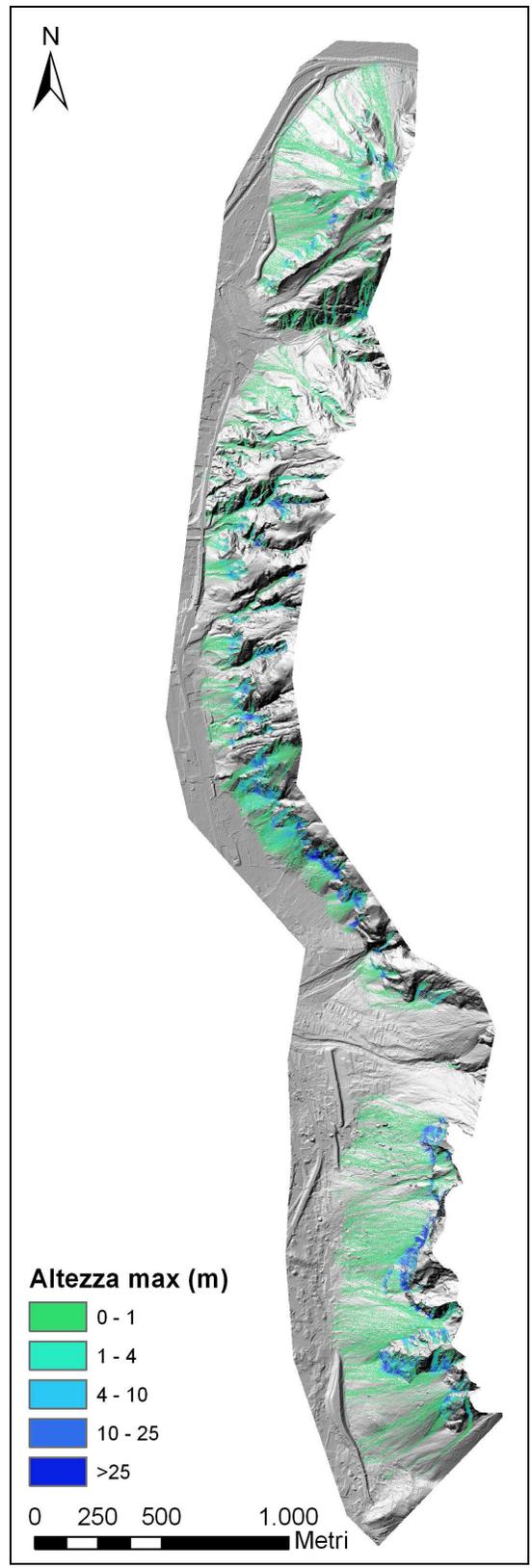
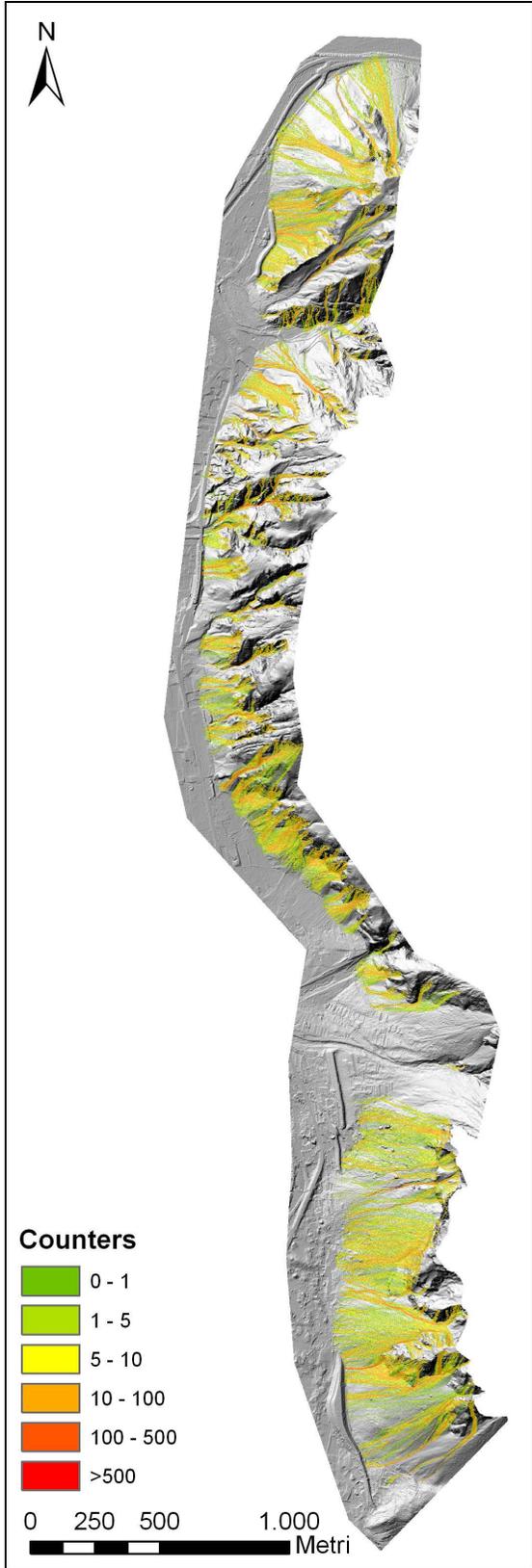
		Valutazione della suscettibilità all'innesco		
		Uniforme	Empirica/euristica	Deterministica
Tipologia di sorgenti	Lineari (3705 celle)	A	B	C
	Areali (477705 celle)	F	D	
	Areali (735479 celle)	G		E

**Tabelle 7.1: schema riassuntivo delle modellazioni eseguite con Hy\_Stone**

#### Simulazione A: Sorgenti lineari con suscettibilità all'innesco uniforme

La modellazione della propagazione dei blocchi dipende molto dalla precisione con cui sono state mappate le nicchie, infatti se la sorgente non è stata accuratamente disegnata sul ciglio di un versante alcuni blocchi potranno propagarsi nella direzione opposta a quella desiderata.

L'esiguo numero di celle sorgenti (3705 celle) rispetto alle sorgenti areali (477705 o 735479 celle) controlla fortemente i risultati.



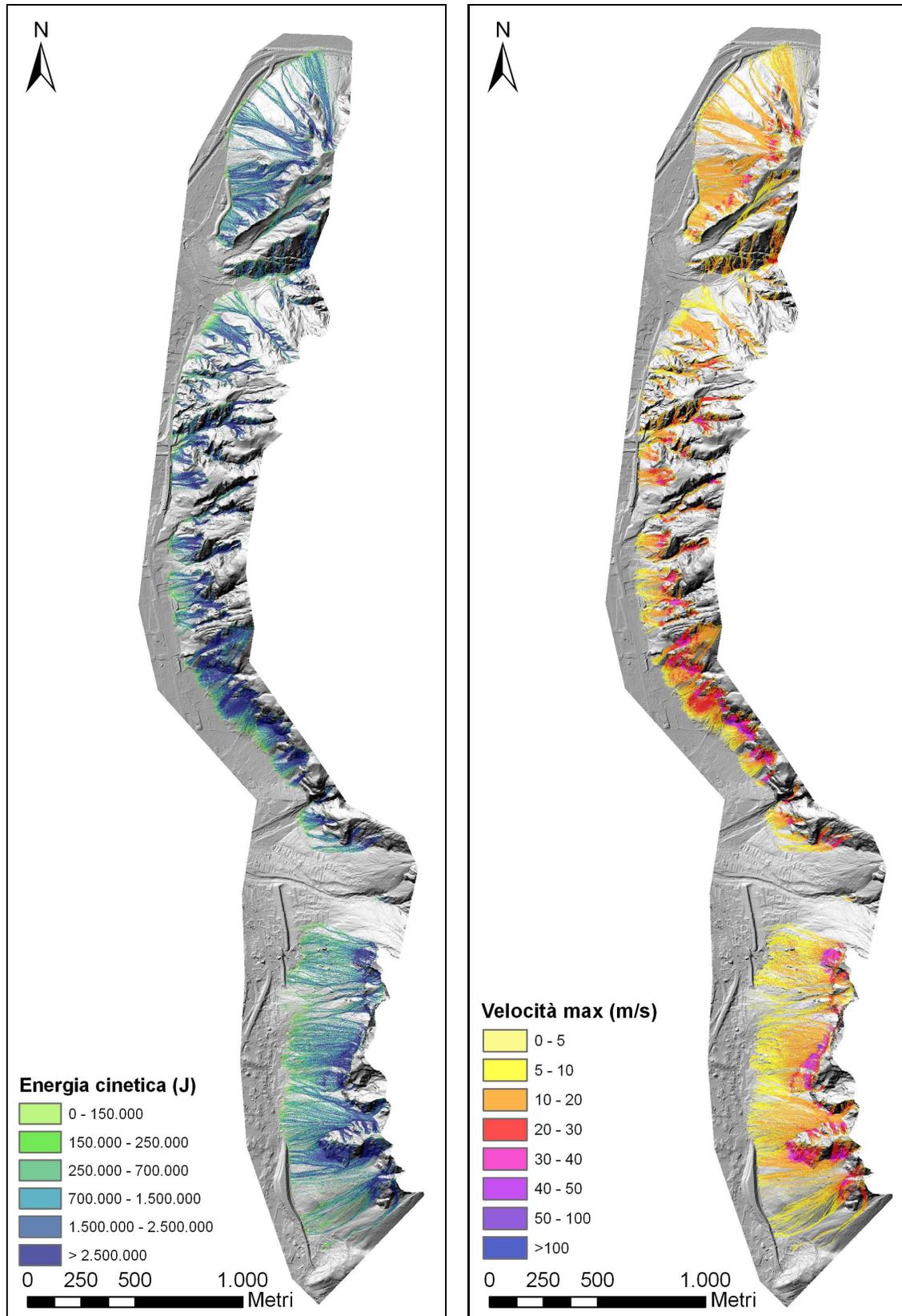
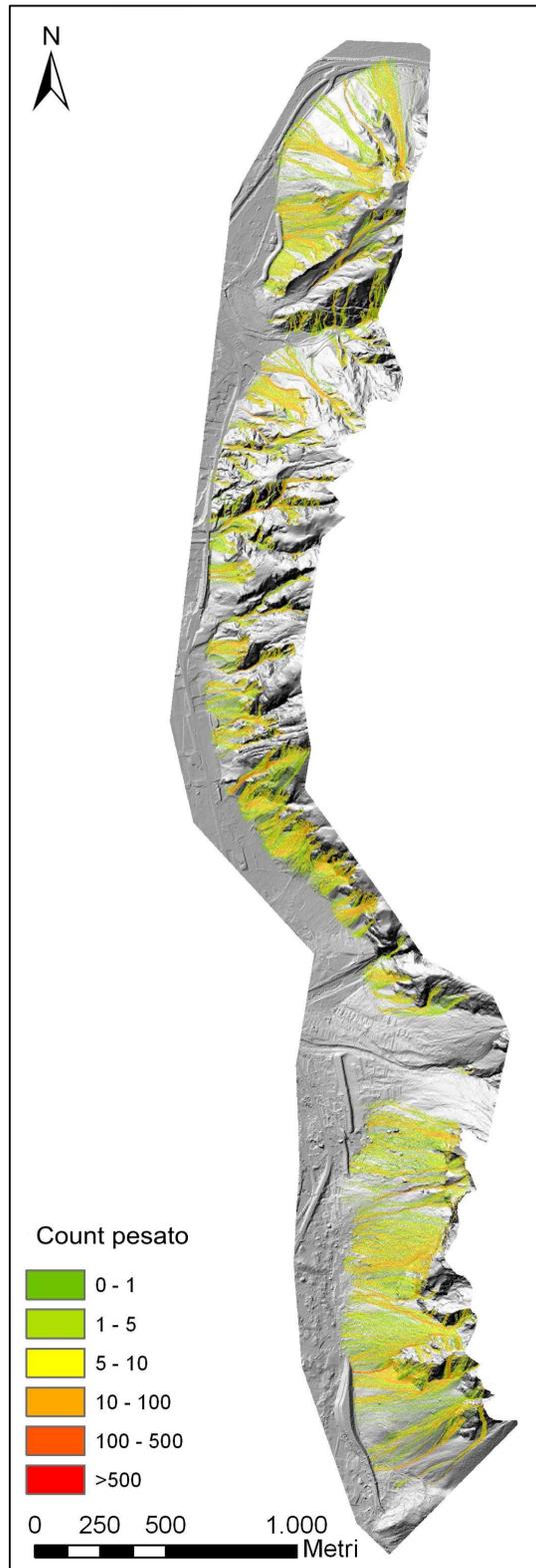


Figura 7.19: mappe degli output della simulazione A

Simulazione B: Sorgenti lineari con suscettibilità all'innesco valutata con approccio empirico/euristico

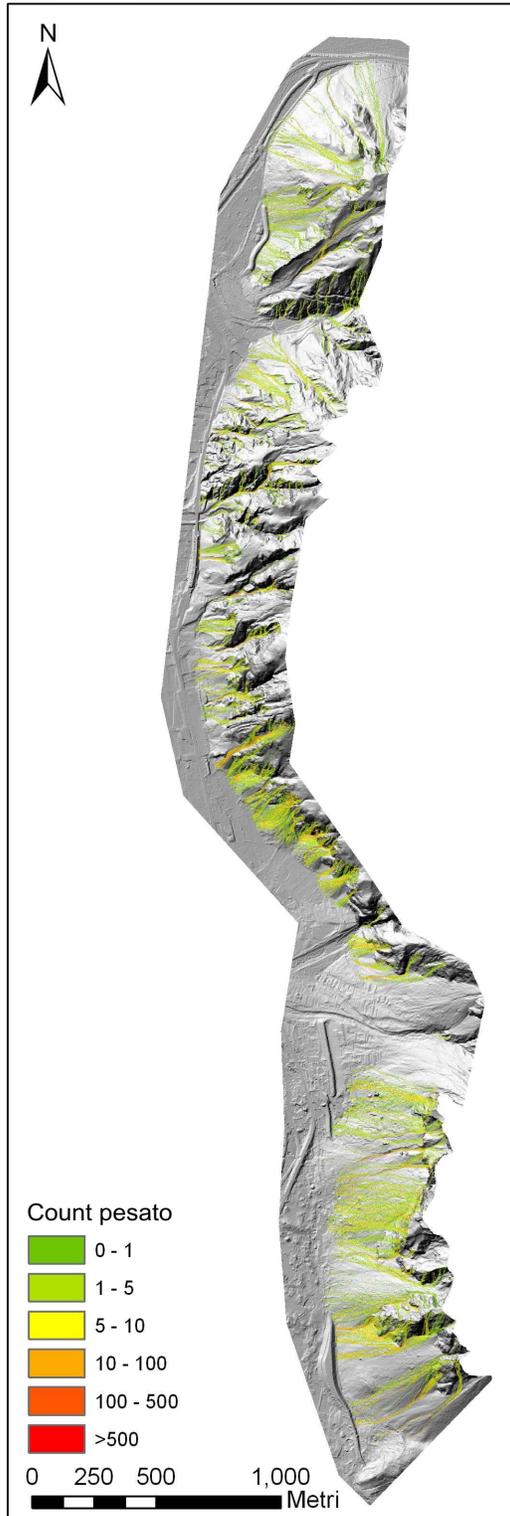


**Figura 7.20: count della simulazione B**

L'estensione delle sorgenti e della mappa di suscettibilità, per poter eseguire la simulazione, deve essere identica.

In questa simulazione poiché il numero di pixel delle sorgenti è nettamente inferiore rispetto alla mappa della suscettibilità considerata, si consiglia di estrarre questa mappa solo per le celle in cui questa informazione è necessaria (celle sorgenti). A tale scopo si utilizza il comando *extract by mask* tra la carta di suscettibilità e le sorgenti lineari.

Simulazione C: Sorgenti lineari con suscettibilità all'innesco valutata con approccio deterministico



**Figura 7.21: count della simulazione C**

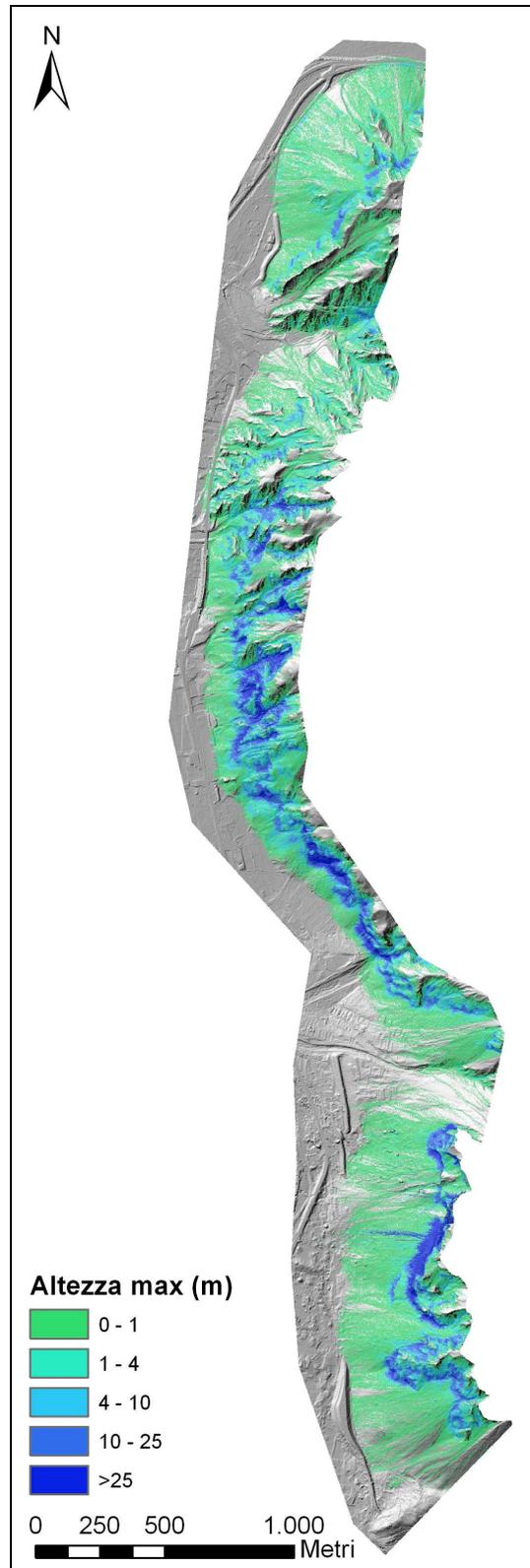
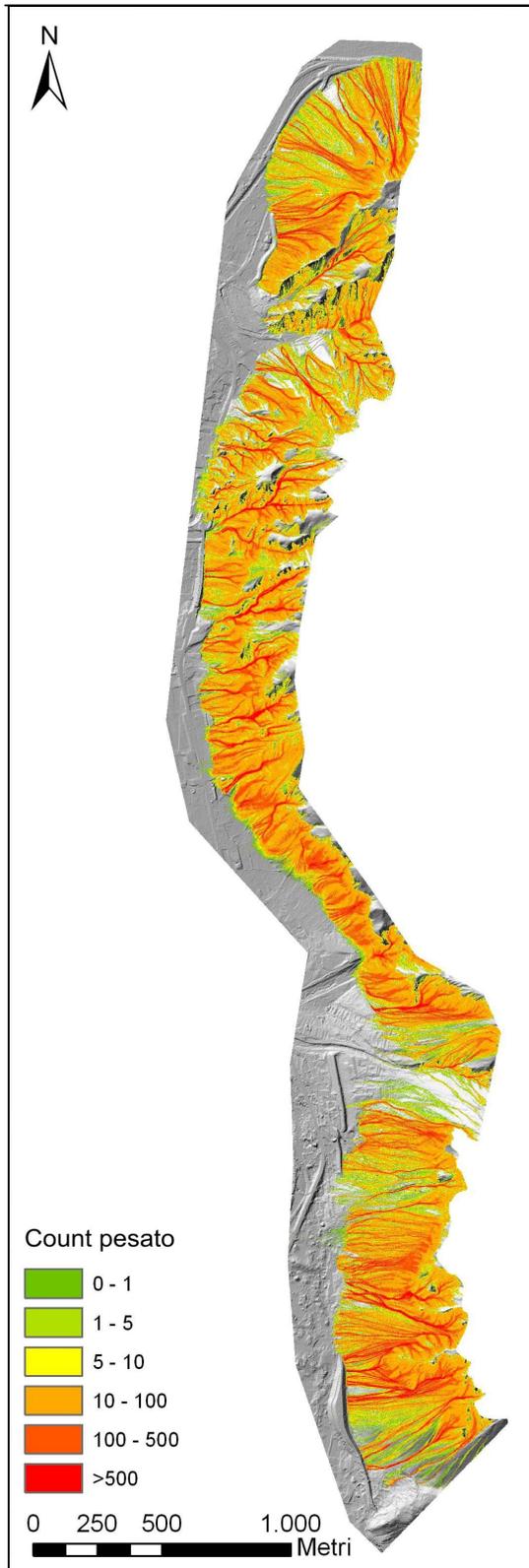
Anche in questa modellazione, come in quella precedente, è consigliato estrarre l'informazione relativa alla suscettibilità all'innesco solo per le celle occupate dalle sorgenti lineari.

Di questi ultimi due simulazioni (B e C) viene riportata solo la mappa del count pesato rispetto alla probabilità di innesco in quanto l'altezza, la velocità e l'energia cinetica dei blocchi non risentono della probabilità di innesco e quindi risulteranno uguali al modello effettuato considerando le sorgenti lineari e la suscettibilità uniforme, simulazione A.

Simulazione D: Sorgenti areali con suscettibilità all'innesco valutata con approccio empirico/euristico

Dalla simulazione D si possono ottenere anche i risultati della simulazione F senza effettuare un nuovo modello ma semplicemente considerando il count invece che il count pesato.

Dai risultati riportati può essere facilmente osservata la differenza rispetto alle simulazioni precedenti in cui venivano usate le sorgenti lineari.



