



**Politecnico  
di Torino**

# POLITECNICO DI TORINO

CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

A.A. 2021/2022

Sessione di Laurea straordinaria giugno 2022

## **LA GESTIONE E LA MANUTENZIONE DELLE OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO DA CADUTA MASSI SU STRADE AD ALTA PERCORRENZA: IL CASO STUDIO DELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO**

Relatore:

Prof. Ing. Daniele Peila

Correlatore:

Prof.ssa. Ing. Maddalena Marchelli

Candidato:

Antonino Morabito

*Prima di procedere con la trattazione della tesi, vorrei dedicare qualche riga a tutti coloro che hanno contribuito con il loro instancabile supporto, alla realizzazione dello stesso.*

*Ci tengo a ringraziare in primis il Professore Daniele Peila, relatore di questa tesi, per i suoi indispensabili consigli, per le conoscenze trasmesse durante tutto il percorso di studio e di stesura dell'elaborato e per essere stato una preziosa fonte di ispirazione.*

*Un ringraziamento speciale va anche alla Professoressa Maddalena Marchelli, correlatrice di questa tesi, per la continua e costante disponibilità, nonostante i molteplici impegni, per la professionalità e la competenza con la quale mi ha assistito durante tutta la fase di sviluppo e per gli innumerevoli contributi e le idee fondamentali alla stesura della tesi.*

*Vorrei ringraziare anche l'Ing. Graziano Magnino, per avermi dato la possibilità di sviluppare parte delle tesi, su un caso studio in collaborazione con la Città Metropolitana di Torino, ed inoltre vorrei ringraziare tutti i tecnici che mi hanno assistito durante le fasi di ispezione delle opere.*

*Ringrazio anche i colleghi con i quali ho condiviso parte di questo percorso, mi hanno aiutato a mantenere il focus sull'obiettivo principale, anche durante il periodo difficile del lockdown.*

*Voglio ringraziare inoltre i cugini, gli amici e i coinquilini, per esserci stati in questi anni, per aver condiviso una risata ed aver alleviato, seppur in maniera differente, gli sforzi dello studio.*

*Dedico in fine un enorme ringraziamento a tutta la mia famiglia per il sostegno. In particolare, a mio Padre e mia Madre che con incessanti sacrifici hanno sempre dimostrato la loro fiducia appoggiato le mie scelte, parte di questo traguardo è anche vostro.*

# SOMMARIO

---

<b>INTRODUZIONE.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPITOLO 1. IL FENOMENO DELLA CADUTA MASSI .....</b>	<b>4</b>
1.1 Generalità .....	4
1.2 Descrizione del fenomeno .....	7
1.3 Interventi di difesa sui movimenti franosi.....	13
1.3.1 Interventi di prevenzione .....	14
1.3.2 Interventi di protezione.....	15
<b>CAPITOLO 2. CENNI SULLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO .....</b>	<b>17</b>
2.1 Eventi franosi in Italia.....	17
2.2 Definizioni .....	19
2.3 Procedure di calcolo del rischio su infrastrutture viarie.....	21
2.3.1 Rischio accettabile.....	23
2.3.2 Un metodo di analisi del rischio qualitativo .....	24
2.3.3 Un metodo di analisi del rischio quantitativo .....	25
2.4 Misure di mitigazione del rischio .....	29
2.5 Il contributo dei dispositivi di protezione nella riduzione del rischio .....	30
<b>CAPITOLO 3. DESCRIZIONE DELLE BARRIERE PARAMASSI E RETI IN ADERENZA.....</b>	<b>33</b>
3.1 Interventi di protezione contro la caduta massi.....	33
3.2 Riferimento Normativo per barriere paramassi e reti in aderenza .....	35
3.3 Barriere paramassi .....	39
3.3.1 Tecnologie .....	40
3.3.2 Parametri caratteristici di una barriera paramassi a rete .....	47
3.3.3 Progettazione .....	48
3.3.4 Certificazione CE e test standardizzati.....	52
3.3.5 Durabilità delle barriere paramassi .....	56
3.4 Reti in aderenza .....	57
3.4.1 Tecnologie .....	59
3.4.2 Progettazione .....	63
3.4.2.1 Reti a cortina .....	64
3.4.2.2 Reti rinforzate.....	65
3.4.3 Certificazione CE e test standardizzati.....	67
3.4.4 Durabilità delle reti in aderenza .....	70
<b>CAPITOLO 4. ELEMENTI PER UNA CORRETTA CAMPAGNA DI ISPEZIONE ALLE OPERE DI DIFESA .....</b>	<b>71</b>
4.1 Scheda di rilievo .....	72
4.2 Valutazione dello stato di ammaloramento delle opere .....	75

4.2.1	Barriere paramassi .....	79
4.2.2	Reti in aderenza.....	83
4.3	Grado di manutenzione richiesto.....	87
4.4	Georiferire e caratterizzare le opere.....	89
<b>CAPITOLO 5. CENSIMENTO E VALUTAZIONE DELLO STATO DI CONSERVAZIONE DELLE OPERE DI PROTEZIONE CONTRO LA CADUTA DI COMPETENZA DELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO .....</b>		<b>91</b>
5.1	Inquadramento caso studio .....	92
5.2	Raccolta dati .....	97
5.3	Risultati ottenuti dalla campagna di rilievo.....	101
5.3.1	Barriere paramassi a rete .....	102
5.3.2	Barriere paramassi semideformabili tipo Travi-Funi.....	105
5.3.3	Reti a cortina .....	108
5.3.4	Reti rinforzate.....	111
5.4	Catasto georiferito .....	114
5.4.1	Creazione del Database .....	115
5.4.2	Implementazione in ambiente GIS .....	116
5.4.3	Consultare il catasto georiferito .....	121
<b>CAPITOLO 6. UNA PROPOSTA DI GESTIONE DELLE OPERE PARAMASSI .....</b>		<b>125</b>
6.1	Linee guida dei ponti esistenti .....	125
6.1.1	Livelli di ispezione.....	126
6.1.1.1	Livello 0.....	127
6.1.1.2	Livello 1.....	128
6.1.1.3	Livello 2.....	129
6.1.1.4	Livello 3.....	132
6.1.1.5	Livello 4.....	133
6.1.1.6	Livello 5.....	133
6.1.2	Sorveglianza e Monitoraggio .....	134
6.2	Gestione delle opere paramassi.....	135
6.2.1	Classi di Attenzione per le opere di protezione .....	137
6.2.2	Livelli successivi e altre implementazioni .....	145
<b>CONCLUSIONI .....</b>		<b>147</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>		<b>151</b>



# INTRODUZIONE

---

Il rischio da frana è estremamente diffuso sul territorio nazionale. La caduta massi, in particolare, rappresenta uno dei fenomeni franosi più pericolosi che si possa verificare nei versanti rocciosi, considerate le energie in gioco e l'imprevedibilità del fenomeno. Le conseguenze indesiderate causate da questo fenomeno sull'ambiente antropico (infrastrutture viarie, centri abitati, persone ecc.) comportano un notevole impatto sociale ed economico. La caduta massi ha origine dal distacco di volumi di roccia instabili da pareti rocciose generalmente molto acclivi con il successivo moto lungo il versante, costituito da una serie di rimbalzi, rotazioni e scivolamenti dei blocchi fino all'arresto. La sua analisi risulta particolarmente complessa poiché governata da molteplici parametri estremamente variabili e combinati tra loro.

Per mitigare il rischio, tra le opere di protezione, le barriere paramassi e le reti in aderenza, sono vastamente impiegate. Una loro corretta progettazione e collocazione lungo il versante però non è sufficiente a garantire nel tempo un livello di rischio accettabile. Per mantenere un livello prestazionale sempre elevato e quindi assicurare sempre la mitigazione del rischio, occorre che tali opere siano accompagnate da opportuni piani di manutenzione. L'obiettivo principale dell'Ente gestore è quello di mantenere sempre un adeguato livello di sicurezza dell'infrastruttura da proteggere cercando di ottimizzare i costi di gestione e manutenzione individuando un ordinane di priorità sugli interventi da eseguire.

Lo scopo del presente elaborato è individuare i fattori che maggiormente influiscono sull'ammaloramento delle opere di protezione contro la caduta massi, al fine di proporre una strategia di ispezioni e controlli mirata all'individuazione delle criticità e delle priorità di intervento. Il lavoro di tesi è stato sviluppato in collaborazione con l'ufficio Viabilità 1 della Città Metropolitana di Torino al fine di valutare lo stato di conservazione delle opere di protezione contro la caduta massi, barriere paramassi e reti in aderenza, presenti lungo la rete viaria di competenza e successivamente nell'ottica di pianificare efficacemente la gestione e la manutenzione delle opere. Con il presente lavoro si vuole proporre una

strategia di ispezioni e controlli mirata all'individuazione delle criticità e delle necessità di intervento sulle barriere paramassi e reti in aderenza. In tal modo si intende aiutare l'Ente gestore ad ottenere uno strumento in grado di classificare per ordine di priorità gli interventi di manutenzione da eseguire.

Il Capitolo 1 è dedicato alla spiegazione del fenomeno di caduta massi. In particolare, si effettua una breve classificazione di tutti i fenomeni franosi, per poi concentrarsi sui fattori principali che riguardano la caduta massi, a partire dalle caratteristiche strutturali dell'ammasso roccioso e dei possibili movimenti che i blocchi distaccati possono subire. Si fa un cenno breve anche su tutti i possibili interventi da realizzare per contrastare tale fenomeno.

Nel capitolo 2, tratta nello specifico la tematica del rischio con particolare riferimento al rischio frane che interferisce con le arterie stradali. Si danno le definizioni del rischio e delle singole componenti per poi soffermarsi ad analizzare alcuni metodi per calcolarlo presenti in letteratura.

All'interno del Capitolo 3 si descrivono dettagliatamente tali opere, affrontando sia gli aspetti relativi alle diverse tecnologie, sia gli aspetti legati alla progettazione e sia gli aspetti relativi alla normativa di certificazione del prodotto. Conoscendo le caratteristiche principali delle opere sarà più facile successivamente individuare le problematiche che causano il deterioramento dell'opera. Infatti, nel Capitolo 4, si descrivono gli strumenti utilizzati nel caso studio, sia per il rilievo e sia per l'elaborazione dei dati raccolti. Nei primi paragrafi, si illustrano le schede di rilievo, soffermandosi in particolare sulla descrizione della check list, che risulta essere la parte più importante, in quanto individua le problematiche principali che si possono riscontrare sulle diverse componenti. All'interno del capitolo poi si individuano altri strumenti utili per eseguire una buona campagna di ispezione delle opere. Si spiega l'uso delle già citate schede di rilievo e di un algoritmo elaborato dal Politecnico di Torino, che restituisce dei parametri utili per valutare la funzionalità dell'opera. Infine, si evidenziano i vantaggi che si possono ottenere dall'uso di software per georiferire le informazioni raccolte sulle opere.

