

Dott. Geol. Paolo Dal Negro Via Faverio 2, 22079 Villaguardia (Co)

Cell 339 – 1468733 Tel e fax 031 - 563148 e-mail dalne@tiscali.it



**ZONAZIONE PERICOLOSITA' DA CADUTA MASSI
IN LOCALITA' COSTA DI CRANNO
SECONDO LA PROCEDURA R.H.A.P.
- COMUNE DI CANZO (CO) -**

Committente: Comune di Canzo (Co)

Professionista incaricato: Dott. Geol. Paolo Dal Negro



n°	Data	Rev.	Riferimento
00	11/10/2010	1° emissione	
01			
02			

INDICE

1 – PREMESSA	2
2 – CARATTERI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI	3
3 – EVENTI DI CROLLO E STUDI PREGRESSI	9
4 – RILIEVO GEOLOGICO DI DETTAGLIO	11
5 – CARATTERIZZAZIONE FENOMENO CADUTA MASSI	13
5.1 – Eventi di crollo pregressi	13
5.2 – Opere di difesa esistenti	14
5.3 – Rilievo di terreno	15
5.4 – Volumetria e dimensione massi	17
6 – AREE OMOGENEE	19
7 – SIMULAZIONI CADUTA MASSI	20
7.1 Caratteri generali del fenomeno	20
7.2 Codice di calcolo	21
7.3 Sezioni di verifica	24
7.4 Parametri di ingresso	25
7.5 Back Analysis	25
7.6 Parametri di ingresso	26
7.7 Simulazioni caduta massi	27
7.8 Risultati	27
7.8.1 Parametri del moto	27
7.8.2 Distanze runout	28
8 – DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA'	29
9 – PROPOSTA DI RIPERIMETRAZIONE FATTIBILITA' GEOLOGICA	31
10 – CONCLUSIONI	33

ALLEGATI :

- A. Report fotografico
 - B. Eventi crollo pregressi
 - C. Schede rilievo geomeccanico
 - D. Schede crolli - Aree omogenee
 - E. Scheda frane
 - F. Sintesi simulazioni caduta massi Sezione 0 / Sezione 11
-
- Tavola 1 – Carta di inquadramento geologico – Scala 1:10.000
 - Tavola 2 – Carta del dissesto con elementi morfologici - Scala 1 : 2.000
 - Tavola 3 – Carta delle aree omogenee – Scala 1: 2.000
 - Tavola 4 – Sezioni verifica caduta massi – Scala 1: 1.000
 - Tavola 5 – Elementi di instabilità in parete
 - Tavola 6 – Carta della pericolosità preliminare – Scala 1: 2.000
 - Tavola 7 – Carta della pericolosità finale – Scala 1: 2.000
 - Tavola 8 – Proposta modifica carta di fattibilità geologica – Scala 1: 2.000

1 – PREMESSA

Su incarico dell'Amministrazione comunale di Canzo è stata redatto il presente studio finalizzato alla definizione e perimetrazione delle condizioni di pericolosità da caduta massi che interessano la porzione settentrionale del territorio comunale. L'area di studio è stata incentrata sul versante denominato Costa di Cranno e sulle aree sottostanti, sino a via Laguccio, via De Gasperi, via Castello.

In data 26/12/2009, dalla parete rocciosa sovrastante via Laguccio, si è verificato il crollo di diverse decine di metri cubi di roccia, con conseguente dinamicizzazione di massi verso le aree sottostanti. Un masso, di volumetria stimata in 40 m³ è arrivato a lambire l'edificio sito alla base del versante. Ciò ha portato ad emettere l'ordinanza sindacale n.103 /2009, la quale vieta l'accesso ai terreni interessati dalla frana o da essa sottesi.

Come documentato nei paragrafi successivi l'area della Costa di Cranno è da sempre stata interessata da fenomeni di crollo, anche di consistente intensità. Si ritrovano tracce documentali di tali fenomeni a partire dall'anno 1984.

Al fine di approfondire le conoscenze circa lo stato del dissesto, e per definire la pericolosità di tale settore di territorio per quanto attiene il fenomeno di caduta massi, è stato condotto il presente studio. E' stata applicata la procedura per la zonazione della pericolosità da crolli in roccia individuata dalla regione Lombardia denominata RHAP (Rockfall Hazard Assesment Procedure) e pubblicata nel BURL n.51 ed. sp. 22/12/2000, successivamente riproposta nell'allegato 2 alla D.G.R: 22/12/2005 n.8/1566 - *Procedure di dettaglio per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da frana.*

In sintesi la procedura prevede le seguenti fasi:

- individuazione dei settori di versante potenzialmente origine di crolli con delimitazione delle aree omogenee;
- individuazione di sezioni significative lungo cui effettuare modellazioni di caduta massi;
- determinazione dei parametri e grandezze di interesse ai fini delle modellazioni (volumetria massi, aree di arresto, forma dei blocchi, coefficienti restituzione e rugosità);
- delimitazione delle aree di transito ed arresto del 70% blocchi simulati, del 95% e del 100% - attribuzione pericolosità preliminare (H2-H4);
- valutazione del grado di attività delle aree sorgenti e determinazione della pericolosità finale (H1-H5)

Nella presente analisi si è fatto esplicito riferimento alla procedura RHAP, si rimanda quindi alla suddetta delibera per la descrizione dettagliata della procedura.

La definizione di dettaglio della pericolosità da caduta massi, consente inoltre, applicando la

Tabella 2 di cui alla D.G.R: 22/12/2005 n.8/1566 di definire in modo rigoroso le classi di fattibilità geologica per le aree analizzate.

Preliminarmente alla effettuazione dei rilievi di terreno, necessari a definire l'assetto geologico e geomorfologico dell'area, nonché per ricavare i parametri quantitativi atti a descrivere il fenomeno di caduta massi, si è proceduto ad un'attenta analisi dei dati bibliografici resi disponibili dall'amministrazione comunale.

2 – CARATTERI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

L'area in esame si ubica nel Triangolo Lariano, settore occupato da formazioni di età variabile tra il Trias superiore ed il Cretaceo superiore (220-70 Milioni Anni).

La serie stratigrafica affiorante nel comune di Canzo costituisce uno dei più begli esempi di successione stratigrafica mesozoica. Di seguito si riporta una descrizione della formazioni rocciose affioranti nel territorio comunale, dalla più recente alla più antica.

- **Formazione di Sorisole** (Cenomaniano): si tratta di un'unità che raggruppa una serie di litozone informali utilizzate per la cartografia di dettaglio della successione cretacea (BERSEZIO et alii, 1990). In particolare, incorpora le “marne rosse” (FSEa), i “banchi caotici” e le “torbiditi sottili” di BERSEZIO & FORNACIARI (1988), coincidendo con la “Sequenza Cenomaniana” dei medesimi AA. Affiora al nucleo della sinclinale alla testata della Val Ravella. In corrispondenza dell'alpe Grasso si sono riscontrati ridotti lembi attribuibili all'unità dei Calcari Marnosi. Si compone delle seguenti unità :

- Torbiditi Sottili**

- Arenarie e marne siltose grigio scuro in sottili strati planari, con frequente laminazione sequenza Bouma Ta-Tc

- Calcari Marnosi**

- Calcari marnosi torbiditici ben stratificati, colore grigio scuro – ocra (azzurro-giallognolo). Livelli in rilievo di 2 cm associati a strati <1 cm laminati. Marne da grigie a rosse con stratificazione da sottile a media. (Affioramento Alpe Grasso)

- Marne Rosse**

- Marne e calcareniti fini in strati decimetrici grigio-rosato nella parte bassa, rosato verso l'alto. Laminazioni e gradazioni tipo Td Bouma. Aspetto massivo o scaglioso, dove la stratificazione piano parallela e la laminazione sono sovente percepite con difficoltà a causa della bioturbazione. Rara sfaldatura a saponetta.

- **Sass de la Luna** (Albiano): Calcari marnosi, calcareniti a matrice micritica e marne grigie a tipica sfaldatura concoide in strati maldefiniti, localmente gradati. Verso l'alto aumentano intercalazioni di calcareniti fini. Colore grigio bluastrò, plumbeo, azzurrognolo o nocciola in frattura fresca; diventa tipicamente bianco opaco in alterazione. Affiora in prossimità di via Laguccio, oltre che al nucleo della sinclinale alla testata della Val Ravella.
- **Marne del Bruntino** (Aptiano- Albiano): Marne e argilliti scagliettate, da nerastre a verde a rossa. Prevalente colore rosso vinato e grigio scuro sino a nerastro. Qualche sottile intercalazione di areniti fini, debolmente gradate quarzose. Scagliosa. Sottili livelli più calcarei in rilievo immerse in abbondanti marne fissili fogliettate.
- **Maiolica** (Tithoniano - Barremiano): calcari bianchi compatti con noduli e liste di selce di colore grigio scuro o bluastrò, caratterizzati da stratificazione di spessore decimetrico. Sono comuni strutture stilolitiche parallele ai piani di stratificazione. In superficie tale litotipo presenta una caratteristica patina di alterazione di colore grigiastro. Lo spessore di tale formazione varia in genere tra 130 e 160 m. Strati generalmente sottili ma spesso rinsaldati in pacchi di 1 m.
- **Rosso ad Aptici** (Kimmerdgiario – Tithoniano): è costituito da calcari marnosi e marne con rare intercalazioni silicee, con presenza di Aptici. La colorazione tipica di tali rocce è rossastra, talora con venature verdi. Poca selce in noduletti rossi. Strati in spessore medio di 10-20 cm.
- **Radiolariti** (Kalloviano – Kimmerdgiario): si tratta di radiolariti (rocce sedimentarie a composizione silicea) di colorazione varia ed in genere molto accesa, quale verde, rossa, grigio azzurra, a cui si intercalano marne silicee ed argilliti. Gli spessori di tale formazione variano tra pochi metri e 50 m. Sono localmente intercalate marne silicee ed argilliti.
- **Rosso Ammonitico** (Toarciano – Aaleniano): Calcari rosati nodulari. Noduli calcarei e clasti calcarei rosati chiari centimetrici in argilliti e marne rossastre. La stratificazione è data da allineamenti dei noduli appiattiti e dei livelli di marne. Presenza di rari noduli verdastrati. Colore vinaccia in frattura fresca. Localmente ricca di biotite lungo i piani di stratificazione. Strati medio-sottili.
- **Calcare di Domaro** (Giurassico inferiore): Calcari marnosi grigio chiari, talora nocciola, biancastri in alterazione, poco bioturbati e con rare liste di selce bionda, organizzati in una ciclica alternanza di banchi metrici, generati dal rinsaldamento di più strati, e di orizzonti marnosi di spessore decimetrico. Presenza nei calcari di noduli ferruginosi ed ammoniti. Superfici di strato planari o nodulose. Intercalati livelli

di marne ed argille grigio verdi, spesso rossastre. Possono comparire rari strati in cui i noduli calcarei sono fasciati da marne rosate. In zone paleoalto calcari marnosi rossastri a stratificazione nodulare e diffuse ammoniti.