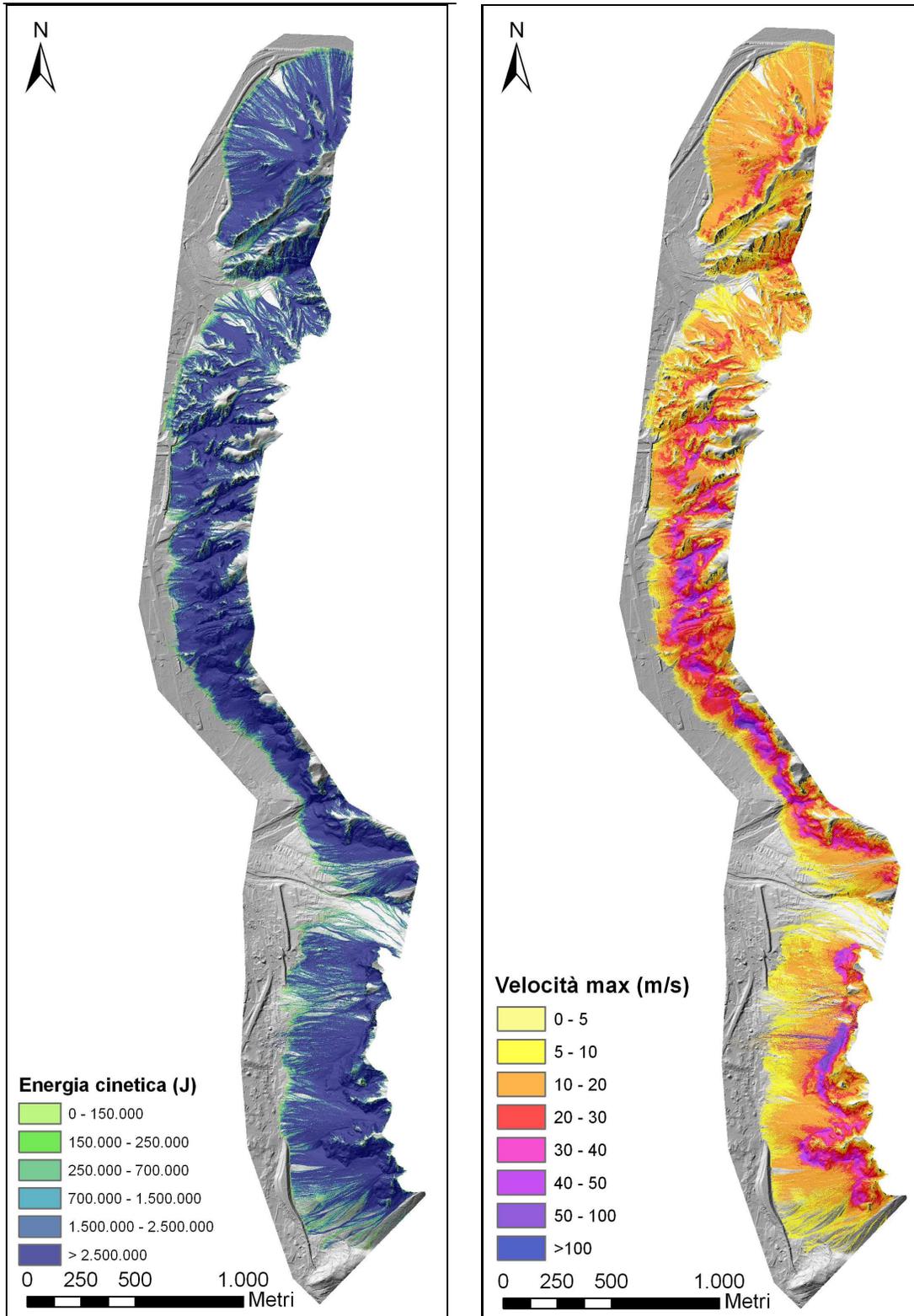
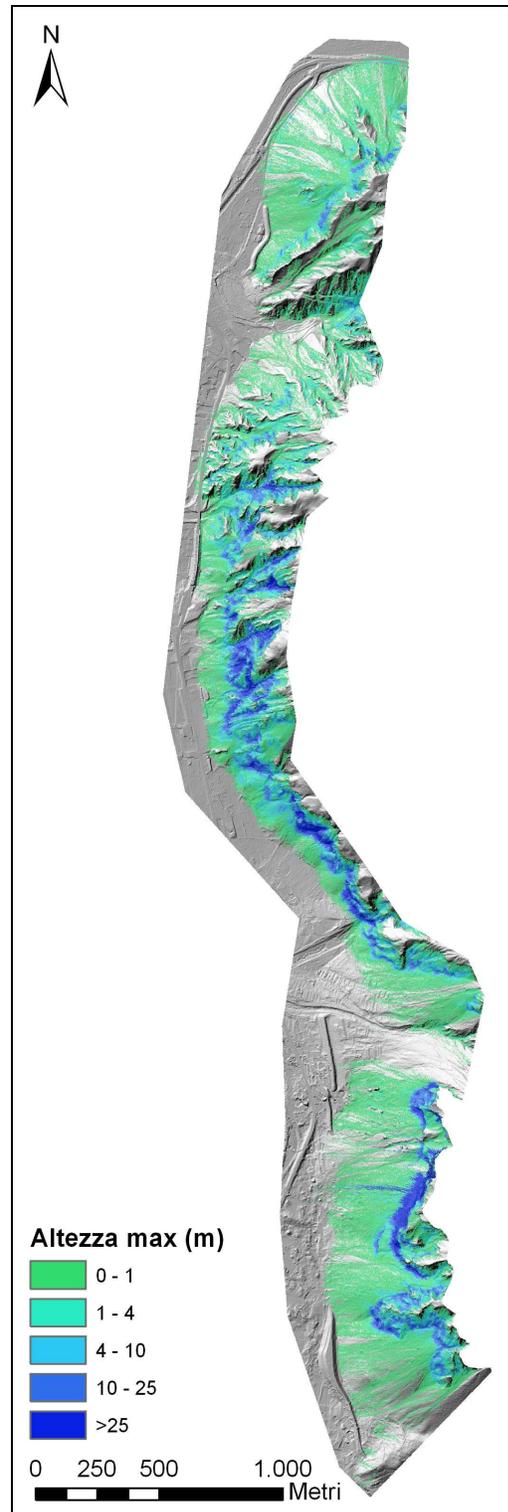
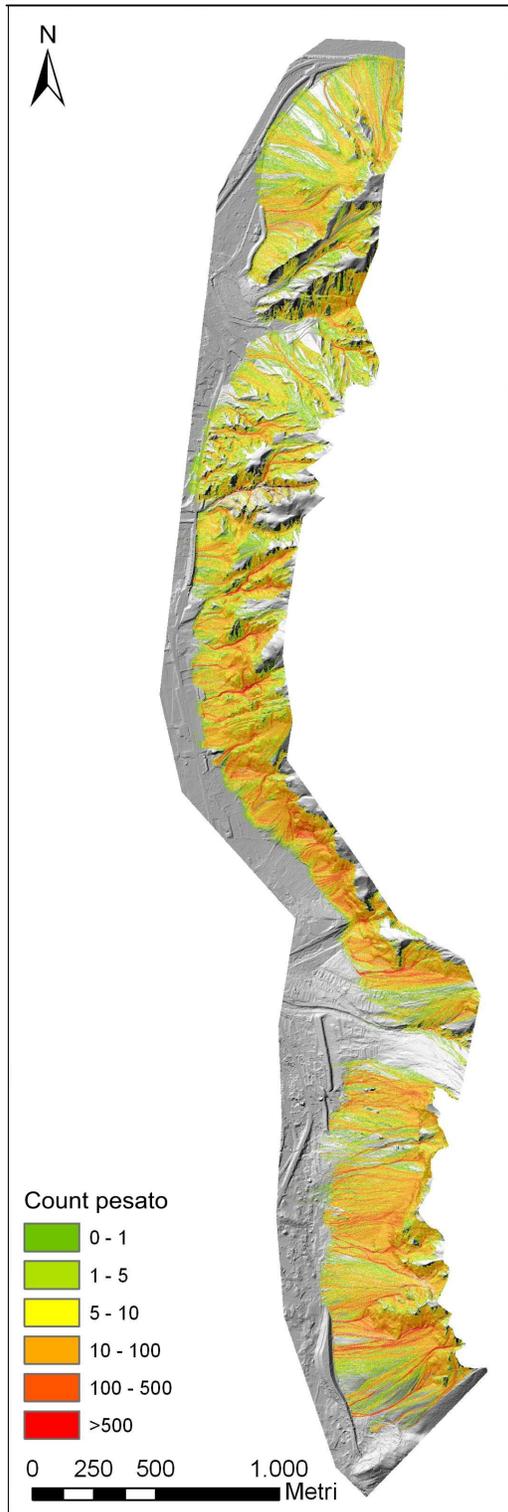


Figura 7.22: mappe degli output della simulazione D

Simulazione E: Sorgenti areali con suscettibilità all'innesco valutata con approccio deterministico

In questo modello, a causa dell'elevato tempo macchina, sono state considerate solo le sorgenti areali e la suscettibilità all'innesco aventi una pendenza maggiore di 55°. Anche in questo caso, come nella simulazione precedente, se si considera il count invece che il count pesato si prende in considerazione la simulazione G.



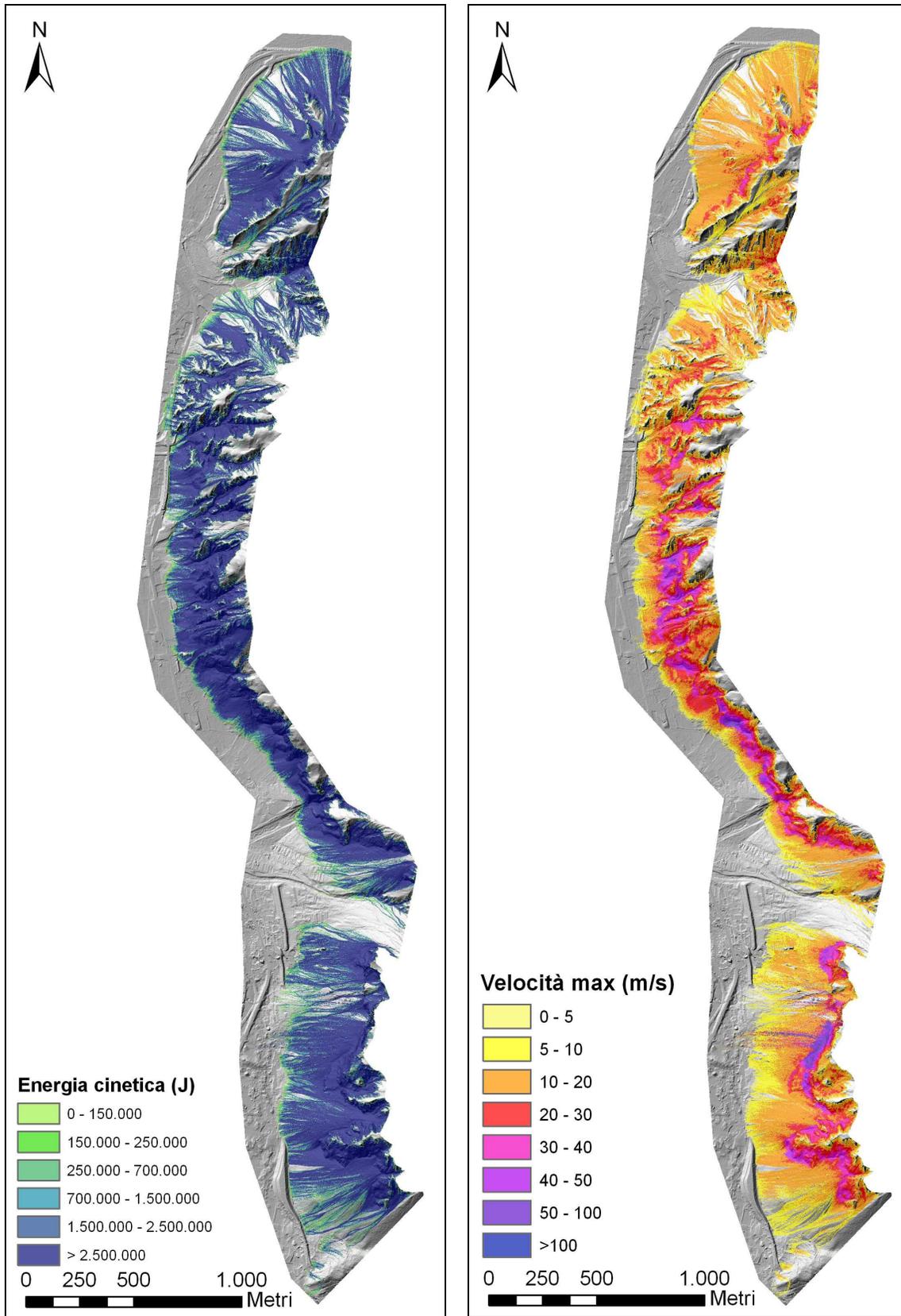


Figura 7.22: mappe degli output della simulazione E

## 7.4 Valutazione della pericolosità tramite procedura RHAP

La regione Lombardia, nel 2000, ha elaborato due procedure per la zonazione della pericolosità generata da crolli in roccia: una per crolli di singoli massi o per crolli di massi fino ad una volumetria massima complessiva di circa 1000 m<sup>3</sup> e un'altra per crolli in massa con volumetrie tra 1000 m<sup>3</sup> e alcune centinaia di migliaia di metri cubi. Nell'area di Venzona è stata adottata la prima metodologia denominata R.H.A.P. o Rockfall Hazard Assessment Procedure. Per valutare la pericolosità attraverso la procedura RHAP si deve prima di tutto individuare i settori di parete rocciosa che possono essere potenziali sorgenti di crollo. Queste pareti rocciose devono essere suddivisi in aree omogenee in funzione delle caratteristiche geomeccaniche, della morfologia del versante lungo le traiettorie di discesa dei blocchi (ad esempio altezza della parete e pendenza del versante sottostante) e della presenza di opere di difesa.

Per ciascun'area omogenea vengono tracciate, in pianta, le traiettorie di discesa dei blocchi sulle quali verrà effettuata la modellazione numerica. La simulazione di caduta massi con modelli numerici deve prendere in considerazione diversi parametri:

- ✓ la zona di partenza dei blocchi ovvero la sommità della parete;
- ✓ la volumetria dei massi;
- ✓ la forma dei massi che dovrà essere la forma più simile a quella modale osservata nel detrito o in parete oppure la forma fisicamente più sfavorevole;
- ✓ i coefficienti di restituzione e la rugosità;
- ✓ il numero di simulazioni in quanto essendo analisi di tipo probabilistico, andrebbero effettuate numerose simulazioni di caduta, sono consigliate almeno 1000 cadute per ogni traiettoria.

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

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

Queste percentuali sono valutate sulla totalità delle simulazioni effettuate, per ogni traiettoria, sui blocchi modali di qualsiasi forma considerata e verrà tenuta in considerazione la zonazione longitudinale più sfavorevole. A queste zone vengono assegnate le classi di pericolosità relativa:

- ✓ zona A → pericolosità 4;
- ✓ zona B → pericolosità 3;
- ✓ zona C → pericolosità 2.

In aggiunta si può delimitare una zona di bassa pericolosità, valore 1, utilizzando la distanza massima raggiunta dal blocco di maggiori dimensioni oppure la distanza massima raggiunta da massi di crolli precedenti.

A questo punto si valuta la probabilità di accadimento del fenomeno in ciascuna delle aree omogenee, definendo così la propensione al distacco dei blocchi. A tale scopo si suddivide la parete in maglie, con lato variabile da 5 m fino a 20 m, a seconda della complessità geomeccanica o in base alle dimensioni della parete. Una volta generata la griglia per ciascuna maglia si deve verificare la presenza dei seguenti elementi di instabilità:

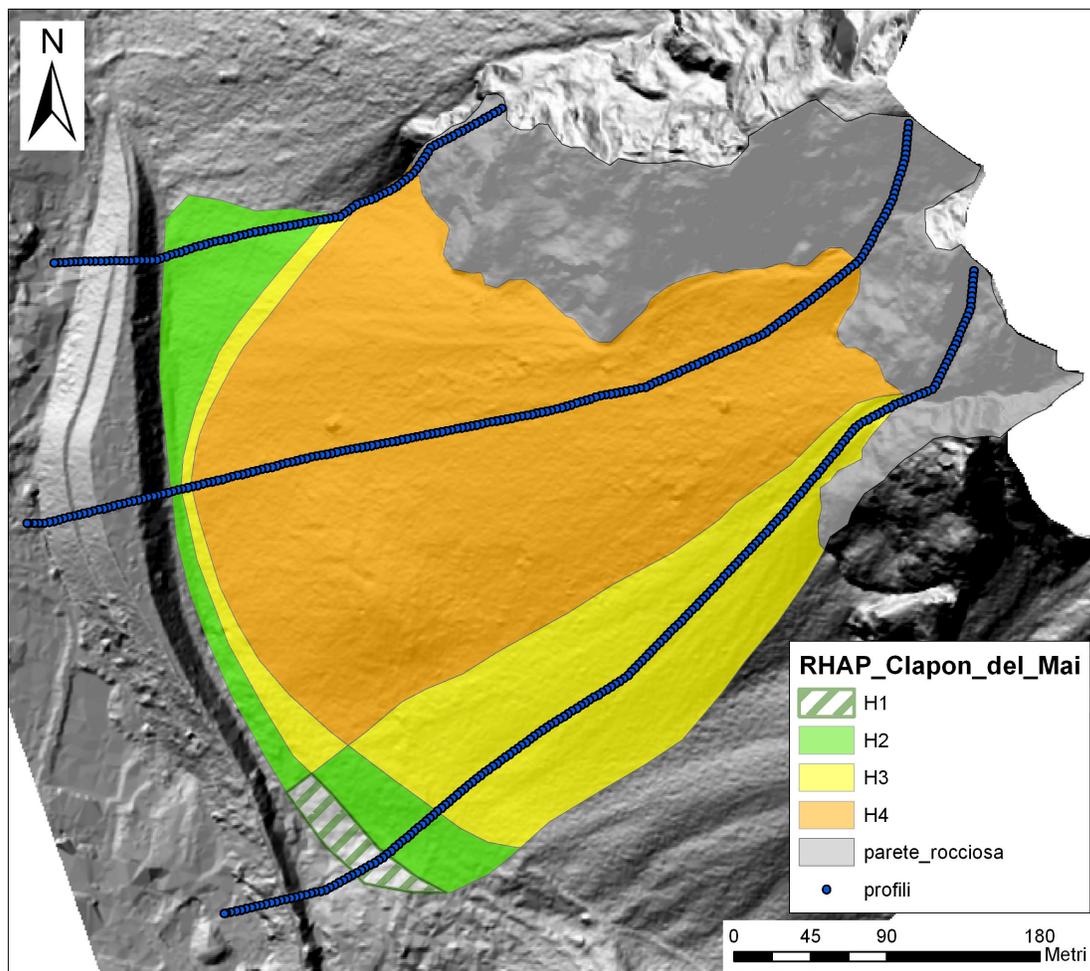
- ✓ fratture aperte con evidenza di attività associate a cinematismi possibili;
- ✓ blocchi ruotati;
- ✓ zone intensamente fratturate;
- ✓ superfici non alterate che testimoniano recenti distacchi;
- ✓ emergenze di acqua alla base dei blocchi.

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

In base alle percentuali così ricavate, le zone vengono raggruppate in 3 gruppi a differente attività relativa: alta, media o bassa. Non vengono indicati valori di percentuali di riferimento tuttavia nel caso in cui tutte le zone omogenee presentano percentuali inferiori al 10% non si ritiene necessario effettuare la zonazione della pericolosità. La zonazione finale della pericolosità viene definita utilizzando i valori delle classi di pericolosità relativa della zona di transito e accumulo dei blocchi, che vengono aumentati di 1, mantenuti costanti o diminuiti di 1 a seconda che le pareti sovrastanti appartengono ai gruppi di attività alta, media o bassa rispettivamente. Si possono così avere in totale cinque classi di pericolosità da H1 a H5.



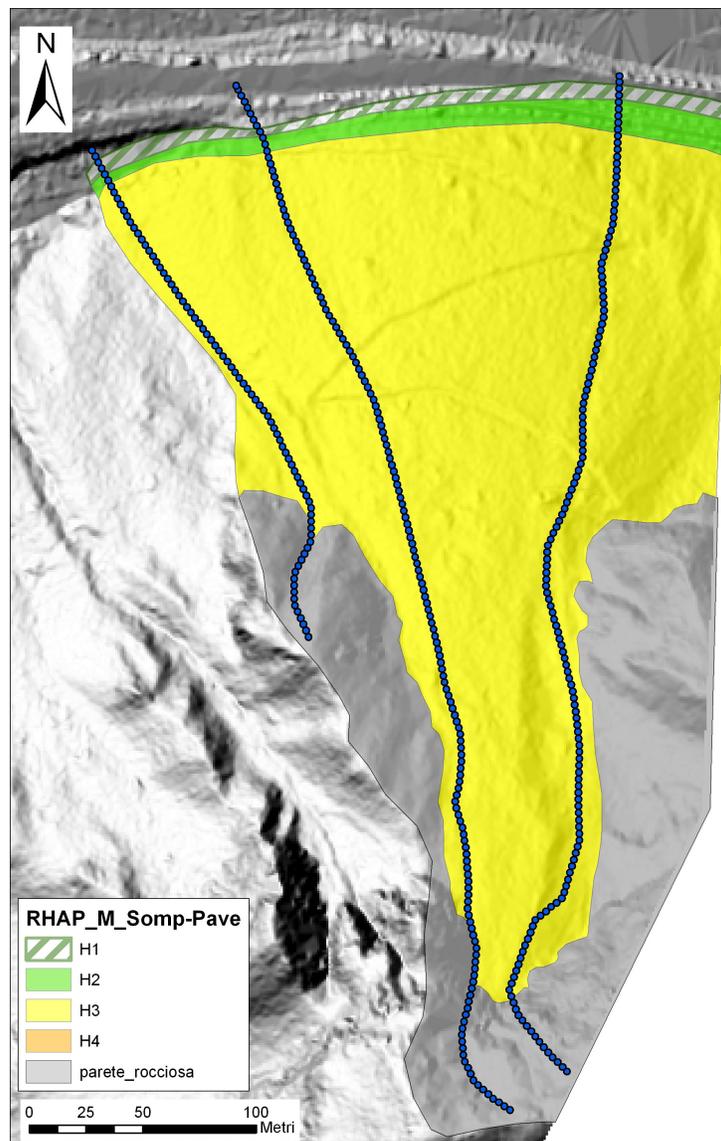
L'ammasso roccioso è stato suddiviso in due domini omogenei per ciascuno dei quali è stata valutata la probabilità di accadimento. Questa nel dominio principale risulta pari al 18% pertanto è stata valutata come zona con un grado di pericolosità medio e per tanto si mantiene invariata la zonazione preliminare della pericolosità. Nel secondo dominio l'attività risulta pari al 13% ed è stata interpretata come zona a bassa pericolosità e quindi, in questo caso, la zonazione fatta considerando le percentuali di arresto dei blocchi deve essere abbassata.



**Figura 7.24: Zonazione della pericolosità secondo la procedura RHAP nell'area del Clapon del Mai**

Nell'area del Monte Somp-Pave si effettua la zonazione preliminare della pericolosità sempre interpolando le percentuali di arresto dei blocchi ottenute tramite RocFall per i tre profili. La probabilità di distacco dei blocchi, invece, non è stata analizzata con la classica procedura di assegnare alle celle della maglia con cui viene suddiviso

l'ammasso roccioso, un numero pari alle evidenze di instabilità, ma è stata valutata utilizzando il sorgpro ovvero la carta della suscettibilità realizzata tramite l'analisi cinematica effettuata con Slopmap. Si procede facendo lo zonal statistic tra il sorgpro e i domini omogenei, il valore medio che si ricava da tale operazione può essere considerato come la probabilità di distacco dei blocchi. L'area del Monte Somp-Pave è definita da un unico dominio omogeneo con attività pari al 10% pertanto, la zonazione della pericolosità effettuata considerando i punti di arresto ottenuti dalla simulazione in RocFall, è stata abbassata. Quest'area risulta per tanto a bassa pericolosità, prevalentemente H3.



**Figura 7.25: zonazione della pericolosità secondo la procedura RHAP nell'area del M.Somp-Pave**

In generale possiamo affermare che le carte di pericolosità ottenute con la procedura RHAP nell'area di Venzone risultano avere una pericolosità contenuta. Questa perchè la carta è fortemente influenzata dalla suddivisione dei domini omogenei e dalla modellazione effettuata con RocFall. Bisogna ricordare che la simulazione bidimensionale della caduta massi è fortemente dipendente dalla scelta soggettiva del percorso di discesa lungo il quale si effettua la modellazione, dalla topografia del versante e quindi dalla rugosità del LIDAR, dai coefficienti di restituzione e angolo di attrito assegnati ai materiali, dal numero e dal volume dei blocchi lanciati e dalla natura probabilistica con cui viene eseguita la modellazione.

## 7.5 Valutazione della pericolosità

Per ottenere una carta di pericolosità derivante dagli output di Conefall si utilizza una procedura simile a quella descritta per Hy\_Stone. In questo caso, siccome manca la misura dell'altezza, si combinano tra di loro solo le energie cinetiche e la probabilità di propagazione, count, ottenendo così un indice di pericolosità da una matrice 2D.

La probabilità di propagazione deve essere normalizzata rispetto al numero di celle sorgenti che per il caso delle sorgenti lineari sono 3705 mentre nel caso delle sorgenti areali sono 52251, tale operazione viene effettuata tramite il comando *raster calculator*. Il risultato ottenuto deve essere riclassificato in tre classi: <1, 1-10 e >10.

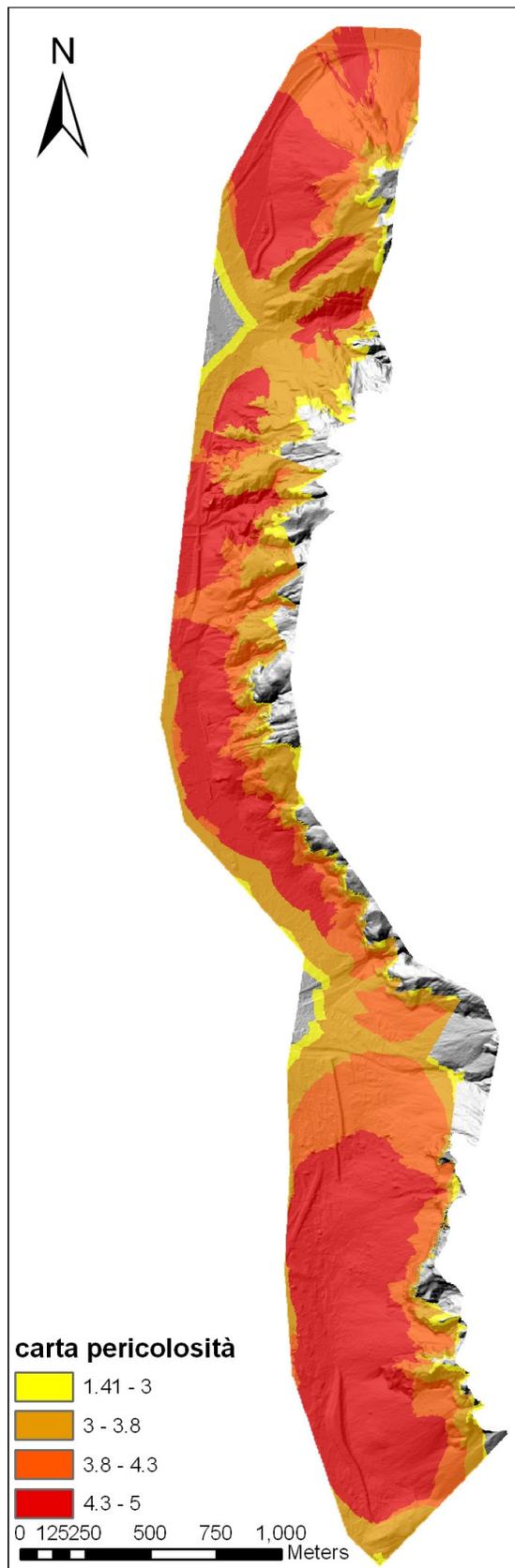
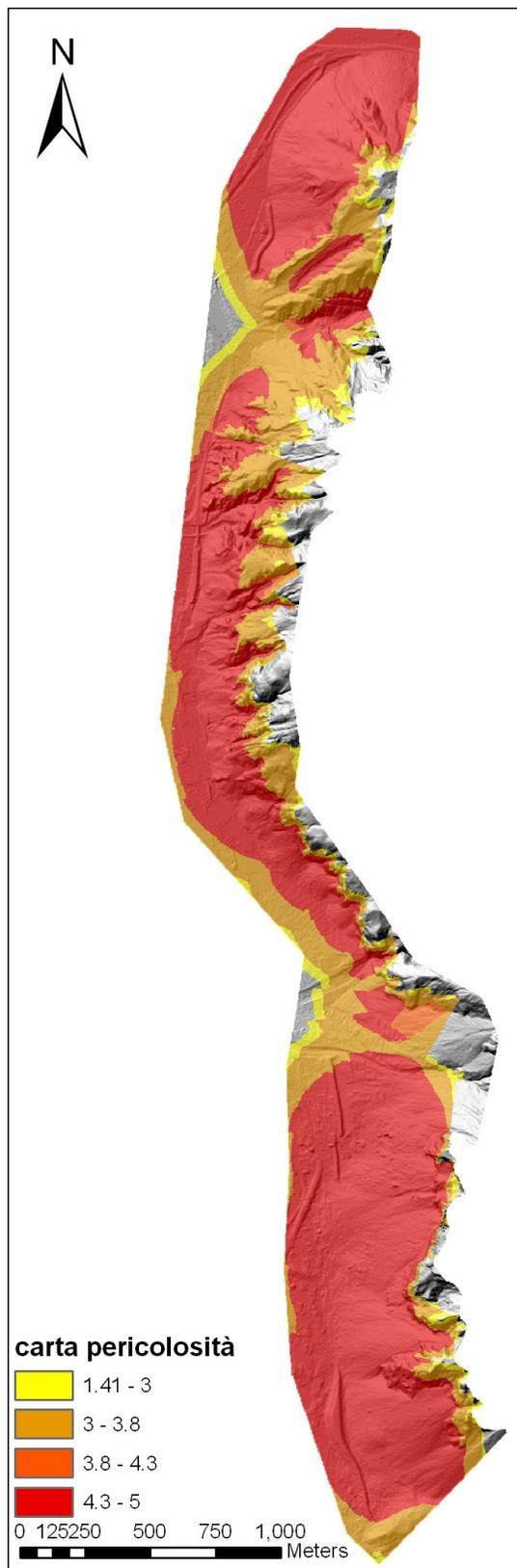
Anche l'energia cinetica deve essere riclassificata in tre classi: 0-300kJ, 300-700kJ e 700-2500kJ. Per generare la carta di pericolosità bisogna rinominare i nuovi valori, ovvero nel caso della probabilità di propagazione ( $p_p$ ) le tre classi saranno rinominate con 1,2 e 3 mentre nel caso dell'energia cinetica ( $e_c$ ) si useranno rispettivamente i valori 10,20 e 30 per le tre classi precedentemente individuate.