Gli strumenti individuati, nel Capitolo 4 sono stati testati nel caso studio per censire ed ispezionare le opere. In particolare, per giungere ad ottenere un valore sullo stato di conservazione dell'opera sono state eseguiti accurati rilievi in sito per individuare le criticità che interessavano le differenti componenti. I risultati ottenuti vengono riportate nel dettaglio all'interno del Capitolo 5, dove oltre ad illustrare le problematiche

maggiormente riscontrate vengono anche esposte le implementazioni e i modi per interrogare il software GIS per agevolare la consultazione dei dati raccolti.

Infine, seguendo le Linee Guida sulla gestione dei ponti, nel Capitolo 6, si cerca di individuare alcuni elementi comuni che possono essere impiegati anche nella gestione delle opere di protezione contro la caduta massi. Tramite l'approccio multilivello, proposto dalle linee guida si cerca di individuare gli elementi essenziali ad ogni livello di indagine, al fine di poter garantire una gestione dell'opera che possa essere efficace a costi contenuti.

# CAPITOLO 1.

## IL FENOMENO DELLA CADUTA MASSI

---

### 1.1 Generalità

Il fenomeno di caduta massi è un fenomeno franoso che ha origine dal distacco di volumi di roccia instabili da pareti rocciose generalmente molto acclivi con il loro successivo moto lungo il versante, costituito da una serie di rimbalzi, rotazioni e scivolamenti dei blocchi fino all'arresto.

Il fenomeno della caduta massi è però solo uno dei possibili casi di instabilità che si può verificare nei versanti rocciosi. Un'illustrazione di più ampio spettro la si può trovare quindi nella definizione di "frana". Con il termine "frana" si intende il movimento di una massa di roccia, detrito o terra lungo un pendio (Cruden & Varnes, 1996). Varnes nel suo lavoro elaborò un sistema di classificazione degli eventi franosi che ad oggi è divenuto uno standard internazionale. In particolare, tale classificazione divide le frane andando a considerare sia il tipo di materiale coinvolto e sia la tipologia di movimento. Per quanto riguarda i materiali vennero individuati tre classi: *roccia*, *terreno* e *detrito*. Mentre per quanto riguarda la tipologia di movimento vennero individuati cinque possibili cinematismi: *crolli*, *ribaltamenti*, *scorrimenti*, *espandimenti* e *colate*. Fu poi introdotta una sesta classe, chiamata *fenomeni complessi* che prevedeva la combinazione di due o più tipologie di movimento citate. In Tabella 1-1 è riportato un quadro riepilogativo dei movimenti franosi.

Tabella 1-1 – Classificazione dei fenomeni franosi secondo (Cruden & Varnes, 1996)

Tipo di Movimento	Tipo di Materiale		
	Roccia	Terreno	Detrito
<b>Crollo</b>	Crollo di roccia	Crollo di Terreno	Crollo di Detrito
<b>Ribaltamento</b>	Ribaltamento di roccia	Ribaltamento di terreno	Ribaltamento di detrito
<b>Scorrimento</b>	<b>Rotazionale</b> Scorrimento rotazionale di roccia	Scorrimento rotazionale di terreno	Scorrimento rotazionale di detrito
	<b>Traslazionale</b> Scorrimento traslazionale di roccia	Scorrimento traslazionale di terreno	Scorrimento traslazionale di detrito
<b>Espandimento</b>	Espandimento laterale di roccia	Espandimento laterale di terreno	Espandimento laterale di detrito
<b>Colate</b>	Colate di roccia	Colate di terreno	Colate di detrito
<b>Fenomeni Complessi</b>	Combinazione di due o più tipologie		

Di seguito si dà una breve definizione dei diversi tipi di materiali che possono dar luogo a frane. In particolare, per *'Roccia'* si intende un aggregato naturale composto da grani minerali uniti tra loro, una massa dura e solida che era integra e nella sua posa natura prima dell'inizio del movimento (Cruden & Varnes, 1996). Per *'Terreno'* si intende descrivere materiali in cui l'80% o più delle particelle sono più piccole di 2 mm, il limite superiore della dimensione delle particelle di sabbia. Per *'Detrito'* invece si intende un materiale che contiene una quota significativa di materiale grossolano, dal 20% all'80% delle particelle sono più grandi di 2 mm e il resto sono inferiori a 2 mm (Cruden & Varnes, 1996).

I termini usati descrivono le caratteristiche che un materiale possiede prima che questo venga spostato dalla frana. Il termine frana, ad esempio, implica che la massa spostata fosse una massa rocciosa all'inizio della frana. La massa spostata può diventare detrito dopo la frana. Se la frana è complessa e il tipo di movimento cambia man mano che avanza, il materiale deve essere descritto all'inizio di ogni movimento successivo. Ad esempio, una caduta di massi (rock fall) che ha causato anche lo spostamento di materiale più fine, può essere descritta come una colata detritica di caduta di massi (rock fall-debris flow).

Per quanto riguarda invece i tipi possibili di movimento vengono descritti come segue e schematizzati in Figura 1.1:

- Crollo (fall) è definito come il distacco di uno o più blocchi di roccia, più raramente di terreno, da superfici pseudo-verticali. La caduta è composta da più fasi: nella fase iniziale si ha ribaltamento o scivolamento, una fase di volo libero, l'impatto sul versante, una serie di rimbalzi e/o rototraslazione e infine l'arresto. Il movimento

dei blocchi ha una velocità che varia da veloce a estremamente veloce. (Nel capitolo 1.2 si approfondisce dettagliatamente tale movimento franoso);

- Ribaltamento (topple) è la rotazione in avanti, fuori dal pendio, di una massa di terreno e roccia attorno a un punto o asse al di sotto del baricentro della massa spostata. Le discontinuità presenti nella parete vanno a formare colonne di roccia snelle ( $\text{base} < \text{altezza}$ );
- Scivolamento (slide) movimento verso il basso di terreno o di un ammasso roccioso che si verifica prevalentemente sulla superficie di rottura o zone relativamente sottili a causa di deformazioni di taglio. Si hanno due tipi di scivolamento: *rotazionale* che prevede lo scorrimento di terreno o roccia lungo una superficie curvilinea con concavità verso l'alto; *traslativo* che prevede lo scorrimento del terreno o roccia lungo una o più superfici piane parallele al versante;
- Espandimenti laterali (lateral spreads) sono caratterizzati dalla fratturazione di un terreno coeso o di un ammasso roccioso che si trova sovrapposto ad un materiale più morbido. Gli espandimenti possono derivare dalla liquefazione del materiale più morbido sottostante;
- Colata (flow) è un movimento spazialmente continuo in cui le superfici di taglio sono di breve durata, ravvicinate e di solito non vengono preservate dopo l'evento. La distribuzione delle velocità della colata è simile a quella di un fluido viscoso. Il materiale può essere secco o completamente saturo, il movimento coinvolge detriti di varie granulometrie che ingloba durante il moto verso valle.

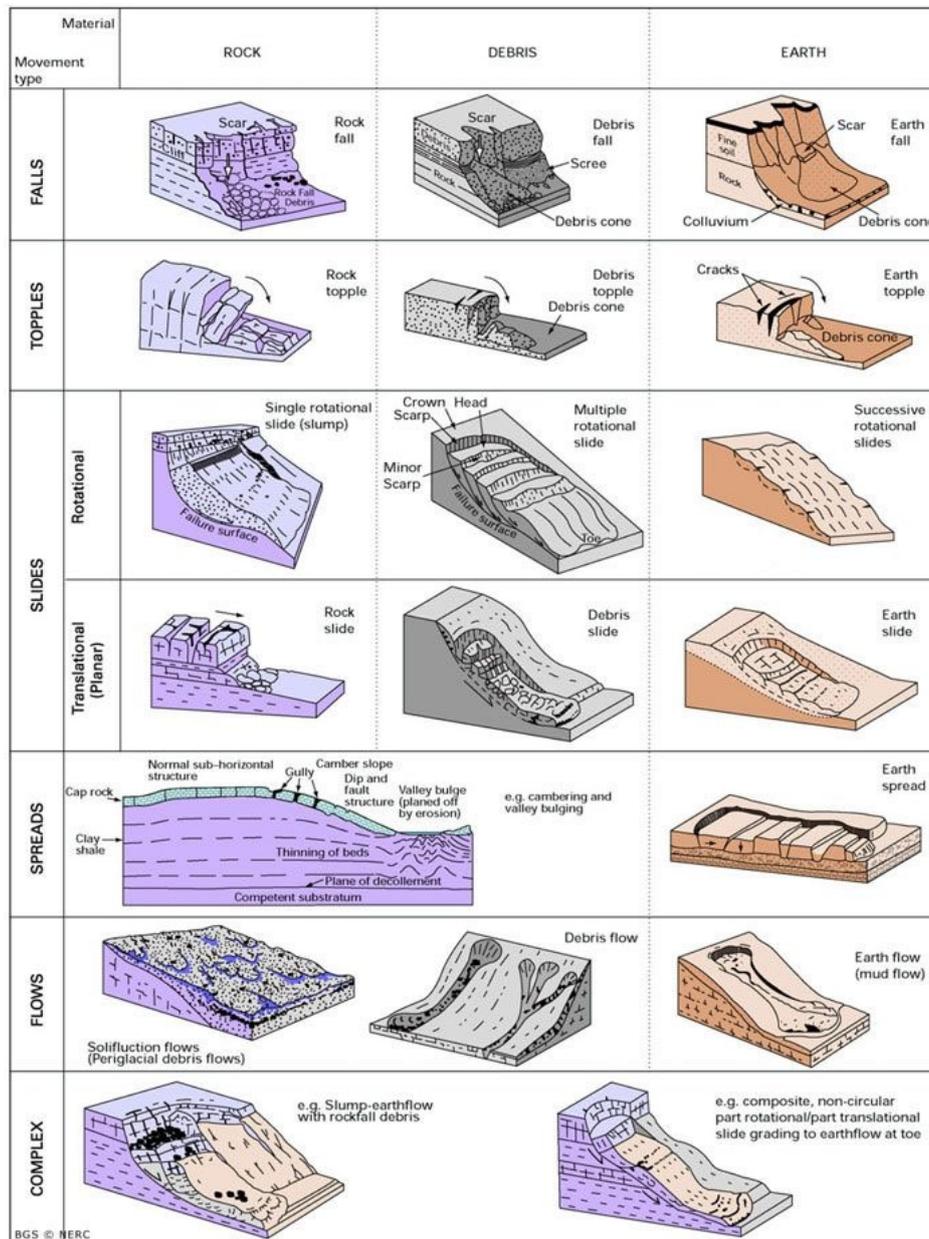


Figura 1.1 - Rappresentazione grafica dei movimenti franosi

## 1.2 Descrizione del fenomeno

Indicati tutti i possibili movimenti che si possono generare lungo un pendio, si descrive adesso con più dettaglio il fenomeno di caduta massi.

