

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

TIMAU



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	Introduzione5					
2	2 Inquadramento geologico-strutturale					
	2.1 Inquadramento geologico regionale7					
	2.2 Inquadramento geografico e geologico locale					
	2.2.1 La successione stratigrafica affiorante e i depositi quaternari	12				
	2.2.3 Il quadro strutturale	19				
3	Il problema della caduta massi	22				
4	Raccolta dati	23				
	4.1 Dataset esistenti	23				
	4.1.1 Carta topografica	23				
	4.1.2 Ortofoto	24				
	4.1.3 Carta geologica 1:150.000	25				
	4.1.4 Studi precedenti – dati storici	26				
	4.1.5 Foto aeree	27				
	4.1.6 Raccolta dati LIDAR	28				
	4.2 Raccolta dati di terreno: nuovi dataset	31				
	4.2.1 Carta geologica	32				
	4.2.2 Carta della fratturazione degli ammassi rocciosi	33				
	4.2.3 Carta della tessitura dei depositi superficiali	34				
	4.2.4 Carta dell'uso del suolo	34				
_	4.2.5 Carta della litologia superficiale	33				
5	Attivita di terreno	31				
	5.1 Kilevamento geomoriologico	37				
	5.1.1 Catalogo del Dioccii	41				
	5.2 Dilayamenta geologica tecnica	47				
	5.2 Kilevallento geologico-techico	30				
	Diliavo Geomeccanico n 1	52				
	Rilievo Geomeccanico n. 2	59				
	Rilievo Geomeccanico n. 2	63				
	Rilievo Geomeccanico n 4	66				
	Rilievo Geomeccanico n 5	68				
	Rilievo Geomeccanico n 6	70				
	Rilievo Geomeccanico n. 7	72				
6	Valutazione della suscettibilità all'innesco					
-	6.1 Caratterizzazione geomeccanica in Coltop 3D					
	6.2 Analisi della suscettibilità all'innesco con approccio deterministico	82				
	6.2.1 Verifiche di fattibilità cinematica	82				
	6.2.2 Analisi cinematica spazialmente distribuita con SlopeMap	85				
	6.3 Analisi della suscettibilità all'innesco con approccio euristico	88				
7	Modellazione dell'espandimento delle frane di crollo	91				
	7.1 Modelli matematici	95				
	7.1.1 Il codice Hy-Stone	97				
	7.2 Modelli empirici	. 102				
	7.2.1 Conefall	. 104				
8	Modellazione 3D dell'area di Timau: Hy-Stone	108				
	Simulazione "A": sorgenti lineari con suscettibilità all'innesco uniforme	. 115				

	Simulazione "B": sorgenti areali con suscettibilità valutata con approccio empirico/euristico			
		117		
	Simulazione "C": sorgenti areali con suscettibilità valutata con approccio deterministico	119		
]	Effetto della diversa suscettibilità all'innesco con lo stesso tipo di sorgente	121		
]	Effetto del volume del blocco di progetto sull'energia cinetica	122		
8	8.1 Valutazione della pericolosità: la procedura RHIV	123		
	8.1.1 Riclassificazione dei parametri	125		
8	8.2 Applicazione della procedura RHIV	128		
	Effetto del diverso tipo di sorgente di crollo sulla pericolosità	130		
	Effetto della diversa suscettibilità all'innesco sulla pericolosità	132		
	Effetto del volume del blocco di progetto sulla pericolosità	134		
	8.2.1 Esempio di valutazione della pericolosità lungo un profilo	136		
9	Modellazione pseudo-3D dell'area di Timau: Conefall	144		
9	9.1 Valutazione della pericolosità	147		
10	Modellazione 2D dell'area di Timau: RocFall	149		
]	PROFILO n. 1	152		
]	PROFILO n. 2	154		
]	PROFILO n. 3	156		
	10.1 Valutazione della pericolosità: la procedura RHAP	158		
	10.2 Applicazione della procedura RHAP	161		
11	Conclusioni	163		
Bil	ibliografia			

Allegati:

Carta geologica	
Carta geomorfologica	
Carta dell'uso del suolo	
Moduli delle opere di difesa	
Moduli dei rilievi geomeccanici	184

1 Introduzione

Scopo del lavoro è la stesura degli standard minimi per la compilazione di carte di pericolosità per frane di crollo quale strumento per la prevenzione dei dissesti franosi. Il Servizio Geologico regionale ha scelto 3 aree di studio in provincia di Udine per questo progetto: Sottomonte-Portis-Carnia (Venzone), Villa Santina-Caneva di Tolmezzo e Timau. Il presente lavoro si è focalizza sullo studio dell'area intorno alla località di Timau, frazione del Comune di Paluzza. Il lavoro è stato strutturato nelle seguenti fasi:

- revisione della letteratura e dei dati geologici e geologico-tecnici esistenti;
- rilevamento geologico e geomorfologico di dettaglio;
- rilevamento geologico-tecnico in sito con rilievi geomeccanici;
- analisi stereoscopica di foto aeree (stereocoppie e ortofoto);
- acquisizione ed organizzazione in ambiente GIS dei dati;
- analisi della suscettibilità all'innesco di fenomeni di caduta massi;
- analisi e modellazione dei processi di propagazione dei blocchi;
- realizzazione delle carte di pericolosità.

La pericolosità da crollo è comunemente definita come la probabilità di accadimento di un fenomeno di una certa intensità in un certo intervallo di tempo in una determinata area (Varnes et al., 1984). Questa definizione incorpora i concetti di intensità, frequenza di ricorrenza e localizzazione nello spazio. In realtà, la valutazione di tutte queste componenti è assai complessa, soprattutto per quanto riguarda la dimensione temporale dei fenomeni. Per questo motivo, il presente lavoro è finalizzato alla valutazione, con metodi quantitativi, della probabilità spaziale (suscettibilità) dei crolli. Per valutare correttamente la suscettibilità di un fenomeno a rapido espandimento come i crolli, è necessario stimare tanto la probabilità di innesco del processo quanto la probabilità che, una volta innescato, il fenomeno raggiunga una certa posizione nello spazio ("probabilità di propagazione"). In questo lavoro la probabilità di innesco è stata valutata secondo un approccio euristico e uno deterministico. Per valutare la probabilità di propagazione è stato utilizzato il codice di calcolo Hy-Stone (modellazione matematica 3D) per poi valutare la pericolosità secondo la procedura RHIV. Oltre a questa, è stata condotta anche una modellazione empirica pseudo-3D con il programma Conefall per valutare la massima distanza di espandimento dei blocchi crollati. Con il software RocFall, infine, è stata effettuata una modellazione 2D allo scopo di effettuare una zonazione della pericolosità secondo la procedura RHAP.

Il rilevamento litologico e geologico-strutturale (Cap. 2.2) è stato condotto dal dott. Geol. Fulvio Podda, mentre per il rilevamento geomorfologico e geologico-tecnico mi sono avvalso della collaborazione dei miei due compagni di corso Andrea Valagussa e Francesca Colucci e del dott. Geol. Samuel Cucchiaro. L'attività di terreno, durata complessivamente 10 giorni divisi tra il Marzo e il Maggio del 2010, oltre ai dati geomeccanici e geomorfologici, ha anche permesso la raccolta di un catalogo di 1300 blocchi crollati e di 19 opere di protezione dalla caduta massi presenti nell'area di studio.

Fondamentali per lo svolgimento dell'intero lavoro sono stati il DEM LIDAR (realizzato dalla Protezione Civile regionale), le foto aeree, le ortofoto e la CTR a scala 1:2500 messi a disposizione dal Servizio Geologico della Regione Friuli-Venezia Giulia.

2 Inquadramento geologico-strutturale

2.1 Inquadramento geologico regionale

Il territorio della Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia appartiene all'unità sudalpina ed è caratterizzato prevalentemente da litologie sedimentarie, con subordinati episodi effusivi testimoniati da ridotte sequenze vulcanoclastiche e vulcaniti. 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, quali i marmi e le metaclasiti. Questi sono i termini più antichi presenti in Regione (Ordoviciano inf.), i quali lasciano posto, da nord verso sud, a terreni sempre più recenti.



Figura 2.1: carta geologica storica del Friuli-Venezia Giulia.

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 (Fig. 2.1), escludendo la pianura alluvionale, la litologia predominante è quella carbonatica (colore azzurro) caratterizzata soprattutto dalle potenti sequenze triassiche e giurassiche della zona alpina e prealpina, nonché quelle cretaciche 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 perlopiù da argilliti, siltiti e intercalati da lembi di colate vulcaniche e vulcaniti; il terrigeno più recente, genericamente denominato flysch eocenico, appartiene invece all'intervallo Cretacico sup. -Paleogene, ed è caratterizzato dalla tipica 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 trust alpini che caratterizzano l'assetto tettonico regionale, conferendogli la tipica struttura a scaglie embriciate sud-vergenti responsabile dei numerevoli 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 microscala (Venturini, 1990).



Figura 2.2: sezione della carta geologica che attraversa da N a S la regione nel punto mediano.

Da nord a sud esse si identificano come fascia settentrionale, fascia centrale e fascia meridionale. La fascia settentrionale comprende la Catena Paleocarnica, ed è caratterizzata da terreni paleozoici già interessati dalle deformazioni dell'orogenesi ercinica. E' delimitata a Nord dalle linee della Gailtal ed a Sud dalla Linea Comeglians-Paularo. La stessa 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 Devonico) costituito da Scisti e Marmi, affioranti soprattutto nella zona del Comelico e del Monti Peralba-Avanza. Il comparto SE della fascia settentrionale è caratterizzato dall'ercinico non metamorfico (Devoniano-Carbonifero) che interessa la sequenza calcarea devonica e flyschoide 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 trust sudvergenti delle Alpi Carniche Occidentali. La fascia centrale è identificabile con le Dolomiti Pesarine, le Alpi Tolmezzine e le Alpi Giulie. E' delimitata a N dalla Linea della Val Bordaglia, dalla Linea Comeglians - Paularo e dalla linea Tropollach-Camporosso; a Sud dal sistema di trust della linea Pinedo - Uccea e Barcis - Staro Selo. La fascia centrale è divisibile in due comparti a comportamento tettonico differente. Demarcazione fra i due è la linea 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 quest'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 - Uccea e Barcis - Staro Selo, che delimitano la parte meridionale della Fascia Centrale. In particolare la Linea di Sauris ha utilizzato come piano di scollamento i gessi della Fm. a Bellerophon (Permiano) ed ha portato i terreni permiani (Arenarie di V. 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 (Lias) od addirittura dei Calcari del Vajont (Dogger), sul M. Dof per l'appunto. 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 Linea 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 *backtrust* identificabili con la Linea della Val Resia e del M. Amariana.

La fascia meridionale, delimitata a N dalla Barcis - Staro Selo, a W dalla Tramonti - Verzegnis (chiamata anche Tramonti-Barcis), è divisibile in due dalle linee verticali N-S di Osoppo (Linea di Osoppo). Il comparto orientale è compreso 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. Hanno un'origine mesoalpina, ma in fase neoalpina sono state riattivate con attività fortemente transpressiva, tutt'ora attiva. La parte sudorientale della Regione (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 - Buttrio e Linea di Palmanova), studiate recentemente dal Servizio Geologico e dall'Università degli Studi di Trieste nell'ambito del Progetto "Carta del sottosuolo della Pianura Friulana".

Da un punto di vista sismotettonico 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 rimangono ben definite nella Provincia di Udine, in particolare lungo la valle del Fiume Tagliamento (da Buia – Tarcento fino a Tolmezzo), la parte finale della valle del Fiume Fella e qualche altra limitata area alpina. In tali aree si concentrano inoltre i principali fenomeni di crollo e ribaltamento. 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 2.3: mappa in PGA con periodo di ritorno 475 anni riferita alla superficie libera con valori distribuiti.

2.2 Inquadramento geografico e geologico locale

Timau è un piccolo borgo montano situato nelle Alpi Carniche ed è frazione del Comune di Paluzza (da cui dista circa 6 km), in provincia di Udine, nella Regione Friuli-Venezia Giulia. Il paese si sviluppò nel XV secolo a motivo delle miniere di rame argentifero localizzate nei calcari delle montagne di Pal Grande, Pal Piccolo e Pramosio.



Figura 2.4: localizzazione geografica dell'area di studio.

L'area oggetto di studio si estende, in senso longitudinale, sulla sponda sinistra idrografica dell'alto corso del Torrente But, affluente di sinistra del Fiume Tagliamento, a partire da Ovest, all'incirca dal km 27 della S.S. 52 bis Carnica che porta al confine italo-austriaco del Passo di Monte Croce Carnico e terminare ad Est, dopo circa 4,5 km, in corrispondenza dell'abitato di Timau. Le quote vanno dai 980 m (estremo occidentale dell'area) agli 816 m (estremo orientale) del fondovalle, fino ai 1847 m del Gamspitz e di poco maggiori delle pendici sud-occidentali del Pizzo Timau. Sul paese incombono minacciose le pareti subverticali del Pizzo e della Creta di Timau (Fig. 2.5). Queste pareti calcaree strapiombanti determinano un sensibile "rischio valanghe" attualmente localizzato lungo uno stretto colatoio preferenziale che attraversa il paese

nel suo punto mediano. Un ulteriore rischio naturale per il paese è dato dalle acque del Torrente But che lo attraversano e lambiscono con argini estremamente bassi. A questo proposito è opportuno ricordare che l'iniziale ubicazione dell'abitato corrispondeva all'attuale posizione del Tempio Ossario, sulla sponda destra del torrente. Da lì l'antico nucleo abitativo fu spostato e ricostruito nell'odierno sito a causa della devastante alluvione del 1730. Poco oltre l'estremità occidentale del paese si trova l'imponente sorgente carsica perenne del *Fontanòn di Timau*, che sgorga da un anfratto posto alla base della Creta di Timau. Sul versante destro della valle del But si osserva una diffusa franosità che si innesta su una paleofrana di grandi dimensioni. La paleofrana (denominata del Masareit) deve aver contribuito al sovralluvionamento di quest'ampio tratto di corso propiziando lo sviluppo della piana dei Laghetti.



Figura 2.5: Panoramica di Timau con le ripide pareti del Gamspitz e quelle sottostanti della Creta di Timau (foto Podda).

2.2.1 La successione stratigrafica affiorante e i depositi quaternari

Dal punto di vista delle grandi unità orografiche che caratterizzano il territorio regionale, ciascuna con propria individualità geografica, stratigrafica e strutturale (Marinelli, 1898; Gortani, 1960), l'area appartiene alla Catena Paleocarnica.

Nell'area affiora, con modalità spesso discontinue data l'intensa tettonica, una successione che va dal Devoniano inferiore al Carbonifero superiore le cui formazioni vengono di seguito descritte.

Calcari dolomitici e lastroidi: Calcisiltiti, calcareniti e micriti da grigio scure a nere in strati decimetrici parzialmente dolomitizzati. Affiorano a Nord del Gamspitz, al limite settentrionale dell'area rilevata. Rappresentano il deposito di accumuli calcarei, essenzialmente frammenti e gusci ancora intatti di brachiopodi e gasteropodi, rielaborati dal moto ondoso. (Devoniano inf.).

Calcari a Tentaculiti: Biomicriti nodulari in strati sottili, con interstrati marnosi rosso cupo o, più di rado, gialli e grigi (Rosso Goniatitico). Costituiscono gli estesi affioramenti del lembo settentrionale della faglia diretta in corrispondenza del Gamspitz. Sono sedimenti micritici facenti parte della porzione più profonda di una rampa carbonatica a debole inclinazione. (Devoniano inf.- medio).

Calcareniti di transizione distali: Calcareniti e calcisiltiti grigie e grigio-giallastre in strati cm-m; sporadiche intercalazioni di calcari micritici e sottili calciruditi. Formano le pareti subverticali del Gamspitz (Fig. 2.6) nonchè quelle sud-occidentali del Pizzo Timau. Rappresentano le facies distali della rampa carbonatica la cui piattaforma (il corpo di scogliera biocostruita) è posizionata in corrispondenza del Monte Coglians (fuori area). (Devoniano inf.- sup.).



Figura 2.6: Le Calcareniti di transizione distali del Gamspitz (visto da Sud-Est, foto Podda).

Calcareniti di transizione prossimali: Calcareniti, calcilutiti e, nella parte medio-alta, calcari a litoclasti in banchi metrici. Nella parte alta si intercalano livelli decimetrici di lumachelle a brachiopodi. Dominano nel settore centro-orientale dell'area rilevata. Rappresentano le facies prossimali della rampa carbonatica la cui piattaforma (corpo di scogliera biocostruita) è posizionata in corrispondenza del Monte Coglians. (Devoniano inf.- sup.).

Calcari a Goniatiti e Climenie: Calcari micritici grigi, rosa e nocciola, in strati cm-dm con frequenti rilegature argillitiche ocracee; rari livelli centimetrici calcarenitico-calcisiltitici. Costituiscono le pareti subverticali della Creta di Timau (Fig 2.7) e sporadici affioramenti nel settore occidentale dell'area. Testimoniano l'avvenuto sprofondamento della piattaforma carbonatica (non presente in questo settore) e della sua rampa per effetto di faglie distensive sinsedimentarie. (Devoniano sup.-Carbonifero inf.).



Figura 2.7: I Calcari a Goniatiti e Climenie ben stratificati e subverticali della Creta di Timau, poggianti stratigraficamente sulle Calcareniti di transizione distali del Gamspitz (foto Podda).

Formazione del Hochwipfel: Areniti e peliti grigio scure, torbiditiche, in strati cm-dm, originate dallo smantellamento di lontani rilievi nordoccidentali deformati e sollevati durante le fasi precoci dell'orogenesi ercinica. Affiorano lungo la S.S. n°52 bis Carnica all'altezza del km. 24 (Fig 2.8 e 2.9) e soprattutto nel settore occidentale dell'area. (Carbonifero)

Formazione del Dimon: Areniti feldspatiche in strati cm-dm, alternate a peliti grigie e verdi derivanti dall'erosione di lave basiche costituenti isole vulcaniche esterne all'area carnica. Affiorano limitatamente ad Est dell'abitato di Timau. (Carbonifero sup.).



Figura 2.8: Areniti grigio scure appartenenti alla Formazione del Hochwipfel lungo la S.S. n°52 bis Carnica all'altezza del km. 24 (foto Podda).



Figura 2.9: Areniti tettonizzate della Formazione del Hochwipfel (dettaglio della foto precedente, foto Podda).

I rapporti stratigrafici fra le unità descritte sono evidenziati nella figura 2.10.



Figura 2.10 - Rapporti stratigrafici fra le unità paleozoiche affioranti nell'area di Timau.

 D_1 :Calcari dolomitici e lastroidi; D_2 :Calcari a Tentaculiti; D_{3a} : Calcareniti di transizione distali; D_{3b} : Calcareniti di transizione prossimali; D_5 :Calcari a Goniatiti e Climenie; Hw: Formazione del Hochwipfel; Di: Formazione del Dimon (da Spalletta et al., 2002).

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

Morena stadiale: accumulo caotico a blocchi e frammenti eterometrici, localmente cementato ed organizzato in corpi semicircolari con la concavità rivolta verso monte. Dati di tessitura, morfologici e di composizione, visibili lungo il taglio stradale della S.S. 52 bis Carnica immediatamente a W della Pizzeria Mexico, lo classificano come il residuo di un più ampio arco morenico stadiale (stadio di Bühl) abbandonato da una lingua tardoglaciale circa 15.000 anni fa. I blocchi sono di natura prevalentemente carbonatica (alcuni clasti sono invece di origine vulcanica), si presentano subarrotondati o spigolosi. Il deposito è clasto-sostenuto, ben cementato. La matrice, formata da piccoli clasti centimetrici, è poligenica (Fig. 2.11). (Pleistocene)



Figura 2.11: Morena stadiale lungo la S.S. 52bis Carnica presso Timau, a W della Pizzeria "Mexico" (foto Podda).

Morena di fondo: limi con sparsi ciottoli e blocchi eterometrici subarrotondati, frequentemente striati, in spessori limitati di qualche metro. (Pleistocene)

Alluvioni da sbarramento glaciale (kame): ghiaie e sabbie limose fluvio-lacustri non cementate, organizzate in conoidi di deiezioni. Presenti sul versante a N-E di Timau tra la quota 875 e la quota 950 metri (Fig. 2.12). (Pleistocene)



Figura 2.12: Alluvioni da sbarramento glaciale localizzate ad Est del vallo di quota 925 posto a monte della località di Timau (foto Podda).

Deposito di frana: blocchi e frammenti eterometrici non cementati, in lobi ad assetto caotico. Il principale deposito di frana da crollo si trova fra il km. 24 ed il km. 25 della S.S. 52 bis Carnica in corrispondenza della galleria paramassi (Fig. 2.13) (Pleistocene sup.-Attuale)



Figura 2.13: deposito di frana tra il km. 24 ed il km. 25 della S.S. 52 bis Carnica all'imbocco orientale della galleria paramassi (foto Podda).

Detriti di falda attuali e recenti: sono brecce gravitative di versante, in prevalenza sciolte, eterogenee, clinostratificate in falde e conoidi. Si rinvengono alla base di tutti i massicci rocciosi (Fig. 2.14). I clasti sono generalmente angolosi, eterometrici, fino a grossi blocchi. La tessitura è da clasto-sostenuta a matrice-sostenuta. (Olocene)



Figura 2.14: alla base dei rilievi carbonatici si notano i detriti di falda, che arrivano a lambire la strada statale. Sopra la galleria paramassi si vede il corpo di frana della figura 2.13. In basso a sinistra l'abitato di Timau (foto Podda).

Coltre eluvio colluviale: sono depositi morenici di fondo, mobilizzati e commisti a detriti sciolti rimaneggiati. Affiorano lungo l'alta valle del Torrente But ed in corrispondenza della località di Timau. (Olocene)

2.2.3 Il quadro strutturale

E' noto che la Catena Paleocarnica è caratterizzata da una complessa strutturazione tettonica conseguente all'orogenesi ercinica e ripresa, spesso con fenomeni di inversione, in età alpina. Nella più limitata area di Timau le strutture tettoniche dominanti sono:

a) la macropiega antiforme Sud-vergente della Creta di Timau. E' una struttura plicativa di raggio chilometrico, della quale affiora con evidenza la gamba meridionale, in Calcari a Goniatiti e Climenie verticalizzati che incombono, con parete impostata su superfici di strato, sull'abitato di Timau. Tale piega, generata durante l'orogenesi ercinica (Carbonifero) è stata successivamente smembrata da faglie trascorrenti subverticali di età alpina (Fig. 2.15).



Figura 2.15: Piega antiforme ercinica sopra l'abitato di Timau (vista da Ovest). Nel disegno piccolo è ricostruita la macropiega e la posizione dei singoli blocchi spostati dalle faglie alpine, a tratteggio nel disegno grande (da C. Venturini, 2006).

b) il sovrascorrimento, sviluppato nella porzione occidentale dell'area, che porta le unità devoniche (Calcareniti di transizione prossimali e Calcari a Goniatiti e Climenie) ad accavallarsi su quelle carbonifere (Formazione del Hochwipfel). E' un thrust alpino a basso angolo, a direzione all'incirca E-W (σ1 disposto N-S) ed immersione del piano a Nord con valori di inclinazione attorno ai 10-15°. La linea tettonica è dislocata a sua volta da diverse faglie subverticali (Fig. 2.16 e 2.17) con direzione nel primo quadrante che la segmentano.



Figura 2.16: Faglia subverticale trascorrente N70 di età alpina che mette in contatto laterale la Formazione del Hochwipfel (a sinistra) con le Calcareniti di transizione prossimali. L'affioramento è lungo la S.S. 52 bis Carnica a metà percorso fra il km. 25 ed il km. 26 (foto Podda).



Figura 2.17: I gradini in calcite sulle areniti grigio scure della Formazione del Hochwipfel. indicano un movimento trascorrente destro (foto Podda).

- c) una faglia subverticale a direzione Est-Ovest con prevalente componente in trascorrenza destra, che attraversa tutta l'area in senso longitudinale al di sotto dei depositi sciolti quaternari. E' presente sul versante posto fra la Creta di Timau e la località di Timau, prosegue verso W in corrispondenza della sorgente carsica di trabocco denominata *Fontanòn di Timau*, continua al di sotto dei detriti di falda per poi correre in corrispondenza dell'alveo del Torrente But.
- d) la faglia diretta che interessa il Gamspitz e la Creta di Timau per una estensione di circa 2 km. Il piano di faglia, ad alto angolo e con andamento quasi listrico, separa i Calcari a Tentaculiti, al letto, dalle Calcareniti di transizione distali al tetto. Anche questa struttura è stata dislocata da faglie trascorrenti alpine.

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 Raccolta dati

Per eseguire una modellazione di caduta massi occorrono diversi dataset informatici di partenza. Tra i vari dataset disponibili per la Regione Friuli-Venezia Giulia, i più rilevanti per la caratterizzazione della pericolosità da caduta massi sono stati raccolti con il sostegno del Servizio Geologico regionale. In questo capitolo viene fornito un elenco di tutti i principali dataset necessari per l'esecuzione del lavoro.

4.1 Dataset esistenti

4.1.1 Carta topografica

La mappa topografica di base consiste in una mappa 1:2500 realizzata con tecniche digitali fotogrammetriche. La mappa è stata recentemente aggiornata ed è disponibile in formato elettronico come file CAD. La principale limitazione di questa mappa riguarda le linee di contorno che sono state digitalizzate come linee spezzate. Questo rende l'utilizzo di queste linee impraticabile per la costruzione dei modelli digitali del terreno (DTM).



Figura 4.1: carta topografica (CTR, Carta Tecnica Regionale) in scala 1:2500 dell'area di Timau, località Laghetti.

4.1.2 Ortofoto

Diverse serie di ortofoto sono disponibili per la Regione Friuli-Venezia Giulia dal 1998 con risoluzione sempre migliore. Le foto più recenti sono state prodotte durante la realizzazione del LIDAR DTM con una risoluzione nominale di $0,2 \ge 0,2 = 0$. La risoluzione dell'immagine della superficie reale dipende dalla elevazione, e potrebbe essere più alta per le montagne e più bassa per i piani vallivi.



Figura 4.2: confronto tra l'ortofoto del 2003 (sopra) e quella aggiornata al 2007 (sotto). Si può notare la migliore risoluzione di quest'ultima e anche la piccola frana sopra la località Laghetti non presente nell'ortofoto del 2003.

4.1.3 Carta geologica 1:150.000

Una recente carta geologica in scala 1:150.000 è stata prodotta dal Servizio Geologico della Regione Friuli-Venezia Giulia (Carulli, 2006). La mappa è stata creata assemblando e armonizzando tutta la letteratura geologica della regione. Tuttavia, considerando la scala della mappa rispetto alla scala delle analisi, si è deciso di migliorare le informazioni geologiche con un'indagine dettagliata sul campo usando una carta in scala 1:5.000.



Figura 4.3: carta geologica 1:150.000 del Friuli con indicazione dell'ubicazione dell'area di studio e relativo dettaglio ingrandito.

4.1.4 Studi precedenti – dati storici

I dati e le informazioni esistenti sulle attività di frana nell'area di studio sono limitati. Una panoramica generale sulle frane in Friuli-Venezia Giulia è offerta da Manca et al. (2006), come commentario della banca dati regionale nel catalogo nazionale delle frane (IFFI, *Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia*). La maggior parte della letteratura scientifica relativa alle frane in Friuli si concentra sugli effetti del terremoto del 1976. Un articolo di Govi e Sorzana (1977) documenta con osservazioni dirette di dettaglio gli effetti del terremoto sulle frane. Il documento comprende anche una mappa in scala 1:150.000 delle frane indotte dal terremoto (Govi, 1977). Tuttavia, è importante sottolineare che l'area di Timau non è stata sostanzialmente interessata dal terremoto.

Alla fine degli Anni Ottanta un gruppo di geologi coordinati dal dott. L. Broili ha intrapreso uno studio delle pericolosità geologiche nel territorio di Timau. Nella relazione conclusiva si richiedono interventi prioritari di difesa passiva del paese (vallo paramassi) per contrastare i fenomeni valanghivi e di scendimento massi. Negli anni successivi diversi studi per la pianificazione territoriale (Fig. 4.4) hanno analizzato la propagazione di crolli lapidei favorendo lo sviluppo di carte di pericolosità. Tali lavori hanno condotto alla realizzazione dei sistemi vallo-rilevato attuali per la protezione del paese.





4.1.5 Foto aeree

Uno degli strumenti più importanti per l'identificazione e la mappatura delle frane è la fotointerpretazione. Dall'interpretazione delle stereocoppie di fotogrammi, l'interpretatore è in grado di riconoscere frane antiche, frane attive, aree che sono soggette a frane e qualsiasi altra caratteristica che può essere rilevante per l'attività di frana. L'Istituto Geografico Militare italiano (IGM) scatta regolarmente foto su tutto il territorio nazionale, con voli supplementari a seguito di eventi significativi (alluvioni, terremoti, incidenti industriali, tempeste).

Anno	Foglio	Strisciata	Fotogrammi
1954	14	10E	5025-5026
1954	14	11E	4710-4711
1957	13	XIX	3130
1957	13	XXIX	3536-3537
1986	14	IX	379-381
1986	14	IX	231-235
1993	14	15	9031-9033
2000	14	15	6982-6985

Tabella 4.1: elenco delle foto aeree dell'IGM disponibili per questo lavoro.



Figura 4.5: una delle foto aeree utilizzate per la fotointerpretazione.

4.1.6 Raccolta dati LIDAR

LIDAR è l'acronimo di *Light Detection and Ranging* e rappresenta una tecnica di telerilevamento che permette di determinare la distanza di un oggetto o di una superficie utilizzando un impulso laser. Come per il radar, che al posto della luce utilizza onde radio, la distanza dell'oggetto è determinata misurando il tempo trascorso fra l'emissione dell'impulso e la ricezione del segnale retrodiffuso. La sorgente di un sistema LIDAR è un laser, ovvero un fascio coerente di luce ad una ben precisa lunghezza d'onda, che viene inviato verso il sistema da osservare.



Figura 4.6: schema di esecuzione della tecnica LIDAR.

Un LIDAR è composto dai seguenti sistemi:

Laser: i laser da 600-1000 nm sono i più comuni per applicazioni non scientifiche. Sono
economici, ma poiché la loro luce può essere messa a fuoco e assorbita dall'occhio
umano, la loro massima potenza è limitata dalla necessità di renderli sicuri per chi li usa.
La sicurezza di impiego è spesso un requisito fondamentale per molte applicazioni; una
alternativa comune sono i laser su 1550 nm, che sono sicuri per potenze molto più alte
poiché la loro frequenza non viene messa a fuoco dagli occhi, ma la tecnologia dei

rivelatori per queste frequenze è meno avanzata e permette distanze e precisione minori. I laser da 1550 nm sono molto usati anche dai militari, perché tale frequenza non è visibile ai visori infrarossi per visione notturna, diversamente dai laser infrarossi da 1000 nm. I lidar aerotrasportati per mappatura topografica usano di solito laser YAG da 1064 nm pompati con diodi, mentre i sistemi batimetrici, benché usino lo stesso tipo di laser, ne raddoppiano la frequenza lavorando a 532 nm, perché questa frequenza penetra l'acqua con molta meno attenuazione. I parametri del laser comprendono il numero di impulsi al secondo (che determina la velocità di acquisizione dei dati). La durata dei singoli impulsi è in genere determinata invece dalla dimensione della cavità laser dal numero di passaggi attraverso il mezzo amplificatore (YAG, YLF, ecc.), e dalla velocità del commutatore Q. Tanto più brevi sono gli impulsi, tanto migliore è la risoluzione del bersaglio, posto che i rivelatori e l'elettronica del lidar abbiano banda passante sufficiente.