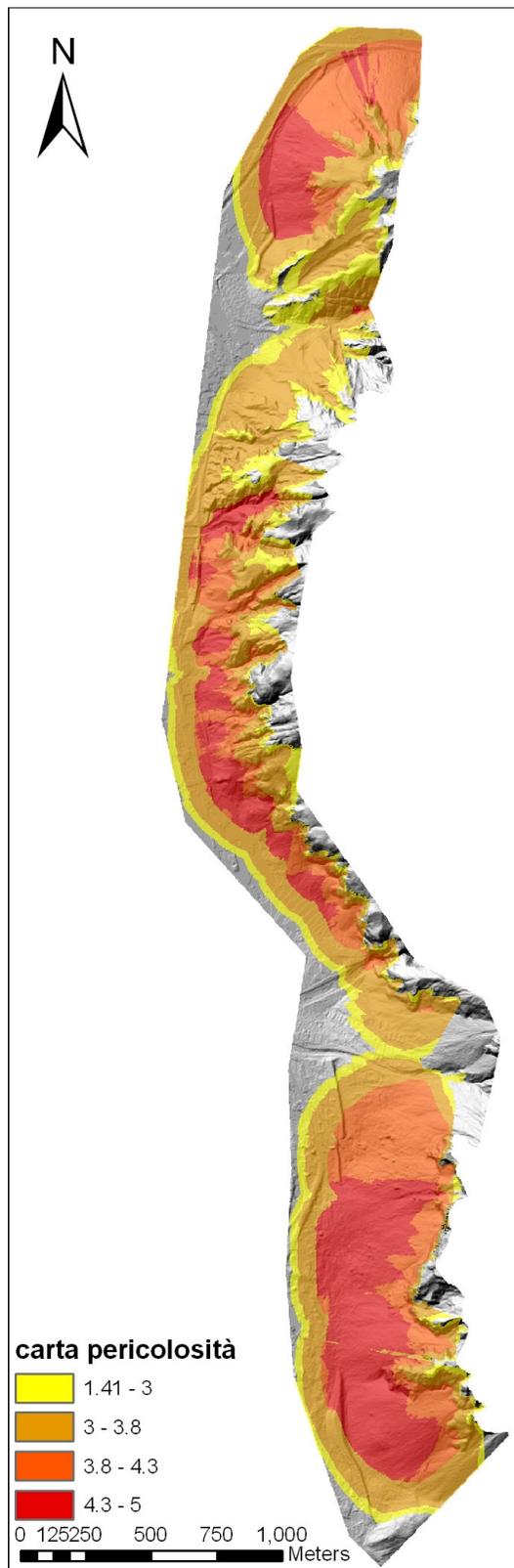
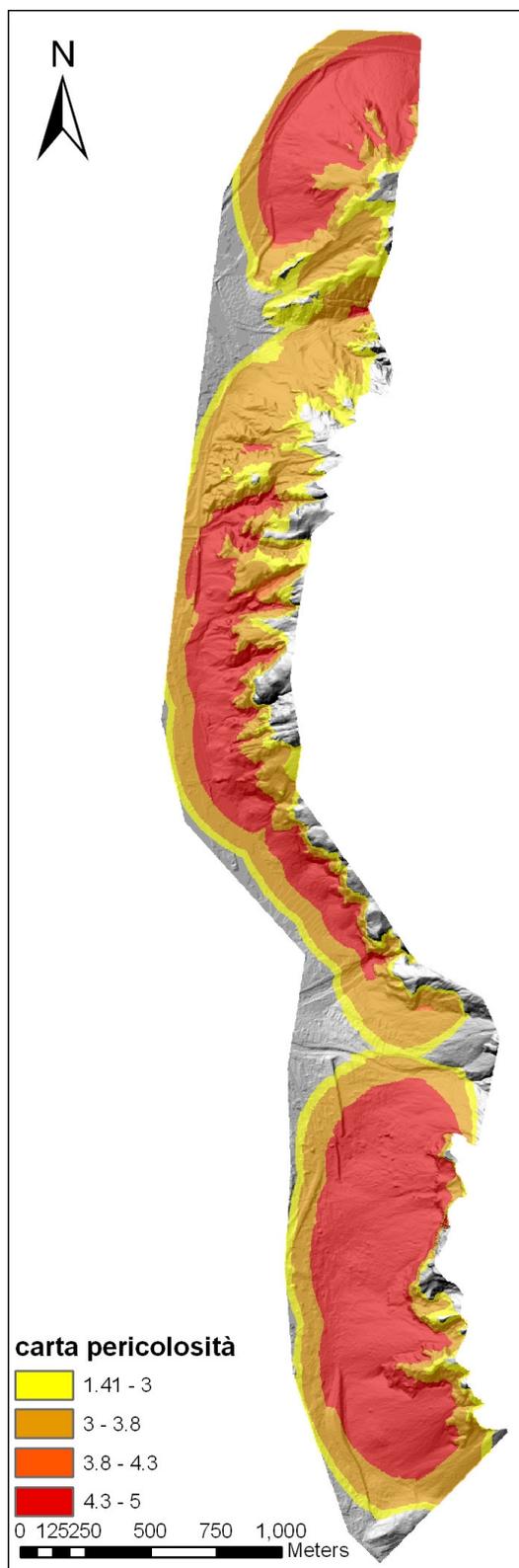
I due file raster così ottenuti si sommano e gli si attribuisce l'indice di pericolosità calcolato facendo "vector" =  $(p_p^2 + e_c^2)^{1/2}$ . Per fare tale operazione si utilizza la seguente tabella che verrà unita al file raster tramite il *join*.

Value	Freq	Ec	vector
11	1	1	1.41
12	1	2	2.24
13	1	3	3.16
14	1	4	4.12
21	2	1	2.24
22	2	2	2.83
23	2	3	3.61
24	2	4	4.47
31	3	1	3.16
32	3	2	3.61
33	3	3	4.24
34	3	4	5.00
41	4	1	4.12
42	4	2	4.47
43	4	3	5.00
44	4	4	5.66

**Tabelle: valore dell'indice di pericolosità calcolato per le diverse combinazioni di frequenza e energia cinetica**

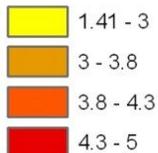
La carta di pericolosità è stata realizzata sia per la modellazione con angolo del cono di  $28^\circ$  che di  $33,5^\circ$  utilizzando oppure no un angolo di apertura del cono  $\alpha$  di  $\pm 15^\circ$ . Questi modelli sono stati realizzati sia considerando le sorgenti lineari che quelle areali.







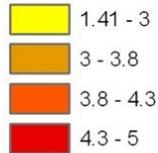
**carta pericolosità**



0 125 250 500 750 1,000  
Meters



**carta pericolosità**



0 125 250 500 750 1,000  
Meters



**Figura 7.26:** carte di pericolosità ottenute con l'approccio del cono d'ombra. A) sorgenti lineari  $\phi=28^\circ$ ; B) sorgenti lineari  $\phi=28^\circ$  e  $\alpha \pm 15^\circ$  C) sorgenti lineari  $\phi=33.5^\circ$  D) sorgenti lineari  $\phi=33.5^\circ$  e  $\alpha \pm 15^\circ$  E) sorgenti areali  $\phi=28^\circ$ ; F) sorgenti areali  $\phi=28^\circ$  e  $\alpha \pm 15^\circ$  G) sorgenti areali  $\phi=33.5^\circ$  D) sorgenti areali  $\phi=33.5^\circ$  e  $\alpha \pm 15^\circ$

Da queste immagini risulta facile notare che utilizzando l'angolo  $\alpha$  i coni si restringono ottenendo così una carta meno pericolosa; paragonando, invece, le carte di pericolosità realizzate utilizzando i due diversi angoli ( $28^\circ$  e  $33,5^\circ$ ) si può osservare la diversa distanza del massimo run-out, ovviamente maggiore nel caso di utilizzo dell'angolo  $28^\circ$ . Tale angolo corrisponde infatti al 100% degli arresti mentre l'angolo  $33,5^\circ$  corrisponde al 50%.

In generale, si può concludere affermando che i principali svantaggi legati all'utilizzo del metodo del cono d'ombra riguarda la necessità di avere angoli del cono già calibrati per ciascun sito oppure bisognerebbe effettuare numerose modellazioni utilizzando diversi valori di angolo in modo da stimare quello più idoneo per l'area considerata. L'altro svantaggio consiste nell'impossibilità di assegnare la suscettibilità di innesco a ogni cella.

### **7.5.1 Valutazione della pericolosità attraverso la procedura RHIV**

La pericolosità indotta da crolli in roccia può essere definita come la "probabilità che un certo punto dello spazio sia interessato da un evento di caduta massi caratterizzato da una certa intensità in un certo intervallo di tempo". La pericolosità è funzione della probabilità di innesco (legata alla suscettibilità alla rottura dei versanti in roccia) e della probabilità di propagazione (funzione delle caratteristiche del moto dei blocchi), a loro volta dipendenti dall'intensità del fenomeno.

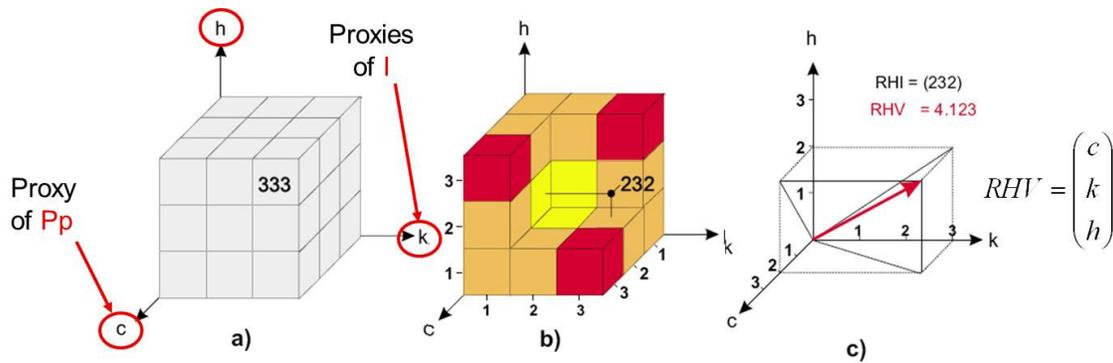
Le mappe raster e i risultati in formato vettoriale forniti da Hy\_Stone permettono di delineare le aree attraverso le quali i blocchi si possono propagare e le loro caratteristiche cinematiche (velocità e altezza). Di conseguenza, i risultati della modellazione in Hy\_Stone sono adatti ad essere combinati al fine di ottenere una valutazione spazialmente distribuita della pericolosità da crollo.

Il "count" del numero cumulativo di blocchi transitati per cella può essere considerato come un "proxy" della probabilità di occorrenza. Ad ogni cella, la mappa del "count" raffigura la probabilità (in termini relativi) che una certa porzione dello spazio (l'area occupata dalla cella) sia interessata dal transito di blocchi, in funzione della probabilità di rottura (o suscettibilità alla rottura, espressa dal numero di blocchi lanciati da diverse aree sorgenti), della variabilità stocastica dei parametri di modellazione, della morfologia locale del versante e della risoluzione spaziale del modello. Le velocità e l'altezza calcolate dal modello ad ogni cella e lungo ogni traiettoria forniscono invece separatamente informazioni sull'intensità dei fenomeni.

In aggiunta, diversi valori di massa dei blocchi possono essere introdotti in modo distribuito e combinato con i valori della velocità calcolata, ottenendo mappe dei valori di energia cinetica traslazionali che permettono una valutazione dinamica dell'intensità.

La pericolosità legata a crolli in roccia può essere definita come combinazione di componenti indipendenti, che possono essere diverse in funzione della definizione di intensità adottata. In questo caso è stato adottato un approccio "dinamico" che definisce una matrice 3D che rappresenta la pericolosità in funzione del count (c), dell'energia cinetica (k) e dell'altezza (h). Ogni elemento della matrice 3D (o "cubo") della pericolosità rappresenta una possibile combinazione delle tre componenti, caratterizzata da una specifica pericolosità. La pericolosità è espressa da un "indice di pericolosità da crollo" (Rockfall Hazard Index, RHI). Questo indice ha un significato "posizionale", il grado di pericolosità è definito da una specifica posizione dello spazio tridimensionale dei parametri. Il massimo incremento della pericolosità si verifica lungo la diagonale spaziale (trisettrice) dello spazio dei parametri.

Gli altri valori possibili dell'indice RHI rappresentano condizioni di pericolosità intermedie. Da un punto di vista puramente geometrico, tutti i punti che giacciono su ideali piani perpendicolari alla trisettrice dello spazio dei parametri rappresentano il medesimo livello di pericolosità. In realtà, dal momento che le componenti della pericolosità devono essere classificate in valori discreti, anche l'indice posizionale RHI sarà rappresentato da valori discreti (cubetti della matrice 3D). L'utilizzo di un indice posizionale RHI permette di descrivere il grado di pericolosità evidenziando in modo chiaro il contributo di ciascuna componente. D'altra parte, la natura posizionale dell'RHI impedisce di fatto una classificazione (e zonazione) della pericolosità. Di conseguenza, l'indice RHI necessita di essere tradotto in un indice "sequenziale". Si introduce a questo proposito il concetto di "vettore di pericolosità da crollo" (Rockfall Hazard Vector, RHV), il cui modulo verrà utilizzato per classificare il grado di pericolosità. La procedura utilizzata per valutare oggettivamente la pericolosità è quindi denominata RHIV (Rockfall Hazard Index/Vector procedure).



**Figura 7.26:** matrice tridimensionale “ckh”, utilizzata per la definizione della pericolosità. a) definizione generale dell’indice posizionale RHI; b) matrice cubica scomposta con valori di RHI classificati per grado di pericolosità; c) definizione concettuale del vettore RHV.

### 7.5.1.1 Riclassificazione dei parametri

Poiché i valori dei tre parametri sono caratterizzati da diverse dimensioni e ordini di grandezza, essi vengono riclassificati in tre classi. La scelta di un piccolo numero di classi semplifica la classificazione finale dei valori calcolati dell’indice RHI (la classificazione dei parametri in 3 classi risulta in 27 possibili valori di RHI) e permette di ottenere mappe di pericolosità più chiare.

#### *Energia cinetica (k)*

I valori calcolati dell’energia cinetica traslazionale (k) sono riclassificati in tre intervalli corrispondenti alla massima capacità di assorbimento delle più comuni tipologie di barriere paramassi, ovvero:

- ✓ barriere elastiche, costituite da pannelli di rete metallica montati su una struttura rigida e caratterizzate da capacità di assorbimento fino a 700 KJ;
- ✓ barriere elastoplastiche, dotate di una struttura flessibile, di controventi ed elementi frenanti (dissipatori), caratterizzate da capacità di assorbimento fino a 2500 KJ.

L’idea fondamentale è che fenomeni di caduta massi più pericolosi sono in grado di danneggiare tipologie più efficienti di barriere paramassi. Questo tipo di riclassificazione permette di introdurre nella mappa di pericolosità utili indicazioni per la progettazione delle opere difensive. Di conseguenza, valori riclassificati di k pari a 1,2 e 3 si otterranno per  $0 < k \leq 700$ ,  $700 < k \leq 2500$ ,  $k \geq 2500$  KJ, rispettivamente.

### *Altezza (h)*

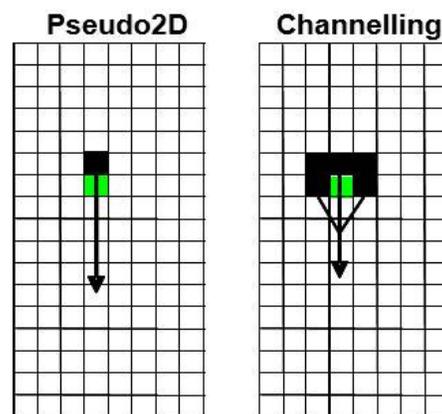
L'altezza  $h$  viene riclassificata in funzione della capacità del blocco simulato di superare tipologie specifiche di opere passive, in questo caso barriere paramassi (altezza: 4 m) e valli paramassi (altezza fino a 10 m). In questo caso, valori riclassificati pari a 1, 2 e 3 sono definiti per  $0 \leq h \leq 4$ ,  $4 < h \leq 10$ ,  $h \geq 10$  m, rispettivamente.

Il valore 0 è incluso nella classe 1 per il parametro  $h$ , diversamente da quanto accade per il parametro  $k$ . Infatti, un'altezza pari a 0 può indicare, nel modello numerico, una condizione di impatto o rotolamento, mentre un valore di energia cinetica pari a 0 kJ significa assenza di moto.

### *Count (c)*

La riclassificazione del valore del count ( $c$ ) è un compito più difficile, dal momento che non esistono criteri oggettivi e univoci per classificare la frequenza di transito. Infatti il numero di blocchi che transitano per una singola cella dipende dalle caratteristiche della topografia, dal numero di blocchi lanciati da diverse aree sorgenti e dalla variabilità stocastica dei parametri della modellazione numerica. Il valore  $c$  varia quindi caso per caso in modo non definibile a priori. In questo caso il valore del count è stato normalizzato sulla base di criteri definiti su base morfometrica, che rappresentano la transizione da versanti a morfologia planare a versanti con zone incanalate.

A questo scopo si assume che, considerata una determinata cella sul versante, almeno 5 "celle contribuenti" disposte secondo un pattern a "ferro di cavallo" siano necessarie per iniziare un effetto di incanalamento delle traiettorie. Il numero di 5 celle contribuenti costituisce una condizione limite minima perchè si verifichino effetti di incanalamento, definita ignorando altre eventuali celle contribuenti.



**Figura 7.27: schema di normalizzazione del valore del count: a sinistra caso di morfologia planare; a destra caso di incanalamento.**

Secondo questo approccio, il valore di  $c$  ad ogni cella viene normalizzato rispetto a  $5n$ , dove  $n$  è il numero di blocchi lanciati da ciascuna cella contribuyente. Questo approccio consente di normalizzare il count indipendentemente dal suo valore assoluto (che rappresenta un descrittore poco efficace della pericolosità) e di caratterizzare in modo implicito le dimensioni dell'area contribuyente:

- ✓ valori normalizzati di  $c$  inferiori a 0.2 denotano una bassa frequenza di crolli in aree a geometria semplice (non incanalate);
- ✓ valori normalizzati di  $c$  compresi tra 0.2 e 1 denotano una frequenza crescente di crolli su versanti a geometria relativamente semplice;
- ✓ valori normalizzati di  $c$  maggiori di 1 identificano le aree più pericolose rispetto alla frequenza (aree canalizzate o altissima frequenza di transiti su versanti a morfologia planare).

Dato che nelle modellazioni eseguite si è scelto di lanciare 10 blocchi da ciascuna cella sorgente, il count viene riclassificato secondo i valori soglia di 10 e 50 per il seguente motivo: ponendo  $c_{norm}=c/5n$ , dove  $c_{norm}=0.2$ , si ottiene  $c = 10$  dato che  $n = 10$ . Allo stesso modo, se  $c_{norm} = 1$ , si ottiene  $c = 50$ .

La riclassificazione dei parametri di ingresso è finalizzata al possibile utilizzo delle mappe di pericolosità a fini di mitigazione.

class	$c$ (normalised)		$k$ (kJ)	$h$ (m)
	regional scale	local scale		
1	< 0.2	< 0.01	$\leq 700$	$\leq 4$
2	0.2 – 1	0.01 – 0.1	700 – 2500	4 – 10
3	> 1	> 0.1	$\geq 2500$	$\geq 10$

**Tabelle: schema di riclassificazione dei parametri utilizzato nella procedura per la valutazione della pericolosità.**

I valori riclassificati dei parametri di ingresso  $c$ ,  $k$  e  $h$  possono essere combinati in ambiente GIS, tramite semplici operazioni di *Raster Calculator*, al fine di ottenere una mappa di valori dell'indice posizionale RHI che, ad ogni cella, rappresenta un valore di pericolosità e identifica (attraverso le 3 cifre) i contributi dei parametri  $c$ ,  $k$  e  $h$ . Le 27 classi risultanti sono difficili da ordinare secondo un grado crescente del livello di pericolosità. Di conseguenza, l'indice posizionale necessita di essere

tradotto in un indice sequenziale. Il criterio che permette tale traduzione è fornito dal modulo del vettore RHV definito semplicemente da:

$$|RHV| = \sqrt{c^2 + k^2 + h^2}$$

Poiché c, k e h sono valori discreti, il valore del modulo del vettore RHV non varia in modo continuo, ma può essere suddiviso in 3 classi nella mappa finale della pericolosità. Questa mappa è stata riclassificata utilizzando i valori calcolati del modulo del vettore RHV nelle seguenti tre classi:

1.  $1.732 \leq |RHV| \leq 3$ : bassa pericolosità;
2.  $3 \leq |RHV| \leq 4.360$ : media pericolosità;
3.  $4.360 \leq |RHV| \leq 5.196$ : alta pericolosità.

E' possibile inoltre definire una quarta classe di "pericolosità indefinita", che include aree nelle quali fenomeni di crollo, in base ai risultati della modellazione numerica, non sono attesi. In queste aree, di conseguenza, il modulo del vettore RHV non è definito.

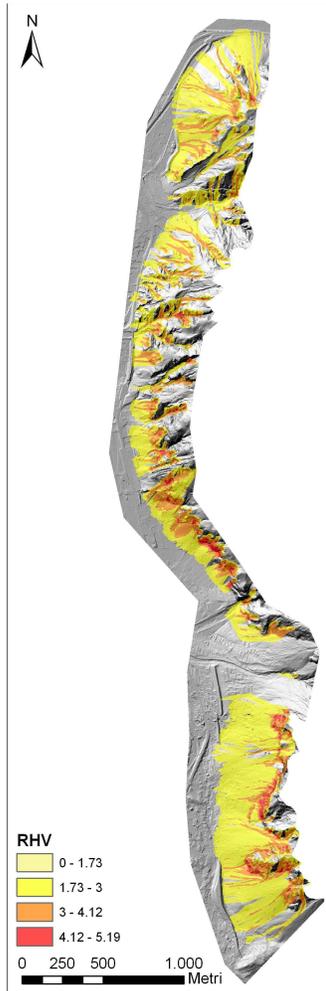
Vale la pena notare che, mentre la riclassificazione dei parametri di ingresso che contribuiscono alle pericolosità (c, k e h) è stata fatta secondo criterio oggettivi, una classificazione univoca della mappa finale di pericolosità è impossibile, poiché non esiste una definizione oggettiva di "alta", "media" e "bassa" pericolosità.