La caduta massi è un fenomeno che si innesca a seguito di una rottura nel versante, solitamente per taglio o trazione, che porta al distacco dei blocchi instabili. A seguito di tale distacco il blocco si sposta lungo il pendio e può raggiungere elevate velocità, fino a 30-32 m/s che portano ad avere di conseguenza elevate energie cinetiche in gioco. Le dimensioni dei blocchi possono variare da 0,01 m<sup>3</sup> (piccoli frammenti) fino a volumetrie

molto maggiori dell'ordine dei  $10^3 \text{ m}^3$ , come riportato nella norma UNI 11211. Determinare le velocità che i blocchi possono raggiungere e il volume teorico di essi rappresenta un punto fondamentale per progettare successivamente un adeguato sistema di protezione contro la caduta massi.

Le condizioni strutturali dell'ammasso roccioso (famiglie di discontinuità, persistenza, spaziatura) giocano un ruolo fondamentale nel distacco e nella dinamica dei blocchi, così come la geometria in particolar modo la giacitura e l'orientamento delle discontinuità rispetto al versante. Le proprietà geomeccaniche delle discontinuità possono essere descritte da alcuni fattori:

- la spaziatura che rappresenta la distanza perpendicolare tra due discontinuità adiacenti;
- la persistenza che descrive l'estensione o l'area di una discontinuità all'interno di un piano nell'ammasso roccioso;
- la rugosità che misura l'irregolarità della superficie nella discontinuità;
- l'apertura che rappresenta la distanza perpendicolare tra le facce di due pareti rocciose adiacenti, il cui spazio intermedio è riempito d'aria o d'acqua;
- il riempimento (filling) descrive il materiale che separa due pareti rocciose adiacenti.
- l'orientamento nello spazio della discontinuità. È descritto (Figura 1.2) da due angoli, l'angolo di inclinazione  $\psi$  (*dip*) misurato sul piano verticale tra la linea di massima pendenza e il piano orizzontale, e l'angolo di immersione  $\alpha$  (*dip direction*) che rappresenta l'angolo misurato sul piano orizzontale, compreso fra la proiezione orizzontale della linea di massima pendenza della discontinuità e il Nord geografico.

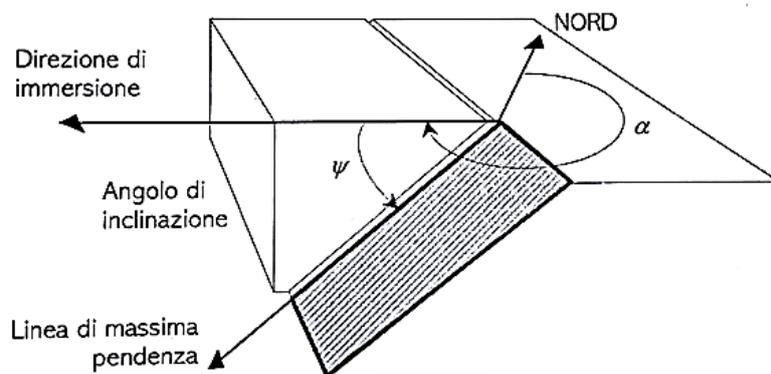


Figura 1.2 – Illustrazione degli angoli di inclinazione ed immersione

Attraverso le proprietà delle discontinuità, la meccanica delle rocce ha individuato degli schemi classici di distacco dei blocchi. In particolare, facendo riferimento all'orientamento delle discontinuità è possibile riconoscere negli ammassi rocciosi scivolamenti planari, scivolamenti a cuneo e ribaltamenti, come mostrato in Figura 1.3.

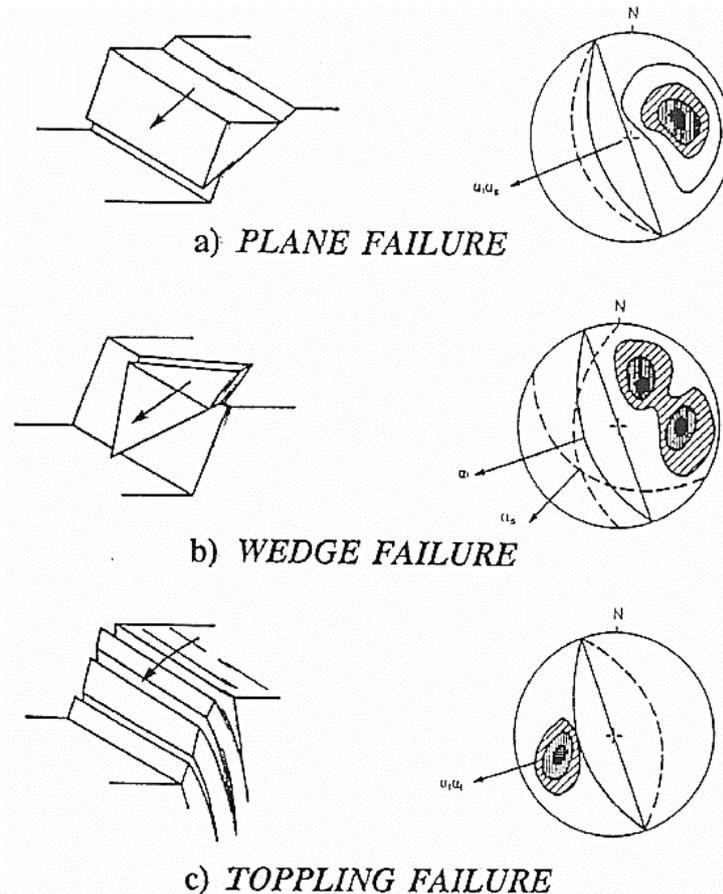


Figura 1.3 - Classici schemi di collasso definiti nella meccanica delle rocce. Sulla destra sono riportati i test di Markland per l'individuazione del tipo di scivolamento

Con un accurato rilievo in sito delle famiglie di discontinuità, e successivamente tramite le proiezioni stereografiche di esse, che necessitano essenzialmente dell'angolo di inclinazione del pendio, della dip e dip direction, è possibile eseguire i test di Markland che consentono di individuare la tipologia di un cinematismo e capire se esso può avvenire o meno.

I fattori che portano all'apertura di una o più discontinuità e successivamente alla rottura possono essere distinte in cause strutturali o predisponenti, prevalentemente connesse ai fattori geologici, morfologici e idrogeologici, e in cause occasionali o scatenanti, prevalentemente connesse ai fattori climatici, antropici, all'azione sismica o vulcanica e all'azione delle radici delle specie arboree. Si può quindi intuire che tutti i fenomeni franosi sono problemi difficili da studiare per la loro complessità e per le forze in gioco.

Per uno studio accurato della caduta massi è opportuno quindi definire tre diverse fasi del fenomeno con le relative zone di azione (Figura 1.4):

- zona di distacco, è caratterizzata da elevate pendenze ( $>20^\circ$ ) e grande disponibilità di materiale. Qui vengono definite la nicchia di distacco, il volume e la velocità iniziale del blocco;
- zona di propagazione, è lunga e stretta con pendenze intermedie ( $10^\circ-15^\circ$ );
- zona di arresto, è caratterizzata da basse pendenze ( $<5^\circ-6^\circ$ ) con blocchi dispersi che si trovano a quota superiore rispetto alla superficie originaria del versante.

In versanti sub-verticali, può capitare però che la zona di propagazione come anche quella di arresto non sia sempre ben definita. Per esempio, in alcune pareti, anche aggettanti, in prossimità di infrastrutture viarie, può capitare che il blocco staccandosi segue un moto di caduta libera e vada ad arrestarsi o a rimbalzare sull'elemento stradale.

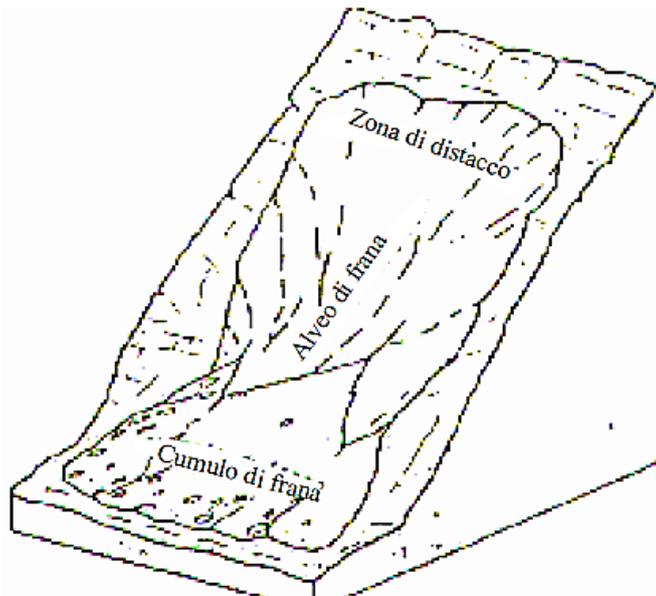


Figura 1.4 - Zone di un movimento franoso

Con particolare riferimento al fenomeno di caduta massi, dopo la fase di distacco del blocco che avviene come già detto nella parte sommitale del pendio, il blocco subisce, nel suo moto verso valle, delle modifiche alla cinematica in funzione della morfologia del terreno ma anche dalla forma e dimensione del blocco.

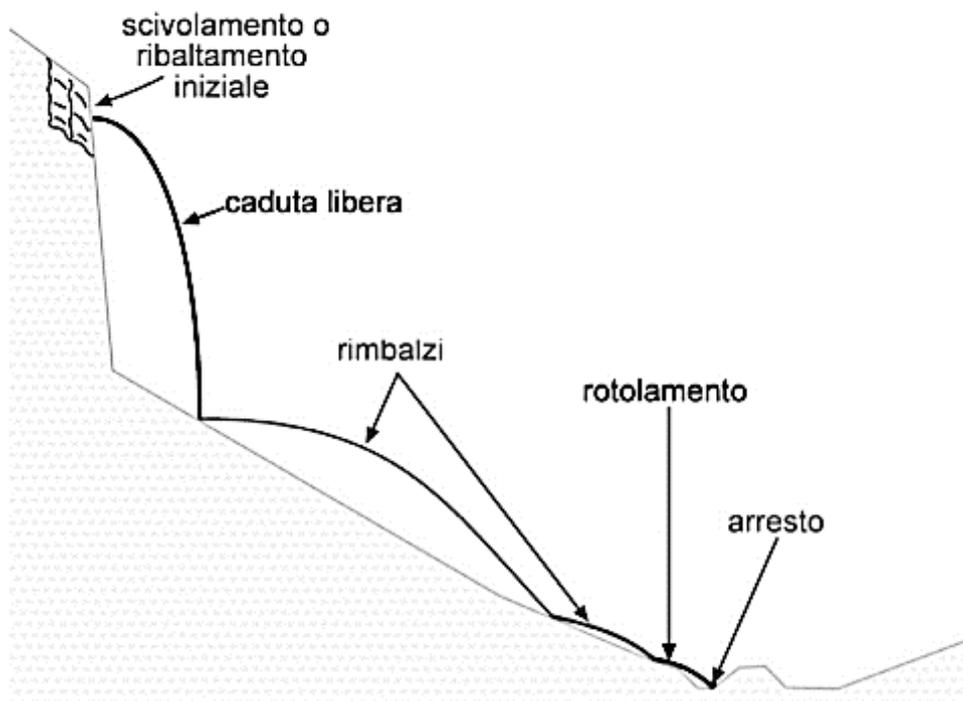


Figura 1.5 - Possibili moti di propagazione di un blocco soggetto a crollo (Del Maschio et al., 2007)

Come illustrato in Figura 1.5, il movimento di caduta di un blocco si può poi spiegare secondo i moti gravitativi di caduta libera, rimbalzo, rotolamento e scivolamento (Del Maschio et al., 2007).

