

REGIONE PIEMONTE  
CITTA' METROPOLITANA DI TORINO  
COMUNE DI LOCANA



PROGETTO

# COMPLETAMENTO OPERE DI DIFESA DALLA CADUTA MASSI in LOC. CASTIGNE'

ELABORATO

## 02-A

OGGETTO

RELAZIONE SPECIALISTICA:  
Rel.geologica

DATA

APRILE 2024

FASE PROGETTUALE

## PROGETTO ESECUTIVO

REVIS.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTR.	APPROV.
00	aprile 2024	progetto esecutivo	S.B.	D.B.	D.B.

redatto da



PREVENZIONE E CURA DEL TERRITORIO  
Davide Bolognini - Geologo

Pont Saint Martin (AO)  
via Caduti del lavoro 11A  
tel.: 0125.1969360  
cell.: 348.5146040  
studiosio2@studiosio2.it  
p.i.: 00635430077

**ORDINE DEI GEOLOGI**  
Regione Autonoma Valle d'Aosta  
**ORDRE DES GEOLOGUES**  
Région Autonome Vallée d'Aoste  
**Dr. BOLOGNINI DAVIDE**  
Iscr. Albo n. 25

IL SINDACO

\_\_\_\_\_

## 1. Sommario

1. Sommario.....	2
2. Premessa .....	6
<i>Normativa di riferimento.....</i>	7
3. Caratteristiche geomorfologiche .....	8
4. Assetto geologico .....	9
<i>Substrato roccioso .....</i>	9
<i>Formazioni superficiali .....</i>	11
5. Normativa di riferimento - UNI 11211 "Opere di difesa dalla caduta massi" .....	15
<i>Introduzione.....</i>	15
<i>Descrizione della natura e dello stato del fenomeno di caduta massi: fattori di     instabilità.....</i>	17
Fattori interni all'ammasso roccioso.....	17
Fattori idrologici ed idrogeologici.....	17
Fattori morfologici .....	17
Fattori meteorologici.....	17
Fattori naturali diversi.....	17
Fattori antropici .....	17
<i>Fattori condizionanti l'andamento delle traiettorie di caduta e l'energia cinetica     dei blocchi .....</i>	17
Fattori connessi all'elemento di roccia al distacco.....	17
Fattori connessi al versante.....	17
<i>Valutazione dell'intensità dell'evento (I) .....</i>	17
<i>Valutazione della pericolosità (H) .....</i>	18
Previsione tipologica sul tipo di fenomeno che si può verificare nell'area in esame .....	18
Previsione dell'intensità (I) .....	18
Previsione dell'evoluzione e dei limiti di ampliamento della zona di origine del crollo .....	18
Previsione spaziale .....	18
Previsione temporale .....	18

Pericolosità da rottura in parete .....	18
Pericolosità da propagazione .....	18
Pericolosità "mista" .....	18
APPENDICE A .....	18
<i>Valutazione della probabilità di distacco in parete</i> .....	18
<i>Valutazione della probabilità di propagazione</i> .....	19
<i>Valutazione della pericolosità</i> .....	19
<i>Elementi a rischio (E) e loro valore (W)</i> .....	19
APPENDICE B .....	20
<i>Esempio di classificazione e usi del territorio</i> .....	20
<i>Definizione della vulnerabilità (V) degli elementi a rischio (E)</i> .....	21
Strutturali.....	21
Infrastrutturali .....	21
APPENDICE C .....	21
<i>Valutazione della vulnerabilità di una tratta stradale</i> .....	21
<i>Valutazione del rischio</i> .....	22
APPENDICE D .....	22
<i>Informazioni aggiuntive sulla valutazione del rischio</i> .....	22
<i>Definizione di rischio accettabile</i> .....	23
APPENDICE E.....	23
<i>Considerazioni sulla definizione del rischio accettabile</i> .....	23
<i>Analisi delle possibili soluzioni per la mitigazione del rischio</i> .....	24
Riduzione del valore degli elementi a rischio .....	24
Interventi attivi.....	25
<i>Modificano la geometria del versante</i> .....	25
<i>Modificano la resistenza meccanica dell'ammasso roccioso (anche per mezzo dell'applicazione di forze)</i> .....	25
<i>Agiscono sulla superficie dell'ammasso per limitarne i processi di degradazione fisico-meccanica e chimica</i> .....	25
<i>Modificano le condizioni di circolazione idrica superficiale, subsuperficiale o profonda</i> .....	25
Interventi passivi .....	25
Sistemi di controllo.....	26

<i>Criteri per le scelte</i> .....	26
<i>Requisiti minimi del programma preliminare di intervento</i> .....	26
Inquadramento generale dell'opera da realizzare .....	26
Esame delle motivazioni .....	26
Acquisizione della normativa .....	27
Affinamenti progettuali .....	27
Valutazione economica .....	27
<i>Contenuti della documentazione finale</i> .....	27
<i>Progetto dell'opera di difesa</i> .....	28
Generalità .....	28
Metodi di studio .....	29
Elaborati del progetto .....	29
Studi geologici e geotecnici .....	30
<i>Studi pregressi</i> .....	31
<i>Franosità pregressa</i> .....	31
<i>Meteorologia</i> .....	32
<i>Topografia</i> .....	32
<i>Sismicità</i> .....	32
<i>Inquadramento geologico</i> .....	33
<i>Geomorfologia</i> .....	33
<i>Rilievo geomeccanico della parete rocciosa di distacco</i> .....	34
<i>Definizione delle forme di instabilità</i> .....	34
<i>Caratterizzazione del versante di caduta</i> .....	35
<i>Idrogeologia</i> .....	36
<i>Definizione dei volumi unitari</i> .....	36
<i>Interventi ed opere preesistenti</i> .....	36
<i>Integrazioni</i> .....	37
Studio sulla dinamica di caduta .....	37
<i>Generalità</i> .....	37
<i>Crollo di progetto</i> .....	37
<i>Blocco di progetto</i> .....	37
<i>Analisi delle traiettorie di caduta</i> .....	38

Scelte progettuali dell'intervento.....	39
<i>Generalità</i> .....	39
Descrizione delle opere e degli interventi .....	39
Relazione illustrativa.....	40
<i>Generalità</i> .....	40
<i>Fattibilità tecnica</i> .....	41
<i>Fattibilità amministrativa</i> .....	41
<i>Studio di fattibilità ambientale</i> .....	41
<i>Valutazione preliminare dei costi</i> .....	42
<b>6. Dimensionamento opere di difesa dalla caduta massi .....</b>	<b>44</b>
<i>Studi pregressi</i> .....	44
<i>Franosità pregressa</i> .....	44
<i>Definizione del crollo di progetto</i> .....	44
<i>Definizione del blocco di progetto</i> .....	45
<i>Calcolo del volume del blocco di progetto</i> .....	45
<i>Verifiche di rotolamento massi</i> .....	47
Introduzione .....	47
Analisi 3D .....	47
Analisi 2D .....	48
Traccia planimetrica del profilo di simulazione .....	49
Profilo di simulazione .....	50
Grafico energia .....	51
Grafico velocità.....	52
Grafico altezza di volo .....	53
Calcolo del 95°percentile di velocità ed altezza di volo.....	54
Verifica del dimensionamento della barriera paramassi con 3,0 mc .....	59
Verifica dell'energia di progetto.....	59
Riepilogo .....	60
<i>Caratterizzazione geotecnica</i> .....	60

## 2. Premessa

Su incarico e per conto del Comune di Locana (MEPA - RdO n°4198212 del 22/03/2024) è stato redatto il presente progetto definitivo-esecutivo di *"Completamento opere di difesa dalla caduta massi in loc. Castignè"* per la mitigazione del rischio dal versante sovrastante la "zona RME" in corrispondenza degli abitati di Castignè e Cussalma.

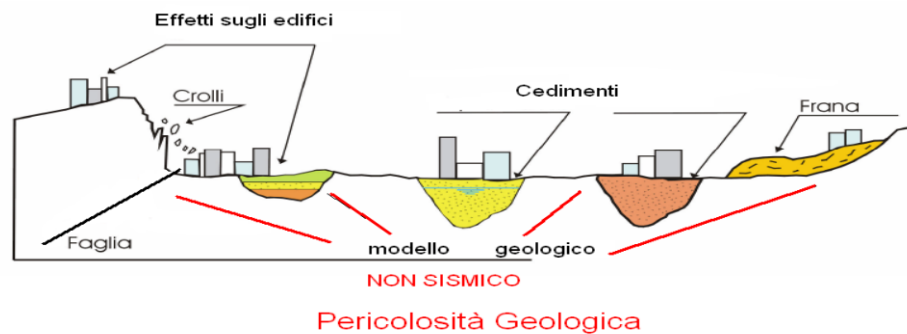
Il fondovalle della Valle dell'Orco nel tratto compreso tra le loc. Cussalma e Rosone è perimetrato in "zona RME" (Rischio Molto Elevato) ed è già stato oggetto di realizzazione di opere di protezione (rilevati paramassi in terra rinforzata). A completamento degli interventi finalizzati a ridurre le condizioni di rischio per gli abitanti, per il transito veicolare, per le infrastrutture e per i manufatti presenti in fondovalle, il presente progetto propone la realizzazione di un'opera di difesa dalla caduta massi costituito da una barriera paramassi di 50,0 m di estensione (vedi All.03B Planimetria di progetto e particolari costruttivi).

L'ubicazione piano - altimetrica dell'opera di difesa in progetto si basa sulla modellizzazione 3D dei fenomeni di caduta massi mediante specifico software (RockyFor3D) a partire dalle volumetrie dei massi rilevati sul versante e dal DTM messo a disposizione dalla Regione Piemonte. Il dimensionamento è conseguenza della modellizzazione 2D mediante specifico software (Georock).

Il sopralluogo ha lo scopo di rilevare le caratteristiche geologiche e idrogeologiche del sito di indagine al fine di accertare la compatibilità dell'intervento in progetto in funzione dell'assetto geologico ed idrogeologico del sito sul quale sarà ubicato con lo scopo di garantirne la sicurezza, la funzionalità e la stabilità.

La presente *"Relazione di modellazione geologica"* è stata redatta ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018 *"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni"*, cap. 6 *"Progettazione geotecnica"*, cap. 6.2 *"Articolazione del progetto"*, cap. 6.2.1 *"Caratterizzazione e modellizzazione geologica del sito"* e cap. 6.2.2 *"Indagini, caratterizzazione e modellizzazione geotecnica"* e soddisfa i requisiti urbanistici e normativi di rilevanza geologica per cui costituisce documento progettuale idoneo al rilascio della concessione ad edificare. In corso d'opera si dovrà controllare la rispondenza tra il modello geologico di riferimento assunto in progetto e la situazione effettiva, differendo di conseguenza il modello geotecnico ed il progetto esecutivo, così come previsto dalla normativa di settore.

Lo studio geologico è stato esteso ad una zona significativamente ampia in funzione del tipo di intervento previsto in progetto e della complessità del contesto geologico. Fanno parte del modello geologico anche i rischi naturali di origine geologica che gravano sull'area di intervento.



Il modello geologico dell'area di indagine è stato sviluppato in modo da costituire utile elemento di riferimento per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geognostiche e geofisiche.

#### **Normativa di riferimento**

- D.M. 11 marzo 1988 *"Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno sulle terre e delle opere di fondazione"*
- D.M. 17 gennaio 2018 *"Nuove norme tecniche per le costruzioni"*
- Circolare Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti 02 febbraio 2009 n°617 *"Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" "*.
- R.D.L. 30 dicembre 1923 n° 3267 *"Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani"*

### **3. Caratteristiche geomorfologiche**

Il versante sinistro orografico della valle del torrente Orco in corrispondenza dei nuclei frazionari di Castignè e Cussalma si sviluppa nel settore compreso tra le valli del torrente Piantonetto e del torrente Eugio a valle della cresta spartiacque che culmina nella Colmetta che costituisce il vertice del versante di forma triangolare.

Alla base il triangolo è delimitato dai conoidi dei due corsi d'acqua. L'estensione verticale del versante è di oltre 1.600 m ed è caratterizzato da estese pareti rocciose subverticali che si estendono per alcune centinaia di metri di dislivello, interrotte sporadicamente da cengie ad elevata inclinazione ma colonizzate da vegetazione arbustiva ed arborea.

I lineamenti tettonici che attraversano il versante lo percorrono ortogonalmente all'asse del torrente Orco generando solchi di drenaggio preferenziali per le acque meteoriche che, nel tempo, hanno approfondito il loro talweg all'interno del substrato roccioso.

Uno di questi corsi d'acqua attraversa l'area oggetto dell'intervento condizionando la geometria delle opere di difesa (barriere metalliche) in progetto. Per tale motivo è stata predisposta la posa in opera di un sistema di regimazione delle acque superficiali mediante canalette metalliche che confluiscono all'interno delle incisioni torrentizie naturali.



## 4. Assetto geologico

### *Substrato roccioso*

Le pareti rocciose che si estendono a monte dell'area oggetto di intervento sono formate da metagranitoidi e gneiss occhiadini del massiccio del Gran Paradiso.

Le caratteristiche geomeccaniche di questa litologia si caratterizzano per avere una foliazione poco marcata essenzialmente dovuta alla presenza di miche ed una spaziatura delle discontinuità da pluridecimetria a metrica che conferisce all'ammasso un aspetto compatto ma, per contro, una propensione ad isolare instabilità di maggiori dimensioni.

Come desunto dalla bibliografia (Brovero e altri, 1996) e verificato con apposito sopralluogo le discontinuità principali risultano:

- KS scistosità con giacitura compresa tra 135/28 e 156/27, lunghezza plurimetrica, priva di apertura e riempimento, con rugosità JRC = 7, spaziatura principale da 2,0 a 6,0 m che si riduce, ma solo localmente, da 0,6 a 2,0 m;
- K1 discontinuità con giacitura 282/90 (circa verticale), lunghezza metrica con continuità che raggiunge anche 10,0 m (numerose discontinuità raggiungono anche 20 m), apertura anche superiore ad 1,0 m e rugosità JRC = 10, priva di riempimento e alterazione delle pareti, spaziatura con intervallo compreso tra 2,0 e 6,0 m;
- K2 discontinuità con giacitura 19/90 (circa verticale), lunghezza compresa tra 3,0 e 10,0 m (numerose discontinuità raggiungono anche 20 m), apertura anche superiore ad 1,0 m e rugosità JRC = 10, priva di riempimento e alterazione delle pareti, spaziatura con intervallo compreso tra 2,0 e 6,0 m

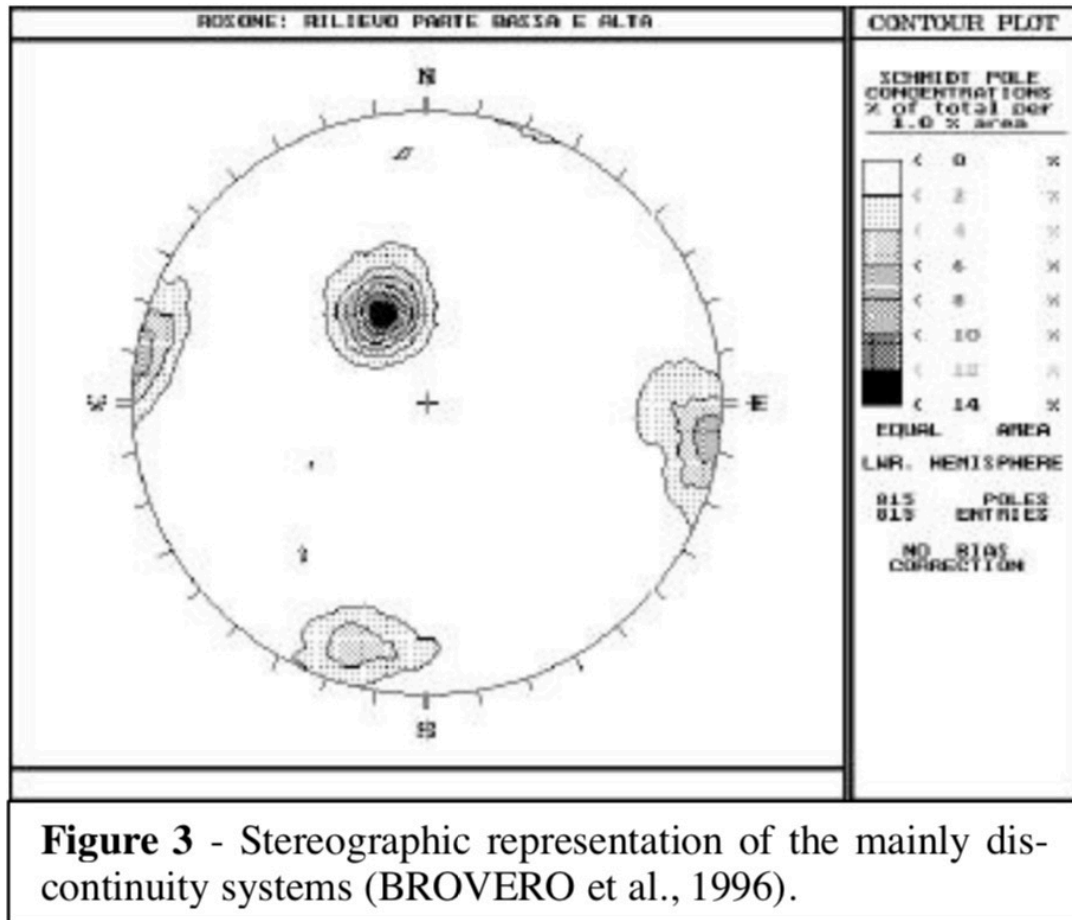
The **KS** system dips to N135 with an inclination of about 28°; in the upper part of the slope the joint system dips to N156 with inclination of 27° while at the bottom the dip is N129 with inclination of 26°. The KS average features are: length major than 20 m; no aperture; roughness JRC = 7; no gouge and rare presence of laminated altered rock filling; spacing 2 m-6 m and subordinate 0.6-2 m.

The **K1** sub-vertical lineament dips to N282 and it is characterized by an average length of 3 m-10 m, no separation, except in the heavily deformed section, where the aperture exceeds 1 m; roughness average value JRC = 10; no gouge, nearly no alteration; average spacing 2 m-6 m. Several joints show a length over 20 m and widely open. In general these joints have great spacing and create large blocks.

**K2** subvertical joint dip N 19 and is characterized by an average length of 3-10 m, no separation, except in the heavily deformed section, where the aperture exceeds 1 m; roughness average JRC = 10; no gouge, nearly no alteration. Several joints show a length over 20 m and widely open. In general these joints have great spacing and create large blocks.

minimum RMR = 22-40 (5 cases), maximum RMR = 50-58, average RMR = 43-53.

Furthermore two minor sub-vertical joints systems have been recognized: **K3** system dipping to N240 and **K4** system dipping to N40 (GEOENGINEERING 1984, SGI 1984).



L'indice RMR (Rock mass rating) calcolato secondo la classificazione di Bieniawski varia da un minimo di 22 - 40 ad un massimo di 50 - 58 con la maggior parte degli indici

nell'intervallo compreso tra 50 e 58 che permette di classificare l'ammasso roccioso nel suo complesso come "mediocre" appartenente alla classe III.

RMR <sub>c</sub>	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	≤ 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Molto buono	Buono	Mediocre	Scadente	Molto scadente

Ai fini del dimensionamento dell'opera di difesa dalla caduta massi è stata svolta un'analisi statistica delle dimensioni dei blocchi che compongono la falda detritica che integra l'analisi strutturale della parete rocciosa. A causa della limitata accessibilità della stessa, infatti, non risulta possibile un rilievo dettagliato delle discontinuità che possono contribuire in maniera diretta alla definizione delle instabilità incombenti sul settore di fondovalle oggetto di intervento.