- **Calcere di Moltrasio** (Giurassico): calcari selciferi con colorazione tipica sulle tonalità del grigio scuro e con patina di alterazione nocciola. Sono presenti interstrati marnoso-argillosi di spessore variabile, talora di diversi centimetri. Nella zona di studio la silice si presenta sia come costituente della roccia sottoforma di cemento o spicole, che in liste e noduli di selce. La roccia è ben stratificata ed alterna strati di spessore centimetrico con strati che possono superare i 50 cm. Si osserva la presenza di laminazione millimetrica o centimetrica, da planare ad ondulata. In alcuni casi sono osservabili delle discordanze stratigrafiche interne alla formazione date da terminazioni laterali di strati che originano una morfologia a becco di flauto. In alcuni affioramenti si osserva stratificazione convoluta e piegata ad opera di slump sinsedimentari, cioè di scivolamenti che avvenivano lungo un pendio durante la deposizione stessa del sedimento ancora non litificato. Le pieghe dovute a slump sinsedimentari sono caratterizzate da avere geometria isoclinale, con fianchi dritti e cerniera arrotondata, spesso con piano assiale suborizzontale.
- **Calcere di Sedrina** (Giurassico inferiore): Calcari micritici alternati a calcari grigi o grigio scuri in strati 10 cm – 1 m con spruzzature o noduli di selce scuri e interstrati sottili marnosi. Frequenti bivalvi silicizzati. Giunti marnoso argillosi. Sovente sono costituiti da calcari scuri silicizzati con tipiche fiammature biancastre. Il membro superiore presenta calcari oolitici con bioclasti grigio chiari o nocciola, strati decimetrici rinsaldati a formare banchi metrici con laminazione incrociata basso angolo.
- **Dolomia a Conchodon** (Giurassico inferiore): Calcari e calcari dolomitici grigio chiari o grigio nocciola in banchi metrici rinsaldati o privi di stratificazione. Prevalgono grainstone oolitici, con associati rari mudstone. E' una roccia compatta, scheggiosa, a stratificazione in genere evidente, anche se la dolomitizzazione irregolare può obliterare le strutture sedimentarie determinando talora l'aspetto di stratificazione massiccia. Questa formazione, molto rigida ed a comportamento competente, usualmente è ben individuabile per il risalto morfologico che riesce a fornire lungo i versanti. Essa infatti costituisce una fascia allungata in corrispondenza del Ceppo dell'Angua, sopra San Miro.
- **Calcere di Zu** (Retico): è costituito da calcari di colore grigio o grigio bluastrò, con patine di alterazione di colore ocraceo e giallastro. I calcari sono spesso intercalati da

livelli marnosi ed argillitici di spessore decimetrico fittamente laminati. La stratificazione è ben definita e mostra spessori da centimetrica a decimetrica. Lo spessore regionale di tale formazione è variabile da area ad area, con valori di 600 m presso il depocentro di Porlezza e di 300 m in corrispondenza dell'alto dell'Albenza. Tale formazione è suddivisibile in 3 o 4 membri, a seconda delle zone di affioramento. Al tetto della formazione, al passaggio con la Dolomia a Conchodon, è presente un livello di calcare micritico riccamente fossilifero, con bivalvi e coralli, in strati decimetrici.

- **Dolomia Principale** (Norico): si tratta di dolomie di colore variabile da grigio biancastro a rosato. Sono presenti laminazioni algali, talora fitte e di spessore millimetrico. La stratificazione si presenta da massiva a ben distinta. Tale carattere è legato alle condizioni di sedimentazione subtidali, intertidali o sopratidali. Da quanto riportato in bibliografia questa formazione ha uno spessore tra 1200 m e 1500 m. Tale formazione si presenta spesso interessata da fenomeni di carsismo molto sviluppati. Costituisce il nucleo della sinclinale del Monte Rai, nella porzione sud-orientale del territorio comunale.

Il quadro geologico del territorio comunale, già abbastanza articolato e complesso a causa del ricco assetto stratigrafico, è ulteriormente complicato dall'assetto tettonico dell'area.

Le unità sedimentarie sono infatti interessate da ampi piegamenti e sovrascorrimenti vergenti verso sud. Come osservabile in figura 1, che riporta l'assetto geologico-strutturale delle province di Como e Lecco, la porzione meridionale del Triangolo Lariano è interessata da un sovrascorrimento di notevole continuità. Come riportato nella Tavola 1 (Carta di inquadramento geologico), tale sovrascorrimento interessa le pendici del Monte Barzaghino, e porta a sovrascorrere i calcari di Moltrasio (giurassici) sui calcari della Maiolica (cretacici).

Al margine meridionale del Triangolo Lariano si osserva il passaggio dal contesto dei rilievi montuosi alpini e prealpini al sistema dei rilievi collinari pedemontani. Al passaggio tra tali ambiti si osserva la struttura definita come "flessura marginale" (De Sitter & De Sitter Koomans, 1949). In corrispondenza della flessura, le successioni mesozoiche delle Prealpi Lariane si immergono al di sotto delle successioni recenti dell'alta pianura lombarda.

L'assetto d'insieme dei terreni cretacei è fortemente condizionato dalla presenza di una potente coltre di sedimenti Giurassici che occupano l'intera porzione occidentale del Triangolo Lariano, dal Monte S. Primo al Monte Boletto-Bolettone. Queste unità rappresentano la piattaforma liassica del Monte San Primo-Monte Generoso, estesa dal lago di Lugano alle Grigne e caratterizzata nell'area in esame da ripetizioni di anticlinali e sinclinali fagliate.

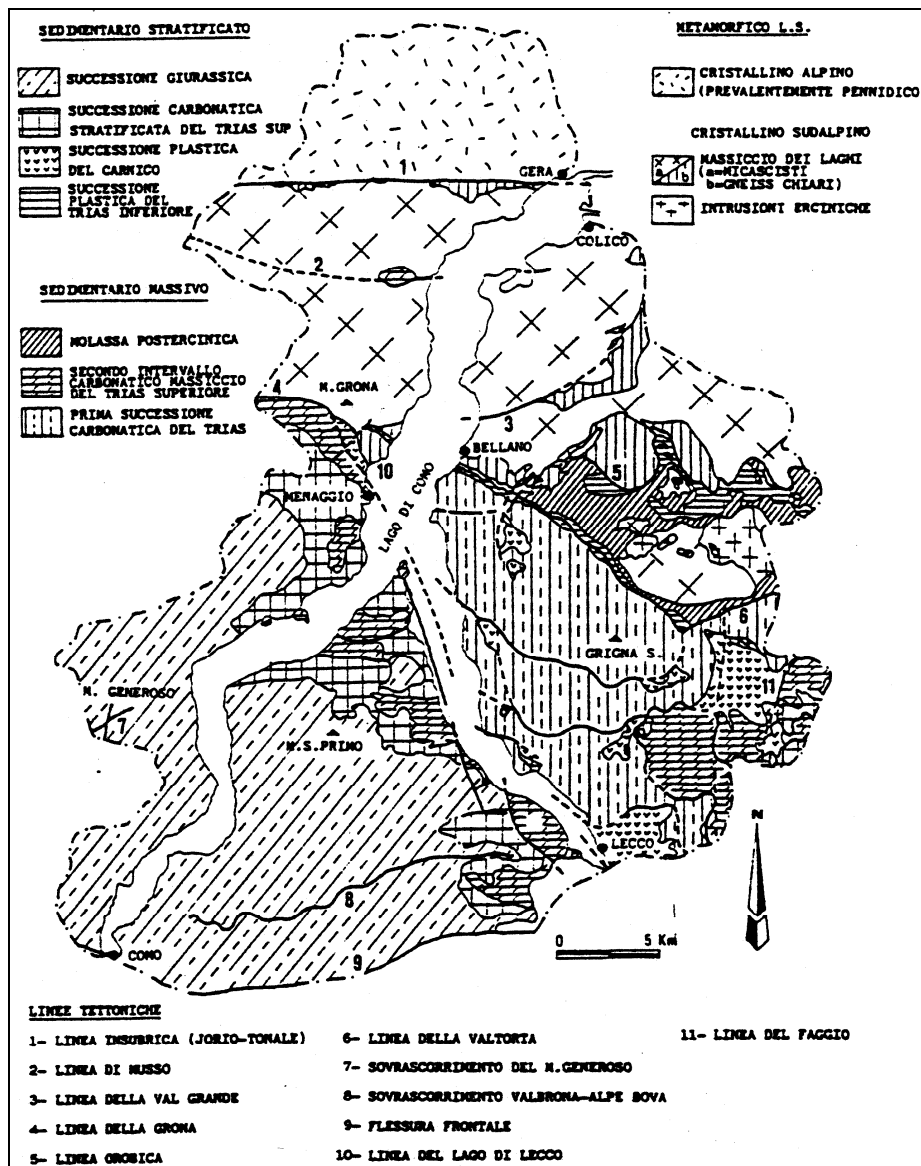


Figura 1: schema dell'assetto geologico-strutturale dell'area delle Alpi Lariane (da Gianotti, Perotti e Piccio, 1986)

L'intensità delle deformazioni subite dai terreni cretacei del Triangolo Lariano cresce spostandosi verso est, in prossimità dell'accavallamento tettonico che ha dato origine all'edificio delle Grigne.

L'assetto geologico strutturale del comune di Canzo è dominato dalla presenza di sinclinale a scala regionale il cui nucleo affiora lungo la Val Ravella. Tale motivo strutturale determina la ripetizione speculare della successione stratigrafica rispetto all'asse della sinclinale stessa. In corrispondenza del fianco settentrionale della Val Ravella, e lungo il prolungamento sito nella Costa di Cranno, affiora il fianco rovescio della sinclinale. Alle quote maggior affiorano cioè i sedimenti più antichi, in questo caso costituiti dal Calcare di Moltrasio. Il nucleo della

sinclinale, nel settore oggetto di studio, si imposta sulla formazione della Maiolica. Si osserva che nella porzione di territorio che va dal centro storico di Canzo alla Costa di Cranno la sinclinale appare interessata da faglie che determinano elisioni tettoniche delle formazioni presenti. Tra la via Laguccio e la via De Gasperi è stato possibile osservare in uno scavo di cantiere edile la presenza delle formazioni più recenti di età cretacea, nello specifico costituita dal Sass de la luna.