Di seguito si dà una breve descrizione dei singoli movimenti (Figura 1.6):

- Caduta libera (free fall) avviene successivamente al distacco, nel caso di pareti molto ripide, ovvero con un angolo di inclinazione rispetto all'orizzontale maggiore di  $76^\circ$  (Ritchie, 1963). A seguito del distacco il blocco trasforma la sua energia potenziale in cinetica acquisendo velocità per la forza di gravità, fino al punto di impatto con il terreno. A seguito dell'impatto il masso tenderà a dissipare molta della sua energia cinetica, se la dissipazione è totale il blocco si arresterà nel punto di impatto, altrimenti continuerà il moto con altri tipi di movimenti fino alla completa dissipazione dell'energia cinetica;
- Rimbalzo (rebound) avviene successivamente alla fase di caduta libera, quando il blocco impattando col terreno dissipa in parte la sua energia cinetica e si frammenta in pezzi più piccoli che continuano la caduta. In genere se il pendio ha un'inclinazione compresa tra  $45^\circ$  e  $70^\circ$ , dopo il primo rimbalzo il blocco compie una serie di fasi che vedono l'alternanza di voli ed ulteriori rimbalzi. L'energia verrà dissipata in funzione delle caratteristiche del pendio e del materiale costituente e dalla forma del blocco, nonché della velocità in entrata. Il rimbalzo, infatti, sarà

favorito se le dimensioni del blocco impattante saranno minori delle dimensioni dei detriti presenti lungo il pendio, poiché tenderà a dissipare meno energia cinetica. La frammentazione del blocco impattante invece dipenderà dalla sua durezza, in particolare se essa è minore di quella del pendio il blocco tenderà a frantumarsi.

- Rotolamento (rolling) avviene se dopo l'impatto l'inclinazione del pendio è al di sotto dei 45°, poiché il blocco assume una maggiore aderenza alla superficie. Inoltre, se le dimensioni del blocco sono maggiori delle dimensioni dei detriti presenti lungo il pendio si avrà una maggiore dissipazione di energia che favorirà il rotolamento, così come forme più tondeggianti del blocco tenderanno a far prevalere tale movimento;
- Scivolamento (sliding) avviene quando il versante si presenta con basse inclinazioni e le forze di attrito tra il pendio e il blocco sono ridotte. Però le condizioni che portano ad uno scivolamento puro sono di difficile realizzazione; perciò, si fa riferimento spesso al moto nominato *rotoscivolamento*, che risulta essere un'unione tra rotolamento e scivolamento. Forme tondeggianti del blocco tenderanno a favorire il rotolamento dopo l'impatto, mentre per blocchi che presentano forme più squadrate l'angolo di impatto inciderà sul successivo movimento. Il blocco infine tenderà ad arrestarsi per l'aumento delle forze di attrito che si sviluppano all'interfaccia blocco-terreno.

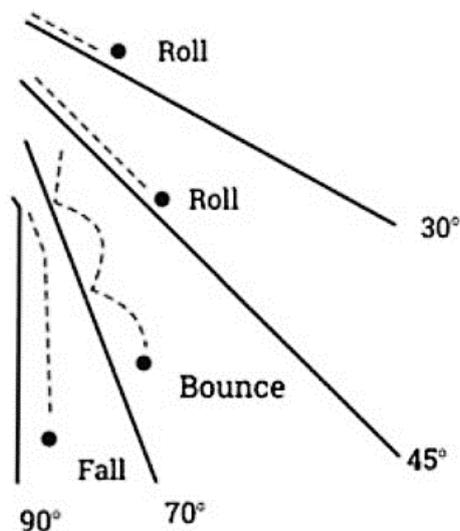


Figura 1.6 – Moti di propagazione di un masso al variare dell'angolo di inclinazione del pendio (Ritchie, 1963)

Si intuisce da queste descrizioni che la caduta massi è un fenomeno complesso che richiede un accurato studio. Infatti, la progettazione di misure di protezione contro la

caduta massi prevede non solo la modellazione topografica della montagna e l'identificazione di porzioni rocciose potenzialmente instabili sui pendii ma anche la simulazione tramite modelli per prevedere la traiettoria durante il moto di caduta. Tramite questa modellazione si riesce a prevedere su base statistica la posizione, la traiettoria, la frequenza, l'altezza di rimbalzo e l'energia della caduta massi lungo il versante. Queste previsioni sono la base per determinare le dimensioni ottimali e la posizione di installazione corretta nel pendio delle strutture di protezione. Infatti, come si può osservare in Figura 1.7, un'opera collocata in una posizione non corretta risulta essere completamente inefficace a intercettare i blocchi in caduta e quindi proteggere eventuali elementi a rischio sottostanti.

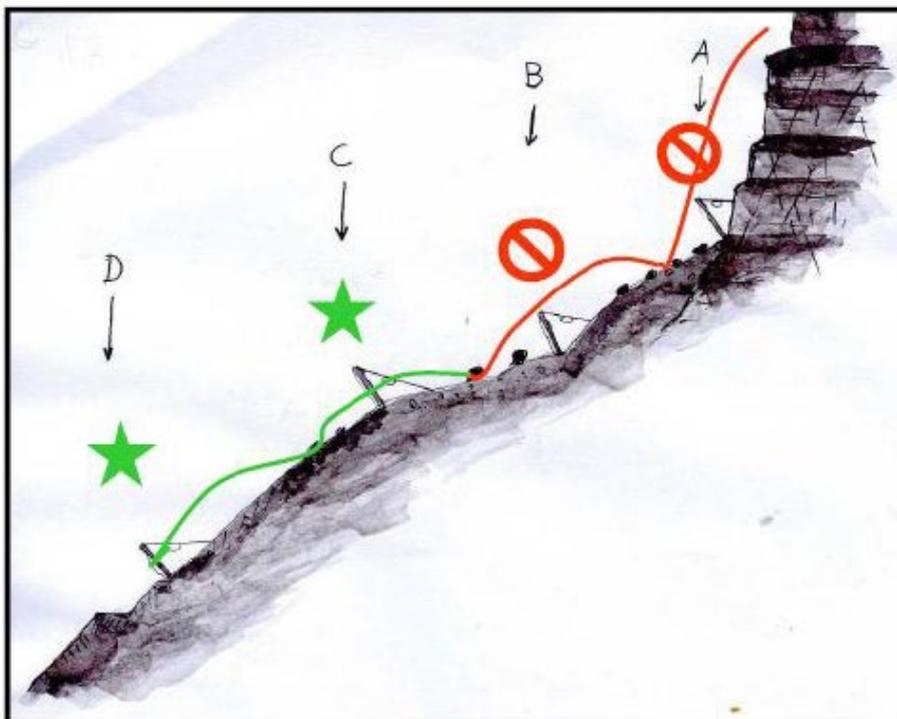


Figura 1.7 - Esempio teorico sull'efficacia di barriere paramassi a rete in relazione al loro posizionamento. (A) i massi hanno elevata velocità e possono perforare la rete o saltarla; (B) i massi hanno velocità medio-alta e traiettorie alte rispetto al pendio; (C) i massi hanno bassa velocità, la capacità di intercettazione della barriera è molto buona ma si possono avere problemi nel montaggio per la distanza dalla strada; (D) i massi hanno bassa velocità, la capacità di intercettazione della barriera è molto buona, il montaggio è facilitato dalla vicinanza con la strada (illustrazione Maccaferri, Cardinali, 2016)

### 1.3 Interventi di difesa sui movimenti franosi

I movimenti franosi si verificano con maggior frequenza in ambienti montani, e le conseguenze indotte dai colamenti detritici portano con sé danni di rilevanza economico e

sociale sulla popolazione, causando danni alle infrastrutture viarie o urbanizzate. Per proteggere quindi tutti gli elementi esposti si possono realizzare svariati interventi.

La scelta progettuale più idonea di un intervento di difesa richiede però un approccio articolato che consideri aspetti quali la geomeccanica del sito in esame, la topografia, l'analisi dei rischi, i prodotti disponibili sul mercato con determinate caratteristiche, ma anche fattori economico e logistico, per esempio l'importanza del bene da proteggere o l'accessibilità al sito per la messa in opera. Da non escludere inoltre sono da considerare anche gli aspetti legati alla sicurezza dei lavoratori e i costi di manutenzione da affrontare negli anni.

In letteratura è possibile trovare una macro-suddivisione di tali interventi in due categorie:

- Interventi di prevenzione che hanno l'obiettivo di stabilizzare il corpo frana ed impedire il distacco di elementi lapidei. Sono anche chiamate opere di difesa attiva poiché intervengono all'origine del problema, andando a ridurre la componente del rischio legata alla probabilità che si verifichi un evento avverso (come verrà spiegato meglio nel capitolo 2.4);
- Interventi di protezione che hanno il compito di intercettare o deviare il materiale detritico distaccatosi. Sono anche chiamati opere di difesa passiva, poiché non agiscono direttamente sulle cause predisponenti, ma vanno a diminuire gli effetti che le frane possono causare sugli elementi esposti, in particolare vanno a diminuire la componente del rischio legata alla vulnerabilità.

È bene precisare che quando si interviene su un versante complesso ed esteso, può capitare di ricorrere all'uso congiunto di interventi di difesa attivi e passivi, al fine di raggiungere un adeguato livello di sicurezza.

### 1.3.1 INTERVENTI DI PREVENZIONE

Si elencano di seguito alcuni tra i più comuni tipi di intervento:

- interventi che modificano la geometria del versante servono per ridurre le forze instabilizzanti agenti e/o eliminare volumi di roccia instabili. Classici esempi sono la riprofilatura del versante per ridurre le pendenze tramite mezzi meccanici o esplosivo, disaggio a mano di piccoli elementi lapidei;
- interventi che modificano le condizioni piezometriche servono per accelerare la dissipazione delle pressioni interstiziali. Classici esempi di intervento sono i sistemi di *drenaggio superficiali* che permettono di raccogliere ed allontanare le acque

ruscellanti installate per lo più nella zona di cresta, così da impedire l'infiltrazione dell'acqua e di *drenaggio profondo* più costosi rispetto ai primi ma che garantiscono un'efficacia maggiore poiché permettono una riduzione delle pressioni neutre a vantaggio di quelle efficaci;

- interventi che modificano la resistenza meccanica vanno ad applicare una forza stabilizzante tramite elementi esterni all'ammasso roccioso. Tali elementi possono essere tiranti (attivi o pretesi), bulloni, chiodature, iniezioni di miscele appositamente realizzate, spritz-beton oppure contrafforti in calcestruzzo;
- interventi che agiscono sulla superficie dell'ammasso roccioso per proteggerlo contro l'alterazione e ridurre così i danni causati dagli agenti atmosferici. Classici esempi sono i sistemi di impermeabilizzazione superficiale o rivegetazione tramite l'impiego di geosintetici oppure di calcestruzzo proiettato (spritz-beton).