### **7.5.2 Applicazione della procedura RHV nell'area di Venzone**

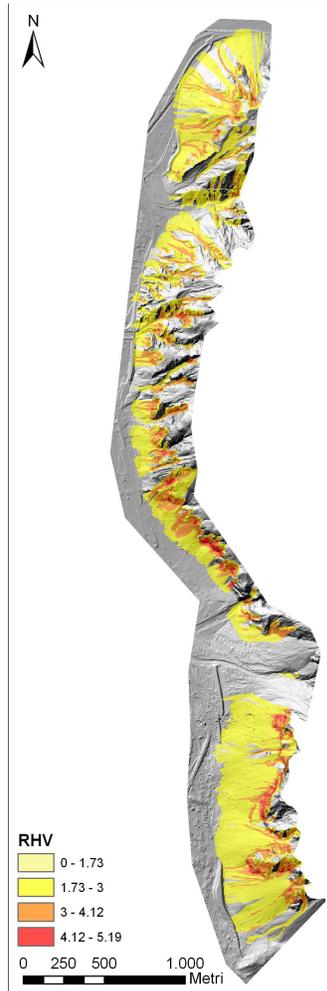
La procedura RHV è stata applicata ai modelli effettuati con Stone utilizzando una toolbox di ArcGIS appositamente realizzata.

Per ottenere le carte di pericolosità sono stati considerati i valori massimi di energia cinetica e dell'altezza dei blocchi in quanto tali valori permettono di valutare lo scenario più conservativo, ovvero la situazione peggiore.

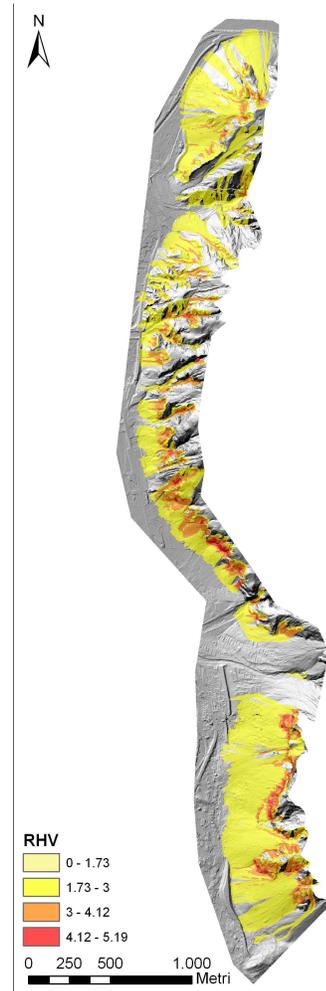
La carta di pericolosità ottenuta è stata successivamente uniformata tramite analisi statistica distribuita effettuata con il comando *Neighbourhood statistics* che permette di mediare i valori del vettore del RHV delle celle più vicine. Tale comando è stato realizzato considerando le celle presenti in un cerchio di raggio 5 metri all'interno del quale sono stati mediati prima i valori medi e poi quelli massimi.



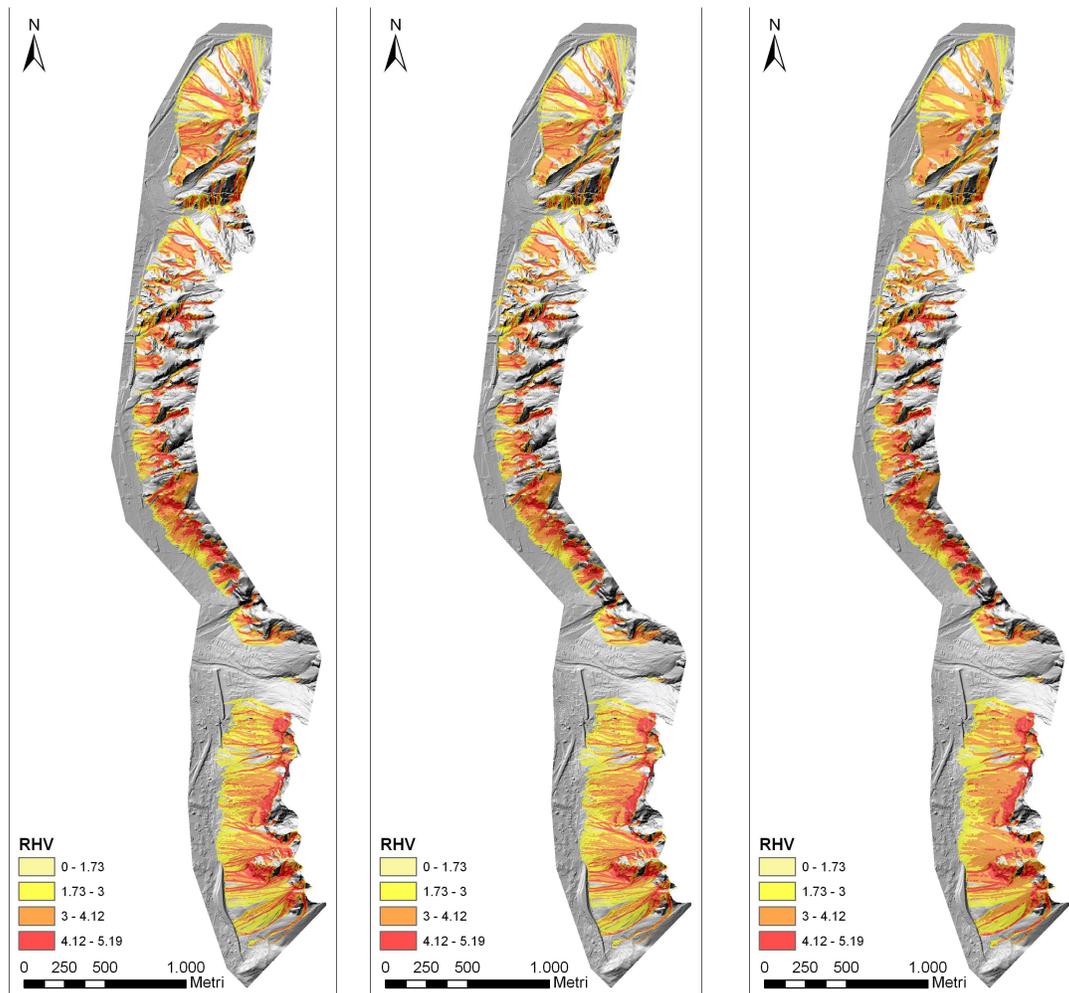
Suscettibilità uniforme



Suscettibilità euristica



Suscettibilità deterministica



Suscettibilità uniforme

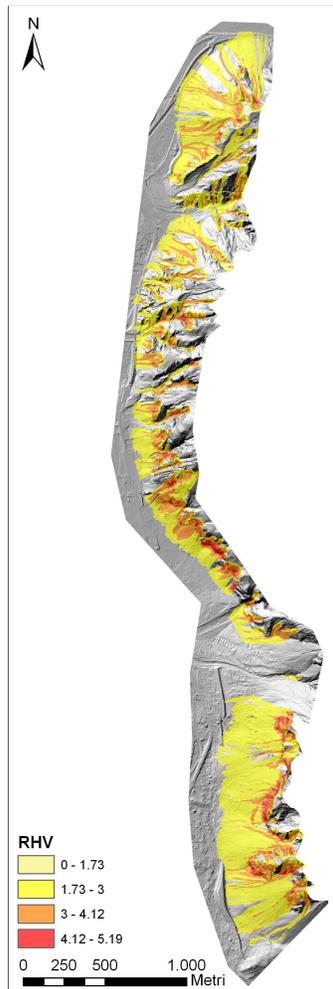
Suscettibilità euristica

Suscettibilità deterministica

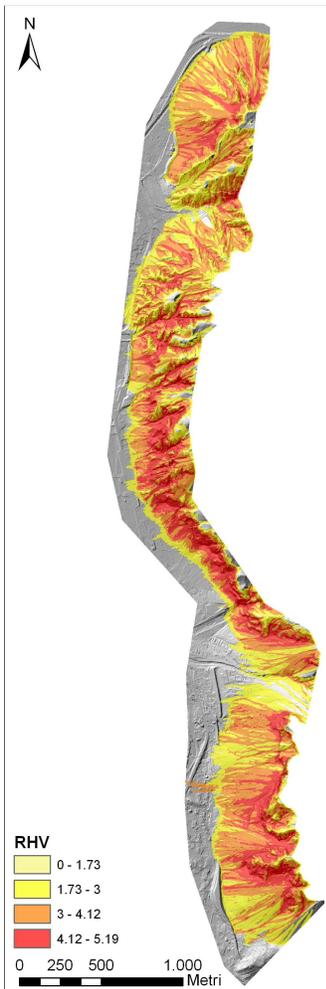
**Figura 7.28: Confronto delle mappe di pericolosità realizzate per sorgenti lineari con suscettibilità all'innescò valutata con diversi approcci. Le prime tre mostrano l'RHV ottenuto facendo la Neighbourhood statistics dei valori medi mentre le altre tre dei valori massimi.**

Confrontando le carte di pericolosità realizzate con la stessa tipologia di sorgenti e lo stesso volume dei blocchi ma considerando la suscettibilità all'innescò valutata con diversi approcci si può notare che sebbene non ci siano grosse differenze, lo scenario meno pericoloso è quello in cui la suscettibilità all'innescò è stata valutata con approccio deterministico. Questo è dovuto al fatto che i valori minimi di suscettibilità ottenuti con approccio deterministico sono molto inferiori rispetto a quelli ottenuti con approccio euristico. Si hanno, infatti, dei valori minimi pari al 6 % nel primo caso contro il 50 % del secondo approccio. Tali percentuali influiscono sui valori del count pesato che infatti risultano più elevati nel caso dell'approccio euristico (confronto Figure 7.3-7.4).

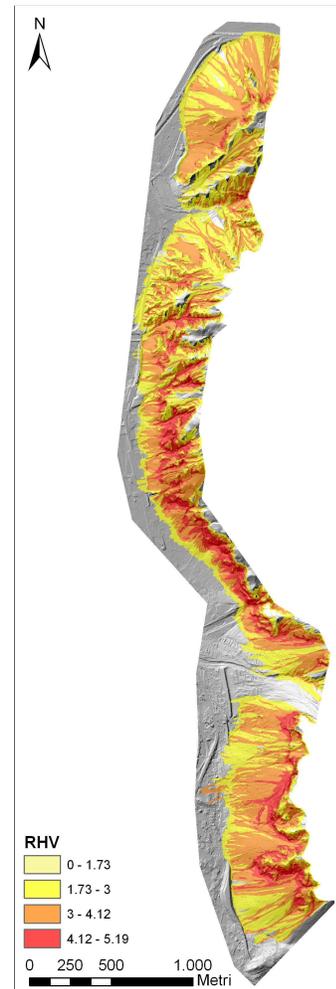
Per le stesse ragioni la carta di pericolosità ottenuta considerando la suscettibilità uniforme risulta essere quella più pericolosa in quanto si considera una suscettibilità del 100% in tutte le celle sorgenti.



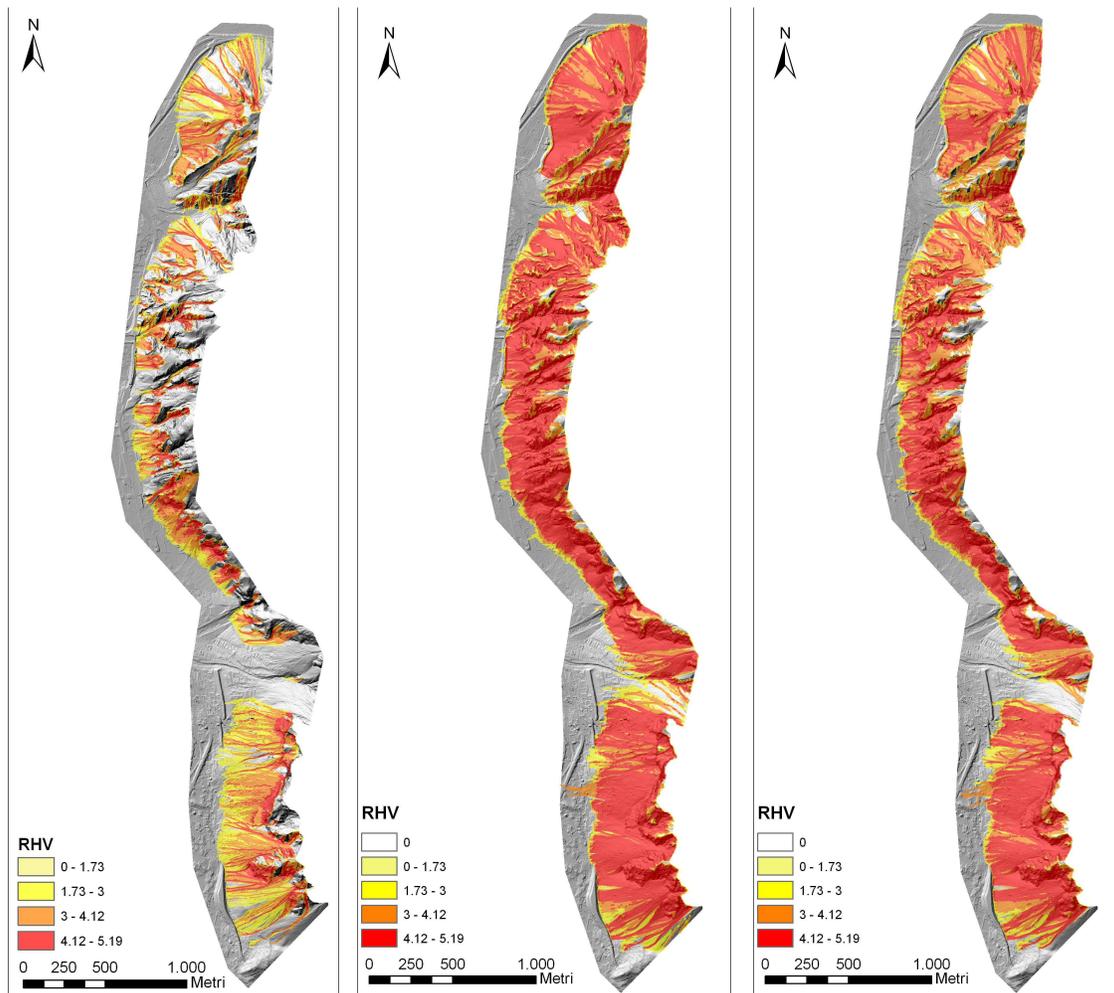
Simulazione A:  
Sorgenti lineari con  
suscettibilità all'innesco  
uniforme



Simulazione D: Sorgenti  
areali con suscettibilità  
all'innesco valutata con  
approccio euristico



Simulazione E: Sorgenti areali  
con suscettibilità all'innesco  
valutata con approccio  
deterministico



Simulazione A: Sorgenti lineari con suscettibilità all'innescò uniforme

Simulazione D: Sorgenti areali con suscettibilità all'innescò valutata con approccio euristico

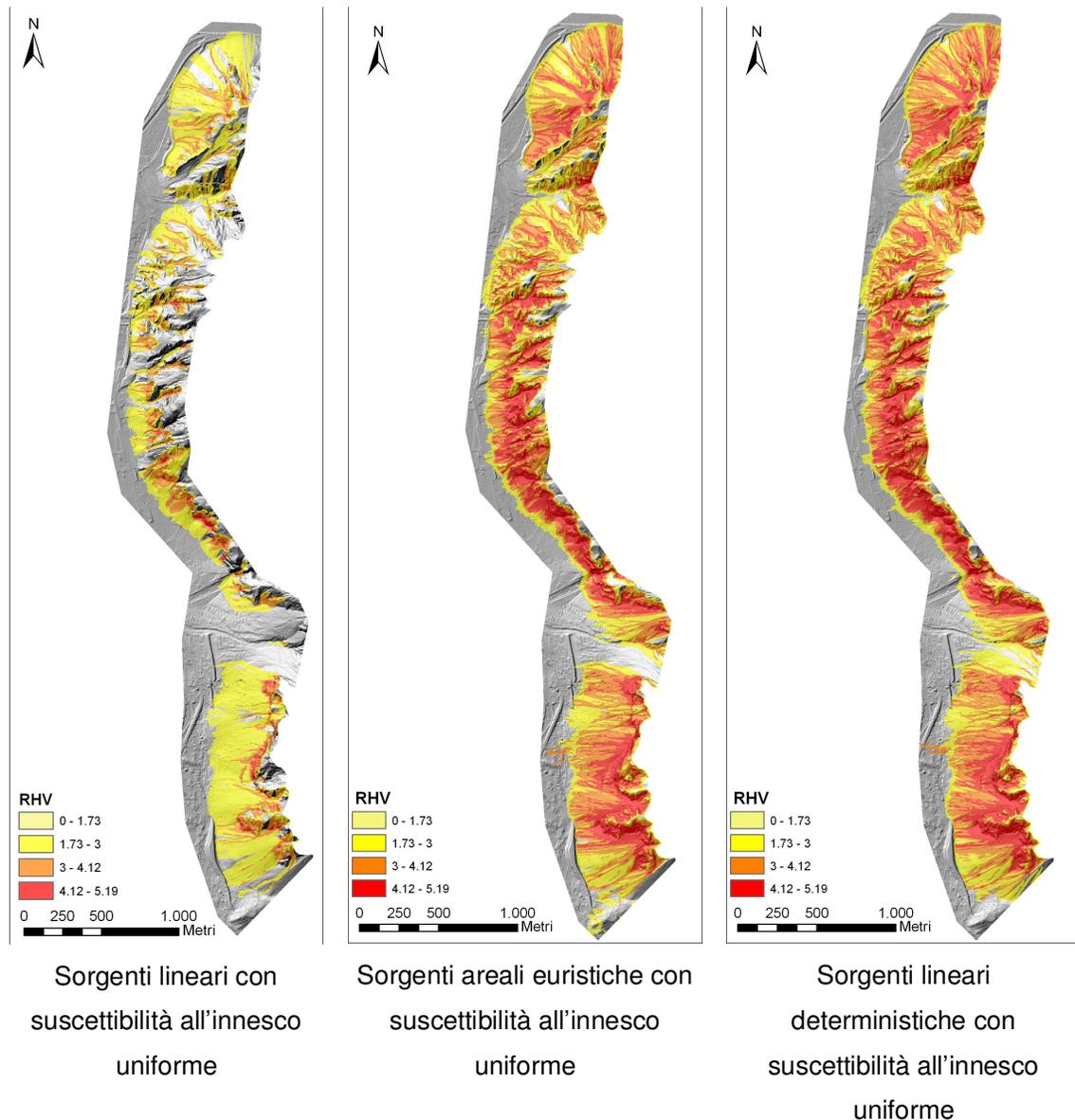
Simulazione E: Sorgenti areali con suscettibilità all'innescò valutata con approccio deterministico

**Figura 7.29: Confronto delle mappe di pericolosità realizzate per diversi tipi di sorgenti e suscettibilità all'innescò. Le prime tre mostrano l'RHV ottenuto facendo la Neighbourhood statistics dei valori medi mentre le altre tre dei valori massimi.**

Confrontando le carte di pericolosità realizzate con diverse tipologie di sorgenti e di approcci per determinare la suscettibilità all'innescò ma considerando lo stesso volume dei blocchi, si può notare che lo scenario più pericoloso risulta essere di nuovo quello in cui si considerano le sorgenti areali con suscettibilità all'innescò valutata con approccio euristico. Questo è sempre legato al fatto che i valori di suscettibilità sono più elevati.

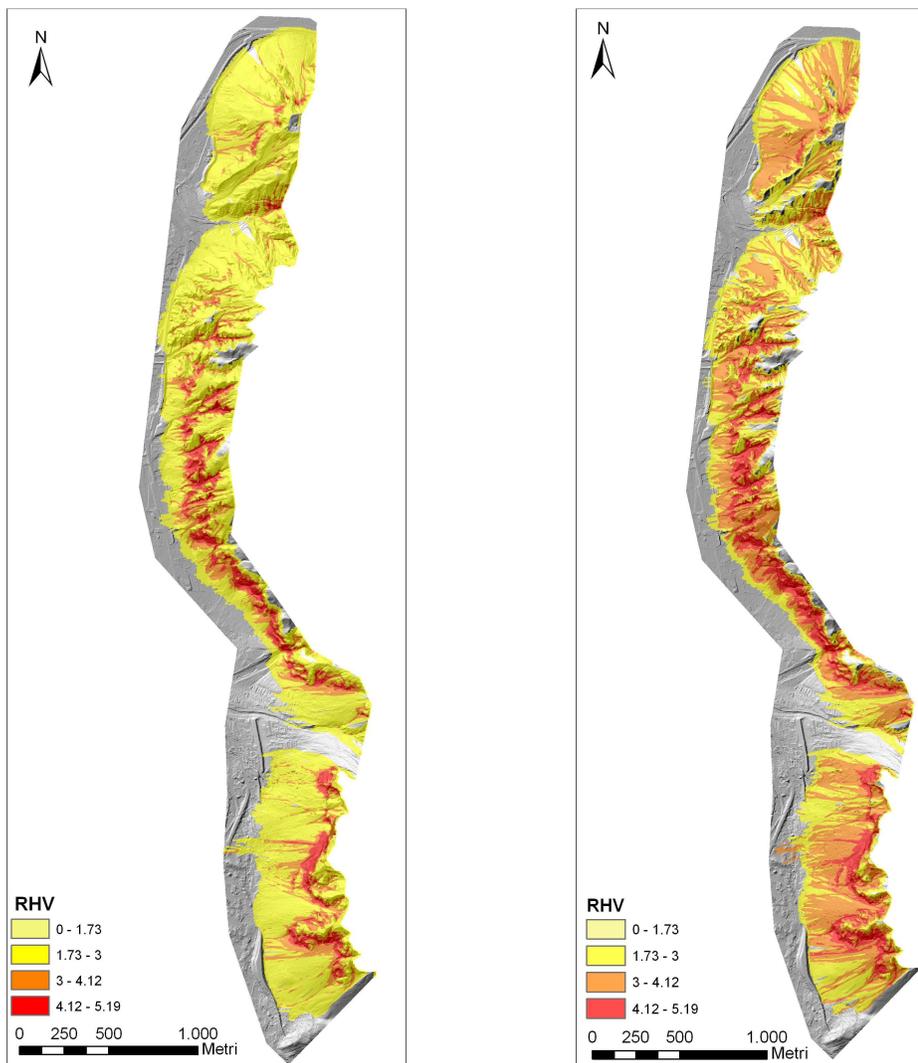
Lo scenario meno pericoloso, invece, è quello in cui si considerano le sorgenti lineari con suscettibilità all'innescò uniforme. Questo è legato al ridotto numero di celle

sorgenti lineari (3705) rispetto a quelle areali (477705 o 735479 rispettivamente per approccio euristico o deterministico). Il numero delle celle sorgenti controlla, infatti, il valore del count ovvero del numero di blocchi che transitano in ogni cella. L'influenza del numero di celle sorgenti è messa in evidenza se si confrontano diverse tipologie di sorgenti a parità di suscettibilità all'innescò e di volume dei blocchi. In questo caso lo scenario più pericoloso risulta essere quello in cui si considerano le sorgenti areali determinate con approccio deterministico in quanto sono quelle che possiedono un maggior numero di celle sorgenti anche se la differenza con le sorgenti empiriche non è così evidente.



**Figura 7.30: Confronto delle mappe di pericolosità realizzate per diversi tipi di sorgenti a parità di suscettibilità.**

L'ultimo confronto che si prende in considerazione è l'effetto del volume modale dei blocchi sulla carta della pericolosità. A parità di tipo di aree sorgenti e di suscettibilità all'innesco è facile intuire che aumentando il volume modale del blocco la pericolosità aumenta significativamente in quanto si ha un notevole incremento dell'energia cinetica (Figura 7.17-7.18). Viene riportato il confronto per sorgenti areali e suscettibilità all'innesco determinate con approccio deterministico.