#### ***Formazioni superficiali***

Le formazioni superficiali che affiorano a monte dell'area oggetto di intervento sono rappresentate dalla falda detritica che si estende dalla base della parete rocciosa sino a raggiungere i depositi alluvionali di fondovalle del torrente Orco.

Questi ultimi sono formati da ciottoli immersi in matrice ghiaioso - sabbiosa con poca sabbia mentre la falda detritica è formata essenzialmente da blocchi spigolosi di dimensione da pluridecimetrica a metrica che sono stati oggetto di analisi statistica per la definizione del blocco di progetto da utilizzare nel dimensionamento della barriera paramassi.

L'analisi statistica del volume del blocco di progetto è stata stimata applicando la metodologia sviluppata dal Politecnico di Torino nel 2016 (Peila & De Biagi, in pubblicazione su NHESS) sulla base dell'esperienza acquisita dalla Regione Autonoma Valle d'Aosta nell'ambito della convezione stipulata nel 2013 dall'Amministrazione regionale con il Politecnico di Torino - DIATI e DISEG per la realizzazione del progetto *"Realizzazione di scenari di rischio per crolli di roccia"* sviluppata proprio per superare le incertezze relative alla mancanza di informazioni descriventi la tipologia di evento.

L'applicazione del metodo in alcune aree del territorio regionale ha fornito risultati soddisfacenti come documentato in numerose pubblicazioni recenti.

L'utilizzo di questa metodologia richiede, da un lato, il rilievo dei blocchi al piede della parete rocciosa ricavandone quantità e volumetria, dall'altro di ricostruire gli eventi storici che si sono verificati presso il medesimo sito in una determinata finestra temporale.

Il rilievo può essere eseguito mediante un numero di stendimenti significativi nel sito quando il detrito è molto ampio oppure con il rilievo completo dei blocchi, per esempio mediante tecniche fotogrammetriche.

A partire da questi dati è possibile procedere con l'analisi probabilistica, che prevede che i volumi di crollo possano essere adeguatamente descritti dalla distribuzione di Pareto.

Scelta la distribuzione di probabilità, la stima del volume avviene a partire dai dati storici a disposizione (Hosking et al., 2005) attraverso l'applicazione di differenti metodologie:

- *metodo dei momenti*: consiste nello stimare i parametri uguagliando i momenti del campione a quelli della distribuzione (Stedinger et al., 1993);
- *metodo degli L-momenti*: è simile come approccio al metodo dei momenti, ma le statistiche utilizzate per descrivere il campione e la popolazione vengono definiti come momenti pesati in probabilità (Kendall et al., 1946, Stedinger et al., 1993);
- *metodo della massima verosimiglianza* (Hosking et al., 2005);
- *metodo ai minimi quadrati*;
- *analisi di regressione* (Draper et al., 2014).

L'ipotesi fondamentale del metodo è la separazione concettuale tra l'analisi dei volumi e l'analisi delle occorrenze temporali al fine di ricavare un tempo di ritorno per il dimensionamento del blocco di progetto.

Nel settore delle costruzioni, l'analisi di rischio considera la probabilità che una struttura sia danneggiata una (o più volte) in un determinato numero di anni da un fenomeno naturale di una intensità definita da un tempo di ritorno definito come l'inverso della probabilità annua di accadimento.

Quest'analisi si propone di introdurre un approccio di tipo probabilistico per la stima del tempo di ritorno corrispondente al crollo di un blocco roccioso di dimensioni definite, conoscendo le condizioni al contorno dello specifico sito.

Nell'idea di utilizzare il tempo di ritorno del fenomeno naturale per attuare il principio della differenziazione dell'affidabilità strutturale, attuabile variando la probabilità di accadimento di un evento nella vita utile, ci scontriamo con il fatto che non tutti i fenomeni naturali possiedono una legge intensità - frequenza.

Storicamente infatti, le leggi di intensità - frequenza sono state costruite, quando possibile, a partire da un insieme di osservazioni e misure prese per un lungo lasso temporale o da modelli del fenomeno.

E' possibile comunque costruire una legge intensità - frequenza per i crolli di roccia identificando un'area rappresentativa ai piedi del versante dove sono presenti sia i blocchi per i quali è stato documentato il crollo, sia quelli che si sono accumulati in precedenza.

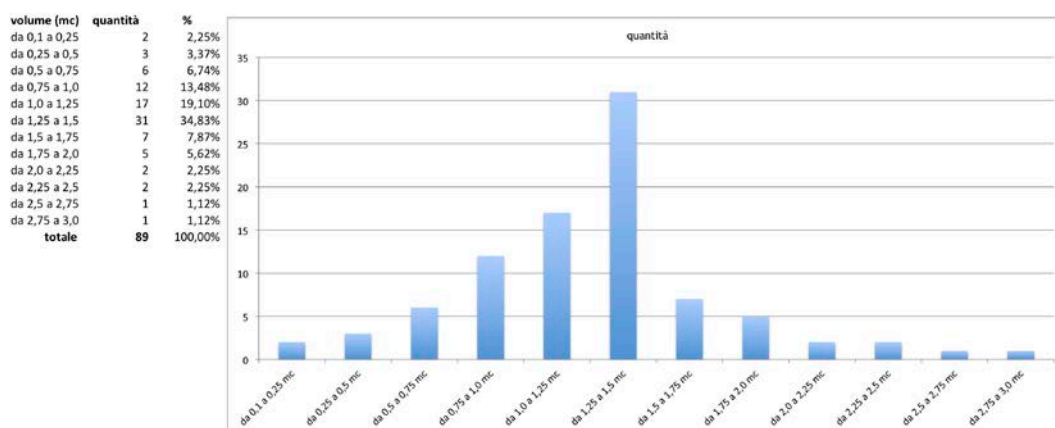
Nel caso in esame non è stato possibile risalire a questa tipologia di ricostruzione.

L'analisi delle dimensioni dei volumi che compongono la falda detritica è stata pertanto eseguita con misure effettuate a campione in sito.

Sono stati censiti 89 blocchi suddivisi in classi di volume con step di 0,25 mc.

L'analisi statistica prevede che la classe da 1,25 a 1,5 mc sia quella maggiormente rappresentativa (34,83%) mentre sono stati rilevati rappresentanti di volume sino a 3,0 mc. Volumetrie maggiori sono state rilevate ma sono state attribuite ad episodi di collasso dei settori di versante immediatamente a seguito del ritiro della massa glaciale e non conseguenti al crollo di instabilità dovute all'alterazione dell'ammasso roccioso a causa della prolungata esposizione agli agenti morfogenetici.

Volumi di maggiori dimensioni sono stati osservati in corrispondenza delle opere di difesa esistenti e in attesa di finanziamento provenienti dalle pareti rocciose che non sovrastano il settore oggetto dell'intervento in progetto.



Le simulazioni di caduta massi 3D (vedi di seguito) sono pertanto state condotte considerando tre differenti volumi delle instabilità: 0,5 mc, 1,5 mc (volume maggiormente rappresentativo) e 3,0 mc (volume massimo rilevato in sito) mentre la

simulazione 2D, utilizzata per il dimensionamento della barriera paramassi, ha utilizzato il volume massimo di 3,0 mc.

## 5. Normativa di riferimento - UNI 11211 "Opere di difesa dalla caduta massi"

Per il dimensionamento delle opere di difesa dalla caduta massi (barriera metallica) si sono prese a riferimento le norme UNI 11211 in quanto trattano "fenomeni di caduta massi che coinvolgono blocchi isolati oppure crolli di piccole dimensioni (con un volume complessivo delle porzioni in frana comunque minore di 100.000 mc), in cui si possa ritenere che non vi sia nessuna interazione fra i blocchi in caduta oppure che tale interazione sia trascurabile".

Nel testo seguente sono state evidenziate le parti della normativa di interesse per il progetto specifico.

### **Introduzione**

La norma UNI 11211 si compone di quattro parti aventi come oggetto la progettazione delle opere di difesa dalla caduta massi.

La **prima parte** delle norme propone "*Termini e definizioni*".

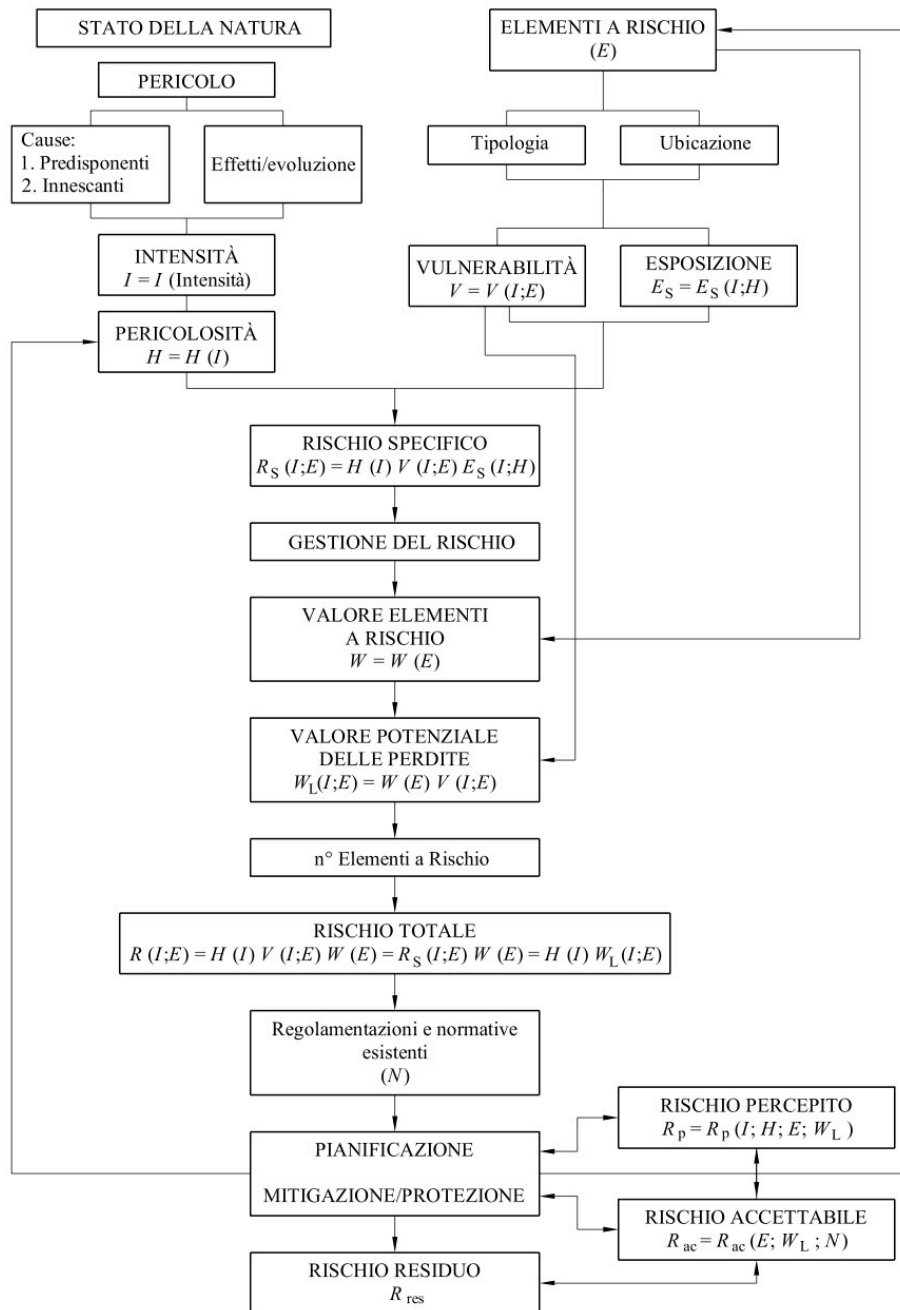
La **seconda parte** delle norme "*Programma preliminare di intervento*" si applica:

- a) all'analisi del territorio interessato, del rischio di caduta massi, delle soluzioni alternative impiegabili per la riduzione dello stesso;
- b) ai criteri da adottare per le scelte delle opere di mitigazione;
- c) ai contenuti minimi del programma preliminare di intervento, che viene redatto dal committente o dalle autorità territoriali.

Nel testo vengono elencate le "*Istruzioni per l'analisi del rischio*" mediante l'analisi del territorio con riferimento al rischio da caduta massi (fenomeno fisico definito come "... *il distacco e la successiva caduta di blocchi lapidei da pendii naturali o da fronti di scavo in roccia (propagazione primaria) che può avere origine anche da depositi di terre sciolte (propagazione secondaria)*") e delle diverse soluzioni alternative impiegabili per la riduzione del rischio stesso, ai criteri da adottare per la scelta delle opere di mitigazione ed ai contenuti che il programma preliminare di intervento deve avere.

La norma si applica a fenomeni di caduta massi che coinvolgono blocchi isolati (< 100 m<sup>3</sup>) oppure crolli di piccole masse (con un volume *complessivo* delle porzioni in frana comunque minore di 100.000 m<sup>3</sup>), in cui si possa quindi ritenere che l'interazione tra i blocchi sia nulla oppure trascurabile.

La caduta massi è una tipologia particolare di frana con dimensione degli elementi di roccia in movimento che sono contenute rispetto alle altre caratteristiche geometriche del problema (come il dislivello o la lunghezza del percorso di caduta). Nello studio della quale la traiettoria assume fondamentale importanza nella progettazione delle opere di difesa.



La **terza parte** descrive le analisi da effettuare e i criteri da adottare per la definizione del "*Progetto preliminare*" per le opere di difesa dalla caduta massi.

La **quarta parte** descrive le fasi di "*Progettazione definitiva ed esecutiva*" di opere di difesa dalla caduta massi.



## ***Descrizione della natura e dello stato del fenomeno di caduta massi: fattori di instabilità***

### **Fattori interni all'ammasso roccioso**

I fattori interni all'ammasso roccioso si riferiscono alle condizioni geologiche e geomeccaniche dell'ammasso roccioso, tra cui: litologia (natura, omogeneità o eterogeneità, inclusioni), assetto strutturale (giacitura), caratteri della fratturazione, stato di alterazione, qualità dell'ammasso roccioso sulla base di una o più classificazioni geomeccaniche, volume roccioso unitario.

### **Fattori idrologici ed idrogeologici**

I fattori idrologici e idrogeologici sono riferiti alla circolazione delle acque superficiali e sotterranee

### **Fattori morfologici**

I fattori morfologici riguardano inclinazione, altezza ed orientazione della parete, morfologia del versante

### **Fattori meteoroclimatici**

I fattori meteoroclimatici riguardano precipitazioni (natura, andamento annuale, intensità e durata degli eventi maggiori) e temperatura (massima, media, minima, andamento annuale, cicli gelo-disgelo)

### **Fattori naturali diversi**

I fattori naturali diversi riguardano sollecitazioni sismiche (periodicità e magnitudo), presenza e tipologia di vegetazione in parete, incendi

### **Fattori antropici**

I fattori antropici riguardano presenza di sovraccarichi o di scavi, sollecitazioni cicliche ad alta frequenza (per esempio esplosioni, traffico stradale o ferroviario, macchine vibranti)

## ***Fattori condizionanti l'andamento delle traiettorie di caduta e l'energia cinetica dei blocchi***

### **Fattori connessi all'elemento di roccia al distacco**

I fattori connessi all'elemento di roccia al distacco sono litologia, forma, dimensioni, volume e massa, resistenza meccanica ed anisotropia

### **Fattori connessi al versante**

I fattori connessi al versante sono altezza di caduta libera, geometria del versante, natura del materiale costituente il versante, coefficienti di restituzione, presenza, densità e caratteristiche della vegetazione, presenza di opere antropiche e sistemi di difesa

### ***Valutazione dell'intensità dell'evento (I)***

L'intensità dell'evento (I) deve essere stimata in termini di massa, velocità ed energia cinetica del volume roccioso in caduta. Il programma di intervento deve comprendere una relazione che indichi quali criteri vengono utilizzati per la stima ed il tipo di analisi di propagazione utilizzato.

## ***Valutazione della pericolosità (H)***

In appendice A della seconda parte è riportato un approccio semplificato per la valutazione della pericolosità.

La valutazione della pericolosità (H) è generalmente complessa e richiede la quantificazione, a livello sia spaziale sia temporale, della probabilità di accadimento dell'evento.

Una valutazione rigorosa della pericolosità (che si definisce *relativa* (o *suscettibilità*) il grado di pericolosità di un'area valutato rispetto ad altre, senza arrivare a dare una vera probabilità di occorrenza dei fenomeni) dovrebbe valutare:

**Previsione tipologica sul tipo di fenomeno che si può verificare nell'area in esame**

**Previsione dell'intensità (I)**

**Previsione dell'evoluzione e dei limiti di ampliamento della zona di origine del crollo**

**Previsione spaziale**

Si prefigge di indicare dove si può verificare un certo fenomeno con determinata intensità

**Previsione temporale**

Con quale frequenza o tempo di ritorno può avvenire un determinato evento di particolare intensità in una data area valutato per blocchi di differenti dimensioni e quindi diverse intensità.

**Pericolosità da rottura in parete**

Probabilità che un blocco si stacchi da una porzione di parete rocciosa

**Pericolosità da propagazione**

Probabilità che un blocco, una volta staccatosi dalla parete e dotato di energia cinetica, transiti o si arresti in una data area al di sotto della parete

**Pericolosità "mista"**

Probabilità combinata dal prodotto delle due precedenti, che un blocco si distacchi e transiti o si arresti in una data area al di sotto della parete.

## **APPENDICE A**

### ***Valutazione della probabilità di distacco in parete***

La *probabilità del distacco* in parete è valutabile come *probabilità relativa* o *suscettività*, in quanto la probabilità assoluta dovrebbe prendere in considerazione complessi meccanismi di propagazione della frattura.

Questa valutazione può essere effettuata prendendo in considerazione sia fattori preparatori, quali la possibilità di mobilitazione di una massa lungo superfici di discontinuità sulla base della geometria del sistema (*analisi cinematica*), sia indizi di imminente movimento, quali blocchi ruotati o ribassati, fratture di recente apertura, nuove venute d'acqua, distacco recente di blocchi.

Il risultato di questa analisi è la *zonazione della parete* in aree a pericolosità di distacco omogenea.

Affinchè questa valutazione tenga conto dell'intensità del fenomeno, devono essere stimate anche le *dimensioni dei blocchi* potenzialmente mobilizzabili. Tale stima sarà poi utilizzata come valore di ingresso nei modelli per la valutazione della probabilità di propagazione

### *Valutazione della probabilità di propagazione*

La probabilità di propagazione, che in questo caso può essere definita una probabilità assoluta, viene valutata tramite *modelli empirici o matematici, bidimensionali o tridimensionali*, di simulazione di rotolamento massi, che danno come risultato la distribuzione dei punti di impatto e di arrivo dei blocchi, le velocità di caduta, l'energia cinetica e l'altezza delle traiettorie.

Per una corretta simulazione del fenomeno di crollo, è necessario tenere in considerazione che il *movimento dei blocchi* è influenzato da diversi fattori, quali:

- altezza della scarpata;
- caratteristiche geologiche e litologiche;
- caratteristiche macro e micro-morfologiche;
- caratteristiche vegetazionali;
- presenza di opere di mitigazione (e/o protezione) o infrastrutture;
- possibilità di canalizzazione;
- presenza di tratti di versante a diversa pendenza

### *Valutazione della pericolosità*

Incrociando i risultati dei punti precedenti, si ottiene una stima della pericolosità basata sia sull'intensità sia sulla frequenza del fenomeno.