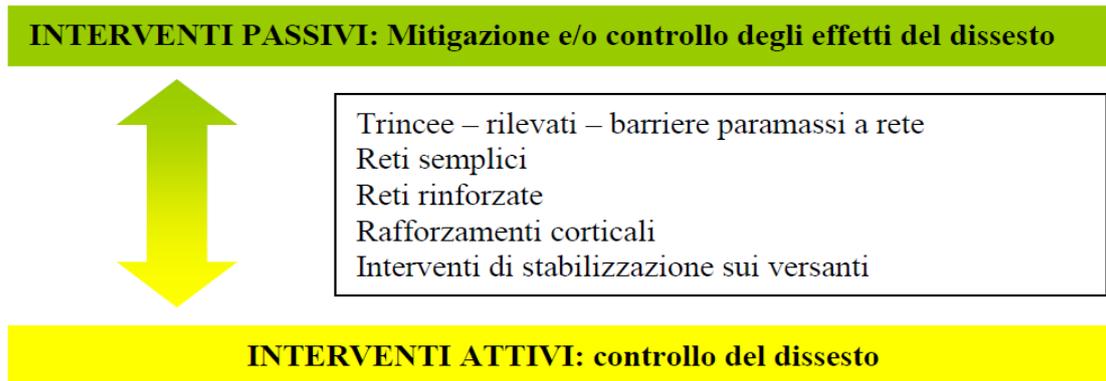
### 1.3.2 INTERVENTI DI PROTEZIONE

Si elencano di seguito alcuni tra i più comuni tipi di intervento (Figura 1.8):

- rilevati in terra (rinforzata o non rinforzata). Usati per blocchi aventi elevata energia cinetica, sono rilevati perlopiù in terra rinforzata che hanno lo svantaggio di un ingombro notevole sul territorio;
- gallerie artificiali a mensola o a sbalzo, con in sommità materiale inerte in grado di dissipare l'energia cinetica di un blocco.;
- installazione di barriera paramassi a rete con diverse tecnologie di smorzamento dell'energia cinetica dei blocchi (rigide, a ridotta deformabilità o ad elevata deformabilità). Sono opere in grado di assorbire l'energia cinetica di un blocco ed arrestarlo tramite un'apposita struttura di intercettazione;
- reti in aderenza (a cortina o rafforzamento corticale). Si tratta di reti metalliche poste in aderenza al versante con lo scopo di guidare al piede il blocco staccato.
- riprofilatura del versante con la creazione di trincee e berme intermedie. Consistono in scavi avente lo scopo di intercettare blocchi lapidei, arrendandoli al loro interno;

Con particolare riferimento alle barriere paramassi e reti in aderenza si dedicherà il Capitolo 3 ad una più approfondita trattazione che verterà sulle tecnologie oggi in commercio, sugli elementi costituenti, sulla progettazione, sulla normativa di

certificazione, sulla progettazione ed infine sulla durabilità, nonché ai fattori che maggiormente influiscono sulla degradazione dell'opera.



*Figura 1.8 - Rappresentazione schematica delle strategie che possono essere adottate a protezione contro la caduta massi (Peila, 2017)*

Oltre alle sopra citate opere strutturali (attive o passive), si possono eseguire anche interventi di tipo non strutturale per mitigare il rischio frana, come per esempio il monitoraggio del versante, oppure efficaci sistemi di allertamento o piani di evacuazione. Per quanto riguarda il monitoraggio, i sistemi di controllo possono essere distinti in tre diverse famiglie (Peila & Oreste, 2001): sistemi premonitori e/o di allerta, sistemi di segnalazione di eventi avvenuti e sistemi di controllo degli interventi di sostegno. Con particolare attenzione ai primi sistemi, essi consistono in strumentazioni che hanno lo scopo di misurare e registrare degli indici di instabilità dell'ammasso roccioso (e.g. spostamenti, tensioni, etc.) utili per lo studio dell'evoluzione del fenomeno. Tuttavia, è opportuno precisare che la velocità elevata o estremamente elevata (velocità > 3m/s) del fenomeno può rendere del tutto inefficace la messa in opera di qualsiasi strumentazione d'allarme (Oliveto et al., 2017).

# CAPITOLO 2.

## CENNI SULLA VALUTAZIONE DEL RISCHIO

---

L'analisi del fenomeno di caduta massi porta con sé un elevatissimo grado di incertezza, in quanto governata da molteplici parametri estremamente variabili e combinati tra di loro, nonché da frequenze ed intensità mai costanti. Attraverso un'analisi accurata del rischio si può però cercare di ridurre gli effetti distruttivi che i movimenti franosi causano sull'ambiente antropico (infrastrutture viarie, centri abitati, persone ecc.).

In questo lavoro di tesi nel quale ci si è occupati della viabilità di competenza della Città metropolitana di Torino è bene dare alcuni spunti sul calcolo del rischio da caduta massi per tale infrastruttura, partendo prima con l'analizzare un quadro di insieme e fornendo alcune definizioni, per poi presentare alcune metodologie presenti in letteratura.

### 2.1 Eventi franosi in Italia

L'Italia è un Paese la cui morfologia è caratterizzata prevalentemente da zone montane e collinari che costituiscono circa il 77% del suolo. Le frane, estremamente diffuse sul territorio nazionale, sono le calamità naturali che si ripetono con maggiore frequenza e, dopo i terremoti, causano il maggior numero di vittime e di danni a centri abitati, infrastrutture, beni ambientali, storici e culturali. Dal dopoguerra ad oggi si è poi assistito ad un aumento del rischio da frana a causa della crescente antropizzazione del territorio, con un'espansione del tessuto urbano spesso in aree instabili, che hanno portato da un lato a far aumentare la probabilità di accadimento di fenomeni franosi, poiché si andava ad alterare la conformazione del territorio e dall'altro a far aumentare l'esposizione con una presenza di beni e persone in zone altamente vulnerabili.

Con il progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) redatto dall'Agenzia per la protezione dell'ambiente e per i servizi tecnici (APAT), si è voluto dare un quadro

completo ed omogeneo sulla distribuzione delle frane sul territorio nazionale, sia per quanto riguarda l'archiviazione delle informazioni, che per la rappresentazione cartografica dei fenomeni franosi, secondo modalità standardizzate e condivise. L'inventario ha censito ad oggi 642785 fenomeni franosi che interessano un'area di circa 23.700 km<sup>2</sup>, pari al 7,9% del territorio nazionale. Di queste circa 26362 sono classificati come eventi di caduta massi.

In Figura 2.1 è possibile osservare tutti gli eventi franosi avvenuti in Italia dal 1971 al 2020, suddivisi in frane che hanno causato morti, dispersi e feriti tra la popolazione e frane che hanno portato le persone ad evacuare le proprie case.

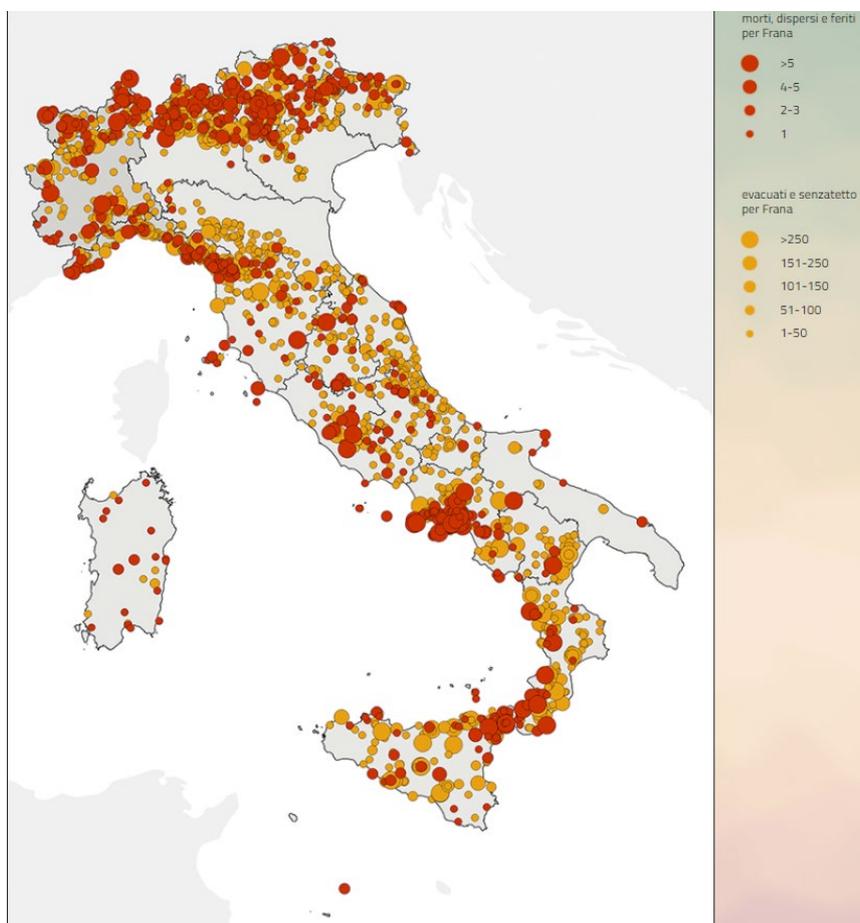


Figura 2.1 - Mappa degli eventi di frana dal 1971 al 2020 (fonte sito POLARIS)

Un così alto numero di eventi franosi ha portato il Governo italiano a cambiare politica riguardo la gestione di tale rischio. Si è passati da azioni svolte solo in fase emergenziale, cioè solo dopo che un dato fenomeno si fosse verificato, ad azioni che portano con sé i concetti di *Previsione* (determinare aree potenzialmente a rischio e fattori scatenanti) e di *Prevenzione* (ridurre la probabilità che si verifichi un danno).

Pertanto, l'analisi e la mitigazione dei rischi connessi, in particolar modo a fenomeni di caduta massi sono questioni di grande importanza per tecnici, politici e responsabili di Protezione Civile (Cancelli & Crosta, 1993; Fell & Hartford, 1997; Crosta & Agliardi, 2003). Negli ultimi anni si è così intensificato lo studio relativo a questo argomento, spaziando da analisi della cinematica, a studi della pericolosità, allo studio di nuovi interventi di difesa, alla zonazione del rischio nelle aree territoriali. Sono stati finanziati anche numerosi studi, volti a migliorare il sistema di sorveglianza e allertamento dei fenomeni.

Tutti questi aspetti trovano maggiore risalto in un ambiente come quello alpino, dove si riscontra un'alta frequenza dei movimenti franosi accompagnata da un sempre maggiore utilizzo del territorio per fini non solo abitativi ma anche ricreativi, con infrastrutture turistiche e di transito tra il nostro paese ed i paesi del centro e nord-Europa.