Il substrato roccioso è coperto da spessori assai variabili di sedimenti quaternari, che nella valle del fiume Lambro raggiungono spessori di diverse decine di metri. Di seguito si fornisce una sintetica descrizione dei depositi quaternari presenti.

- **Depositi alluvionali attuali:** Data la ridotta estensione dell'idrografia superficiale nel territorio comunale, i depositi alluvionali attuali sono assai limitati, essendo presenti solamente lungo il corso del Fiume Lambro e del torrente Ravella. I depositi alluvionali sono generalmente molto grossolani; prevalgono infatti grandi blocchi e ciottoli arrotondati a supporto clastico. Localmente la matrice ghiaioso-sabbiosa risulta essere abbondante.
- **Depositi fluviali antichi e fluvioglaciali:** si tratta di depositi caratterizzati da una notevole eterogeneità granulometrica. Prevalentemente, essi sono costituiti da ghiaie e sabbie con ciottoli e blocchi arrotondati immersi in una abbondante matrice sabbioso-limosa-argillosa. Tali depositi sono presenti lungo il fiume Lambro ed il torrente Ravella e costituiscono parte delle aree della pianura alluvionale.
- **Depositi glaciali:** tali depositi sono costituiti da ciottoli e blocchi arrotondati con dimensioni massime decimetriche, immersi in una matrice limosa o limoso-sabbiosa, generalmente abbondante. I ciottoli ed i blocchi sono costituiti quasi esclusivamente da metamorfiti e, subordinatamente, da rocce intrusive. Localmente abbondanti risultano essere i massi erratici di dimensioni superiori ad alcuni metri cubi, costituiti prevalentemente da micascisti e gneiss. I depositi glaciali presenti sul territorio comunale sono caratterizzati da uno spessore sempre piuttosto ridotto, dell'ordine massimo di alcuni metri e spesso non superiore ad 1-2 metri. A tali depositi si possono ascrivere i massi erratici distribuiti sul territorio comunale con particolare diffusione sulla cresta della Costa di Cranno (Sass de la Prea).
- **Depositi di versante:** sono costituiti da frammenti litici del substrato roccioso, anche di granulometria grossolana, immersi in una matrice sabbiosa o sabbioso limosa talora abbondante.

Dal punto di vista geomorfologico si riconosce sul territorio l'impronta determinata dalle glaciazioni che a più riprese hanno interessato nelle epoche geologiche il settore in esame. Il flusso del ghiacciaio era prevalentemente Nord-Sud, collocato lungo l'asse della valle del Lambro. Ciò ha portato ad un rimodellamento dei versanti impostati su substrato roccioso. Tipicamente nel territorio compreso tra Asso, Canzo e Castelmarte infatti i versanti posti in direzione opposta al flusso del ghiacciaio (esposizione verso Nord) mostrano forme addolcite, in conseguenza dell'azione di esarazione esercitata dal ghiacciaio. I versanti con esposizione verso Sud mostrano di contro morfologia abrupta, con pareti acclivi, in conseguenza dell'azione di frammentazione esercitata dal ghiacciaio. Si osserva cioè a grande scala la morfologia tipica delle rocce montonate.

Lungo le pareti con esposizione verso Sud si osservano pertanto elevate energie del rilievo, che spesso conducono all'instaurazione di fattori predisponenti all'innesco di fenomeni di crollo, come si osserva con ricorrenza lungo la Costa di Cranno.

3 – EVENTI DI CROLLO E STUDI PREGRESSI

La conformazione morfologica del territorio di Canzo fa sì che si verificano periodicamente fenomeni di dissesto, ed in particolare della tipologia dei crolli di massi. Si è proceduto alla ricerca bibliografica e documentale di eventi di crollo pregresso che hanno interessato il territorio di Canzo, con particolare riguardo al settore della Costa di Cranno. Molte segnalazioni di dissesto sono state reperite nell'archivio dell'Ufficio Tecnico Comunale.

Nell'Allegato A si riporta una sintesi degli eventi di cui è stata ritrovata traccia documentale.

Si tratta di 14 eventi, alcuni dei quali di consistente entità, che nell'arco di 26 anni (1974 – 2000) hanno interessato il territorio comunale. Di questi eventi ben 8 hanno interessato la Costa di Cranno o i settori di versante immediatamente attigui.

Si nota pertanto un ricorrenza del fenomeno di crollo, con una cadenza di 1 evento di cui si ha traccia documentale ogni circa 2 anni. Va ricordato che non tutti gli eventi accaduti sono stati registrati o segnalati se non quelli che hanno comportato interferenza con infrastrutture od edificato.

Sulla Tavola 2 in allegato è riportata l'ubicazione planimetrica dei settori di parete interessati

da eventi di crollo in passato.

L'evento di maggior rilievo occorso in passato è stato il crollo verificatosi in data 23/01/1985, innescatosi ad una quota di circa 700 m s.l.m. e che ha portato ad accumulare massi di alcuni metri cubi nella parte bassa del versante, in prossimità dell'Albergo Castello e del vecchio campo da bocce. A seguito di tale evento, su progetto del Genio Civile è stato predisposto un vallo e delle barriere paramassi, a protezione dell'abitato.

Presso gli uffici comunali è stato possibile reperire studi inerenti la caduta massi e relativi all'abitato sottostante la Costa di Cranno. Si segnala a tal proposito la *Valutazione preliminare sul grado di pericolosità della parete rocciosa sita a NE dell'abitato di Canzo*, redatta a cura di S.G.P. nel marzo 1985, che già evidenzia l'elevata pericolosità della Costa di Cranno, a seguito dell'evento occorso pochi mesi prima. In esso vengono fornite prime indicazioni in merito alle opere di difesa da predisporre e viene suggerito di *provvedere ad idonea piantumazione del versante, evitando, nel frattempo, qualsiasi forma di disboscamento del tipo di quella recentemente attuata in zona*.

A seguito di tale perizia, in data 27/03/1985, la Comunità Montana Triangolo Lariano ha emesso ordinanza nella quale si ordinava *a tutti i proprietari e conduttori dei terreni compresi nella fascia dal cimitero di Canzo a Repossino di non procedere al taglio delle piante di qualsiasi natura e ubicazione e di non effettuare qualunque opera per evitare il rotolamento di massi*.

Nel dicembre 1989 viene redatta l'*Indagine geologico tecnica di supporto al P.R.G.*, a cura di GEA snc, in cui sono state analizzate le problematiche di caduta massi della Costa di Cranno in relazione alla stabilità dei terreni prospicienti via Laguccio e via De Gasperi oggetto di espansione edilizia. In tale analisi viene individuata una volumetria dei massi ricorrente di entità pari a 0,5 m³.

A seguito di tali analisi, prima dell'edificazione del Piano di zona E.E.P. "Comparto di via Laguccio" sono stati predisposti due valli paramassi a protezione delle zone di edificazione.

4 – RILIEVO GEOLOGICO DI DETTAGLIO

Dal momento che il fenomeno di caduta massi interessa un settore abbastanza ampio, lungo circa 1 km si è reso necessario definire con esattezza il contesto geologico dell'area in esame estendendo i rilievi ad un ampio settore circostante.

La sintesi dei rilievi svolti è illustrata nella cartografia di Tavola 1 e 2 in allegato.

Il substrato roccioso affiora estesamente lungo le pareti rocciose che coronano il versante della Costa di Cranno a quote superiori a 500 m s.l.m.. La distribuzione delle formazioni rocciose e l'analisi delle pieghe alla mesoscala consentono di ricavare la presenza di sinclinale chiusa, con piano assiale immergente a medio angolo verso Nord. Il nucleo della sinclinale è costituito da **Maiolica**, e si imposta sulle pareti rocciose site in località Priei. La peculiarità della formazione della Maiolica è che la stratificazione, in genere di spessore medio 20-30 cm, è sovente poco evidente, tanto che la roccia assume aspetto massivo. Alla base stratigrafica della Maiolica affiora, sebbene in maniera discontinua, la formazione del Rosso ad Aptici.

Il versante della Costa di Cranno, dalla quota 400 m s.l.m. sino a circa 600 m s.l.m. si imposta sui **Calcari del Domaro**, caratterizzati da stratificazione regolare di spessore decimetrico, talora rinsaldata in pacchi di spessore metrico. La parete rocciosa sita a metà versante (quota 500 m s.l.m.) si imposta in tale formazione. L'assetto strutturale del substrato è di fianco rovescio di sinclinale, con strati immergenti a medio angolo verso Nord. La presenza di pieghe parassite alla mesoscala di ordine metrico determina locali scostamenti della giacitura da tali valori. Ciò genera una prevalente giacitura a reggipoggio della stratificazione, con valori medio alti di inclinazione. Localmente si osservano pieghe minori, a scala metrica con piano assiale immergente ad angolo intermedio (30°-50°) verso Nord ed asse suborizzontale con direzione Est-Ovest.

Nella porzione sommitale del versante è presente fascia rocciosa continua, la quale si imposta sulla formazione geologica più antica affiorante in tale settore, costituita dal **Calcare di Moltrasio**. La stratificazione, in genere di spessore pari a 30-40 cm, è spesso rinsaldata in bancate metriche. L'assetto strutturale locale fa sì, specie nel settore occidentale della parete, ove è occorso il distacco del dicembre 2009, che la roccia sia interessata da un fitto reticolo di fratture ricementate, in cui si fatica a riconoscere la stratificazione originaria. Ciò determina un incremento della volumetria dei blocchi che si possono staccare dalle pareti rocciose rispetto ai settori ove il substrato è interessato da stratificazione regolare.

Lungo il versante affiorano in maniera discontinua le marne rossastre del **Rosso ad Aptici**. Tale formazione è posta alla base stratigrafica della Maiolica, ed affiora spesso in prossimità

del nucleo della sinclinale sopra descritta.

Questo assetto condiziona in modo determinante la circolazione idrica nel sottosuolo. La Maiolica si presenta infatti interessata da fratture aperte e carsificate, con fenomeni molto evidenti lungo i Priei. La presenza di un livello poco permeabile quale il Rosso ad Aptici alla base della Maiolica favorisce la venuta a giorno di acque tramite sorgenti al contatto tra le due formazioni, come testimoniato dalle estese incrostazioni carbonatiche osservate lungo i versanti dei Priei. A livello di circolazione delle acque, lungo la fascia rocciosa che corona la Costa di Cranno è spesso osservabile la presenza di incrostazioni carbonatiche spesso associate a flussi lungo la stratificazione o a sistemi di fratturazione con giacitura a franapoggio meno inclinato del versante.