### *Elementi a rischio (E) e loro valore (W)*

In appendice B della seconda parte è riportato un esempio di classificazione di usi del territorio.

L'identificazione degli elementi a rischio avviene attraverso la definizione delle destinazioni d'uso del territorio e la costruzione della relativa mappa, per lo meno con riferimento all'area (alle aree) di risentimento degli eventi franosi.

Si deve distinguere tra esposizione di vite umane ed esposizione di beni.

- Popolazione residente
- Aree urbanizzate
- Edifici pubblici ad elevata presenza di persone
- Edifici privati ad elevata presenza di persone
- Aree produttive, commerciali, artigianali
- Aree agricole
- Aree ricreative
- Beni culturali e ambientali

- Infrastrutture di trasporto (strutture per trasporto a fune, infrastrutture di servizio per il trasporto di energia o di beni essenziali per la collettività)

## APPENDICE B

### *Esempio di classificazione e usi del territorio*

Tra le possibili classificazioni di usi del territorio (le categorie di destinazione d'uso del suolo utilizzate dai diversi strumenti di pianificazione vigenti, devono essere di volta in volta riportate alla classificazione qui adottata, stanti le ricorrenti diversità di classificazione riscontrabili), se ne propone una adeguata per una scala di rappresentazione non inferiore all'1:5 000.

È una divisione in quattro classi che rende conto della valutazione operata o sulla presenza di persone considerata preponderante o sul tipo d'uso del suolo (se la presenza di persone è trascurabile):

- E1 **zona extraurbana** (bosco, incolto, zona agricola non edificabile), comunque ineditata e dove non sia concessa nuova edificabilità, ma sia consentito il solo mantenimento delle strutture di servizio all'agricoltura esistenti; sono escluse tutte le strade extraurbane, tranne le interpoderali, e le infrastrutture tecnologiche;
- E2 **zona a bassa frequenza di persone** (zona agricola con possibilità di edificazione, zona agricola di pregio, verde pubblico, verde privato, parcheggi, strade extraurbane locali (vedere anche appendice C per valutare il grado di sostituibilità di una strada): per l'esposizione legata alla presenza di persone e l'esposizione delle strade si vedano i successivi punti;
- E3 **zona degli impianti tecnologici e con media presenza di persone** (servizi tecnologici urbani a rete - lifelines, impianti tecnologici, strade extraurbane principali e secondarie e tutte le strade urbane 2), zone residenziali rade): per l'esposizione legata alla presenza di persone e l'esposizione delle strade, vedere i successivi punti;
- E4 **zone abitative e aree strategiche e di valore storico-artistico** (tutte le zone A, B e C, le aree produttive, le aree per il commercio su vaste superfici, i servizi di sicurezza, i pubblici servizi, tutti gli edifici pubblici e privati ad elevata presenza di persone). Le zone A comprendono le zone urbanistiche storiche, le zone B comprendono le zone urbanistiche già insediate o di completamento residenziale, le zone C comprendono le zone urbanistiche di espansione insediativa residenziale.

Quindi, ove possibile, una prima distinzione va operata tra:

- a) negli ambiti interamente o prevalentemente urbani: esposizione per presenza di persone (residenti, addetti, studenti, degenti, turisti, traffico, ecc.);  
Si deve fare riferimento al numero di residenti, addetti o comunque utilizzatori degli edifici esposti al pericolo, come ricavabili da dati facilmente reperibili
- b) negli ambiti prevalentemente extraurbani: esposizione per destinazioni funzionali (usi del suolo).  
Si deve fare riferimento a indici sintetici quali quelli proposti nel seguito (o similari) che stimano il valore delle aree compromesse dal pericolo:

$$1. \quad W(E) = \text{Area coltivata} \times U \text{ [km}^2\text{]}$$

U = 0 incolto, area sterile, prato e pascolo

U = 0,4                    seminativo, legnose agrarie, bosco ceduo

U = 0,6                    bosco

Il danno è legato alla compromissione delle colture.

Il valore può essere aumentato in presenza di aree protette e di coltivazioni pregiate.

2.  $W(E) = \text{Area verda} \times D_p \text{ [ab]}$

Con  $D_p$  = densità di popolazione del quartiere di riferimento [ab/km<sup>2</sup>]

Il danno è legato alla potenziale fruizione

3.  $W(E) = \text{Area} \times U \times D_p \text{ [ab]}$

Con Area = superficie della zona urbanistica;

$U = 1,2$  per edifici di servizi;

$U = 1,1$  per edifici produttivi e commerciali;

$U = 1,0$  per edifici di civile abitazione;

$D_p$  = densità di utenza della funzione di riferimento [ab/km<sup>2</sup>].

Il danno è legato alla fruizione.

### ***Definizione della vulnerabilità (V) degli elementi a rischio (E)***

In appendice C della seconda parte è riportato un esempio di definizione della vulnerabilità di una tratta stradale

Per quanto riguarda la valutazione della vulnerabilità (V) si fa riferimento a due componenti essenziali:

#### **Strutturali**

#### **Infrastrutturali**

(strade e linee ferroviarie, strutture per trasporto a fune, infrastrutture di servizio per trasporto di energia o di beni essenziali per la collettività), per perdita di funzionalità.

### **APPENDICE C**

#### ***Valutazione della vulnerabilità di una tratta stradale***

Per le componenti infrastrutturali, si deve conoscere l'intensità d'uso della tratta stradale e la perdita di tempo generata dalla perdita funzionale (interruzione totale o parziale).

Si deve fare riferimento a dati di traffico e ricostruire i flussi di traffico sui segmenti di tratta stradale. A questo punto, si può stimare la vulnerabilità funzionale della rete utilizzando un indice del tipo:

$$V_{str} = \sum \Delta t_{ij} T_{ij} / \sum T_{ij} \text{ per } i \neq j$$

dove:

$V_{str}$  = ritardo per perdita di funzionalità della tratta stradale (in ore);

$\Delta t_{ij}$  = intervallo di tempo nel percorrere il segmento di tratta stradale ij (in ore);

$T_{ij}$  = flusso di traffico sull'arco ij (veicoli e/o persone per unità di tempo).

L'indice pesa il ritardo per perdita di funzionalità su di un arco ij, usando il traffico sul segmento di tratta stradale rispetto al traffico totale sull'itinerario considerato.

Ipotizzando interruzioni totali o parziali della linea di comunicazione si possono valutare gli itinerari più funzionalmente vulnerabili ai danneggiamenti.

### **Valutazione del rischio**

In appendice D della seconda parte sono riportate ulteriori informazioni sulla valutazione del rischio.

Per la valutazione del rischio, si fa riferimento ai parametri:

I	intensità
H (I)	pericolosità
E	elementi a rischio
W (E)	valore degli elementi a rischio vulnerabilità
$W_L (I, E) = W \times V$	danno potenziale
$R_s (I, E) = \sum H \times V_L$	rischio specifico

Il **rischio specifico** esprime il grado di perdita atteso per un crollo avente una determinata *probabilità di accadimento* ed una determinata *intensità*.

Sia la *probabilità di accadimento* sia la *vulnerabilità* sono dipendenti dall'*intensità*, per cui anche il rischio specifico è funzione dell'*intensità* del fenomeno.

Per definizione il **danno potenziale** dipende dalle caratteristiche dell'elemento a rischio (*valore* e *vulnerabilità*) e dall'*intensità* dei fenomeni (attraverso la vulnerabilità).

La curva che esprime la dipendenza dall'*intensità* ha ovviamente lo stesso andamento di quella della vulnerabilità.

Per ottenere il **rischio totale**  $R_T$  occorre valutare il danno potenziale, che è definito come la sommatoria del prodotto tra la *vulnerabilità* e il *valore degli elementi a rischio* ed esprime il costo totale dovuto al fenomeno pericoloso. La dipendenza del  $R_T$  dall'*intensità* non è modificata dal valore degli elementi a rischio, ed ha pertanto un andamento del tutto analogo a quello descritto per il rischio specifico.

### **APPENDICE D**

#### ***Informazioni aggiuntive sulla valutazione del rischio***

La pericolosità tende spesso ad avere un andamento decrescente con l'*intensità* (sismi, alluvioni, ecc.). Questo andamento è regolato da complesse leggi fisiche che difficilmente sono stimabili in modo deterministico (per esempio accumulo di energia nei terremoti), ma che si basano in generale sul principio che un evento di grande intensità è più raro di uno con minore intensità.

L'esposizione invece ha solitamente un andamento crescente con l'*intensità*, dal momento che un fenomeno più intenso tende ad occupare un'area maggiore e dà inoltre minori possibilità di fuga all'elemento a rischio (un crollo di 100 m<sup>3</sup> è generalmente più difficile da evitare di un crollo di 1 m<sup>3</sup>).

La valutazione della probabilità di impatto è complessa, in quanto dipende da più fattori, non tutti considerati nelle comuni analisi. Istintivamente si è portati a pensare alla probabilità di impatto come la probabilità che un certo fenomeno avvenuto colpisca un elemento. Questa probabilità in realtà è espressa dall'esposizione. Nella probabilità di impatto rientra anche la probabilità di accadimento del fenomeno, nonché la probabilità che il fenomeno raggiunga effettivamente l'elemento a rischio.

Per un crollo di 100 m<sup>3</sup> si devono quindi considerare:

- la probabilità che il crollo avvenga;
- la probabilità che la massa raggiunga l'elemento;
- la probabilità che l'elemento sia in quel momento esposto.

Come già sottolineato, la prima è inversamente proporzionale all'intensità, la seconda è direttamente proporzionale. Il bilancio di queste tre probabilità dà una distribuzione di probabilità di impatto al variare dell'intensità che può essere diversa da caso a caso.

La vulnerabilità invece tende ad avere sempre un andamento crescente con l'intensità, come detto in precedenza.

La curva del rischio specifico ha pertanto un andamento che non è possibile prevedere a priori.

### ***Definizione di rischio accettabile***

In appendice E della seconda parte sono riportate indicazioni sulla definizione di una soglia di rischio accettabile.

S'intende per **rischio accettabile** un *valore limite di soglia al di sotto del quale la popolazione e la società nel suo insieme sono disposte a tollerare l'esposizione al rischio.*

La soglia di rischio socialmente accettabile dipende da:

- *tipo del fenomeno* potenzialmente pericoloso;
- *livello di consapevolezza* dell'esposizione al rischio (rischio percepito);
- *volontarietà o involontarietà* dell'esposizione al rischio;
- *tipo di elemento a rischio* (vite umane, beni economici);
- conseguenti *aspetti giuridici* (penali, civili).

La valutazione del rischio accettabile può essere condotta in modi diversi:

- *confronto* tra *rischi differenti* o fra *aree differenti* esposte al medesimo rischio (per esempio, a livello di pianificazione territoriale);
- *efficacia dei costi* sostenuti per la riduzione del rischio (per esempio, in termini di costi per salvare una vita umana);
- *analisi costi/benefici* (per esempio, confrontando il costo annuale degli interventi di mitigazione con la diminuzione annuale del rischio).

## **APPENDICE E**

### ***Considerazioni sulla definizione del rischio accettabile***

A livello mondiale, la letteratura specializzata fornisce numerose indicazioni e criteri generali per il confronto fra rischi di differente natura, ma con approcci e risultati diversi.

Alcune considerazioni di carattere generale:

- da parte della popolazione vi è una maggior propensione ad accettare livelli di rischio volontario più elevati rispetto a quelli di rischio involontario (o imposto);

- a livello di popolazione, l'accettabilità di un solo evento con molte vittime è minore di quella di un numero maggiore di eventi con una o poche vittime;
- il rischio accettabile per un individuo è maggiore di quello accettabile per un'intera comunità umana;
- per i rischi involontari, il livello di rischio specifico considerato accettabile è dell'ordine di  $10^{-6}$  morti/anno (e in ogni caso non maggiore di  $10^{-5}$  morti/anno), mentre per quelli volontari (anche se legati al posto di lavoro) è più elevato ed in genere compreso tra  $10^{-4}$  e  $10^{-3}$  morti/anno; per i rischi volontari connessi ad alcune attività sportive tale limite può salire fino a  $10^{-2}$  morti/anno

### ***Analisi delle possibili soluzioni per la mitigazione del rischio***

Deve essere accertata l'eventuale pre-esistenza di interventi di mitigazione del rischio. Di questi devono essere indicate la tipologia, le caratteristiche geometriche rilevabili, la posizione planoaltimetrica, l'efficacia e l'efficienza.

La mitigazione del rischio può avvenire con l'impiego di tipologie di interventi riconducibili alle seguenti categorie:

#### **Riduzione del valore degli elementi a rischio**

La mitigazione attraverso la riduzione degli elementi a rischio si ottiene operando scelte di tipo urbanistico attuativo che limitino il danno potenziale, modificando le presenze di persone e beni attraverso scelte di tipo localizzativo e/o normativo urbanistico.

È essenziale a distinguere tra:

- zone urbanistiche consolidate
- zone urbanistiche previste dai piani in vigore, ma non ancora realizzate.

Nel caso a) gli interventi, subordinati alla scelta del livello di rischio accettabile, comprendono (in ordine decrescente di rischio):

- delocalizzazione di attività (interventi di sgombero temporaneo o di delocalizzazione permanente);
- obbligo di dotazione di misure di riduzione della pericolosità e/o della vulnerabilità per evitare la delocalizzazione;
- prescrizione di misure di riduzione del valore della vulnerabilità e/o dell'elemento a rischio in caso di intervento sul manufatto esistente (per esempio in caso di ristrutturazione).

Nel caso b), gli interventi sono di tipo urbanistico attuativo e si esplicitano essenzialmente in scelte di localizzazione e di normativa per la destinazione d'uso e l'intensità dell'intervento urbanistico (limiti ai volumi e/o ai rapporti di copertura).

Tali scelte, in quanto oggetto di uno strumento attuativo ad hoc, devono condizionare la strumentazione urbanistica esistente al momento dell'accertamento del pericolo in termini di:

- variante parziale dello strumento urbanistico vigente;
- variante dei piani nel caso di previsioni in corso di attuazione.



## Interventi attivi

La mitigazione del rischio per mezzo di interventi atti a ridurre la pericolosità richiede l'accesso diretto alla parete di distacco e si ottiene impiegando opere attive, che hanno la funzione di *prevenire, impedire o limitare* in modo sostanziale il *distacco* ed il *movimento delle porzioni rocciose*.

Tra le tipologie di difesa attiva si possono distinguere quelle che:

### *Modificano la geometria del versante*

Hanno lo scopo di eliminare direttamente i volumi di roccia instabili di dimensioni varie (disgaggi e demolizioni) oppure di ridurre le forze instabilizzanti (riprofilature)

### *Modificano la resistenza meccanica dell'ammasso roccioso (anche per mezzo dell'applicazione di forze)*

Consistono in opere di sostegno di varia tipologia come tiranti attivi, bulloni, chiodi, legature (imbragature), iniezioni di consolidamento, travi, colonne, murature addossate o sottomurazioni.

### *Agiscono sulla superficie dell'ammasso per limitarne i processi di degradazione fisico-meccanica e chimica*

Sono costituiti da reti in aderenza, pannelli di fune o ad anelli, eventualmente rinforzati, protezioni superficiali ottenute con la posa di un manto naturale di vegetazione o con l'uso di geosintetici o, ancora, con calcestruzzo proiettato.

### *Modificano le condizioni di circolazione idrica superficiale, subsuperficiale o profonda.*

Hanno lo scopo di diminuire la circolazione sulla superficie dell'ammasso roccioso, di ostacolare l'infiltrazione di acqua nelle discontinuità, oppure di allontanare l'acqua da queste. Per raggiungere tali obiettivi si può operare in modo diverso, per esempio:

- intercettando le acque superficiali a monte della parete rocciosa;
- favorendo il drenaggio con dreni tubolari o con opere di drenaggio di grande diametro, (per esempio gallerie drenanti).

## Interventi passivi

Le opere passive *rallentano, deviano o arrestano* la caduta dei massi.

Hanno generalmente andamento lineare in pianta e non richiedono l'accesso diretto alla parete.

Tra le difese passive si possono elencare:

- le barriere paramassi di diversa tipologia;
- interventi di riprofilatura del versante con creazione di berme di rallentamento, valli, trincee, rilevati anche rinforzati;
- ostacoli più o meno rigidi come muri di calcestruzzo, muri cellulari, gabbionate, scogliere;
- gallerie artificiali.

## **Sistemi di controllo**

Congiuntamente o in alternativa agli interventi di difesa attivi e passivi, si può fare ricorso a sistemi di misurazione di varia tipologia. La loro predisposizione non influisce sulla pericolosità, ma può ridurre sensibilmente l'esposizione al rischio accettando che l'evento si possa verificare e predisponendo con adeguato anticipo le contromisure indispensabili per limitare il danno associato.

Per quanto riguarda la zona di collocazione di tali strumenti, si possono distinguere:

- sistemi in grado di segnalare l'evoluzione del fenomeno di distacco, basati sulla strumentazione della parete di origine della caduta (sistemi premonitori dell'evento), come per esempio mire ottiche, trasduttori di posizione (inclinometri, estensimetri, distometri, fessurimetri, clinometri), sistemi vibrometrici, sistemi acustici, piezometri;
- sistemi in grado di segnalare l'evento in atto lungo un pendio di caduta (sistemi di segnalazione dell'evento).

Le rilevazioni possono essere fatte manualmente (periodiche) oppure elettronicamente (periodiche o continue); nel caso di strumentazione elettronica, si può inserire un valore limite (per esempio di spostamento totale o di incremento di velocità di spostamento) in grado di segnalare il superamento di una soglia di pericolo prefissata e di fungere da sistema di allertamento.

### ***Criteri per le scelte***

I criteri da considerare nelle scelte del programma preliminare di intervento sono riconducibili alle seguenti categorie:

- criteri tecnici per la riduzione del rischio,
- fattibilità,
- criteri paesistici e ambientali,
- criteri logistici (per esempio, contenimento di eventuali interferenze tra il cantiere e l'intervento realizzato ed il normale esercizio delle infrastrutture esistenti e da proteggere),
- criteri economici.

### ***Requisiti minimi del programma preliminare di intervento***

I requisiti minimi del programma preliminare di intervento sono i seguenti:

#### **Inquadramento generale dell'opera da realizzare**

Identificazione delle opere minacciate, individuazione della tipologia funzionale dell'opera di difesa, localizzazione dell'intervento, individuazione dei vincoli di tipo legislativo, individuazione dei vincoli ambientali.

#### **Esame delle motivazioni**

Esame delle motivazioni (tecniche, sociali, urbanistiche, ambientali, ecc.) che hanno portato ad ipotizzare l'intervento a protezione dalla caduta massi, compresa la raccolta e l'esame degli elementi relativi ad eventi di caduta già verificatisi.

### **Acquisizione della normativa**

Acquisizione della normativa, dei regolamenti di riferimento (di tipo tecnico, urbanistico e ambientale) sui lavori in genere e sui lavori pubblici in particolare (che deve essere espressamente richiamata).

### **Affinamenti progettuali**

Informazioni ed indicazioni sugli affinamenti progettuali da sviluppare e sugli aspetti critici da approfondire.