Con riferimento, in particolare, alle infrastrutture stradali, una valutazione completa delle conseguenze dovrebbe comprendere, i danni arrecati alla strada, alle reti di comunicazione e di energia, ai veicoli, all'eventuale interruzione del traffico, le conseguenze sulle attività economiche circostanti e sui percorsi alternativi, oppure, in assenza di questi ultimi, la perdita di collegamenti con i villaggi e soprattutto le possibili vittime (Bonnard et al. 2004; Li et al. 2009).

## 2.2 Definizioni

Secondo lo "United States Geological Survey" (USGS - Servizio Geologico degli Stati Uniti, 1977) deve essere considerato "*pericolo geologico*" qualsiasi processo o evento potenziale che costituisce una minaccia per la salute, la sicurezza ed il benessere di una collettività o per l'economia di una qualsiasi popolazione. Secondo questa definizione, un terremoto o una frana che accadono in un'area desertica non costituiscono pericolo geologico. Per questo motivo negli anni diversi autori hanno cercato di dare una definizione più completa che racchiudesse le caratteristiche intrinseche delle frane, e cioè le dimensioni del fenomeno, la sua intensità, la frequenza ma anche la localizzazione spaziale. Di seguito quindi si riportano le definizioni attualmente in uso e largamente accette dalla comunità scientifica, che concorrono alla valutazione del Rischio. La nomenclatura e le definizioni di riferimento sono quelle proposte dalle commissioni tecnico scientifiche dell'UNESCO (nell'ambito dell'International Association of Engineering Geology, IAEG).

### Rischio (R)

Il rischio viene solitamente definito come una misura della probabilità di conseguenze negative per la vita, la salute, le proprietà o l'ambiente, derivanti dall'esposizione ad un fenomeno pericoloso (hazard) di un certo tipo e di una certa intensità, in un certo lasso di tempo ed in una certa area (Smith, 2004). Il rischio, quindi, viene valutato solo dopo aver definito tutti in parametri in gioco.

$$R = (H \cdot E) \times V \times Val = pi \times V \times Val = pi \times D$$

Nel caso di elementi statici (per esempio le abitazioni) l'esposizione  $E=1$ .

- Pericolosità (H) è la probabilità  $p$  che un dato fenomeno potenzialmente distruttivo  $F$  (di una data intensità) si verifichi in un dato tempo e in una data area.  
(Se non si considera la probabilità temporale si parla di *rischio relativo*);
- Esposizione (E) è legata alla probabilità che un elemento (popolazione, attività economiche, strutture, ecc.) sia esposto a un determinato pericolo, cioè si trovi in una determinata area in un dato momento (mobilità dell'elemento);
- Probabilità di impatto (pi) è il prodotto tra la pericolosità e l'esposizione;
- Vulnerabilità (V) è il grado di perdita di un dato elemento o insieme di elementi esposti al verificarsi di una frana con una data intensità ( $I$ ). è spesso espresso su una scala da 0 (nessuna perdita) a 1 (perdita totale);
- Intensità (I) è la previsione dei parametri geometrici (areali e/o volumetriche) e meccanici (velocità ed energia) relativi al potenziale distruttivo di una frana. I parametri possono essere descritti quantitativamente o qualitativamente.
- Elementi a rischi (El) possono essere popolazione, opere edili ed ingegneristiche, infrastrutture, attività economiche, elementi culturali nell'area interessata dall'evento;
- Valori degli elementi a rischio (Val), valori in termini di costi, pubblica utilità, importanza ambientale per ogni elemento a rischio. Si tiene generalmente conto di queste tipologie di valore:
  - fisico: costo dell'elemento;
  - economico: relativo all'attività manifatturiere o commerciale;
  - sociale: relativo alla presenza di persone di utilità sociale;
  - ambientale: relativo a flora e fauna.
- Danno ( $D$ ) è il prodotto tra la vulnerabilità ( $V$ ) e il valore ( $Val$ )

$$D = V \times Val$$

## 2.3 Procedure di calcolo del rischio su infrastrutture viarie

Grazie agli elementi che descrivono il rischio, introdotti nel paragrafo precedente, si può ora fornire una procedura generale per il suo calcolo, facendo riferimento in particolare al rischio generato dalla caduta massi che interagisce con le infrastrutture viarie.

Il primo step per eseguire una stima del rischio è l'identificazione del fenomeno che potrebbe causare danni, in termini di geometria, caratteristiche meccaniche o di altro tipo. È importante individuare il tipo di fenomeno che si può verificare in una data area facendo riferimento sia ad uno studio geomorfologico ma anche ad un'analisi storica di eventi franosi pregressi che si sono verificati. Da questi dati si potrà stabilire quali possono essere le cause predisponenti a fenomeni di dissesto.

Per definire scenari di rischio più realistici è importante valutare l'area di innesco di un movimento franoso, quanto sarà grande e quanto veloce. Quindi, capire l'intensità del fenomeno ed infine individuare qual è la sua ricorrenza nel tempo cioè calcolare il periodo di ritorno.

Per quanto riguarda i fenomeni franosi molti modelli previsionali riportati in letteratura si limitano normalmente a definire dove e con quale probabilità un determinato fenomeno può accadere, senza determinare esplicitamente i tempi di ritorno e l'intensità. In tal senso esistono in letteratura pochi tentativi di effettuare una determinazione completa della pericolosità (DRM 1988, 1990; Del Prete et al., 1992; Fell, 1994). Anche se nei lavori di De Biagi et al. (2017) si è cercato di proporre una stima del volume del blocco di progetto a partire da dati statistici di blocchi che si sono staccati nel tempo, in generale nello studio della caduta massi, i volumi liberati e il periodo di ritorno costituiscono un aspetto di difficile valutazione soprattutto per la difficoltà di raccogliere dati da eventi passati. Inoltre, aumentando la scala di analisi, ovvero l'estensione dell'area studiata, i costi per le indagini aumentano in modo esponenziale (Marchelli et al., 2021).

La scelta della scala di lavoro si riflette in modo non trascurabile sulla selezione dell'approccio metodologico da adottare. Infatti, benché da un punto di vista prettamente teorico ogni metodo sia applicabile a qualunque scala di lavoro, esistono delle importanti limitazioni: così, ad esempio, se da un lato l'adozione di un metodo statistico può risultare problematico a una scala di dettaglio e per aree di limitata estensione (a causa dell'assenza di un campione di fenomeni sufficientemente rappresentativo), dall'altro un approccio di tipo deterministico, basato ad esempio sul calcolo del fattore di sicurezza

presenta delle controindicazioni se riferito ad una scala regionale (Aleotti & Polloni, 2005). I metodi per il calcolo della pericolosità possono essere suddivisi in due grandi categorie *metodi qualitativi* e *metodi quantitativi*. I primi si basano su interpretazioni soggettive, e pervengono a una zonazione della pericolosità in termini descrittivi. Hanno però il vantaggio di essere comprensibili, facili da applicare, speditivi ed economici. Tra i più usati si hanno i rilievi geomorfologici in situ e metodi di sovrapposizione di mappe indicizzate. I metodi quantitativi si basano invece su criteri oggettivi e con risultati accurati e il grande vantaggio consiste nel fatto che sono riproducibili, cioè in contesti differenti si riescono ad ottenere risultati simili. Però richiedono un processo di calcolo lungo e complesso e qualche volta i dati non sono disponibili. Tra i più usati si hanno modelli statistici e modelli geomeccanici. Nel paragrafo 2.3.3 si espone un esempio di calcolo del rischio utilizzando due metodi quantitativi.

Una volta valutata la pericolosità del fenomeno, in termini sia dell'aria di run-out che di intensità è necessario considerare gli elementi a rischio, che possono essere persone, abitazioni, infrastrutture, attività economiche, ambiente ecc., presenti nell'area soggetta a movimenti franosi. Il valore dell'elemento a rischio è una stima qualitativa, che solitamente viene calcolato come il valore del singolo elemento moltiplicato poi per il numero complessivo degli elementi presenti. Il valore economico dipende dalla zona di indagine in cui si può verificare l'evento franoso.

L'esposizione al rischio è una caratteristica degli elementi a rischio che spesso non viene considerata in modo esplicito. In generale essa si riferisce a quanto e come un certo fenomeno interagisce con gli elementi a rischio, ed è pertanto in funzione sia delle caratteristiche proprie dell'elemento, sia dell'intensità con cui l'elemento interagisce con il fenomeno potenzialmente pericoloso. Per quanto riguarda i fenomeni naturali, l'esposizione è legata essenzialmente alla mobilità/staticità dell'elemento a rischio ed in particolare, alla probabilità che tale elemento si verifichi nel punto x, y al tempo t (Brognini, 2010). Se il movimento però possiede una cinematica veloce oppure sia già avvenuto (esempio blocchi di massi caduti in mezzo ad una strada), l'esposizione degli elementi mobili (macchine, pedoni, ecc.) dipenderà dalla capacità di reazione dell'elemento. Il tempo di reazione a sua volta sarà influenzato da altri fattori quali la visibilità del fenomeno, la reattività dell'elemento esposto al rischio, la presenza di vie di fuga.

### 2.3.1 RISCHIO ACCETTABILE

Una volta definito il rischio totale, tramite le sue componenti, è opportuno inserire nel processo valutativo la definizione di una soglia di *rischio accettabile*, in modo da passare ad una analisi di rischio vera e propria, e quindi alle problematiche legate, alla sua gestione (Fell e Hartford,1997). È opportuno quindi confrontare il valore del rischio totale con il rischio accettabile. Laddove il rischio calcolato è maggiore della soglia tollerabile, è necessario adoperare una serie di interventi per mitigare il rischio e portarlo al di sotto del livello accettabile.

Per *rischio accettabile* si intende le conseguenze che una società è disposta ad accettare senza operare nessun tipo di intervento. Solitamente se una società o un ente decide di non intervenire e poiché i costi per ridurre tale rischio sono superiori alle perdite previste. Concetto che non va confuso con il *rischio residuo* (o tollerabile) che è invece l'aliquota del rischio totale che perdura anche dopo aver eseguito gli interventi di mitigazione e che quindi non si riesce ad eliminare. In particolare, è la soglia di rischio con cui la società è disposta a convivere una volta messi in campo le azioni di mitigazione, controllo, monitoraggio e gestione.