La sinclinale a grande scala sopra descritta è individuabile compiutamente solo in località Priei. Infatti, spostandosi da Sud verso Nord, e cioè dalla località Ceppo Rosso sino alla sommità del versante posta a quota 800 m s.l.m., si osserva l'affioramento delle formazioni dalla più antica (Calcari di Moltrasio) alla più recente (Maiolica) sino al nucleo della sinclinale e con geometria speculare dal nucleo alla sommità del versante.

Spostandosi ad occidente, in località Laguccio, il fianco meridionale della piega è probabilmente eliso per motivi tettonici (fagliazione). In tale località, ad Ovest del cimitero, sono presenti calcari marnosi poco permeabili ascrivibili alla formazione del Sass de la Luna. La distribuzione degli affioramenti osservati e le indagini disponibili per via Laguccio, indicano la presenza di substrato roccioso a bassa profondità anche alla base del versante della Costa di Cranno, nelle porzioni pianeggianti di via Laguccio. A tale assetto sono riconducibili le problematiche di ristagno idrico ed affioramento di falde idriche riportato per tali settori.

Nei tratti di versante posti a quota inferiore a 420 m s.l.m. sono presenti depositi detritici ascrivibili alla categoria dei depositi di versante. Sono costituiti da ghiaie e ciottoli, in genere in scarsa matrice sabbioso limosa, con clasti calcarei spigolosi. A tali depositi si associano estese coperture di detrito generato da fenomeni di crollo, sia in accumuli di pezzatura delle ghiaie e ciottoli che sottoforma di macereti di blocchi. Lo spessore delle coperture è in genere esiguo, con probabile incremento nella porzione basale del versante.

Lungo il versante in esame non si sono riconosciuti spessori significativi di depositi glaciali. Si rinvennero altresì diffusamente blocchi erratici lungo la cresta del versante. Tra questi blocchi, di origine cristallina, è degno di menzione il Sass de la Prea, erratico di diversi metri cubi di volumetria sito a quota 725 m s.l.m., sulla cresta del versante, poggiante direttamente su substrato roccioso.

5 – CARATTERIZZAZIONE FENOMENO CADUTA MASSI

Al fine di ricavare i parametri quantitativi necessari a descrivere il fenomeno di caduta massi si è proceduto ad una attenta analisi e descrizione degli eventi di crollo pregressi ed alla effettuazione di accurati rilievi di terreno lungo tutto il pendio della Costa di Cranno, esteso ad Est sino alla località Repussin.

5.1 – Eventi di crollo pregressi

I versanti della Costa di Cranno sono stati interessati da diversi eventi di crollo negli anni passati come sintetizzato al paragrafo 3. Due eventi sono di maggiore rilievo.

In data 23/01/1985 si sono staccati diversi metri cubi di roccia dalla parete rocciosa sita a quota di 700 m s.l.m.. La nicchia si trova alcune decine di metri a valle del Sass de la Prea.

I massi generatisi da tale distacco hanno raggiunto l'area ove esisteva un campo di bocce, a quota 451 m s.l.m.. Non sono stati segnalati danni a cose o persone, sebbene all'epoca siano state preallertate per situazione di potenziale pericolo buona parte le abitazioni di via De Gasperi site più a ridosso dell'area di frana. Attualmente si possono riconoscere in sito ancora alcuni dei massi correlabili a tale evento. Essi sono costituiti da calcare di Domaro e di Moltrasio, con volumetrie prossime a 10 m³. Alcuni massi hanno facce delimitate da strie e gradini mineralogici, ad indicare la tettonizzazione della roccia presente nelle aree sorgenti. A seguito di tale evento è stato predisposto e realizzato a cura del Genio Civile vallo e rete paramassi.

In data 26/12/2009 dal settore occidentale della Costa di Cranno si è verificato il crollo di un esteso settore di fronte roccioso sito a quota di 550 m s.l.m.. I rilievi effettuati nella parete di distacco indicano la presenza di calcare di Moltrasio, interessato da pieghe. La roccia appare intensamente tettonizzata, con fratture spesso ricementate da calcite. Si osservano estesi indizi di alterazione della roccia, che appare decolorata su vasti fronti ed estese tracce di circolazione idrica negli ammassi rocciosi. L'assetto strutturale ha influenzato pesantemente la volumetria dei massi distaccatisi. Lungo le aree di transito ed accumulo si osservano diversi massi di volumetria superiore a 10 m³, con alcuni che raggiungono i 40 m³. Larga parte dei crolli si è arrestata ad una distanza di 50 m - 70 m dal punto di distacco, a monte cioè del sentiero Spaccasassi alto. Un solo masso con volume di circa 40 m³, pari cioè alle dimensioni massime, ha superato la sella morfologica presente a quota 480 m s.l.m. ed ha raggiunto la base del versante, arrestandosi sulle aree terrazzate poste a quota 410 m s.l.m.. Si rileva che lungo l'area di transito è presente prevalente roccia affiorante o subaffiorante. Il masso ha arrestato la propria corsa prima di raggiungere la base del versante, più precisamente dopo una trentina di metri percorsi su depositi detritici di versante. Il masso

che ha effettuato il percorso più lungo ha geometria poliedrica, mostra misure massime 1,70 m x 4,00 m x 8,10 m e si compone di litologia di Calcarea di Moltrasio. Una delle facce di tale blocco è delimitata da piani di faglia, materializzati da strie e gradini mineralogici. Alcune facce sono caratterizzate da intensa decolorazione con patine giallastre. Analisi in parete confermano che tale lato coincide con il sistema di fessure subparallele al versante lungo cui sono avvenuti i distacchi. Alcuni blocchi negli accumuli presentano inoltre incrostazioni carbonatiche indizio di passaggio di acqua nelle rocce site nelle aree sorgenti.

L'evento accaduto ha messo in luce l'entità della problematica dei crolli che possono interessare la Costa di Cranno, in termini di volumetrie mobilizzabili. Tale evento, sotto l'aspetto delle distanze massime raggiunte ha però scarsa rilevanza statistica dal momento che solo 1 masso, tra l'altro quello di maggiori dimensioni, ha superato la sella di quota 480 m s.l.m.. Probabilmente già i primi massi crollati di una certa dimensione si sono arrestati sul primo ripiano morfologico presente, formando una sorta di sbarramento per la coda del dissesto in transito.

A pochi giorni di distanza da tale evento, **in data 15/01/2010** è accaduto un ulteriore dissesto, di proporzioni notevoli, che ha interessato la parete di Scarenna, al confine con i comuni di Asso e Caslino d'Erba, e quindi esternamente al versante della Costa di Cranno. La concorrenza temporale dei due eventi indica la rilevanza dei fenomeni di gelivazione nell'innescare dei crolli di blocchi delle proporzioni osservate. L'assetto geologico della frana di Scarenna è però differente da quello di via Laguccio. A Scarenna è stata interessata da crollo un esteso settore di parete rocciosa impostata sui calcari della Maiolica, fortemente tettonizzati in quanto posti a ridosso del grande sovrascorrimento che taglia la base del monte Barzaghino. L'evento di Scarenna ha dinamizzato massi di volumetria molto consistente, che raggiungono i 70 m³, maggiori rispetto agli eventi osservabili lungo la Costa di Cranno.

5.2 – Opere di difesa esistenti

A seguito degli eventi di crollo occorsi nel tempo, o semplicemente preliminarmente alle operazioni di edificazione succedutesi nel tempo lungo via Laguccio - via De Gasperi, sono state realizzate diverse opere di difesa dalla caduta massi.

Nella cartografia di Tavola 2 e 3 sono puntualmente indicate tali opere.

Sono presenti:

- **Valli e rilevati paramassi.** Un vallo, di lunghezza complessiva pari a 108 m è stato realizzato a cura del Genio Civile a seguito dell'evento del 1985. Interessa la località Castello. Un sistema composto da 2 valli e rilevati è stato realizzato, dietro

prescrizione del comune di Canzo, preventivamente alla realizzazione dei condomini del piano di zona E.E.P. comparto Laguccio.

- **Barriere paramassi di tipo flessibile.** Opere di tale tipo sono state posizionate lungo la pista di frana del dicembre 2009, per una lunghezza di 30 m, altezza 4 m e con energia massima assorbibile pari a 1.500 kJ. Immediatamente a monte del Progetto Norma 3.2 di via De Gasperi, sono presenti barriere flessibili sempre di energia 1.500 kJ, altezza 4 m e sviluppo 24 m.
- **Barriere paramassi di tipo rigido.** Sono state posizionate a valle del vallo-rilevato del genio Civile, per uno sviluppo complessivo di 101 m, e con altezze tra 2,5 m e 3,0 m. Barriere di tale tipologia sono state realizzate preventivamente alle edificazioni realizzate lungo via Laguccio e relative ad edificio unifamigliare nell'ambito progetto norma 2.2 (PdC n. .34 del 21/01/2005) e delle due unità abitative realizzate al mappale 39. Queste ultime barriere hanno altezza di 2,0 m e sviluppo complessivo pari a 77 m. In genere le barriere paramassi di tipo rigido sono in grado di assorbire impatti tra 250 kJ e 300 kJ.
- **Sistema Lasar**, posizionato lungo la pista della frana del dicembre 2009.
- **Reti in aderenza** con pannelli ad anelli su fronte roccioso incombente sul mappale n.39

La presenza, caratteristiche, distribuzione e stato di efficienza delle opere di difesa, è stata considerata nella implementazione delle verifiche di caduta massi e nella zonazione della pericolosità da caduta massi.

Si osserva in genere tali opere mostrano buon grado di conservazione, sebbene solo opere di tipo valli e rilevati paramassi sono in grado di fronteggiare gli eventi coinvolgenti i massi di volumetria massima. I massi di volumetria modale possono essere infatti intercettati dalle barriere di tipo flessibile, mentre in genere possono superare le barriere di tipo rigido, con minore energia di assorbimento. Si pone l'attenzione sul fatto che, come discusso in seguito, le pareti rocciose poste più a ridosso di via Laguccio, e quindi nell'estremo settore occidentale dell'area di studio (aree omogenee A e B), mostrano volumetrie dei blocchi instabili assai più contenute di quelle osservate sulle pareti rocciose della costa di Cranno.

5.3 – Rilievo di terreno

Il rilievo diretto dei siti ha permesso di caratterizzare, sia qualitativamente che quantitativamente, il fenomeno di caduta massi.

Le aree sorgenti dei fenomeni di caduta massi si collocano in prevalenza sulle pareti rocciose che coronano la sommità della Costa di Cranno e che si sviluppano tra 550 m s.l.m.

e 750 m.s.l.. Tali pareti si impostano su calcari appartenenti al Calcare di Moltrasio. La roccia appare piegata, con asse subparallelo al versante. Le zone di cerniera dei piegamenti sono quelli ove maggiori sono gli stress e deformazioni tettoniche. Ciò determina l'obliterazione dei caratteri sedimentari primari (stratificazione regolare decimetrica) e la compattazione di più strati con fessure ricementate a dare distacchi di blocchi di volumetria pari ad alcune decine di metri cubi.