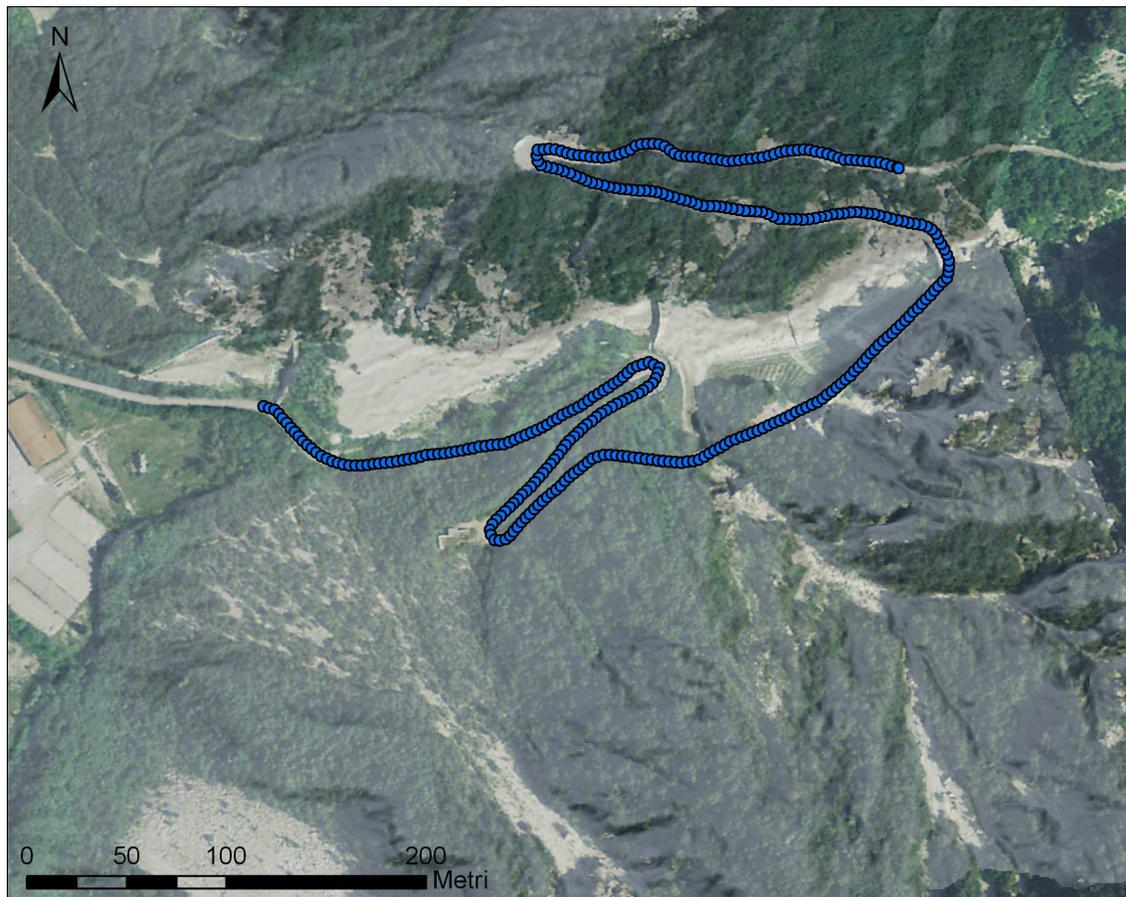


$V_{\text{modale}} = 0,12 \text{ m}^3$  e  $V_{\text{massimo}} = 500 \text{ m}^3$        $V_{\text{modale}} = 1,5 \text{ m}^3$  e  $V_{\text{massimo}} = 70 \text{ m}^3$

**Figura 7.31: Confronto delle mappe di pericolosità realizzate variando il volume modale a parità di sorgenti e suscettibilità all'innesco.**

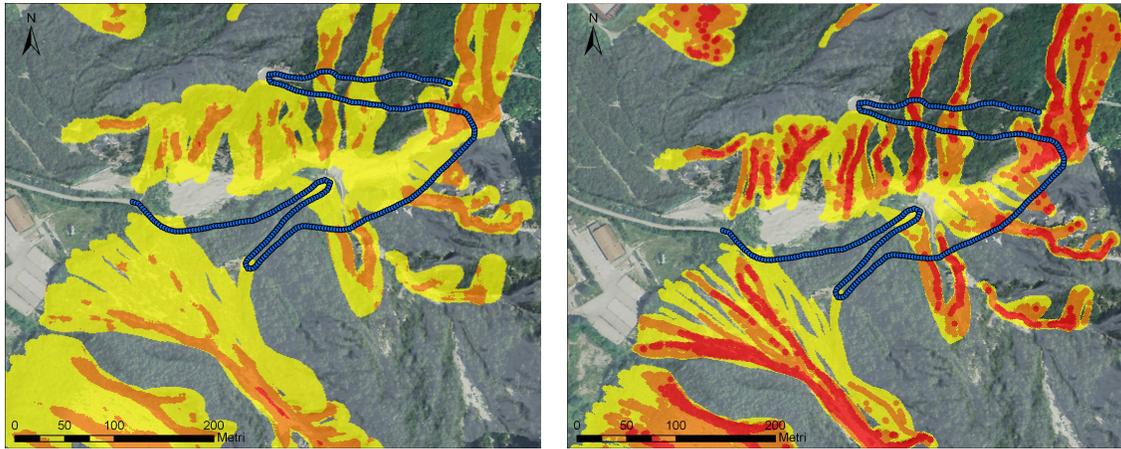
### 7.5.3 Valutazione della pericolosità lungo un profilo

Le mappe di pericolosità ottenute attraverso la procedura RHV possono essere utilizzate per la valutazione della pericolosità lungo elementi lineari come strade, lifelines e simili. Un'analisi di questo tipo può essere utile per valutare gli eventuali interventi di protezione da fenomeni di caduta massi.



**Figura 7.32: profilo lungo il quale è stata valutata la pericolosità**

Nell'area di Venzone tale procedura è stata applicata per valutare la pericolosità lungo la strada che attraversa la valle del Rio Tugliezzo. Il valore del RHV massimo e medio calcolato per le simulazioni A, D ed E è stato campionato grazie all'estensione *Easy Profiles* di ArcGIS. Tale campionamento è stato effettuato ogni 3 metri. I valori del RHV così ottenuti sono stati rappresentati tramite dei grafici in funzione della distanza, partendo dalle quote più basse a quelle più elevate.



RHV medio

RHV massimo

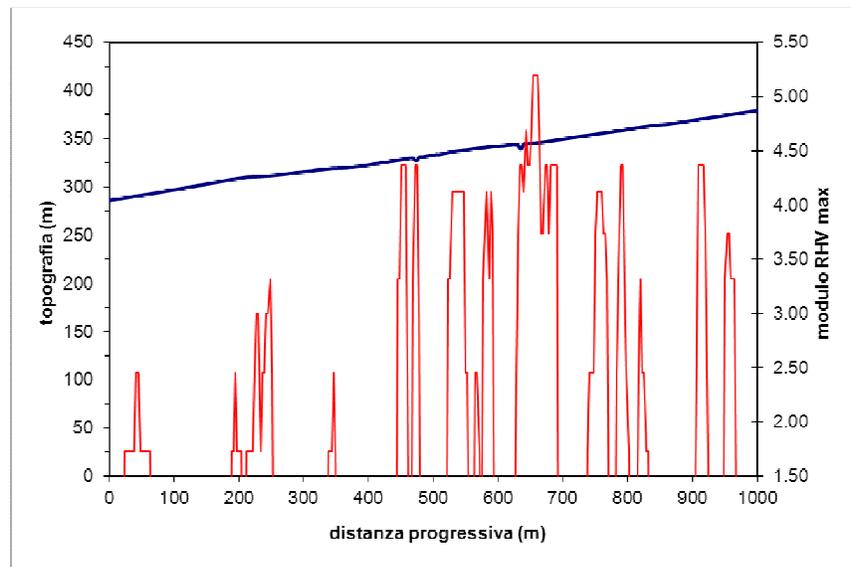
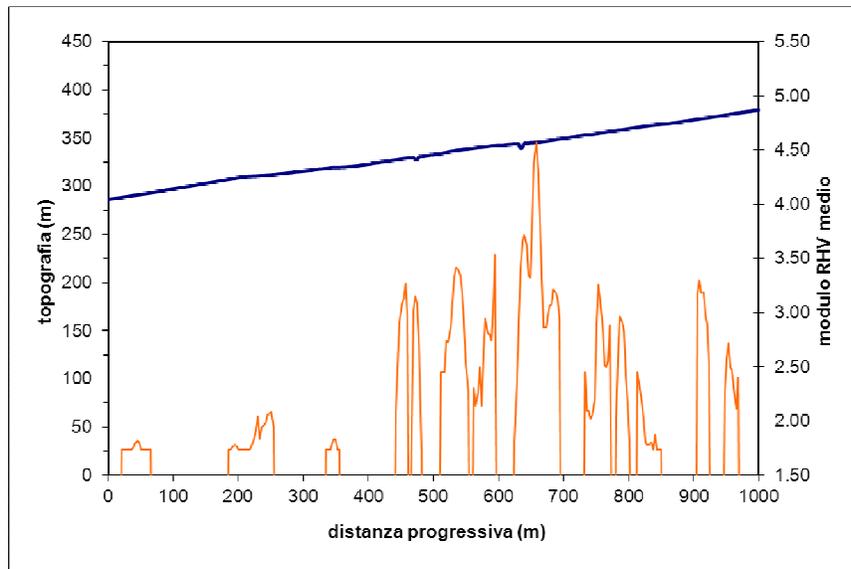
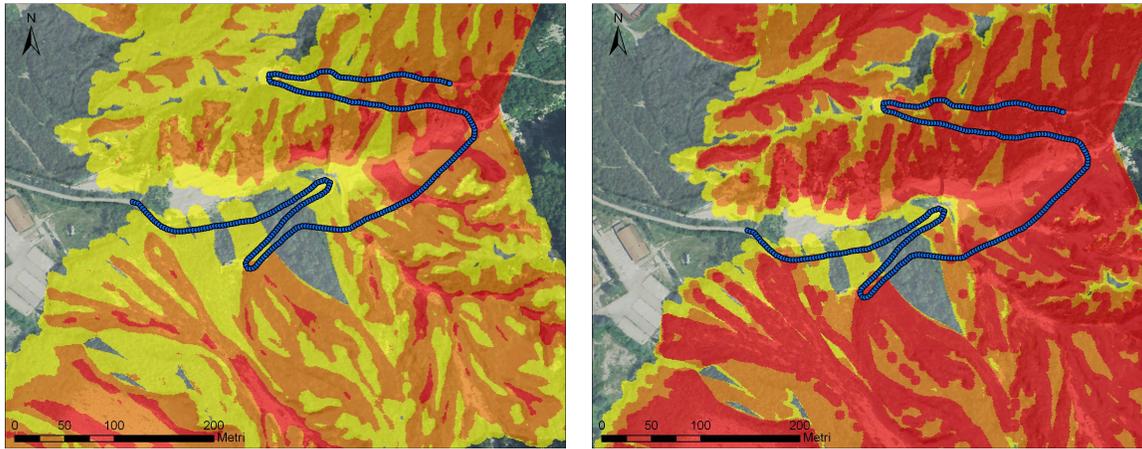


Figura 7.33: Mappe e grafici relativi all’RHV medio e massimo valutato lungo il profilo tramite la simulazione A



RHV medio

RHV massimo

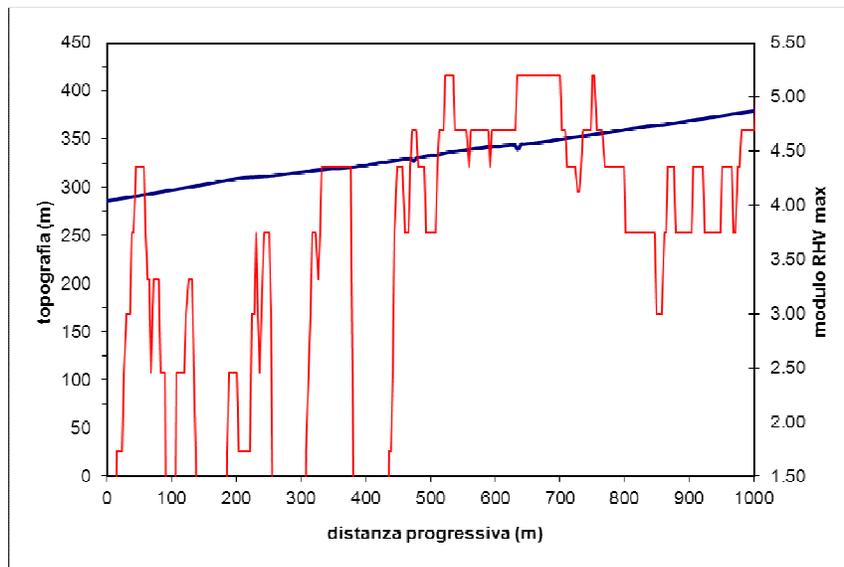
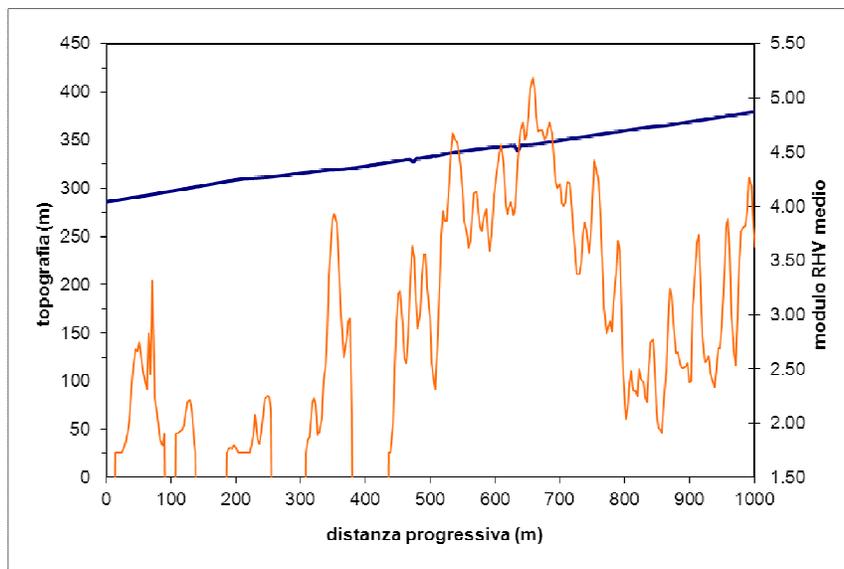
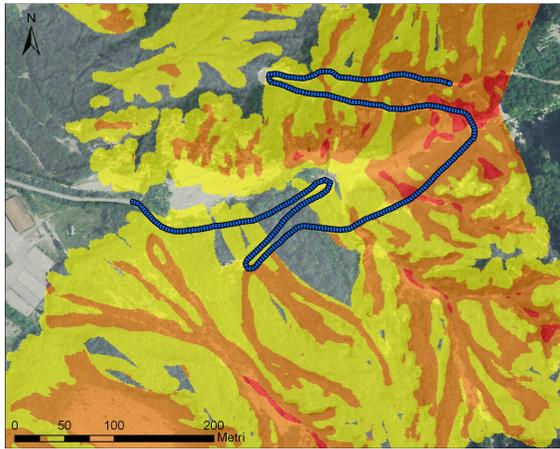
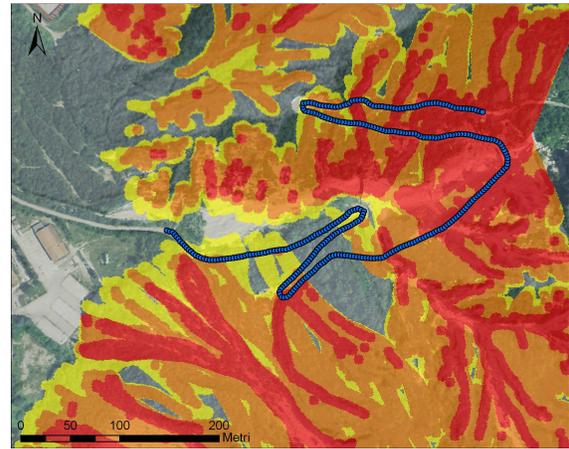


Figura 7.34: Mappe e grafici relativi all'RHV medio e massimo valutato lungo il profilo tramite la simulazione D



RHV medio



RHV massimo

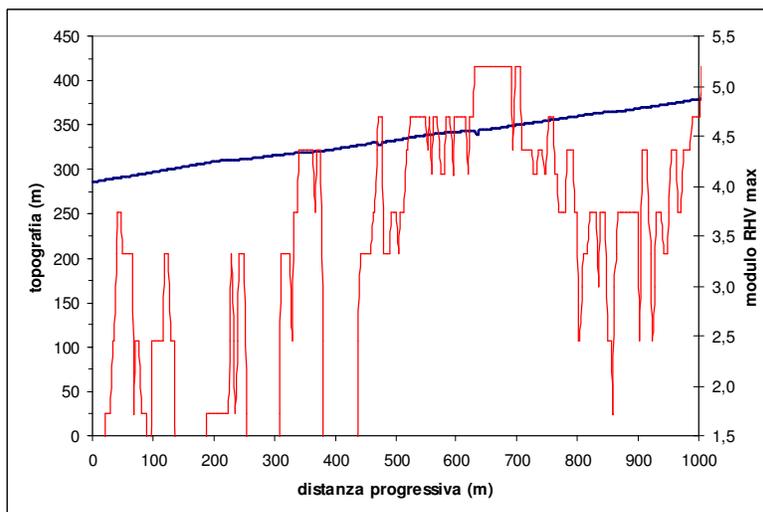
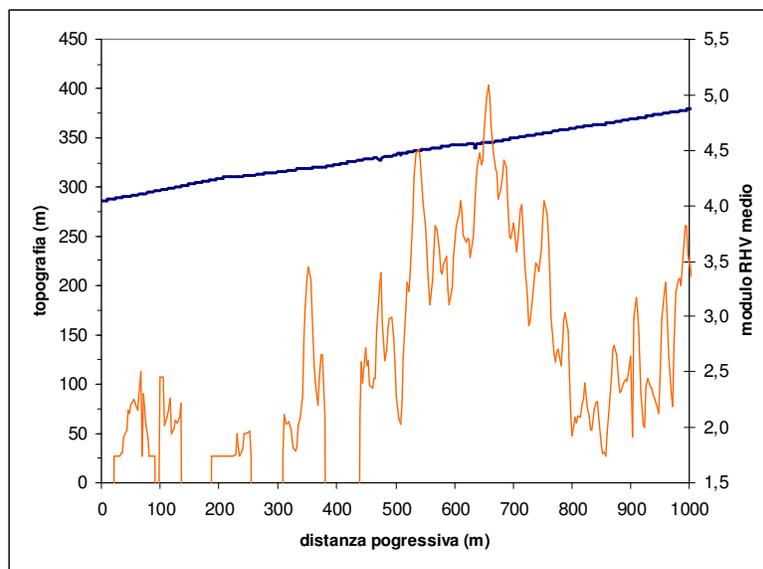


Figura 7.35: Mappe e grafici relativi all’RHV medio e massimo valutato lungo il profilo tramite la simulazione D

Dai grafici si nota che i valori più elevati del RHV si ritrovano a una distanza compresa tra i 600 m e i 700 m ovvero nell'area in cui il tracciato stradale attraversa il Rio Tugliezzo. Un'altra zona, meno estesa, ma con elevata pericolosità è situata a una distanza di circa 530 m dall'inizio del profilo. Non a caso in questo tratto di strada è stata realizzata una galleria paramassi.

## 8 Conclusioni

L'area di Venzone è fortemente interessata da fenomeni di caduta massi e di crolli in massa, per tale motivo sono state effettuate delle analisi sulla suscettibilità e pericolosità legate a questi fenomeni.

La pericolosità da crollo è stata valutata prendendo in considerazione la suscettibilità all'innescò e la probabilità di propagazione. La probabilità di innescò è stata valutata sia attraverso un approccio euristico sia con quello deterministico. La probabilità di propagazione, invece, è stata stimata utilizzando diversi codici di calcolo: RocFall (Stevens, 1998) per la modellazione matematica 2D, Conefall (Jaboyedoff, 2003) che consente di valutare la massima distanza di espansione dei blocchi attraverso l'approccio empirico del "cono d'ombra" e infine Hy\_Stone (Crosta et al., 2004) per la modellazione matematica 3D.

La modellazione 2D tramite RocFall è stata effettuata solo in due zone limitate dell'area di studio (M.Clapon del Mai e M.Somp-Pave). In entrambe le aree vengono analizzate in maniera probabilistica le traiettorie di 1000 blocchi di 1,5 m<sup>3</sup> lungo tre profili di discesa preferenziale. I risultati della modellazione dipendono fortemente dall'accuratezza con cui si scelgono i percorsi di discesa.

La massima distanza di propagazione è stata valutata anche con il codice Conefall, un programma basato sull'approccio del cono d'ombra. Per l'area di studio sono stati utilizzati gli angoli del cono proposti da Onofri e Candian (28° e 33,5°) con o senza angolo di apertura ( $\pm 15^\circ$ ). I risultati risentono del tipo di aree utilizzate per la modellazione, in particolare nell'area di studio è risultato più idoneo impiegare le sorgenti areali in quanto con le sorgenti lineari si ottengono dei valori della frequenza di transito troppo esigui.

I risultati più attendibili e soddisfacenti derivano dalla modellazione 3D effettuata con Hy\_Stone. Utilizzando questo codice sono stati effettuati diversi modelli variando la tipologia di sorgenti, l'approccio con cui è stata valutata la suscettibilità all'innescò (uniforme, empirica/euristica o deterministica) e il volume. Le sorgenti lineari (3705 celle) anche in questo caso sono risultate meno significative di quelle areali (477705 o 735479 celle) in quanto sono relativamente pochi i pixel sorgenti. La suscettibilità valutata con il metodo euristico risente della soggettività e dell'esperienza dell'operatore a riconoscere i fenomeni di crollo quindi è meglio utilizzare quella valutata con approccio deterministico basato sul rapporto tra il numero di

cinematismi reali e potenziali. Per quanto riguarda il volume dei blocchi si ritiene valido il volume modale determinato tramite il metodo degli outliers con coefficiente 1,5 ( $1.5 \text{ m}^3$ ) e volume massimo determinato con il 95° percentile ( $70 \text{ m}^3$ ). Per una caratterizzazione dei volumi ancora più accurata potrebbe essere utile, in futuro, eseguire rilevamenti con laser scanner terrestri (TLS) soprattutto nelle zone di danneggiamento all'intorno di elementi strutturali e faglie. In tali zone l'ammasso roccioso risulta infatti fortemente fratturato.

Con questi rilevamenti si potrebbe determinare il volume roccioso medio che caratterizza un particolare dominio omogeneo consentendo, quindi, di effettuare simulazioni in cui si prendono in considerazione diversi volumi per le varie zone omogenee.

I risultati ottenuti dalle modellazioni sono stati utilizzati per realizzare delle carte di pericolosità in cui si prende in considerazione sia la probabilità di innesco che di propagazione.

Dall'analisi dei punti di arresto dei blocchi ottenuti utilizzando il software RocFall è stato possibile effettuare la zonazione della pericolosità secondo la procedura RHAP (Rockfall Hazard Assessment Procedure, ) ma i valori ottenuti sono troppo bassi rispetto a quelli attesi considerando l'entità degli eventi storici.

Anche la frequenza di transito e l'energia cinetica calcolati usando ConeFall possono essere utilizzati per realizzare delle carte di pericolosità. Queste dipendono dagli angoli del cono considerato e dal tipo di sorgente nonché dalla morfologia locale. Nell'area di Venzone i risultati più attendibili sono quelli in cui si considerano sorgenti areali e angolo del cono di  $28^\circ$ . I modelli in cui si impone un range di apertura del cono d'ombra sembrano più realistici rispetto a quelli senza vincoli.

L'applicazione del metodo del cono d'ombra nell'area di Venzone fornisce dei buoni risultati in quanto sono stati adoperati angoli di apertura del cono proposti e tarati da Onofri e Candian (1979) proprio nella stessa area a seguito del terremoto del 1976.

Infine i dati ottenuti dalle modellazioni effettuate con Hy\_Stone possono essere usati per valutare la pericolosità tramite l'RHV. Lo scenario più pericoloso è quello ottenuto considerando sorgenti areali e suscettibilità all'innesco valutate con approccio euristico. Questo è principalmente legato alle percentuali di suscettibilità all'innesco utilizzate. Infatti, essi presentano dei valori più elevati rispetto a quelle determinate con approccio deterministico. Considerando la soggettività

dell'approccio euristico i risultati più attendibili sono, però, quelli che derivano dalla simulazione effettuata con sorgenti e suscettibilità determinate con approccio deterministico.

## 9 Bibliografia

Agliardi, F. & Crosta, G.B.: High resolution three-dimensional numerical modelling of rock falls, *Int. J. Rock Mechanics and Mining Sci.*, 40, 455–471, 2003.

Agliardi, F.: Frane di crollo e caduta massi: modellazione numerica 3D e valutazione della pericolosità. Tesi di dottorato in Scienze della Terra (XV ciclo), Università degli Studi di Milano, 228 pp, 2003.

Agostinacchio M., Olita S.: Elementi di ritenuta paramassi - Tecnica e progettazione per costruzioni stradali e ferroviarie. EPC Libri, 2002.

Carulli, G.B. (2006): Carta Geologica del Friuli-Venezia Giulia. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia, Università di Trieste e Università di Udine. Ed. SELCA, Firenze (carta a scala 1:150.000 e Note Illustrative).

CONEFALL 1.0 User's Guide. Open report – Soft 01, Quanterra. [www.quanterra.org](http://www.quanterra.org). 15p. 2003.

Consiglio Nazionale delle Ricerche Comitato per la Scienze Geologiche e Minerarie Progetto finalizzato <<Geodinamica>>: Studio geologico dell'area maggiormente colpita dal terremoto friulano del 1976 (1977)

Crosta, G.B., Agliardi, F., 2003. A new methodology for physically-based rockfall hazard assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 3, 407-422.

Crosta, G. B. and Agliardi, F.: Parametric evaluation of 3D dispersion of rockfall trajectories. *Natural Hazards and Earth System Sciences* (2004) 4: 583–598.

Crosta G. B., Carrara A., Agliardi F., Campedel P., Frattini P.: Valutazione della pericolosità da caduta massi tramite un approccio integrato statistico e deterministico. *Giornale di Geologia Applicata* 4 (2006) 41-48, doi: 10.1474/GGA.2006-04.0-05.0133.

Dispense del corso di “Geomorfologia avanzata e stabilità dei versanti” del prof. Crosta, A.A. 2008-2009.

Dispense del corso di “Metodi di indagine geologico-tecnica, I e II modulo” del prof. Agliardi, A.A. 2008-2009.