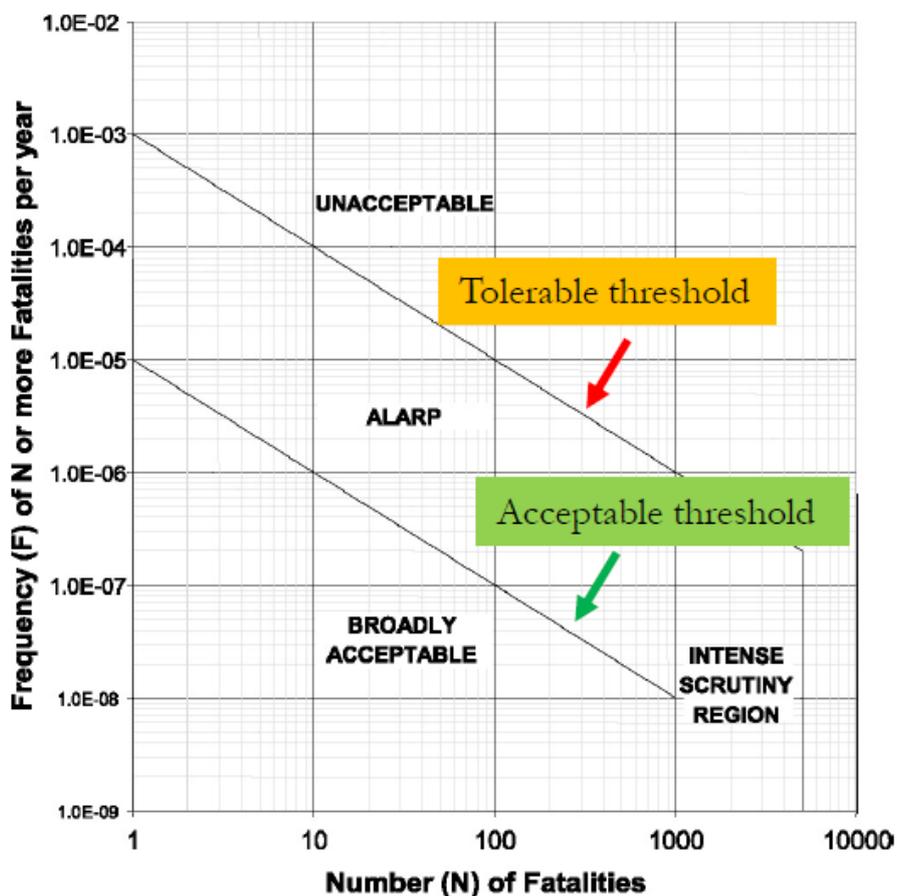


Figura 2.2 - Curva Frequenza-Fatalità (Marchelli M., 2020)

In Figura 2.2 è possibile osservare le soglie di rischio tollerabile e rischio accettabile. Se il rischio di perdita della vita è maggiore della soglia tollerabile, è necessario ed inevitabile cercare di far abbassare il suo valore tramite opportuni interventi di mitigazione ed arrivare alla zona ALARP (As Low As Reasonably Practicable). A questo punto, laddove sia possibile, è opportuno abbassare ulteriormente il valore del rischio per scendere la soglia accettabile. Le soglie di rischio accettabile possono variare in base del fenomeno preso in esame.

La condizione di accettabilità deriva dal confronto di valori di rischio calcolati con opportuni valori di riferimento (Nielsen et al. 1994; Redmill e Anderson 2006). Si riportano in Tabella 2-1 i valori soglia del rischio.

*Tabella 2-1 – Valori soglia del rischio espresso come numero di decessi su anno. In rosso si hanno i valori di rischio inaccettabile, in giallo la zona ALARP, in verde la zona di rischio accettabile.*

<b>Rischio</b> (n° decessi/anno)
$10^{-2}$
$10^{-3}$
$10^{-4}$
$10^{-5}$
$10^{-6}$
$10^{-7}$
$10^{-8}$

È bene precisare però che la normativa italiana per gli smottamenti in genere, e le frane in particolare, non fornisce valori soglia di riferimento (Mignelli et al., 2012). Tali valori fanno riferimento a procedure per opere di ingegneria generale, impianti industriali, sicurezza dei lavoratori e zonazione delle aree soggette a valanghe.

### 2.3.2 UN METODO DI ANALISI DEL RISCHIO QUALITATIVO

Il dipartimento dei trasporti negli Stati Uniti ha elaborato una metodologia per valutare l'esposizione per garantire la sicurezza del traffico stradale in relazione al pericolo di frane, chiamata Rockfall Hazard Rating System. Tale modello consente di valutare il rischio sulle strade e definire una priorità di intervento. Prima era valutata considerando la gravità della situazione geologica o l'importanza della strada. I parametri fondamentali sono nove (Figura 2.3):

- altezza della scarpata;
- efficacia dei valli paramassi esistenti;

- tempo necessario ad un veicolo per l'attraversamento di un'area a rischio (grado di esposizione);
- distanza nicchia di distacco - strada in linea d'aria;
- larghezza della strada;
- caratteristiche geologiche;
- volume dei crolli pregressi;
- presenza d'acqua;
- storia delle instabilità da crollo.

CATEGORY		RATING CRITERIA AND SCORE				
		3 POINTS	9 POINTS	27 POINTS	81 POINTS	
SLOPE HEIGHT		25 FEET	50 FEET	75 FEET	100 FEET	
DITCH EFFECTIVENESS		Good catchment	Moderate catchment	Limited catchment	No catchment	
AVERAGE VEHICLE RISK		25% of the time	50% of the time	75% of the time	100% of the time	
PERCENT OF DECISION SIGHT DISTANCE		Adequate sight distance, 100% of low design value	Moderate sight distance, 80% of low design value	Limited sight distance, 60% of low design value	Very limited sight distance 40% of low design value	
ROADWAY WIDTH INCLUDING PAVED SHOULDERS		44 feet	36 feet	28 feet	20 feet	
G E O L O G I C	C A S E 1	STRUCTURAL CONDITION	Discontinuous joints, favorable orientation	Discontinuous joints, random orientation	Discontinuous joints, adverse orientation	Continuous joints, adverse orientation
		ROCK FRICTION	Rough, Irregular	Undulating	Planar	Clay infilling, or slickensided
	C A S E 2	STRUCTURAL CONDITION	Few differential erosion features	Occasional erosion features	Many erosion features	Major erosion features
		DIFFERENCE IN EROSION RATES	Small difference	Moderate difference	Large difference	Extreme difference
BLOCK SIZE		1 Foot	2 Feet	3 Feet	4 Feet	
VOLUME OF ROCKFALL/EVENT		3 cubic yards	6 cubic yards	9 cubic yards	12 cubic yards	
CLIMATE AND PRESENCE OF WATER ON SLOPE		Low to moderate precipitation; no freezing periods; no water on slope	Moderate precipitation or short freezing periods or intermittent water on slope	High precipitation or long freezing periods or continual water on slope	High precipitation and long freezing periods or continual water on slope and long freezing periods	
ROCKFALL HISTORY		Few falls	Occasional falls	Many falls	Constant falls	

Figura 2.3 – Scheda riassuntiva del Rockfall Hazard Rating System

Il criterio, in base al quale è possibile valutare le possibili conseguenze di un eventuale dissesto, consiste nell'assegnare di un punteggio ai nove elementi sopra elencati. Tale elenco, però, mette in evidenza la difficoltà nella valutazione del rischio per problemi di tipo dinamico, ossia in cui una parte degli elementi a rischio sia stazionaria ed una parte sia invece di tipo transitorio (Crosta & Locatelli, 1999).

### 2.3.3 UN METODO DI ANALISI DEL RISCHIO QUANTITATIVO

Come si è appreso nei paragrafi precedenti, la caduta massi è un fenomeno poco prevedibile a causa dei molteplici fattori che entrano in gioco e con degli effetti tal volta

disastrosi per tutti gli elementi esposti a tale rischio. In un Paese come l'Italia, dove si sono registrate negli anni numerose frane e smottamenti e dove le infrastrutture viarie di trasporto attraversano un gran numero di queste, considerata la loro importanza per l'economia e per i collegamenti tra le diverse città, l'esigenza di quantificare il rischio lungo le arterie stradali, rappresenta un aspetto importante per gli enti gestori che devono attuare piani di mitigazioni efficaci.

Per le strade, l'esposizione al rischio caduta massi dipende essenzialmente da tre probabilità:

- la probabilità annuale che si verifichi un distacco di roccia;
- la probabilità che mentre si verifichi tale distacco, nel tragitto di caduta sia presente un veicolo;
- la probabilità che una o più persone vengano uccise durante il verificarsi di tale fenomeno oppure che i danni arrecati alla strada dall'impatto dalla caduta di massi causino un incidente.

Di seguito si andrà quindi ad illustrare un metodo per il calcolo del rischio, proposta da Marchelli et al. (2021), che accoppia due metodi quantitativi: il Quantitative Risk Assessment (QRA) ed Event Tree Analysis (ETA). L'esigenza di ricorrere a metodi quantitativi risiede nel fatto che, come già esposto nel paragrafo 2.3, tali metodi sono oggettivi e accurati e soprattutto sono riproducibili e confrontabili, ideali quindi per uno studio del rischio alla piccola scala.

Secondo queste procedure, è possibile calcolare un'accurata valutazione della probabilità annuale di esiti avversi considerando tutti gli scenari che possono portare a una morte o a un infortunio. Viceversa, il metodo consente di valutare la condizione di traffico ammissibile, data una soglia accettabile per il rischio. Ciò rappresenta un punto chiave per la gestione del rischio nelle aree montane (Marchelli, 2020).

L'unione dei due metodi, spiegano gli autori, ha consentito di superare i limiti di entrambi e di tener conto delle difficoltà a reperire i dati di input.

Infatti, il metodo ETA parte dall'assunto che un evento franosi si verifichi, per esempio l'impatto di un blocco contro l'elemento considerato (es. strada) avviene sicuramente. Mentre QRA permette di stimare la probabilità che un dato volume raggiunga l'elemento considerato in un tempo specifico.

Il metodo QRA parte individuando delle possibili zone di distacco per poi individuare scenari realistici di caduta massi in termini di volume iniziale e tempo di ritorno. Secondo

tale metodo una strada può essere suddivisa in n sezioni. Ogni k-esima sezione la si può considerare omogenea poiché si può assegnare un'unica probabilità temporale  $P_{(T:B)}^l$  e una spaziale  $P_{(S:B)}^l$ . L'equazione per il calcolo del rischio può essere scritta:

$$R = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^p \sum_{m=1}^q (P_{T:B}^{l,k} P_{(S:B)}^{l,m,k} E^{m,k} V^{l,m,k} W^{m,k}) \quad (1)$$

Dove  $P_{T:B}^{l,k}$  è la probabilità temporale, cioè la probabilità di accadimento del distacco dell'l-iesimo blocco;  $P_{(S:B)}^{l,m,k}$  è la probabilità spaziale che il blocco staccato raggiunga l'm-esimo elemento a rischio;  $E^{m,k}$   $V^{l,m,k}$   $W^{m,k}$  sono rispettivamente l'esposizione, cioè la probabilità che un dato elemento si trovi nel punto di impatto in cui il blocco di roccia si stacca, la vulnerabilità e il valore.

Nell'ambito dell'analisi del rischio stradale, considerando i veicoli e le persone come elementi a rischio, una soluzione ragionevole potrebbe essere quella di ipotizzare che anche piccoli blocchi producano conseguenze. Pertanto, la valutazione di una correlazione tra volume di rilascio e periodo di ritorno (De Biagi et al. 2017; De Biagi 2017) può essere trascurato, e il periodo di ritorno può essere stimato indipendentemente dell'iesima magnitudo o classe di volume, attraverso un inventario degli eventi passati (Dussauge-Peisser et al., 2002).