Lungo la fascia rocciosa più alta sono almeno tre i settori ove è maggiore il grado di fratturazione e dove sono maggiormente presenti gli indicatori di attività dei distacchi. In corrispondenza della nicchia del dissesto del 2009 la roccia appare intensamente fratturata. Molti dei blocchi distaccatisi hanno infatti facce delimitate da piani di faglia. Sono inoltre presenti evidenti tracce di alterazione, con roccia profondamente alterata ed estese patine di colorazione giallastra lungo il set di fratture subparallelo al versante. Si osservano inoltre localmente venute idriche associate ad incrostazioni carbonatiche, specie lungo le fratture con disposizione a franapoggio meno inclinato del pendio. Tali fratture possono fungere da piano di scivolamento basale dei distacchi in parete. Un assetto molto simile, con potenziali blocchi instabili in parete di volumetria pari ad alcune decine di metri cubi è stato riscontrato lungo il medesimo fronte roccioso ad una distanza di 50-60 m in direzione Est. In tale settore sono presenti fessure con aperture sino a 5-6 cm, e giunti con elevato grado di alterazione, caratterizzati da profonde patine di alterazione di colore giallastro, con incrostazioni carbonatiche ad indicare possibile passaggio di acque. In tali aree si possono stimare volumi complessivi di cunei rocciosi instabili attorno ad un migliaio di metri cubi (vedi report fotografico). Un ulteriore fronte con evidenze di attività si colloca in corrispondenza del fronte roccioso sito a 700 m s.l.m. ove si è innescato il dissesto del 1985.

La parete rocciosa sita a metà versante, nel settore centrale della Costa di Cranno si imposta su calcari di Domaro, e mostra, specie nella porzione occidentale, fenomeni di crollo attivi. Ulteriore area sorgente è costituita dal fronte roccioso posto in località Priei, nel settore orientale dell'area indagata. Tale settore si imposta sui calcari bianchi della Maiolica, che mostra stratificazione spesso poco evidente.

A valle delle pareti rocciose si sviluppano estese coltri di accumulo dei fenomeni di crollo, con diffusione consistente fino a quota media di 490 m s.l.m.. Si tratta sia di accumuli di pezzatura media, del tipo ghiaie e ciottoli, che macereti di blocchi di dimensione metrica. Nella tavola 2 è riportata l'ubicazione dei massi di dimensione rilevante, e cioè superiore a 10 m³, presenti nelle aree di accumulo. Essi raggiungono le quote minori e la diffusione maggiore nella estrema porzione orientale dell'area, in località Fighet.

Gli accumuli dei crolli stessi nonché i muri di sostegno dei terrazzamenti, realizzati con

blocchi posati a secco, a causa del generale cattivo stato di manutenzione, possono fungere da aree sorgenti secondarie dei crolli.

Il pendio è fittamente vegetato, con vegetazione ad alto fusto ed arbustiva. Essa svolge una discreta azione di trattenuta delle coperture detritiche nonché di arresto dei blocchi in movimento o mobilizzabili. E' infatti frequente osservare l'accumulo di blocchi al piede di alberi e ceppaie. Si possono osservare estesamente tracce di impatto sui tronchi. La vegetazione risulta però efficace nell'azione di trattenuta o rallentamento dei blocchi di volumetria sino ad 1 m³ circa. Nel caso di eventi con volumetrie massime sino a 40 m³, come osservato nell'evento del dicembre 2009, a causa delle elevate energie in gioco, la vegetazione gioca un ruolo assai marginale nel fronteggiare il fenomeno di caduta massi.

5.4 – Volumetria e dimensione massi

E' stato fatto un rilievo statistico delle dimensioni dei blocchi presenti nelle aree di accumulo. Da tali analisi sono stati ovviamente esclusi i ciottoli e blocchi di diametro inferiore a 30 cm. In figura 2 sono riportate tutte le determinazioni effettuate sui blocchi nelle zone di crollo che hanno interessato tutto il territorio comunale. Si può osservare come l'evento di Scarenna del gennaio 2010 si differenzi da quanto accaduto nel resto del territorio comunale, come già ipotizzato sulla base dell'assetto geologico. Le caratteristiche volumetriche dei crolli che interessano la Costa di Cranno sono ben individuabili nel diagramma di figura 3.

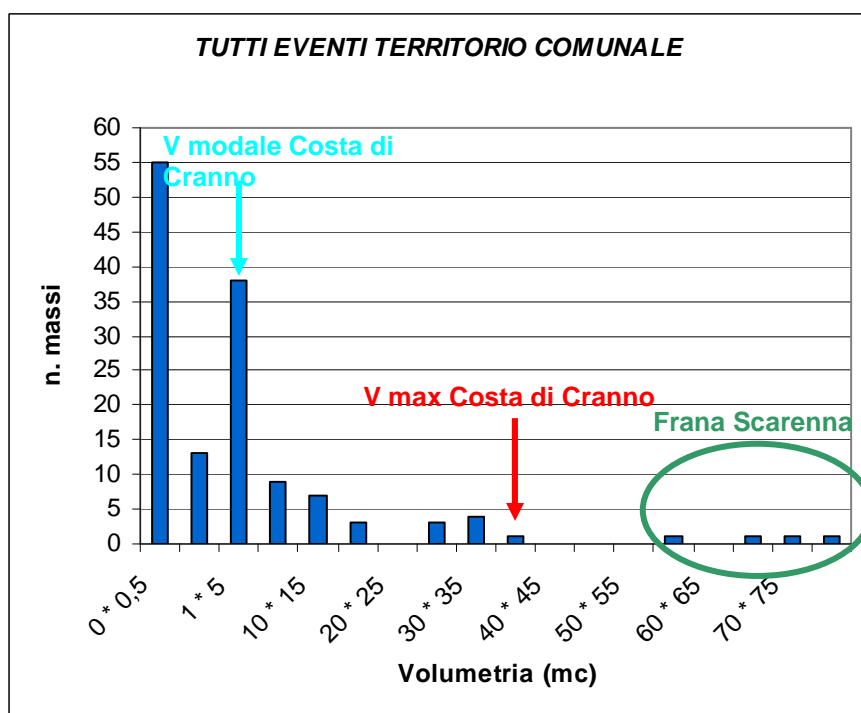


Figura 2: distribuzione massi nelle aree accumulo degli eventi di crollo che hanno interessato tutto il territorio comunale

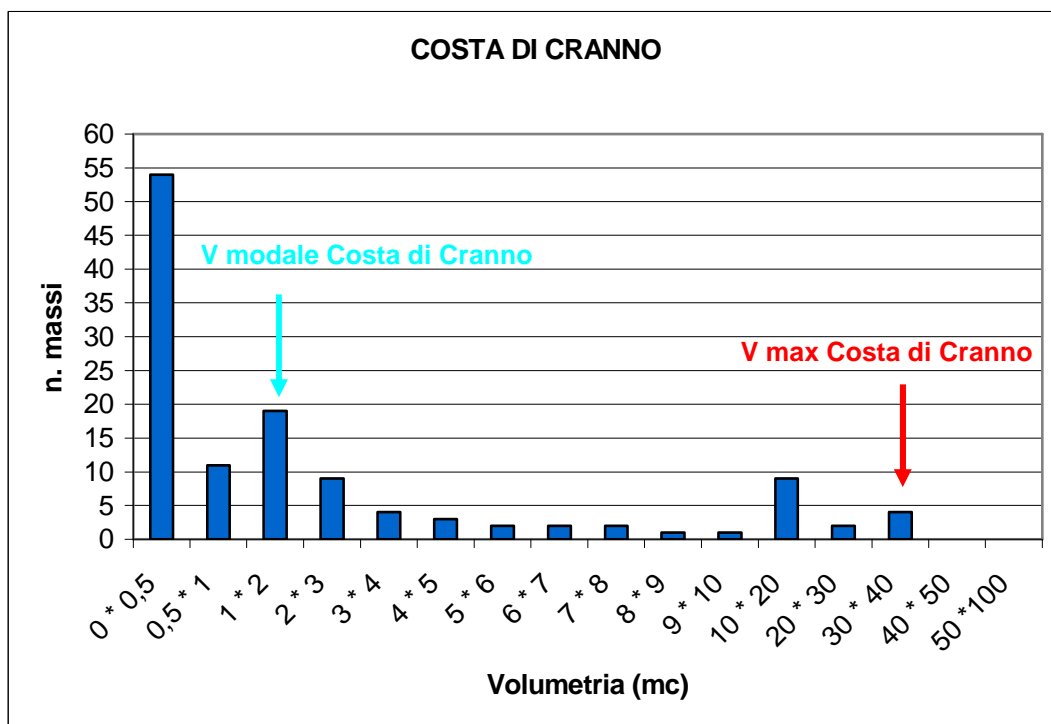


Figura 3: distribuzione massi nelle aree accumulo degli eventi di crollo che hanno interessato la Costa di Cranno

Risulta inoltre interessante differenziare le volumetrie dei blocchi in funzione della litologia, o meglio della formazione geologica di appartenenza, come riassunto nella tabella 1.

Tabella 1 – Volumetrie blocchi in funzione formazione geologica di appartenenza

Formazione geologica	Volume massimo (m ³)	Volume modale(m ³)
Calccare di Domaro	27	2
Maiolica	35	2
Calccare di Moltrasio	40	2

Nel settore della costa di Cranno la formazione del Calccare di Moltrasio è quella che determina le volumetrie maggiori nei blocchi di crollo.

I blocchi di dimensione modale hanno in genere geometria tabulare, quelli di volumetria massima mostrano in genere forma prismatica o poliedrica.

E' necessario rimarcare che nel settore occidentale dell'area indagata, e nello specifico la porzione sottesa da sole pareti appartenenti alla formazione del Calccare di Domaro (aree omogenee A e B), si osservano volumetrie dei potenziali distacchi sensibilmente più contenute rispetto agli eventi tipici in tutta la rimanente parte della Costa di Cranno.

Nella tabella 2 sono riassunte le caratteristiche dei massi di progetto adottati sulla scorta delle analisi di terreno e delle determinazioni statistiche effettuate.