### **Valutazione economica**

#### ***Contenuti della documentazione finale***

Il programma preliminare di intervento deve indicare la soluzione, oppure un ventaglio di soluzioni, ritenuta/e più adatta/e al caso in esame tenendo conto dei risultati delle indagini specialistiche svolte; essa/e deve/ono comprendere i seguenti argomenti:

- Inquadramento geologico e geomorfologico dell'area;
- Risultati delle indagini fisiche svolte (rilievi, prove, elaborazioni, ecc.);
- Inquadramento geologico-tecnico e geomeccanico della parete di distacco e del pendio sottostante e sino ai beni da difendere;
- Inquadramento idrologico ed idrogeologico;
- Individuazione delle persone, delle infrastrutture o dei beni da proteggere;
- Descrizione sommaria dell'intervento da realizzare;
- Illustrazione della fattibilità dell'intervento, documentata anche attraverso uno studio di prefattibilità ambientale;
- Illustrazione delle ragioni della soluzione ipotizzata;
- Descrizione della viabilità locale e di eventuali vincoli di massa e di sagoma;
- Descrizione dell'ambiente naturale ed antropico che ospiterà l'intervento;
- Definizione della funzione a regime dell'opera di protezione;
- Corografia generale contenente l'indicazione dell'andamento planimetrico dell'intervento;
- Stralcio dello strumento urbanistico (generale e attuativo) e di pianificazione territoriale, paesaggistica ed eventualmente settoriale (piano dei parchi, piano di bacino, ecc.);
- Calcolo sommario della spesa

## ***Progetto dell'opera di difesa***

### **Generalità**

Lo studio della caduta massi, previsione o a seguito di un evento, risulta in molti casi un'attività complessa in quanto il fenomeno è generalmente difficile da prevedere nello spazio e nel tempo; e alcuni dei fattori che vengono impiegati per descrivere il fenomeno possiedono ampi margini di indeterminatezza oppure sono di difficile quantificazione diretta, oppure ancora possono essere soggetti a variazioni nel tempo.

Quando si interviene a seguito di un evento o di una serie di eventi, questi vengono comunemente presi come riferimento per impostare lo studio.

Le indagini svolte nella fase preliminare devono consentire di definire in maniera accurata sia le strutture ed i beni da proteggere, sia la tipologia delle opere di protezione proposte. Esse, inoltre, devono consentire di giungere ad una quantificazione tecnica ed economica quanto più possibile accurata.

La metodologia da seguire al fine di giungere in modo quanto più possibile oggettivo alla redazione del progetto preliminare si sviluppa secondo le seguenti fasi e criteri:

- **Esame di tutte le motivazioni** (tecniche, sociali, urbanistiche, ambientali, ecc.) che hanno portato ad ipotizzare l'intervento di protezione dalla caduta massi; raccolta ed esame degli elementi tecnici acquisiti (crolli già verificatisi e di cui esiste memoria, dimensioni degli elementi precipitati, danni registrati, ecc.); valutazione del grado di completezza del progetto considerando e motivando la scelta progettuale di protezione adottata.
- **Inquadramento generale dell'opera da realizzare:** definizione dei rapporti tra l'intervento di protezione dalla caduta massi e le opere antropiche ed i beni minacciati che si intendono proteggere. Devono essere definiti i requisiti funzionali (per esempio localizzazione, tracciato, interferenze) ed i vincoli progettuali derivanti sia da una valutazione tecnico-legislativa, sia ambientale in senso lato. Tanto per opere nuove quanto per completamenti, occorre adottare delle scelte progettuali volte a minimizzare eventuali interferenze tra il cantiere ed il normale esercizio delle infrastrutture esistenti da proteggere. L'individuazione della tipologia funzionale dell'opera di difesa consiste nella definizione degli elementi geometrici principali quali, per esempio, sezione tipo della struttura di protezione, altezza e lunghezza dell'opera, opere di raccolta e deflusso delle acque, procedure di minimizzazione e mitigazione degli impatti sull'ambiente, che devono necessariamente conformarsi ai vincoli territoriali. Lo studio della struttura di protezione deve essere condotto su base cartografica adeguata al livello dell'opera; in particolare, è necessario disporre di un rilievo planoaltimetrico sufficientemente dettagliato ed aggiornato.
- **Acquisizione della normativa e della legislazione di riferimento** (di tipo tecnico, urbanistico e ambientale) sui lavori pubblici, che deve essere espressamente richiamata.
- **Predisposizione dell'elaborato contenente informazioni ed indicazioni sulle ulteriori indagini e studi specialistici**, oltre che sugli ulteriori affinamenti progettuali da sviluppare, valutazione tecnica ed economica per eventuali varianti e miglioramenti del livello di protezione (se imposto dalla realizzazione di altre e diverse infrastrutture), individuazione ed analisi di eventuali particolari condizioni preliminari alla esecuzione dei lavori. È necessario mettere in evidenza gli aspetti critici da approfondire, gli argomenti da affinare in futuri studi.
- **Conoscenza delle ditte catastali** su cui insisteranno le opere.

- Prime indicazioni per la stesura del piano di sicurezza e gestione del periodo transitorio fino alla realizzazione delle opere proposte dal progetto.

Nel caso, non infrequente, in cui un lavoro possa (o debba) essere eseguito per lotti, la progettazione preliminare deve contemplare l'intervento nel suo insieme definendo le priorità, e deve essere chiaramente esplicitato che i singoli lotti devono costituire da subito una parte funzionale dell'opera, tanto da potere essere fruibili quali opere di difesa dalla caduta massi.

### **Metodi di studio**

Lo studio del fenomeno di caduta massi in vista della progettazione di un'opera di difesa può avvenire con approcci in parte differenti a seconda che si stia operando in una zona soggetta periodicamente a distacchi o, comunque, in seguito ad un crollo, oppure in un'area dove i distacchi sono solo temuti.

In termini generali, lo studio del fenomeno di caduta massi comporta:

- rilievi geologici dell'ammasso roccioso nella zona di distacco, e delle aree di transito e di arresto;
- analisi a ritroso di eventi pregressi, quando possibile;
- impiego di modelli di propagazione.

I rilievi in sito nella zona di distacco o di possibile distacco e quelli lungo il pendio sottostante sono in ogni caso indispensabili.

Quando disponibili, le analisi a ritroso di eventi già accaduti nel sito in esame sono di grande utilità per permettere di individuare le massime propagazioni e per consentire di ottenere diversi parametri utili per successive simulazioni e previsioni.

I modelli di propagazione permettono di simulare il fenomeno consentendo di prevedere le possibili traiettorie, l'altezza di queste sul pendio, il limite della propagazione, la velocità e l'energia cinetica dei corpi in caduta. Il loro impiego è raccomandabile come supporto alla valutazione dei limiti di massima propagazione, di velocità, di altezza e di energia dei blocchi.

In ogni caso le risultanze devono sempre essere criticamente integrate con le risultanze delle osservazioni di terreno ed esplicitando i limiti dello studio ed eventuali criticità.

### **Elaborati del progetto**

Qualunque sia la tipologia di protezione dalla caduta massi adottata, il progetto deve dare esauriente definizione:

- della sua fattibilità tecnica, accertata attraverso le necessarie indagini preliminari;
- delle caratteristiche qualitative e funzionali dei lavori;
- del quadro delle esigenze da soddisfare e delle specifiche prestazioni da fornire, che devono essere riportate in una relazione illustrativa delle motivazioni a supporto della soluzione prospettata, anche a seguito della valutazione comparativa delle eventuali soluzioni possibili e con riferimento ai profili ambientali;
- dei costi;
- dei necessari schemi grafici per l'individuazione delle caratteristiche tipologiche, funzionali e tecnologiche dei lavori da realizzare;
- della tipologia, della quantità e delle dimensioni relative all'espletamento delle indagini e delle ricerche necessarie agli approfondimenti connessi alle successive fasi della attività di

progettazione, secondo successive definizioni ed affinamenti progressivi tali da consentire una certa flessibilità;

- della sicurezza dei lavori, tenendo conto del contesto in cui si inseriscono, con particolare attenzione, nel caso di interventi in aree antropizzate, ai problemi della accessibilità e della manutenzione degli impianti e dei servizi diffusi oltre che del periodo transitorio.

Il progetto preliminare deve quindi comprendere i seguenti studi, in forma di opportune relazioni ed elaborati:

- - relazione illustrativa;
- - relazione geologica;
- - relazione sulla dinamica di caduta;
- - relazione geotecnica;
- - eventuale relazione strutturale;
- - studio di fattibilità ambientale.

### **Studi geologici e geotecnici**

Gli studi geologici rappresentano una parte fondamentale del progetto preliminare in quanto sulla base di essi viene essenzialmente descritto il fenomeno e verificata la tipologia di intervento individuata nel programma preliminare di intervento.

Da ciò deriva che questi studi devono essere sostanzialmente completi già a livello di progettazione preliminare; gli approfondimenti demandati alle successive fasi progettuali devono essere tali da minimizzare eventuali variazioni delle scelte della progettazione definitiva ed esecutiva.

Gli elementi geologici necessari alla stesura del progetto preliminare possono prendere in considerazione anche solo in parte, eventuali elementi ricavati da studi già realizzati. In questo caso deve essere chiaramente esposto quali derivano da studi preesistenti e quali sono stati rilevati espressamente per il progetto, sempre indicando il grado di affidabilità dei dati forniti.

Gli studi geologici devono:

- descrivere le caratteristiche fisiche del sito, con particolare riguardo agli aspetti geologici, geomorfologici, geomeccanici ed idrogeologici;
- identificare e descrivere gli elementi instabili;
- fornire elementi riguardanti le caratteristiche dei fenomeni di crollo attesi.

Gli studi geologici comportano il rilevamento diretto delle caratteristiche dell'ammasso roccioso da cui può verificarsi il distacco e del pendio ad esso sottostante ed a monte dei beni da difendere. Nei casi in cui la parete di distacco sia oggettivamente inaccessibile, si devono adottare tecniche e metodologie alternative per l'acquisizione dei parametri geomeccanici dell'ammasso. Tale scelta deve essere motivata nell'ambito della relazione geologica.

In linea di massima si prende per ipotesi che i distacchi avvengano da pareti rocciose; in caso di crolli secondari sono omesse le parti relative all'assetto strutturale delle pareti, ma è necessario un uguale dettaglio relativamente alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrologiche del pendio.

Il livello di approfondimento degli studi e delle indagini deve essere proporzionato all'importanza del progetto ed alle finalità dello stesso.

Il progettista deve esporre le motivazioni che giustificano il livello di approfondimento scelto.

Qualora l'area oggetto degli studi non sia espressamente definita dal capitolato progettuale, essa deve essere definita sulla base delle condizioni geologiche, morfologiche e strutturali locali, motivando le scelte.

Gli studi geologici devono prevedere lo sviluppo di una serie di argomenti, di seguito elencati:

- 1) studi pregressi;
- 2) franosità pregressa;
- 3) meteorologia;
- 4) topografia;
- 5) sismicità;
- 6) inquadramento geologico;
- 7) geomorfologia;
- 8) rilievo geomeccanico della parete rocciosa di distacco;
- 9) definizione delle forme di instabilità;
- 10) caratterizzazione del versante di caduta;
- 11) idrogeologia;
- 12) definizione dei volumi rocciosi unitari (VRU);
- 13) eventuali interventi ed opere preesistenti;
- 14) eventuali integrazioni.

L'eventuale omissione di uno o più degli argomenti sopra elencati deve essere motivata.

I risultati degli studi geologici devono essere presentati su cartografia redatta a scala adeguata e in una relazione in cui deve anche essere indicato il grado di affidabilità dei dati forniti.

Il numero di elaborati cartografici è proporzionale all'importanza e alle caratteristiche della tipologia dell'intervento ritenuto necessario.

### *Studi pregressi*

Devono essere elencati, brevemente riassunti e commentati eventuali studi pregressi sull'areale in studio, così come devono essere elencate e commentate eventuali cartografie tematiche di dettaglio relative all'area in esame.

### *Franosità pregressa*

Devono essere descritti ed opportunamente documentati tutti gli episodi di dissesto che risultano già avvenuti sul versante sulla base della documentazione storica e tecnica esistente e delle eventuali testimonianze acquisite in sito. Ove disponibili, devono essere opportunamente raccolti tutti i principali elementi degli eventi di frana identificati, quali:

- date dei crolli;
- tipologia dei crolli (primari e secondari);
- punti di distacco;
- traiettorie di caduta;
- punti di impatto e altre tracce dei percorsi di caduta;

- altezze di volo (stimata ad esempio dalle tracce sulla vegetazione arborea);
- punti di arrivo;
- volume e forma dei blocchi;
- eventuali danni prodotti.

Se i dati di crolli passati sono disponibili in numero sufficiente per permettere il trattamento statistico, occorre riportare la frequenza dei crolli, la relazione magnitudo - frequenza, e valutare l'eventuale correlazione tra crolli e fattori predisponenti o scatenanti esterni (precipitazioni, variazioni termiche, sismicità, fattori antropici, vegetazione in parete). Sulla parete di distacco, in fase di rilievo geomeccanico devono essere caratterizzate, se identificabili, tutte le tracce relative a passati distacchi:

- descrivendo da un punto di vista quantitativo le discontinuità, (tale informazione potrebbe permettere di verificare i possibili cinematismi di distacco);
- definendo i volumi (stimati) dei distacchi.

### *Meteorologia*

Devono essere acquisiti i parametri fondamentali necessari per la caratterizzazione climatica dell'area. Possibilmente, si deve fare riferimento all'analisi di una serie temporale significativa (indicativamente non minore di 30 anni) registrata da una o più stazioni meteorologiche ritenute utili per l'area considerata.

I dati climatici da considerare sono:

- piovosità media annua;
- distribuzione stagionale delle precipitazioni;
- principali eventi piovosi intensi o prolungati;
- innevamento annuo;
- temperature medie stagionali;
- regime di escursione termica;
- numero di cicli gelo-disgelo e periodo dell'anno in cui occorrono.

I dati devono essere commentati ed integrati con considerazioni riguardanti l'influenza del regime climatico sulle forme di instabilità osservate.

### *Topografia*

Devono essere specificate le caratteristiche delle basi topografiche utilizzate per la redazione della cartografia tecnica, degli stralci plano-altimetrici e dei profili; in particolare, di ogni elaborato topografico deve essere specificata la scala, l'anno di realizzazione, l'ente proprietario.

In ogni caso l'accuratezza del rilievo e la scala di rappresentazione devono essere adeguate alle dimensioni dell'area di studio ed all'importanza del progetto.

### *Sismicità*

In funzione della sismicità dell'area, oltre a richiamare l'accelerazione sismica prevista dalla legislazione vigente, deve essere evidenziata l'eventuale presenza di condizioni predisponenti all'amplificazione del segnale sismico.



### *Inquadramento geologico*

Lo studio geologico di inquadramento deve stabilire le conoscenze riguardanti la natura litologica e l'assetto tettonico-strutturale dei materiali che costituiscono l'ammasso roccioso, e le caratteristiche genetiche e granulometriche dei terreni sede dei fenomeni di instabilità in esame, al fine di definire il modello geologico del sito. Tale analisi deve permettere la comprensione dei meccanismi geologici che hanno condotto alla formazione dell'ammasso roccioso attuale e quindi alle recenti evoluzioni che possono aver contribuito all'instabilità del versante.

Ad una scala compatibile con le dimensioni del versante interessato, devono essere definiti i litotipi affioranti, i lineamenti tettonici presenti e l'assetto strutturale degli ammassi rocciosi. Tali elementi vanno resi anche con cartografia apposita nella quale deve essere indicata la reale distribuzione in superficie degli affioramenti rocciosi.

Per tutti i tipi litologici presenti sul versante devono essere descritte le caratteristiche litologiche e petrografiche nonché le caratteristiche che possono influenzare il comportamento meccanico dell'ammasso (facies, grado di alterazione, ecc.).

Deve inoltre essere indicata e commentata l'influenza degli elementi geologici sulle instabilità osservate.

### *Geomorfologia*

L'analisi geomorfologica generale deve includere un'analisi delle forme e delle loro evoluzioni spazio-temporali, al fine di formulare ipotesi sulla natura, la geometria ed i meccanismi di evoluzione delle zone instabili. Deve inoltre valutare l'influenza dell'orientazione del versante sulle dinamiche di instabilità.

L'analisi geomorfologica dei versanti deve evidenziare, quando presenti, i seguenti elementi principali:

- origine di crolli di roccia e/o punti di distacco di blocchi;
- percorsi di rotolamento e rimbalzo;
- punti di impatto dei blocchi;
- blocchi isolati di frana, accumuli di frana;
- punti da cui emerge acqua;
- zone sature del versante;
- impluvi e deflussi superficiali;
- pareti rocciose soggette a forti infiltrazioni;
- fessure di trazione;
- elementi carsici;
- deformazioni del versante;
- rotture di manufatti;
- scarpate principali;
- contropendenze del versante.

Nel caso di analisi geomorfologica condotta su base fotografica (preliminare ma non sostitutiva di quella in sito), deve essere definito il tipo di documentazione fotografica impiegata. Nel caso di analisi da foto aerea, devono essere specificati i dati caratteristici del volo (anno, altezza di presa) e le modalità di analisi delle immagini.

L'analisi geomorfologica, in associazione a quella geologica, deve inoltre indicare se i fenomeni di caduta massi eventualmente rilevati siano fenomeni localizzati o se, viceversa, costituiscano l'espressione di più estese forme di instabilità (grandi frane, deformazioni di versante, ecc.) che devono essere descritte e valutate, quantomeno nelle loro linee generali.

### *Rilievo geomeccanico della parete rocciosa di distacco*

Il rilievo geomeccanico consiste nella descrizione delle caratteristiche fisiche dell'ammasso roccioso che costituisce la parete da cui si originano i distacchi, con particolare riguardo alla discontinuità presenti, con lo scopo di definire le fondamentali caratteristiche meccaniche dell'ammasso e di indicare i principali meccanismi che portano alla formazione di elementi instabili dell'ambito dell'ammasso ed al loro successivo distacco.

Per una corretta descrizione, può essere necessario suddividere preliminarmente la parete in esame in aree aventi caratteristiche litologiche, strutturali, geometriche, geomorfologiche e tettoniche sostanzialmente uniformi. Per tale suddivisione si può far uso di osservazioni a piccola scala (foto aeree), a media scala (quali osservazioni a distanza, carte topografiche di dettaglio, fotogrammetria terrestre, ecc.) e di misure a scala dell'affioramento.

Per ciascuna area, che deve essere rappresentata in cartografia, devono essere definiti i seguenti punti:

- assetto strutturale;
- caratteristiche quantitative delle discontinuità (Esistono generalmente come riferimento le indicazioni dell'International Society for Rock Mechanics ([www.isrm.net](http://www.isrm.net)));
- ruolo di ogni famiglia di discontinuità nelle dinamiche di instabilità;
- associazioni di famiglie di discontinuità che concorrono nelle dinamiche di instabilità;
- considerazioni circa le relazioni tra la topografia e l'insieme delle discontinuità;
- indicazioni sulle forme e sulle dimensioni dei volumi rocciosi così come definiti dalle famiglie di discontinuità osservate;
- riconoscimento dei settori con assetto geomeccanico più sfavorevole;
- analisi dei cinematismi di distacco;
- acquisizione delle caratteristiche di resistenza al taglio delle discontinuità.

Deve infine essere valutata l'opportunità di ricorrere a prelievi di campioni di materiale roccioso da sottoporre a prove di laboratorio per la misurazione di alcune caratteristiche di base (per esempio massa volumica, resistenza a compressione monoassiale, resistenza allo scorrimento lungo i giunti).