- 2. Scanner e ottica: La velocità con cui l'immagine viene creata è determinata anche dalla velocità della scansione meccanica del fascio laser. Ci sono molti modi di costruire uno scanner ottico: specchi piani oscillanti, specchi poligonali, specchi rotanti, scanner poligonali o una combinazione di questi. La scelta delle ottiche influenza la risoluzione angolare e la distanza minima e massima a cui il lidar è efficace. Il segnale di ritorno viene raccolto con uno specchio forato o con un divisore di fascio.
- 3. Ricevitore ed elettronica: I ricevitori possono essere costruiti con molti materiali. Due molto comuni sono silicio e arseniuro di gallio e indio impiegati in diodi PIN o fotodiodi a valanga. La sensibilità del ricevitore è un altro parametro che deve essere considerato nella progettazione di un sistema lidar.
- 4. **Sistemi di localizzazione e navigazione**: I sensori lidar montati su piattaforme mobili come aerei o satelliti hanno bisogno di conoscere la loro posizione assoluta e l'orientamento del loro sensore. Il modo più comune di ottenere queste informazioni sono un ricevitore GPS e una piattaforma inerziale.

In geologia e sismologia la combinazione di GPS e lidar aerotrasportati è diventata uno degli strumenti principali per il rilevamento di faglie, subsidenze e altri movimenti geologici: la combinazione di queste due tecnologie può fornire mappe altimetriche del terreno estremamente accurate, che possono rivelare l'elevazione del suolo anche attraverso la copertura degli alberi.

Per l'area oggetto di studio è stato condotto un sondaggio LIDAR secondo due diversi sensi di indagine: uno tradizionale con direzione nadirale (verticale) e uno con inclinazione di 45°. I dati

Lidar sono stati filtrati dalla Helica srl. e forniti come nuvole di punti per il progetto. Le nuvole di punti sono state utilizzate per ottenere una struttura TIN (*Triangulate Irregular Network*) che rappresenta un vettore DTM (*Digital Terrain Model*), il quale è stato successivamente convertito in formato raster con una dimensione dei pixel di 2 m. Questo formato è compatibile con la densità delle nuvole di punti, che è > 1.000.000 pts/km² in zone rocciose e fino a 400.000 pts/km² in aree vegetate. Il DTM finale è composto da 848978 celle, pari ad un'area di circa 3.4 km².



Figura 4.7: LIDAR nadirale di Timau utilizzato per questo lavoro.

4.2 Raccolta dati di terreno: nuovi dataset

È stato condotto un programma per la raccolta di dati di terreno al fine di integrare i dataset esistenti e raccogliere nuovi dati necessari per le successive attività del lavoro. Le indagini di campo sono state condotte ad una scala di almeno 1:5000 al fine di ottenere dataset omogenei e molto dettagliati da usare per valutare la suscettibilità e il rischio di innesco e propagazione dei crolli a scala diversa, da quella regionale a quella locale (singolo versante).

L'attività di campo è stata progettata per ottenere informazioni necessarie per valutare:

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

In questa prospettiva, la raccolta dei dati di terreno si è concentrata sui seguenti argomenti che verranno descritti successivamente:

- mappatura della geologia;
- mappatura dell'uso del suolo;
- mappatura di evidenze/eventi di crollo sul campo;
- caratterizzazione degli ammassi rocciosi;
- raccolta di nuove informazioni riguardanti le opere di difesa.

Tutti i dati raccolti sul campo sono stati digitalizzati e trasformati in file in formato raster e vettoriale in un ambiente di lavoro ArcGIS[™], in modo da integrare dati originali e già esistenti, produrre mappe, effettuare analisi, preparare i dati per la simulazione e analizzarli successivamente.

Le seguenti mappe costituiscono i dati input di base per qualsiasi analisi di crollo:

- carta geologica;
- carta della fratturazione rocciosa (per le aree in cui il basamento è affiorantesubaffiorante);
- carta della granulometria-tessitura (per i depositi superficiali);
- carta dell'uso del suolo;
- carta della litologia superficiale.

4.2.1 Carta geologica

L'Università Milano-Bicocca ha incaricato il dott. Geol. F. Podda di eseguire il rilevamento geologico e di redigere la carta geologica derivata. La nuova mappa è stata digitalizzata al fine di:

- rimpicciolire e adattare le informazioni geologiche esistenti alla scala del progetto, tenendo anche conto della disponibilità della topografia LIDAR ad alta risoluzione;
- raccogliere informazioni sulle caratteristiche geologiche particolarmente rilevanti nelle analisi di caduta massi, ma non esplicitamente riportate nelle mappe esistenti (ad esempio, zone di faglia e relative zone di danneggiamento, domini strutturali omogenei, cambiamenti litologici, correlazioni generali tra le unità litostratigrafiche e la qualità degli ammassi rocciosi);
- eseguire un esame particolareggiato dei depositi di frana e di versante al fine di caratterizzarne l'estensione, la geometria, la litologia e la granulometria. Queste informazioni sono necessarie per definire la litologia superficiale a fini della modellazione di crollo, permettono di stimare il grado di attività geomorfologica dei pendii instabili e contribuiscono al database delle informazioni per la calibrazione del modello;
- redigere una mappa dei lineamenti strutturali da integrare con la fotointerpretazione e l'analisi strutturale della topografia LIDAR allo scopo di fornire dati per la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi alla scala di versante.



Figura 4.8: carta geologica grezza di una parte dell'area di studio redatta dal dott. Geol. F. Podda.

4.2.2 Carta della fratturazione degli ammassi rocciosi

La mappatura geologica delle unità rocciose è stata effettuata seguendo criteri lito-stratigrafici, secondo una nomenclatura coerente con le più recenti norme adottate per il nuovo progetto di cartografia geologica italiana (CARG). Gli affioramenti rocciosi sono stati mappati e usati per produrre una mappa geologica interpretativa delle aree subaffioranti. L'andamento dei principali lineamenti geologici (faglie e stratificazione) è stato ampiamente misurato, mentre osservazioni strutturali di dettaglio sono state effettuate presso specifiche stazioni di indagine. Per le unità del substrato roccioso, ulteriori osservazioni sono state effettuate al fine di ottenere una valutazione di basso dettaglio ma spazialmente distribuita di un descrittore roccioso per la successiva caratterizzazione geomeccanica dettagliata degli ammassi rocciosi. Il descrittore utilizzato riguarda le condizioni della fratturazione rocciosa in termini di stima del *Volumetric Joint Count* (Jv, Palmström, 1982). Tale stima non è stata condotta con strumenti di misura ma semplicemente in maniera visiva.



Figura 4.9: indicazione della fratturazione degli ammassi rocciosi (mappa prodotta da Podda).

4.2.3 Carta della tessitura dei depositi superficiali

I depositi superficiali sono stati mappati adottando criteri sia geomorfologici che sedimentologici, tra cui la forma e la geometria dei depositi, la distribuzione della granulometria stimata, la selezione e la tessitura (grado di arrotondamento dei clasti), il grado di cementazione, l'alterazione e la freschezza morfologica (nudo, vegetazione sparsa, boscato). Sono stati riconosciuti e mappati differenti depositi quaternari, tra cui depositi glaciali, di piana alluvionale, di frana/crollo, di versante. Questi ultimi due tipi di depositi sono stati ulteriormente classificati secondo la granulometria, la cementazione e il grado di attività geomorfologica.



Figura 4.10: indicazione della tessitura dei depositi superficiali (mappa prodotta da Podda).

4.2.4 Carta dell'uso del suolo

Sebbene siano disponibili ampi dataset digitali dell'uso del suolo, l'impostazione di modelli numerici della propagazione di crolli richiede una conoscenza molto dettagliata e aggiornata della copertura, tra cui uso del suolo e vegetazione. Perciò è stata creata una nuova carta dell'uso del suolo a scala 1:5000 partendo da zero. La cartografia dell'uso del suolo è stata inizialmente effettuata sulle ortofoto fornite dalla Regione Friuli-Venezia Giulia aggiornate al 2007 e successivamente verificata, raffinata e nuovamente aggiornata col rilevamento sul campo. La mappatura sul campo ha permesso di tracciare le piccole unità della copertura non facilmente riconoscibili dalle ortofoto e di includere anche informazioni generali riguardanti la vegetazione

(copertura arbustiva, bosco rado, tipo di bosco e densità boschiva). Sono state mappate e incluse nel database anche le aree urbane e le infrastrutture (strade, aree urbane continue, singoli edifici). Le categorie in cui è stato classificato l'uso del suolo sono dunque:

- nudo (vegetazione assente)
- vegetazione arbustiva
- bosco
- bosco rado
- pascolo
- strada
- urbano (ulteriormente distinto in case, prati e vie).



Figura 4.11: mappa dell'uso del suolo creata utilizzando le ortofoto del 2007.

4.2.5 Carta della litologia superficiale

Effettuando, infine, un'analisi sul LIDAR nadirale è stato possibile redigere una mappa della litologia superficiale.

Essa è classificata in 5 categorie:

- deposito glaciale
- deposito alluvionale
- detrito di versante
- eluvium (roccia subaffiorante)

- roccia affiorante.

Per la delimitazione della classe "deposito glaciale" ci si è basati sulla carta geologica redatta da Podda e sulle evidenze di terreno.



Figura 4.12: mappa della litologia superficiale ottenuta analizzando il LIDAR.

Le mappe dell'uso del suolo e della litologia superficiale sono importanti perché permettono di ottenere una "unique condition map": sovrapponendo e ricodificando in GIS le due carte si ottiene una carta composta da nuove "unità territoriali" (con caratteristiche omogenee rispetto agli attributi delle mappe di ingresso) alle quali è possibile attribuire un livello di suscettibilità da frana.
5 Attività di terreno

Sebbene anche il lavoro di Podda costituisca un'attività sul campo, si è preferito inserire la descrizione del suo lavoro nel capitolo precedente (paragrafi da 4.2.1 a 4.2.3) e di dedicare questo capitolo all'attività di campo svolta dal sottoscritto con la collaborazione di Francesca Colucci, Andrea Valagussa e del dott. Geol. Samuel Cucchiaro. Tale attività è durata 10 giorni (divisi tra il Marzo e il Maggio del 2010) e ha previsto:

- un rilevamento geomorfologico
- un rilevamento geologico-tecnico
- la raccolta di un database dei blocchi
- la raccolta di un nuovo database delle opere di difesa esistenti.

5.1 Rilevamento geomorfologico

Questa attività è stata svolta principalmente per mappare le evidenze di crollo riconoscibili sull'intera area di studio al fine di:

- tracciare e mappare le aree sorgenti di crolli (settori di pareti rocciose e affioramenti soggetti in passato all'innesco di crolli);
- mappare gli accumuli di crolli e i depositi di versante attivi;
- mappare singoli blocchi relativi all'innesco e alla propagazione di crolli;
- mappare singoli percorsi e vie preferenziali di crollo (settori caratterizzati da un transito ricorrente di blocchi crollati).

Tutti questi dati sono necessari per definire le sorgenti di caduta massi per la modellazione della propagazione e per fornire una stima della loro suscettibilità alla rottura. Inoltre, essi permettono di valutare la distribuzione della forma e della dimensione del blocco di progetto, di valutare le interazioni tra fenomeni di crollo e strutture di difesa e di fornire dataset di calibrazione per le successive attività di modellazione.

Inizialmente, le aree sorgenti sono state mappate grazie all'interpretazione delle foto aeree e delle ortofoto e successivamente tramite analisi strutturale e morfologica dei dati LIDAR. In particolare, sono state mappate numerose sorgenti di crollo lineari che seguono il bordo superiore delle pareti affioranti dove si verificano condizioni geomeccaniche favorevoli allo scorrimento e al ribaltamento.

Le evidenze della propagazione di crolli passati forniscono dati di estrema importanza per la calibrazione della modellazione numerica 2D e 3D e comprendono:

- accumuli di crollo e talus attivi (oggetti areali);
- serie di impatti e rotolamento rapido che rivelano percorsi di caduta (oggetti lineari);
- singoli blocchi crollati (oggetti puntuali).



Figura 5.1: evidenze di crollo. In alto a sinistra: percorso di caduta del blocco indicato dalla freccia rossa. In alto a destra: singolo blocco crollato e arrestatosi contro un albero. In basso a sinistra: sorgente potenziale di distacco di blocchi decimetrici dovuta al movimento del fusto degli alberi in caso di vento. In basso a destra: sorgente di distacco puntuale.



Figura 5.2: blocco "storico" tra le case del paese.



Figura 5.3: esempio di carta topografica grezza utilizzata per il rilevamento geomorfologico con descrizione delle principali peculiarità mappate

5.1.1 Catalogo dei blocchi

I singoli blocchi sono stati mappati sulla carta topografica grazie anche all'uso di un GPS. Per ogni blocco sono state annotate le coordinate (in UTM-WGS84), la forma e le dimensioni (lunghezza, larghezza, altezza), è stato stimato il volume e a ognuno di essi è stato assegnato un numero identificativo (ID). Sono state appuntate anche le relazioni tra i blocchi, la vegetazione e le strutture di difesa. Anche tutte queste evidenze di crollo mappate sul campo sono state digitalizzate in formato vettoriale in ArcGIS per ottenere dataset digitali per ulteriori analisi.



Figura 5.4: foto di alcuni blocchi con indicazione del volume stimato in m^3 (partendo da in alto a sinistra in senso orario): blocco n. 639 (0.9); blocco n. 436 (0.4); blocco n. 939 (2.5); blocco n. 25 (55).

In totale il campione di blocchi rilevati comprende 1300 blocchi di cui vengono mostrate in sintesi le statistiche descrittive e un istogramma di frequenza dei volumi.

Statistiche descritt	tive
Media	4,260905215
Errore standard	0,394581119
Mediana	0,56
Moda	0,12
Deviazione standard	14,22682458
Varianza campionaria	202,4025377
Curtosi	75,71252542
Asimmetria	7,540698033
Intervallo	209,9985
Minimo	0,0015
Massimo	210
Somma	5539,17678
Conteggio	1300
Livello di confidenza (95.0%)	0,77408676

Tabella 5.1: statistica descrittiva del database di blocchi rilevati.



Figura 5.5: istogramma di frequenza in scala bilogaritmica del volume dei blocchi mappati.



Figura 5.6: foto di alcuni blocchi con indicazione del volume stimato in m^3 (partendo da in alto a sinistra in senso orario): blocco n. 756 (0.4); blocco n. 744 (0.07); blocco n. 235 (0.5); blocco n. 1254 (14).

In zone in cui il numero di blocchi era troppo elevato per poter misurare singolarmente le dimensioni dei blocchi, si è scelto di stimare un volume roccioso medio (VRM) valido per una certa area estesa.



Figura 5.7: accumulo di blocchi di dimensioni consistenti (VRM di circa 0.2 m³) situato a quota 900 m sopra Timau.



Figura 5.8: accumulo di blocchi di "piccole" dimensioni (VRM di circa 90 dm³) situato a quota 980 m sopra il sistema vallo-rilevato posto a quota 920 m (opera di difesa n. 9).

Relazione intensità-frequenza

La relazione intensità-frequenza degli eventi franosi può essere studiata dall'analisi degli eventi storici e delle frane riportate sui cataloghi. In letteratura tali relazioni si trovano anche per frane di crollo (Hungr et al., 1999; Dussauge et al., 2003). Queste relazioni possono essere espresse in termini di frequenza o densità di probabilità, sia in forma cumulata che non cumulata. Per le frane di crollo le curve intensità-frequenza sono espresse in termini di volumi. Nelle curve si osserva quasi sempre un range di *scale* in cui la relazione è di tipo potenza.

Sfruttando il database dei blocchi sono state realizzate relazioni non cumulate di intensitàfrequenza che riportano la frequenza di densità f = dN/dV in funzione del volume dei blocchi V (dove N è il numero di blocchi aventi un volume compreso tra V e V+dV) usando un binning logaritmico.

La relazione è stata interpolata con una funzione di potenza del tipo:



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

Figura 5.9: relazione intensità-frequenza dei blocchi rilevati sul campo.

La relazione può essere espressa anche nella forma:

$$\log N(V) = A - b * \log (V)$$

dove A dipende dall'area del catalogo storico e b è un parametro che caratterizza la distribuzione volumetrica e vale 1.59.

Il tempo di ritorno può essere così stimato:

$$T(V) = \frac{1}{N(V)}$$

Attualmente, relativamente alla zona di Timau non si conosce la frequenza annua di crolli maggiori di un certo volume (quindi non si conosce *A*). Uno studio appropriato sul numero di crolli annui consentirebbe una completa valutazione del rischio di crollo nell'area di Timau.

5.1.2 Catalogo delle opere di difesa

Su richiesta della Regione Friuli-Venezia Giulia, è stato compilato un nuovo database delle strutture di protezione esistenti che si concentra specificatamente sul rischio legato alla caduta massi ed è stato basato su dettagliate osservazioni di campo. Questo database permetterà di aggiornare e integrare il già esistente database di strutture di protezione del suolo precedentemente compilato dalla Regione Friuli-Venezia Giulia. Questo ha fornito la possibilità di valutare l'interazione tra le aree sorgenti di crolli, le aree di propagazione, le contromisure e le aree protette (elementi a rischio) e quindi l'efficienza complessiva delle strutture di protezione mappate.

La maggior parte delle strutture di protezione riconosciute e mappate sul campo comprende opere di difesa passiva di tipologia, dimensioni ed energia di assorbimento differenti. Al fine di ottenere una descrizione consistente e un database omogeneo delle strutture rilevate è stato progettato un apposito modulo di indagine che desse un resoconto veloce ed esaustivo delle seguenti informazioni:

- dati generali (numero identificativo dell'opera, cartografia di riferimento, numero progressivo delle foto);
- ubicazione dell'opera rispetto alle sorgenti di crollo più influenti (parete rocciosa, canale/impluvio, talus, base del talus, fondovalle);
- tipologia di opera passiva (barriera paramassi rigida, barriera elastica a basso assorbimento, barriera deformabile a medio o alto assorbimento, muro in gabbioni, muro in cls, 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);
- 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);
- tipo di elementi a rischio (edifici residenziali/industriali/di interesse pubblico, strade, ferrovie, infrastrutture tecnologiche, altro);
- stato di efficienza dell'opera (pessimo, discreto, ottimo);
- schizzi e annotazioni.

Provincia UDINE Comune TIMAL		ID ope	[a	1 Inventario	FVG (SI / NO)	Si	Rilevatore	DATA	20/03/2010
		_	_	INFORM	VZIONI GENER	ALL			
Scala di rilevamento 2500			Cartograf	ia di riferimento	CTR		Progressivo fo	oto 1975/85 A	W, 1366-1367 AC
Ubicazione dell'opera (1)	m	TE MEDIO TA	IUS						
Tipologia dell'opera (2) 4.5.7.1	N N	TE RETE NON	V ELASTICA CON PANNEL	LLI ASM + MAGLI	A ESAGONALI	E 7 ORDINI DI GABBIONI	ATTR	IBUTI	
Quota minima (m. s.l.m.)									
Quota massima (m. s.l.m.)		:					(1) 1: Parete rocciosa (indicare altez	zza indicative	(dalla base)
Kestituzione grafica dell'opera	Intuale	Linea	L	Areale	×		2: Canale / Impluvio (Indicare larg 3: Talus findicare nezzatura/nender	ghezza/sezio anza/vedetazii	ne/pendenza) nne)
_	CARAI	TERISTICHE L	DELLA ZONA SORGENTE				4: Base del talus (indicare penden	nza locale e d	istanza da base)
							5: Fondovalle		
Tipologia dell'opera (3)	ž	T							
Estensione massima (m, m2)	ž	E.					(2) 1: Barriera paramassi rigida (n	legname o pi	utrelle metalliche)
Evidenze di attività (SI / NO) NO	SCRIZIC	NE					2: Barriera elastica a basso assor	rbimento (p	ali metallici e pannelli rete)
							3: Barriera deformabile - medio	assorbiment	io (con controventi e freni)
							4: Barriera deformabile - alto ass	ssorbimento	(+ pannelli o ASM)
		ARATTERIST	ICHE DELL'OPERA				6: Muro in c.a. (NOTE: indicate st	messore indic	ativo e particolari)
							7: Vallo paramassi (in scavo)		4
Materiali costruttivi (4) 4,2	ž	TE					8: Rilevato paramassi (in rilevato)	o/riporto)	
Stato di efficienza (5)	m	E E		Efficacia (5)	m				
Descrizione dei danni							9: Rete metallica in aderenza (m	naglia esagor	ale a doppia torsione)
							10: Rete metallica armata in ade	erenza (+an	matura in fune metallica)
DIMENSIONI Lunghezza (m)		TIPO EI	LEMENTI A RISCHIO (6)		QUANTITA'	ABITATO DI TIMAU	11: Pannelli di fune metallica in	aderenza (maglia quadrata con rinforzi)
Larghezza media base (m)							12: Chiodature-bullonature-legatu	ure (specific:	are tipo)
Larghezza media sommita (m)							(3) 1. Darota rocciona continua mol	to fratturate	
	ģ						2: Parete rocciosa continua mon	diamente fra	fturata
Altezza/prof. massima (m)	7						3: Affioramenti discontinui		
Superficie (m2)							4: Rimobilizzazione da copertur	re detritiche	
	-						5: Rimobilizzazione da nicchia o	o corpo di fra	na
							6: Altro (indicare)		
		ANNOTAZ	IONI E DISEGNI				-	Į	
OFERA DI INGEGNERIA INALORALISTICA. RETE A IMAGLI POCHE TALEE HANNO ATTECCHITO					מאב בו הכורה	-	2: Metallo	(<u>)</u>	1: ressuito 2: Discreto
LARGHEZZA VALLO> 15 m							3: Terra		3: Ottimo
IL MURO DI CONTENIMENTO DEL RILEVATO è IN TERRA	ARMATA						4: Terra armata/rinforzata		
				Anna	and the second		5: CA		
			a tal a la						
	9						(6) 1: Edifici residenziali (Indicare n	umero e cons	sistenza)
						の時代は、ほど	2: Edifici industriali (indicare nurr	mero e consis	tenza)
		~			A CONTRACTOR		3: Edifici di interesse pubblico (e	es. scuole, o:	spedali)
			a state for the second		Carlo d		4: Strade (indicare lunghezza tratt	to e calibro)	
			1 TO A DE CO		A LAND		5: Ferrovie (indicare lunghezza tra	atto e numero	o binari)
				ながいで、	Sala and	「「「「「「「「」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」」	7: Altro findicare)	-	

Figura 5.10: modulo per la compilazione delle caratteristiche delle opere di difesa, esempio dell'opera n. 1: vallo, rilevato, muro in gabbioni e rete deformabile.

In totale sono state censite 19 opere di protezione passiva tra cui 9 areali (sistemi valli-rilevati e reti metalliche in aderenza) e 10 lineari (reti, gallerie paramassi e muri in cls).



Figura 5.11: tipologie di opere di difesa rilevate. In alto a sinistra: 2 sistemi di vallo-rilevato con muro in gabbioni e reti deformabili situati proprio sopra l'abitato di Timau. In alto a destra: barriera deformabile ad alto assorbimento situata presso il limite occidentale dell'area di studio; la rete ha trattenuto un blocco di 0.25 m³ il quale ha però parzialmente sfilacciato la rete a maglia esagonale. In basso a sinistra: particolare del sistema di freni della rete precedente. In basso a destra: rete metallica in aderenza lungo la S.S. 52 bis Carnica situata 150 m a ovest del Rio Grande; il cerchio rosso indica un tratto di rete smagliato da cui piccoli blocchi possono passare invadendo pericolosamente la strada.

5.2 Rilevamento geologico-tecnico

Una valutazione preliminare dei parametri geomeccanici di qualità degli ammassi rocciosi affioranti è stata condotta in 7 stazioni di rilievo. L'ubicazione dei rilievi (Fig. 5.12) è stata scelta al fine di ottenere un campione rappresentativo delle diverse condizioni litologiche e strutturali. Inoltre, durante il rilevamento sul campo è stata effettuata anche una valutazione del *Geological Strength Index* (Hoek et al., 1995). 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 in una data "finestra" (con tutte le difficoltà logistiche che ne possono derivare).



Figura 5.12: delimitazione dell'area di studio con i siti dei rilievi geomeccanici eseguiti.

Il rilevamento geologico-tecnico rappresenta quell'insieme di attività condotte sul terreno con mezzi semplici e finalizzate alla descrizione e classificazione tecnica dei materiali geologici (rocce e terreni) e degli eventuali "geomateriali" (minerali o rocce trattati o meno) utilizzati per la costruzione di opere o strutture, e alla individuazione delle condizioni geologiche s.l. che possono influenzare la realizzazione di un progetto.

Un affioramento roccioso risulta composto da materiale roccia, delimitato e suddiviso da discontinuità. Per materiale roccia si intende un elemento costituito da particelle discrete, granuli o cristalli, legate tra loro da forze coesive a carattere permanente, privo di discontinuità. Col termine discontinuità (*joints*) si indica qualsiasi superficie di debolezza strutturale. Le discontinuità possono essere distinte in *primarie* (fessure di raffreddamento, giunti di strato,

scistosità) e *acquisite* (deformazioni tettoniche, dissoluzione carsica). Le discontinuità sono generalmente raggruppabili in sistemi o famiglie (*set*). Un ammasso roccioso è un elemento fisico naturale costituito dall'insieme del materiale roccia e delle discontinuità che lo suddividono. Mentre il materiale roccia è un mezzo continuo, l'ammasso roccioso è un mezzo non continuo. Il comportamento meccanico dipende dalle proprietà della roccia intatta (resistenza e deformabilità), dalle caratteristiche geometriche (orientazione, frequenza) e meccaniche (resistenza) delle discontinuità, dallo stato di sforzo in sito e dalla scala del problema. In generale un ammasso roccioso si presenta quindi discontinuità (e quindi più piccoli i blocchi), la persistenza e la continuità delle discontinuità e l'alterazione, maggiori sono la deformabilità e la duttilità (e quindi minori la resistenza e la durabilità) della roccia.

La caratterizzazione degli ammassi rocciosi è un'operazione complessa, a causa della grande varietà di condizioni e di proprietà che è possibile incontrare sul terreno; tale varietà si amplia nel caso di aree che abbiano subito intensi fenomeni tettonici, come d'altra parte risulta tutto l'arco alpino, ed anche nelle aree particolarmente soggette a fenomeni geomorfologici relativamente recenti, come possono essere movimenti gravitativi su vasta scala. Nella descrizione degli ammassi rocciosi è dunque importante prendere in considerazione la maggior quantità possibile di informazioni, raccolte però in maniera logica e sistematica. Per fare ciò, durante lo svolgimento di questa attività sono state utilizzate schede di lavoro pre-impostate, focalizzate soprattutto sull'analisi delle discontinuità degli ammassi.

Come già accennato, le discontinuità condizionano in modo decisivo le proprietà fisiche, meccaniche e idrauliche degli ammassi rocciosi. Per questo è importante fornirne una descrizione dettagliata che ne consideri i diversi aspetti, misurando in sito:

- Numero di famiglie
- Orientazione
- Spaziatura
- Persistenza, lineare ed areale
- Ondulazione
- Alterazione
- Riempimento
- Apertura
- Presenza di acqua.

Inoltre, per ogni rilievo è importante descrivere le caratteristiche di rugosità (JRC, *joint roughness coefficient*) e resistenza superficiale (JCS, *joint wall compressive stress*) delle discontinuità rispettivamente tramite Pettine di Barton e Martello di Schmidt. Un ultimo, ma non meno importante, parametro da prendere in considerazione per un rilievo geomeccanico è la valutazione del volume roccioso unitario (VRU). Esso definisce la dimensione dei blocchi che dipende dalla spaziatura delle discontinuità e dalla forma dei blocchi (a sua volta dipendente dal numero di famiglie di discontinuità). Questa valutazione può essere condotta "a vista", cercando di stimare l'ordine di grandezza dei volumi unitari significativi (ossia quelli massimi, medi e minimi).

5.2.1 Classificazioni geomeccaniche degli ammassi rocciosi

Le classificazioni tecniche degli ammassi rocciosi si sono sviluppate a partire dal 1879, anno in cui Ritter tentò di formalizzare un sistema empirico di classificazione finalizzato alla progettazione dei tunnel, in particolare per determinare in maniera rapida i più idonei interventi di sostegno. Le classificazioni più usate sono schemi multi-parametrici ottenuti a partire da un numero significativo di case studies in cui caratteristiche degli ammassi rocciosi, caratteristiche dei progetti, osservazioni tecniche e misure dirette sono stati correlati al fine di sviluppare relazioni empiriche tra caratteristiche degli ammassi rocciosi acquisibili tramite rilievi geomeccanici di dettaglio e qualità generale dell'ammasso roccioso. Questi schemi di classificazione, creati per un grande numero di problemi ingegneristici, sono validi se applicati a condizioni simili a quelle per le quali sono stati sviluppati; se invece si utilizzano in diversi contesti geomeccanici ed ingegneristici occorre prestare maggiore cautela nel loro impiego. Come detto, sul campo è stato usato l'indice GSI per dare una prima stima della qualità degli ammassi rocciosi. Solo in un secondo tempo sono state impiegate altre classificazioni per caratterizzarli geomeccanicamente, ovvero: l'indice RQD (Rock Quality Designation, proposto da Deere et al. nel 1967), il metodo RMR (Rock Mass Rating, proposto da Bieniawski nel 1976 e aggiornato nel 1989), il Q-System (Rock Tunneling Quality Index, proposto da Barton et al. nel 1974), il metodo SMR (*Slope Mass Rating System*, proposto da Romana nel 1985).

Rock Quality Designation Index (Deere, 1967)

Il Rock Quality Designation Index (RQD) fu sviluppato per fornire una stima quantitativa della qualità degli ammassi rocciosi tramite analisi di carote di sondaggio. L'indice rappresenta la

percentuale di recupero modificata di un sondaggio che è data dal rapporto tra la somma degli spezzoni di carota aventi lunghezza superiore a 10 cm e la lunghezza totale della carota. La misura avviene lungo la linea centrale della carota e le fratture indotte dal carotaggio vengono trascurate. Quando non si hanno a disposizione dei sondaggi, il valore di RQD può essere stimato tramite due relazioni empiriche:

RQD = 115 - 3.3 Jv (Palmstrom, 1982) RQD = $100 (0.1 \lambda + 1) e^{-0.1 \lambda}$ (Priest e Hudson, 1976)

dove "Jv" è il numero di discontinuità per unità di volume e " λ " è il numero di discontinuità per metro (o frequenza di discontinuità). Uno dei metodi per caratterizzare il VRU è la definizione del Jv (*volumetric joint count*), introdotto da Palmström nel 1974. Essendo una misurazione tridimensionale della densità delle fratture, il Jv si applica meglio quando sono presenti set di discontinuità ben definiti. Esso è definito come la somma del numero di discontinuità per metro cubo di ammasso roccioso secondo la formula:

$$Jv = \frac{1}{S1} + \frac{1}{S2} + \frac{1}{S3} + \dots \frac{1}{Sn}$$

dove S1, S2 e S3 sono le spaziature medie dei set di discontinuità. L'inverso del Jv fornisce una indicazione del VRU.