Tabella 2 – Massi di progetto

Settore	Masso di progetto			
	Volume massimo (m ³)	Geometria	Volume modale(m ³)	Geometria
Costa di Cranno (Aree omogenee C, D, E, F, G)	40,0	cilindrica diametro 3,0 m lunghezza 5,7 m	2,0	discoidale diametro 2,0 m spessore 0,65 m
Lato occidentale via Laguccio (Aree omogenee A, B)	0,5	cilindrica diametro 0,9 m lunghezza 0,78 m	0,033	sferica diametro 0,4 m

6 – AREE OMOGENEE

I rilievi ed analisi svolte hanno permesso di individuare le aree sorgenti dei fenomeni di crollo reali o potenziale.

A seguito di ciò è stato possibile delimitare le aree omogenee, definite sulla scorta di:

1. Caratteristiche geomeccaniche degli ammassi rocciosi;
2. Morfologia del versante lungo le traiettorie di discesa;
3. Presenza di opere di difesa.

In base al punto 1 sono state operate distinzioni in funzione della formazione presente nelle aree sorgenti (calcere di Moltrasio, calcare del Domaro, Maiolica) e del grado di fratturazione degli ammassi, come desunto dai 5 rilievi geomeccanici sintetizzati in allegato C.

L'insieme di tutte le caratteristiche sopra indicate ha portato a distinguere 13 aree omogenee, perimetrare nella Tavola 3 e le cui caratteristiche sono sintetizzate nelle schede riportate nell'allegato D.

Si rimarca come alle aree omogenee A e B siano associati i valori più contenuti di volumetrie (massime e modali) dei blocchi dinamicizzabili.

7 – SIMULAZIONI CADUTA MASSI

7.1 Caratteri generali del fenomeno

Il fenomeno della caduta massi è una combinazione dei moti di caduta libera, rimbalzo e rotolamento, difficilmente modellizzabili se non adottando opportune semplificazioni. I parametri principali che influenzano tale fenomeno sono sinteticamente riassumibili in:

- Geometria del pendio: in particolare **inclinazione, lunghezza, rugosità, variabilità laterale** della conformazione spaziale del pendio. Le prime due grandezze sono considerate nel modello di calcolo schematizzando la geometria del pendio tramite una spezzata, definita sulla base delle coordinate cartesiane dei vertici. Senza dubbio il primo parametro è uno di quelli maggiormente influenzanti la dinamica del moto; per tale motivo occorre una precisa rappresentazione della geometria dello stesso, sottoponendo a verifica le sezioni più rappresentative, o meglio più sfavorevoli per il caso in analisi. Altro elemento di rilievo di notevole influenza sulla dinamica del moto è l'interazione tra il masso in caduta e le irregolarità del pendio. Esse introducono una sorta di variabilità pseudo-casuale degli eventi di crollo, e sono le principali responsabili dell'elevata variabilità osservata nei risultati sperimentali degli eventi di caduta massi che si originano dalla medesima sorgente. Le irregolarità del pendio vengono considerate nel parametro indicato come **rugosità**; essa altera l'angolo di impatto tra il masso in caduta e la superficie del pendio determinando le caratteristiche dei rimbalzi dei massi.
- Proprietà fisiche del pendio: determinano le caratteristiche dell'interazione tra il masso in movimento ed il pendio. Tali proprietà vengono numericamente definite dai **coefficienti di restituzione, normale (Rn) e tangenziale (Rt)**, i quali definiscono quantitativamente la perdita di energia cinetica che si verifica a seguito di ogni impatto a causa dell'attrito e delle componenti anelastiche degli urti. Rn rappresenta la misura del grado di elasticità delle collisioni perpendicolari al pendio, Rt invece è una misura della resistenza attritiva degli spostamenti paralleli al pendio che riducono l'energia di impatto.
- Geometria del masso in moto: **dimensioni e forma del masso**. La dimensione dei massi in moto sono basilari nel determinare la dinamica del moto, dal momento che massi di dimensione maggiore hanno minore probabilità di essere influenzati nel moto dalle irregolarità (rugosità) del pendio; massi più grandi hanno maggiori probabilità di percorrere un tragitto più lungo.
- Proprietà fisiche della roccia: la **durabilità** determina la possibilità che un masso in moto si frammenti durante il tragitto e che quindi vari la propria massa e dimensioni modificando le modalità di interazione del masso con il pendio.

7.2 Codice di calcolo

La simulazione del fenomeno di caduta massi è stata realizzata con l'ausilio del codice di calcolo Colorado Rockfall Simulation Program (CRSP), versione 4.0, sviluppato da C.L. Jones, J.D. Higgins, R.D. Andrew nel 2000, a partire dalla versione originale implementata da Pfeiffer (1989) e Pfeiffer et al. (1991, 1995), col supporto del Colorado Department of Transportation, Colorado School of Mines e Colorado Geological Survey.

Il codice CRSP è un codice di calcolo bidimensionale che consente di considerare la geometria del blocco in movimento, elemento ritenuto fondamentale nel caso in analisi, dal momento che la geometria, e soprattutto le dimensioni del masso di dimensioni massime dell'evento del 2009 hanno condizionato la dinamica del moto. Nelle ultime fasi di movimento infatti il blocco si è prevalentemente mosso per strisciamento lungo il lato più lungo del blocco. Molti codici di calcolo in commercio, sia bidimensionali (Rocfall) che tridimensionali (Rotomap) sono invece di tipo lumped mass, e cioè considerano il blocco come un semplice punto di massa m e velocità v .

Il codice di calcolo adottato ha consentito di considerare forma e dimensioni dei blocchi modellizzati, riproducendo dei risultati più aderenti alle evidenze di terreno, una volta effettuata adeguata calibrazione dei modelli. La traccia delle sezioni sottoposte a verifica è stata attentamente valutata sulla scorta della topografia locale e di quanto osservato negli eventi del 1985 e del 2009.

Il codice CRSP consente di modellizzare il fenomeno di caduta massi in due dimensioni. La variabilità statistica del fenomeno di caduta massi viene considerata introducendo una variabile casuale che fa variare l'angolo d'impatto del masso sul pendio. Tale variabile casuale ha un determinato campo di variabilità, funzione delle caratteristiche del pendio osservate in sito e delle dimensioni del masso in caduta.

Il fenomeno della caduta massi è molto complesso, ed è difficile poter considerare in modo preciso tutti parametri che intervengono nella descrizione completa del fenomeno. I differenti codici di calcolo si diversificano per le ipotesi semplificative su cui si fondano.

Le ipotesi semplificative su cui si fonda il codice di calcolo CRSP sono:

- La caduta massi avviene lungo il percorso più probabile determinato sulla base dei rilievi di terreno effettuati; pertanto la modellazione può essere effettuata in due dimensioni.
- Dal momento che il masso in caduta non cambia durante il tragitto, e che la variabilità delle proprietà fisiche del pendio sono molto maggiori rispetto a quelle delle proprietà fisiche del materiale roccia, i coefficienti assegnati alle proprietà del pendio (R_n , R_t) sono

comprensivi sia delle caratteristiche del pendio che del materiale roccia.

- Lo scenario peggiore è quello del masso di maggiori dimensioni che rimane intatto lungo tutto il tragitto. Pertanto viene assunto che il masso non si frammenti a seguito del distacco dalla nicchia.
- Dimensione e forma del masso sono ritenute costanti per le simulazioni di caduta massi da una data area sorgente. I valori assegnati a tali parametri derivano dalle osservazioni effettuate in sito.

Il codice di calcolo effettua la simulazione di caduta massi con inizio da una predeterminata area sorgente con assegnata una velocità iniziale. Le componenti della velocità sono soggette all'azione dell'accelerazione di gravità finché la traiettoria di caduta non interseca il profilo del pendio con velocità V_i . Ad ogni impatto velocità iniziale, angolo di impatto, e velocità rotazionale sono utilizzati per calcolare le componenti di velocità e rotazione post-impatto. Ad ogni punto di impatto l'inclinazione del pendio (ϕ) viene fatta variare casualmente fino al limite massimo stabilito dal valore della **massima variazione probabile dell'angolo locale di inclinazione del pendio** (ϑ_{max}). Tale limite viene determinato in base ai risultati dell'analisi di terreno della superficie del pendio. La Rugosità del pendio (S) è definita come variazione della superficie topografica perpendicolare al pendio su di una distanza uguale al raggio del masso di progetto. Tale valore è basilare nel determinare l'effettivo angolo locale di impatto del masso sul pendio. La rugosità del pendio (S) ed il raggio del masso (R) sono utilizzati per calcolare la massima variazione possibile dell'angolo locale di inclinazione del pendio (ϑ_{max}) con la seguente relazione:

$$\vartheta_{max} = \tan^{-1} (S/R)$$

L'angolo di variazione (ϑ) dell'inclinazione del pendio (ϕ) viene quindi determinato facendo variare casualmente ϑ tra il valore minimo possibile (0) ed il valore massimo possibile, costituito da ϑ_{max} . Tale variabile casuale è la principale responsabile delle variazioni statistiche dei risultati nelle simulazioni di caduta massi effettuate con CRSP.

L'angolo di impatto del masso (α) è utilizzato per risolvere la velocità di impatto (V_i) nelle componenti tangenziali e normali al pendio.

La velocità tangenziale post-impatto (V_{i+1}) è derivata dalla legge di conservazione dell'energia, secondo la seguente espressione:

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

ove:

M = massa del blocco

R = raggio del blocco

I = momento di inerzia

ω_1 = velocità rotazionale iniziale

ω_2 = velocità rotazionale finale

V_{t1} = velocità tangenziale iniziale

V_{t2} = velocità tangenziale finale

f(F) = funzione di attrito = $Rt + (1-Rt) / [((V_{t1} - \omega_1 R) / 20)^2 + 1.2]$

SF = fattore scala = $Rt / [(V_{n1} / 250 Rn)^2 + 1]$

In ogni collisione anelastica, viene persa energia elastica. Nel caso di un masso che impatta lungo un pendio, la componente di energia cinetica parallela al pendio e l'energia rotazionale vengono attenuate dalle componenti attritive che si esplicano parallelamente al pendio e dalle collisioni che avvengono perpendicolarmente al profilo del pendio.

L'attrito è funzione delle proprietà fisiche del materiale costituente il pendio, descritte dal parametro Rt e dal fatto che il masso stia rotolando o scivolando sul pendio. La funzione di attrito f(F), determinata attraverso espressioni empiriche, valuta l'influenza che ha la velocità iniziale di impatto del masso sul coefficiente di attrito tangenziale. Come si nota dall'analisi della formula riportata essa è funzione del raggio e quindi delle dimensioni del blocco in movimento.

Altro fattore che influenza la perdita di energia cinetica parallelamente al pendio è la velocità perpendicolare al pendio, dato che un incremento nella velocità normale alla superficie determina un incremento delle forze durante l'impatto. Il fattore di scala SF ha la funzione di esplicitare l'incremento delle forze attritive (tangenziali) al crescere delle forze perpendicolari al profilo del pendio.