### *Definizione delle forme di instabilità*

Per tutto il settore di versante interessato, il rilievo geomeccanico deve anche descrivere le forme di instabilità rilevate distinguendo:

- instabilità puntuale semplice: singolo elemento roccioso, identificabile e passibile di distacco in un unico episodio;
- instabilità puntuale complessa: singolo elemento roccioso, identificabile e passibile di distacco in un unico episodio oppure per smantellamento progressivo dei comparti rocciosi che lo compongono;
- instabilità diffusa: settore di versante contenente porzioni rocciose instabili in numero elevato tale da non essere trattabili singolarmente.

Nell'appendice A (tabella seguente) sono indicati gli elementi che possono essere definiti per le diverse forme di instabilità riconosciute.

prospetto A.1 Elementi da definire nella relazione geologica in funzione della forma di instabilità			
Elementi da definire	Instabilità puntuale semplice	Instabilità puntuale complessa	Instabilità diffusa
Ubicazione	X	X	X
Descrizione generale (litologia, stato di alterazione, posizione sul versante ecc.)	X	X	X
Forma e dimensioni della porzione instabile (o delle porzioni instabili)	X	X	
Descrizione dei singoli comparti rocciosi che compongono l'elemento instabile		X	
Numero delle porzioni instabili, specificando il margine di errore nella valutazione			X
Forma e dimensioni dell'areale			X
Distribuzione di frequenza dei volumi rocciosi instabili			X
Discontinuità che permettono i meccanismi di crollo e loro ruoli	X	X	X
Cinematismi di mobilitazione	X	X	X
Considerazioni circa le possibilità e probabilità dei distacchi	X	X	X
Considerazioni circa i fattori di innesco del distacco (pressione idraulica, azione sismica, cicli gelo-disgelo, erosione al piede ecc.)	X	X	X
Possibilità di frammentazione, dopo i primi impatti, in porzioni rocciose di minore volume	X	X	X
Considerazioni circa le possibili traiettorie di caduta ed i possibili punti di arrivo	X	X	X
Considerazioni circa le possibilità di consolidamento attivo	X	X	X

In tutti i casi, se ritenuto necessario, l'analisi può essere integrata da verifiche di stabilità, relative a singole porzioni o a tratti di parete rocciosa.

Per quanto possibile, è opportuno che gli elementi instabili vengano identificati in sito mediante sigle di vernice.

### *Caratterizzazione del versante di caduta*

Il rilievo del pendio lungo il quale avviene la discesa del materiale roccioso deve definire l'eventuale presenza di rocce in affioramento, la natura e la distribuzione dei terreni con indicazioni sullo spessore degli stessi, la presenza di suolo vegetale e di vegetazione, la morfologia in dettaglio del pendio, eventuali fenomeni attivi di dinamica geomorfologica, manifestazioni legate alla circolazione delle acque superficiali e sottosuperficiali, la presenza di opere antropiche.

Per quanto riguarda la natura e la distribuzione dei terreni presenti lungo il versante, essa deve comprendere:

- pendenza del versante;
- distinzione tra coperture differenti per genesi o aspetto;
- indicazioni sullo spessore dei terreni di copertura;
- forme dei blocchi;
- dimensioni e volumi dei blocchi (lati minimi, medi, massimi);
- distribuzione delle varie pezzature lungo il versante, eventualmente anche con sezioni associate a diagrammi di frequenza;

- eventuale valutazione sull'eterogeneità del deposito, al fine di definire se lo stesso si è prodotto in seguito ad una costante e regolare produzione di blocchi dalle pareti rocciose, oppure se è il prodotto di episodi franosi che producono il distacco di volumi maggiori;
- descrizione e caratterizzazione di eventuali forme di instabilità all'interno dei depositi detritici.

Per quanto riguarda il rilievo dell'uso del suolo, esso deve mettere in evidenza la presenza e la distribuzione della vegetazione e di qualunque elemento sul versante che possa influire sul moto dei blocchi.

#### appendice B.

Caratterizzazione del versante di caduta: copertura vegetazionale

In presenza di soggetti arborei, anche se distribuiti sul terreno in forma sparsa, dovrebbero essere forniti:

- le liste botaniche relative alle specie arboree ed arborescenti presenti;
- le condizioni fito-sanitarie del popolamento, con particolare riferimento alla presenza di soggetti con danni meccanici o da incendio;
- i parametri di densità della copertura vegetale;
- indicazioni circa il diametro medio rappresentativo dei fusti.

La copertura arborea deve essere riportata in cartografia, e la sua influenza sul moto dei blocchi e/o sulla stabilità dei blocchi nel detrito (nel caso di crolli secondari) dovrebbe essere adeguatamente commentata.

Qualora la copertura vegetale (arbustiva, sottobosco) sia tale da impedire l'osservazione diretta e il rilievo del terreno, è opportuno procedere ad una pulizia preventiva (previa acquisizione delle autorizzazioni necessarie).

I risultati delle varie indagini devono contribuire alla definizione dei parametri relativi alle interazioni blocco-pendio (coefficienti di restituzione e angolo di attrito dinamico) e devono consentire una stima delle traiettorie e della tipologia di movimento più probabile per i blocchi in transito lungo i diversi tratti del versante.

### *Idrogeologia*

Deve essere indicato il ruolo dell'acqua superficiale, sottosuperficiale e profonda nello sviluppo delle forme di instabilità osservate, così come deve essere valutata l'influenza del processo crioclastico.

### *Definizione dei volumi unitari*

La definizione del volume e della forma dei blocchi sulla base dei quali impostare la progettazione delle opere di difesa deve essere effettuata anche sulla base dell'analisi e del confronto tra le porzioni rocciose instabili rilevate sulle pareti (o, comunque, le porzioni rocciose individuate dalle discontinuità presenti sulla parete) ed i blocchi eventualmente presenti lungo il pendio di caduta. I criteri di scelta dei volumi di progetto devono essere chiaramente esposti e commentati.

### *Interventi ed opere preesistenti*

Devono essere identificate tutte le opere di difesa attive e passive eventualmente realizzate in precedenza, riportando:

- tipologia ed ubicazione dell'intervento;
- data di realizzazione;

- parametri dimensionali e geometrici;
- disponibilità degli elaborati di progetto originali;
- considerazioni circa il livello di efficienza e sullo stato di conservazione e manutenzione delle opere;
- descrizione del comportamento in caso di eventuali eventi occorsi dopo la loro realizzazione;
- presenza e caratteristiche di eventuali sistemi di controllo o di allerta

### *Integrazioni*

Devono essere specificati gli eventuali approfondimenti di indagine ritenuti necessari per la redazione delle successive fasi progettuali.

## **Studio sulla dinamica di caduta**

### *Generalità*

Lo studio sulla dinamica di caduta è finalizzato a definire la soluzione ritenuta più adatta al caso in esame, tenendo conto dei risultati delle indagini specialistiche svolte, i quali devono essere riportati in appositi capitoli della relazione stessa.

Le indagini specialistiche possono essere eseguite dal progettista stesso qualora questi risulti abilitato alla trattazione dei singoli argomenti; viceversa è necessario allegare le relazioni e gli elaborati grafici redatti da specialisti abilitati.

### *Crollo di progetto*

Il crollo di progetto è costituito dal dissesto di riferimento considerato ai fini della progettazione degli interventi per la mitigazione del rischio di caduta massi. A seconda della complessità dell'area e dell'entità del rischio stimato potranno essere considerati anche diversi crolli di progetto, ritenuti rappresentativi di diverse possibili situazioni di distacco. Il crollo o i crolli di progetto ipotizzati devono essere supportati da specifici elementi acquisiti in sito desunti dai dati desunti da rilievi geotecnici, geologico-tecnici, geomeccanici e geomorfologici, oppure da misure dirette di spostamenti di porzioni del versante o da analisi di stabilità di porzioni del versante.

Indipendentemente dal numero, ogni crollo di progetto deve essere definito nei seguenti aspetti fondamentali: ubicazione sul versante, litologia, cinematismo iniziale, volume totale del dissesto di progetto, volumetrie massime e più probabili dei blocchi, caratteristiche del blocco (o blocchi) di progetto. La distribuzione volumetrica dei blocchi del crollo di progetto è definita dall'intervallo compreso tra il volume minimo e quello massimo ipotizzabili.

Particolare attenzione deve essere data alla stima del volume totale del dissesto di progetto poiché questo parametro controlla l'evoluzione cinematica del fenomeno. Al di sopra di un valore limite (vedere UNI 11211-2) il processo di crollo assume caratteristiche di movimento franoso di massa, che non è trattato nella presente norma in quanto la modellazione cinematica ed i criteri di intervento qui descritti non sono applicabili.

### *Blocco di progetto*

Per ogni crollo di progetto deve essere stabilito almeno un blocco di progetto inteso come il volume roccioso di riferimento da considerare sia nella simulazione delle traiettorie di caduta sia nelle verifiche progettuali delle opere di difesa.

Un blocco di progetto è definito da litologia, massa volumica ( $N/m^3$ ), volume ( $m^3$ ), forma; altri elementi utili sono la velocità di traslazione ( $m/s$ ), la velocità di rotazione ( $giri/s$ ), l'energia cinetica traslazionale e rotazionale ( $kJ$ ).

Nel caso di un'ampia distribuzione volumetrica del blocco di progetto, a causa del differente comportamento delle masse rocciose durante la discesa sul versante, devono essere valutati, a livello di ipotesi progettuale, almeno due casi limite di volumi di progetto che considerino i coefficienti di restituzione in relazione a massa, velocità e forma.

### *Analisi delle traiettorie di caduta*

Lo studio delle possibili propagazioni dei massi sul versante ha lo scopo di fornire una valutazione delle possibili altezze di volo e delle energie possedute dai blocchi e, quindi, di indirizzare la scelta relativa all'ubicazione delle opere di difesa.

La modellazione delle traiettorie di caduta dei blocchi deve essere eseguita secondo criteri fondamentalmente probabilistici a causa della grande aleatorietà del fenomeno e della estrema variabilità dei parametri che condizionano le traiettorie. Possono essere utilizzati sia modelli bidimensionali che tridimensionali. Di ogni modellazione devono essere definiti: i presupposti teorici del calcolo, i parametri del modello, il criterio di simulazione degli impatti, il tipo di analisi (deterministica o probabilistica), i criteri di assegnazione dei parametri (bibliografici, prove in sito, analisi a posteriori, ecc.), i dati di uscita.

Nel caso di modelli bidimensionali, deve essere definito chiaramente il profilo di calcolo la cui traccia deve essere riportata in un apposito allegato plano-altimetrico. Indicativamente, deve essere previsto almeno un profilo di calcolo ogni 100 m di sviluppo lineare della parete rocciosa da cui possono attivarsi i fenomeni di crollo. Tale valore deve comunque essere valutato anche in funzione delle strutture da proteggere.

Il punto di distacco assunto nelle simulazioni sul profilo del versante può essere attribuito alle zone di parete che manifestano chiari indizi di instabilità. A fini cautelativi devono essere comunque valutati anche gli effetti delle ipotesi più conservative corrispondenti a potenziali distacchi dal coronamento della scarpata rocciosa.

Lo scenario delle simulazioni ottenute con modelli tridimensionali deve costituire una rappresentazione realistica delle possibili traiettorie di propagazione dei massi sul versante oggetto del progetto preliminare. Per questo motivo, per ogni singolo profilo devono essere considerati i risultati di almeno 1.000 traiettorie di caduta. I risultati delle modellazioni devono prevedere l'analisi dei seguenti parametri: le distanze di arresto dei massi, l'involuppo delle traiettorie di caduta, le altezze di volo, le velocità di transito e le energie possedute dai blocchi.

Su ogni profilo di calcolo devono essere opportunamente ubicati almeno tre punti di analisi di dettaglio, in corrispondenza dei quali vengono calcolati il numero di blocchi transitati, le altezze di volo, le velocità e le energie dei massi. Dalla distribuzione di frequenza del campione simulato deve essere possibile determinare i percentili caratteristici corrispondenti alle varie situazioni più o meno probabili, quali per esempio: P50, P75, P90 e P95. Sono quindi calcolati i valori di altezza di volo, di velocità e di energia cinetica corrispondenti ai vari livelli di probabilità.

I parametri cinematici ed energetici utilizzati nella fase di dimensionamento delle opere di intercettazione dei massi sono assunti in funzione del livello di riduzione del rischio posto quale obiettivo dell'ipotesi progettuale, delle difficoltà di manutenzione, dei limiti tecnologici delle strutture impiegate.

La numerosità e le incertezze relative ai parametri che caratterizzano le traiettorie e, in generale, le modalità di propagazione del fenomeno di caduta massi, spesso non consentono di definire valori certi, ma piuttosto suggeriscono di considerare intervalli di valori. Il percentile di riferimento è assunto pari al 95%; l'eventuale assunzione di un valore minore deve essere motivato e comunicato al committente.

Il livello di sicurezza che si intende raggiungere deve essere stabilito in funzione del livello di rischio considerato accettabile (vedere appendice E della UNI 11211-2) e definito nella fase iniziale di allestimento del progetto, tenendo conto degli obiettivi di riduzione del rischio perseguiti dal committente nell'area oggetto degli interventi di difesa.

## **Scelte progettuali dell'intervento**

### *Generalità*

Gli aspetti prioritari che devono essere considerati nelle scelte progettuali sono:

- contenuti salienti delle relazioni geologica e geotecnica, con definizione dei fenomeni di instabilità;
- individuazione in carta dell'intervento, con indicazioni sulle caratteristiche geometriche principali dell'opera proposta;
- descrizione dell'ambiente naturale ed antropico ospitante l'opera in progetto;
- descrizione della viabilità locale e di eventuali vincoli di massa e di sagoma; esame delle possibili alternative di accesso all'area di cantiere, eventualmente anche per via aerea;
- individuazione della disponibilità in sito di materie prime per la realizzazione dell'opera;
- definizione della funzione a regime dell'opera di protezione;
- individuazione delle persone, delle infrastrutture o dei beni da proteggere;
- indicazione della durabilità minima richiesta come garanzia di funzionalità dell'opera;
- definizione di eventuali controlli periodici della struttura;
- definizione di eventuali controlli periodici delle condizioni della parete di distacco o del pendio di caduta;
- possibilità di accesso, per interventi di ripristino e manutenzione.

## **Descrizione delle opere e degli interventi**

La descrizione delle opere e gli interventi viene effettuata tramite schemi grafici.

Gli schemi grafici, redatti in scala opportuna e debitamente quotati, con le necessarie differenziazioni in relazione alla dimensione, alla categoria e alla tipologia dell'intervento, e tenendo conto della necessità di includere le misure e gli interventi di cui alla legislazione vigente, sono costituiti dai seguenti documenti:

- a) per opere e lavori puntuali:
  - stralcio dello strumento di pianificazione paesaggistico territoriale e del piano urbanistico generale o attuativo, sul quale sono indicate la localizzazione dell'intervento da realizzare e le eventuali altre localizzazioni esaminate
  - planimetrie e/o prospetti, sui quali sono riportati separatamente le opere ed i lavori da realizzare e le altre eventuali ipotesi progettuali esaminate;
  - schemi grafici e sezioni schematiche nel numero, nell'articolazione e nelle scale necessarie a permettere l'individuazione di massima di tutte le caratteristiche spaziali, tipologiche,

funzionali e tecnologiche delle opere e dei lavori da realizzare, integrati da tabelle relative ai parametri da rispettare;

b) per opere e lavori diffusi:

- corografia generale contenente l'indicazione dell'andamento planimetrico delle opere e dei lavori da realizzare e gli eventuali altri andamenti esaminati con riferimento all'orografia dell'area, al sistema di trasporti e degli altri servizi esistenti, al reticolo idrografico, all'ubicazione dei servizi esistenti in scala non inferiore a 1:25 000. Se sono necessarie più corografie, deve essere redatto anche un quadro d'insieme in scala adeguata;
- stralcio dello strumento di pianificazione paesaggistico territoriale e del piano urbanistico generale o attuativo sul quale è indicato il tracciato delle opere e dei lavori da realizzare e gli eventuali altri tracciati esaminati. Se sono necessari più stralci, deve essere redatto anche un quadro d'insieme in scala adeguata;
- planimetrie e/o prospetti, sui quali sono riportati separatamente il tracciato delle opere e dei lavori da realizzare e gli eventuali altri tracciati esaminati. Se sono necessarie più planimetrie, deve essere redatto un quadro d'insieme in scala adeguata;
- profili longitudinali e trasversali altimetrici delle opere e dei lavori da realizzare in scala indicativamente pari a 1:5 000/1:500;
- indicazioni di massima, in scala adeguata, di tutti i manufatti speciali che l'intervento richiede;
- tabelle contenenti tutte le quantità caratteristiche delle opere e dei lavori da realizzare.

Sia per le opere ed i lavori puntuali, sia per le opere ed i lavori diffusi, il progetto preliminare specifica gli elaborati e le relative scale da adottare in sede di progetto definitivo ed esecutivo, ferme restando le scale minime previste nei successivi articoli. Le planimetrie e gli schemi grafici riportano le indicazioni preliminari relative al soddisfacimento delle esigenze di cui alla legislazione vigente.

La relazione deve contenere indicazioni dettagliate riguardo:

- i requisiti e le prestazioni delle opere;
- le caratteristiche tipologiche, funzionali e tecnologiche;
- l'ubicazione plano-altimetrica;
- gli schemi grafici, oltre a qualsiasi allegato utile relativo all'intervento

## **Relazione illustrativa**

### *Generalità*

La relazione illustrativa, secondo la tipologia, la categoria e l'entità dell'intervento, deve contenere:

- a) la descrizione dell'intervento da realizzare;
- b) l'illustrazione delle ragioni della soluzione prescelta sotto il profilo localizzativo e funzionale, nonché delle problematiche connesse alla fattibilità ambientale, alle preesistenze archeologiche ed alla situazione complessiva della zona, in relazione alle caratteristiche e alle finalità dell'intervento, anche con riferimento ad altre possibili soluzioni
- c) l'esposizione della fattibilità dell'intervento, documentata attraverso lo studio di fattibilità ambientale, dell'esito delle indagini geologiche, geotecniche, idrologiche, idrauliche e sismiche delle



aree interessate e dell'esito degli accertamenti in ordine agli eventuali vincoli di natura storica, artistica, archeologica, paesaggistica o di qualsiasi altra natura interferenti sulle aree o sugli immobili interessati;

- d) l'accertamento in ordine alla disponibilità delle aree o degli immobili da utilizzare, alle relative modalità di acquisizione, ai prevedibili oneri e alla situazione dei pubblici servizi;
- e) gli indirizzi per la redazione del progetto definitivo, anche in relazione alle esigenze di gestione e manutenzione;
- f) il cronoprogramma delle fasi attuative con l'indicazione dei tempi massimi di svolgimento delle varie attività di progettazione, approvazione, affidamento, esecuzione e collaudo;
- g) le indicazioni necessarie per garantire l'accessibilità, l'utilizzo e la manutenzione delle opere, degli impianti e dei servizi esistenti;
- h) le indicazioni necessarie per la gestione del periodo transitorio sino alla realizzazione delle opere.

La relazione deve dare chiara e precisa nozione di quelle circostanze che non possono risultare dai disegni e che hanno influenza sulla scelta e sulla riuscita del progetto.

La relazione deve riferire in merito agli aspetti funzionali ed interrelazionali dei diversi elementi del progetto ed ai calcoli sommari giustificativi della spesa.