Essendo l'RQD un parametro dipendente fortemente dalla direzione di perforazione, l'uso del Jv permette di eliminare gli effetti di questa dipendenza. L'RQD viene frequentemente applicato nei sondaggi ed è spesso l'unico metodo usato per misurare il grado di fatturazione lungo una carota di sondaggio. Questo indice ha diversi limiti. Per esempio, l'RQD vale 0 dove l'intercetta dei giunti è minore di 10 cm, mentre vale 100 dove tale distanza vale 11 cm o più. Un altro svantaggio è che l'RQD non fornisce informazioni riguardo gli spezzoni di carota più piccoli di 10 cm (se per esempio si tratta di materiale terroso o pezzi di roccia fresca). L'RQD è tuttavia molto importante soprattutto perché rappresenta un componente di altre classificazioni degli ammassi rocciosi, come l'RMR e il Q-System.

Rock Mass Rating (Bieniawski, 1976, 1989)

Bieniawski nel 1976 pubblicò i dettagli di una classificazione degli ammassi rocciosi chiamata Classificazione Geomeccanica o Rock Mass Rating (RMR) system. Tale sistema, sviluppato soprattutto per lo scavo dei tunnel, è stato successivamente rivisto sulla base del grande numero di problemi ingegneristici presi in esame nel corso degli anni. Per applicare questo sistema, l'ammasso viene suddiviso in regioni strutturali, ed ognuna di esse viene classificata separatamente. I limiti di ciascuna regione coincidono di solito con elementi strutturali principali, come faglie o cambiamenti litologici. In alcuni casi, cambiamenti significativi nelle spaziature o in altre caratteristiche all'interno dello stesso litotipo, possono costringere a suddividere l'ammasso in un gran numero di piccole regioni strutturali.

L'RMR prende in considerazione la somma di 6 parametri per classificare un ammasso roccioso, in genere valutati per le condizioni più sfavorevoli con cui si presentano.

Essi sono:

- A1: resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta 🥆
- A2: rock quality designation
- A3: spaziatura delle discontinuità
- E4: condizioni delle discontinuità
- A5: presenza di acqua
- B: correzione per l'orientazione delle discontinuità.

La somma dei primi 5 parametri costituisce il cosiddetto RMR _{basic}. Se si somma anche il parametro B si ottiene RMR _{total}.

Per questo lavoro si è utilizzato lo schema della classificazione del 1989 e si è valutato solo RMR _{basic}. Al parametro A1 è stato sempre assegnato un valore pari a 7 (condizione media) non avendo potuto calcolare esattamente il valore della resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta.

La valutazione si effettua con l'ausilio di una tabella strutturata in modo tale che ai 5 parametri siano assegnati diversi punteggi prefissati a seconda del *range* di variazione di ciascun parametro. Una volta ottenuto il punteggio finale, si fa riferimento ad un'altra tabella che suddivide i valori di RMR in 5 intervalli, correlando ciascuna classe ad una descrizione qualitativa dell'ammasso e fornendo indicazioni sui possibili sistemi di sostegno da utilizzare in caso di scavo.

Nell'eseguire una valutazione di RMR occorre:

- fare esplicito riferimento alla versione utilizzata (1976, 1989): il valore finale di RMR varia tra 18 e 100 per la classificazione del 1976 e tra 23 e 100 per quella del 1989

- valutare RMR separatamente per ciascuna zona omogenea (dominio di discontinuità) individuata all'interno dell'area da caratterizzare

- utilizzare valori intermedi dei valori dei parametri, sebbene le tabelle forniscano valori discreti

RMR basic

- considerare la situazione peggiore (a favore di sicurezza) nel caso si ottengano valori di RMR "borderline" (ad esempio, RMR=59 è un valore al limite tra ammassi di qualità "media" e "buona").

Rock Tunneling Quality Index (Barton et al., 1974)

Sulla base della valutazione di un grande numero di casi di scavi in sotterraneo (212 in 50 diverse litologie), Barton (1974) propose il Rock Tunneling Quality Index per la determinazione delle caratteristiche degli ammassi rocciosi e dei possibili sostegni in fase di scavo.

Il valore numerico dell'indice Q varia su una scala logaritmica da 0,001 a 1000 ed è definito dalla seguente relazione:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

dove:

- RQD è il rock quality designation di Deere (1967)
- Jn è un parametro relativo al numero di famiglie di discontinuità
- Jr è un parametro relativo alla rugosità delle discontinuità
- Ja è un parametro relativo all'alterazione delle discontinuità
- Jw è un parametro relativo alla presenza di acqua
- SRF è il fattore di riduzione dello sforzo (stress reduction factor).

Il rapporto RQD/Jn è rappresentativo della struttura dell'ammasso roccioso, offre una indicazione del grado di fratturazione e quindi della granulometria degli elementi costituenti l'ammasso roccioso, mentre il parametro Jn sottolinea i gradi di libertà per il movimento dei blocchi. Questo termine può variare tra 200 e 0,5.

Il rapporto Jr/Ja è rappresentativo della resistenza al taglio tra blocchi ed è comprensivo di rugosità, resistenza delle pareti e riempimenti. E' valutato su fratture pulite e poco alterate in diretto contatto.

Il rapporto Jw/SRF è rappresentativo dello stato di sforzo. Esso indica le forze attive all'interno dell'ammasso roccioso, le pressioni neutre e lo stato di sforzo in sito, la presenza di faglie, il comportamento spingente o rigonfiante degli ammassi. SRF è un fattore che descrive lo stato di sforzo della roccia, mentre J_w è una misura della pressione dell'acqua, che ha un effetto negativo sulla resistenza al taglio delle fratture a causa di una riduzione degli sforzi efficaci. L'acqua può inoltre causare rammollimento e dilavamento in caso di discontinuità con riempimento argilloso.

Uno dei limiti di questo schema consiste nel fatto che i parametri siano moltiplicati tra loro: questo determina una grande sensitività del risultato per piccole variazioni. Inoltre l'orientazione delle discontinuità non è un parametro considerato: questo può essere un problema in rocce con anisotropia pervasiva a bassa resistenza (scisti, filladi, argilliti, etc.). Il parametro Jn è spesso condizionato dalla foliazione o dalla stratificazione sottile che, se molto pervasive, dovrebbero essere considerate come famiglie. Se tali elementi sono solo occasionalmente associati allo sviluppo di discontinuità, è più opportuno considerare queste ultime come "*random joints*". Nei rilievi geomeccanici effettuati si è posto il rapporto Jw/SRF =1 non essendo a conoscenza delle reali condizioni di stato di sforzo attivo.

Slope Mass Rating System (Romana, 1985)

Lo Slope Mass Rating (SMR) System rappresenta un adattamento della classificazione di Bieniawski per applicazioni a problemi di stabilità dei pendii (instabilità di blocchi con cinematismo predefinito).

Romana ha introdotto 4 fattori correttivi rispetto all'RMR_{basic} di Bieniawski:

- F1: indice associato alle relazioni tra orientazione del pendio e delle discontinuità
- F2: indice relativo all'inclinazione delle discontinuità per il caso di rottura planare
- F3: indice relativo all'inclinazione del versante rispetto all'inclinazione della discontinuità
- F4: indice relativo al metodo di scavo adottato.

Il valore finale del parametro SMR è definito come:

$SMR = RMR_{basic} + (F1 * F2 * F3) + F4$

Calcolato il valore di SMR, si possono avere indicazioni generali, fornite da Romana, sul grado di stabilità della scarpata, sul tipo di cinematismo di rottura che si può instaurare e su quanto possano pesare eventuali interventi di stabilizzazione.

Geological Strength Index (Hoek et al., 1995)

Nel 1980 Hoek e Brown proposero una relazione empirica tra gli sforzi principali minimo e massimo, tali da descrivere le condizioni di rottura della roccia intatta e fratturata.

Il criterio generale è definito dalla formula:

$$\boldsymbol{\sigma}'_{1} = \boldsymbol{\sigma}'_{3} + \boldsymbol{\sigma}_{ci} \left(m_{b} \frac{\boldsymbol{\sigma}'_{3}}{\boldsymbol{\sigma}_{ci}} + s \right)^{a}$$

dove $\sigma'_{1} e \sigma'_{3}$ sono gli sforzi principali massimo e minimo a rottura, m_{b} è il valore della costante di Hoek e Brown tipica dell'ammasso roccioso, *s* ed *a* sono costanti empiriche che dipendono dalle caratteristiche dell'ammasso roccioso e σ_{ci} è la resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta.

Secondo Hoek et al. (1995) i parametri della relazione sopra descritta possono essere determinati conoscendo:

- la resistenza a compressione monassiale della roccia intatta, σ_{ci}
- il valore della costante di Hoek e Brown, mi (valido per la roccia intatta)
- il valore del GSI dell'ammasso.

Per la roccia intatta il criterio si può semplificare come:

$$\boldsymbol{\sigma}_{1}^{'} = \boldsymbol{\sigma}_{3}^{'} + \boldsymbol{\sigma}_{ci} \left(m_{i} \frac{\boldsymbol{\sigma}_{3}^{'}}{\boldsymbol{\sigma}_{ci}} + 1 \right)^{0.5}$$

Questa equazione mette in evidenza la relazione tra gli sforzi principali a rottura e le due costanti $\sigma_{ci} e m_i$. Queste ultime andrebbero calcolate mediante un'analisi statistica dei risultati di una serie di prove triassiali su campioni di dimensioni prestabilite.

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 di 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 ed alterato.

Il Geological Strength Index, introdotto da Hoek et al. nel 1995, fornisce un utile sistema per stimare la riduzione della resistenza di una ammasso roccioso per condizioni geologiche differenti. Questo parametro, che rappresenta la terza variabile fondamentale legata al criterio di Hoek e Brown, è calcolabile innanzitutto direttamente sul campo, tramite una tabella nella quale valutando attentamente le condizioni di fatturazione dell'ammasso, associate alle condizioni delle discontinuità, si può ricavare un valore qualitativo del GSI.

Nella tabella sono 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	(Disgregata)
(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).

Se l'ammasso roccioso risulta essere caratterizzato tramite questo sistema da un GSI maggiore di 25, è possibile stimare nuovamente il valore di quest'ultimo tramite l'RMR di Bieniawski del 1989 (con parametro "acqua" pari a 15, ovvero asciutto) secondo la relazione:

$\mathbf{GSI} = \mathbf{RMR}_{89} - 5.$

Nelle pagine seguenti vengono descritti tutti i rilievi geomeccanici effettuati. Per ognuno di essi vengono mostrate le orientazioni delle famiglie di discontinuità (ricavate dall'analisi degli stereoplot di densità) con la spaziatura media e i relativi stereoplot, gli stereoplot di densità e dei poli di tutte le discontinuità rilevate e una sintesi schematica delle classificazioni geomeccaniche utilizzate.

Il primo rilievo è stato condotto a circa 980 metri di quota (tra la Galleria Oleodotto Transalpino e una piccola cava di estrazione a ovest di questa) su un ammasso roccioso appartenente alla formazione delle "Calcareniti di transizione distali". Originariamente sono state individuate 4 famiglie di discontinuità aventi le seguenti caratteristiche:

Famiglia	Piano Modale imm./incl.	Spaziatura (m)
K1'	14/80	0,36
К5	271/83	0,12
K1	6/46	0,29
S	173/33	0,34



In seguito all'analisi geomeccanica del DTM con Coltop 3D (Cap. 6.1), due famiglie sono state accorpate a formarne una sola, chiamata K1, immergente a nord. Tuttavia, nello stereoplot si è scelto di tenere distinte le due famiglie, pur assegnando loro lo stesso colore (azzurro).



Adottando la relazione proposta da Palmström si trova un valore di Jv pari a 17.5 il quale porta ad un RQD di 57.2.

Geomechanics classification (Bieniawski, 1989)			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
Resistenza a compressione monoassiale	MPa	75	7
RQD	%	57	13
Spaziatura delle discontinuità	cm	28	10
Condizioni delle discontinuità	-	-	18
Acqua	-	asciutto	15
	_	RMR _{89 basic}	63
	-	Classe	II, good rock
Q-System (Barton et al., 1974)			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
RQD	%	57	57
n. set di discontinuità (Jn)	-	3	12
Rugosità delle discontinuità (Jr)	-	-	3
Alterazione delle discontinuità (Ja)	-	-	2
Acqua (Jw)	-	-	1
SRF	-	-	1
		Q	7,13
	-	Classe	fair
Slope Mass Rating System (Romana, 1985)			
Parametro		Valore	Indice
F1		20-10°	0,7
F2		30-35°	0,7
F3		<-10°	-60
F4		-	15
Pottura niana secondo KA		SMR	48,6
notiura piana secondo ri4	-	Classe	III, discreta

Di seguito viene mostrata una sintesi delle classificazioni geomeccaniche eseguite:

Considerando la classificazione di Hoek et al. si trova un valore di GSI compreso tra 63-67 nel contesto di una struttura di tipo "blocky" e di condizioni delle superfici di discontinuità di tipo "good".

Il secondo rilievo è stato condotto a circa 1200 metri di quota vicino all'estremo orientale dell'area di studio sulle pareti strapiombanti costituite dalla formazione dei "Calcari a Goniatiti e Climenie" sopra l'abitato di Timau. Sono state individuate 4 famiglie principali con le seguenti caratteristiche:

Famiglia	Piano Modale imm./incl.	Spaziatura (m)
S	168/58	0,42
К5	269/79	0,33
K1	351/59	0,45
К2	75/85	0,37



Adottando la relazione proposta da Palmström si trova un valore di Jv pari a 10.3 il quale porta ad un RQD di 80.9.

Di seguito viene mostrata una sintesi delle classificazioni geomeccaniche eseguite:

Geomechanics classification (Bieniawski, 1989)			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
Resistenza a compressione monoassiale	MPa	75	7
RQD	%	81	17
Spaziatura delle discontinuità	cm	39	10
Condizioni delle discontinuità	-	-	16
Acqua	-	asciutto	15
	_	RMR _{89 basic}	65
	_	Classe	II, good rock
Q-System (Barton et al., 1974)			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
RQD	%	81	81
n. set di discontinuità (Jn)	-	4	15
Rugosità delle discontinuità (Jr)	-	-	1,5
Alterazione delle discontinuità (Ja)	-	-	2
Acqua (Jw)	-	-	1
SRF	-	-	1
	-	Q	4,05
	-	Classe	fair
Slope Mass Rating System (Romana, 1985)			
Parametro		Valore	Indice
F1		20-10°	0,7
F2		>45°	1
F3		<-10°	-60
F4		-	15
Bottura piana secondo S	_	SMR	38
	_	Classe	IV, scadente

Considerando la classificazione di Hoek et al. si trova un valore di GSI compreso tra 58-62 nel contesto di una struttura di tipo "blocky" e di condizioni delle superfici di discontinuità di tipo "good".

Il terzo rilievo è stato condotto in un sito posto più a ovest del rilievo precedente sulle stesse pareti calcaree. Come si può vedere dalla tabella sottostante, questi due rilievi mostrano caratteristiche giaciturali molto simili. Tuttavia, su questo ammasso roccioso si sono riscontrate spaziature medie inferiori.

Famiglia	Piano Modale imm./incl.	Spaziatura (m)
S	170/78	0,32
K5	271/75	0,23
K1	1/42	0,18
K2	69/75	0,16





Figura 5.12: rilievo numero 3: si notano evidenze di carsismo accentuato nella stratificazione.





Adottando la relazione proposta da Palmström si trova un valore di Jv pari a 19.3 il quale porta ad un RQD di 51.4.

Di seguito viene mostrata una sintesi delle classificazioni geomeccaniche eseguite:

Geomechanics classification (Bieniawski, 1989)			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
Resistenza a compressione monoassiale	MPa	75	7
RQD	%	51	13
Spaziatura delle discontinuità	cm	22	10
Condizioni delle discontinuità	-	-	16
Acqua	-	asciutto	15
	_	RMR _{89 basic}	61
	_	Classe	II, good rock
O-System (Barton et al. 1974)			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
RQD	%	51	51
n. set di discontinuità (Jn)	-	4	15
Rugosità delle discontinuità (Jr)	-	-	1,5
Alterazione delle discontinuità (Ja)	-	-	2
Acqua (Jw)	-	-	1
SRF	-	-	1
	_	Q	2,55
	-	Classe	poor
	٦		
Slope Mass Rating System (Romana, 1985)			
Parametro		Valore	Indice
F1		<5°	1
F2		>45°	1
F3		0-(-10°)	-50
F4		-	15
Rottura niana secondo S	_	SMR	26
	-	Classe	IV, scadente

Considerando la classificazione di Hoek et al. si trova un valore di GSI compreso tra 70-75 nel contesto di una struttura di tipo "blocky" e di condizioni delle superfici di discontinuità di tipo "good".

Il quarto rilievo è stato condotto a circa 1060 metri di quota su un affioramento di "Calcareniti di transizione prossimali" situato sopra la seconda galleria, nei pressi del Rio Grande. È importante sottolineare dunque che questo rilievo si trova vicino ad una zona di faglia. Sono state individuate 4 famiglie di discontinuità principali:



Adottando la relazione proposta da Palmström si trova un valore di Jv pari a 24.3 il quale porta ad un RQD di 34.7.

Geomechanics classification (Bieniawski, 1989)			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
Resistenza a compressione monoassiale	MPa	75	7
RQD	%	35	8
Spaziatura delle discontinuità	cm	19	8
Condizioni delle discontinuità	-	-	15
Acqua	-	asciutto	15
		RMR _{89 basic}	53
	_	Classe	III, fair rock
Q-System (Barton et al., 1974)			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
RQD	%	35	35
n. set di discontinuità (Jn)	-	4	15
Rugosità delle discontinuità (Jr)	-	-	1,5
Alterazione delle discontinuità (Ja)	-	-	2
Acqua (Jw)	-	-	1
SRF	-	-	1
	_	Q	1,75
	_	Classe	poor
Slope Mass Rating System (Romana, 1985)			
Parametro		Valore	Indice
F1		20-10°	0,7
F2		>45°	1
F3		10-0°	-6
F4		-	15
Bottura piana secondo KA		SMR	63,8
notitira piana secondo N4	_	Classe	II, buona

Di seguito viene mostrata una sintesi delle classificazioni geomeccaniche eseguite:

Considerando la classificazione di Hoek et al. si trova un valore di GSI compreso tra 60-65 nel contesto di una struttura di tipo "blocky" e di condizioni delle superfici di discontinuità di tipo "good".

Il quinto rilievo è stato condotto ancora su un affioramento di "Calcareniti di transizione prossimali" situato a nord degli Stauli Roner, a quota 1300 metri. Sono state individuate solo 3 famiglie di discontinuità con le seguenti caratteristiche:

Famiglia	Piano Modale imm./incl.	Spaziatura (m)
K5	281/82	0,27
S	184/76	0,33
К2	85/33	0,41



Adottando la relazione proposta da Palmström si trova un valore di Jv pari a 9.2 il quale porta ad un RQD di 84.7.

Di seguito viene mostrata una sintesi delle classificazioni geomeccaniche eseguite:

Geomechanics classification (Bieniawski, 1989)			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
Resistenza a compressione monoassiale	MPa	75	7
RQD	%	85	17
Spaziatura delle discontinuità	cm	34	10
Condizioni delle discontinuità	-	-	18
Acqua	-	asciutto	15
	_	RMR _{89 basic}	67
	_	Classe	II, good rock
I	٦		
Q-System (Barton et al., 1974)			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
RQD	%	85	85
n. set di discontinuità (Jn)	-	3	12
Rugosità delle discontinuità (Jr)	-	-	2
Alterazione delle discontinuità (Ja)	-	-	2
Acqua (Jw)	-	-	1
SRF	-	-	1
	-	Q	7,08
	-	Classe	fair
Ir	-		
Slope Mass Rating System (Romana, 1985)			
Parametro		Valore	Indice
F1		10-5°	0,85
F2		>45°	1
F3		10-0°	-6
F4		-	15
Bottura piana socondo S		SMR	76,9
nottura piana secondo S	-	Classe	II, buona

Considerando la classificazione di Hoek et al. si trova un valore di GSI compreso tra 60-65 nel contesto di una struttura di tipo "blocky" e di condizioni delle superfici di discontinuità di tipo "good".

Il sesto rilievo è stato condotto su un affioramento di "Calcareniti di transizione distali" posto esattamente a nord del rilievo n. 1, a quota 1180 metri. Originariamente sono state individuate 4 famiglie di discontinuità aventi le seguenti caratteristiche:

Famiglia/Set	Piano Modale imm./incl.	Spaziatura m	
S	165/46	0,33	
К4	253/77	0,25	
К1	344/49	0,31	
K1'	350/79	0,35	
0		0	
* +++ ++* * *++	+ + + + + + + + + + + + + + + + + + +		
+ <u>+</u> ++++++++++++++++++++++++++++++++++			
		0	

Come per il rilievo n. 1, a seguito dell'analisi geomeccanica del DTM con Coltop 3D (Cap. 6.1), due famiglie sono state accorpate a formarne una sola, chiamata K1, immergente a nord. Tuttavia, nello stereoplot si è scelto di tenere distinte le due famiglie, pur assegnando loro lo stesso colore (azzurro).



Adottando la relazione proposta da Palmström si trova un valore di Jv pari a 13.1 il quale porta ad un RQD di 71.7.

Di seguito viene mostrata una sintesi delle classificazioni geomeccaniche eseguite:

Geomechanics classification (Bieniawski, 1989)			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
Resistenza a compressione monoassiale	MPa	75	7
RQD	%	72	13
Spaziatura delle discontinuità	cm	31	10
Condizioni delle discontinuità	-	-	15
Acqua	-	asciutto	15
	-	RMR _{89 basic}	60
	-	Classe	III, fair rock
	จ		
Q-System (Barton et al., 1974)			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
RQD	%	72	72
n. set di discontinuità (Jn)	-	3	12
Rugosità delle discontinuità (Jr)	-	-	2
Alterazione delle discontinuità (Ja)	-	-	2
Acqua (Jw)	-	-	1
SRF	-	-	1
	_	Q	6,00
	-	Classe	fair
	-		
Slope Mass Rating System (Romana, 1985)			
Parametro		Valore	Indice
 F1		10-5°	0.85
F2		>45°	1
F3		0-(-10°)	-50
F4		-	15
Potturo siese secondo K1'		SMR	32.5
nottura piana secondo K i	-	Classe	IV, scadente

Considerando la classificazione di Hoek et al. si trova un valore di GSI compreso tra 65-70 nel contesto di una struttura di tipo "blocky" e di condizioni delle superfici di discontinuità di tipo "good".

S

Il settimo ed ultimo rilievo è stato condotto su un affioramento di "Calcari a Goniatiti e Climenie" posto sopra la prima galleria ad una quota di circa 1000 metri. Sono state individuate 4 famiglie di discontinuità con le seguenti caratteristiche:

Famiglia	Piano Modale imm./incl.	Spaziatura (m)
S	167/55	0,32
К2	62/76	0,19
К6	327/34	0,19
K4	245/35	0,27



Figura 5.13: rilievo numero 7 con alcune famiglie evidenziate.




Adottando la relazione proposta da Palmström si trova un valore di Jv pari a 17.3 il quale porta ad un RQD di 57.7.

Di seguito viene mostrata una sintesi delle classificazioni geomeccaniche eseguite:

Geomechanics classification (Bieniawski, 1989)			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
Resistenza a compressione monoassiale	MPa	75	7
RQD	%	58	13
Spaziatura delle discontinuità	cm	24	10
Condizioni delle discontinuità	-	-	17
Acqua	-	asciutto	15
	_	RMR _{89 basic}	62
	_	Classe	II, good rock
O System (Parton et al. 1974)			
Parametro	Unità	Valore Medio	Punteggio
RQD	%	58	58
n. set di discontinuità (Jn)	-	4	15
Rugosità delle discontinuità (Jr)	-	-	3
Alterazione delle discontinuità (Ja)	-	-	2
Acqua (Jw)	-	-	1
SRF	-	-	1
	-	Q	5,80
	-	Classe	fair
Slope Mass Rating System (Romana, 1985)			
Parametro		Valore	Indice
F1		<5°	1
F2		>45°	1
F3		0-(-10)°	-50
F4		-	15
Pottura piana socondo S		SMR	27
nottura piana secondo S		Classe	IV, scadente

Considerando la classificazione di Hoek et al. si trova un valore di GSI compreso tra 68-72 nel contesto di una struttura di tipo "blocky" e di condizioni delle superfici di discontinuità di tipo "good".

La tabella 5.2 mostra in maniera schematica i risultati delle diverse classificazioni geomeccaniche adottate per ciascun rilievo. Una roccia classificata come "good" secondo l'RMR risulta essere "fair" secondo il Q-System, ma può al contempo risultare discreta, scadente o buona secondo l'SMR. In generale, la classificazione di Bieniawski attribuisce al medesimo ammasso roccioso una qualità migliore delle altre, mentre Romana lo classifica in maniera più conservativa attribuendogli una qualità peggiore. Per quanto riguarda il GSI, quello valutato sul campo è sempre maggiore di quello derivato dall'RMR.

N° rilievo	RMR	Q-System	SMR	GSI (da RMR)	GSI (sul campo)
1	good	fair	discreta	58	63-67
2	good	fair	scadente	60	58-62
3	good	poor	scadente	56	70-75
4	fair	poor	buona	48	60-65
5	good	fair	buona	62	60-65
6	fair	fair	scadente	55	65-70
7	good	fair	scadente	57	68-72

Tabella 5.2: confronto tra i risultati finali delle classificazioni geomeccaniche adottate per ciascun rilievo.

Adottando la classificazione di Romana, la famiglia di discontinuità per la quale si può verificare più frequentemente (in termini di spazio, non di tempo) lo scivolamento planare risulta essere la stratificazione (in 4 rilievi su 7). Questo cinematismo è probabile soprattutto nei Calcari a Goniatiti e Climenie che costituiscono le pareti rocciose poste di fronte alla "frana del Masareit" (a metà percorso della prima galleria paramassi) e le pareti verticali della Creta di Timau appena sopra l'abitato. Tra l'altro, è proprio su affioramenti appartenenti a questa formazione geologica che l'indice SMR fornisce una valutazione scadente della qualità dell'ammasso roccioso. Al contrario, gli affioramenti di Calcareniti di transizione prossimali risultano essere rocce di buona qualità, sempre secondo Romana.

In definitiva si può affermare che dal punto di vista geomeccanico gli ammassi rocciosi hanno una buona qualità ed una buona resistenza, come dimostra la classificazione di Bieniawski, mentre se si applica tale classificazione ai problemi di instabilità dei pendii gli ammassi risultano avere una qualità per lo più scadente.

6 Valutazione della suscettibilità all'innesco

La suscettibilità da frana (pericolosità spaziale) è definibile come la propensione di un'area all'innesco di fenomeni franosi pericolosi. La previsione della suscettibilità consiste nella valutazione della pericolosità relativa ovvero nella stima del grado di instabilità di un versante rispetto ad un altro, senza esprimere la probabilità di occorrenza dei fenomeni franosi in termini assoluti o in senso temporale. Per potere affermare che una data area ha una certa suscettibilità è necessario suddividere il territorio in unità territoriali, ovvero porzioni di spazio alle quali attribuire un livello di suscettibilità. In questo lavoro sono stati adottati due diversi approcci per la valutazione della suscettibilità: un approccio deterministico ed uno euristico.

Fondamentale per avviare un'analisi di suscettibilità da crollo è l'individuazione di zone (o aree, o domini) che siano il più possibile omogenee dal punto di vista litologico, strutturale e geomeccanico. Basandomi soprattutto sul rilevamento cartografico e strutturale del dott. Geol. F. Podda, è stato possibile suddividere la porzione di area di studio mappata come "roccia" nella carta della litologia superficiale (Fig. 4.12) in 5 zone omogenee delle quali viene data di seguito una descrizione.

Il dominio **1** è costituito interamente dalle Calcareniti di transizione prossimali ed ha un assetto strutturale caratterizzato da una immersione generale compresa tra $200-250^{\circ}$ con una inclinazione generale compresa tra $30-50^{\circ}$.

Il dominio 2 è costituito dalle Calcareniti di transizione prossimali e dai Calcari a Goniatiti e Climenie ed ha un assetto strutturale caratterizzato da un andamento sub-orizzontale lievemente immergente a est in alcune parti.

Il dominio **3** è costituito per la maggior parte dalla Formazione dell'Hochwipfel con una parte meridionale (il "blocco" arancione isolato nella figura 6.1) costituita dai Calcari a Goniatiti e Climenie. L'assetto strutturale generale prevede una immersione compresa tra 290-340° con una inclinazione di 30-50°.

Il dominio 4 è costituito dalle Calcareniti di transizione distali e dai Calcari a Goniatiti e Climenie ed ha un andamento generale verso sud $(160-200^\circ)$ lievemente inclinato $(10-30^\circ)$.

Il dominio **5** occupa la maggior parte dell'area ed è costituito da una litologia variamente carbonatica che comprende le Calcareniti di transizione distali e prossimali, i Calcari a Goniatiti e Climenie, i Calcari a Tentaculiti e i Calcari dolomitici lastroidi. L'immersione generale è simile a quella del dominio precedente (160-200°) ma con una inclinazione generale maggiore (50-70°, localmente prossima ai 90°).



Figura 6.1: i 5 domini omogenei in cui è stata suddivisa l'area di studio.

Dal LIDAR DTM è possibile svolgere diverse analisi di superficie. La prima e più comune carta che si può derivare da un DTM è la carta delle pendenze. Questa viene creata usando un algoritmo (metodo degli 8 vicini, Horn, 1981) che calcola per ogni pixel il gradiente della pendenza sfruttando una finestra mobile (kernel) di 3x3 pixel. Una seconda carta comunemente usata per le analisi spaziali è la carta dell'esposizione che rappresenta la direzione della pendenza per ogni pixel. Combinando queste due carte è possibile analizzare l'orientazione (immersione e inclinazione) della superficie.

Lungo le pareti rocciose affioranti è possibile riconoscere settori con orientazione simile che corrispondono approssimativamente a piani di fratture. Un'analisi dettagliata di questa carta combinata potrebbe, quindi, permettere di identificare i principali lineamenti strutturali (faglie e famiglie di discontinuità) e di misurarne le caratteristiche (orientazione, spaziatura, persistenza, ecc.) direttamente dal DTM. Per questo compito è stato utilizzato un *software* progettato appositamente da Jaboyedoff et al. (2005), Coltop 3D.