Guide Geologiche Regionali: Alpi e Prealpi Carniche e Giulie, Friuli Venezia e Giulia a cura della Società Geologica Italiana

Gunther A.: SLOPEMAP: programs for automated mapping of geometrical and kinematical properties of hard rock hill slopes. *Computers & Geosciences* 29 (2003) 865–875.

Hoek E.: *Practical Rock Engineering*, 2007. Disponibile su [www.rocscience.com](http://www.rocscience.com).

Jaboyedoff M.: Design of a pseudo-3D topographic analysis computer program: COLTOP-3D. Project Proposal, PROJECT – 01, 2003, Quanterra. [www.quanterra.org](http://www.quanterra.org).

Jaboyedoff M., Dudt J. P., and Labiouse V.: An attempt to refine rockfall hazard zoning based on the kinetic energy, frequency and fragmentation degree. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 621–632, 2005.

Kalenchuk K. S., Diederichs M.S., McKinnon S. : Characterizing block geometry in jointed rockmasses. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 43 (2006) 1212-1225.

Palmstrom A.: Measurements of and Correlations between Block Size and Rock Quality Designation (RQD). Published in *Tunnels and Underground Space Technology* 20 (2005) 362-377.

Sturzenegger M., Sartori M., Jaboyedoff M., Stead D.: Regional deterministic characterization of fracture networks and its application to GIS-based rock fall risk assessment. *Engineering Geology* 94 (2007) 201–214.

Regione Lombardia Territorio e Urbanistica, CNR IRPI- Perugia e CNR CSITE- Bologna, Università di Milano Bicocca Dipartimento di Scienza Geologiche e Geotecnologiche: Valutazione della pericolosità e del rischio da frana (2001).

## **10 Allegati**

**MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI**

Provincia	UDINE	Comune	VENZONE	ID opera	1	Inventario FVG (SI / NO)	NO	Rilevatore	ANDREA V	DATA	09/11/2009
-----------	-------	--------	---------	----------	---	--------------------------	----	------------	----------	------	------------

**INFORMAZIONI GENERALI**

Scala di rilevamento	1:2500	Cartografia di riferimento	CTR
----------------------	--------	----------------------------	-----

Progressivo foto	742-748-749AC
------------------	---------------

Ubicazione dell'opera (1)	5	NOTE	
Tipologia dell'opera (2)	6	NOTE	
Quota minima (m. s.l.m.)			
Quota massima (m. s.l.m.)			
Restituzione grafica dell'opera	Puntuale X	Lineare	Areale

**ATTRIBUTI**

(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)
	2: Canale / impluvio (indicare larghezza/sezione/pendenza)
	3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)
	4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)
	5: Fondovalle

(2)	1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)
	2: Barriera elastica a basso assorbimento (pali metallici e pannelli rete)
	3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e freni)
	4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)
	5: Muro in gabbioni (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero)
	6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)
	7: Vallo paramassi (in scavo)
	8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)

	9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)
	10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)
	11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)
	12: Chiodature-bulonature-legature (specificare tipo)

(3)	1: Parete rocciosa continua molto fratturata
	2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata
	3: Affioramenti discontinui
	4: Rimobilizzazione da coperture detritiche
	5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana
	6: Altro (indicare)

(4)	1: Legname	(5)	1: Pessimo
	2: Metallo		2: Discreto
	3: Terra		3: Ottimo
	4: Terra armata/rinforzata		
	5: CA		

(6)	1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)
	2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)
	3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)
	4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)
	5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)
	6: Infrastrutture tecnologiche
	7: Altro (indicare)

**CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE**

Tipologia dell'opera (3)	2	NOTE	
Estensione massima (m, m2)		NOTE	
Evidenze di attività (SI / NO)	SI	DESCRIZIONE	2 MASSI 50*40*60 CM

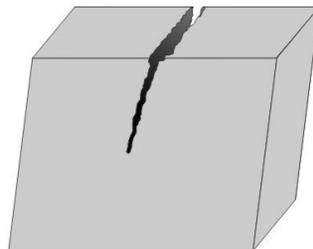
**CARATTERISTICHE DELL'OPERA**

Materiali costruttivi (4)	CA	NOTE	
Stato di efficienza (5)	1	NOTE	NON PIU' EFFICIENTE
Descrizione dei danni			EFFICACIA (5)
			3

**FRATTURA LONGITUDINALE AL CENTRO DELL'OPERA**

DIMENSIONI	Lunghezza (m)	4.5	TIPO ELEMENTI A RISCHIO (6)	6	QUANTITA'	1 CABINA MEDIA-BASSA TENSIONE
	Altezza media base (m)	1				
	Altezza media sommita (m)	0.4				
	Altezza/prof. minima (m)					
	Altezza/prof. media (m)	3.2				
	Altezza/prof. massima (m)					
	Superficie (m2)					

**ANNOTAZIONI E DISEGNI**



**MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI**

Provincia UDINE Comune VENZONE ID opera 2 Inventario FVG (S/NO) NO Rilevatore ANDREA V DATA 09/11/2009

**INFORMAZIONI GENERALI**

Scala di rilevamento	1:2500	Cartografia di riferimento	
Ubicazione dell'opera (1)	5	NOTE	
Tipologia dell'opera (2)	8	NOTE	
Quota minima (m. s.l.m.)	240		
Quota massima (m. s.l.m.)	244		
Restituzione grafica dell'opera	Puntuale	Lineare <input checked="" type="checkbox"/>	Areale <input type="checkbox"/>

Progressivo foto 750 AC

**ATTRIBUTI**

- (1) 1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)  
 2: Canale / Impluvio (indicare larghezza/sezione/pendenza)  
 3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)  
 4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)  
 5: Fondovalle

- (2) 1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)  
 2: Barriera elastica a basso assorbimento (pali metallici e pannelli rete)  
 3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e freni)  
 4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)  
 5: Muro in gabbioni (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero)  
 6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)  
 7: Vallo paramassi (in scavo)  
 8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)

- 9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)  
 10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)  
 11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)  
 12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)

- (3) 1: Parete rocciosa continua molto fratturata  
 2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata  
 3: Affioramenti discontinui  
 4: Rimobilizzazione da coperture detritiche  
 5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana  
 6: Altro (indicare)

- (4) 1: Legname  
 2: Metallo  
 3: Terra  
 4: Terra armata/rinforzata  
 5: CA

- (5) 1: Pessimo  
 2: Discreto  
 3: Ottimo

- (6) 1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)  
 2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)  
 3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)  
 4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)  
 5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)  
 6: Infrastrutture tecnologiche  
 7: Altro (indicare)

**CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE**

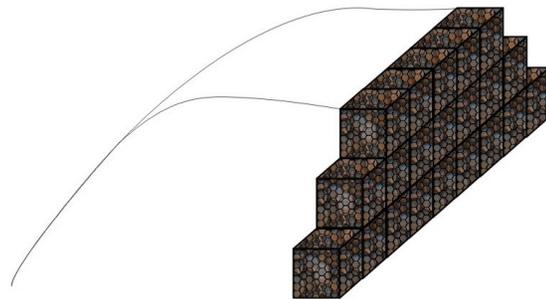
Tipologia dell'opera (3)	2	NOTE	
Estensione massima (m, m2)		NOTE	
Evidenze di attività (S/NO)		DESCRIZIONE	

**CARATTERISTICHE DELL'OPERA**

Materiali costruttivi (4)	4	NOTE	GABBIONI METALLICI A MONTE, TERRENO RIELABORATO GRANULARE A VALLE
Stato di efficienza (5)	3	NOTE	Efficacia (5)
Descrizione dei danni			ASSENTI

DIMENSIONI	TIPO ELEMENTI A RISCHIO (6)	QUANTITA'
Lunghezza (m)		1
Altezza media base (m)		
Altezza media sommità (m)		
Altezza/prof. minima (m)		
Altezza/prof. media (m)		
Altezza/prof. massima (m)		
Superficie (m2)		

**ANNOTAZIONI E DISEGNI**



**MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI**

Provincia **UDINE** Comune **VENZONE** ID opera **3** Inventario FVG (SI / NO) **IN PARTE** Rilevatore  DATA **10/11/2009**

**INFORMAZIONI GENERALI**

Scala di rilevamento	1:2500	Cartografia di riferimento	CTR
Ubicazione dell'opera (1)	5	NOTE	
Tipologia dell'opera (2)	7	NOTE	
Quota minima (m. s.l.m.)			
Quota massima (m. s.l.m.)			
Restituzione grafica dell'opera	Puntuale	Lineare	X Aree

**CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE**

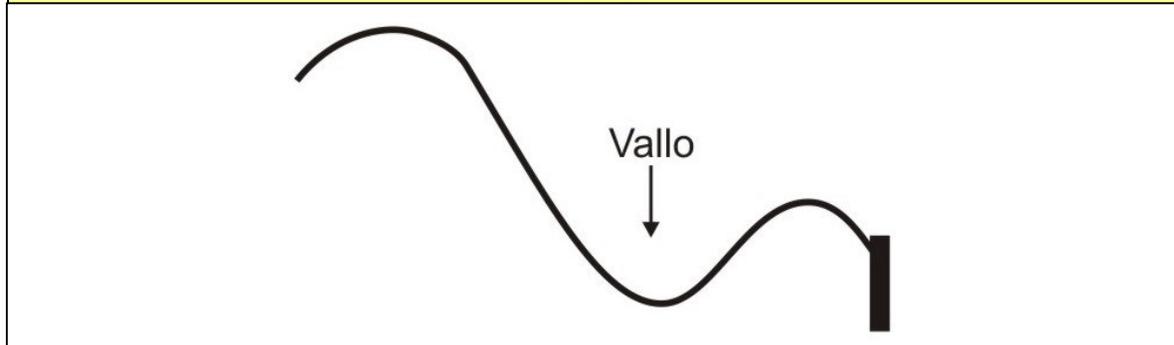
Tipologia dell'opera (3)	1	NOTE	
Estensione massima (m, m2)		NOTE	
Evidenze di attività (SI / NO)	SI	DESCRIZIONE	1 BLOCCO GRANDE 2 BLOCCHI DA 1 m3 3-4 BLOCCHI DA 0.5 m3

**CARATTERISTICHE DELL'OPERA**

Materiali costruttivi (4)	3	NOTE	
Stato di efficienza (5)	3	NOTE	ANCHE SE LA PORZIONE IN CORRISPONDENZA DELL'IMPLUVIO È RIEMPIITA
Descrizione dei danni			Efficacia (5)

DIMENSIONI	Lunghezza (m)	TIPO ELEMENTI A RISCHIO (6)	QUANTITA'	CAPANNONE
altezza media base (m)	6			1 CASA
altezza media sommità (m)	1			1 HOTEL
altezza/prof. minima (m)	1.6	AMONTE		
altezza/prof. media (m)	3	AVALLE		
altezza/prof. massima (m)				
Superficie (m2)				

**ANNOTAZIONI E DISEGNI**



Progressivo foto

**ATTRIBUTI**

- (1) 1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)  
 2: Canale / impluvio (indicare larghezza/seziona/pendenza)  
 3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)  
 4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)  
 5: Fondovalle
- (2) 1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)  
 2: Barriera elastica a basso assorbimento (pali metallici e pannelli rete)  
 3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e freni)  
 4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)  
 5: Muro in gabbioni (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero)  
 6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)  
 7: Vallo paramassi (in scavo)  
 8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)
- 9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)  
 10: Rete metallica amata in aderenza (+ armatura in fune metallica)  
 11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)  
 12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)
- (3) 1: Parete rocciosa continua molto fratturata  
 2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata  
 3: Affioramenti discontinui  
 4: Rimobilizzazione da coperture detritiche  
 5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana  
 6: Altro (indicare)
- (4) 1: Legname  
 2: Metallo  
 3: Terra  
 4: Terra amata/rinforzata  
 5: CA
- (5) 1: Pessimo  
 2: Discreto  
 3: Ottimo
- (6) 1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)  
 2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)  
 3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)  
 4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)  
 5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)  
 6: Infrastrutture tecnologiche  
 7: Altro (indicare)

**INFORMAZIONI GENERALI**

Scala di rilevamento	1:2500	Cartografia di riferimento	CTR
----------------------	--------	----------------------------	-----

Progressivo foto	766-767-768 AC
------------------	----------------

Ubicazione dell'opera (1)	5	NOTE	
Tipologia dell'opera (2)	8	NOTE	GALLERIA ARTIFICIALE CON MURO CELLULARE, CON VALLO E MURO IN CA
Quota minima (m. s.l.m.)	260		
Quota massima (m. s.l.m.)			
Restituzione grafica dell'opera	Puntuale	Lineare	Areale X

**CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE**

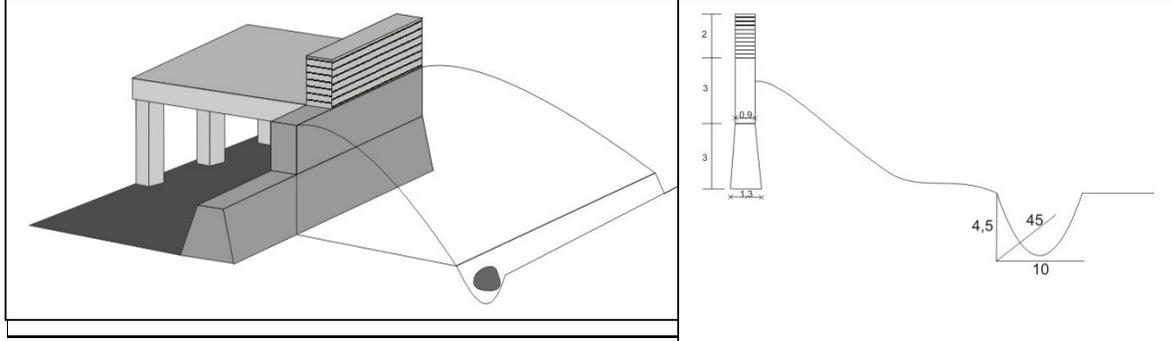
Tipologia dell'opera (3)	1	NOTE	
Estensione massima (m, m2)		NOTE	
Evidenze di attività (SI / NO)		DESCRIZIONE	

**CARATTERISTICHE DELL'OPERA**

Materiali costruttivi (4)	5,3	NOTE	
Stato di efficienza (5)	3	NOTE	Efficacia (5)
Descrizione dei danni			

DIMENSIONI	Lunghezza (m)	300	TIPO ELEMENTI A RISCHIO (6)	1 QUANTITA'	1 STRADA E DIVERSE CASE
altezza media base (m)					
altezza media sommità (m)					
altezza prof. minima (m)					
altezza prof. media (m)	8				
altezza prof. massima (m)					
Superficie (m2)					

**ANNOTAZIONI E DISEGNI**



**ATTRIBUTI**

- (1) 1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)  
 2: Canale / Impluvio (indicare larghezza/sezioe/pendenza)  
 3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)  
 4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)  
 5: Fondovalle

- (2) 1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)  
 2: Barriera elastica a basso assorbimento (pali metallici e pannelli rete)  
 3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e freni)  
 4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)  
 5: Muro in gabbioni (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero)  
 6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)  
 7: Vallo paramassi (in scavo)  
 8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)

- 9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)  
 10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)  
 11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)  
 12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)

- (3) 1: Parete rocciosa continua molto fratturata  
 2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata  
 3: Affioramenti discontinui  
 4: Rimobilizzazione da coperture detritiche  
 5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana  
 6: Altro (indicare)

- (4) 1: Legname  
 2: Metallo  
 3: Terra  
 4: Terra amata/rinforzata  
 5: CA

- (5) 1: Pessimo  
 2: Discreto  
 3: Ottimo

- (6) 1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)  
 2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)  
 3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)  
 4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)  
 5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)  
 6: Infrastrutture tecnologiche  
 7: Altro (indicare)

**MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI**

Provincia	UDINE	Comune	VENZONNE	ID opera	5	Inventario FIG (S / NO)	Rilevatore	DATA	11/11/2009
-----------	-------	--------	----------	----------	---	-------------------------	------------	------	------------

**INFORMAZIONI GENERALI**

Scala di rilevamento	1:2500	Cartografia di riferimento	CTR
----------------------	--------	----------------------------	-----

Progressivo foto	775-776-777 AC
------------------	----------------

Ubicazione dell'opera (1)	5	NOTE	
Tipologia dell'opera (2)		NOTE	SPRITZ BETON SU RETE METALLICA E CHIODATURE SU MASSI PIÙ GRANDI
Quota minima (m. s.l.m.)	265		
Quota massima (m. s.l.m.)			
Restituzione grafica dell'opera	Puntuale	Lineare	Areale X

**CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE**

Tipologia dell'opera (3)	1	NOTE	
Estensione massima (m, m2)		NOTE	
Evidenze di attività (S / NO)		DESCRIZIONE	

**CARATTERISTICHE DELL'OPERA**

Materiali costruttivi (4)	5	NOTE	
Stato di efficienza (5)	3	NOTE	Efficacia (5)
Descrizione dei danni			3

DIMENSIONI	Lunghezza (m)	62	TIPO ELEMENTI A RISCHIO (6)	QUANTITÀ	STRADA E DIVERSE CASE
Larghezza media base (m)					
Altezza media sommità (m)					
Altezza prof. minima (m)	10				
Altezza prof. media (m)					
Altezza prof. massima (m)					
Superficie (m2)					

**ANNOTAZIONI E DISEGNI**

--	--	--	--	--	--

**ATTRIBUTI**

(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)
	2: Canale / impluvio (indicare larghezza/seziona/pendenza)
	3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)
	4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)
	5: Fondovalle

(2)	1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)
	2: Barriera elastica a basso assorbimento (pali metallici e pannelli rete)
	3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e freni)
	4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)
	5: Muro in gabbioni (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero)
	6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)
	7: Vallo paramassi (in scavo)
	8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)

	9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)
	10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)
	11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)
	12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)

(3)	1: Parete rocciosa continua molto frantumata
	2: Parete rocciosa continua mediamente frantumata
	3: Affioramenti discontinui
	4: Rimobilizzazione da coperture detritiche
	5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana
	6: Altro (indicare)

(4)	1: Legname
	2: Metallo
	3: Terra
	4: Terra armata/rinforzata
	5: CA

(5)	1: Pessimo
	2: Discreto
	3: Ottimo

(6)	1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)
	2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)
	3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)
	4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)
	5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)
	6: Infrastrutture tecnologiche
	7: Altro (indicare)

**MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI**

Provincia	UDINE	Comune	VENZONE	ID opera	ci	Inventario FIG (SI / NO)	Rilevatore	DATA	11/11/2009
-----------	-------	--------	---------	----------	----	--------------------------	------------	------	------------

**INFORMAZIONI GENERALI**

Scala di rilevamento	1:2500	Cartografia di riferimento	CTR
Ubicazione dell'opera (1)	5	NOTE	
Tipologia dell'opera (2)	5	NOTE	RETE A DOPPIA TORSIONE A MAGLIA ESAGONALE ADAGIATA CON CHIODATURA, SOTTO LIBERA CON CANALETTA
Quota minima (m. s.l.m.)	265		
Quota massima (m. s.l.m.)			
Restituzione grafica dell'opera	Puntuale	Lineare	Areali X

Progressivo foto	780-781-782 AC
------------------	----------------

**ATTRIBUTI**

(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)
	2: Canale / impluvio (indicare larghezza/seziona/pendenza)
	3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)
	4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)
	5: Fondovalle

**CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE**

Tipologia dell'opera (3)	1	NOTE	
Estensione massima (m. m2)		NOTE	
Evidenze di attività (SI / NO) (5)		DESCRIZIONE	LOCALMENTE RIEMPIITA

**CARATTERISTICHE DELL'OPERA**

Materiali costruttivi (4)	2	NOTE	
Stato di efficienza (5)	2	NOTE	ANDREBBERO SVUOTATE
Descrizione dei danni		Efficacia (5)	3

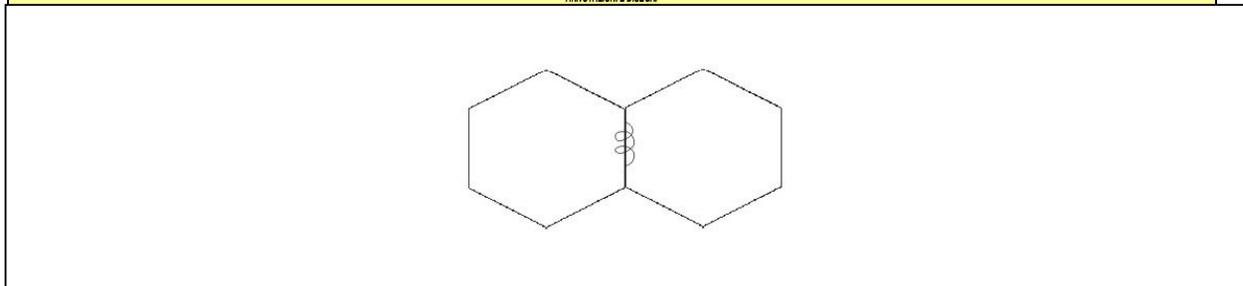
DIMENSIONI	Lunghezza (m)	TIPO ELEMENTI A RISCHIO (6)	QUANTITA'	STRADA E DIVERSE CASE
Lunghezza (m)	SPEZZETATA: 15, 11, 20, 10, 25			
Larghezza media base (m)				
Larghezza media sommità (m)				
Altezza prof. minima (m)				
Altezza prof. media (m)	10			
Altezza prof. massima (m)				
Superficie (m2)				

(2)	1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)
	2: Barriera elastica a basso assorbimento (pali metallici e pannelli retti)
	3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e freni)
	4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)
	5: Muro in gabboni (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero)
	6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particola)
	7: Vallo paramassi (in scavo)
	8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporta)

	9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)
	10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)
	11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)
	12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)

(3)	1: Parete rocciosa continua molto fratturata
	2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata
	3: Affioramenti discontinui
	4: Rimobilizzazione da coperture detritiche
	5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana
	6: Altro (indicare)

**ANNOTAZIONI E DISEGNI**



(4)	1: Legname
	2: Metallo
	3: Terra
	4: Terra armata/rinforzata
	5: CA

(5)	1: Pessimo
	2: Discreto
	3: Ottimo

(6)	1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)
	2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)
	3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)
	4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)
	5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)
	6: Infrastrutture tecnologiche
	7: Altro (indicare)

MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI

Provincia UDINE Comune VENEZIE ID opera 7 Inventario FIG (S) (NO) (S) Rilevatore DATA 12/11/2009

INFORMAZIONI GENERALI

Scala di rilevamento	1:2500	Cartografia di riferimento	CTR
Ubicazione dell'opera (1)	5	NOTE	
Tipologia dell'opera (2)	1	NOTE	PUTRELLE A PALI SPAZIATI A 2.5 M E TRAVERSE POGGIANTI SU UN CORDOLO DI FONDAZIONE DI CIRCA 60 CM IN SOMMITA'
Quota minima (m. s.l.m.)	STRADA		
Quota massima (m. s.l.m.)			
Restituzione grafica dell'opera	Puntuale	Lineare	Areale

Progressivo foto	794-795 AC
------------------	------------

ATTRIBUTI

- (1) 1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)  
 2: Canale / impluvio (indicare larghezza/seziona/pendenza)  
 3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)  
 4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)  
 5: Fondovalle
- (2) 1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)  
 2: Barriera elastica a basso assorbimento (pali metallici e pannelli rete)  
 3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e freni)  
 4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)  
 5: Muro in gabioni (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero)  
 6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)  
 7: Vallo paramassi (in scavo)  
 8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)  
 9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)  
 10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)  
 11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)  
 12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)
- (3) 1: Parete rocciosa continua molto fratturata  
 2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata  
 3: Affioramenti discontinui  
 4: Rimobilizzazione da coperture detritiche  
 5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana  
 6: Altro (indicare)

CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE

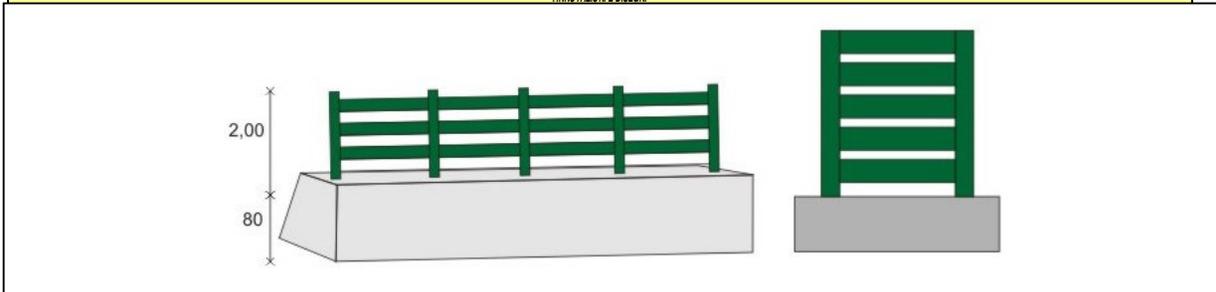
Tipologia dell'opera (3)	1	NOTE	
Estensione massima (m, m2)		NOTE	
Evidenze di attività (S) (NO) (S)		DESCRIZIONE	IVA NON FINO ALL'OPERA, DISTANZA DALLA PARETE CIRCA 20-25 M

CARATTERISTICHE DELL'OPERA

PILASTRI IN ACCIAIO			
Materiali costruttivi (4)	CA	NOTE	
Stato di efficienza (5)	3	NOTE	Efficacia (5) 3
Descrizione dei danni			

DIMENSIONI	Lunghezza (m)	TIPO ELEMENTI A RISCHIO (6)	QUANTITA'	STRADA
Lunghezza (m)	80 SPEZZETATI IN 12+25.5+41.5			
Larghezza media base (m)				ABITAZIONI
Larghezza media sommità (m)	60			
Altezza prof. minima (m)	75			
Altezza prof. media (m)	2.8			
Altezza prof. massima (m)				
Superficie (m2)				

ANNOTAZIONI E DISEGNI



- (4) 1: Legname  
 2: Metallo  
 3: Terra  
 4: Terra armata/rinforzata  
 5: CA
- (5) 1: Pessimo  
 2: Discreto  
 3: Ottimo

- (6) 1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)  
 2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)  
 3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)  
 4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)  
 5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)  
 6: Infrastrutture tecnologiche  
 7: Altro (indicare)

**MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI**

Provincia Udine Comune Verzone ID opera 8 Inventario FVG (SI/NO) No Rilevatore Tutti DATA 12/11/2009

**INFORMAZIONI GENERALI**

Scala di rilevamento 1:2500 Cartografia di riferimento CTR

Ubicazione dell'opera (1)	2	NOTE
Tipologia dell'opera (2)	9	NOTE Galleria
Quota media (m. s.l.m.)	345	
Quota massima (m. s.l.m.)		
Restituzione grafica dell'opera	Puntuale	Lineare Areali X

**CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE**

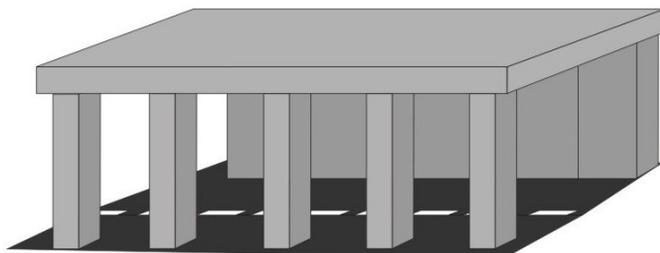
Tipologia dell'opera (3)	1	NOTE
Estensione massima (m, m2)		NOTE
Evidenze di attività (SI/NO)		DESCRIZIONE Si c'è evidenza di attività. Presenza di una crepa di circa 1m lungo il soffitto (69 AC e 63AV). Presenza di blocchi sul tetto dell'opera e evidenze di crolli lungo la base della struttura con presenza di un cordolo brecciato (foto 83AC e DSC00764 AV).