La relazione deve riportare una sintesi riguardante forme e fonti di finanziamento per la copertura della spesa, l'eventuale articolazione dell'intervento in lotti funzionali e fruibili, nonché i risultati del piano economico finanziario.

### ***Fattibilità tecnica***

In questa parte della relazione viene documentato, a seguito di studi e indagini, che gli obiettivi indicati dalla committenza tramite il "Documento preliminare" sono tecnicamente perseguibili.

Di tale documento devono essere ripresi ed approfonditi i contenuti della documentazione finale (vedere UNI 11211-2).

### ***Fattibilità amministrativa***

In questa parte della relazione viene documentato, attraverso la stima dei costi inerenti le soluzioni progettuali, che i limiti finanziari indicati dalla committenza nel "Documento preliminare" possono essere rispettati.

### ***Studio di fattibilità ambientale***

Lo studio di fattibilità ambientale, in relazione alla tipologia, categoria ed entità dell'intervento e con lo scopo di ricercare le condizioni che consentano un miglioramento della qualità ambientale e paesaggistica del contesto territoriale, deve comprendere:

- a) la verifica, anche in relazione all'acquisizione dei necessari pareri amministrativi, di compatibilità dell'intervento con le prescrizioni di eventuali piani paesaggistici, territoriali ed urbanistici sia a carattere generale sia settoriale;
- b) lo studio sui prevedibili effetti della realizzazione dell'intervento e del suo esercizio sulle componenti ambientali e sulla salute dei cittadini;

- c) l'illustrazione, in funzione della minimizzazione dell'impatto ambientale, delle ragioni della scelta del sito e della soluzione progettuale prescelta nonché delle possibili alternative localizzative e tipologiche;
- d) la determinazione delle misure di compensazione ambientale e degli eventuali interventi di ripristino, riqualificazione e miglioramento ambientale e paesaggistico, con la stima dei relativi costi da inserire nei piani finanziari dei lavori;
- e) l'indicazione delle norme di tutela ambientale che si applicano all'intervento e degli eventuali limiti posti dalla normativa di settore per l'esercizio di impianti, nonché l'indicazione dei criteri tecnici che si intendono adottare per assicurarne il rispetto.

Nel caso di interventi ricadenti sotto la procedura di valutazione di impatto ambientale, lo studio di fattibilità ambientale contiene le informazioni necessarie allo svolgimento della fase di selezione preliminare dei contenuti dello studio di impatto ambientale. Nel caso di interventi per i quali si rende necessaria la procedura di selezione prevista dalle direttive comunitarie, lo studio di fattibilità ambientale consente di verificare che questi non possono causare impatto ambientale significativo ovvero deve consentire di identificare misure prescrittive tali da mitigare tali impatti.

Lo studio è articolato nei seguenti quadri di riferimento:

- 1) quadro di riferimento programmatico che deve fornire gli elementi conoscitivi sulle relazioni tra l'opera progettata e gli atti di pianificazione e programmazione territoriale e settoriale;
- 2) quadro di riferimento progettuale che deve descrivere il progetto e le soluzioni adottate a seguito degli studi effettuati, nonché l'inquadramento nel territorio, inteso come sito e come area vasta interessati;
- 3) quadro di riferimento ambientale che deve essere sviluppato secondo criteri descrittivi, analitici e previsionali anche con riferimento alle componenti ed ai fattori ambientali interessati dal progetto;
- 4) sintesi non tecnica destinata all'informazione al pubblico, con allegati grafici di agevole riproduzione.

Lo studio deve essere inoltre corredato di:

- documenti cartografici in scala adeguata, ed in particolare carte geografiche generali, carte tematiche, tabelle, grafici ed eventuali stralci di documenti, fonti di riferimento;
- indicazione della legislazione vigente e della regolamentazione di settore riguardante la realizzazione e l'esercizio dell'opera, degli atti provvedimentali e consultivi necessari alla realizzazione dell'intervento, precisando quelli già acquisiti e quelli da acquisire;
- esposizione sintetica delle eventuali difficoltà, lacune tecniche o mancanza di conoscenze incontrate nella raccolta dei dati richiesti;
- elaborati di progetto.

### *Valutazione preliminare dei costi*

Il calcolo sommario della spesa è effettuato:

- a) per quanto concerne le opere o i lavori, applicando alle quantità caratteristiche degli stessi, i corrispondenti costi standardizzati<sup>5</sup>). In assenza di tali costi, applicando parametri desunti da interventi similari realizzati, ovvero redigendo un computo metrico-estimativo di massima con prezzi unitari ricavati dai prezziari o dai listini ufficiali vigenti nell'area interessata;

- b) per quanto concerne le ulteriori somme a disposizione della stazione appaltante, attraverso valutazioni di massima effettuate in sede di accertamenti preliminari a cura del responsabile del procedimento.

La stima dei costi deve prendere in considerazione tutti gli oneri che la committenza deve sostenere dalle fasi di approfondimento dei dati di base per la progettazione alla messa in opera dell'opera nonché i costi di manutenzione e monitoraggio della stessa.

La stima dei costi è fatta sulla base di computi metrici di massima e di tariffe ufficialmente riconosciute adeguate, con la scelta motivata di parametri che tengano conto:

- dell'area geografica e di sedime in cui si realizzerà l'opera;
- dei vincoli ambientali sullo sviluppo temporale dei lavori;
- dell'entità dell'opera;
- di quanto altro possa avere influenza sui costi durante la realizzazione dell'opera.

## 6. Dimensionamento opere di difesa dalla caduta massi

Seguendo le indicazioni fornite dalle norme UNI 11211, riassunte dettagliatamente nel capitolo precedente, al fine di dimensionare adeguatamente le opere di difesa dalla caduta massi (barriere metalliche) finalizzate alla protezione dei manufatti e delle infrastrutture in fondovalle, sono state analizzate tutte le informazioni disponibili sia dal punto di vista storico - bibliografico che desunte dall'analisi sul terreno degli elementi indispensabili per stabilire la tipologia di intervento che meglio assolve agli scopi richiesti con il migliore rapporto tra costi e benefici valutati in termini di efficacia.

### *Studi pregressi*

Le potenziali dinamiche di dissesto alla base delle motivazioni che hanno imposto la perimetrazione della zona RME "Rischio Molto Elevato" sono state oggetto, in passato, di studi specifici finalizzati al dimensionamento delle opere di difesa già realizzate o in corso di finanziamento a monte delle loc. Cussalma e Casetti (Ing. Peccia).

Il presente studio è stato pertanto sviluppato con la finalità di acquisire i dati necessari per individuare il *blocco di progetto* da utilizzare per il dimensionamento delle opere di difesa dell'abitato di Castignè a partire dai dati rilevati in loco ed in accordo con le norme UNI 11211 "Opere di difesa dalla caduta massi".

### *Franosità pregressa*

Pur in assenza di testimonianze dirette (documentazione fotografica, catasto dissesti, ecc.), sia dall'analisi delle foto aeree che dai sopralluoghi effettuati in sito risulta evidente che l'origine degli elementi lapidei che costituiscono la falda detritica alla base del versante sinistro orografico della valle del torrente Orco nel settore a monte della loc. Castignè è da attribuire ai fenomeni gravitativi che si sono susseguiti a partire dal ritiro dell'ultima pulsazione glaciale che ha interessato il fondovalle a seguito della quale l'assenza del supporto delle spalle glaciali ha favorito l'azione gravitativa che ha agito sugli strati superficiali del substrato roccioso.

In assenza di dati pregressi, ai sensi delle norme UNI 11211 lo studio del fenomeno di caduta massi in vista della progettazione di un'opera di difesa sarà affrontato con approccio adatto ad un'area dove i distacchi sono "solo temuti".

### *Definizione del crollo di progetto*

Una valutazione rigorosa della **pericolosità** (che si definisce *relativa* (o *suscettibilità*) il grado di pericolosità di un'area valutato rispetto ad altre, senza arrivare a dare una vera probabilità di occorrenza dei fenomeni) dovrebbe valutare:

- Previsione tipologica sul tipo di fenomeno che si può verificare nell'area in esame
- Previsione dell'intensità (I)
- Previsione dell'evoluzione e dei limiti di ampliamento della zona di origine del crollo
- Previsione spaziale: si prefigge di indicare dove si può verificare un certo fenomeno con determinata intensità
- Previsione temporale: con quale frequenza o tempo di ritorno può avvenire un determinato evento di particolare intensità in una data area valutato per blocchi di differenti dimensioni e quindi diverse intensità.
- Pericolosità da rottura in parete: probabilità che un blocco si stacchi da una porzione di parete rocciosa
- Pericolosità da propagazione: probabilità che un blocco, una volta staccatosi dalla parete e dotato di energia cinetica, transiti o si arresti in una data area al di sotto della parete
- Pericolosità "mista": probabilità combinata dal prodotto delle due precedenti, che un blocco si distacchi e transiti o si arresti in una data area al di sotto della parete.

Ai fini della progettazione delle opere di difesa la definizione del crollo di progetto dovrebbe essere desunta dall'analisi di almeno 1 crollo rappresentativo dell'area di studio documentato e datato (Peila & De Biagi, in pubblicazione su NHESS).

L'assenza di dati storici e di testimonianze non consente la definizione del crollo di progetto pertanto si rimanda alla successiva definizione del blocco di progetto.

#### ***Definizione del blocco di progetto***

Il blocco di progetto (Norma UNI 11211 parte Terza, paragrafo 6.3) viene definito da un'analisi storica degli eventi pregressi, unitamente ad un puntuale censimento dei blocchi caduti dalla parete e depositati al piede del versante. Quest'ultima analisi risulta la sola possibile come descritto in precedenza.

#### ***Calcolo del volume del blocco di progetto***

Il metodo sviluppato dal Politecnico di Torino prevede che per i crolli, documentati storicamente e non documentati, siano stilata una tabella con i volumi e la quantità di blocchi per ogni categoria di volume. Dei crolli documentati è stata annotata anche la data

dell'evento al fine di calcolare il periodo  $t$  di osservazione dalla data del primo evento osservato evento ad oggi. Nota la frequenza media di crollo e la distribuzione dei volumi dei blocchi presenti nell'area rappresentativa è possibile tracciare una legge *intensità - frequenza* per i crolli in roccia.

Per poter formulare una legge *intensità - frequenza* che abbia un'incertezza contenuta è doveroso che il catalogo contenga un numero consistente di osservazioni, e la finestra temporale entro cui le osservazioni sono condotte sia ampia.

Il catalogo degli eventi datati contiene tutti gli eventi osservati in un intervallo di tempo  $t$ , ossia la differenza temporale tra la fine  $t_n$  (oggi) e l'inizio  $t_0$  delle osservazioni.

Non essendo disponibili dati storici di osservazioni di crolli datati l'applicazione del metodo descritto non è risultata possibile.

Al fine di dimensionare l'opera di difesa che garantisca le migliori prestazioni per la sicurezza degli abitanti, dei manufatti e delle infrastrutture presenti in fondovalle, cautelativamente è stato scelto il blocco di progetto di volume  $V = 3,0$  mc corrispondente al volume massimo rilevato in corrispondenza della falda detritica.

Pur se l'analisi strutturale della parete rocciosa sorgente di instabilità, seppure speditiva, ha evidenziato la presenza di instabilità potenziali di volume superiore rispetto a quello utilizzato, si ipotizza una frantumazione dei blocchi in caduta a seguito degli impatti sulla parete rocciosa che favorisce la riduzione delle pezzature nel percorso verso valle.

In sintesi le caratteristiche del blocco di progetto utilizzato per il dimensionamento dell'opera di difesa (barriere metalliche) ha le seguenti caratteristiche:

Caratteristica	Blocco di progetto
Litologia	Gneiss
Massa volumica (kg/mc)	2.500
Volume (mc)	3,0
Forma	Parallelepipedo

## ***Verifiche di rotolamento massi***

### **Introduzione**

Al fine di dimensionare l'opera di difesa passiva con le caratteristiche geometriche e di resistenza idonee a resistere alle energie prodotte da un blocco con  $V = 3,0 \text{ mc}$  è stata effettuata una apposita simulazione di caduta massi suddivisa in due distinte fasi:

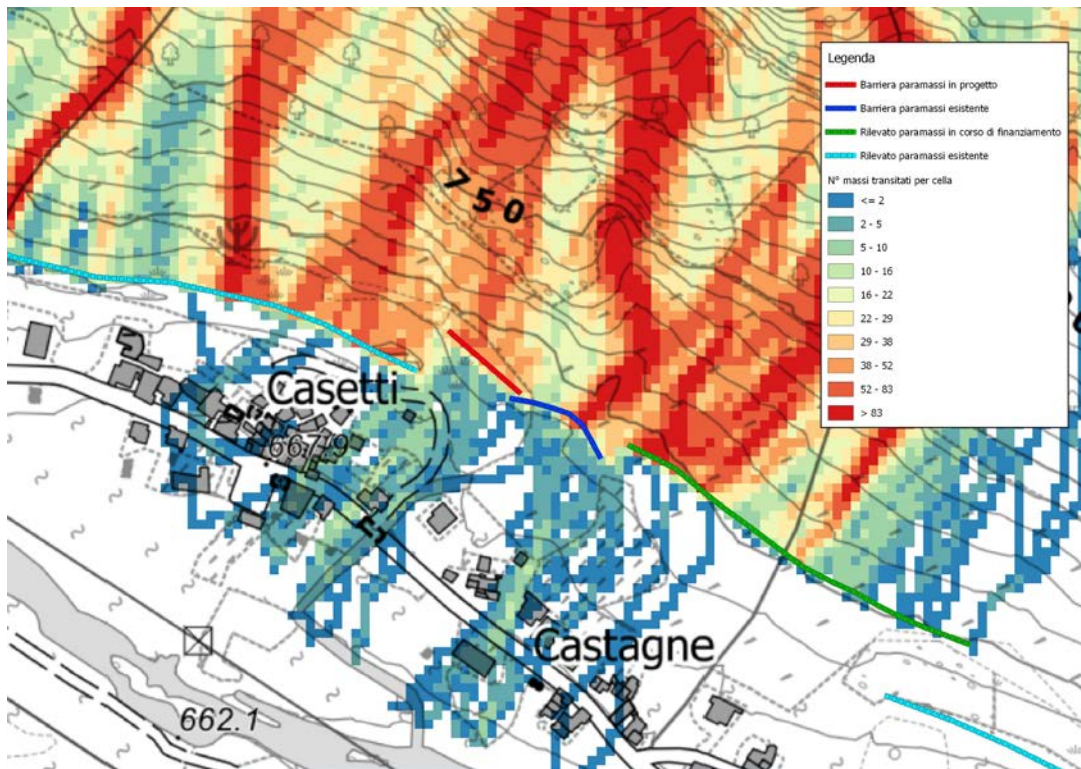
- analisi 3D con software RockyFor3D di EcoRisq
- analisi 2D con software GeoRock di Geostru

### **Analisi 3D**

I dati topografici sono stati ricavati dal DTM disponibile dal portale cartografico della Regione Piemonte mentre i parametri di restituzione dell'energia e di rugosità sono stati dedotti dalla bibliografia ufficiale in base alle caratteristiche litotecniche dei materiali che costituiscono lo strato superficiale delle aree percorse dalla traiettoria di simulazione ed all'uso del suolo.

Le verifiche sono state condotte a partire da una superficie di distacco corrispondente all'intera parete rocciosa.

Attraverso queste simulazioni si possono ottenere i valori di energia di impatto del blocco di progetto contro un ostacolo (opera di difesa) e determinarne l'altezza e l'energia di progetto.



### Analisi 2D

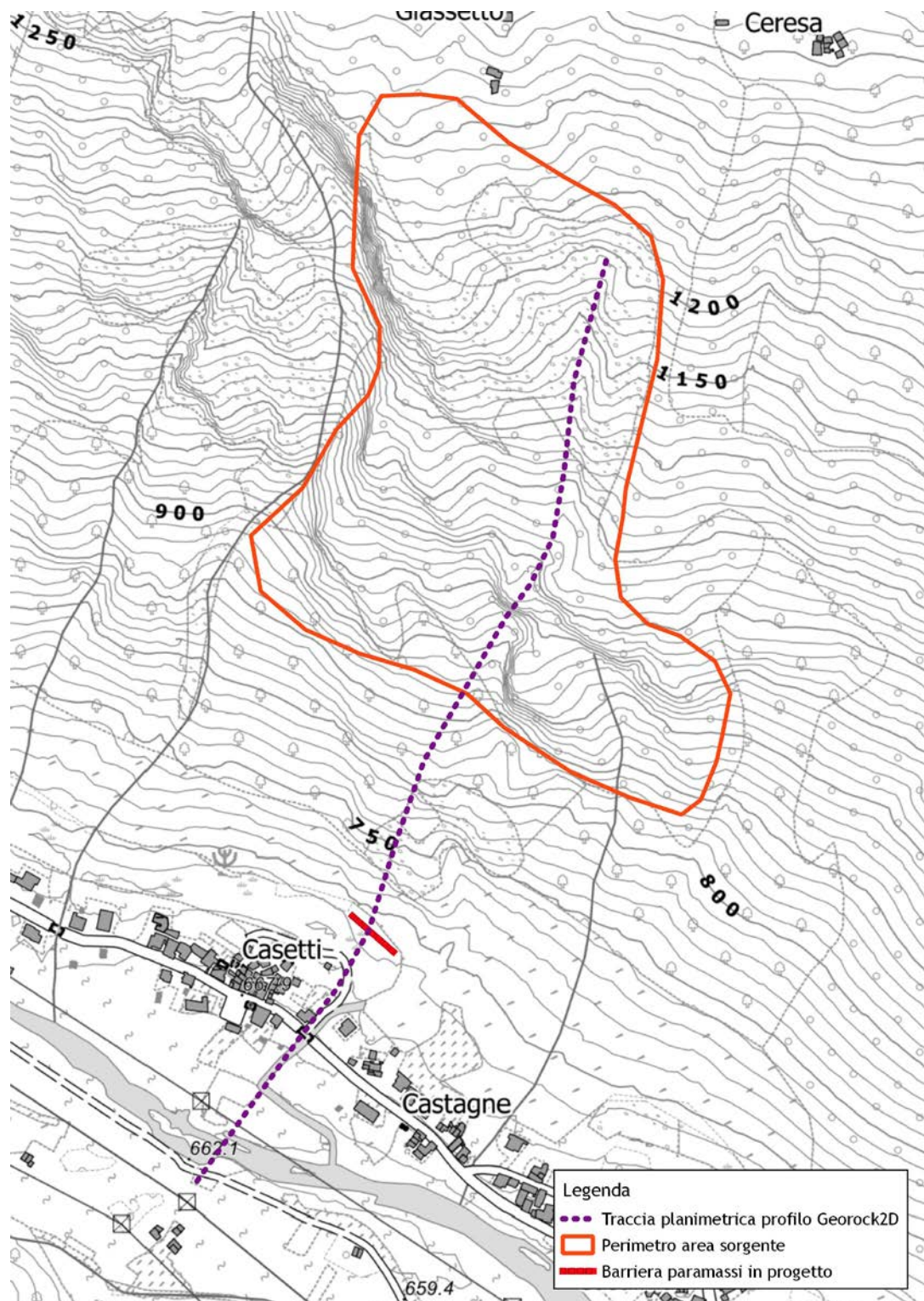
Delle numerose traiettorie 3D che coinvolgono il fondovalle ne è stata scelta una rappresentativa per l'analisi 2D il cui tracciato planimetrico è individuato nella cartografia riportata di seguito.