6.1 Caratterizzazione geomeccanica in Coltop 3D

Dopo aver suddiviso l'area in domini omogenei è possibile ricavare in ciascuno di essi la variazione dell'orientazione delle principali famiglie di discontinuità. Per fare questo è stato utilizzato Coltop 3D, un programma per l'analisi tridimensionale della topografia di un'area. Con questo programma è, infatti, possibile mappare e misurare i maggiori lineamenti strutturali (faglie) e giungere ad una definizione preliminare dei domini omogenei per la caratterizzazione geomeccanica di una certa area.

Tramite questo *software* il modello digitale del terreno (DTM) dell'area di studio è stato importato in formato ASCII e ricostruito tridimensionalmente con la risoluzione desiderata (Fig. 6.2). Il risultato è una nuvola di punti in cui ogni punto ha uno specifico colore derivante dalla combinazione di immersione e inclinazione di ciascuna cella che costituiva il DTM. In questo modo il DTM assume una forma simile al rilievo ombreggiato che si ottiene solitamente con le funzioni di *Spatial Analyst* presenti in ArcGIS.

I punti colorati sono rappresentati come poli dei piani che modellano la topografia utilizzando il reticolo inferiore di Schmidt. Quindi, il rosso rappresenta piani immergenti a sud e l'azzurro piani immergenti a nord, mentre il verde rappresenta piani immergenti a est e il viola piani immergenti a ovest.



Figura 6.2: immagine 3D dell'area di studio così come si vede in Coltop 3D. Essendo la valle disposta in senso ENE-WSW, la topografia è rappresentata soprattutto da punti di colore rosa/rosso.

Per ricavare l'andamento delle famiglie di discontinuità presenti nei vari domini omogenei si è proceduto come segue. In ogni dominio si sono tracciati diversi poligoni che contenessero punti di un colore che fosse il più possibile omogeneo (quindi una giacitura omogenea). Questi punti colorati rappresentano piani di discontinuità ben evidenti. Ovviamente, si è cercato di disegnare quanti più poligoni possibili al fine di aumentare la significatività statistica del campione di punti. Le giaciture di questi punti sono state esportate e analizzate col *software Dips* della *Rocscience Inc*. Questo programma permette di trovare la giacitura media dei punti di uno stesso colore (e quindi appartenenti alla stessa famiglia) e di stimarne la dispersione in gradi per ognuno dei 5 domini. Questi due valori (giacitura e dispersione) sono poi stati inseriti nuovamente in Coltop 3D per visualizzare gli stereoplot di ogni famiglia in ogni dominio. Nelle tabelle 6.1 e 6.2 vengono riportate le giaciture e le dispersioni ricavate in *Dips* delle 7 famiglie individuate in Coltop 3D. Le celle vuote indicano che tale famiglia non è stata rilevata in tale dominio. Vale la pena sottolineare che quasi tutte le famiglie individuate in Coltop 3D hanno un'orientazione che concorda con le discontinuità rilevate sul terreno.

Dominio	S	5	K1		K2		K3		K4		K5		K6	
	imm	incl												
1	184	78	-	-	95	61	123	65	235	67	272	71	295	75
2	187	81	-	-	99	69	124	59	232	68	270	64	300	72
3	188	82	359	60	102	69	125	63	238	70	271	66	304	76
4	186	80	14	63	93	70	126	62	231	77	270	87	-	-
5	183	78	357	63	71	59	125	58	228	68	269	68	302	77

Tabella 6.1: giaciture delle 7 famiglie individuate.

Dominio	S	K1	K2	K3	K4	K5	K6
1	12	-	14	12,9	22,4	14,2	3,6
2	9	-	15,2	23,2	20,6	16,4	12,2
3	8	30	4,5	14	20	17,3	13,7
4	10	13	8,9	20	13	2	-
5	12	26,5	24,5	25,3	21	19	13

Tabella 6.2: dispersioni in gradi delle 7 famiglie individuate.



Figura 6.3: visualizzazione in Coltop 3D dell'estremo orientale del dominio 5. In basso sono selezionate alcune famiglie di discontinuità.



Figura 6.4: visualizzazione in Coltop 3D del dominio 2. In basso sono selezionate alcune famiglie di discontinuità.

6.2 Analisi della suscettibilità all'innesco con approccio deterministico

I dati giaciturali ricavati da Coltop 3D hanno permesso di eseguire una valutazione della suscettibilità all'innesco 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). Il *software*, in generale, permette di effettuare una mappatura automatizzata delle proprietà geometriche e cinematiche di versanti rocciosi per i quali sono disponibili dati strutturali, geotecnici e idrogeologici.

6.2.1 Verifiche di fattibilità cinematica

Di seguito vengono illustrati i possibili cinematismi instabili che si possono verificare in un pendio roccioso e che sono analizzati in SlopeMap.

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 e verifiche. Le verifiche rimuovono una dimensione nella rappresentazione del problema (piani rappresentati da linee, linee rappresentate da punti) e considerano solo relazioni angolari tra linee, piani, linee e piani. Le verifiche di fattibilità cinematica studiano il movimento dei blocchi senza riguardo alle forze che li producono. 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, per via cautelativa, è stato posto pari a 30°.

Le assunzioni del metodo sono:

- ammasso roccioso costituito da discontinuità piane infinitamente estese;
- resistenza al taglio lungo le discontinuità puramente frizionale;
- sistema dei blocchi soggetto alla sola forza peso.

Scivolamento planare

Per lo scivolamento planare si avranno le seguenti condizioni che ne possono controllare l'occorrenza:

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



Scivolamento a cuneo

Per lo scivolamento a cuneo si avranno le seguenti condizioni che ne possono controllare l'occorrenza:

- 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°) sui due piani.



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

Ribaltamento

Per il ribaltamento si avranno le seguenti condizioni che ne possono controllare l'occorrenza:

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



6.2.2 Analisi cinematica spazialmente distribuita con SlopeMap

La carta di suscettibilità all'innesco di crolli (che dipende dal numero dei possibili cinematismi di rottura) è stata ricavata con il procedimento che viene di seguito descritto.

In ArcGIS la tabella 6.1 è stata unita (con un'operazione di *join*) al file vettoriale (*shapefile*) che rappresenta 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 dell'esposizione (*aspect*) del DTM dell'area di studio. Tramite semplici comandi di SlopeMap, si sono analizzati i cinematismi di ribaltamento, scivolamento planare e a cuneo per ciascun famiglia di discontinuità. In particolare:

- combinando tra loro immersione e inclinazione di ogni famiglia con *slope* e *aspect* del DTM è possibile sapere in quali celle del DTM possono avvenire scivolamenti planari (*Unifail*) e fenomeni di ribaltamento (*Toppling*);
- combinando tra loro a due a due tutte le famiglie di discontinuità si possono ricavare i valori giaciturali (*trend* e *plunge*) della linea di intersezione tra i due piani scelti;
- combinando tra loro *trend* e *plunge* della linea di intersezione tra due piani di discontinuità con *slope* e *aspect* del DTM è possibile sapere in quali celle del DTM possono avvenire scivolamenti a cuneo (*Wedgefail*).

Una volta effettuate tutte le analisi, con un ulteriore comando si ottiene un nuovo file che somma il numero dei diversi cinematismi instabili reali avvenuti in ciascuna cella del DTM (file denominato *failcount*). Il numero massimo registrato di cinematismi instabili reali in una stessa cella è 16. Il *failcount* è stato riclassificato in modo da ottenere una carta delle aree sorgenti uniforme per la quale da ciascun pixel sono stati fatti partire 10 blocchi.



Figura 6.5: esempi di distribuzione dei cinematismi di rottura nei dintorni del Gamspitz.

Partendo sempre dal *failcount* si può, infine, ottenere un nuovo file che rappresenta una carta di suscettibilità spaziale scalata per la probabilità di innesco.

Il file (Fig. 6.6) si ottiene seguendo questa procedura:

- nella tabella degli attributi del file dei domini omogenei si aggiunge un campo chiamato *N_tot* corrispondente al numero dei cinematismi potenziali instabili in ogni dominio. Se, per esempio, in un dominio sono presenti 7 famiglie di discontinuità, i cinematismi potenziali sono 42, dati dalla somma di 7 scivolamenti planari, 7 ribaltamenti e 28 scivolamenti a cuneo. Nello specifico, i cinematismi potenzialmente instabili sono 42 nei domini 3 e 5, mentre sono 33 nei domini 1, 2 e 4;
- dopo aver convertito in *raster* il campo *N_tot*, tramite un'operazione di *Raster Calculator* si effettua una divisione tra il file dei cinematismi reali (*failcount*) e *N_tot* ottenendo in

tal modo la probabilità che si sviluppino cinematismi instabili in ogni dominio (probabilità di innesco);

3) infine, sempre con *Raster Calculator*, si normalizzano rispetto a 100 i valori ottenuti dalla precedente divisione.



Figura 6.6: carta della probabilità di innesco realizzata con l'approccio deterministico.

La carta della suscettibilità all'innesco realizzata con questo approccio è costituita da 262832 celle, pari ad un'area di circa 1.05 km².

6.3 Analisi della suscettibilità all'innesco con approccio euristico

L'approccio euristico, basato su una conoscenza a priori di tutte le cause e dei fattori d'instabilità in un'area indagata, è un metodo indiretto, prevalentemente qualitativo, che dipende dalla capacità dell'investigatore di comprendere approfonditamente i processi geomorfologici in atto. I fattori predisponenti sono classificati e pesati secondo la loro importanza presunta o attesa nel causare i movimenti di versante.

I vantaggi del metodo consistono nel descrivere la pericolosità relativa di un'area attraverso l'identificazione di meccanismi generali di causa-effetto delle frane, essenzialmente dipendenti da parametri predisponenti quali, ad esempio, la litologia, la pendenza dei versanti, la struttura e la giacitura dei terreni, l'uso del suolo. Lo sviluppo dei Sistemi Informativi Geografici (GIS) permette di realizzare operazioni di sovrapposizione dei dati in modo totalmente automatico permettendo, inoltre, la standardizzazione delle tecniche di gestione dati. Questo approccio, inoltre, può essere applicato a qualsiasi scala.

Per garantire una migliore aderenza ai processi fisici, l'operazione di attribuzione dei pesi spesso viene rafforzata da procedure statistiche per una valutazione più oggettiva del contributo dei singoli parametri predisponenti allo sviluppo potenziale di frana.

I fattori predisponenti considerati in questo lavoro per valutare la carta euristica di suscettibilità all'innesco sono:

- la carta della pendenza, riclassificata per valori superiori a 50°;
- le sorgenti di crollo lineari, mappate attraverso LIDAR e fotointerpretazione;
- le nicchie di frane di crollo avvenute, mappate nella carta geomorfologica.

Sommando questi tre fattori con operazioni di *Raster Calculator* si ottiene una mappa raster avente unicamente tre valori: 1 se il pixel è interessato dalla presenza di uno solo dei tre fattori, 2 se il pixel è interessato dalla presenza di due dei tre fattori, 3 se in un pixel sono presenti tutti e tre i fattori predisponenti.

A questo punto, la carta è stata riclassificata assegnando ai vecchi valori (1, 2, 3) nuovi pesi corrispondenti alla probabilità di innesco. In particolare, si è scelto di assegnare alla condizione "1" una probabilità del 50%, alla "2" una probabilità del 75% e alla "3" una probabilità del 100% (tabella 6.3). In più, è stata effettuata un'altra classificazione dei vecchi valori per ottenere la carta delle aree sorgenti indispensabile per la simulazione in Hy-Stone: ai tre vecchi valori è stato assegnato un unico valore (10) corrispondente al numero di blocchi lanciati da ciascun pixel sorgente (Fig. 6.7).

valutazione euristica					
condizione probabilità (%)					
1 50					
2 75					
3	100				

Tabella 6.3: valori euristici riclassificati per rappresentare la probabilità di innesco.

Occorre specificare che la carta euristica originale era rappresentata anche da celle prive di significato in termini di pixel sorgente. Questo è dovuto al fatto che la riclassificazione della pendenza può considerare pixel che rappresentano anche "imperfezioni" del DTM. Per risolvere questo problema la carta euristica è stata dapprima convertita in formato vettoriale. Una volta eliminati i poligoni che rappresentano tali pixel "insignificanti", il file è stato nuovamente convertito in raster. Solo a questo punto si sono effettuate le due riclassificazioni spiegate precedentemente. La carta finale di suscettibilità all'innesco realizzata con questo approccio è costituita da 194036 celle, pari ad un'area di circa 0.77 km².



Figura 6.7: carta delle aree sorgenti di una parte del DTM ottenuta con l'approccio euristico: carta originale (sopra) e carta corretta dalle "imperfezioni" (sotto).



Figura 6.8: dettaglio della carta di probabilità di innesco ottenuta con l'approccio euristico.

I metodi di valutazione della suscettibilità di innesco fin qui descritti verranno impiegati solo per la simulazione matematica 3D della caduta massi col codice di calcolo Hy-Stone.

7 Modellazione dell'espandimento 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 espandimento (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:

- definizione a scala regionale delle aree soggette a fenomeni di caduta massi, del massimo espandimento 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 elsato-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 e 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 attuali (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 ripido.

La presenza di questa dispersione rende difficile scegliere a priori il percorso del crollo se si adotta un approccio bidimensionale.

L'effetto della soggettività inerente a tale scelta è stato spesso sottostimato e si è prestata molta più attenzione alla descrizione della geometria del blocco e all'attuazione di complessi modelli

dinamici. Ciononostante, gli effetti tridimensionali della topografia sono importanti quanto l'influenza della geometria sulla dinamica del corpo rigido del blocco che cade.



Figura 7.1: le principali caratteristiche topografiche e morfologiche che controllano la dispersione laterale dei percorsi di crollo, ovvero forre, canali, conoidi convessi e accidentati (pareti rocciose e talus presso il Passo Pordoi).

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, i quali potrebbero col tempo introdurre un errore maggiore rispetto a quello inerente all'approccio con 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 trattorie 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 una prima 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 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 (*lumped mass*) 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 φ_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 libera 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 rendere 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.

7.1.1 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 φ_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 (stones.par).

Dati di ingresso (input)

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

- un DEM, che costituisce una rappresentazione discreta della topografia in formato cellulare;
- 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 (tanφ_r);
- un file di testo (stones.par) che definisce i parametri di controllo della simulazione. In particolare, il file di parametri permette al programma di riconoscere i nomi dei file GridAscii contenenti i dati di ingresso. Inoltre, esso definisce 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* ei 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 da 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 rasterizzazzione 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.

Descrizione della topografia

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. D'altra parte, l'utilizzo di una topografia vettoriale sotto forma di una TIN (*Triangulate Irregular Network*) basata sulla triangolazione di Delaunay renderebbe difficoltosa la localizzazione delle zone sorgente e l'attribuzione dei parametri di restituzione ed attrito alle diverse zone del modello.

Il codice Hy-Stone è invece concepito per effettuare una modellazione "cell-based", che consente di gestire senza limitazioni i parametri di ingresso come livelli informativi di dati spaziali in formato raster. I diversi livelli informativi devono essere forniti al codice come matrici congruenti, caratterizzate cioè dalla stessa dimensione e risoluzione. Poiché la topografia è uno di questi livelli informativi, essa deve essere rappresentata tramite un DEM raster. 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 7.2 descrive il procedimento utilizzato da Hy-Stone per passare da una rappresentazione discreta della topografia (DEM) ad una continua (TRN).

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 riferimento "locali" x_py_pz_p, vincolati ai singoli triangoli della TRN.
 Gli assi x_p e y_p 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 e diretto verso l'esterno del pendio.



Figura 7.2: rappresentazione continua della topografia (TRN) calcolata a partire da un DEM in formato raster (Agliardi, 2003)

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).

Dati di uscita (output)

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 m) 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.

7.2 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 (Fig. 7.3).



Figura 7.3: definizione del cono d'ombra secondo diversi autori.

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

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 campagna. 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 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 = tg α L). Il valore di tg α ricavato viene utilizzato come "coefficiente di attrito equivalente" della frana ed assegnato a tutti i segmenti rettilinei, di inclinazione β_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 10⁵ m³ secondo Rochet, 1987).

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, su base statistica, valori angolari di apertura del cono d'ombra in sezione e di suddividere lo stesso in zone caratterizzate da diversa probabilità di espandimento.

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 m^3) innescate dal terremoto del 1976 in Friuli. Secondo gli autori, la linea di energia per una frana di crollo, che sottende un angolo β_i sull'orizzontale (Fig. 7.3), congiunge il punto più alto della nicchia di distacco del crollo col masso caratterizzato dalla maggiore distanza di espandimento. La corretta valutazione del parametro β_i 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 β_1 compresi tra 28° e 41°. 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 β_1 seguono una distribuzione normale (gaussiana). La conoscenza della distribuzione statistica dell'angolo β_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" (β_2 , Fig. 7.3) 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 β_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 (Cap. 9).

7.2.1 Conefall

Conefall (Jaboyedoff e Labiouse, 2003) è un programma progettato per definire l'area di potenziale espandimento dei blocchi di zone soggette a crolli. Il programma sfrutta il concetto di "cono d'ombra" precedentemente illustrato e si basa su metodi geometrici semplici (Fig. 7.4). Un blocco si propaga se il pendio è sufficientemente ripido. Fisicamente il programma considera che se il pendio è più ripido dell'angolo φ_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 di inclinazione del pendio. L'angolo orizzontale tra la linea del punto di arresto e il punto sorgente non supera in genere un angolo limite φ_p , il cui range è compreso tra 27-38°, che dipende dal modo in cui vengono definite le aree sorgenti.



Figura 7.4: relazione tra φ_p e la massima distanza di espandimento. Δh è usato per la stima dell'energia.

L'assunzione precedente conduce ad una zona potenziale di propagazione corrispondente ad un cono per ogni singolo pixel sorgente. Molti pixel portano ad una superficie corrispondente di inviluppo dei coni (massimo valore di tutti i coni in un punto della zona di propagazione) di tutte le aree sorgenti che contribuiscono oppure conducono al valore medio di altezza. Utilizzando queste superfici e le altezze topografiche possono essere effettuate delle stime relative all'energia cinetica o relative alla velocità.

La velocità media dei blocchi è funzione della differenza di altezza Δh tra il cono e la topografia. L'altezza Δh è proporzionale all'energia cinetica che può essere acquisita dal blocco durante la caduta secondo la relazione seguente:

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

dove "g" è l'accelerazione di gravità.

La velocità traslazionale si può stimare quindi con la seguente formula:

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

dove $f_v^2 = E_{translation}/E_{kinetic tot}$ è un fattore introdotto per tenere in considerazione l'energia cinetica rotazionale.

Infine, se si fissa la massa media del blocco "m" si ottiene l'energia cinetica totale:

$$E = m g \Delta h$$

Nel programma è possibile specificare alcuni parametrici caratteristici del cono (Fig. 7.5). Oltre al già citato φ_p , si può definire un angolo ω che rappresenta la direzione di propagazione rispetto al nord e un angolo di apertura α che delimita lateralmente il cono.



Figura 7.5: illustrazione dell'angolo del cono ϕ_p , della direzione del cono ω e del range di apertura $\pm \alpha$.

Conefall necessita dei seguenti file di input in formato GridAscii aventi la medesima estensione:

- un modello digitale del terreno (DEM);
- un file delle aree sorgenti di crollo (lineari o areali).

Come file di output (sempre in formato GridAscii) fornisce:

- frequenza di transito dei blocchi;
- velocità traslazionale media e massima (in m/s), specificando il fattore di moltiplicazione f_v;
- energia cinetica totale media e massima (in kJ), specificando la massa media del blocco (in kg).

🔉 CONEFALL	
File Tools View About	
Digital elevation model file	
	Change
Source point file	
	Change
Output Fla	
	Change
1	
Comments (one line)	
Cone angles definitions	Output type
	O -1/1 □ Use all values from source area
Cone slope U-90*	C Count of contributing source points [number]
O No limit angle	⊂ Velocity [m/s]
⊂ Unique angle	
Direction 0-360°	Velocity multiplication factor
1	Mean block mass [kg]
Angle from source point grid file	Value
	Maximum
Aperture Range +/-	C Mean value
,	
	Run
	10/02/2011 14.11
	10/02/2011 14.11

Figura 7.6: finestra principale di Conefall.

8 Modellazione 3D dell'area di Timau: Hy-Stone

Per la modellazione 3D della caduta massi nell'area oggetto di studio è stato utilizzato un modello digitale di elevazione (DEM) creato dalla Protezione Civile del Friuli-Venezia Giulia avente una risoluzione spaziale di 2 m. Il DEM è costituito da 848978 celle, pari a un'area di circa 3.4 km².

Le mappe dell'uso del suolo e della litologia superficiale preparate per questo studio (Fig. 4.11 e 4.12) sono state sovrapposte e ricodificate in ambiente GIS al fine di realizzare una "unique condition map", costituita da 508 poligoni suddivisi in 39 classi, alle quali sono stati attribuiti i valori dei coefficienti di restituzione ed attrito esposti nella tabella 8.1. Questi coefficienti sono stati ricavati dalla letteratura e da precedenti simulazioni eseguite dall'Università.

Chung et al. (1995) definiscono "unique condition unit" l'unità territoriale ottenuta dalla successiva combinazione (*overlay*) di una serie di mappe di base, caratterizzate da specifici attributi. L'incrocio di mappe permette di ottenere nuove "unità territoriali" (*land units*) con caratteristiche omogenee rispetto agli attributi delle mappe di ingresso.

Unità territoriali	tan(φr)	en	et
Deposito alluvionale, bosco	0,34	25	82
Deposito alluvionale, bosco rado	0,34	26	84
Deposito alluvionale, nudo	0,30	29	88
Deposito alluvionale, pascolo	0,30	27	88
Detrito fine, bosco	0,35	27	80
Detrito fine, bosco rado	0,33	29	84
Detrito fine, nudo	0,31	30	86
Detrito grossolano, bosco	0,40	32	88
Detrito grossolano, bosco rado	0,38	33	91
Detrito grossolano, nudo	0,37	35	93
Detrito grossolano, pascolo	0,37	34	93
Detrito medio, arbusti	0,34	31	85
Detrito medio, bosco	0,35	30	80
Detrito medio, bosco rado	0,34	32	83
Detrito medio, nudo	0,32	32	85
Detrito medio, pascolo	0,32	32	85
Eluvium, arbusti	0,32	34	90
Eluvium, bosco	0,33	30	84
Eluvium, nudo	0,29	34	88
Eluvium, pascolo	0,29	32	87
Deposito glaciale, bosco	0,38	20	58
Deposito glaciale, bosco rado	0,36	21	60
Deposito glaciale, nudo	0,35	23	64
Deposito glaciale, pascolo	0,36	21	62
Roccia poco fratturata, arbusti	0,26	38	91
Roccia poco fratturata, bosco	0,29	33	86
Roccia poco fratturata, bosco rado	0,27	34	88
Roccia poco fratturata, nudo	0,25	38	91
----------------------------------	------	----	----
Roccia poco fratturata, pascolo	0,25	36	89
Roccia fratturata, arbusti	0,28	36	89
Roccia fratturata, bosco	0,31	31	84
Roccia fratturata, bosco rado	0,29	32	86
Roccia fratturata, bosco nudo	0,27	36	89
Roccia fratturata, bosco pascolo	0,27	34	88
Urbano, casa	2,00	10	10
Urbano, galleria	0,33	25	70
Urbano, prato	0,30	27	88
Urbano, rilevato	0,30	20	70
Urbano, strada	0,27	35	90

Tabella 8.1: coefficienti di restituzione e di attrito utilizzati per la simulazione.



Figura 8.1: unique condition map dell'area di studio.



Figura 8.2: mappa del coefficiente di attrito dinamico al rotolamento $(tan \phi_r)$.



Figura 8.3: mappa del coefficiente di restituzione normale (e_n).



Figura 8.4: mappa del coefficiente di restituzione tangenziale (et).

In totale col codice Hy-Stone sono state effettuate 8 simulazioni di crollo secondo la logica della matrice riportata nella figura 8.5.

Occorre specificare che, mentre il numero di celle delle sorgenti lineari deriva dalla rasterizzazione delle sorgenti di crollo presenti nella carta geomorfologica, il numero di celle delle sorgenti areali deriva dalla riclassificazione dei file raster della suscettibilità all'innesco ottenuti con i procedimenti descritti nei capitoli 6.2 e 6.3.

Modellazione 3D Hy-Stone		Valutazione suscettibilità innesco		
		Uniforme	Empirica / euristica	Deterministica
Tipo di sorgenti	Lineari (7001 celle)	Α, Η	D, I	E, L
	Areali (194036 celle)	F	В	
	Areali (262832 celle)	G		С

Figura 8.5: schema riassuntivo di tutte le modellazioni eseguite con Hy-Stone.

Il problema della definizione del "blocco di progetto"

In una modellazione di crollo il "blocco di progetto" rappresenta il blocco di dimensione modale per il quale si simula la traiettoria di caduta. La definizione del suo volume costituisce, pertanto, un passaggio molto importante ai fini del calcolo dell'energia cinetica durante la modellazione. Tuttavia, la sua determinazione non è esente da difficoltà. Solitamente, nella pratica, la caratterizzazione del blocco di progetto dipende dalle risorse economiche disponibili per il dimensionamento delle opere di difesa relative. Esistono, in ogni caso, criteri più oggettivi basati sulle tecniche di rilevamento sul campo. Analizzando i dati relativi ai rilievi geomeccanici eseguiti in una certa zona è possibile ricavare il valore di VRU medio. Il volume del blocco di progetto potrebbe derivare dal confronto dei diversi valori medi di VRU ottenuti. Questo approccio, però, è significativo solo nel caso in cui si debba eseguire una modellazione a scala di singolo versante, in quanto su un'area troppo estesa (diversi km²) i siti dei rilievi geomecanici rappresentano una "finestra" troppo ristretta su cui basare la valutazione del volume del blocco di progetto per la modellazione dell'intera area. La tecnica del Laser Scanner eseguita in maniera dettagliata può rappresentare la soluzione migliore. Tuttavia, per l'area indagata non sono disponibili dati di tal genere.

Per tale motivo, in questo lavoro, la definizione del blocco di progetto è stata fatta secondo un approccio basato sull'analisi statistica dei volumi dei blocchi mappati durante l'attività di terreno.

Inizialmente, per alcune modellazioni (A-E) eseguite con Hy-Stone, al blocco di progetto era stato assegnato un raggio sferico di 0.3 m, ovvero il raggio calcolato dal volume modale dell'intero dataset dei blocchi (tabella 5.1). Come già spiegato, i parametri della modellazione possono variare secondo una certa distribuzione di probabilità entro un range stocastico con un approccio pseudo-casuale. Grazie a questa possibilità, il raggio massimo di riferimento era stato posto a 3 m, pari ad un volume di circa 100 m³ (il volume più ricorrente tra quelli più grandi, scelto in maniera soggettiva).

Tuttavia, dai risultati di queste prime simulazioni è emerso che l'energia cinetica presentava valori troppo esigui a causa del ridotto volume del blocco modale. Per questo motivo, al fine di ottenere un volume più affine alla realtà, è stato definito un nuovo blocco di progetto secondo un metodo statistico più oggettivo che viene di seguito descritto brevemente. Questo nuovo volume è alla base delle simulazioni H, I ed L. Considerando l'intero dataset dei volumi dei blocchi, 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 viene rappresentato (orientato orizzontalmente o verticalmente) tramite un rettangolo diviso in due parti, da cui escono due segmenti. Il rettangolo è delimitato dal primo e dal terzo quartile, $q_{1/4}$ e $q_{3/4}$, e diviso al suo interno dalla mediana, $q_{1/2}$. I segmenti sono delimitati dal minimo e dal massimo dei valori. In questo modo vengono rappresentati graficamente i quattro intervalli ugualmente popolati delimitati dai quartili. Esistono scelte alternative per rappresentare il *box-plot*; tutte concordano sui tre quartili per rappresentare il rettangolo ma differiscono per la lunghezza dei segmenti, solitamente scelti più corti per evitare valori troppo "estremi" (outliers), che vengono solitamente rappresentati solo come dei punti. L'alternativa scelta prevede di delimitare i segmenti con i valori $(5q_{1/4}-3q_{3/4})/2$ e $(5q_{3/4}-3q_{1/4})/2$, in modo che entrambi i segmenti siano lunghi 1.5 volte lo scarto interquartile (IQR, Fig. 8.6), il quale rappresenta la differenza tra il primo e il terzo quartile (indice di dispersione). 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. Questi outliers sono tutti quei valori che superano la quantità $q_{3/4}$ + 1.5*IQR, e in particolare corrispondono ai volumi maggiori di 5 m³. Il valore medio calcolato nel secondo *box-plot*, pari a 0.9 m³ (Fig. 8.7), è stato considerato come volume del blocco di progetto per le successive simulazioni. In questo caso, il volume massimo introdotto come limite del range stocastico corrisponde, dunque, a 5 m³.

вох	۶ 	×	Diamond Box
Range	Perc 25,75	*	Box Labels
Coef	1	~	🔲 Whisker Labels
Box Width	100	*	Preview
Whisker-			
Range	Outlier	~	
Coef	1.5	~	T
	-		

Figura 8.6: definizione delle caratteristiche del box-plot in OriginPro.



Figura 8.7: *box-plot* che rappresenta i volumi filtrati con $q_{3/4}$ + 1.5*IQR. Il quadratino rosso rappresenta il valore del volume del blocco di progetto (= 0.9 m³).

Si prenda ora come riferimento la diagonale della matrice nella figura 8.5: queste tre simulazioni (A, B, C) rappresentano l'iter principale su cui si intendeva originariamente basare la valutazione della pericolosità. Successivamente, si è pensato di stimare l'effetto sulla pericolosità del diverso

tipo di approccio adottato per la valutazione della suscettibilità all'innesco per le sorgenti lineari (simulazioni D, E). Per valutare, invece, l'effetto del diverso tipo di sorgente di crollo con lo stesso grado di suscettibilità all'innesco (simulazioni F, G) non è stato necessario intraprendere alcuna nuova modellazione, in quanto le "simulazioni" F e G derivano direttamente dalla B e dalla C, rispettivamente. Esse, infatti, tra gli *output* di Hy-Stone, rappresentano semplicemente il *count* non pesato per la probabilità di innesco.

Come detto, queste 5 simulazioni (A-E) sono state effettuate con un blocco di progetto modale di 0.12 m^3 e massimo di circa 100 m³. Le ultime tre modellazioni (H, I, L) sono state eseguite ammettendo un blocco di progetto modale di 0.9 m³ e massimo di 5 m³.

Per tutte le simulazioni sono stati lanciati 10 blocchi da ciascun pixel sorgente e i parametri nel file di controllo stones.par sono stati specificati come segue:

- blocchi di forma sferica, aventi una densità di 2600 kg/m³ (simile a quella di una roccia calcarea);
- velocità di partenza dei blocchi pari a 1.5 m/s;
- distribuzione statistica esponenziale per il raggio dei blocchi e normale per i coefficienti di restituzione ed attrito;
- presenza delle opere di difesa rilevate con specificate l'altezza (in m) e l'energia di assorbimento (in J).