L'equazione sopra riportata viene risolta in funzione delle velocità rotazionali e traslazionali post-impatto sulla base della seguente relazione tra le due grandezze:

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

Si ottiene così:

$$V_{t2} = [R^2 (I \omega_1^2 + MV_{t1}^2) f(F) SF / (I+MR^2)]^{1/2}$$

La nuova velocità normale è quindi determinata sulla base della relazione:

$$V_{n2} = V_{n1} R_n / [1 + (V_{n1}/ 30)^2]$$

L' espressione riporta a denominatore un fattore di correzione dipendente dalla velocità. Esso tiene in considerazione del decremento del coefficiente di restituzione normale al crescere delle velocità di impatto, a causa dell'incremento della possibilità di fratturazione della roccia e della possibile formazione di crateri sulla superficie del pendio al crescere delle energie di impatto.

A seguito di ogni impatto CRSP effettua un'iterazione per determinare il tempo trascorso fino al rimbalzo successivo. Tale valore è determinato in base alle componenti delle velocità secondo gli assi cartesiani, alla geometria del pendio, ed all'accelerazione gravitazionale. Una volta determinato il nuovo punto di impatto, viene reiterato il calcolo delle nuove velocità post-impatto ed il nuovo rimbalzo calcolato come sopra esposto. Qualora la distanza tra due impatti successivi sia inferiore al raggio del masso, si considera che il masso stia procedendo per rotolamento e viene assunta una nuova posizione del masso uguale ad una distanza di un raggio dalla posizione precedente. In sostanza il rotolamento viene modellato come una successione di piccoli rimbalzi, come effettivamente osservabile sperimentalmente per un masso di forma irregolare che rotola su di un pendio di geometria altrettanto irregolare.

7.3 Sezioni di verifica

L'inclinazione, o meglio, la geometria del versante, è il fattore che maggiormente influenza la modellazione della caduta massi. Pertanto per avere risultati attendibili è necessario partire da un'accurata descrizione topografica delle sezioni di verifica. Nei modelli bidimensionali è inoltre fondamentale la scelta del tracciato delle sezioni da sottoporre a verifica. Esse devono considerare le più probabili traiettorie di caduta o quelle maggiormente sfavorevoli, ricavabili dalle analisi e rilievi di terreno.

Nella presente analisi sono state sottoposte a verifica 12 sezioni ritenute significative per il caso in esame, numerate dalla Sezione 0 alla Sezione 11. La topografia è stata ricavata dalle basi fotogrammetriche fornite dalla Committenza, integrate, validate ed aggiornate sulla base di specifico rilievo tramite antenna GPS effettuato per conto della Committenza sulle aree di analisi dal Centro Studi Biologia ed Ambiente s.n.c..

L'ubicazione delle sezioni è riportata nelle Tavole 3 e seguenti.

7.4 Parametri di ingresso

I parametri di ingresso richiesti dal codice di calcolo CRSP sono costituiti da:

- Profilo del pendio, schematizzato come sequenza di segmenti di linea (celle), definiti dalle coordinate cartesiane dei punti di inizio e fine;
- Rugosità del pendio per ogni cella (valore che è funzione del raggio del masso di progetto);
- Coefficienti di restituzione normale R_n e tangenziale R_t per ogni cella;
- Forma, dimensioni e aree sorgenti dei massi di crollo.

I valori di rugosità del pendio sono stati determinati sulla base di osservazioni e misurazioni eseguite direttamente in sito. Nei tabulati di simulazione caduta massi riportati in allegato F sono indicati i valori di rugosità per ogni simulazione effettuata.

7.5 Back Analysis

I valori dei coefficienti di restituzione normale (R_n) e tangenziale (R_t) da adottare per ogni cella, sono stati determinati sulla base dei rilievi effettuati sul terreno atti ad individuare le tipologie e caratteristiche salienti dei terreni presenti. I valori numerici sono stati ricavati tramite comparazione con i dati riportati in letteratura per depositi analoghi; a tale scopo sono stati consultati i valori forniti nel manuale d'uso del codice CRSP, e quelli indicati da Piteau e Clayton (1987), Hoek (1987), Pfeiffer e Bowen (1989).

E' utile a tal proposito riportare quanto indicato nel Manuale d'uso di CRSP. Le calibrazioni effettuate dagli autori del codice di calcolo CRSP sulla modellazione caduta massi, hanno portato gli stessi a concludere che per un dato pendio, utilizzando i valori suggeriti dei coefficienti di restituzione, si ottengono tendenzialmente valori di velocità ed energia massima che possono essere maggiori rispetto a quelli effettivamente osservati in sito. Pertanto, se si preferisce adottare i valori massimi ottenuti dalle modellazioni come valori di riferimento progettuale, viene suggerito di adottare come parametri di input i valori dei coefficienti di restituzione siti nel campo più basso nello spettro delle possibili scelte. Qualora invece venissero adottati i valori di velocità ed energia medie ottenuti dalle simulazione quali valori di riferimento progettuale, viene suggerito di adottare i valori dei coefficienti di restituzione siti nel campo di valori più alto tra quelli proposti.

Una corretta e completa validazione dei modelli implementati si ottiene solo tramite una calibrazione dei modelli per la specifica area di indagine, modificando i valori adottati in prima battuta dei coefficienti di restituzione in modo da rendere i risultati delle simulazioni compatibili con le evidenze di terreno, tra cui distribuzione dei massi nelle aree di accumulo, energie di impatto di eventi pregressi.

Nello specifico caso **sono state sottoposte a calibrazione le sezioni n.2, n.8 e n.11**, relative agli eventi del 2009 (sezione 2) e del 1985 (sezione 8). La sezione n.11 risulta la più significativa, in termini statistici, delle altre due, in quanto, nelle aree di accumulo si trovano 7 massi delle dimensioni massime. Risulta infatti limitante tarare le modellazioni sull'evento del 2009, ove un solo masso ha raggiunto le porzioni basse del versante.

7.6 Parametri di ingresso

A seguito della calibrazione dei modelli, è stato possibile definire i parametri di coefficiente di restituzione normale e tangenziale per ogni tipologia di deposito o substrato presente. Tali valori sono sintetizzati nella tabella 3.

Tabella 3 – Coefficienti di restituzione normale e tangenziale determinate per ogni tipo di substrato a seguito taratura dei modelli simulazione

Substrato	ID	RN	RT
<i>Parete roccia</i>	Ap	0,25	0,85
<i>Substrato calcareo affiorante</i>	A	0,20	0,80
<i>Substrato calcareo subaffiorante</i>	B	0,17	0,77
<i>Accumuli di crollo costituiti da ghiaie e ciottoli, poco addensati</i>	C	0,13	0,67
<i>Accumuli di crollo costituiti da blocchi e massi</i>	D	0,16	0,75
<i>Deposito di versante stabile, moderatamente addensato e vegetato</i>	E	0,15	0,70
<i>Deposito di versante stabile, terrazzato, copertura prativa prevalente</i>	F	0,14	0,67
<i>Muri di sostegno terrazzamenti</i>	G	0,18	0,78
<i>Sentiero</i>	H	0,14	0,69
<i>Strade, parcheggi, piazzali</i>	I	0,14	0,69

Tali valori sono pertanto stati adottati in tutte le modellazioni svolte nelle 12 sezioni analizzate, variando solo le caratteristiche dei massi, secondo quanto definito nella tabella 2 e la rugosità del pendio, secondo quanto ricavato dai rilievi in sito.

7.7 Simulazioni caduta massi

Nelle modellazioni effettuate, come sintetizzato nel relativo allegato, sono state considerate:

- Numero simulazioni: per ogni sezione è stato simulato il lancio di 1000 massi dalle aree sorgenti
- Velocità iniziale dei massi: tale parametro risulta di difficile determinazione. Possono essere effettuate delle stime in funzione dell'altezza libera di caduta di massi, qualora si contempli un iniziale salto con caduta libera. Nel caso in esame sono state considerate le velocità minime necessarie ad innescare la dinamicizzazione dei massi nelle aree sorgenti, variabile tra 0,1 m/s e 1,0 m/s.
- Aree sorgenti dei distacchi: sono state posizionate alla sommità del versante, in corrispondenza delle pareti rocciose che coronano il pendio. Nelle sezioni 0, 1, 4, 5, ove si osserva parete rocciosa a metà versante, è stata effettuata doppia serie di modellazioni. Nei risultati in allegato sono riportate, in questi casi i risultati delle modellazioni più gravose.
- Punti di controllo: indicati nelle sezioni di Tavola 4 con la sigla AP, sono stati ubicati in corrispondenza di punti significativi, quali infrastrutture (edifici), opere di difesa esistenti (per valutarne l'efficienza nel fronteggiare i fenomeni), punti di taratura del modello (quali siti di arresto di massi di eventi di crollo pregresso).

7.8 Risultati

7.8.1 Parametri del moto

Per ciascuna delle sezioni analizzate e per ciascuno dei punti di verifica, il codice di calcolo determina:

- Altezza di rimbalzo, in metri
- Energia di impatto, in J
- Velocità, in m/s

Sulla scorta delle scelte effettuate nell'impostazione delle modellazioni, sono stati considerati i valori massimi riportati per ogni simulazione, riportate in allegato F. Nella Tavola 4 in allegato sono sintetizzati i risultati dei parametri massimi osservati. Vengono distinti i risultati ottenuti per modellazione dei blocchi con volumetria modale e con volumetria massima. Si rammenta che le dimensioni dei blocchi di progetto sono differenziati per le sezioni 0 ed 1

dalle rimanenti sezioni.

Rimandando alla Tavola 4 per l'analisi puntuale dei risultati, emerge che nel settore occidentale dell'area indagata, ove minori sono le volumetrie dei blocchi di progetto, si osservano energie di impatto contenute in poche centinaia di kJ (<300 kJ), anche per i blocchi di volumetria massima. In tali contesti pertanto i fenomeni di crollo possono essere fronteggiati, a seguito di verifiche sulla collocazione delle opere, anche da barriere paramassi di tipo rigido.

Nelle restanti sezioni, ove i blocchi hanno volumetria sensibilmente maggiore, si osservano per i blocchi massimi, anche nelle porzioni basse del pendio, energie dell'ordine delle decine di migliaia di kJ (10.000 - 20.000). Tali energie sono fronteggiabili unicamente con opere del tipo rilevati e valli paramassi, opportunamente posizionati e dimensionati. I blocchi di volumetria modale, di dimensioni pari a 2 m³, possono essere arrestati da barriere paramassi di tipo flessibile, con energie massime di 1.500 - 2.000 kJ, qualora correttamente posizionate.