Attraverso queste simulazioni si possono ottenere i valori di energia di impatto del blocco di progetto contro un ostacolo (opera di difesa) e determinarne l'altezza e l'energia di progetto.

Di seguito si riporta il profilo di rotolamento ed i grafici di energia, velocità ed altezza di volo con i risultati della simulazione in presenza dell'opera di difesa con le caratteristiche geometriche e tipologiche in progetto.



## Traccia planimetrica del profilo di simulazione



Profilo di simulazione

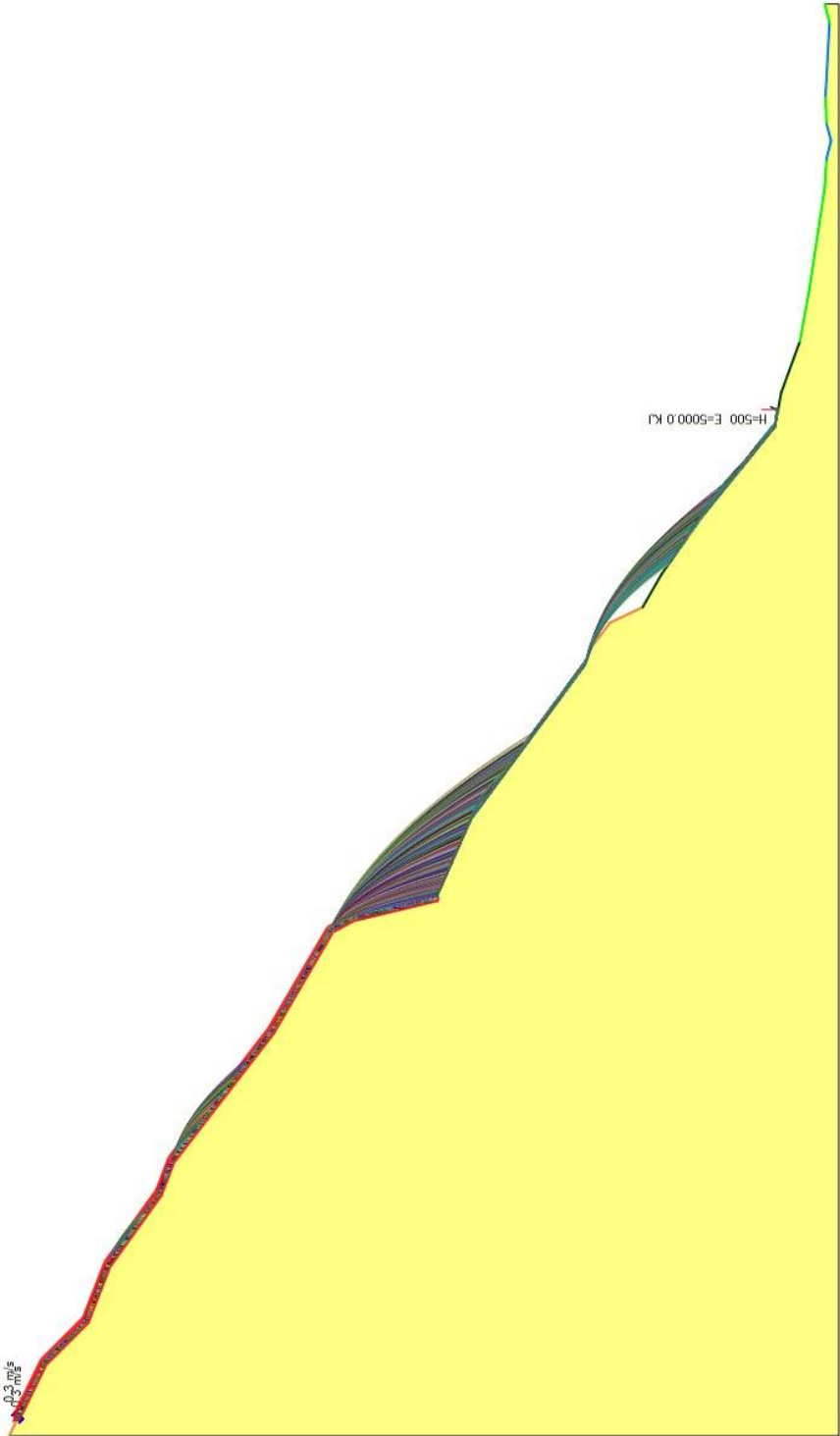


Grafico energia

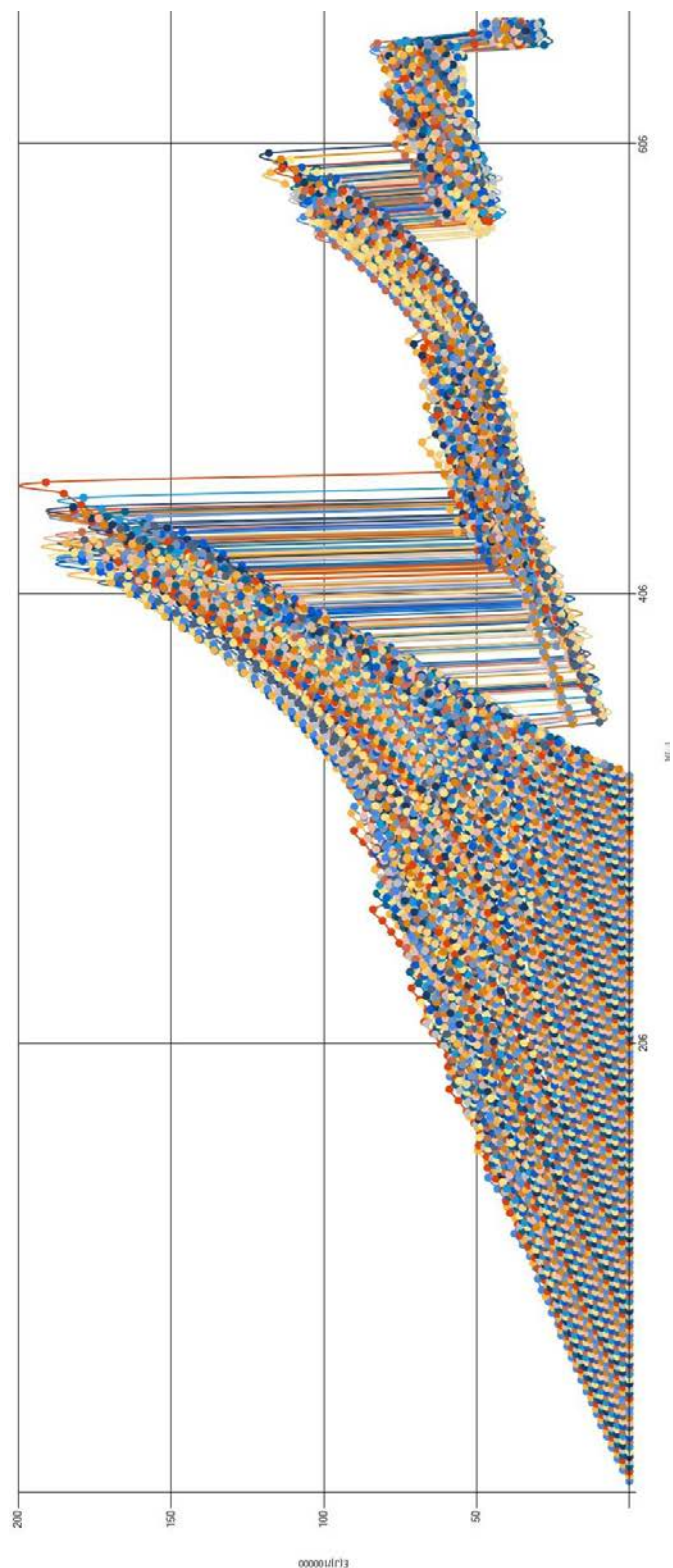


Grafico velocità

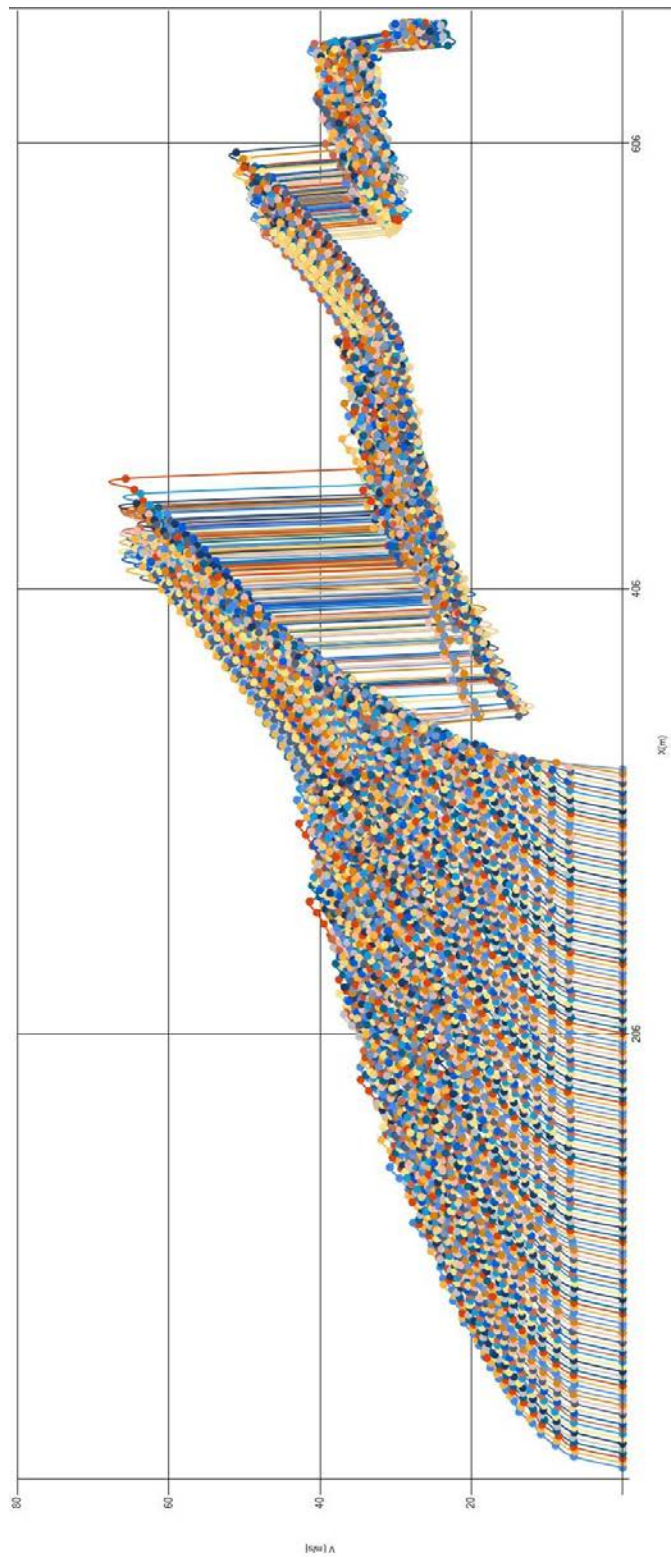
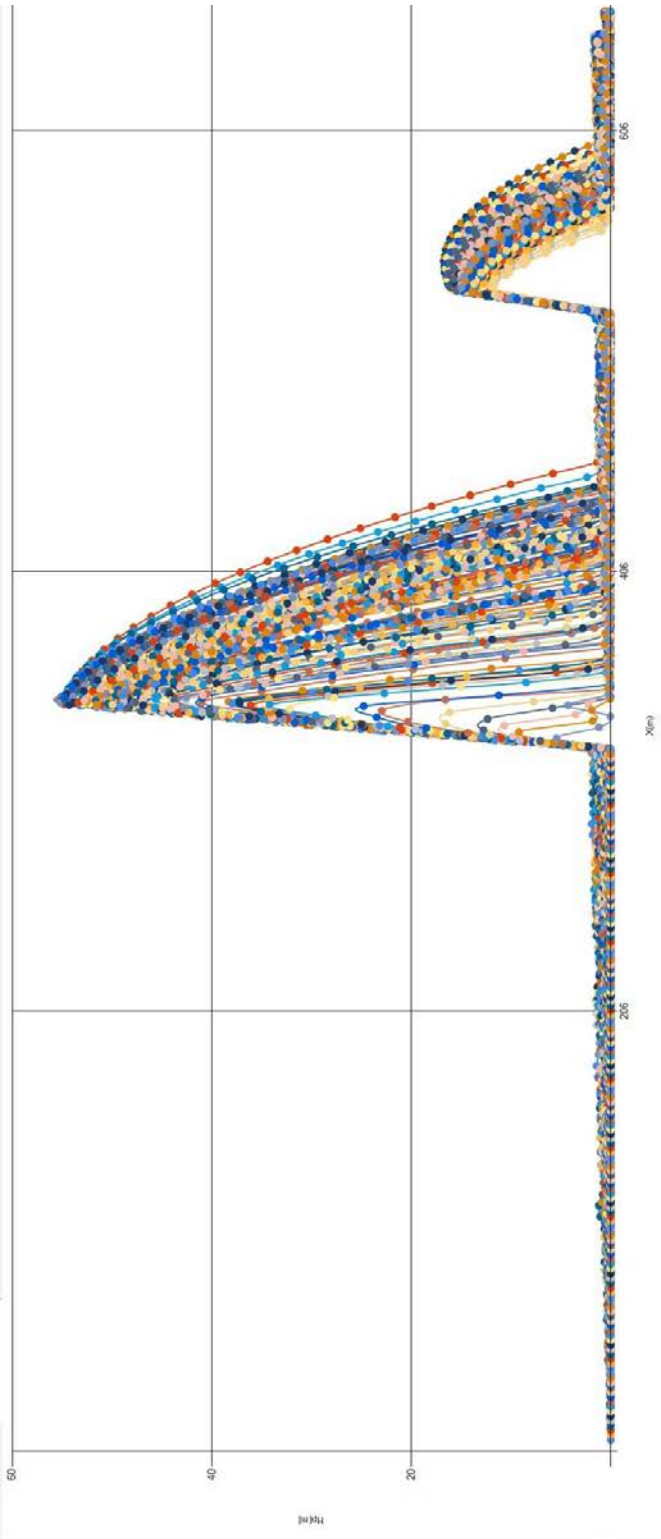


Grafico altezza di volo





Valori di altezza e velocità di impatto dei 823 blocchi che raggiungono la barriera in progetto

	Hp(m)	Vt(m/s)		Hp(m)	Vt(m/s)		Hp(m)	Vt(m/s)		Hp(m)	Vt(m/s)
1	0.001	24.869	60	0.032	23.78	119	0.053	24.892	178	0.094	25.778
2	0.001	24.251	61	0.032	24.265	120	0.053	24.248	179	0.094	27.601
3	0.001	22.965	62	0.033	24.997	121	0.055	25.997	180	0.095	28.802
4	0.002	26.959	63	0.033	24.85	122	0.055	23.723	181	0.095	24.813
5	0.002	22.733	64	0.033	25.722	123	0.055	23.582	182	0.096	26.213
6	0.002	26.142	65	0.033	27.676	124	0.055	24.435	183	0.096	26.159
7	0.003	25.515	66	0.033	22.705	125	0.057	25.246	184	0.096	23.931
8	0.004	25.863	67	0.034	26.234	126	0.058	23.472	185	0.096	23.343
9	0.004	27.215	68	0.034	22.279	127	0.058	24.986	186	0.097	27.034
10	0.005	26.577	69	0.034	23.339	128	0.058	26.475	187	0.098	27.428
11	0.006	28.013	70	0.035	23.133	129	0.059	26.692	188	0.098	24.903
12	0.006	24.087	71	0.036	27.958	130	0.059	26.046	189	0.098	26.309
13	0.006	25.222	72	0.036	24.628	131	0.06	25.376	190	0.099	27.409
14	0.007	24.716	73	0.037	27.611	132	0.062	25.82	191	0.099	24.219
15	0.008	23.541	74	0.037	29.499	133	0.063	23.546	192	0.1	25.859
16	0.008	26.304	75	0.037	26.482	134	0.064	26.814	193	0.1	24.819
17	0.008	25.447	76	0.037	27.169	135	0.065	22.432	194	0.101	23.721
18	0.009	23.399	77	0.037	24.554	136	0.065	25.375	195	0.102	25.457
19	0.01	24.57	78	0.037	25.953	137	0.066	24.796	196	0.102	25.176
20	0.011	27.584	79	0.038	22.999	138	0.066	25.877	197	0.102	23.458
21	0.011	26.119	80	0.038	22.629	139	0.067	25.737	198	0.103	25.884
22	0.013	27.043	81	0.039	25.746	140	0.067	28.581	199	0.103	24.617
23	0.013	25.262	82	0.04	24.397	141	0.067	22.536	200	0.103	26.03
24	0.013	25.029	83	0.04	25.579	142	0.067	25.136	201	0.104	27.626
25	0.013	22.803	84	0.04	25.9	143	0.067	23.141	202	0.104	23.913
26	0.014	24.76	85	0.04	22.844	144	0.068	25.121	203	0.104	22.263
27	0.014	25.638	86	0.04	25.817	145	0.068	25.612	204	0.105	23.441
28	0.014	24.361	87	0.041	25.828	146	0.069	25.133	205	0.105	23.953
29	0.015	25.795	88	0.041	25.016	147	0.069	26.584	206	0.106	26.005
30	0.015	23.986	89	0.041	25.446	148	0.071	27.118	207	0.107	25.276
31	0.015	23.168	90	0.041	24.913	149	0.072	26.356	208	0.108	25.873
32	0.015	22.183	91	0.042	24.762	150	0.073	23.024	209	0.108	26.235
33	0.015	25.023	92	0.042	24.489	151	0.073	25.211	210	0.108	22.717
34	0.015	23.72	93	0.042	24.315	152	0.074	24.936	211	0.108	26.609
35	0.016	26.276	94	0.043	24.737	153	0.075	26.125	212	0.108	23.335
36	0.016	24.299	95	0.043	22.161	154	0.076	24.513	213	0.109	24.358
37	0.017	23.044	96	0.044	24.413	155	0.076	24.565	214	0.11	26.254
38	0.017	23.121	97	0.044	24.048	156	0.077	26.862	215	0.11	23.866
39	0.017	24.285	98	0.044	25.428	157	0.077	25.147	216	0.111	25.891
40	0.02	25.487	99	0.044	24.317	158	0.077	24.337	217	0.111	25.42
41	0.021	25.298	100	0.045	24.48	159	0.079	24.391	218	0.112	26.135
42	0.021	27.162	101	0.045	22.798	160	0.079	25.915	219	0.112	26.758
43	0.022	24.295	102	0.045	24.226	161	0.08	22.579	220	0.113	26.808
44	0.022	26.526	103	0.046	24.543	162	0.082	25.568	221	0.114	28.029
45	0.023	25.092	104	0.047	27.187	163	0.083	24.215	222	0.114	25.612
46	0.023	25.564	105	0.048	29.021	164	0.084	25.313	223	0.114	23.093
47	0.023	28.349	106	0.048	25.872	165	0.084	26.032	224	0.117	26.085
48	0.023	25.923	107	0.049	25.479	166	0.085	26.213	225	0.117	25.068