In totale sono stati disegnati in ArcGIS 158 segmenti di opere passive distribuiti tra:

- un muro in cls lungo 50 m, alto 2.5 m e capace di assorbire fino a 300000 J (opera n. 10);
- due reti alte 4.5 m e capaci di assorbire fino a 2000000 J (opere n. 8 e 9);
- sette reti alte 3 m e capaci di assorbire fino a 3000000 J (opere n. 1, 3, 4, 5, 6 e 7).

Nell'area di studio sono presenti anche tre reti in aderenza, ma nel codice di calcolo esse non sono simulate. Inoltre, vale la pena sottolineare che l'accuratezza con cui in GIS sono disegnate le opere di difesa incide molto sui risultati della modellazione, soprattutto quando esse sono presenti sopra un rilevato paramassi o sul margine di una parete rocciosa. In questo senso occorre disegnare in maniera ancora più accurata le reti in modo tale da sfruttare al massimo l'effetto della loro altezza rispetto alla topografia e rendere, di conseguenza, più realistica la simulazione.

Nei paragrafi successivi saranno analizzate nel dettaglio tutte le modellazioni eseguite con riferimento allo schema presente nella figura 8.5.

In generale, i risultati di tutte le modellazioni indicano che:

- le celle caratterizzate da un elevato numero di transiti sono localizzate lungo canali e in corrispondenza di concavità dei versanti, che determinano la concentrazione delle traiettorie;
- i valori più elevati di velocità (> 100 m/s) e altezza rispetto alla superficie topografica (> 100 m) sono stati calcolati dal modello alla base della parete meridionale del Gamspitz e della Creta di Timau.

Simulazione "A": sorgenti lineari con suscettibilità all'innesco uniforme

Il file delle sorgenti di crollo lineari utilizzato per questa simulazione è composto da 7001 celle sorgenti. Le traiettorie simulate in Hy-Stone, quindi, sono 70010. In questa simulazione non è stata specificata alcuna probabilità di innesco, quindi i 10 blocchi partono da ciascun pixel sorgente con la stessa probabilità del 100%. Vale la pena sottolineare che, analogamente a quanto accade per la simulazione delle opere di difesa, la modellazione della propagazione di blocchi con questo tipo di aree sorgenti dipende molto dalla precisione con cui esse vengono digitalizzate: questo significa che, per esempio, se non si disegna accuratamente una nicchia di distacco sul ciglio di un versante, alcuni blocchi possono propagarsi nella direzione opposta a quella desiderata.

I risultati della simulazione indicano che:

- 440649 celle del modello, corrispondenti a circa 1.76 km² (52% dell'area totale), sono potenzialmente esposte al transito di blocchi;
- il 17.7% della rete viaria (comprendente la Statale Carnica, la strada superiore del paese di Timau, la strada che conduce alla Galleria Oleodotto Transalpino e lo spiazzo di fronte all'ingresso della galleria) è esposto a fenomeni di caduta massi;
- l'1.1% delle aree urbanizzate (comprendenti il paese di Timau, la località Laghetti e i casolari sparsi) è potenzialmente esposto al transito di blocchi.



Figura 8.8: mappa del *count* (numero cumulativo di transiti per cella) calcolato per l'intera area di studio.



Figura 8.9: mappa della massima altezza rispetto alla topografia calcolata per cella.



Figura 8.10: mappa della massima velocità calcolata per cella.

Simulazione "B": sorgenti areali con suscettibilità valutata con approccio empirico/euristico

Il file delle sorgenti di questa modellazione è composto da 194036 celle, pari ad un'area di circa 0.77 km². Le traiettorie simulate sono, quindi, 1940360. La suscettibilità all'innesco specificata è quella calcolata secondo il metodo descritto nel capitolo 6.3.

I risultati della simulazione indicano che:

- 642309 celle del modello, corrispondenti a circa 2.57 km² (75.6% dell'area totale), sono potenzialmente esposte al transito di blocchi;
- il 28.4% della rete viaria (comprendente la Statale Carnica, la strada superiore del paese di Timau, la strada che conduce alla Galleria Oleodotto Transalpino e lo spiazzo di fronte all'ingresso della galleria) è esposto a fenomeni di caduta massi;
- il 3.6% delle aree urbanizzate (comprendenti il paese di Timau, la località Laghetti e i casolari sparsi) è potenzialmente esposto al transito di blocchi.



Figura 8.11: mappa della massima altezza rispetto alla topografia calcolata per cella.



Figura 8.12: mappa della massima velocità calcolata per cella.



Figura 8.13: mappa del *count* (numero cumulativo di transiti per cella) calcolato per l'intera area di studio.



Figura 8.14: mappa del count pesato per la probabilità di innesco.

Simulazione "C": sorgenti areali con suscettibilità valutata con approccio deterministico

Il file delle sorgenti di questa modellazione è composto da 262832 celle, pari ad un'area di circa 1.05 km². Le traiettorie simulate sono, quindi, 2628320. La suscettibilità all'innesco specificata è quella calcolata secondo il metodo descritto nel capitolo 6.2.

I risultati della simulazione indicano che:

- 653495 celle del modello, corrispondenti a circa 2.61 km² (76.9% dell'area totale), sono potenzialmente esposte al transito di blocchi;
- il 29.1% della rete viaria (comprendente la Statale Carnica, la strada superiore del paese di Timau, la strada che conduce alla Galleria Oleodotto Transalpino e lo spiazzo di fronte all'ingresso della galleria) è esposto a fenomeni di caduta massi;
- il 3.57% delle aree urbanizzate (comprendenti il paese di Timau, la località Laghetti e i casolari sparsi) è potenzialmente esposto al transito di blocchi.



Figura 8.15: mappa della massima altezza rispetto alla topografia calcolata per cella.



Figura 8.16: mappa della massima velocità calcolata per cella.



Figura 8.17: mappa del *count* (numero cumulativo di transiti per cella) calcolato per l'intera area di studio.



Figura 8.18: mappa del count pesato per la probabilità di innesco.

Effetto della diversa suscettibilità all'innesco con lo stesso tipo di sorgente

Per ottenere la suscettibilità all'innesco per le simulazioni D ed E occorre effettuare delle operazioni di estrazione (*Extract by Mask*) ponendo come file di *input* i raster della suscettibilità all'innesco creati con i metodi euristico e deterministico e come "maschera" il raster delle sorgenti di crollo lineari. Tuttavia, mentre il primo raster (suscettibilità valutata con approccio euristico) si sovrappone perfettamente alle sorgenti lineari, questo può non succedere per il secondo file (suscettibilità valutata con approccio deterministico). Per poter assegnare una suscettibilità a tutte le celle, si è scelto quindi di attribuire la suscettibilità minima calcolata sull'intera area di studio a quelle celle che non possedevano l'informazione di suscettibilità per mancanza di perfetta sovrapposizione tra i raster. E' utile osservare che la distanza massima di espandimento, la velocità e l'energia dei blocchi non vengono influenzate dalla probabilità di innesco e sono quindi uguali nei tre modelli A, D, E.





Figura 8.19: mappe del *count* pesato per la probabilità di innesco delle sorgenti lineari. a) suscettibilità uniforme; b) suscettibilità valutata con approccio euristico; c) suscettibilità valutata con approccio deterministico.

Effetto del volume del blocco di progetto sull'energia cinetica

Il motivo per cui sono state impiegate solo le sorgenti lineari per le simulazioni col blocco di progetto maggiore (H, I, L) riguarda solo una questione di tempo: dovendo il calcolatore simulare un minor numero di traiettorie rispetto alle sorgenti areali, esso necessita di minor tempo computazionale. Inoltre, avendo cambiato unicamente la dimensione del blocco di progetto nel file di controllo, l'unico *output* di Hy-Stone che subisce delle modificazioni rispetto alle modellazioni precedenti è quello che descrive l'energia cinetica dei blocchi. Di seguito si confronta, dunque, l'effetto del diverso volume sull'energia cinetica massima (Fig. 8.20).





Figura 8.20: confronto tra l'energia cinetica massima calcolata con due diversi volumi del blocco di progetto.

Nel modello col volume minore, il numero di celle con energia superiore a 2500 kJ rappresenta l'11.8% del totale, mentre nel modello col volume di 0.9 m³ la percentuale sale al 48.5%. E' dunque lecito aspettarsi un incremento della pericolosità nell'area.

8.1 Valutazione della pericolosità: la procedura RHIV

La pericolosità indotta da crolli in roccia può essere definita come la "probabilità che un certo punto dello spazio sia interessato (colpito, attraversato) 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 (Fig. 8.21) 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.



Figura 8.21: 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.

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 (le cifre dell'indice RHI), 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 impediscesi fatto una classificazione (e zonazione) della pericolosità. Di conseguenza, l'indice RHI necessita di essere tradotto in un indice "sequenziale". Si introduce a questo punto 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*).

8.1.1 Riclassificazione dei parametri

Poiché i valori dei tre parametri sono caratterizzati da diverse dimensioni e ordini di grandezza, essi sono convenientemente 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 $0 < k \le 700, 700 < k \le 2500$ e $k \ge 2500$ 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 $0 < h \le 4, 4 < h \le 10$ e $h \ge 10$ 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 su un versante, almeno 5 "celle contribuenti" disposte secondo un pattern a "ferro di cavallo" siano necessarie per iniziare un effetto di incanalamento delle traiettorie (Fig. 8.22). Il numero di 5 celle contribuenti costituisce una condizione limite minima perché si verifichino effetti di incanalamento, definita ignorando altre eventuali celle contribuenti. 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 contribuente. 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 contribuente:

- 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.



Figura 8.22: schema di normalizzazione del valore del count: a sinistra caso di morfologia planare; a destra caso di incanalamento.

La riclassificazione dei parametri di ingresso (tabella 8.2) è finalizzata al possibile utilizzo delle mappe di pericolosità a fini di mitigazione.

-					
	Valore riclassificato	<i>c</i> (normalizzato)	k	h	
	-	-	(kJ)	(m)	
	1	< 10	≤ 700	≤ 4	
	2	10 - 50	700 - 2500	4 - 10	
	3	> 50	≥ 2500	≥ 10	

Tabella 8.2: schema di riclassificazione dei parametri utilizzato nella procedura per la valutazione della pericolosità.

I valori riclassificati dei parametri di ingresso c, $k \in h$ 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, $k \in h$. 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:

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

Poiché c, $k \in h$ 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.

La mappa finale della pericolosità è stata riclassificata in base ai valori calcolati del modulo del vettore RHV nelle seguenti tre classi:

- $1.732 \le |\text{RHV}| \le 3$: bassa pericolosità;
- $3 \le |RHV| \le 4.360$: media pericolosità;
- $4.360 \le |\text{RHV}| \le 5.196$: alta pericolosità.

È 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 alla pericolosità $(c, k \in h)$ è stata fatta secondo criteri oggettivi, una classificazione univoca della mappa finale di pericolosità è impossibile, poiché non esiste una definizione oggettiva di "alta", "media" e "bassa" pericolosità.

8.2 Applicazione della procedura RHIV

Per realizzare la carta finale di pericolosità per i diversi tipi di simulazione sono stati utilizzati i valori massimi di altezza ed energia cinetica in quanto rappresentano la situazione peggiore e quindi permettono di valutare lo scenario più conservativo. Siccome la mappa "grezza" calcolata applicando il metodo RHV può risultare eccessivamente frammentata e difficile da interpretare nella pratica, essa è stata "omogeneizzata" tramite analisi statistica distribuita (analisi dei primi vicini, *neighbourhood statistics*). I valori del modulo del vettore RHV ad ogni cella sono stati mediati con i valori delle celle "prime vicine", entro un raggio di 5 m (Fig. 8.23).



Figura 8.23: carta finale della pericolosità ottenuta mediando i valori delle celle vicine entro un raggio di 5 m. a) modellazione A; b) modellazione B; c) modellazione C.

Nel grafico seguente viene confrontata la frequenza areale (normalizzata rispetto all'area totale) dei valori di |RHV| calcolati nelle tre modellazioni sopra.



Figura 8.24: frequenza areale normalizzata dei valori di IRHVI delle modellazioni A, B e C.

Come si può osservare dal grafico, la situazione più conservativa è rappresentata dalla modellazione che considera le sorgenti areali derivate dalla riclassificazione della suscettibilità all'innesco valutata con approccio empirico/euristico.

Effetto del diverso tipo di sorgente di crollo sulla pericolosità

A parità di suscettibilità di innesco e di blocco di progetto, il parametro che più influisce sulla pericolosità è senza dubbio il numero di celle sorgenti da cui si fanno partire i blocchi. Questo implica, di conseguenza, un diverso valore del *count*, ovvero del numero di blocchi che transitano in ogni cella. In quest'ottica, confrontando le modellazioni A, F e G lo scenario più pericoloso risulta essere quello della modellazione G in quanto possiede il maggior numero di celle sorgenti, come dimostra anche il grafico di figura 8.26.



Figura 8.25: confronto tra le carte di pericolosità per il diverso tipo di aree sorgenti a parità di suscettibilità. a) modellazione A; b) modellazione F; c) modellazione G.



Figura 8.26: frequenza areale normalizzata dei valori di |RHV| delle modellazioni A, F e G.

Effetto della diversa suscettibilità all'innesco sulla pericolosità

A parità di blocco di progetto e di tipologia di area sorgente, lo scenario meno pericoloso è quello in cui la suscettibilità all'innesco è stata valutata con l'approccio deterministico. Con esso, infatti, la suscettibilità presenta valori minimi molto minori di quelli stabiliti euristicamente (4% contro il 50%) i quali influiscono enormemente sul contributo del *count* pesato nella valutazione della pericolosità. Le mappe di pericolosità della figura 8.27 si riferiscono alle modellazioni con sorgenti lineari e con blocco di progetto di 0.9 m³.



Figura 8.27: confronto tra le mappe di pericolosità per il diverso grado di suscettibilità all'innesco per le sorgenti lineari e con volume del blocco di progetto pari a 0.9 m^3 : a) uniforme; b) valutato con approccio euristico; c) valutato con approccio deterministico.



Figura 8.28: frequenza areale normalizzata dei valori di IRHVI delle modellazioni H, I e L.

Confrontando queste tre simulazioni, i valori di |RHV| della modellazione L (sorgenti lineari con suscettibilità all'innesco valutata con approccio deterministico) risultano inaccettabili per un utilizzo pratico della mappa di pericolosità.

Effetto del volume del blocco di progetto sulla pericolosità

Come si poteva facilmente intuire, aumentando il volume del blocco di progetto a parità di tipo di area sorgente e di suscettibilità all'innesco si assiste anche ad un evidente aumento della pericolosità nell'area (Fig. 8.29). Questo è causato dal maggior contributo dell'energia cinetica nel calcolo dell'"indice" di pericolosità RHV.



Figura 8.29: confronto tra le mappe di pericolosità per i due diversi volumi dei blocchi di progetto; modellazioni A e H rispettivamente.



Figura 8.30: frequenza areale normalizzata dei valori di |RHV| delle modellazioni A e H.

8.2.1 Esempio di valutazione della pericolosità lungo un profilo

Le mappe di pericolosità ottenute possono anche essere utilizzate per valutare la pericolosità lungo elementi lineari (strade, *lifelines*, ecc.). A questo proposito si riporta un esempio di valutazione della pericolosità lungo la strada secondaria sterrata che conduce alla Galleria Oleodotto Transalpino. Il valore di *l*RHV*l* calcolato per le modellazioni H, I ed L è stato campionato dalla mappa di pericolosità (omogeneizzata con l'analisi dei primi vicini) lungo il tracciato stradale (circa 690 m) e rappresentato in grafico rispetto alla distanza progressiva, misurata lungo lo sviluppo della strada dalle quote più basse a quelle più elevate. I valori di *l*RHV*l* massimo e medio, campionati ogni 4 m, consentono di valutare in modo puntuale la pericolosità massima lungo la strada. Oltre a *l*RHV*l* vengono riportati anche i valori massimi e medi dei parametri che contribuiscono alla valutazione della pericolosità (*count*, altezza, energia cinetica). Una valutazione di questo tipo può essere utile per ottimizzare le risorse per il mantenimento e la protezione delle infrastrutture viarie.



Figura 8.31: percorso della strada esaminata sul LIDAR 3D.









Grafici relativi alla pericolosità valutata per la modellazione I







Grafici relativi alla pericolosità valutata per la modellazione L





Come si può vedere dai grafici, sono soprattutto altezza ed energia cinetica che contribuiscono in modo significativo ad innalzare la pericolosità negli ultimi 100 m del tracciato stradale. Secondo il modello, la rete deformabile (alta 3 m e capace di assorbire fino a 3000 kJ, figure 8.32 e 8.33)

installata nei pressi del sentiero CAI 402A che transita circa 40 m sopra l'ingresso della galleria non è in grado di arrestare la caduta dei blocchi in modo efficace.



Figura 8.32: foto della rete paramassi scattata dal sentiero.



Figura 8.33: ingresso della galleria della SIOT con la rete paramassi a protezione del sito.

9 Modellazione pseudo-3D dell'area di Timau: Conefall

Per la modellazione della caduta massi nell'area oggetto di studio con l'approccio del "cono d'ombra" è stato utilizzato un modello digitale di elevazione (DEM) creato dalla Protezione Civile del Friuli-Venezia Giulia avente una risoluzione spaziale di 2 m. Il DEM è costituito da 848978 celle, pari a un'area di circa 3.4 km². Come file delle aree sorgenti si sono utilizzate le sorgenti lineari mappate attraverso la fotointerpretazione e l'analisi del LIDAR. Questo file è costituito da 7001 celle, pari ad un'area di 0.028 km². Come angoli del cono si sono scelti due valori, 28° e 33.5°, ovvero gli angoli ricavati da Onofri e Candian sulla base delle analisi statistiche della propagazione dei blocchi in seguito al terremoto del 1976 in Friuli. Tali angoli corrispondono rispettivamente al 100% e al 50% degli arresti. Occorre specificare che questi valori sono stati calibrati per le pareti interessate dai terremoti localizzate soprattutto nelle aree di Venzone e Gemona. All'angolo di apertura orizzontale del cono è stato assegnato un range di $\pm 15^{\circ}$. Per poter avviare la modellazione specificando qualsivoglia range di apertura del cono è necessario che il file delle aree sorgenti contenga l'informazione relativa all'esposizione. Perciò, il file vettoriale delle sorgenti lineari è stato dapprima convertito in formato raster in ArcGIS. Successivamente, è stata effettuata un'operazione di estrazione (con la funzione Extract by Mask) ponendo come file di input la carta dell'esposizione (aspect) dell'intera area e come maschera il raster delle sorgenti lineari.



Figura 9.1: file di input per la modellazione in Conefall: DEM LIDAR e sorgenti di crollo lineari.


Figura 9.2: frequenze di transito dei blocchi ottenute in Conefall con due diversi angoli del cono e con un range di apertura del cono di $\pm 15^{\circ}$.

Occorre specificare che i risultati della figura 9.2 non rappresentano il numero di blocchi che transitano per ciascuna cella del DEM come per Hy-Stone, ma il numero di celle sorgenti contribuenti, quindi un "proxy" della probabilità di propagazione.

I risultati mostrano chiaramente i limiti del metodo del cono d'ombra definito per la zona di distacco se applicato a casi di pareti particolarmente alte. Infatti, a causa dell'eccezionale elevazione delle pareti rocciose di Timau, l'area potenzialmente interessata da crolli risulta

essere irrealisticamente larga, simulando anche la risalita fittizia dei blocchi sul versante opposto alle sorgenti di distacco.

Per il calcolo dell'energia cinetica è stato assegnato alla massa media del blocco un valore di 300 kg (corrispondente al volume modale del catalogo dei blocchi rilevati moltiplicato per una densità di 2600 kg/m³). Le mappe dell'energia cinetica massima (Fig. 9.3) mostrano che i valori più elevati (> 700 kJ) si riscontrano nella zona in cui si hanno le altezze maggiori.



Figura 9.3: energia cinetica massima ottenute in Conefall con due diversi angoli del cono e con un range di apertura del cono di $\pm 15^{\circ}$. La massa media del blocco è di 300 kg.

9.1 Valutazione della pericolosità

Per ottenere una carta di pericolosità derivante dagli *output* di Conefall si esegue un procedimento simile a quello descritto per Hy-Stone. In questo caso, mancando la misura dell'altezza, si combinano tra loro solo energia cinetica e probabilità di propagazione. L'indice di pericolosità deriva quindi da una matrice 2D.

La probabilità di propagazione è stata normalizzata rispetto al numero di celle sorgenti complessive (7001) e poi classificata tra i valori <1, 1-10 e >10. L'energia cinetica è stata classificata tra i valori 0 - 300 kJ, 300 - 700 kJ e 700 - 2500 kJ.

A questo punto, per ottenere la carta di pericolosità, è necessario dapprima riclassificare i nuovi valori: la probabilità di propagazione (p_p) avrà dunque i valori 1, 2 3, rispettivamente, e l'energia cinetica (e_c) avrà i valori 10, 20 e 30, rispettivamente. In un secondo tempo, si sommano i due file raster e si attribuisce l'indice di pericolosità (colonna "vector" nella tabella 9.1) calcolato con la seguente formula:

"vector" =
$$\sqrt{p_{p}^{2} + e_{c}^{2}}$$

Valore	Рр	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

Tabella 9.1: valore dell'indice di pericolosità calcolato per le diverse combinazioni di frequenza e energia cinetica.



Figura 9.4: carte di pericolosità ottenute con l'approccio del cono d'ombra. a) $\varphi=28^\circ$; b) $\varphi=33.5^\circ$.

In generale, si può affermare che l'approccio del cono d'ombra eseguito con i valori degli angoli di Onofri e Candian risulta essere inadatto per la valutazione quantitativa della pericolosità in questa zona. Gli svantaggi di questo metodo riguardano infatti la necessità di avere angoli del cono già calibrati per ciascun sito e l'impossibilità di assegnare la suscettibilità di innesco a ciascuna cella. Una soluzione potrebbe essere appunto quella di effettuare diverse simulazioni calibrando appositamente gli angoli del cono.

Vale la pena notare che, nonostante i limiti di questo metodo, una delle due zone delimitate dalla pericolosità più elevata risulta essere caratterizzata dalla presenza delle opere di difesa attuali.

10 Modellazione 2D dell'area di Timau: RocFall

RocFall (Stevens, 1998) è un programma di analisi statistica elaborato per la valutazione del rischio di crollo lungo un pendio e per la progettazione delle opere difensive. Il programma adotta un metodo di calcolo ibrido dove la massa dei blocchi viene trattata come puntiforme (*lumped mass*) nelle equazioni di moto e come dotata di dimensione nel calcolo delle energie e dei coefficienti di restituzione lungo il pendio. Il programma consente di analizzare in modo probabilistico le traiettorie e le energie prodotte dai massi durante la caduta a valle, tenendo presente l'elevata complessità che si riscontra nella realtà. E' infatti difficile, se non impossibile, prevedere il percorso di un blocco di roccia di cui non sono noti a priori dimensione e forma e che rotola lungo un pendio non riproducibile in maniera dettagliata e continuamente in evoluzione. Quello che si può valutare è il comportamento medio determinato attraverso la simulazione di un grande numero di scendimenti, ciascun dei quali possa fornire l'informazione relativa ad un percorso medio e più probabile tra tutti quelli fisicamente ammissibili, rinunciando così ad effettuare previsioni di tipo deterministico. I parametri di calcolo (topografia, coefficienti di restituzione, volume del blocco roccioso e quantità di simulazioni eseguite) vengono trattati in modo probabilistico facendoli oscillare in un intervallo prestabilito.

I vantaggi della modellazione 2D possono essere così elencati:

- semplice implementazione del profilo del pendio;
- semplice visualizzazione delle traiettorie di impatto e rimbalzo;
- possibilità di caratterizzare le proprietà dei materiali sul campo lungo il profilo;
- possibilità di eseguire modelli stocastici;
- possibilità di simulare la presenza di strutture difensive.

Gli svantaggi riguardano l'impossibilità di considerare gli effetti tridimensionali e la difficoltà di interpolazione tra diversi profili.

Relativamente all'area di studio sono stati considerati tre profili tracciati in modo tale da rappresentare tre dei percorsi di discesa più probabili che partono dalla Creta di Timau e raggiungono il paese intersecando i tre sistemi vallo-rilevato costruiti (Fig. 10.1). Per ciascun profilo sono state eseguite due modellazioni: una con le opere di difesa attuali e una senza opere di difesa. In quest'ultimo caso il profilo originario è stato ricostruito manualmente tentando di ripristinare la pendenza media del talus.

I valori della quota lungo i profili sono stati campionati ogni 2 metri. In ogni modellazione i segmenti di distacco (*seeders*) considerano praticamente tutta la parete rocciosa.



Figura 10.1: ubicazione dei tre profili lungo cui è stata effettuata la modellazione 2D.

I parametri delle simulazioni sono stati specificati come segue:

- 1000 blocchi lanciati con la stessa probabilità da ciascun *seeder* secondo un approccio casuale;
- volume dei blocchi pari a 0.9 m³ (circa 2300 kg);
- velocità orizzontale di partenza pari a 1.5 m/s con deviazione standard pari a 0.1;
- coefficiente di restituzione normale (R_n) scalato per la velocità, con K = 9.144 m/s.

Il concetto che sta alla base del coefficiente di restituzione normale scalato è quello secondo cui il valore di R_n dipende dalla velocità del blocco. Per esempio, a basse velocità ci si potrebbe aspettare che un blocco rimbalzi sull'erba, mentre ad alte velocità esso potrebbe rimanere parzialmente "incastrato" nel terreno prima di rimbalzare, oppure potrebbe iniziare a frantumarsi. In questi casi il valore effettivo di R_n dovrebbe essere minore a velocità elevate, e questo è ciò che intende descrivere l'equazione seguente:

$$R_n(scaled) = R_n * scaling factor$$

Il coefficiente di restituzione normale viene quindi scalato per la quantità:



dove V_{rock} è la velocità del blocco subito prima dell'impatto sul versante misurata perpendicolarmente allo stesso e *K* è la velocità corrispondente ad un fattore di scalatura di 0.5.

Pfeiffer e Bowen (1989) spiegano il significato dello *scaling factor* come un "*passaggio da* condizioni quasi elastiche a basse velocità a condizioni fortemente anelastiche causate dall'incremento della fatturazione della roccia e del numero di crateri da impatto sul versante a velocità elevate".

Il valore di base della costante K è stato ricavato empiricamente dagli autori e corrisponde all'equivalente metrico di 30 ft/s.

I coefficienti di restituzione valutati appartengono a tre principali tipi di materiale: roccia calcarea, talus vegetato e terreno di riporto per un rilevato in terra.

	Rn	Rt	Phi	Dev. Std.
roccia	0.53	0.99	30	0.04; 0.04; 2
talus vegetato	0.32	0.85	25	0.1; 0.1; 0
rilevato	0.2	0.7	25	0.1; 0.1; 0

Tabella 10.1: valori dei coefficienti di restituzione normale (Rn) e tangenziale (Rt), dell'angolo di attrito (Phi) e delle rispettive deviazioni standard dei materiali inseriti nella modellazione 2D con RocFall.

Per ogni simulazione saranno illustrati i profili di simulazione e i grafici relativi alla posizione dei punti di arresto. Successivamente verrà implementata la procedura RHAP per la zonazione della pericolosità.

PROFILO n. 1

Lunghezza profilo: 660 m Dislivello: 500 m



Figura 10.2: profilo degli scendimenti e grafico dei punti di arresto del profilo 1 con il rilevato.



Figura 10.3: profilo degli scendimenti e grafico dei punti di arresto del profilo 1 senza il rilevato.

PROFILO n. 2

Lunghezza profilo: 690 m Dislivello: 620 m



Figura 10.4: profilo degli scendimenti e grafico dei punti di arresto del profilo 2 con il rilevato.



Figura 10.5: profilo degli scendimenti e grafico dei punti di arresto del profilo 2 senza il rilevato.

PROFILO n. 3

Lunghezza profilo: 650 m Dislivello: 600 m



Figura 10.6: profilo degli scendimenti e grafico dei punti di arresto del profilo 3 con il rilevato.



Figura 10.7: profilo degli scendimenti e grafico dei punti di arresto del profilo 3 senza il rilevato.

10.1 Valutazione della pericolosità: la procedura RHAP

La Regione Lombardia, a partire dall'anno 2000, ha sviluppato due metodologie per la zonazione della pericolosità legata ai crolli in roccia: una prima, per crolli di singoli massi o per crolli di volumetria massima pari a 1000 m³, una seconda per i crolli in massa (da 1000 m³ fino a migliaia di m³). In questo lavoro per la zonazione della pericolosità è stato utilizzato il primo metodo, denominato RHAP (*Rockfall Hazard Assessment Procedure*).

La procedura si sviluppa in più fasi:

A. Individuazione dei settori di parete rocciosa potenzialmente origine di crolli e delimitazione di aree omogenee in funzione di:

- caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso;
- morfologia del versante lungo le traiettorie di discesa;
- caratteristiche del blocco di progetto;
- presenza di opere di difesa.

B. Simulazione numerica

A partire dai dati di terreno si determinano i parametri per la modellazione numerica del fenomeno; tra i principali:

- la zona di partenza dei blocchi;
- il volume dei massi;
- la forma dei massi;
- i coefficienti di restituzione;
- la rugosità del terreno;
- il numero di simulazioni.

Essendo questa analisi di tipo probabilistico, è necessario effettuare numerose simulazioni di caduta (almeno 1000 cadute per ogni traiettoria).

C. Zonazione longitudinale preliminare

In base ai risultati delle analisi di rotolamento, si esegue la zonazione delle traiettorie definendo:

A: la zona di transito e arresto del 70% dei blocchi simulati

B: la zona di arresto del 95% dei blocchi

C: la zona 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.

D. Determinazione della pericolosità relativa

Alle zone sopra identificate viene assegnata una classe di pericolosità relativa:

- ZONA A: pericolosità 4
- ZONA B: pericolosità 3
- **ZONA C**: pericolosità 2

In aggiunta, si può definire una zona a pericolosità 1 (qui non definita) per le distanze maggiori a quelle raggiunte dal blocco di dimensioni maggiori o sulla base dei crolli reali precedentemente avvenuti.

E. Determinazione della probabilità di accadimento

Il passo successivo è la valutazione della probabilità di accadimento del fenomeno per ciascuna delle aree omogenee identificate al punto A., sulla base della propensione al distacco di blocchi. A tale scopo si suddivide la parete in maglie di lato compreso tra 5 e 20 m in relazione alla complessità geomeccanica dell'area.