Le altezze massime di rimbalzo raggiungono diversi metri lungo le aree di transito, per contenersi in pochi metri (2-3) nelle zone site alle quote minori.

7.8.2 Distanze runout

Ai fini della zonazione della pericolosità da caduta massi interessa definire le distanze di arresto dei blocchi simulati, sia in termini di percentuali arrestate alle diverse distanze, che di distanze massime percorse (runout). L'output del codice di calcolo adottato consente di determinare tali valori per intervalli di ascissa variabili di 10 m in 10 m. E' stata adottata tale risoluzione in quanto ritenuta compatibile con le incertezze insite nella simulazione di un evento reale (il fenomeno di caduta massi) tramite codice di calcolo.

Nella Tavola 4 sono riportate le ascisse di arresto del 70%, 95%, 100% dei blocchi di volumetria modale e del 100% dei blocchi di volumetria massima.

8 – DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA'

Sulla scorta delle modellazioni effettuate, adottando quanto stabilito nella procedura R.H.A.P. proposta da Regione Lombardia, è stato possibile procedere alla zonazione preliminare della pericolosità da caduta massi. In particolare, analizzando la distribuzione di arresto dei massi sono state delimitate (vedi Tavola 4 e 6):

- area di transito ed arresto 70 % dei blocchi di volumetria modale (pericolosità preliminare **H4**);
- area di arresto del 70% - 95 % dei blocchi di volumetria modale (pericolosità preliminare **H3**);
- area arresto del 95% - 100 % dei blocchi di volumetria modale (pericolosità preliminare **H2**);
- distanza massima raggiunta dal blocco di dimensioni massime (pericolosità preliminare **H1**).

Nella definizione dei limiti della pericolosità si è ovviamente tenuto in considerazione della presenza delle opere di difesa e della loro capacità o meno di fronteggiare i fenomeni di caduta massi, come ricavabile dalla modellazioni effettuate. Nel caso della Sezione n.2 le modellazioni indicano che le barriere flessibili installate in fase di pronto intervento sono in grado di fronteggiare i distacchi di blocchi con volumetria modale. In sede di attribuzione della pericolosità, con specifico riguardo alle aree urbanizzate od urbanizzabili site alla base del versante, si è però preferito a titolo cautelativo non considerare la presenza di tali opere. L'ubicazione delle stesse lungo il versante (ad un dislivello di una quarantina di metri rispetto alle aree urbanizzate poste al piede del versante), in relazione alla loro estensione lineare, potrebbero infatti determinare dei locali "aggiramenti" delle opere di difesa da parte di massi in transito a causa di effetti tridimensionali legati alla geometria del pendio.

La procedura RHAP prevede quindi di definire la probabilità di accadimento dei fenomeni di distacco in ciascuna area omogenea suddividendo le stesse in una maglia in cui andare ad individuare il numero di elementi di instabilità, definiti tra i seguenti:

- fratture aperte con evidenze di attività associate e cinematismi possibili;
- blocchi ruotati;
- zone intensamente fratturate;
- superfici non alterate che testimoniano distacchi recenti;
- emergenze di acque alla base dei blocchi.

Tale determinazione è stata effettuata su fotografie delle pareti rocciose sede dei distacchi, risultandone altrimenti difficile la definizione planimetrica, trattandosi di elementi subverticali.

Tali determinazioni sono riportate sulla Tavola 5 in allegato. Le relative percentuali di attività sono riportate nella Carta delle aree omogenee (Tavola 3).

Ciò consente di definire il grado di attività delle aree sorgenti dei crolli, secondo quanto sintetizzato nella tabella 4.

Tabella 4 – Attività aree omogenee

Aree di distacco	Percentuale di attività	Grado di attività
A	15%	Bassa
B	15%	Bassa
C	82%	Alta
D	65%	Media
E	71%	Alta
F	60%	Media
G	74%	Alta

Sulla scorta delle analisi svolte è stato possibile definire la zonazione della pericolosità finale da caduta massi, secondo le classi di pericolosità H1 – H5, come indicato nella Tavola 7. Come stabilito nella procedura RHAP la pericolosità preliminare viene aumentata di 1, mantenuta costante, o diminuita di 1 a seconda che le aree sorgenti sovrastanti appartengano rispettivamente a gruppi di attività alta, media, o bassa.

9– PROPOSTA DI RIPERIMETRAZIONE FATTIBILITA' GEOLOGICA

La carta di fattibilità geologica dello Studio geologico a supporto del PGT, è, di fatto una carta di pericolosità del territorio comunale, che fornisce indicazioni in ordine alle limitazioni e destinazione d'uso del territorio.

Le definizioni delle classi di fattibilità geologica 4 e 3, attribuibili agli ambiti in analisi, sono riportate di seguito, secondo quanto definito nella d.g.r. n.8/7374 del 28/05/2008:

- **Classe di fattibilità 3:** comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità riscontrate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici od opere di difesa.
- **Classe di fattibilità 4:** l'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica di destinazione d'uso. Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti saranno consentite esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, come definiti nell'art. 27, comma 1, lettere a), b) e c) della L. r. 12/2005, senza aumento di superficie o volume e senza aumento di carico insediativo. Sono consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica. In tali aree è consentita la realizzazione di infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico solo se non altrimenti localizzabili. Tali interventi dovranno essere puntualmente ed attentamente valutati in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano l'ambito di pericolosità/vulnerabilità omogenea. A tal fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, deve essere allegata apposita relazione geologica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio idrogeologico.

Per gli ambiti oggetto di studi di dettaglio della pericolosità, condotti secondo quanto disposto dall'allegato 2 - parte II della d.g.r. n.8/7374 del 28/05/2008, l'attribuzione della fattibilità geologica delle azioni di piano avviene sulla scorta di quanto indicato nella Tabella 2 della medesima deliberazione, di seguito riportata

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

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

Sulla scorta delle analisi di approfondimento effettuate si può giungere ad una definizione della fattibilità geologica delle azioni di piano, a modifica dello studio geologico esistente. Le relative perimetrazioni sono riportate nella Tavola 8.

Nella medesima tavola, a tratto di colore blu è indicato il limite tra classe 3 e classe 4 di fattibilità come riportato nello studio geologico vigente, datato aprile 2003. Le perimetrazioni proposte sono state, per gli ambiti attigui a quello in analisi, riaccordate il più possibile alle perimetrazioni esistenti.

In considerazione delle analisi svolte, attenendosi alle attribuzioni di Tabella 2 sopra riportate, stabilite da Regione Lombardia, le quali derivano da una valutazione del grado di rischio accettabile e del rapporto costi benefici circa la realizzazione di opere di difesa in aree a rischio, si è provveduto all'attribuzione alla classe 4 di fattibilità geologica a buona parte della porzione basale del versante della Costa di Cranno, che nello studio geologico vigente risulta attribuito alla classe di fattibilità 3.

Si prescrive che a supporto di qualsiasi intervento edilizio ricadente nella classe 3 di fattibilità geologica definite nella Tavola 8, ed a maggior ragione nella classe 4 di fattibilità per gli interventi consentiti, dovrà essere prodotta specifica relazione geologica che valuti la

compatibilità degli interventi in relazione alle condizioni di pericolosità da caduta massi presenti nell'area. Dovrà essere indicata chiaramente la necessità o meno di opere di difesa dalla caduta massi per fronteggiare le condizioni di rischio residuali presenti nelle aree attribuite alla classe di fattibilità 3. In tali analisi dovrà essere fatto riferimento ai contenuti del presente studio, per quanto attiene le volumetrie dei massi potenzialmente instabili e per le energie, altezze e velocità di impatto attese.

Per le aree ricadenti in classe di fattibilità 3 sono fatti salvi i contenuti delle le relazioni geologiche e geotecniche stabiliti dalle NtA dello studio geologico vigente e dalla normativa nazionale.

10– CONCLUSIONI

Su incarico dell'Amministrazione comunale di Canzo è stata redatto il presente studio finalizzato alla definizione e perimetrazione delle condizioni di pericolosità da caduta massi che interessano la porzione settentrionale del territorio comunale, sul versante denominato Costa di Cranno e sovraincombente sulla via Laguccio, via De Gasperi, via Castello.

La Costa di Cranno, come ricavato dalle informazioni bibliografiche reperite, è stata interessata da fenomeni di crollo ricorrenti, culminati con l'evento di notevole intensità verificatosi in data 26/12/2009.

I rilievi in sito effettuati lungo il versante hanno confermato la ricorrenza, persistenza ed intensità del fenomeno, essendo stati riscontrati estesi accumuli di blocchi e massi imputabili ad accumuli di crollo quiescenti ed attivi. Si osservano inoltre alcune porzioni di parete rocciose con indicatori di fenomeni attivi ed incipienti di crollo. Si segnala in particolare la situazione osservata ad una cinquantina di metri di distanza, in direzione Est rispetto alla nicchia del distacco osservatosi nel dicembre 2009. Sussistono infatti le medesime condizioni strutturali degli ammassi rocciosi osservate nella nicchia del dissesto occorso pochi mesi or sono.

I rilievi in sito hanno inoltre permesso di individuare che la volumetria del blocco che ha lambito l'urbanizzato nel dicembre 2009, stimata in 40 m³, costituisce il masso di dimensioni massime dei crolli che si possono verificare, con valenza statistica significativa. Il fenomeno di crollo accaduto non rappresenta quindi un fatto isolato.

Nell'analisi della pericolosità da crollo lungo la Costa di Cranno vanno differenziati due grandi

ambiti, il settore occidentale, e nello specifico le aree omogenee A e B definite nella Tavola 3, dalle rimanenti aree omogenee (C, D, E, F, G). Le aree omogenee A e B mostrano infatti volumetrie dei distacchi assai più contenute rispetto alle adiacenti aree poste verso Est.

Si sottolinea da ultimo che le attribuzioni della fattibilità geologica proposte nella Tavola 8 si riferiscono alle condizioni attuali delle aree indagate, in termini di distacchi in parete, caratteristiche delle aree di transito ed accumulo, e, soprattutto di configurazione delle opere di difesa esistenti.

Qualora in futuro dovesse essere ripensata l'edificabilità delle aree sottese dalla Costa di Cranno, andrà tenuto in considerazione che gli eventi di crollo che possono verificarsi dalle aree omogenee C, D, E, F, G come definite nella Tavola 3, possono essere fronteggiate unicamente mediante la predisposizione di valli e rilevati paramassi, opportunamente posizionati e dimensionati, come già effettuato negli anni passati lungo via De Gasperi o come realizzato a monte dell'Albergo Castello a seguito degli eventi del 1985.

Villaguardia, 11/10/2010

Dr. Geol. Paolo Dal Negro