49	0.024	24.398	108	0.049	26.25	167	0.085	25.507	226	0.117	26.223
50	0.025	27.984	109	0.05	25.021	168	0.087	25.989	227	0.118	26.621
51	0.025	24.959	110	0.051	26.526	169	0.089	23.712	228	0.118	22.583
52	0.026	25.441	111	0.051	25.792	170	0.089	24.913	229	0.118	27.484
53	0.026	25.487	112	0.051	26.964	171	0.089	26.534	230	0.119	23.214
54	0.027	27.286	113	0.051	23.668	172	0.09	25.19	231	0.119	28.595
55	0.027	28.953	114	0.051	23.522	173	0.09	28.341	232	0.119	24.521
56	0.027	27.691	115	0.052	26.967	174	0.091	25.922	233	0.119	27.716
57	0.027	26.383	116	0.052	24.934	175	0.091	25.064	234	0.12	25.395
58	0.027	23.857	117	0.053	27.184	176	0.094	27.844	235	0.122	28.592
59	0.03	22.941	118	0.053	29.505	177	0.094	25.795	236	0.122	25.579
Hp(m)		Vt(m/s)	Hp(m)		Vt(m/s)	Hp(m)		Vt(m/s)	Hp(m)		Vt(m/s)
237	0.125	23.756	298	0.168	22.906	359	0.214	28.058	420	0.266	23.007
238	0.126	25.062	299	0.168	23.127	360	0.216	24.39	421	0.267	26.188
239	0.127	24.927	300	0.168	23.678	361	0.217	29.034	422	0.267	24.478
240	0.128	23.141	301	0.168	26.236	362	0.217	22.405	423	0.268	26.301
241	0.128	26.685	302	0.168	24.6	363	0.219	24.963	424	0.269	27.773
242	0.128	27.007	303	0.168	24.809	364	0.22	25.351	425	0.269	26.377
243	0.128	26.474	304	0.169	25.673	365	0.22	26.17	426	0.269	25.399
244	0.129	25.837	305	0.169	28.322	366	0.221	25.782	427	0.27	22.721
245	0.129	24.638	306	0.169	24.492	367	0.222	26.277	428	0.27	22.63
246	0.132	25.492	307	0.169	25.921	368	0.223	24.396	429	0.271	28.912
247	0.132	23.474	308	0.171	24.841	369	0.225	23.821	430	0.271	25.318
248	0.134	24.504	309	0.171	24.198	370	0.226	25.941	431	0.271	24.317
249	0.134	22.205	310	0.172	23.714	371	0.226	26.806	432	0.272	24.796
250	0.134	22.143	311	0.172	24.727	372	0.226	25.032	433	0.272	23.473
251	0.134	23.444	312	0.173	27.808	373	0.227	27.928	434	0.272	24.027
252	0.134	24.721	313	0.173	23.458	374	0.228	25.482	435	0.272	26.025
253	0.135	26.714	314	0.177	26.972	375	0.228	23.639	436	0.274	23.844
254	0.136	24.377	315	0.178	25.014	376	0.228	26.628	437	0.276	23.822
255	0.136	24.378	316	0.178	26.24	377	0.229	26.157	438	0.278	28.106
256	0.136	24.432	317	0.18	24.212	378	0.229	25.936	439	0.278	24.008
257	0.139	23.549	318	0.18	23.472	379	0.23	24.753	440	0.279	25.248
258	0.14	23.67	319	0.181	23.942	380	0.232	23.444	441	0.279	23.433
259	0.141	25.629	320	0.182	25.401	381	0.232	24.002	442	0.279	25.683
260	0.141	23.133	321	0.183	24.716	382	0.232	23.388	443	0.28	26.8
261	0.141	24.769	322	0.184	26.618	383	0.236	26.508	444	0.282	23.465
262	0.141	24.596	323	0.185	25.812	384	0.236	24.319	445	0.283	23.704
263	0.143	25.164	324	0.185	25.435	385	0.236	22.468	446	0.284	23.606
264	0.144	23.824	325	0.187	24.474	386	0.239	25.799	447	0.286	24.759
265	0.145	25.357	326	0.187	27.318	387	0.239	25.095	448	0.286	22.806
266	0.145	25.023	327	0.188	24.002	388	0.239	24.06	449	0.287	22.609
267	0.145	27.44	328	0.19	25.808	389	0.239	24.519	450	0.287	23.043
268	0.146	24.242	329	0.19	22.925	390	0.239	25.28	451	0.287	21.316
269	0.147	23.008	330	0.191	23.605	391	0.242	25.777	452	0.288	27.403
270	0.149	24.87	331	0.191	23.706	392	0.244	24.553	453	0.29	26.377
271	0.149	26.902	332	0.191	23.661	393	0.244	25.79	454	0.291	25.087
272	0.149	23.967	333	0.194	22.121	394	0.244	23.042	455	0.291	26.083
273	0.15	23.335	334	0.194	28.683	395	0.246	26.967	456	0.291	25.357
274	0.151	25.899	335	0.195	28.561	396	0.246	25.537	457	0.291	24.154

275	0.153	27.931	336	0.195	24.109	397	0.247	26.687	458	0.293	22.194
276	0.154	24.532	337	0.196	26.115	398	0.247	24.551	459	0.293	27.345
277	0.158	26.663	338	0.196	26.28	399	0.248	25.095	460	0.294	22.11
278	0.158	25.059	339	0.197	22.901	400	0.248	24.075	461	0.295	24.021
279	0.158	23.955	340	0.197	25.928	401	0.248	26.558	462	0.298	28.535
280	0.159	24.974	341	0.198	25.456	402	0.249	25.468	463	0.298	24.897
281	0.159	25.647	342	0.199	26.93	403	0.249	25.351	464	0.301	24.592
282	0.16	26.521	343	0.201	24.718	404	0.249	25.345	465	0.302	26.698
283	0.161	24.563	344	0.202	22.53	405	0.251	24.805	466	0.304	25.17
284	0.161	25.408	345	0.204	28.26	406	0.252	26.871	467	0.304	26.794
285	0.161	24.993	346	0.207	24.783	407	0.254	23.799	468	0.304	25.19
286	0.161	24.023	347	0.207	24.656	408	0.254	25.421	469	0.304	25.591
287	0.162	24.693	348	0.209	25.187	409	0.255	24.581	470	0.305	22.433
288	0.163	27.293	349	0.209	24.041	410	0.257	25.028	471	0.305	24.118
289	0.163	24.042	350	0.21	26.719	411	0.258	25.38	472	0.306	25.473
290	0.164	27.575	351	0.21	26.331	412	0.258	25.078	473	0.306	24.734
291	0.165	23.31	352	0.21	24.311	413	0.259	26.135	474	0.307	25.237
292	0.165	25.493	353	0.211	25.125	414	0.259	25.769	475	0.307	25.048
293	0.166	23.976	354	0.211	25.242	415	0.259	25.112	476	0.308	25.011
294	0.166	24.508	355	0.211	23.939	416	0.261	23.31	477	0.308	23.226
295	0.166	24.171	356	0.212	25.862	417	0.261	24.221	478	0.31	24.697
296	0.167	28.905	357	0.212	25.361	418	0.264	23.993	479	0.311	25.944
297	0.167	23.516	358	0.213	25.452	419	0.266	25.283	480	0.313	25.537
	Hp(m)	Vt(m/s)		Hp(m)	Vt(m/s)		Hp(m)	Vt(m/s)		Hp(m)	Vt(m/s)
481	0.313	23.775	542	0.36	23.208	603	0.425	23.129	664	0.474	21.997
482	0.313	25.489	543	0.364	23.154	604	0.425	24.042	665	0.477	23.098
483	0.314	28.249	544	0.365	25.006	605	0.427	24.777	666	0.478	23.436
484	0.314	23.805	545	0.367	24.299	606	0.428	23.198	667	0.478	24.754
485	0.314	22.125	546	0.368	24.244	607	0.43	22.98	668	0.479	25.921
486	0.315	23.876	547	0.369	23.616	608	0.43	24.64	669	0.481	26.053
487	0.317	28.657	548	0.371	26.999	609	0.431	23.137	670	0.481	25.298
488	0.317	26.165	549	0.373	24.535	610	0.432	25.569	671	0.482	24.522
489	0.319	25.355	550	0.374	23.999	611	0.432	22.186	672	0.484	24.958
490	0.32	23.897	551	0.374	23.705	612	0.432	22.899	673	0.484	23.478
491	0.32	24.256	552	0.375	24.698	613	0.432	23.634	674	0.486	23.806
492	0.321	24.502	553	0.376	23.097	614	0.433	23.154	675	0.488	23.13
493	0.322	25.149	554	0.376	21.447	615	0.435	21.806	676	0.491	25.89
494	0.323	24.648	555	0.376	21.825	616	0.435	24.589	677	0.492	24.537
495	0.323	23.791	556	0.377	24.28	617	0.435	23.821	678	0.492	22.254
496	0.325	24.732	557	0.378	23.696	618	0.436	24.702	679	0.496	23.716
497	0.325	24.812	558	0.379	25.491	619	0.437	25.357	680	0.498	27.459
498	0.328	27.781	559	0.38	27.096	620	0.439	24.006	681	0.498	22.735
499	0.328	24.687	560	0.38	23.404	621	0.44	23.9	682	0.498	24.944
500	0.329	24.482	561	0.38	24.357	622	0.441	24.899	683	0.5	22.957



501	0.329	23.127	562	0.381	24.988	623	0.441	25.791	684	0.5	21.902
502	0.329	22.992	563	0.381	23.977	624	0.442	25.253	685	0.503	24.253
503	0.329	26.004	564	0.384	24.589	625	0.442	22.101	686	0.503	25.039
504	0.33	24.593	565	0.384	22.626	626	0.442	23.952	687	0.507	21.74
505	0.331	24.341	566	0.387	26.351	627	0.443	24.634	688	0.507	24.324
506	0.332	21.725	567	0.387	25.763	628	0.444	24.636	689	0.507	24.833
507	0.332	22.32	568	0.39	24.486	629	0.445	26.183	690	0.508	23.616
508	0.332	22.352	569	0.39	24.806	630	0.447	23.944	691	0.51	24.162
509	0.333	27.246	570	0.394	22.502	631	0.453	23.504	692	0.511	23.476
510	0.335	24.254	571	0.397	24.44	632	0.454	26.515	693	0.511	22.791
511	0.335	23.769	572	0.4	23.903	633	0.455	23.924	694	0.513	25.565
512	0.335	22.631	573	0.4	23.672	634	0.455	23.566	695	0.514	23.06
513	0.336	23.458	574	0.401	27.608	635	0.457	23.903	696	0.515	23.279
514	0.337	25.433	575	0.401	22.431	636	0.457	23.684	697	0.516	25.043
515	0.337	23.743	576	0.403	23.244	637	0.458	28.09	698	0.518	24.636
516	0.337	26.845	577	0.405	26.274	638	0.458	25.145	699	0.52	22.537
517	0.339	22.72	578	0.405	22.615	639	0.459	23.134	700	0.521	24.964
518	0.339	23.879	579	0.406	26.602	640	0.459	23.584	701	0.522	26.45
519	0.339	22.143	580	0.406	28.601	641	0.459	22.052	702	0.522	23.523
520	0.34	24.816	581	0.407	22.744	642	0.46	25.201	703	0.525	23.183
521	0.341	22.359	582	0.408	26.735	643	0.46	24.814	704	0.527	25.165
522	0.341	24.174	583	0.409	25.912	644	0.461	23.511	705	0.528	23.262
523	0.344	23.65	584	0.41	22.608	645	0.462	25.925	706	0.529	23.458
524	0.345	22	585	0.41	23.72	646	0.462	25.891	707	0.53	25.405
525	0.345	25.454	586	0.41	25.055	647	0.463	23.985	708	0.532	22.731
526	0.346	24.472	587	0.411	23.067	648	0.463	21.682	709	0.532	22.929
527	0.348	23.711	588	0.412	23.081	649	0.463	21.766	710	0.533	23.114
528	0.349	27.273	589	0.412	26.668	650	0.465	24.223	711	0.533	24.006
529	0.349	25.568	590	0.412	25.129	651	0.466	24.928	712	0.537	23.05
530	0.349	23.83	591	0.413	22.355	652	0.466	22.411	713	0.538	24.656
531	0.35	27.395	592	0.414	24.354	653	0.466	24.727	714	0.542	23.038
532	0.351	23.783	593	0.414	27.695	654	0.467	25.516	715	0.543	22.421
533	0.351	25.094	594	0.414	23.53	655	0.469	22.859	716	0.543	22.327
534	0.351	24.847	595	0.416	21.632	656	0.47	22.442	717	0.544	24.22
535	0.354	25.633	596	0.418	22.319	657	0.47	24.004	718	0.545	22.813
536	0.355	24.803	597	0.419	24.992	658	0.471	26.156	719	0.547	24.849
537	0.356	23.888	598	0.419	26.458	659	0.471	26.284	720	0.548	26.024
538	0.357	24.699	599	0.421	25.184	660	0.471	26.248	721	0.548	23.392
539	0.358	23.654	600	0.421	24.697	661	0.471	25.675	722	0.551	23.43
540	0.358	26.215	601	0.424	21.636	662	0.471	25.603	723	0.552	25.612
541	0.359	22.139	602	0.425	24.657	663	0.472	25.634	724	0.554	23.549

	Hp(m)	Vt(m/s)		Hp(m)	Vt(m/s)
725	0.555	25.695	777	0.634	24.718
726	0.555	23.904	778	0.634	23.8
727	0.557	25.188	779	0.637	26.402
728	0.559	23.284	780	0.638	25.424
729	0.56	23.996	781	0.641	24.747
730	0.563	23.613	782	0.642	26.758
731	0.564	27.451	783	0.645	24.337
732	0.564	23.078	784	0.647	24.526
733	0.567	24.058	785	0.65	25.127
734	0.567	22.825	786	0.66	24.918
735	0.568	23.465	787	0.66	23.735
736	0.569	22.268	788	0.66	25.334
737	0.569	23.17	789	0.66	24.146
738	0.57	24.06	790	0.664	23.918
739	0.57	24.939	791	0.667	24.301
740	0.571	27.024	792	0.667	23.768
741	0.572	27.373	793	0.67	24.541
742	0.572	26.179	794	0.677	24.541
743	0.572	22.774	795	0.68	25.155
744	0.576	23.888	796	0.682	23.601
745	0.577	23.344	797	0.682	23.99
746	0.578	23.316	798	0.683	24.201
747	0.58	23.603	799	0.685	23.48
748	0.583	22.155	800	0.685	23.645
749	0.586	24.398	801	0.686	23.2
750	0.586	24.628	802	0.692	25.155
751	0.59	23.741	803	0.695	24.59
752	0.591	22.973	804	0.701	24.262
753	0.594	23.571	805	0.702	25.327
754	0.595	25.655	806	0.705	24.817
755	0.596	23.58	807	0.706	24.305
756	0.599	23.163	808	0.709	25.909
757	0.601	23.798	809	0.713	24.358
758	0.602	23.505	810	0.722	26.303
759	0.604	25.182	811	0.726	26.633
760	0.606	25.6	812	0.733	26.204
761	0.608	24.331	813	0.733	25.654
762	0.608	24.344	814	0.75	27.775
763	0.609	23.422	815	0.752	26.191
764	0.61	24.653	816	0.754	24.649
765	0.611	23.121	817	0.755	24.964
766	0.612	22.86	818	0.756	25.253
767	0.613	24.569	819	0.769	25.367
768	0.613	24.394	820	0.769	24.595
769	0.614	23.161	821	0.777	25.954
770	0.616	23.587	822	0.786	25.562
771	0.618	24.324	823	0.807	26.417
772	0.625	25.625			
773	0.627	25.104			
774	0.631	24.078			
775	0.632	23.303			
776	0.634	25.996			

### Verifica del dimensionamento della barriera paramassi con 3,0 mc

La barriera paramassi metallica dovrà essere installata nella posizione planimetrica indicata nell'allegato 03B "Planimetria di progetto e particolari costruttivi".

### Verifica dell'energia di progetto

L'energia sollecitante di progetto per il dimensionamento della barriera paramassi è così calcolata in accordo con le norme UNI 11211-4: 2018

$$E_{sd} = 1/2 \times m_d \times v_d^2 \times \gamma_R = 1/2 \times 8,25 \times 30,98^2 \times 1,05 = 4.156,96 \text{ kJ}$$

dove:

$$m_d = (Vol_b \times \gamma) \times \gamma_m = 3,0 \text{ mc} \times 2,5 \text{ (T/mc)} \times 1,10 \text{ (in assenza di rilievi finalizzati al progetto)} = 8,25 \text{ T}$$

$$v_d = V_{95} \text{ (95°percentile calcolato sui valori della tabella riportata alle pagine precedenti)} \times \gamma_{Tr} \times \gamma_{Dp} = 27,61 \text{ m/s} \times 1,02 \text{ (back analysis)} \times 1,10 \text{ (media precisione)} = 30,98 \text{ m/s}$$

$$\gamma_R = \text{coefficiente amplificativo di protezione} = 1,05 - \text{Classe II (punto 2.4.2 Classi d'uso delle NTC D.M. 17/01/2018)}$$

Il livello energetico di progetto riferito al Massimo Livello di Energia (MEL) per una barriera deve essere:

$$E_{sd} < (E_{\text{barriera}} / \gamma_E) = 4.156,96 < (5000 / 1,2) = 4.156,96 < 4.166,66 \text{ kJ}$$

dove:

$$\gamma_E = 1,2 \text{ nel caso di approccio MEL}$$

**Il dimensionamento energetico della barriera da 5.000 kJ è verificato.**

L'altezza di intercettazione della barriera è così calcolata in accordo con le norme UNI 11211-4: 2018:

$$h_d = h_{95} \times \gamma_{Tr} \times \gamma_{Dp} = 0,64 \times 1,02 \text{ (analisi a ritroso)} \times 1,1 \text{ (media precisione)} = 0,72 \text{ m}$$

dove:

$$h_{95} = 95^\circ \text{percentile calcolato sui valori della tabella riportata alle pagine precedenti} = 0,64 \text{ m}$$

L'altezza in progetto ( $h_{TOT}$ ) per una barriera di 5,0 m (5.000 kJ), in cui il valore di franco libero minimo ( $f_{min}$ ) è uguale al raggio del blocco di progetto (0,9 m), risulta:

$$h_{TOT} \geq h_d + f_{min} = 5 \text{ m} \geq 0,72 + 0,9 \text{ m} = 5,0 \text{ m} \geq 1,62 \text{ m}$$

Il dimensionamento dell'altezza della barriera da 5,0 m è verificato.

## Riepilogo

Caratteristiche dimensionali delle barriere paramassi metalliche:

Sviluppo	50 m
Altezza	5,0 m
Energia	5.000 kJ

## Caratterizzazione geotecnica

In ottemperanza a quanto disposto dal D.M. 17.01.2018 (capitolo 6.2.2) *"Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata sull'esperienza e sulle conoscenze disponibili, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali"*.

Si è pertanto ritenuto non necessario eseguire indagini geognostiche specifiche (intese come sondaggi), fermo restando che sarà tuttavia necessario da parte dello scrivente indagare le caratteristiche geotecniche dei materiali e l'eventuale presenza di circolazioni idrogeologiche in fase di esecuzione dei lavori.

Per caratterizzare i terreni di fondazione sono stati presi in considerazione i parametri geotecnici presenti in letteratura e riferibili alle tipologie di terreni individuati in zone limitrofe al sito di intervento.

Nella seguente tabella vengono riportati le caratteristiche geotecniche dei depositi gravitativi che possono variare anche notevolmente in funzione del tipo di materiale che costituisce la matrice.

Tipo di materiale	Depositi gravitativi
Angolo di attrito interno	38 - 42°
Coesione drenata	0 kN/mq
Peso specifico del terreno	1.850-1.950 Kg/mc

aprile 2024