Per ciascuna maglia deve essere verificata la presenza dei seguenti elementi di instabilità:

- fratture aperte con evidenze di attività associate ai cinematismi possibili
- blocchi ruotati
- zone intensamente fratturate
- superfici non alterate (probabili blocchi recenti)
- emergenza di acqua alla base dei blocchi

Per ognuna delle maglie della griglia viene indicato il numero di elementi di instabilità presenti; per ogni area viene poi calcolata la percentuale di attività in relazione al massimo ottenibile (dando a ciascuna maglia il valore 5). In base alle percentuali così ricavate, le aree omogenee vengono raggruppate in gruppi a pericolosità alta, media o bassa. La procedura non riporta percentuali di riferimento assolute per evitare che la maggior parte delle aree omogenee risulti avere lo stesso valore di pericolosità impedendo la zonazione. Esiste un'indicazione metodologica che prevede che per le aree con percentuali inferiori al 10% non si proceda alla zonazione della pericolosità.

F. Zonazione finale della pericolosità

La zonazione finale è definita utilizzando delle classi di pericolosità (elencate al punto D.), che vengono aumentati di 1, mantenuti costanti, o diminuiti di 1 a seconda che le pareti sovrastanti appartengano ai gruppi di pericolosità alta, media o bassa. Si possono così avere in totale 5 classi di pericolosità, da H1 a H5.

10.2 Applicazione della procedura RHAP

Considerata la distribuzione spaziale dei dati a disposizione, nel caso in esame si è scelto di operare con la maglia di dimensione 20*20 metri.

La probabilità di accadimento dell'area omogenea è pari al 18% e viene considerata di grado medio. Di conseguenza, la zonazione della pericolosità non viene aumentata e si mantiene quella ricavata dalle percentuali di arresto.



							-								
Dati area omogenea	a						I							1	1
estensione laterale 2	260 m			1	1	2		1	1	2	1		2		
dislivello 1	00 m	Г		-	-			-							-
			2	1	2	1		1	2	2	2	1	2	2	
massimo ottenibile	250	-	4	4	4	4					4	4	0	4	0
sommatoria	45		I	I	I	I					I	I	2	I	2
% attività	18		1	1			1	1							

Figura 10.8: foto della parete indagata e sua schematizzazione con valutazione dell'attività relativa.

Nel simulare la caduta massi si nota come certi blocchi non arrivino nemmeno alla fine del talus vegetato. Di conseguenza la presenza dei rilevati non influisce più di tanto sulla distanza di arresto dei blocchi e quindi non c'è una sostanziale differenza di zonazione nei due casi (Fig. 10.9). È importante ricordare che la simulazione bidimensionale della caduta massi dipende fortemente dalla scelta del percorso di discesa lungo cui si intende effettuare la modellazione, dalla topografia del versante ("rugosità" del LIDAR), dai coefficienti di restituzione e angolo di attrito assegnati ai materiali, dal numero di blocchi lanciati e dalla natura probabilistica della

modellazione (intervalli di variazione dei parametri). Alla luce di quanto detto non si ritiene affidabile la zonazione della pericolosità effettuata, specialmente nel caso di assenza di rilevati.



Figura 10.9: zonazione della pericolosità secondo la procedura RHAP. A) con le opere di difesa; B) senza opere.

11 Conclusioni

Alla luce dei risultati delle diverse modellazioni di crollo e della successiva valutazione della pericolosità si possono fare diverse osservazioni rilevanti.

In generale, possiamo dire che i risultati più attendibili e soddisfacenti derivano dalla modellazione con Hy-Stone. La pericolosità ottenuta col metodo RHV dipende fortemente dalla tipologia di aree sorgenti, dalla suscettibilità all'innesco e dal volume del blocco di progetto. Le modellazioni condotte con le sorgenti di crollo lineari (mappate attraverso analisi LIDAR e fotointerpretazione) risultano inadatte ad una valutazione quantitativa della pericolosità poiché le celle sorgenti sono insufficienti e non rappresentative come numero. Al contrario, troppo elevato è il numero delle celle sorgenti derivanti dalla riclassificazione della suscettibilità all'innesco valutata con l'approccio deterministico in quanto forse sovrastimano troppo la pericolosità nell'area. Da questo punto di vista si ritiene che i risultati più accettabili derivino quindi dalle modellazioni nelle quali la suscettibilità è stata valutata con approccio empirico/euristico. Occorre far notare, comunque, che quest'ultimo metodo rimane in parte fortemente soggettivo e legato all'esperienza di ogni singolo operatore nel riconoscere le evidenze di crollo. Alla luce di quanto detto, un valido compromesso per ottenere risultati significativi potrebbe essere il filtraggio delle sorgenti ottenute con approccio deterministico secondo una certa soglia di pendenza (per esempio 50°). Questo equivarrebbe in pratica ad eseguire l'analisi cinematica spazialmente distribuita con SlopeMap con angoli di attrito maggiori dei 30° utilizzati. Per quanto riguarda il blocco di progetto, si ritiene valido il procedimento adottato per la caratterizzazione del volume massimo (0.9 m^3) e poco rappresentativo quello minimo (0.12 m^3) . In futuro potrebbe risultare utile l'applicazione di rilevamenti con laser scanner terrestri per poter caratterizzare in maniera ancor più dettagliata e affidabile il volume roccioso medio delle diverse porzioni di pareti rocciose ritenute omogenee. Questo consentirebbe di simulare il crollo di blocchi con diverso volume in ciascuna zona omogenea e renderebbe in tal modo più diversificata e forse più verosimile la modellazione. Inoltre, giocano un ruolo importante anche i valori dei parametri di restituzione: l'uso di un coefficiente di restituzione normale troppo esiguo rispetto a quello tangenziale può inficiare la propagazione dei blocchi facendo perdere molta energia agli stessi a seguito dei primi impatti sul versante. In quest'ottica, risulta più verosimile per esempio per una roccia adottare valori dei coefficienti normale e tangenziale pari a 0.5 e 0.8 rispettivamente, anziché 0.3 e 0.9.

I problemi della modellazione pseudo-3D con Conefall riguardano soprattutto la non idoneità degli angoli del cono di Onofri e Candian con l'area di Timau. Le simulazioni eseguite con questi angoli tendono infatti a sovrastimare l'area potenzialmente interessata da crolli anche a causa dell'eccezionale elevazione delle pareti rocciose della Creta di Timau. Una soluzione a questo problema potrebbe essere una paziente calibrazione degli angoli del cono. In ogni caso, l'approccio del cono d'ombra è da considerarsi come l'ultimo dei metodi da adottare per la valutazione della propagazione dei blocchi.

Anche i risultati della modellazione 2D con RocFall non sono esenti da diversi problemi di significatività: le simulazioni eseguite hanno portato ad un risultato simile per quanto riguarda le distanze di arresto dei blocchi (endpoints) e la conseguente zonazione di pericolosità in presenza o assenza delle strutture di difesa passiva. Si ritiene che tale sospetta somiglianza derivi da una questione di "rugosità" del DTM: il campionamento della quota ogni 2 metri permette sì una maggiore accuratezza, ma può portare anche a considerare eventuali "barriere" fittizie dovute alla risoluzione del DTM; d'altra parte, un campionamento più spaziato, per esempio ogni 5 metri, ridurrebbe questo inconveniente ma presenterebbe problemi qualora si intendesse considerare nella simulazione la presenza di opere come i rilevati di Timau in cui si intende far risaltare l'efficacia in altezza piuttosto che in estensione orizzontale. In ogni caso, i risultati di una modellazione 2D dipendono anche dall'accuratezza con cui si scelgono i percorsi di discesa, ovvero quelli teoricamente più probabili. Il discorso fatto per Hy-Stone relativamente ai parametri di restituzione è valido anche per la modellazione 2D: a causa dei valori troppo bassi dei coefficienti normali alcuni blocchi possono non avere l'energia sufficiente per superare i difetti provocati dalla "rugosità" del DEM. La soluzione di queste questioni permetterebbe anche di effettuare un valido confronto tra i metodi più comunemente applicati nella zonazione della pericolosità (metodi RES, RHAP, MATTEROCK).

È chiaro che la qualità dei risultati di qualsiasi modellazione della propagazione di fenomeni pericolosi come i crolli dipende molto dalla completezza e attendibilità dei dati iniziali. In ogni caso vale la pena sottolineare che nessun approccio di modellazione è perfetto in quanto ciascun metodo è adatto per determinate combinazioni di obiettivi e scala di lavoro.

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.

Baillifard, F., Jaboyedoff, M., Sartori, M., 2003. Rockfall hazard mapping along a mountainous road in Switzerland using a GIS-based parameter rating approach. Natural Hazards and Earth System Sciences 3, 431–438.

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).

Comune di Paluzza (1990): Studio con soluzioni esecutive sugli interventi di difesa da pericoli idrogeologici e valanghe, Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia.

CONEFALL 1.0 User's Guide. Open report – Soft 01, Quanterra. www.quanterra.org. 15p. 2003.

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.

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.

Jaboyedoff M.: Design of a pseudo-3D topographic analysis computer program: COLTOP-3D. Project Proposal, PROJECT – 01, 2003, Quanterra. 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.

Jaboyedoff M., Couture R., Locat P.: Structural analysis of Turtle Mountain (Alberta) using digital elevation model: Toward a progressive failure. Geomorphology 103 (2009) 5–16.

Manca P., Kranitz F., Oberti S., Piano C. (2006): Analisi del dissesto da frana in Friuli Venezia Giulia. Rapporto IFFI.

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.

Pfeiffer, T.J., and Bowen, T.D., (1989): Computer Simulation of Rockfalls. Bulletin of the Association of Engineering Geologists Vol. XXVI, No. 1, 1989 p 135-146.

Priest S. D. and Hudson J. A. Discontinuity spacings in rock. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. 13, 135-148 (1976).

Stevens W., 1998. Rocfall: a tool for probabilistic analysis, design of remedial measures and prediction of rockfalls. M.A.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Toronto, Ontario, Canada, 105p.

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.

Moduli delle opere di difesa

				Ν	IODULO DI RIL	EVAMENT	O OPERE	DI DIFESA PARAMAS	SI				
Provincia	UDINE Comune	TIMAU		ID opera		1 Inventario	FVG <mark>(SI / NC</mark>) SI	Rilev	/atore		DATA	20/03/2010
						INFORM	AZIONI GENE	RALI					
Scala di rilevan	nento 2500				Cartogra	fia di riferimento	CTR				Progressivo foto	1975/85 .	AV, 1366-1367 AC
	Ubicazione dell'opera (1)	3	NOTE	MEDIO TALUS	3								
	lipologia dell'opera (2)	4,5,7,8	NOTE	RETE NON EL	ASTICA CON PANNE	LLI ASM + MAGL	IA ESAGONA	LE 7 ORDINI DI GABBIONI			ATTRIBU	Л	
	Quota manima (m. s.i.m.)									(4)	1. Davata reaciena (indicare alterra	indiantiu	a dalla hasa)
	Bestituzione grafica dell'onera	Puntualo		Lineare		Areale	×	-		(1)	2: Canale / implusio (indicare large	779/0070	a ualla base)
	Resultizione granca den opera	Funtuare		Lineare		Areale	^				3: Talue (indicare nezzatura/nendenz	-22a/Sezii	ione)
			CADATTE			F					4: Base del talus (indicare periodenza	locale e	distanza da base)
			CARATTER	ISTICIL DEL	LA ZONA JONOLNI						5: Fondovalle	locale e	
	Tipologia dell'opera (3)		NOTE								5. Tondovane		
	Estensione massima (m. m2)		NOTE						_	(2)	1: Barriera paramassi rigida (in ler	iname o r	utrelle metalliche)
	Evidenze di attività (SI / NO)	NO	SCRIZIONE						_	(/	2: Barriera elastica a hasso assorbi	mento (nali metallici e nannelli rete)
	2: Darliera elassica a basso assorbimento (par metanici e parimet												to (con controventi e freni)
				4: Barriera deformabile - alto asso	rhimento	(+ nannelli n ASM)							
					5: Muro in gabbioni (metallici riema	iti di nieti	ame - NOTE: indicare numero)						
			CAR			6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spe	sore indi	cativo e particolari)					
				7: Vallo paramassi (in scavo)									
	Materiali costruttivi (4)	42	NOTE								8: Bilevato paramassi (in rilevato/rir	orto)	
	State di efficienza (5)	3,2	NOTE			Efficacia (5)		3			o. Interne paramasa (in increasion)	,0110)	
	Descrizione dei danni		HOIL			Lineacia (b)		5	_		9: Rete metallica in aderenza (mar	ulia esano	nale a donnia torsione)
-									-		10: Rete metallica armata in adere	nza (+ a	matura in fune metallica)
DIMENSIONI	Lunghezza (m)			TIPO ELEM	ENTLA RISCHIO (6)		QUANTITA'		_		11: Pannelli di fune metallica in ad	erenza	(maglia quadrata con rinforzi)
	l arghezza media base (m)				(-/				-		12: Chiodature-bullonature-legature	(snecific	care tinn)
	l arghezza media sommità (m)								-		3	(
	Altezza/prof. minima (m)								-	(3)	1: Parete rocciosa continua molto	fratturata	
	Altezza/prof. media (m)	10 (7+3)		-					-	(-)	2: Parete rocciosa continua media	mente fr	- atturata
	Altezza/prof. massima (m)										3: Affioramenti discontinui		
	Superficie (m2)						-				4: Rimobilizzazione da coperture	letritiche	
											5: Rimobilizzazione da nicchia o co	orpo di fr	ana
· · ·											6: Altro (indicare)		
	4			ANNOTAZION	I E DISEGNI								
OPERA DI INGE	GNERIA NATURALISTICA: RETE A	MAGLIA ESA	GONALE A D	OPPIA TORS	IONE CON SOTTO UN	A BIORETE IN FI	BRE DI COCC	0;		(4)	1: Legname	(5)	1: Pessimo
POCHE TALEE H	ANNO ATTECCHITO										2: Metallo		2: Discreto
LARGHEZZA VA	LLO> 15 m						and the second second	I			3: Terra		3: Ottimo
IL MURO DI CON	ITENIMENTO DEL RILEVATO è IN T	ERRA ARMAT	ΓA .		DHA		C. J. S.		1000		4: Terra armata/rinforzata		
				28		town the state	Start - Tom				5: CA		
							12 Star		1	1			
				1111			and the second		Sec. 1	(6)	1: Edifici residenziali (indicare num	ero e con	sistenza)
				- AL	A State		1 States				2: Edifici industriali (indicare numer	o e consi	stenza)
				5 3		and a state	1900000		S.		3: Edifici di interesse pubblico (es.	scuole, c	(spedali)
						15	1. Standing	221 Mar.		1	4: Strade (indicare lunghezza tratto	e calibro)	
					A REAL PROVIDE	Constant of	- 22			1	5: Ferrovie (indicare lunghezza tratti	o e nume	ro binari)
				Sec. 1	THE REAL PROPERTY		500 200	La Martine La	8		6: Infrastrutture tecnologiche		
					The same and the same	A CARLER	N-14-14-	The second second	1		7: Altro (indicare)		

						MODULO DI RIL		O OPERE	DI DIFESA PARAMAS	SI				
Provincia	UDINE	Comune	TIMAU		ID opera	2 e 3	Inventario	FVG (<mark>SI / NO</mark>) Sì	Rilev	atore		DATA	20/03/2010
							INFORM							
							INFORM	AZIONI GENE	RALI					
Scala di rilovan	ento	2500				Cartograf	ia di riferimento	CTR		_		Progressive fot	0 2086/98 AV	/ 1371/1374 AC
Scala ul mevan	iento	2000				canogra		CIR				Filigressive for	0 2000/30 A	v, 13/1/13/4 AC
	Ubicazione d	lell'opera (1)	3	NOTE	MEDIO TALU	S								
	Tipologia d	lell'opera (2)	1.5.7	NOTE	RETE RIGIDA	CON PANNELLI ASM	E RETE A MAGL	IA ESAGONA	LE A DOPPIA TORSIONE			ATTRI	BUTI	
	Quota minim	na (m. s.l.m.)					1							
	Quota massim	1a (m. s.l.m.)									(1)	1: Parete rocciosa (indicare altez	za indicativa	dalla base)
	Restituzione grafic	a dell'opera:	Puntuale		Lineare		Areale	х				2: Canale / impluvio (indicare largi	nezza/sezion	e/pendenza)
												3: Talus (indicare pezzatura/penden	za/vegetazio	ne)
				CARATTER	RISTICHE DEI	LLA ZONA SORGENTI	E					4: Base del talus (indicare pendenz	a locale e di	stanza da base)
												5: Fondovalle		
	Tipologia d	lell'opera <mark>(3)</mark>		NOTE										
	Estensione mass	sima (m, m2)		NOTE							(2)	1: Barriera paramassi rigida (in l	egname o pu	trelle metalliche)
	Evidenze di atti	vità (SI / NO)	NO	SCRIZIONE	POCHISSIMI	BLOCCHI						2: Barriera elastica a basso assor	bimento (pa	li metallici e pannelli rete)
												3: Barriera deformabile - medio a	ssorbimento	o (con controventi e freni)
												4: Barriera deformabile - alto ass	orbimento (+ pannelli o ASM)
										_		5: Muro in gabbioni (metallici rien	npiti di pietrar	me - NOTE: indicare numero)
				CAR				6: Muro in c.a. (NOTE: indicare sp	essore indica	ativo e particolari)				
												7: Vallo paramassi (in scavo)		
	Materiali	costruttivi (4)	4,2	NOTE		8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)								
4	Stato di e	efficienza <mark>(5)</mark>	3	NOTE			Efficacia (5)		3					
~	Descrizio	ne dei danni						1		-		9: Rete metallica in aderenza (ma	aglia esagona	ale a doppia torsione)
										_		10: Rete metallica armata in ader	enza (+arm	natura in fune metallica)
DIMENSIONI	Lu	nghezza (m)			TIPO ELE	MENTI A RISCHIO (6)		QUANTITA'	ABITATO DI TIMAU			11: Pannelli di fune metallica in a	iderenza (m	naglia quadrata con rinforzi)
	Larghezza me	dia base (m)				8						12: Chiodature-bullonature-legatu	re (specifica	re tipo)
	Larghezza media	sommită (m)								_	-			
	Altezza/prot.	. minima (m)								_	(3)	1: Parete rocciosa continua molto	o fratturata	10.00 x 100
	Alterna / wasf	n. media (m)								_		2: Parete rocciosa continua medi	amente frat	turata
	Anezza/prol. I	massima (m)								-		3: Amoramenu disconunui	detritiche	
	Sup	enicie (iliz)				10	-			-		4. Rimobilizzazione da nicchia o	corno di fra	na
												6: Altro (indicare)	corpo ur nu	
					ΔΝΝΟΤΔΖΙΟΙ							or rune (marsure)		
OPERA DI INGE	GNERIA NATURALISTI	CA: RETE A M	1AGLIA ESAG	GONALE A I	DOPPIA TORS	SIONE CON SOTTO UN	A BIORETE IN FI	BRE DI COCC	O:POCHE TALEE HANNO ATTEC	СНІТО	(4)	1: Legname	(5) 1	: Pessimo
											(.)	2: Metallo	2	: Discreto
L'OPERA 3 è SIN		HA IL MURO D		ENTO								3: Terra	3	: Ottimo
									-			4: Terra armata/rinforzata		
							5.00	- De	-			5: CA		
						-	THE .	de la	- sealer to the					
							AL DECK		The Maria		(6)	1: Edifici residenziali (indicare nu	mero e consi	stenza)
									PR Strand			2: Edifici industriali (indicare num	ero e consist	enza)
												3: Edifici di interesse pubblico (es	s. scuole, os	pedali)
										4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)				
												5: Ferrovie (indicare lunghezza tra	tto e numero	binari)
							1 - Frederick	and the second				6: Infrastrutture tecnologiche		
								Active States				7: Altro (indicare)		

					I	MODULO DI RIL	EVAMENT	O OPERE	DI DIFESA PARAMASS	l						
Provincia	UDINE	Comune	TIMAU		ID opera	4	4 Inventario	FVG (SI / NO)	NO	Rilevator	e DATA 22/03/2010					
		1					INFORMA	AZIONI GENER	ZALI							
		0500				C		070								
Scala di rilevam	iento	2500				Cartografi	la di riferimento	CIR			Progressivo toto 1999-2000-2001-2003 AV					
	Ilbicaz	ione dell'onera (1)	1	NOTE												
	Tino	ogia dell'opera (?)	10	NOTE	ΙΝ ΓΙΝ ΤΡΑΤΤ						ΔΤΤΡΙΒΙΙΤΙ					
	Quota	minima (m. s.l.m.)														
	Quota n	nassima (m. s.l.m.)								(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)					
	Restituzione	grafica dell'opera	Puntuale		Lineare		Areale	х			2: Canale / impluvio (indicare larghezza/sezione/pendenza)					
											3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)					
				CARATTE	RISTICHE DEL	LA ZONA SORGENTE	Ē				4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)					
											5: Fondovalle					
	Tipol	ogia dell'opera <mark>(3)</mark>	2	NOTE												
	Estension	e massima (m, m2)		NOTE						(2)	1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)					
	Evidenze	di attività <mark>(SI / NO)</mark>	NO	SCRIZIONE							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 num					
				CAR	ATTERISTIC	HE DELL'OPERA					6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)					
											7: Vallo paramassi (in scavo)					
	Mat	eriali costruttivi <mark>(4)</mark>	2	NOTE							8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)					
	Sta	ito di efficienza <mark>(5)</mark>	3	NOTE			Efficacia <mark>(5)</mark>	3								
~	Des	crizione dei danni					· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·				9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)					
											10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)					
DIMENSIONI		Lunghezza (m)	75		TIPO ELEN	MENTI A RISCHIO (6)	6	QUANTITA'	CASETTA DELL'ACQUEDOTTO		11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)					
	Larghez	za media base (m)					4		1		12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)					
	Larghezza n	nedia sommità (m)														
	Altezz	a/prof. minima (m)						-		(3)	1: Parete rocciosa continua molto fratturata					
	Altez	za/prof. media (m)	30								2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata					
	Altezza	/prof. massima (m)	7								3: Affioramenti discontinui					
		Superficie (m2)			-		-				4: Rimobilizzazione da coperture detritiche					
											5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di Irana					
						I E DISECNI					o. Auto (maicale)					
	ASM CON EDE	NI			ANNOTAZION					(4)	1: Legname (5) 1: Docsimo					
									1	(+)	2: Matalla 2: Discrata					
RETE METALLIC									and the second se		3: Terra 3: Ottimo					
THE THE TREE OF		STOOT ALL					1000.	V			4: Terra armata/rinforzata					
								and photostar			5: CA					
							the second	Land								
							and the	A WALLER		(6)	1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)					
					-		and the second				2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)					
								Provent and	Contraction of the second		3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)					
					·			AND NOT			4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)					
							6	A CAR			5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)					
							7	State 1	The second se		6: Infrastrutture tecnologiche					
Q							1000	Service 3			7: Altro (indicare)					

	MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI																
Provincia	UDINE	Comune	TIMAU		ID opera	5	i Inventario	FVG (SI / NO)	NO	Rilev	atore	DATA 22/03/2010					
							INFORMA	AZIONI GENER	RALI								
Scala di rilevam	ento	2500				Cartografi	a di riferimento	CTR				Progressivo foto 2001/3 AV					
	Ubicazi	ione dell'opera <mark>(1)</mark>	1	NOTE	AL DI SOPRA	DELL'OPERA 4											
	Tipol	ogia dell'opera <mark>(2)</mark>	4	NOTE	PRESENZA DI	FRENI						ATTRIBUTI					
	Quota	minima (m. s.l.m.)															
	Quota m	iassima (m. s.l.m.)									(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)					
	Restituzione	grafica dell'opera	Puntuale		Lineare	(Areale					2: Canale / impluvio (indicare larghezza/sezione/pendenza)					
										-		3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)					
				CARATTER	RISTICHE DELL	LA ZONA SORGENTE						4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)					
										_		5: Fondovalle					
	Tipol	ogia dell'opera <mark>(3)</mark>	2	NOTE													
	Estensione	e massima (m, m2)		NOTE							(2)	1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)					
	Evidenze	di attività (SI / NO)	NO	SCRIZIONE						_		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 nun					
				CAR	ATTERISTICH	E DELL'OPERA						6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)					
												7: Vallo paramassi (in scavo)					
	Mate	eriali costruttivi <mark>(4)</mark>	2	NOTE								8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)					
	Sta	to di efficienza <mark>(5)</mark>	3	NOTE			Efficacia (5)	3									
	Des	crizione dei danni										9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)					
												10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)					
DIMENSIONI		Lunghezza (m)			TIPO ELEM	ENTI A RISCHIO (6)	6	QUANTITA'	ZONA ACQUEDOTTO			11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)					
	Larghezz	ra media base (m)					4		8	1		12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)					
	Larghezza m	redia sommità (m)															
	Altezza	a/prof. minima (m)									(3)	1: Parete rocciosa continua molto fratturata					
	Altez	za/prof. media (m)										2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata					
	Altezza/	prof. massima (m)										3: Affioramenti discontinui					
		Superficie (m2)										4: Rimobilizzazione da coperture detritiche					
												5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana					
												6: Altro (indicare)					
					ANNOTAZION	E DISEGNI											
											(4)	1: Legname (5) 1: Pessimo					
								0				2: Metallo 2: Discreto					
												3: Terra 3: Ottimo					
							24		Sec. 1			4: Terra armata/rinforzata					
							Carlos Carlos	Security and				5: CA					
								Children Ar	10 SV								
								Nine The	a stand of party		(6)	1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)					
							1000	Con Con	Mark State States			2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)					
							and the second	A MARTIN				3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)					
							S. H. H.	2 335 5				4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)					
								16 ST				5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)					
							1	120				6: Infrastrutture tecnologiche					
					0		all the second		A STREET AND A STREET AND A			7: Altro (indicare)					

					I	MODULO DI RIL	EVAMENT	O OPERE	DI DIFESA PARAMASS	I			
Provincia	UDINE	Comune	TIMAU		ID opera	6	6 Inventario	FVG (SI / NO	NO	Rilev	atore	DATA 22/0	3/2010
							INFORMA	AZIONI GENEI	RALI				
Scala di rilevam	ento	2500				Cartografi	ia di riferimento	CTR				Progressivo foto 1089, 1092-1093 FRA, 2013 AV	
	Ubicaz	ione dell'opera <mark>(1)</mark>	5	NOTE									
	Tipol	ogia dell'opera <mark>(2)</mark>		NOTE	SPRITZ-BETC	N FUORI DALLA GALL	ERIA					ATTRIBUTI	
	Quota	minima (m. s.l.m.)					_						
	Quota n	iassima (m. s.l.m.)	_								(1)	1: Parete rocciosa (Indicare altezza Indicativa dalla base)	
	Restituzione	grafica dell'opera	Puntuale		Lineare	X	Areale					2: Canale / impluvio (indicare larghezza/sezione/pendenza)	
												3: lalus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)	
				CARATTE	RISTICHE DEL	LA ZONA SORGENTE	-	1	1			4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)	
				NOTE								5: Fondovalle	
	lipol	ogia dell'opera (3)	2	NOTE							(0)		
	Estensione	massima (m, mz)	110	NOTE							(2)	1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)	
	Evidenze	di attivita (SI / NO)	NU	SCRIZIONE								2: Barriera elastica a basso assorbimento (pali metallici e pannelli	rete)
												3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con controventi e tra	enı)
												4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM)	
										-		5: Muro in gabbioni (metallici riempiti di pietrame - NUTE: indicare r	numero)
				CAR	RATTERISTIC	HE DELL'OPERA		1				6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)	
												7: Vallo paramassi (in scavo)	
Materiali costruttivi (4) 5 NOTE												8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)	
	Sta	to di efficienza (5)	3	NOTE			Efficacia (5)	3					
~	Des	crizione dei danni					1					9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)	
												10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallic	a)
DIMENSION		Lunghezza (m)	30		TIPO ELE	MENTLA RISCHIO (6)	4	QUANTITA'				11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con ri	ntorzı)
	Largheza	a media base (m)		-								12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)	
	Larghezza m	iedia sommită (m)											
	Altezza	a/prof. minima (m)									(3)	1: Parete rocciosa continua molto fratturata	
	Altez	za/prof. media (m)	10									2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata	
	Altezza/	prof. massima (m)						-				3: Affioramenti discontinui	
		Superficie (m2)					-					4: Rimobilizzazione da coperture detritiche	
				-		5						5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana	
										-		6: Altro (Indicare)	
				3.	ANNUTAZION	I E DISEGNI				ļ ,	(4)		
						2					(4)	1: Legname (5) 1: Pessimo	
							a all	114 1/2				2: Metallo 2: Discreto	
				-			1					3: 1erra 3: Ottimo	
					~		1	Con ?	Sterney Star			4: Terra armata/rinforzata	
								1011 20				5: CA	
								THE					
								R			(6)	1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)	
							1 100	10	and the second			2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)	
									- Burn All a Contraction			3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)	
									A CONTRACTOR OF THE OWNER			4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)	
							2	-				5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)	
							-					6: Infrastrutture tecnologiche	
							and the second se		ALL REAL	1		7: Altro (indicare)	

					I	MODULO DI RIL	EVAMENT	O OPERE	DI DIFESA PARAMASSI			
Provincia	UDINE	Comune	TIMAU		ID opera	7,14	Inventario	FVG (SI / NO)	Sì	Rileva	atore	DATA
							INFORMA	ZIONI GENER	ALI			
Scala di rilevam	ento	2500				Cartografi	ia di riferimento	CTR				Progressivo foto 1436 AC, 1070-1086-1087-1090-1091 F
												2010-2011-2013 AV
	Ubicazi	ione dell'opera <mark>(1)</mark>	5	NOTE								
	Tipol	ogia dell'opera <mark>(2)</mark>	8	NOTE	GALLERIA							ATTRIBUTI
	Quota	minima (m. s.l.m.)										
	Quota m	iassima (m. s.l.m.)									(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)
	Restituzione	grafica dell'opera	Puntuale		Lineare		Areale					2: Canale / impluvio (indicare larghezza/sezione/pendenza)
												3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)
				CARATTER	RISTICHE DEL	LA ZONA SORGENTE						4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)
												5: Fondovalle
	Tipol	ogia dell'opera <mark>(3)</mark>	2	NOTE								
	Estensione	e massima (m, m2)		NOTE							(2)	1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)
	Evidenze	di attività (<mark>SI / NO)</mark>	Sì	SCRIZIONE	BLOCCHI A N	10NTE E A VALLE						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)
												 Muro in gabbioni (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indicare numero)
				CAR				6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)				
												7: Vallo paramassi (in scavo)
	Mate	eriali costruttivi <mark>(4)</mark>	5	NOTE								8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)
	Sta	to di efficienza <mark>(5)</mark>	3	NOTE			Efficacia (5)	3				
	Des	crizione dei danni										9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)
												10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)
DIMENSIONI		Lunghezza (m)			TIPO ELE	MENTI A RISCHIO (6)	4	QUANTITA'	1			11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia quadrata con rinforzi)
	Larghezz	za media base (m)										12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)
	Larghezza m	redia sommità (m)	6									
	Altezza	a/prof. minima (m)									(3)	1: Parete rocciosa continua molto fratturata
	Altez	za/prof. media (m)	5									2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata
	Altezza/	prof. massima (m)										3: Affioramenti discontinui
		Superficie (m2)										4: Rimobilizzazione da coperture detritiche
												5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana
												6: Altro (indicare)
				1	ANNOTAZION	II E DISEGNI						
PARAMENTO DI	MONTE TIRANT	ATO CON UN ORDI	NE DI TIRANT								(4)	1: Legname (5) 1: Pessimo
							1. 100	and the second				2: Metallo 2: Discreto
												3: Terra 3: Ottimo
							1					4: Terra armata/rinforzata
							and the second	2 Property				5: CA
									The second se			
											(6)	1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)
												2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)
							A					3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)
							T-Y	ANT -				4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)
							$H \sim$	//				5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)
								///				6: Infrastrutture tecnologiche
					0				1 BACK CON			7: Altro (indicare)