**CARATTERISTICHE DELL'OPERA**

Materiali costruttivi (4)	5	NOTE
Stato di efficienza (5)	3	NOTE solo una crepa
Descrizione dei danni		

DIMENSIONI	Valore	TIPO ELEMENTI A RISCHIO (6)	QUANTITA'
Lunghezza (m)	61		
Larghezza media base (m)	6		
Larghezza media sommità (m)			
Altezza prof. minima (m)			
Altezza prof. media (m)			
Altezza prof. massima (m)			
Superficie (m2)			

**ANNOTAZIONI E DISEGNI**



Progressivo foto 83 DSC00732 a DSC00781 AV; 816-830-834-848-852 AC

**ATTRIBUTI**

- (1) 1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)  
 2: Canale / impluvio (indicare larghezza/seziona/pendenza)  
 3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)  
 4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)  
 5: Fondovalle

- (2) 1: Barriera paramassi rigida (in legname o puntele metalliche)  
 2: Barriera elastica a basso assorbimento (pali metallici e pannelli rete)  
 3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e freni)  
 4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)  
 5: Muro in gabioni (metalli riempiti di pietra me - NOTE: indicare numero)  
 6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)  
 7: Vallo paramassi (in scavo)  
 8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)

- 9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)  
 10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)  
 11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)  
 12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)

- (3) 1: Parete rocciosa continua molto fratturata  
 2: Parete rocciosa continuamente fratturata  
 3: Affioramenti discontinui  
 4: Rimobilizzazione da coperture detritiche  
 5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana  
 6: Altro (indicare)

- (4) 1: Legname  
 2: Metallo  
 3: Terra  
 4: Terra armata/rinforzata  
 5: CA

- (5) 1: Pessimo  
 2: Discreto  
 3: Ottimo

- (6) 1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)  
 2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)  
 3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)  
 4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)  
 5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)  
 6: Infrastrutture tecnologiche  
 7: Altro (indicare)

**MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI**

Provincia	Udine	Comune	Venzone	ID opera	9	Inventario FVG (SI / NO)	No	Rilevatore	Tutti	DATA	12/11/2009
-----------	-------	--------	---------	----------	---	--------------------------	----	------------	-------	------	------------

**INFORMAZIONI GENERALI**

Scala di rilevamento	1:2500	Cartografia di riferimento	CTR
----------------------	--------	----------------------------	-----

Ubicazione dell'opera (1)	2	NOTE
Tipologia dell'opera (2)	2	NOTE
Quota minima (m. s.l.m.)		
Quota massima (m. s.l.m.)		
Restituzione grafica dell'opera	Puntuali	Lineare X Aree

**CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE**

Tipologia dell'opera (3)	1	NOTE
Estensione massima (m. m2)		NOTE
Evidenze di attività (SI / NO)		DESCRIZIONE (5): c'è evidenza di attività.

Impatto in due zone di due blocchi contro la struttura. L'impatto di un blocco ha provocato la perdita di un bottone della rete a maglia esagonale con una conseguente deformazione della stessa, risulta evidente un calco del blocco a seguito dell'impatto.

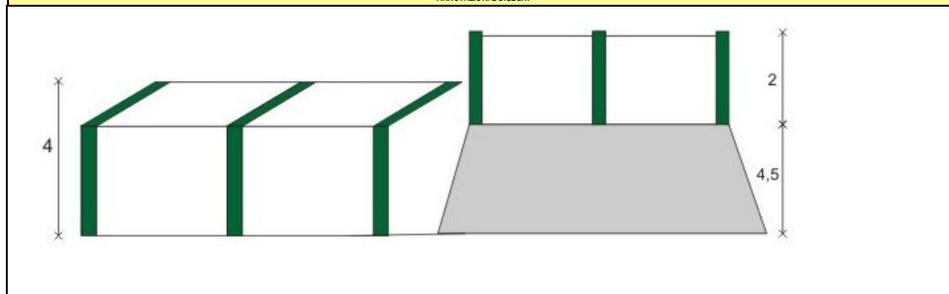
**CARATTERISTICHE DELL'OPERA**

Materiali costruttivi (4)	5-2	NOTE	CA per il muro mentre metallo per la rete.
Stato di efficienza (5)	3	NOTE	solo una crepa
Descrizione dei danni		Efficacia (5)	2

tranne nelle zone deformate descritte sopra.

DIMENSIONI	Lunghezza (m)	~25	TIPO ELEMENTI A RISCHIO (6)	QUANTITA'	1
Larghezza media base (m)					
Larghezza media sommità (m)					
Altezza prof. minima (m)					
Altezza prof. media (m)					
Altezza prof. massima (m)					
Superficie (m2)					

**ANNOTAZIONI E DISEGNI**



Progressivo foto	da DSC00750 a 53, 66,67,71 AV813-814-820/827-851-858 AC
------------------	---

**ATTRIBUTI**

- (1) 1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)  
 2: Canale / impluvio (indicare larghezza/seziona/pendenza)  
 3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)  
 4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)  
 5: Fondovalle

- (2) 1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)  
 2: Barriera elastica a basso assorbimento (spali metallici e pannelli rete)  
 3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e freni)  
 4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)  
 5: Muro in gabbioni (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero)  
 6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)  
 7: Vallo paramassi (in scavo)  
 8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)

- 9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)  
 10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)  
 11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)  
 12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)

- (3) 1: Parete rocciosa continua molto frantumata  
 2: Parete rocciosa continua mediamente frantumata  
 3: Affioramenti discontinui  
 4: Rimobilizzazione da coperture detritiche  
 5: Rimobilizzazione da nicchie o corpo di frana  
 6: Altro (indicare)

- |                            |                |
|----------------------------|----------------|
| (4) 1: Legname             | (5) 1: Pessimo |
| 2: Metallo                 | 2: Discreto    |
| 3: Terra                   | 3: Ottimo      |
| 4: Terra armata/rinforzata |                |
| 5: CA                      |                |

- (6) 1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)  
 2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)  
 3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)  
 4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)  
 5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)  
 6: Infrastrutture tecnologiche  
 7: Altro (indicare)

**MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI**

Provincia Udine Comune Venzone ID opera 10 Inventario FVG (SI/NO) No Rilevatore Tutti DATA 12/11/2009

**INFORMAZIONI GENERALI**

Scala di rilevamento 1:2500 Cartografia di riferimento CTR

Ubicazione dell'opera (1)	2	NOTE
Tipologia dell'opera (2)	10	NOTE
Quota minima (m. s.l.m.)		
Quota massima (m. s.l.m.)		
Restituzione grafica dell'opera	Puntuale	Lineare
		Areale
		X

**CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE**

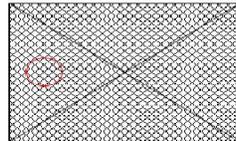
Tipologia dell'opera (3)	1	NOTE
Estensione massima (m. m2)		NOTE
Evidenze di attività (SI/NO)		DESCRIZIONE

**CARATTERISTICHE DELL'OPERA**

Materiali costruttivi (4)	2	NOTE
Stato di efficienza (5)	2	NOTE
Descrizione dei danni	Rete sottodimensionata e forse danneggiata in un punto DSC0065AV	

DIMENSIONI	Lunghezza (m)	PO ELEMENTI A RISCHIO	QUANTITA'	1
Larghezza media base (m)				
Larghezza media sommità (m)				
Altezza/prof. minima (m)				
Altezza/prof. media (m)				
Altezza/prof. massima (m)				
Superficie (m2)				

**ANNOTAZIONI E DISEGNI**



Progressivo foto

da DSC00755a S9, 65 AV; 808-809-810-811-828 AC

**ATTRIBUTI**

- (1) 1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)  
 2: Canale / Impluvio (indicare larghezza/sezione/pendenza)  
 3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)  
 4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)  
 5: Fondovalle

- (2) 1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)  
 2: Barriera elastica a basso assorbimento (pali metallici e pannelli rete)  
 3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e freni)  
 4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)  
 5: Muro in gabbioni (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero)  
 6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)  
 7: Vallo paramassi (in scavo)  
 8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)  
 9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)  
 10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)  
 11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)  
 12: Chiodature-bullonature-legature (specificare il tipo)

- (3) 1: Parete rocciosa continua molto fratturata  
 2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata  
 3: Affioramenti discontinui  
 4: Rimobilizzazione da coperture detritiche  
 5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana  
 6: Altro (indicare)

- (4) 1: Legname  
 2: Metallo  
 3: Terra  
 4: Terra armata/rinforzata  
 5: CA

- (5) 1: Pessimo  
 2: Discreto  
 3: Ottimo

- (6) 1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)  
 2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)  
 3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)  
 4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)  
 5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)  
 6: Infrastrutture tecnologiche  
 7: Altro (indicare)

**MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI**

Provincia	Udine	Comune	Venezzone	ID opera	11	Inventario FVG (SI / NO)	S	Rilevatore		DATA	18/11/2009
-----------	-------	--------	-----------	----------	----	--------------------------	---	------------	--	------	------------

**INFORMAZIONI GENERALI**

Scala di rilevamento	1:2500	Cartografia di riferimento	CTR
Ubicazione dell'opera (1)	5	NOTE	
Tipologia dell'opera (2)	8	NOTE	
Quota minima (m. s.l.m.)			
Quota massima (m. s.l.m.)			
Restituzione grafica dell'opera	Puntuale	Lineare	x
		Areale	

**CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE**

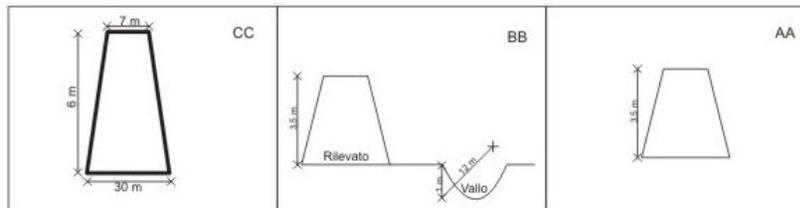
Tipologia dell'opera (3)	1	NOTE	
Estensione massima (m, m2)		NOTE	
Evidenze di attività (SI / NO)		DESCRIZIONE	SI, c'è evidenza di attività. Presenza di un limitato numero di blocchi.

**CARATTERISTICHE DELL'OPERA**

Materiali costruttivi (4)	3	NOTE	
Stato di efficienza (5)	3	NOTE	Efficacia (5)
Descrizione dei danni			3

DIMENSIONI	TIPO ELEMENTI A RISCHIO (6)		QUANTITA'	Criterio
Lunghezza (m)	270		1	Cimitero
Larghezza media base (m)	30		4	Strada
Larghezza media sommità (m)	7		6	Metanodotto
Altezza prof. minima (m)				
Altezza prof. media (m)	6	nella sezione CC; 3,5 nella AA e BB		
Altezza prof. massima (m)				
Superficie (m2)				

**ANNOTAZIONI E DISEGNI**



Progressivo foto	
------------------	--

**ATTRIBUTI**

- |     |   |
|-----|---|
| (1) | 1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalle base)                   |
|     | 2: Canale / impluvio (indicare larghezza/sezione/pendenza)                    |
|     | 3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)                            |
|     | 4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)               |
|     | 5: Fondovalle   |
| (2) | 1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)               |
|     | 2: Barriera elastica a basso assorbimento (pali metallici e pannelli rete)    |
|     | 3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e freni)        |
|     | 4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)                |
|     | 5: Muro in gabioni (metallici e riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero) |
|     | 6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)            |
|     | 7: Vallo paramassi (in scavo)   |
|     | 8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)                                   |
|     | 9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)            |
|     | 10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)          |
|     | 11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)     |
|     | 12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)                        |
| (3) | 1: Parete rocciosa continua molto fratturata                                  |
|     | 2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata                             |
|     | 3: Affioramenti discontinui   |
|     | 4: Rimobilizzazione da coperture detritiche                                   |
|     | 5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana                               |
|     | 6: Altro (indicare)   |
| (4) | 1: Legname  |
|     | 2: Metallo  |
|     | 3: Terra  |
|     | 4: Terra amata/rinforzata   |
|     | 5: CA   |
| (5) | 1: Pessimo  |
|     | 2: Discreto   |
|     | 3: Ottimo   |
| (6) | 1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)                       |
|     | 2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)                        |
|     | 3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)                       |
|     | 4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)                               |
|     | 5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)                       |
|     | 6: Infrastrutture tecnologiche  |
|     | 7: Altro (indicare)   |

**MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI**

Provincia	Udine	Comune	Verzone	ID opera	12	Inventario FVG (S) / (N)	No	Rilevatore	Tutti	DATA	18/11/2009
-----------	-------	--------	---------	----------	----	--------------------------	----	------------	-------	------	------------

**INFORMAZIONI GENERALI**

Scala di rilevamento	1:2500	Cartografia di riferimento	CTR
Ubicazione dell'opera (1)	5	NOTE	Alcune sono posizionate nel fondovalle altre sul versante
Tipologia dell'opera (2)	2	NOTE	
Quota minima (m. s.l.m.)			
Quota massima (m. s.l.m.)			
Restituzione grafica dell'opera	Puntuale	Lineare	X
		Aree	

**CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE**

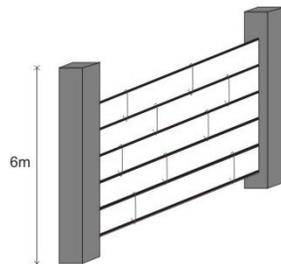
Tipologia dell'opera (3)	1	NOTE	
Estensione massima (m, m2)		NOTE	
Evidenze di attività (SI / NO)	SI	DESCRIZIONE	Presenza di blocchi

**CARATTERISTICHE DELL'OPERA**

Materiali costruttivi (4)	2	NOTE	
Stato di efficienza (5)	2	NOTE	Un po' meno di discreta, Efficacia (5)
Descrizione dei danni			

DIMENSIONI	Lunghezza (m)	TIPO ELEMENTI A RISCHIO (4)	QUANTITA'	Ponte/barrica
Larghezza media base (m)	Moduli da 30, la rete più bassa ha almeno 4 moduli poi fuori area mentre quella sul versante 3 moduli			
Larghezza media sommità (m)				
Altezza prof. minima (m)				
Altezza prof. media (m)	6			
Altezza prof. massima (m)				
Superficie (m2)				

**ANNOTAZIONI E DISEGNI**



Progressivo foto	
------------------	--

**ATTRIBUTI**

(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)
	2: Canale / impluvio (indicare larghezza/seziona/pendenza)
	3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)
	4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)
	5: Fondovalle

(2)	1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)
	2: Barriera elastica a basso assorbimento (pali metallici e pannelli rete)
	3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e freni)
	4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)
	5: Muro in gabbioni (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero)
	6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)
	7: Vallo paramassi (in scavo)
	8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)

	9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)
	10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)
	11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)
	12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)

(3)	1: Parete rocciosa continua molto fratturata
	2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata
	3: Affioramenti discontinui
	4: Rimobilizzazione da coperture detritiche
	5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana
	6: Altro (indicare)

(4)	1: Legname
	2: Metallo
	3: Terra
	4: Terra armata/rinforzata
	5: CA

(5)	1: Pessimo
	2: Discreto
	3: Ottimo

(6)	1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)
	2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)
	3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)
	4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)
	5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)
	6: Infrastrutture tecnologiche
	7: Altro (indicare)

**MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI**

Provincia	Udine	Comune	Venezia	ID opera	13	Inventario FVG (SI / NO)	No	Rilevatore		DATA	18/11/2009
-----------	-------	--------	---------	----------	----	--------------------------	----	------------	--	------	------------

**INFORMAZIONI GENERALI**

Scala di rilevamento	1:2500	Cartografia di riferimento	CTR
Ubicazione dell'opera (1)	/	NOTE	Versante
Tipologia dell'opera (2)	2.3	NOTE	
Quota minima (m. s.l.m.)			
Quota massima (m. s.l.m.)			
Restituzione grafica dell'opera	Puntuale	Lineare	X
		Areale	

Progressivo foto	
------------------	--

**ATTRIBUTI**

(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)
	2: Canale / impluvio (indicare larghezza/sezione/pendenza)
	3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)
	4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)
	5: Fondovalle

(2)	1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)
	2: Barriera elastica a basso assorbimento (pali metallici e pannelli rete)
	3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e freni)
	4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)
	5: Muro in gabbioni (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero)
	6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)
	7: Vallo paramassi (in scavo)
	8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)

	9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)
	10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)
	11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)
	12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)

(3)	1: Parete rocciosa continua molto fratturata
	2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata
	3: Affioramenti discontinui
	4: Rimobilizzazione da coperture detritiche
	5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana
	6: Altro (indicare)

(4)	1: Legname
	2: Metallo
	3: Terra
	4: Terra armata/rinforzata
	5: CA

(5)	1: Pessimo
	2: Discreto
	3: Ottimo

(6)	1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)
	2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)
	3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)
	4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)
	5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)
	6: Infrastrutture tecnologiche
	7: Altro (indicare)

**CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE**

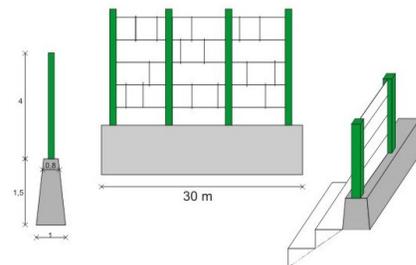
Tipologia dell'opera (3)	1	NOTE	
Estensione massima (m, m2)		NOTE	
Evidenze di attività (SI / NO)	SI	DESCRIZIONE	Presenza di blocchi

**CARATTERISTICHE DELL'OPERA**

Materiali costruttivi (4)	2 e 5	NOTE	Muro in CA e presenza di rete
Stato di efficienza (5)	2	NOTE	Efficacia (5)
Descrizione dei danni	Blocchi contro il muro che in parte è lesionato		

DIMENSIONI	Lunghezza (m)		TIPO ELEMENTI A RISCHIO (6)	QUANTITA'	Ponte/barricata
	Lunghezza (m)	30			
	Larghezza media base (m)	1	Muro		
	Larghezza media sommità (m)	0.8	Muro		
	Altezza/prof. minima (m)				
	Altezza/prof. media (m)	5.5			
	Altezza/prof. massima (m)				
	Superficie (m2)				

**ANNOTAZIONI E DISEGNI**



**MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI**

Provincia Udine Comune Venzone ID opera 14 Inventario FVG (SI / NO) SI Rilevatore DATA

**INFORMAZIONI GENERALI**

Scala di rilevamento 1:2500 Cartografia di riferimento CTR

Ubicazione dell'opera (1)	NOTE	Versante
Tipologia dell'opera (2)	NOTE	
Quota minima (m. s.l.m.)		
Quota massima (m. s.l.m.)		
Restituzione grafica dell'opera	Puntuale	Lineare
		Areale X

**CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE**

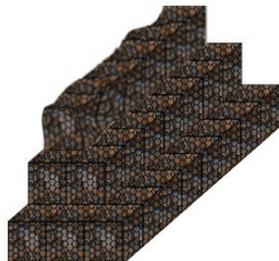
Tipologia dell'opera (3)	1	NOTE	
Estensione massima (m, m2)		NOTE	
Evidenze di attività (SI / NO) (5)		DESCRIZIONE	Presenza di blocchi

**CARATTERISTICHE DELL'OPERA**

Materiali costruttivi (4)	4	NOTE	
Stato di efficienza (5)	1	NOTE	Efficacia (5) 1
Descrizione dei danni	5 ordini di gabbioni danneggiati soprattutto l'ordine più alto che è serpeggiante e localmente sfondato e deformato (schiacciato) forse è dovuto al terremoto più		

DIMENSIONI	Lunghezza (m)	TIPO ELEMENTI A RISCHIO (6)	QUANTITA'	Ponte/bbana
Larghezza media base (m)				
Larghezza media sommità (m)				
Altezza/prof. minima (m)				
Altezza/prof. media (m)				
Altezza/prof. massima (m)				
Superficie (m2)				

**ANNOTAZIONI E DISEGNI**



Progressivo foto

**ATTRIBUTI**

(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)
	2: Canale / impluvio (indicare larghezza/sezione/pendenza)
	3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)
	4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)
	5: Fondovalle

(2)	1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)
	2: Barriera elastica a basso assorbimento (pali metallici e pannelli rete)
	3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e freni)
	4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)
	5: Muro in gabbioni (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero)
	6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)
	7: Vallo paramassi (in scavo)
	8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)

	9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)
	10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)
	11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)
	12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)

(3)	1: Parete rocciosa continua molto fratturata
	2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata
	3: Affioramenti discontinui
	4: Rimobilizzazione da coperture detritiche
	5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana
	6: Altro (indicare)

(4)	1: Legname
	2: Metallo
	3: Terra
	4: Terra armata/rinforzata
	5: CA

(5)	1: Pessimo
	2: Discreto
	3: Ottimo

(6)	1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)
	2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)
	3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)
	4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)
	5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)
	6: Infrastrutture tecnologiche
	7: Altro (indicare)

**MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI**

Provincia	Udine	Comune	Venezzone	ID opera	15	Inventario FVG (SI / NO)	SI	Rilevatore		DATA	18/11/2009
-----------	-------	--------	-----------	----------	----	--------------------------	----	------------	--	------	------------

**INFORMAZIONI GENERALI**

Scala di rilevamento	1:2500	Cartografia di riferimento	CTR
Ubicazione dell'opera (1)	5	NOTE	
Tipologia dell'opera (2)	6	NOTE	in pietra e in malta in alcuni tratti ripreso con CA
Quota minima (m. s.l.m.)			
Quota massima (m. s.l.m.)			
Restituzione grafica dell'opera	Puntuale	Lineare	X
		Areale	

Progressivo foto	
------------------	--

**ATTRIBUTI**

- (1)
- 1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)
  - 2: Canale / impluvio (indicare larghezza/seziona/pendenza)
  - 3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)
  - 4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)
  - 5: Fondovalle
- (2)
- 1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)
  - 2: Barriera elastica a basso assorbimento (pali metallici e pannelli rete)
  - 3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e freni)
  - 4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)
  - 5: Muro in gabbloni (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero)
  - 6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)
  - 7: Vallo paramassi (in scavo)
  - 8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)
  - 9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)
  - 10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)
  - 11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)
  - 12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)

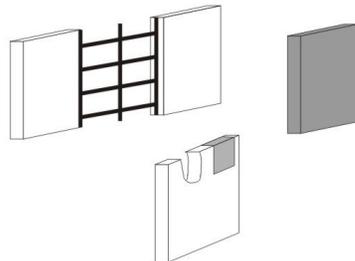
**CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE**

Tipologia dell'opera (3)	1	NOTE	
Estensione massima (m. m2)		NOTE	
Evidenze di attività (SI / NO)	SI	DESCRIZIONE	