					Ν	IODULO DI RILI	EVAMENT	O OPERE	DI DIFESA PARAMAS	SI				
Provincia	UDINE	Comune	TIMAU		ID opera	8	Inventario	FVG (SI / NO)	NO	Rilevatore	DATA 22/03/2010			
							INFORM							
								AZIONI GENER						
Scala di rilevam	ento	2500				Cartografia	a di riferimento	CTR		_	Progressive fete 1071-1072 ERA			
		2000						0.111						
	Ubicaz	one dell'opera <mark>(1)</mark>	1	NOTE	TORNANTE D	UNA STRADA								
	Tipol	ogia dell'opera <mark>(2)</mark>	10	NOTE	UN BLOCCO	CHIODATO					ATTRIBUTI			
	Quota	minima (m. s.l.m.)												
	Quota m	iassima (m. s.l.m.)								(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla base)			
	Restituzione	grafica dell'opera	Puntuale		Lineare		Areale	х			2: Canale / impluvio (indicare larghezza/sezione/pendenza)			
										_	3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)			
				CARATTE	RISTICHE DEL	LA ZONA SORGENTE			1		 Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base) 			
			-							_	5: Fondovalle			
	lipol	ogia dell'opera (3)	3	NOTE						(0)				
	Estensione	massima (m, m2)	NO							(2)	Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle metalliche)			
	Evidenze		NU	SCRIZIONE							2: Barriera defermentile, media essentimento (pair metallici e parinelli rete)			
											A: Barriera deformabile - alte assorbimento (con controventi e ireni)			
										_	 Barriera deformable - alto assorbimento (+ parmento (ASM) Mura in gabbiani (metallici riemniti di nietrame - NOTE: indicare numero) 			
				CAR	ATTEDISTICH						6: Mure in c a (NOTE: indicare snessore indicativo e narticolari)			
				CAR	ATTERISTICH	E DELL OFERA				_	7. Malle naramani (in 2000)			
	Mate	viali contruttivi (4)	2	NOTE						8: Rilevato paramassi (in rilevato/rinorto)				
Stato di efficienza (5) 3 NOTE						Efficacia (5)	3		_					
	Des	crizione dei danni	5	NOTE			Lincacia (5)				9. Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a donnia torsione)			
		chillionic act admin									10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)			
DIMENSIONI		l unghezza (m)	27.6		TIPO ELEN	ENTLA RISCHIO (6)	4	OUANTITA'			11: Pannelli di fune metallica in aderenza (mania quadrata con rinforzi)			
Distriction	l arghez	a media base (m)	-,-				1		1 CASA		12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)			
	Larghezza m	edia sommità (m)								-	· ··································			
	Altezza	/prof. minima (m)								(3)	1: Parete rocciosa continua molto fratturata			
	Altez	a/prof. media (m)	5								2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata			
	Altezza	prof. massima (m)	8								3: Affioramenti discontinui			
		Superficie (m2)									4: Rimobilizzazione da coperture detritiche			
											5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana			
											6: Altro (indicare)			
					ANNOTAZION	I E DISEGNI								
										(4)	1: Legname (5) 1: Pessimo			
								PS I Start	Weight and the first	8	2: Metallo 2: Discreto			
									and the second second		3: Terra 3: Ottimo			
								all and	AND		4: Terra armata/rinforzata			
							and the second	The sales	States and and		5: CA			
								12503						
							1 2 1 1 Y	MAX VY		(6)	1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)			
							The Article M	5 112 71	The set of the second		2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)			
								AL. INT	and the second second		3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)			
							206 20	Stra Ch			4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)			
							5-1 23 M	10 8 1 1 1 M	and south at with the		5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)			
							She E	CAN SERVICE	AN CAR BE AND		6: Infrastrutture tecnologiche			
							ALL DE LE CONTRACTOR DE LE	and the second second			7: Altro (indicare)			

						MODULO DI RIL	EVAMENT	O OPERE	DI DIFESA PARAMASSI								
Provincia	UDINE	Comune	TIMAU		ID opera	9	Inventario	FVG (SI / NO)	NO	Rileva	tore		DATA	23/03/2010			
							INFORM	AZIONI GENER	RALI								
Scala di rilevam	ento	2500				Cartografi	a di riferimento	CTR				Progressivo foto /	404-140	5-1408-1411/1414 AC, 1093-10			
												2	2019/202	2 PANORAMICA VERSANTE			
	Ubicaz	one dell'opera (1)	3	NOTE	DETE ACM							ATTOIDU	T1				
	Quota	ninima (m. s.l.m.)	1,9,7	NOTE	RETE ASIVI 7	RETE ESAGONALE AT	T					ATTRIBU					
	Quota m	assima (m. s.l.m.)									(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza	indicativ	a dalla base)			
	Restituzione	grafica dell'opera	Puntuale		Lineare		Areale	×			(1)	2: Canale / impluvio (indicare larghez	za/sezio	ine/pendenza)			
		5										3: Talus (indicare pezzatura/pendenza	/vegetazi	ione)			
				CARATTE	RISTICHE DEI	LLA ZONA SORGENTE						4: Base del talus (indicare pendenza l	ocale e (distanza da base)			
												5: Fondovalle					
	Tipol	ogia dell'opera <mark>(3)</mark>	2	NOTE													
	Estensione	massima (m, m2)		NOTE							(2)	1: Barriera paramassi rigida (in legi	name o p	utrelle metalliche)			
	Evidenze	li attività <mark>(SI / NO)</mark>	Sì	SCRIZIONE	PRESENZA I	DI BLOCCHI SOPRA L'OI	PERA INGEGNE	RISTICA				2: Barriera elastica a basso assorbin	nento (p	oali 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 riempi	ti di pietr	ame - NOTE: indicare numero)			
				CAF	ATTERISTIC	HE DELL'OPERA						6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spes	sore indi	cativo e particolari)			
												7: Vallo paramassi (in scavo)					
Materiali costruttivi (4) 2,4 NOTE 8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)																	
2	Sta	to di efficienza <mark>(5)</mark>	3	NOTE			Efficacia <mark>(5)</mark>	3									
	Des	crizione dei danni						1 SOLO B	LOCCO è ARRIVATO AI GABBIONI			9: Rete metallica in aderenza (magl	ia esago	nale a doppia torsione)			
												10: Rete metallica armata in aderen	za (+a	matura in fune metallica)			
DIMENSIONI		Lunghezza (m)			TIPO ELE	MENTI A RISCHIO (6)		QUANTITA'				11: Pannelli di fune metallica in ade	renza ((maglia quadrata con rinforzi)			
	Larghezz	a media base (m)										12: Chiodature-bullonature-legature	(specific	are tipo)			
	Larghezza m	edia sommità (m)															
	Altezza	/prof. minima (m)									(3)	1: Parete rocciosa continua molto f	atturata	í			
	Alteza	a/prof. media (m)										2: Parete rocciosa continua median	nente fra	atturata			
	Altezza/	prof. massima (m)						-				3: Affioramenti discontinui					
		Superficie (m2)					-					4: Rimobilizzazione da coperture d	etritiche				
						1						5: Rimobilizzazione da nicchia o co	rpo di fr	ana			
												6: Aluo (Indicare)					
	10. 5 125				ANNUTAZIO	WE DISEGNI					(4)	1. Lognama	(5)	1. Dessime			
	LU> 12.5 m	UNO									(4)	1: Legname	(5)	1: Pessimo			
3 ORDINI DI GABI												2: Metallo	_	2: Discreto			
S III DI REIE, DA		A ON FRENO CHE	CONSENTE		DIESTENSI	DNE DEL PRIMO PANNE		and there are				4. Terra armata/rinferzata	-	5. Ouimo			
					Carlos and	and the second		- 1	a fill the straight -								
					all and the	1	auro					J. CA					
					C State		2.				(6)	1. Edifici residenziali (indicere nume	ro e con	sistenza)			
					Contra State		1		ter han a state of the state of		(~)	2: Edifici industriali (indicare numero	e consi	stenza)			
					- C - C - C - C - C - C - C - C - C - C	in the second	- Land	Restance.	A STATE OF THE STA			3: Edifici di interesse nubblico (es e	scuole o	snedali)			
						a state		and and a	and the second s			4: Strade (indicare lunghezza tratto e	calibre)	opodany			
					See Ser	and the second			and the second se			5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto	e numer	o hinari)			
					the state	Contraction of the second	they want	Contra La	the state of the state of the			6: Infrastrutture tecnologiche					
						for a set and		State .	the a state of the state of the			7: Altro (indicare)					

						MODULO DI RILI	EVAMENT	O OPERE	DI DIFESA PARAMASSI								
Provincia	UDINE	Comune	TIMAU		ID opera	10	Inventario	FVG (<mark>SI / NO)</mark>	NO	Rilev	atore		DATA	24/03/2010			
							INFORM										
							INFORM	AZIONI GENER									
Scala di rilevam	ento	2500				Cartografia	a di riferimento	CTR				Progressivo foto	1415/14	20 AC 1139-1140 FRA			
ocura al movan		2000				g		ont				1.10910001101010	1410/14				
	Ubicaz	ione dell'opera <mark>(1)</mark>	5	NOTE													
	Tipol	ogia dell'opera <mark>(2)</mark>	9	NOTE								ATTRIB	л				
	Quota	minima (m. s.l.m.)															
	Quota n	nassima (m. s.l.m.)									(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezz	a indicati	va dalla base)			
	Restituzione	grafica dell'opera	Puntuale		Lineare		Areale	Х				2: Canale / impluvio (indicare larghe	zza/sezi	ione/pendenza)			
												3: Talus (indicare pezzatura/pendenz	a/vegeta:	zione)			
				CARATTE	RISTICHE DEL	LA ZONA SORGENTE	1	1				4: Base del talus (indicare pendenza	locale e	distanza da base)			
	T'		4	NOTE								5: Fondovalle					
	Estension	ogia dell'opera (3) massima (m. m3)	-	NOTE							(2)	1. Parriera naramani rigida din la		nutralla matalliaka)			
	Evidenze	di attività (SL/NO)	S 1	CRIZIONE	DDESENIZA D						(2)	1: Darriera paramassi rigida (in lej 2: Barriera elastica a basso assorbi	mente u	(poli metallici e poppelli reto)			
	Lvidenze		51	CRIZIONE								2. Barriera deformabile medio as	orhime	nta (con controventi e freni)			
												4: Barriera deformabile - alto asso	rhiment	n (+ nannelli n ASM)			
												5: Muro in gabbioni (metallici riemi	iti di piet	rame - NOTE: indicare numero)			
				CAR	ATTERISTIC	HE DELL'OPERA						6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spe	ssore ind	icativo e particolari)			
												7: Vallo paramassi (in scavo)					
	Mat	eriali costruttivi (4)	2	NOTE								8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)					
	Sta	to di efficienza (5)	2	NOTE			Efficacia (5)	1									
-	Des	crizione dei danni					· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		APERTURA NELLA RETE			9: Rete metallica in aderenza (ma	lia esag	onale a doppia torsione)			
												10: Rete metallica armata in adere	nza (+ a	armatura in fune metallica)			
DIMENSIONI		Lunghezza (m)	32		TIPO ELE	MENTI A RISCHIO (6)	4	QUANTITA'	1			11: Pannelli di fune metallica in ac	erenza	(maglia quadrata con rinforzi)			
	Larghez	za media base (m)										12: Chiodature-bullonature-legature	(specifi	care tipo)			
	Larghezza n	nedia sommità (m)															
	Altezz	a/prof. minima (m)									(3)	1: Parete rocciosa continua molto	fratturat	a			
	Altez	za/prof. media (m)	10									2: Parete rocciosa continua media	mente f	ratturata			
	Altezza	prof. massima (m)										3: Affioramenti discontinui					
		Superficie (m2)										4: Rimobilizzazione da coperture	detritich	e			
												5: Rimobilizzazione da nicchia o c	orpo di 1	rana			
												o. Altro (indicate)					
					ANNOTAZION						(4)	1: Legname	(5)	1: Pessimo			
				-				New Contract		-	(4)	2: Metallo		2: Discreto			
					-				English and the state			3: Terra		3: Ottimo			
							R many and		A REAL PROPERTY			4: Terra armata/rinforzata					
							and the second second			-		5: CA					
							CONC.	A start Par									
							10		STATES TABLE		(6)	1: Edifici residenziali (indicare num	ero e co	nsistenza)			
							2000	See See	ATT STATE			2: Edifici industriali (indicare nume	o e cons	istenza)			
							Sec. Mar	Start .	and the second second			3: Edifici di interesse pubblico (es.	scuole,	ospedali)			
							A CONTRACTOR	State State	A MARCH AND			4: Strade (indicare lunghezza tratto	e calibro)				
							MET 43 782					5: Ferrovie (indicare lunghezza tratt	o e nume	ero binari)			
												6: Infrastrutture tecnologiche					
							State State State					7: Altro (indicare)					

MODULO DI RILEVAMENTO OPERE DI DIFESA PARAMASSI															
Provincia	UDINE Comune	TIMAU		ID opera	11	Inventario	FVG (SI / NO)	Sì	Rilev	atore	D	ATA	24/03/2010		
INFORMAZIONI GENERALI															
Scala di rilevam	ento 2500				Cartografia	ı di riferimento	CTR				Progressivo foto 11	42-114	4-1148 FRA, 1435 AC		
	Ubicazione dell'opera <mark>(1)</mark>	5	NOTE												
	Tipologia dell'opera <mark>(2)</mark>	1	NOTE	ASM + RETE	A MAGLIA ESAGONAL	E A DOPPIA TO	RSIONE, PRE	SENZA DI FRENI SUL PRIMO PANN	IELLO		ATTRIBUTI				
	Quota minima (m. s.l.m.)														
	Quota massima (m. s.l.m.)									(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza in	dicativa	i dalla base)		
	Restituzione grafica dell'opera	Puntuale		Lineare	X	Areale					2: Canale / impluvio (indicare larghezz:	a/sezio	ne/pendenza)		
											3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/ve	egetazi	one)		
			CARATTER	RISTICHE DEL	LA ZONA SORGENTE						4: Base del talus (indicare pendenza loc	ale e c	listanza da base)		
											5: Fondovalle				
	Tipologia dell'opera (3)	2	NOTE												
	Estensione massima (m, m2)		NOTE							(2)	1: Barriera paramassi rigida (in legna	me o p	utrelle metalliche)		
	Evidenze di attività (SI / NO)	Sì	SCRIZIONE								2: Barriera elastica a basso assorbime	nto (p	ali metallici e pannelli rete)		
											3: Barriera deformabile - medio assor	bimen	to (con controventi e freni)		
											4: Barriera deformabile - alto assorbi	mento	(+ pannelli o ASM)		
										5: Muro in gabbioni (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indic					
			CAR	ATTERISTICH	IE DELL'OPERA						6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)				
											7: Vallo paramassi (in scavo)				
	Materiali costruttivi <mark>(4)</mark>	2	NOTE								8: Rilevato paramassi (in rilevato/riport	0)			
	Stato di efficienza (5)	3	NOTE			Efficacia <mark>(5)</mark>	3				L.				
	Descrizione dei danni						~			9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia tors					
											10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)				
DIMENSIONI	Lunghezza (m)			TIPO ELEN	IENTI A RISCHIO (6)	4	QUANTITA'	1			11: Pannelli di fune metallica in adere	enza (maglia quadrata con rinforzi)		
	Larghezza media base (m)					1		2			12: Chiodature-bullonature-legature (s	pecific	are tipo)		
	Larghezza media sommità (m)														
	Altezza/prof. minima (m)									(3)	3) 1: Parete rocciosa continua molto fratturata				
	Altezza/prof. media (m)	3									2: Parete rocciosa continua mediame	nte fra	itturata		
	Altezza/prof. massima (m)										3: Affioramenti discontinui				
	Superficie (m2)										4: Rimobilizzazione da coperture det	ritiche			
											5: Rimobilizzazione da nicchia o corp	o di fr	ana		
											6: Altro (indicare)				
				ANNOTAZION	II E DISEGNI										
										(4)	1: Legname	(5)	1: Pessimo		
							1999 P				2: Metallo		2: Discreto		
						Contraction of the	Mille .				3: Terra		3: Ottimo		
						571	- Alt parts				4: Terra armata/rinforzata				
						1210	APK-				5: CA	1			
						and the state						-			
										(6)	1: Edifici residenziali (indicare numero e consistenza)				
								a second second		(-)	2: Edifici industriali (indicare numero e consistenza)				
						e					3: Edifici di interesse nubblico (es scuole genedali)				
							Che +	- Art - Company			Currer of interesse publico (es. scope, ospedan) Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)				
								and the second second		5: Farravia (indicare lunghazza tratto e cambro)					
						2	State Street	A DECISION OF THE OWNER			6: Infrastrutture tecnologiche	aniel	s smany		
										_	7: Altro (indicare)				

					M	ODULO DI RIL	EVAMENT	O OPERE	DI DIFESA PARAMASSI							
Provincia	UDINE	Comune	TIMAU		ID opera	12	Inventario	FVG (SI / NO)	Sì	Rilevato	ore		DATA	24/03/		
	1						INFORM	AZIONI GENER	ALI							
		2500				Castanae	a di sifasimanta	OTD			_	P	440.55			
Scala di mevan	iento	2500				canogram	a ul mennento	CIR			_	Progressivo loto	149 FR	A, 1435 AC		
	Ubicaz	ione dell'opera (1)	5	NOTE							-		_			
	Tipol	ogia dell'opera (2)	8	NOTE							_	ATTRIBU	Π			
	Quota	minima (m. s.l.m.)														
	Quota n	nassima (m. s.l.m.)								(1) 1	1: Parete rocciosa (indicare altezza	indicati	/a dalla base)		
	Restituzione	grafica dell'opera	Puntuale		Lineare X		Areale				2	2: Canale / impluvio (indicare larghezza/sezione/pendenza)				
											11	3: Talus (indicare pezzatura/pendenza	/vegeta;	ione)		
				CARATTER	STICHE DELLA	A ZONA SORGENTE					4	4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza da base)				
											5	5: Fondovalle				
	Tipol	ogia dell'opera (3)	5	NOTE												
	Estensione	e massima (m, m2)		NOTE						(2	2) 1	1: Barriera paramassi rigida (in leg	name o	outrelle metalliche)		
	Evidenze	di attività (SI / NO)	Sì	SCRIZIONE							2	2: Barriera elastica a basso assorbir	nento	pali metallici e pannelli ret		
											2	3: Barriera deformabile - medio ass	orbime	ito (con controventi e freni		
											4	1: Barriera deformabile - alto assor	oiment	(+ pannelli o ASM)		
					051100504					-	5: Muro in gabbioni (metallici hempiti di pietrame - NOTE: Indi					
	CARATTERISTICHE DELL OPERA									5: Muro In c.a. (NOTE: Indicare spes	sore ind	icativo e particolarij				
		4	NOTE								7: Vano paramassi (in scavo) 8: Dilevete paramassi (in silevete/sin	ut a)				
Materiali costruttivi (4)			4	NOTE			Efficacia (5)	3			•	5: Rilevato paramassi (in mevatomp	,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,			
Descrizione dei danni			5	NOTE			Lineacia (5)				c	9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione'				
											1	10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune meta				
DIMENSIONI	1	Lunghezza (m)			TIPO ELEME	NTLA RISCHIO (6)	4	QUANTITA'	1		1	11: Pannelli di fune metallica in ad	renza	(maglia guadrata con rinfo		
	Larghez	za media base (m)									1	12: Chiodature-bullonature-legature	(specifi	care tipo)		
	Larghezza n	nedia sommità (m)	3									5				
	Altezz	a/prof. minima (m)								6	3) 1	1: Parete rocciosa continua molto fratturata				
	Altezza/prof. media (m)										2	2: Parete rocciosa continua mediar	nente f	atturata		
	Altezza/prof. massima (m)										10	3: Affioramenti discontinui				
		Superficie (m2)									4	4: Rimobilizzazione da coperture d	etritich	9		
											ţ.	5: Rimobilizzazione da nicchia o co	rpo di f	rana		
											e	6: Altro (indicare)				
					ANNOTAZIONI E	E DISEGNI										
ALTEZZA A MON	TE> 2 m									(4	4) 1	1: Legname	(5)	1: Pessimo		
ALTEZZA A VALL	E> 3.5 m						A	The state			2	2: Metallo		2: Discreto		
							hard the				5	3: Terra		3: Ottimo		
							Too all		A Contraction -		4	4: Terra armata/rinforzata	_			
							and the second				5	5: CA				
								State L	and the second second							
							and works	COMP C		(6	6) 1	1: Edifici residenziali (indicare nume	ro e co	isistenza)		
							2.16	Cate -			2	2: Edifici industriali (indicare numero	e cons	istenza)		
								A.S. 2.2	A COLORED BY AND		3	3: Edifici di interesse pubblico (es.	scuole,	ospedali)		
								NAS AND READING			4	1: Strade (indicare lunghezza tratto e	calibro)	Contraction of the second s		
								T and a la			1	b: Ferrovie (indicare lunghezza tratto	e nume	ro binari)		
							Stand of Taxaba	and the second second				b: Intrastrutture tecnologiche 7: Altro (indicare)	-			

						MODULO DI RIL		O OPERE	DI DIFESA PARAMASSI						
							-								
Provincia	UDINE	Comune	TIMAU		ID opera	13 e 15	Inventario	FVG (SI / NO)	Sì	Rilev	atore		DATA	24/03/2010	
							MEODM								
							INFORM	AZIONI GENER							
Scala di rilevam	ento	2500				Cartografi	a di riferimento	CTR				Progressivo foto	1432 A	(OPERA 13)	
ocura al movan		2000						ont				r rogrounte rec	1437 A	C (OPERA 15)	
	Ubicaz	ione dell'opera (1)	5	NOTE										- (/	
	Tipol	ogia dell'opera <mark>(2)</mark>	8	NOTE								ATTRIE	υTI		
	Quota	minima (m. s.l.m.)													
	Quota n	nassima (m. s.l.m.)									(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezz	a indicat	iva dalla base)	
	Restituzione	grafica dell'opera	Puntuale		Lineare	х	Areale					2: Canale / impluvio (indicare largh	ezza/sez	ione/pendenza)	
												3: Talus (indicare pezzatura/penden:	a/vegeta	zione)	
				CARATTE	RISTICHE DE	LLA ZONA SORGENTE						4: Base del talus (indicare pendenz	a locale e	distanza da base)	
												5: Fondovalle			
	lipol	ogia dell'opera (3)	2	NOTE							(0)				
	Estensione	e massima (m, mz)	~	NUTE							(2)	1: Barriera paramassi rigida (in le	gname o	putrelle metalliche)	
	Evidenze	di attivita (SI / NO)	51	SCRIZIONE	BLUCCHISU							2: Barriera elastica a basso assorb	imento	(pall metallici e pannelli rete)	
												3: Barriera defermabile - medio as	sorbine	nto (con controventi e treni)	
												4. Darriera uerormabile - alto asso 5: Mura in gabbiani (metallici riem	niti di nis	trame - NOTE: indicare numero)	
												6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)			
						TIL DELL OFERA						7: Vallo paramassi (in scavo)			
Materiali costruttivi (1) 4.5			45	NOTE	RILEVATO IN	I TERRA ARMATA E MIL					8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)				
State di efficienza (5) 3 NOTE						Efficacia (5)	3								
Descrizione dei danni						PRESENZA DI BLOCCHI SUL VERSANTE						9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)			
												10: Rete metallica armata in adere	armatura in fune metallica)		
DIMENSIONI	IENSIONI Lunghezza (m				TIPO ELE	MENTI A RISCHIO (6)	4	QUANTITA'	1			11: Pannelli di fune metallica in a	(maglia quadrata con rinforzi)		
	Larghezza media base (m											12: Chiodature-bullonature-legatur	e (speci	icare tipo)	
	Larghezza media sommità (m														
	Altezza/prof. minima (m										(3)	ر) 1: Parete rocciosa continua molto fratturata			
	Altezza/prof. media (m		4									2: Parete rocciosa continua medi	ratturata		
	Altezza/prof. massima (m											3: Affioramenti discontinui			
		Superficie (m2)										4: Rimobilizzazione da coperture	detritich	e	
												5: Rimobilizzazione da nicchia o o	orpo di	frana	
												6: Altro (indicare)			
					ANNOTAZIO	NI E DISEGNI	1	1							
	UPERA 13>	ALIEZZA 4m, LARG	HEZZA BASE	= 4m + 0.7m							(4)	1: Legname	(5)	1: Pessimo	
	UPERA 15>	ALTEZZA MINIMA 2	m, MASSIMA	. 5m, LARGI	HEZZA BASE	4m + U.7m DI MURU						2: Metallo		2: Discreto	
									and the			3: Terra		3: Utumo	
												4: Terra armata/rinforzata			
												5: CA			
									Automation of the second		(6)	1. Edifici residenziali (indicore nur	aero e co	neietanza)	
									and the second second		(0)	2: Edifici industriali (indicare numo		norocenza)	
									and the set of the set			3: Edifici di interesse nubblico (es	scuole	osnedali)	
							the second		CETHE			4: Strade (indicare lunghezza tratto	e calibro)	
							the second					5: Ferrovie (indicare lunghezza trat	o e num	ro hinari)	
								-				6: Infrastrutture tecnologiche			
									1 may prove and the			7: Altro (indicare)			

					I	MODULO DI RILI	EVAMENT	O OPERE	DI DIFESA PARAMASSI						
Provincia	UDINE	Comune	TIMAU		ID opera	16	Inventario	FVG (SI / NO)	Sì	Rilev	/atore		DATA	25/03/2010	
							INFORM	AZIONI GENER	RALI						
Scala di rilevam	ento	2500				Cartografia	a di riferimento	CTR				Progressivo foto	1439/14	15 AC, 2251/54 + 2256 + 2261/	
			-												
Ubicazione dell'opera (1)			5	NOTE								ATTOID			
Custa minima (m. a. l. m.			4	NUTE	PANNELLI RE	=10						ATTRIBU			
Quota massima (m. s.i.m.											(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza	indicati	ra dalla hase)	
	Restituzione	grafica dell'opera	Puntuale		Lineare	×	Areale				(1)	2: Canale / impluyio (indicare larghe	zza/sezi	one/pendenza)	
		3	· unturo		Linouro	~						3: Talus (indicare pezzatura/pendenza	/vedetaz	cione)	
				CARATTER	RISTICHE DEI	LA ZONA SORGENTE						4: Base del talus (indicare pendenza	locale e	distanza da base)	
												5: Fondovalle		,	
	Tipol	ogia dell'opera (3)	2	NOTE											
	Estensione	massima (m, m2)		NOTE							(2)	1: Barriera paramassi rigida (in leg	name o	putrelle metalliche)	
	Evidenze	di attività (SI / NO)	Sì	SCRIZIONE	BLOCCHI AN	CHE NELLA RETE> M	IAGLIA ESAGON	IALE SFILACC	IATA		. ,	2: Barriera elastica a basso assorbi	nento (pali metallici e pannelli rete)	
												3: Barriera deformabile - medio ass	orbime	ito (con controventi e freni)	
												4: Barriera deformabile - alto assor	biment) (+ pannelli o ASM)	
												5: Muro in gabbioni (metallici riempi	ti di piet	rame - NOTE: indicare numero)	
			CARATTERISTICHE DELL'OPERA									6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particol			
				7: Vallo paramassi						7: Vallo paramassi (in scavo)	Illoparamassi (in scavo)				
	Mat	eriali costruttivi (4)	2	NOTE								8: Rilevato paramassi (in rilevato/rip	orto)		
Stato di efficienza (5			2	NOTE			Efficacia (5)	2							
	Des	crizione dei danni	DEFORMAZIONE A SEGUITO DELL'IMPATTO DEI BLOCCHI									9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a doppia torsione)			
												10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in fune metallica)			
DIMENSIONI		Lunghezza (m)			TIPO ELE	MENTI A RISCHIO (6)	4	QUANTITA'	1			11: Pannelli di fune metallica in ad-	erenza	(maglia quadrata con rinforzi)	
	Larghez	za media base (m)										12: Chiodature-bullonature-legature	(specifi	care tipo)	
	Larghezza n	nedia sommità (m)													
	Altezz	a/prof. minima (m)									(3)	3) 1: Parete rocciosa continua molto fratturata			
	Altez	za/prof. media (m)	4,5									2: Parete rocciosa continua media	atturata		
	Altezza/prof. massima (m											3: Affioramenti discontinui			
		Superficie (m2)										4: Rimobilizzazione da coperture d	etritich	B	
												5: Rimobilizzazione da nicchia o co	rpo di f	rana	
												6: Altro (indicare)			
					ANNOTAZION	NI E DISEGNI									
											(4)	1: Legname	(5)	1: Pessimo	
					ALVIN.		NY ANN					2: Metallo		2: Discreto	
					X/10		What I a					3: Terra		3: Ottimo	
					XOD		11 12 1	A SHULL S				4: Terra armata/rinforzata			
					1/ 1/			200				5: CA			
						The Western	16 1 1 10	10							
					1/14			No.			(6)	1: Edifici residenziali (indicare num	ero e con	nsistenza)	
							3 SAMAR	Anta VI	11 1 1 1 1			2: Edifici industriali (indicare numero	e cons	istenza)	
								Malles V				3: Edifici di interesse pubblico (es.	scuole,	ospedali)	
					and the			~ //				 Strade (indicare lunghezza tratto e 	calibro)		
					1000	1 Alexandre		Self-3/	A Standard Standard			5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto	e nume	ro binari)	
					Sel al			Bart Starts				6: Infrastrutture tecnologiche			
								the three settings				7: Altro (indicare)			
					I	MODULO DI RILI	EVAMENT	O OPERE	DI DIFESA PARAMASSI	I					
------------------	--------------	-----------------------------------	----------	-----------	--------------	----------------------------------	----------------------------	---------------	----------------------------	---	--	---	-------------------------	----------------------------------	--
Provincia	UDINE	Comune	TIMAU		ID opera	17	Inventario	FVG (SI / NO)	NO	Rilev	atore		DATA		
							INFORM	ZIONI GENER	ALI						
Scala di rilevam	ento	2500				Cartografia	a di riferimento	CTR				Progressivo foto	2258/60	AV	
	Ubicaz	ione dell'opera <mark>(1)</mark>	5	NOTE											
	Tipol	ogia dell'opera (2)	10	NOTE	PRESENZA D	I APERTURE NEL PAS:	SAGGIO RETE-P	RETE				ATTRIBU	Π		
	Quota	minima (m. s.l.m.)													
	Quota m	nassima (m. s.l.m.)									(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza	indicati	va dalla base)	
	Restituzione	grafica dell'opera	Puntuale		Lineare		Areale	x				2: Canale / impluvio (indicare larghe:	za/sezi	one/pendenza)	
										-		3: Talus (indicare pezzatura/pendenza	/vegeta;	zione)	
				CARATTER	RISTICHE DEL	LA ZONA SORGENTE						4: Base del talus (indicare pendenza	ocale e	distanza da base)	
												5: Fondovalle			
	Tipol	ogia dell'opera <mark>(3)</mark>	2	NOTE											
	Estensione	e massima (m, m2)		NOTE							(2)	1: Barriera paramassi rigida (in leg	name o	putrelle metalliche)	
	Evidenze	di attività (SI / NO)	NO	SCRIZIONE								2: Barriera elastica a basso assorbir	nento	(pali metallici e pannelli rete)	
												3: Barriera deformabile - medio ass	orbime	nto (con controventi e freni)	
											4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o / 5: Muro in gabbioni (metallici riempiti di pietrame - NOTE; i			o (+ pannelli o ASM)	
											5: Muro in gabbioni (metallici riempiti di pietrame - NOTE:			rame - NOTE: indicare numero)	
				CAR	ATTERISTIC	IE DELL'OPERA				6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicate			Jicativo e particolari)		
											7: Vallo paramassi (in scavo)				
	Mate	eriali costruttivi (4)	2	NOTE								8: Rilevato paramassi (in rilevato/rip	orto)		
ų.	Sta	to di efficienza <mark>(5)</mark>	3	NOTE			Efficacia <mark>(5)</mark>	3							
-	Des	crizione dei danni										9: Rete metallica in aderenza (mag	ia esag	onale a doppia torsione)	
					_							10: Rete metallica armata in aderer	za (+ a	armatura in fune metallica)	
DIMENSIONI		Lunghezza (m)			TIPO ELEI	MENTI A RISCHIO <mark>(6)</mark>	4	QUANTITA'	1			11: Pannelli di fune metallica in ade	erenza	(maglia quadrata con rinforzi)	
	Largheza	za media base (m)										12: Chiodature-bullonature-legature	(specifi	care tipo)	
	Larghezza m	nedia sommità (m)													
	Altezza	a/prof. minima (m)									(3)	1: Parete rocciosa continua molto f	ratturat	а	
	Altez	za/prof. media (m)										2: Parete rocciosa continua mediar	nente f	ratturata	
	Altezza/	prof. massima (m)										3: Affioramenti discontinui			
		Superficie (m2)										4: Rimobilizzazione da coperture d	etritich	e	
												5: Rimobilizzazione da nicchia o co	rpo di f	rana	
												6: Altro (indicare)			
				1	ANNOTAZION	II E DISEGNI									
											(4)	1: Legname	(5)	1: Pessimo	
							CONC.	STREET.				2: Metallo		2: Discreto	
							and all	MISN/	and the second second			3: Terra		3: Ottimo	
							- alter	1 Vanna	the second second			4: Terra armata/rinforzata			
							Se fresh	The star				5: CA			
							Charles Sta		Company Company						
								St. A. A.	Contraction of the		(6)	1: Edifici residenziali (indicare nume	ro e co	nsistenza)	
								An The	2201120120			2: Edifici industriali (indicare numero	e cons	istenza)	
							per la	P. 19	and the state of the state		3: Edifici di interesse pubblico (es. scuole, ospedali)			ospedali)	
							and the second	3 to she	Company ALPA	4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)					
									2020 HALLS			5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto	e nume	ro binari)	
								13202				6: Infrastrutture tecnologiche			
					a				HIMPHILL VSI			7: Altro (indicare)			

					Ν	MODULO DI RILI	EVAMENT	O OPERE	DI DIFESA PARAMASS	l				
Provincia	UDINE	Comune	TIMAU		ID opera	18	Inventario	FVG (<mark>SI / NO)</mark>	Sì	Rilevate	ore		DATA	25/03/2010
							MEODIA				_			
							INFORM	AZIONI GENER	ALI		_			
Scala di rilovan	anto	2500				Cartografis	di riferimento	ств			-	Prograssiva fata	2260 AV/	
Scala di mevan	iento	2500				Cartograna	i di merimento	CIR			_	Progressivo loto	2260 AV	
	Ubicaz	ione dell'opera (1)	5	NOTE							-			
	Tipol	ogia dell'opera (2)	6	NOTE							_	ATTRIBU	ті	
	Quota	minima (m. s.l.m.)												
	Quota n	nassima (m. s.l.m.)								(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza	indicativa dalla base)	
	Restituzione	grafica dell'opera	Puntuale		Lineare	x	Areale				2	2: Canale / impluvio (indicare larghe	zza/sezione/pendenza)	
												3: Talus (indicare pezzatura/pendenza	/vegetazione)	
				CARATTER	ISTICHE DEL	LA ZONA SORGENTE					4	1: Base del talus (indicare pendenza	locale e distanza da bas	e)
											1	5: Fondovalle		
	Tipol	ogia dell'opera <mark>(</mark> 3)	2	NOTE										
	Estensione	e massima (m, m2)		NOTE						(2)	1: Barriera paramassi rigida (in leg	name o putrelle metallich	ne)
	Evidenze	di attività <mark>(SI / NO</mark>)	NO	SCRIZIONE								2: Barriera elastica a basso assorbi	nento (pali metallici e p	annelli rete)
											-	3: Barriera deformabile - medio ass	orbimento (con controv	enti e freni)
											4	1: Barriera deformabile - alto assor	bimento (+ pannelli o A	SM)
												5: Muro in gabbioni (metallici riemp	ti di pietrame - NOTE: in	dicare numero)
				CAR	ATTERISTICH	IE DELL'OPERA					6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e particolari)			ari)
											7: Vallo paramassi (in scavo)			
	Mat	eriali costruttivi (4)	5	NOTE							1	B: Rilevato paramassi (in rilevato/rip	orto)	
	Sta	ito di efficienza (5)	3	NOTE			Efficacia (5)	3						
-2	Des	crizione dei danni										9: Rete metallica in aderenza (mag	lia esagonale a doppia to	orsione)
DIMENSIONI			50					OUANTITA:	4			iu: Rete metallica armata in aderei	iza (+ armatura in tune	metallica)
DIMENSIONI	Laraban	Lungnezza (m)	00		TIPU ELEN	IENTLA RISCHIO (6)	4	QUANTITA			-	11: Pannelli di lune metallica in ad	(enecificare tine)	a con nniorzi)
	Larghozza n	za meura base (m) podia commità (m)	e,0 a 0		-						_	iz: Chiodature-bunonature-regature	(specificare tipo)	
	Altezz	a/prof. minima (m)	0,0								31	1. Parete recciesa continua molto f	ratturata	
	Altez	za/nrof media (m)	4							· ·		Parete rocciosa continua motio Parete rocciosa continua media	nente fratturata	
	Altezza	prof. massima (m)						-				3: Affioramenti discontinui		
		Superficie (m2)						-				1: Rimobilizzazione da coperture d	etritiche	
							7				1	5: Rimobilizzazione da nicchia o co	rpo di frana	
												5: Altro (indicare)		
				L.	NNOTAZION	I E DISEGNI								
LARGHEZZA MU	RO> 0.9m; AL	LA BASE E 0.6m IN	I SOMMITA'							(4)	1: Legname	(5) 1: Pessimo	
ALTEZZA MURO	> 4m							11/4			1	2: Metallo	2: Discreto	
							CALCO	1 1			-	3: Terra	3: Ottimo	
							TOP 1				4	1: Terra armata/rinforzata		
							100	AL.	ALL CONTRACTOR			5: CA		
								Y	AN STORE STORE					
							J- A	1	AN CASA	(6)	1: Edifici residenziali (indicare num	ero e consistenza)	
							EQ.	a sale	5-4		1	2: Edifici industriali (indicare numer	e consistenza)	
							11	have the	- AN ARE -			3: Edifici di interesse pubblico (es.	scuole, ospedali)	
							145	St. Cal	1 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 - 2 -		4: Strade (indicare lunghezza tratto e calibro)			
								CON A			4	5: Ferrovie (indicare lunghezza tratto	e numero binari)	
							6: Infrastrutture tecnologiche							
								and the second second			- 17	r: Altro (Indicare)		

					I	MODULO DI RILI	EVAMENT	O OPERE	DI DIFESA PARAMASS	51				
Provincia	UDINE	Comune	TIMAU		ID opera	19	Inventario	FVG (SI / NO)	NO	Rilevator	DATA	25/03/2010		
							INFORM	AZIONI GENEF	ALI	1				
Seele di sileven		2500				Cartografia	di riforimonto	CTD			Branceshing fate 2077 2084 2080 A	V.		
Scala di filevani	ento	2500				Cartograna	a un merimento	CIR		_	Progressive foto 22/1-2201-2202 P			
	Ubicazi	one dell'opera (1)	5	NOTE										
	Tipol	ogia dell'opera (2)	11	NOTE							ATTRIBUTI			
	Quota	minima (m. s.l.m.)												
	Quota m	assima (m. s.l.m.)								(1)	1: Parete rocciosa (indicare altezza indicativa dalla ba	ase)		
	Restituzione	grafica dell'opera	Puntuale		Lineare		Areale	Х			2: Canale / impluvio (indicare larghezza/sezione/pend	enza)		
											3: Talus (indicare pezzatura/pendenza/vegetazione)			
				CARATTE	RISTICHE DEL	LA ZONA SORGENTE					4: Base del talus (indicare pendenza locale e distanza	da base)		
											5: Fondovalle			
	Tipol	ogia dell'opera <mark>(3)</mark>	11	NOTE	GLI ULTIMI 2	METRI SOPRA LA STRA	DA SONO RETE	E METALLICA .	ARMATA IN ADERENZA					
	Estensione	massima (m, m2)		NOTE						(2)	1: Barriera paramassi rigida (in legname o putrelle m	etalliche)		
	Evidenze	li attività <mark>(SI / NO)</mark> i	NO	SCRIZIONE							2: Barriera elastica a basso assorbimento (pali meta	llici e pannelli rete)		
											3: Barriera deformabile - medio assorbimento (con o	ontroventi e freni)		
											4: Barriera deformabile - alto assorbimento (+ pannelli o ASM) 5: Mura in gabbieni (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indica			
											5: Muro in gabbioni (metallici riempiti di pietrame - NOTE: indi			
				CAR	ATTERISTIC	HE DELL'OPERA					6: Muro in c.a. (NOTE: indicare spessore indicativo e p	oarticolari)		
											7: Vallo paramassi (in scavo)			
	Mate	eriali costruttivi (4)	2	NOTE							8: Rilevato paramassi (in rilevato/riporto)			
	Sta	to di efficienza <mark>(5)</mark>	3	NOTE			Efficacia <mark>(5)</mark>	З						
	Des	crizione dei danni		-							9: Rete metallica in aderenza (maglia esagonale a do	ppia torsione)		
											10: Rete metallica armata in aderenza (+ armatura in	n fune metallica)		
DIMENSIONI		Lunghezza (m)			TIPO ELEI	MENTI A RISCHIO (6)	4	QUANTITA'		1	11: Pannelli di fune metallica in aderenza (maglia q	uadrata con rinforzi)		
	Larghezz	a media base (m)		-		8				-	12: Chiodature-bullonature-legature (specificare tipo)			
	Larghezza m	edia sommità (m)												
	Altezza	/prof. minima (m)				5				(3)	1: Parete rocciosa continua molto fratturata			
	Alteza	a/prof. media (m)								_	2: Parete rocciosa continua mediamente fratturata			
	Altezza/	prof. massima (m)								-	3: Affioramenti discontinui			
		Superficie (mz)				1				-	4: Rimobilizzazione da coperture detritiche			
										-	5: Rimobilizzazione da nicchia o corpo di frana			
						I E DISECNI					o. Alto (indicate)			
-					ANNOTAZIUN					(4)		simo		
										(4)	1. Legname (5) 1: Pess	sino		
				1 TK		MARK WHAT		A State Au			2: Metallo 2: Disci	eto		
				Ne M	Patrio	AVIA AVIA		Water Street	States and States		3: Terra 3: Ottin	10		
			Else.	K Marth							4: Terra armata/rinforzata			
				A AM	KA GA	all contraction	C ALC	ALA S						
				ALL ALL	ALL ALL	ALL ALL		Car Carlos		101	4. EdiBai and damainti /indiana annana airtean i			
			in	A Starting	Real Property and		Sa Alla		- 20/ C / C / C	(6)	Edifici residenziali (indicare numero e consistenza) Edifici inducate il (indicare numero e consistenza)			
			-ATA	V. 65			A REAL PROPERTY	A State of the			2: Editici industriali (indicare numero e consistenza)			
			A.F.	Le' Male	a series to	ALL SAUGE &		and the	the based of the		5: Editici di Interesse pubblico (es. scuole, ospedali)			
				25784	Self-EB	AND AN AND AND AND AND AND AND AND AND A	and the				4: Strade (Indicare lunghezza tratto e calibro)			
				11	1 mg				A ANT ANT ANT		p: Ferrovie (indicare lunghezza tratto e numero binari)			
0.									c: Intrastrutture tecnologicne 7: Altro (indicare)					

Moduli dei rilievi geomeccanici

		S	CHEDA DI SIN	ITESI - STAZIONE G	EOMECCANIC/	A numero 1							
											valori di r	imbalzo R	
			LOCALIZZAZION	E			DIMENSIONI AFFIOF	RAMENTO		K1'	K5	K1	S
Località:			Tin	าลน			Lunghezza:			35	33	24	46
Quota:			980) m			Altezza:			37	46	28	30
Coord. UTM							Area:			28	24	26	28
							Giacitura (imm./incl.)	185/80		37	34	22	40
										41	33	21	40
				LITOTIPO						44	30	23	34
Formazione:				Calcaren	iti di transizione pros:	simali				38	26	25	37
Descrizione Ge	eologica:		calcari massicci g	grigio chiari in banchi metrici,	, calcari algali con crii	noidi, stromatoporoid	, tetracoralli e tabulati			40	42	38	38
										34	39	26	28
R	RESISTENZA	A COMP. MONO/	ASSIALE MATERI	ALE ROCCIA:						40	28	30	34
										37,4	33,5	26,3	35,5
					DISC	CONTINUITA'							
Famiglia/Set	Piano Mo	dale imm./incl.	Spaziatura m	Persistenza %	Apertura mm	Ondulazione	Riempimento	Umidità	Alterazione	JRC	JCS (Mpa) abaco	JCS (Mpa) Miller	
K1'		14/80	0,36	>90	2,5/5	planare/ondulato	assente	-	WD2	13	80	73,40269408	
K5	:	271/83	0,12	>90	>5	ondulato	radici	-	WD2	11	65	59,76955192	
K1		6/46	0,29	50-90	chiusa	ondulato	assente	-	WD2	7	55 🗡	40,90194873	
S		173/33	0,34	50-90	chiusa	ondulato	assente	-	WD2	9	78 🛰	66,41099697	
		AMMASSO	ROCCIOSO										
	CLASSE A.	R		R2									
AI	LTERAZIONE	A.R.		W2									
DIME	NSIONI BLO	CCHI cm	Media	40X20X15									
			Massima	100×80×50									
			Minima	6×10×10									
			Forma										
	Jv		17,50056344	3-10 secondo podda									
VE	RU MEDIO (d	la Jv)	0,057141017										
R	QD = 115 - 3	,3*Jv	57,24814064										
	Vb=β*Jv ⁻³		0,007214697	m3									
β=	38,67		7,214696693	dm3	small								
	GSI		63-67	structure	blocky								
	GSI 03-07 Support				good								

		S	CHEDA DI SIN	TESI - STAZIONE	GEOMECCANIC	A numero 2							
											F	ર	
			LOCALIZZAZIONE				DIMENSIONI AFFIOR	AMENTO		S	K5	K1	K2
Località:			Tim	au			Lunghezza:			44	43	30	41
Quota:			1200	m			Altezza:			41	44	34	35
Coord. UTM							Area:			41	40	41	33
							Giacitura (imm./incl.)	185/85		34	44	45	33
										38	46	45	34
				LITOTIP	כ					43	42	32	
Formazione:				Cal	cari a goniatiti e clime	nie				29	39	28	
Descrizione Ge	ologica:	calcisiltiti, calcare	eniti e micriti da grig	jio scure a nere in strati di	m parzialmente dolom	itizzati, biomicriti noi	dulari in strati sottili con inte	rstrati marno:		49	29	35	
										48			
RE	SISTENZA	A COMP. MONOA	SSIALE MATERIA	LE ROCCIA:						37			
										40,4	40,875	36,25	35,2
						DISCONTINUIT	'A'						
Famiglia/Set	Piano M	odale imm./incl.	Spaziatura m	Persistenza %	Apertura mm	Ondulazione	Riempimento	Umidità	Alterazione Discontinuità	JRC	JCS (Mpa) abaco	JCS (Mpa) Miller	
S		168/58	0,42	>90	>5	ondulato	coesivo-ricristallizato	-	WD2	5	95 🛰	85,97100427	
K5		269/79	0.33	>90	>5	ondulato	coesivo	-	WD2	5	96 🗡	88,14952979	
K1		351/59	0,45	50-90	<1	irregolare	assente	-	WD2	11	85 🗡	69,0875831	
K2		75/85	0,37	-	2.5/5	ondulato	coesivo	-	WD2	3	80 🗡	65,36962596	
		AMMASSO R	Roccioso										
	CLASSE A	.R.		R2									
AL	TERAZION	EA.R.		W2									
DIME	NSIONI BLC	DCCHI cm	Media	25X30X30									
			Massima	200X100X100									
			Minima	5X3X2									
			Forma										
	Jv		10,33618034	3-10 secondo podda									
VF	RU MEDIO (da Jv)	0,096747538										
R	QD = 115 - 3	3,3*Jv	80,89060489										
	Vb=β*Jv ^{.8}		0,025718054	m3									
β=	28,4		25,71805415	dm3	moderate								
	GSI		58-62	structure	blocky								
				surface conditions	good								

		SC	CHEDA DI SIN	TESI - STAZIONE (GEOMECCANIC	A numero 3							
											R	1	
			LOCALIZZAZIONE				DIMENSIONI AFFIOR	AMENTO		S	K5	K1	K2
Località:			Tima	au			Lunghezza:	15		43	39	33	23
Quota:			1065	m			Altezza:	8		42	35	25	18
Coord. UTM							Area:	120		40	22	35	23
							Giacitura (imm./incl.)	170/80		40	38	39	24
										41	26	27	40
				LITOTIPO)					48	43	34	46
Formazione:				Calc	cari a goniatiti e climer	nie				40	30	40	45
Descrizione Ge	ologica:	calcisiltiti, calcare	niti e micriti da grig	io scure a nere in strati dr	n parzialmente dolom	itizzati, biomicriti noo	dulari in strati sottili con inte	rstrati marnos		40	31	37	42
										46	33	44	48
RE	SISTENZA	A COMP. MONOA	SSIALE MATERIA	LE ROCCIA:						42	29	38	47
										42,2	32,6	35,2	35,6
						DISCONTINUIT	Α'						
Famiglia/Set	Piano M	odale imm./incl.	Spaziatura m	Persistenza %	Apertura mm	Ondulazione	Riempimento	Umidità	Alterazione Discontinuità	JRC	JCS (Mpa) abaco	JCS (Mpa) Miller	
S		170/78	0,32	>90	>5	ondulato	coesivo	-	WD2	9	105 🔪	94,52267419	
K5		271/75	0.23	>90	>5	ondulato	coesivo	-	WD2	9	75 🗡	57,00172518	
K1		1/42	0,18	50-90	<1	-	assente	-	WD2	3	78 🗡	65,36962596	
K2		69/75	0,16	-	2.5/5	ondulato	coesivo	-	WD2	13	78 🖊	66,76179425	
		AMMASSO R	occioso										
	CLASSE A	.R.		R2									
AL	TERAZION	EA.R.		W2									
DIME	NSIONI BLC	OCCHI cm	Media	25X30X30									
			Massima	500×350×200									
			Minima	4X3X2									
			Forma										
	Jv		19,27838164	3-10 secondo podda									
VF	RU MEDIO (da Jv)	0,051871574										
R	QD = 115 - 3	3,3*Jv	51,38134058										
	Vb=β*Jv ³ 0,003963753 m3												
β=	28,4		3,963753327	dm3	small								
	GSI		70-75	structure	blocky								
				surface conditions	good								

		SC	HEDA DI SIN	TESI - STAZIONE (GEOMECCANIC	A numero 4							
											F	1	
		L	OCALIZZAZIONE				DIMENSIONI AFFIOF	RAMENTO		K4	K3	K2	K1
Località:			Tima	u			Lunghezza:			32	28	20	46
Quota:			1060	m			Altezza:			40	32	36	44
Coord. UTM							Area:			42	52	42	48
							Giacitura (imm./incl.)	220/65		34	40	48	42
										36	44	38	30
				LITOTIPO	2					42	48	44	36
Formazione:				Cal	cari a goniatiti e clime	nie				20	46	32	30
Descrizione Ge	eologica:	calcisiltiti, calcare	niti e micriti da grig	jio scure a nere in strati d	m parzialmente dolor	nitizzati, biomicriti no	dulari in strati sottili con inf	terstrati marno		34	44	32	38
										42	40	38	30
RE	SISTENZA /	COMP. MONOAS	SIALE MATERIA	LE ROCCIA:			,			38	46	28	40
										36	42	35,8	38,4
						DISCONTINUIT	A'						
Famiglia/Set	Piano M	odale imm./incl.	Spaziatura m	Persistenza %	Apertura mm	Ondulazione	Riempimento	Umidità	Alterazione Discontinuità	JRC	JCS (Mpa) abaco	JCS (Mpa) Miller	
K4		234/73	0,19	>90	>5	planare-ondulato	coesivo	-	WD2	3	80	68,18361136	
K3		148/78	0,33	50-90	2.5/5	ondulato	coesivo	-	WD2	5	105 /	93,53195241	
K2		75/73	0,12	50-90	<1	irregolare	COESIVO	-	WD2	5	80 /	67,46895755	
K1		354/78	0,13	50-90	1/2.5	ondulato	coesivo	-	WD2	9	85	//,3/3456//	
		AMMASSO P											
		D		P1									
Δ		FAR		10/2									
DIME	NSIONI BL		Media	40×20×20									
			Massima	150X100X60									
			Minima	5X3X2									
			Forma	G7 (G7 (2									
	Jv		24.31910195	10-30 secondo podda									
V	RU MEDIO (da Jv)	0.041119939										
R	RQD = 115 - 3	3*Jv	34.74696356										
	Vb=6*Jv	1	0.002363939	m3	1								
β=	34		2,363939279	dm3	small								
	GSI		60-65	structure	blocky								
				surface conditions	good								

		SC	HEDA DI SINI	TESI - STAZIONE	GEOMECCANI	CA numero 5							
												R	
		Ľ	OCALIZZAZIONE				DIMENSIONI AFFIOF	RAMENTO			K5	S	K2
Località:			Tima	u			Lunghezza:	10			34	20	18
Quota:			1300 (m			Altezza:	3			30	19	18
Coord. UTM							Area:	30			24	20	20
							Giacitura (imm./incl.)	190/70			22	20	24
											34	30	27
				LITOTIP	0						26	19	20
Formazione:				Calcar	eniti di transizione pro	ossimali					26	18	20
Descrizione Ge	eologica:	C	alcari massicci gri	igio chiari in banchi metr	ici, calcari algali con (crinoidi, stromatopol	roidi, tetracoralli e tabulati				33	22	22
											40	22	20
RE	SISTENZA A	COMP. MONOAS	SIALE MATERIAL	E ROCCIA:							38	18	18
											30,7	20,8	20,7
						DISCONTINU	TA'						
Famiglia/Set	Piano Mo	odale imm./incl.	Spaziatura m	Persistenza %	Apertura mm	Ondulazione	Riempimento	Umidità	Alterazione Discontinuità	JRC	JCS (Mpa) aba	aco JCS (Mpa) Miller	r
K5		281/82	0,27	>90	>5	ondulato	coesivo	-	WD2	7	60	► 51,57224059	
5		184/76	0,33	50-90	chiusa	planare	assente	-	WD2	5	45	30,61286667	
K2		85/33	0,41	50-90	<1	ondulato	coesivo	-	WD2	9	48 /	30,45201254	
		AMMASSO RO	occioso										
	CLASSE A.	R.		R2									
A	LTERAZIONE	A.R.		W2									
DIME	NSIONI BLO	CCHI cm	Media	20X10X5									
			Massima	100X100X60									
			Minima	4X4X2									
			Forma										
	Jv		9,173031124	3-10 secondo podda									
V	RU MEDIO (d	la Jv)	0,109015219										
R	QD = 115 - 3	,3*Jv	84,72899729										
	Vb=β*Jv ^{·3}		0,062187434	m3									
β=	48		62,18743385	dm3	moderate								
	GSI		60-65	structure	blocky								
				surface conditions	good								

			SCHEDA DI S	SINTESI - STAZIONE GE	EOMECCANICA I	numero 6							
											F	i i	
			LOCALIZZAZIO	NE			DIMENSIONI AFFIOR	RAMENTO		S	K4	K1	K1
Località:			٦	īmau			Lunghezza:	12		30	28	32	19
Quota:			1	180 m			Altezza:	5		25	26	29	26
Coord, UTM							Area:	60		26	26	22	38
							Giacitura (imm./incl.)	340/80		32	28	23	23
										18	31	31	39
				LITOTIPO						25	22	40	22
Formazione:				Calcareniti di	transizione prossimali	(D3a)				30	40	30	24
Descrizione Ge	eologica:		calcari massici	ci grigio chiari in banchi metrici,	calcari algali con crinoi	di, stromatoporoidi, i	tetracoralli e tabulati			38	24	28	30
										20	27	24	28
	RESISTEN	ZA A COMP. MON	OASSIALE MATE	RIALE ROCCIA:						26	35	25	33
										27	28,7	28,4	28,2
					[DISCONTINUITA'							
Famiglia/Set	Piano Mo	odale imm./incl.	Spaziatura m	Persistenza %	Apertura mm	Ondulazione	Riempimento	Umidità	Alterazione Discontinuità	JRC	JCS (Mpa) abaco	JCS (Mpa) Miller	
S		165/46	0,33	>90	2.5/5	ondulato	coesivo	-	WD2	9	58 💊	42,43849753	
K4		253/77	0,25	>90	>5	ondulato	coesivo-assente	-	WD2	7	55>	46,41474833	
K1		344/49	0,31	50-90	chiusa	ondulato	-	-	WD2	9	62 🗡	45,68693253	
K1'		350/79	0,35	<50	chiusa	ondulato	-	-	WD2	9	55	45,20807346	
		AMMASS	D ROCCIOSO										
	CLASSE A.	.R.		R2									
A	LTERAZION	EA.R.		W2									
DIME	NSIONI BLC	OCCHI cm	Media	20×15×10									
			Massima	60×60×50									
			Minima	5×5×4									
			Forma										
	Jv		13,11325234	3-10 secondo podda									
V	RU MEDIO (d	da Jv)	0,076258732										
R	RQD = 115 - 3	3,3*Jv	71,72626728										
	Vb=β*Jv ⁻³	1	0,015078136	m3									
β=	34		15,07813619	dm3	moderate								
	GSI		65-70	structure	blocky								
				surface conditions	good								

	SC	HEDA DI SINT	ESI - STAZIONE G	EOMECCANIC	A numero 7							
										F	ί .	
	L	OCALIZZAZIONE				DIMENSIONI AFFIOR	RAMENTO		S	K2	K6	K4
Località:		Timau	L			Lunghezza:			20	28	27	40
Quota:		1000 r	n			Altezza:			20	30	24	26
Coord. UTM						Area:			16	20	20	29
						Giacitura (imm./incl.)	165/60		26	34	28	26
									19	20	16	24
			LITOTIPO						17	28	16	20
Formazione:			Cal	cari a goniatiti e clime	nie				32	20	32	33
Descrizione Ge	ologica: calcisiltiti, calcare	niti e micriti da grig	jio scure a nere in strati d	m parzialmente dolorr	nitizzati, biomicriti no	dulari in strati sottili con int	erstrati marno	D	17	17	26	42
									20	25	24	39
R	ESISTENZA A COMP. MONOAS	SIALE MATERIAL	E ROCCIA:						30	19	29	30
									21,7	24,1	24,2	30,9
					DISCONTINUITA	•						
Famiglia/Set	Piano Modale imm./incl.	Spaziatura m	Persistenza %	Apertura mm	Ondulazione	Riempimento	Umidità	Alterazione Discontinuità	JRC	JCS (Mpa) abaco	JCS (Mpa) Miller	
S	167/55	0,32	>90	2.5/5	ondulato	coesivo-assente	-	WD2	13	45 🔪	32,09933239	
K2	62/76	0,19	>90	<1	ondulato	assente	-	WD2	13	52 🗶	36,42570785	
K6	327/34	0,19	50-90	chiusa	ondulato	-	-	WD2	13	50 🔪	36,61811633	
K4	245/35	0,27	50-90	>5	planare	coesivo-radici	-	WD2	5	65 🔪	52,11851104	
	AMMASSO RC	ccioso										
	CLASSE A.R.		R2									
A	ALTERAZIONE A.R.		W2									
DIME	ENSIONI BLOCCHI cm	Media	20X15X10									
		Massima	60X50X25									
		Minima	5X3X2									
		Forma										
	Jv	17,35501949	3-10 secondo podda									
v	/RU MEDIO (da Jv)	0,057620218										
I	RQD = 115 - 3,3*Jv	57,72843567										
	Vb=β*Jv ^{·3}	0,006504345	m3									
β=	34	6,504345461	dm3	small								
	GSI	68-72	structure	blocky								
			surface conditions	good								





174

Relatore: prof. Giovanni B. Crosta Correlatore: dott. Paolo Frattini

ANDREA CREMA matr. 073950



Morfologie legate all'idrografia LEGENDA Alveo in detrito Alveo con evidenze di debris flow inattivi Alveo profondamente inciso con fondo in roccia Alveo con evidenze di debris flow recenti Morfologie legate alle deformazioni superficiali Orlo di scarpata di origine gravitativa Orlo di scarpata di erosione inattiva Orlo di scarpata morfologica Orlo di scarpata di degradazione Orlo di scarpata di erosione torrentizia attiva Orlo di scarpata interessata da caduta massi Nicchia di frana attiva Accumulo/corpo di frana attiva Conoide misto Canalone di valanga Cono di detrito Accumulo antropico Cono da debris flow Corpo da debris flow Accumulo di crollo SCALA 1:10 000 Università degli Studi di Milano Bicocca Dipartimento di Scienze Geologiche e Geotecnologie Approccio multodisciplinare per la redazione di carte di pericolosità e di suscettibilità per frane di crollo a Timau (UD) Carta Geomorfologica

Relatore: prof. Giovanni B. Crosta Correlatore: dott. Paolo Frattini

ANDREA CREMA matr. 073950





LEGENDA