**CARATTERISTICHE DELL'OPERA**

Materiali costruttivi (4)	/	NOTE	Pietra e malta
Stato di efficienza (5)	3	NOTE	Efficacia (5)
			3
Descrizione dei danni	Muro rotto (bucato) solo in alcuni tratti riparato		
DIMENSIONI	Lunghezza (m)	TIPO ELEMENTI A RISCHIO (6)	4 QUANTITA'
	Larghezza media base (m)		Pontebbana
	Larghezza media sommità (m)		
	Altezza prof. minima (m)		
	Altezza prof. media (m)		
	Altezza prof. massima (m)		
	Superficie (m2)		

**ANNOTAZIONI E DISEGNI**



- (3)
- 1: Parete rocciosa continua molto fratturata
  - 2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata
  - 3: Affioramenti discontinui
  - 4: Rimobilizzazione da coperture detritiche
  - 5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana
  - 6: Altro (indicare)

- (4)
- 1: Legname
  - 2: Metallo
  - 3: Terra
  - 4: Terra armata/rinforzata
  - 5: CA

- (5)
- 1: Pessimo
  - 2: Discreto
  - 3: Ottimo

- (6)
- 1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)
  - 2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)
  - 3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)
  - 4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)
  - 5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)
  - 6: Infrastrutture tecnologiche
  - 7: Altro (indicare)

**MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI**

Provincia	Udine	Comune	Venzone	ID opera	16	Inventario FVG (SI / NO)	SI	Rilevatore	Tutti	DATA	29/01/2010
-----------	-------	--------	---------	----------	----	--------------------------	----	------------	-------	------	------------

**INFORMAZIONI GENERALI**

Scala di rilevamento	1:2500	Cartografia di riferimento	CTR
Ubicazione dell'opera (1)	5	NOTE	
Tipologia dell'opera (2)	8	NOTE	
Quota minima (m. s.l.m.)			
Quota massima (m. s.l.m.)			
Restituzione grafica dell'opera	Puntuale	Lineare	X
		Areale	

Progressivo foto	1193 AC
------------------	---------

**ATTRIBUTI**

(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)
	2: Canale / impluvio (indicare larghezza/ sezione/pendenza)
	3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)
	4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)
	5: Fondovalle

(2)	1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)
	2: Barriera elastica a basso assorbimento (pali metallici e pannelli rete)
	3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e freni)
	4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)
	5: Muro in gabionati (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero)
	6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)
	7: Vallo paramassi (in scavo)
	8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)

	9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)
	10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)
	11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)
	12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)

(3)	1: Parete rocciosa continua molto fratturata
	2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata
	3: Affioramenti discontinui
	4: Rimobilizzazione da coperture detritiche
	5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana
	6: Altro (indicare)

(4)	1: Legname
	2: Metallo
	3: Terra
	4: Terra armata/rinforzata
	5: CA

(5)	1: Pessimo
	2: Discreto
	3: Ottimo

(6)	1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)
	2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)
	3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)
	4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)
	5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)
	6: Infrastrutture tecnologiche
	7: Altro (indicare)

**CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE**

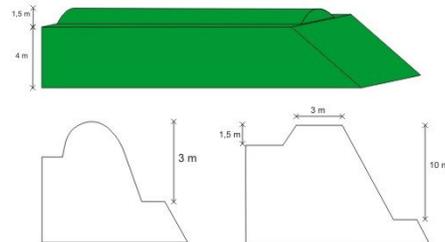
Tipologia dell'opera (3)	1	NOTE	
Estensione massima (m, m2)		NOTE	
Evidenze di attività (SI / NO)	SI	DESCRIZIONE	Presenza di blocchi sul versante

**CARATTERISTICHE DELL'OPERA**

Materiali costruttivi (4)	5	NOTE	
Stato di efficienza (5)	3	NOTE	Efficacia (5)
			3
Descrizione dei danni			

DIMENSIONI	TIPO ELEMENTI A RISCHIO (6)		QUANTITA'	diverse case disabitate
	Lunghezza (m)			
Larghezza media base (m)			4	
Larghezza media sommità (m)				
Altezza/prof. minima (m)				
Altezza/prof. media (m)	4			
Altezza/prof. massima (m)				
Superficie (m2)				

**ANNOTAZIONI E DISEGNI**



**MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI**

Provincia	Udine	Comune	Venezon	ID opera	17	Inventario FVG (SI / NO)	NO	Rilevatore	Tutti	DATA	30/01/2010
-----------	-------	--------	---------	----------	----	--------------------------	----	------------	-------	------	------------

**INFORMAZIONI GENERALI**

Scala di rilevamento	1:2500	Cartografia di riferimento	CTR
Ubicazione dell'opera (1)	5	NOTE	
Tipologia dell'opera (2)	6	NOTE	
Quota minima (m. s.l.m.)			
Quota massima (m. s.l.m.)			
Restituzione grafica dell'opera	Puntuale	Lineare	X
		Areale	

**CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE**

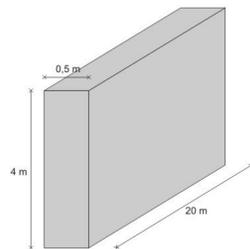
Tipologia dell'opera (3)	1	NOTE	
Estensione massima (m, m2)		NOTE	
Evidenze di attività (SI / NO)	SI	DESCRIZIONE	Presenza di blocchi sul versante. Il muro potrebbe essere stato demolito a sud del cimitero (confronto Gemonese/area)

**CARATTERISTICHE DELL'OPERA**

Materiali costruttivi (4)	5	NOTE	
Stato di efficienza (5)	3	NOTE	Efficacia (5)
Descrizione dei danni			3

DIMENSIONI	Lunghezza (m)	PO ELEMENTI A RISCHIO	QUANTITA'
Larghezza media base (m)	20 ?		
Larghezza media sommità (m)			
Altezza/prof. minima (m)			
Altezza/prof. media (m)	4		
Altezza/prof. massima (m)			
Superficie (m2)			

**ANNOTAZIONI E DISEGNI**



Progressivo foto	
------------------	--

**ATTRIBUTI**

- |            |   |  |
|------------|---|--|
| <b>(1)</b> | 1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)                 |  |
|            | 2: Canale / impluvio (indicare larghezza/sezione/pendenza)                  |  |
|            | 3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)                          |  |
|            | 4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)             |  |
|            | 5: Fondovalle   |  |
| <b>(2)</b> | 1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)             |  |
|            | 2: Barriera elastica a basso assorbimento (pali metallici e pannelli rete)  |  |
|            | 3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e freni)      |  |
|            | 4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)              |  |
|            | 5: Muro in gabioni (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero) |  |
|            | 6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)          |  |
|            | 7: Vallo paramassi (in scavo)   |  |
|            | 8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)                                 |  |
|            | 9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)          |  |
|            | 10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)        |  |
|            | 11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)   |  |
|            | 12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)                      |  |
| <b>(3)</b> | 1: Parete rocciosa continua molto fratturata                                |  |
|            | 2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata                           |  |
|            | 3: Affioramenti discontinui   |  |
|            | 4: Rimobilizzazione da coperture detritiche                                 |  |
|            | 5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana                             |  |
| <b>(4)</b> | 1: Legname  |  |
|            | 2: Metallo  |  |
|            | 3: Terra  |  |
|            | 4: Terra armata/rinforzata  |  |
|            | 5: CA   |  |
| <b>(5)</b> | 1: Pessimo  |  |
|            | 2: Discreto   |  |
|            | 3: Ottimo   |  |
|            |   |  |
|            |   |  |
|            |   |  |
|            |   |  |
| <b>(6)</b> | 1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)                     |  |
|            | 2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)                      |  |
|            | 3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)                     |  |
|            | 4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)                             |  |
|            | 5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)                     |  |
|            | 6: Infrastrutture tecnologiche  |  |
|            | 7: Altro (indicare)   |  |

**MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI**

Provincia	Udine	Comune	Venezzone	ID opera	18	Inventario FVG (SI/NO)	SI	Rilevatore	Tutti	DATA	17/03/2010
-----------	-------	--------	-----------	----------	----	------------------------	----	------------	-------	------	------------

**INFORMAZIONI GENERALI**

Scala di rilevamento	1:2500	Cartografia di riferimento	CTR
----------------------	--------	----------------------------	-----

Progressivo foto	1293-1294 AC
------------------	--------------

Ubicazione dell'opera (1)	5	NOTE
Tipologia dell'opera (2)	8	NOTE
Quota minima (m. s.l.m.)		
Quota massima (m. s.l.m.)		
Restituzione grafica dell'opera	Puntuale	Lineare X
		Areale

**CARATTERISTICHE DELLA ZONA SORGENTE**

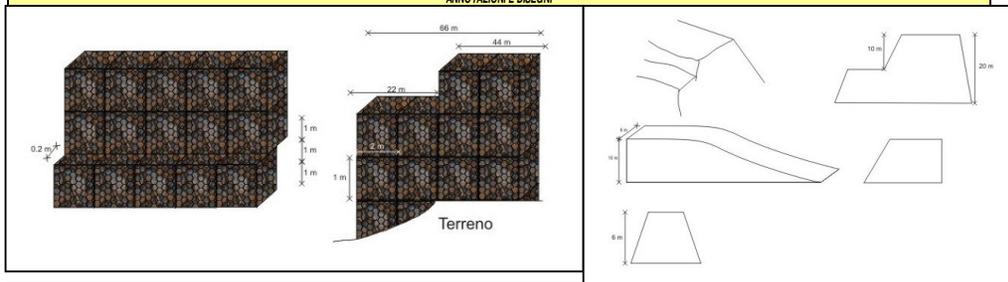
Tipologia dell'opera (3)	2	NOTE
Estensione massima (m. m2)		NOTE
Evidenze di attività (SI/NO)	SI	DESCRIZIONE
		Presenza di blocchi sull'intero versante

**CARATTERISTICHE DELL'OPERA**

Materiali costruttivi (4)	4-2	NOTE	Rete maglia esagonale doppia torsione
Stato di efficienza (5)		NOTE	Efficacia (5)
Descrizione dei danni			

DIMENSIONI	Lunghezza (m)		TIPO ELEMENTI A RISCHIO (6)	QUANTITA'
Larghezza media base (m)	7	Gabbioni		4
Larghezza media sommità (m)	5	Gabbioni		
Altezza/prof. minima (m)				
Altezza/prof. media (m)	3			
Altezza/prof. massima (m)				
Superficie (m2)				

**ANNOTAZIONI E DISEGNI**



**ATTRIBUTI**

(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)
	2: Canale / impluvio (indicare larghezza/seziona/pendenza)
	3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)
	4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)
	5: Fondo valle

(2)	1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)
	2: Barriera elastica a basso assorbimento (pal metallici e pannelli rete)
	3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e freni)
	4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)
	5: Muro in gabbioni (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero)
	6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)
	7: Vallo paramassi (in scavo)
	8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)

	9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)
	10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)
	11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)
	12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)

(3)	1: Parete rocciosa continua molto fratturata
	2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata
	3: Affioramenti discontinui
	4: Rimobilizzazione da coperture detritiche
	5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana
	6: Altro (indicare)

(4)	1: Legname
	2: Metallo
	3: Terra
	4: Terra armata/rinforzata
	5: CA

(5)	1: Pessimo
	2: Discreto
	3: Ottimo

(6)	1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)
	2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)
	3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)
	4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)
	5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)
	6: Infrastrutture tecnologiche
	7: Altro (indicare)



## Carta Geologica

Analisi multidisciplinare per la valutazione  
della suscettibilità e della pericolosità di frane  
di crollo nell'area di Venzone (UD)

FRANCESCA COLUCCI

Matricola 076974

Relatore: Dott. Federico AGLIARDI

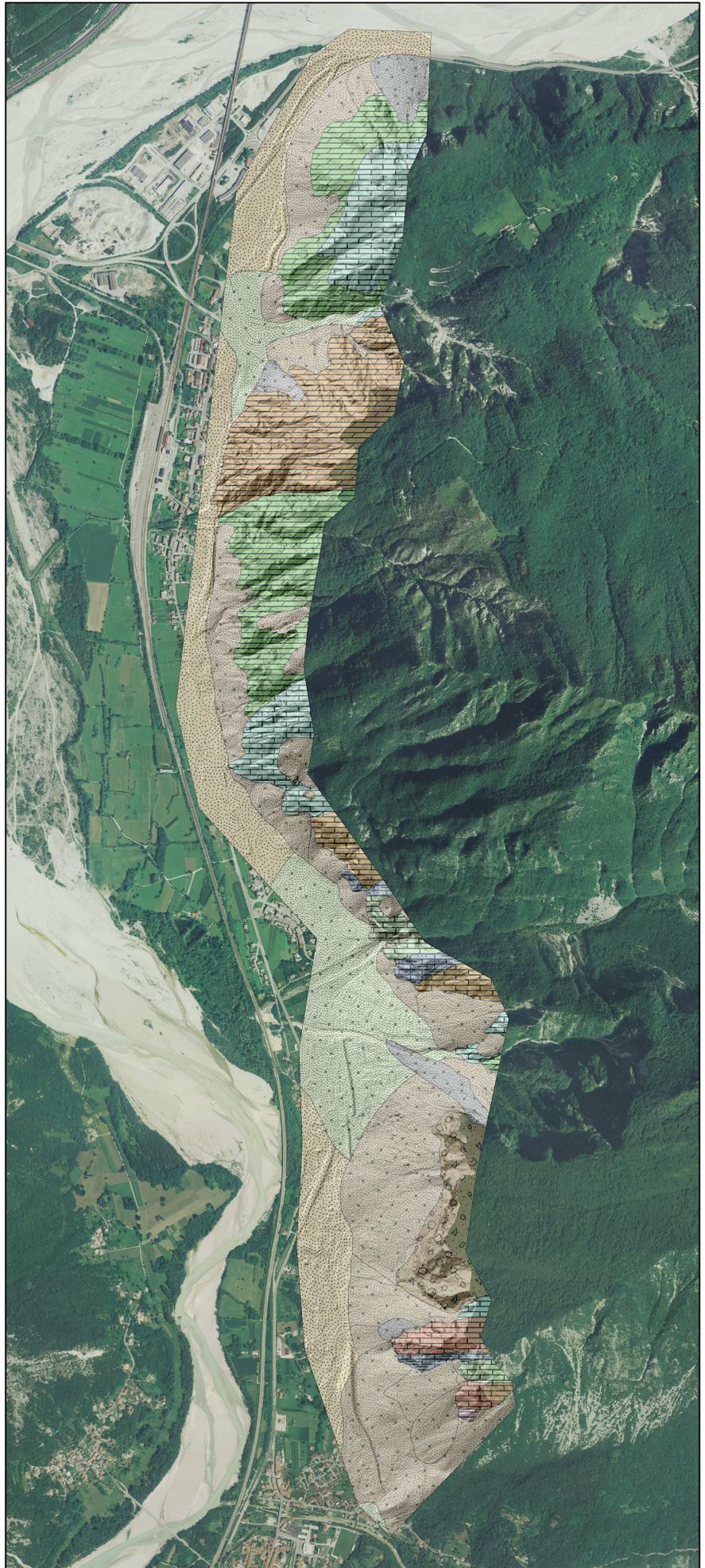
Correlatore: Prof. Giovanni B. CROSTA

### Depositi Quaternari

-  Detrito di falda attuale e recente
-  Alluvioni attuali
-  Deposito di frana
-  deposito di conoide alluvionale
-  Brecce

### Successione Sedimentaria

-  Calcare del Vajont
-  Calcare di Dachstein
-  Calcari Grigi del Friuli
-  Calcari Grigi del Friuli in facies di annegament
-  Dolomia Principale
-  Dolomia Principale scura
-  Formazione di Fonzaso
-  Formazione di Soverzene
-  Formazione di Travenanzes
-  Maiolica (o Biancone)



SCALA: 1:15.000

0 250 500 1.000 m



Università degli Studi di Milano Bicocca  
Dipartimento di Scienze Geologiche e Geotecniche

## Carta dei lineamenti

Analisi multidisciplinare per la valutazione  
della suscettibilità e della pericolosità di frane  
di crollo nell'area di Venzone (UD)

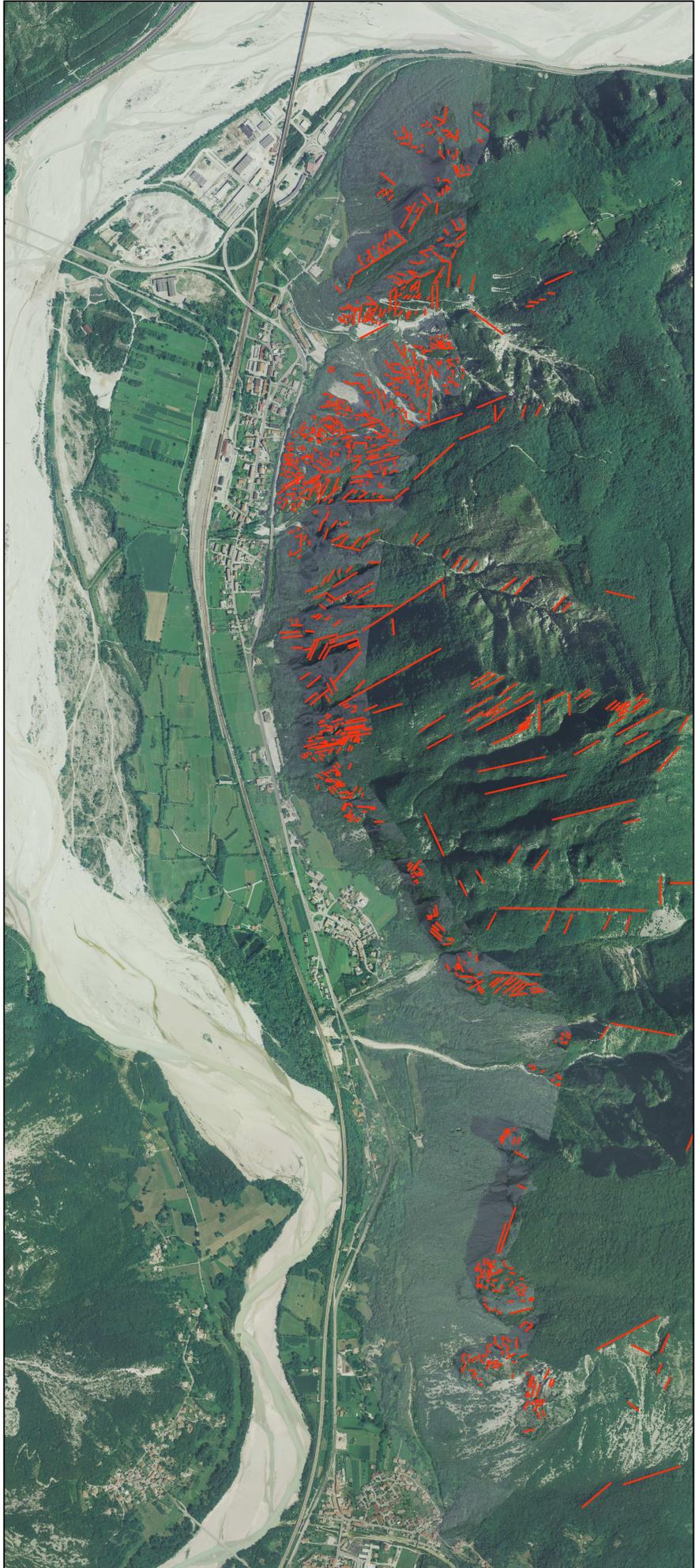
FRANCESCA COLUCCI

Matricola 076974

Relatore: Dott. Federico AGLIARDI

Correlatore: Prof. Giovanni B. CROSTA

— Lineamenti



SCALA: 1:15.000

0 250 500 1.000 m



Sistema cartografico: Gauss-Boaga, fuso est

Ortofoto: Volo Italy 2007, Compagnia generale Riprese Aeree.

## Carta Geomorfológica

Analisi multidisciplinare per la valutazione  
della suscettibilità e della pericolosità di frane  
di crollo nell'area di Venzone (UD)

FRANCESCA COLUCCI  
Matricola 076974

Relatore: Dott. Federico AGLIARDI  
Correlatore: Prof. Giovanni B. CROSTA

### Morfologia legata all'idrografia

- Alveo profondamente inciso con fondo in roccia
- Alveo con evidenze di debris flow recenti
- Alveo con evidenze di debris flow inattivi
- Alveo in detrito

### Orli

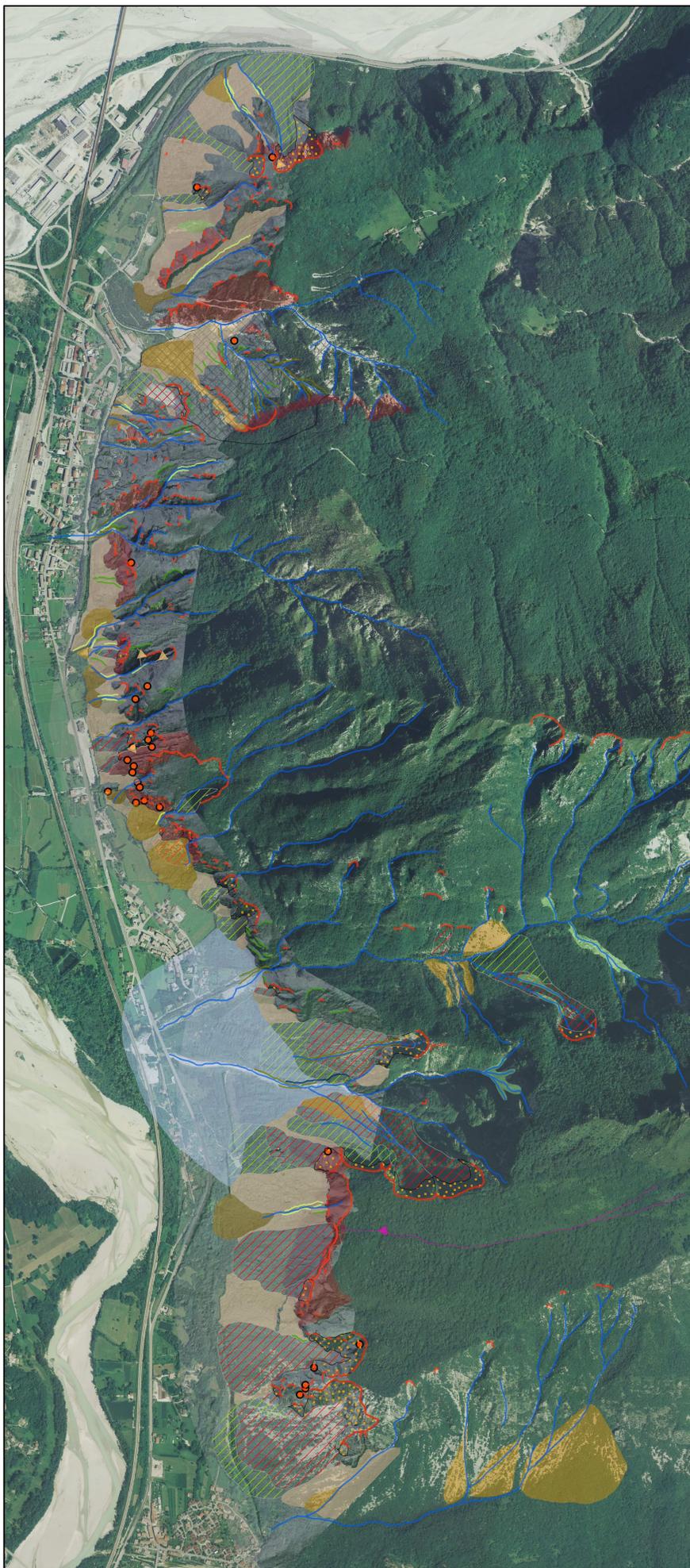
- Orlo di scarpata di erosione inattiva
- Orlo di scarpata di erosione torrentizia attiva
- Orlo di scarpata di degradazione
- Orlo di scarpata interessata da caduta massi
- Orlo di scarpata morfologica

### Depositi

- Conoide alluvionale
- Falda di detrito
- Cono da debris flow
- Cono di detrito
- Corpo da debris flow
- Conoide misto
- Accumulo di crollo

### Evidenze fenomeni franosi

- Accumulo/corpo di frana inattiva
- Accumulo/corpo di frana attiva
- Nicchia di frana attiva
- Punti distacco
- Aree distacco
- Zona di danneggiamento



SCALA: 1:15.000

0 250 500 1.000 m



Sistema cartografico: Gauss-Boaga, fuso est

Ortofoto: Volo Italy 2007, Compagnia generale Riprese Aeree.

Università degli Studi di Milano Bicocca  
Dipartimento di Scienze Geologiche e Geotecniche

## Carta dell'Uso del Suolo

Analisi multidisciplinare per la valutazione  
della suscettibilità e della pericolosità di frane  
di crollo nell'area di Venzone (UD)

FRANCESCA COLUCCI  
Matricola 076974  
Relatore: Dott. Federico AGLIARDI  
Correlatore: Prof. Giovanni B. CROSTA

### Classi di uso del suolo

-  Arbusti
-  Bosco
-  Bosco rado
-  Vegetazione assente
-  Vegetazione erbacea
-  Strade
-  Edificato



SCALA: 1:15.000

0 250 500 1.000 m



Sistema cartografico: Gauss-Boaga, fuso est

Ortofoto: Volo Italy 2007, Compagnia generale Riprese Aeree.