Di conseguenza, l'equazione (2) può essere semplificata trascurando la somma sui p volumi totali dei blocchi. Inoltre, i termini  $P_{T:B}^{l,k} P_{(S:B)}^{l,m,k}$  sono valutati con riferimento al sistema su cui si muovono gli elementi a rischio, ovvero la strada, piuttosto che agli elementi stessi, ovvero i veicoli (o i pedoni). Il risultato diventa:

$$R = \sum_{k=1}^n [P_{T:B}^k P_{(S:B)}^k \sum_{m=1}^q (E^{m,k} V^{l,m,k} W^{m,k})] \quad (2)$$

I termini  $P_{T:B}^k P_{(S:B)}^k$  fanno riferimento all'analisi di rischio QRA, mentre  $\sum_{m=1}^q (E^{m,k} V^{l,m,k} W^{m,k})$  a quella ETA.

L'analisi ETA parte dal verificarsi di un evento iniziatore, e da qui vengono analizzati tutti i possibili percorsi, cioè gli scenari che si possono verificare. Questi vengono considerati come dei *rami*, mentre le connessi tra loro *nodi* (eventi). I singoli rami permettono la transizione da un nodo all'altro lungo il percorso, definendo alternative binarie (Si/No, ovvero Accade/Non Accade), fino al raggiungimento dello stato finale (end point). Tali punti identificano un unico risultato, la cui probabilità è data dal prodotto delle probabilità associate ad ogni ramo di tale percorso. L'evento iniziatore in questo caso è rappresentato

dal masso che impatta sulla strada. Seguendo la procedura suggerita da Peila e Guardini (2008) e Mignelli et al. (2012), a partire da questo si possono sviluppare due scenari: i blocchi possono colpire o meno l'elemento a rischio e, nell'ultimo caso, se i blocchi non colpiscono la strada possono rimbalzare su di essa, danneggiarla oppure arrestarsi su di essa. Si riporta di seguito, Figura 2.4, il riquadro ed albero di eventi proposto nell'articolo.

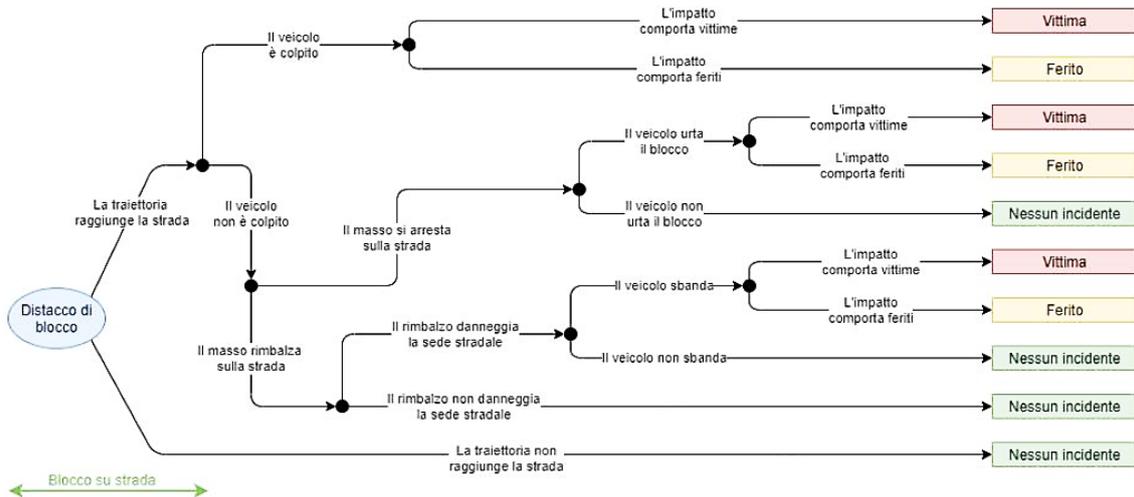


Figura 2.4 - Albero ad eventi per il distacco di un blocco che impatta su una strada

Dal grafico si evince come solo tre sono i casi in cui si può verificare un incidente mortale. Per ogni k-esimo tratto di strada, la probabilità di aver un incidente mortale è:

$$PIM^k = PIM_i^k + PIM_s^k + PIM_d^k \quad (3)$$

dove il pedice “i” si riferisce ad un veicolo in movimento colpito dal blocco in caduta, “s” un veicolo in movimento urta il blocco fermo sulla strada e “d” un veicolo in movimento sbanda per danni sulla strada a causa del rimbalzo dal blocco su di essa.

Per il calcolo dei tre parametri si rimanda all'articolo citato in precedenza. Qui ci si limita a riportare alcune informazioni utili. Per il calcolo del primo termine  $PIM_i^k$  è opportuno segnalare la contemporaneità spaziale e temporale che un blocco in caduta impatti contro un veicolo, per il suo calcolo è necessario determinare le condizioni di traffico della strada, il traffico orario annuo e il tempo di transito di un veicolo. In generale, nel corso dell'anno possono essere raggiunte condizioni di traffico differenti, in termini di velocità massima ammissibile del veicolo, soprattutto in caso di strada di montagna, spesso chiusa o con limitazioni alla circolazione nel periodo invernale (Marchelli et al., 2021). Per gli altri due termini è possibile seguire le medesime indicazioni, considerando in aggiunta anche la distanza visiva di arresto.

Come suggerito dagli autori unendo le formule del calcolo del rischio con il metodo QRA ed ETA, il rischio può essere calcolato attraverso la seguente formula:

$$R = \sum_{k=1}^n [P_{(T:B)}^k P_{(S:B)}^k PIM^k] \quad (4)$$

Il termine  $P_{(T:B)}^k$  che indica la frequenza dei blocchi distaccati è di difficile stima. Da un catalogo di eventi passati si può determina però il numero annuo di blocchi che raggiungono la strada indicato con  $N_B$ . Solitamente però questo dato fa riferimento ad un punto specifico del tracciato. Gli autori allora suggerisco di estendere tali dati a tutti i tratti di strada che un blocco può raggiungere dalla zona sorgente. Per raggiungere tale obiettivo si possono effettuare un'analisi traiettografica, valutando non solo l'estensione dell'area interessata ma anche la probabilità di raggiungimento  $P_{(S:B)}^k$  per il k-esimo tratto di strada. In altre parole, la frequenza è distribuita in base alle probabilità di raggiungimento sul tracciato stradale. Quindi, fondendo l'approccio QRA ed ETA, gli eventi iniziali possono essere considerati come prove di Bernoulli, cioè semplici esperimenti con un esito binario casuale (Agliardi, Crosta e Frattini 2009), e quindi, secondo Hungr et al. (1998), si può affermare che il rischio espresso come probabilità annua di avere un incidente mortale, per una data strada è:

$$R = \sum_{k=1}^n [1 - (1 - PIM^k)^{N_B^k}] \quad (5)$$

Si è ritenuto utile riportare tale metodo in quanto può essere vantaggioso per gli enti gestori che devono valutare e gestire il rischio da caduta massi nelle loro strade. Fornendoli di strumenti utili, essi potranno prendere decisioni sulla limitazione del traffico (in termini di numero di veicoli o passaggi consentiti durante l'anno o in un determinato periodo, oppure in termini di velocità minima o massima richiesta); oppure predisporre interventi di protezione; prevedere la riduzione del rischio e decidere le priorità di intervento. Una volta progettate le opere di difesa sarà possibile eseguire nuove analisi di propagazione per valutare l'efficacia delle misure di mitigazione.

## 2.4 Misure di mitigazione del rischio

Al fine di gestire meglio il rischio indotto dalla caduta massi, esistono delle azioni che possono essere intraprese per mitigarlo. Le misure che possono essere adottate vanno a

diminuire il valore di uno o più parametri che concorrono al calcolo del rischio. Quindi possiamo avere misure che:

- diminuiscono il valore della pericolosità (H), misure cioè che agiscono sulle cause predisponenti o sull'evoluzione del fenomeno. Generalmente si tratta di soluzioni ingegneristiche di tipo strutturale, più in generale sono opere di *Prevenzione* cioè interventi che vanno a ridurre la probabilità che un dato evento si verifichi;
- diminuiscono il valore della vulnerabilità (V), si interviene con opere di *Protezione* che vanno a ridurre le conseguenze dell'evento, per esempio, tramite il consolidamento degli elementi a rischio e realizzando opere di protezione per evitare il contatto tra blocco ed elemento a rischio;
- diminuiscono il numero degli elementi a rischio, attraverso la delocalizzazione dei beni esposti in aree non interessate dal fenomeno, soluzione però di difficile realizzazione;
- diminuiscono il valore dell'esposizione (E), attraverso piani di evacuazione ed allertamento, cioè sgomberando l'area in pericolo;
- diminuiscono le conseguenze, attraverso la pianificazione di strade alternative o modifiche dell'uso designato;
- aumentano i livelli di soglia accettabile, tramite programmi di educazione ed informazione della popolazione.

## **2.5 Il contributo dei dispositivi di protezione nella riduzione del rischio**

Le arterie stradali che percorrono zone montane sono per gran parte della loro estensione esposti a rischio frana o caduta massi. Per garantire un certo livello di sicurezza nei percorsi di montagna si ricorre sovente a misure di prevenzione o protezione oppure a dispositivi per il controllo e la gestione di tali fenomeni. Una volta calcolato il rischio e attuate le dovute misure, si dovrà tener conto degli effetti positivi di essi in termini di riduzione del rischio.

L'obiettivo principale per i gestori di una strada è quella di massimizzare la riduzione del rischio a fronte di una spesa minima per la sua realizzazione. Nonostante l'obiettivo principale resti sempre quello di garantire l'incolumità delle persone che percorrono le strade, installando diverse strutture per la protezione (es. barriere paramassi, reti in

aderenza, gallerie paramassi, rilevati ecc.), l'annullamento del rischio può essere solo teorico ed è più opportuno parlare e definire livelli di rischio accettabile. È quindi necessario dotare gli enti proprietari/gestori delle strade di adeguati strumenti che consentano loro di scegliere tra le soluzioni migliore da attuare per mitigare il rischio.

Come visto, tramite appositi abachi si possono confrontare i valori del rischio calcolati con valori prefissati di rischio accettabile. Da tale confronto i gestori potranno valutare l'accettabilità del rischio esistente oppure se sia necessario intervenire con adeguate protezioni al fine di abbassare il rischio a valori accettabili. È opportuno quindi valutare numericamente la riduzione del rischio che si ottiene tramite adeguati sistemi di protezione così confrontando il valore di rischio iniziale con quello che si ottiene tramite apposite operazioni di protezione, i gestori potranno valutare l'alternativa migliore che consenta di ottenere comunque un valore di rischio accettabile a fronte di una tecnologia economicamente vantaggiosa.

Peila e Guardini (2008) hanno calcolato la riduzione del rischio di incidente mortale che si riesce ad ottenere mediante opportuni dispositivi di protezione installati lungo i pendii. La protezione che le barriere paramassi o le reti in aderenza (opere maggiormente impiegate per proteggere la viabilità) riescono a garantire è esprimibile dalla riduzione dal numero di massi che possono arrivare sulla strada:

$$N'r = (1 - C) Nr \quad (6)$$

Dove  $Nr$  è il numero di eventi di caduta massi per anno che hanno colpito la strada e  $C$  è la capacità di cattura dell'opera, cioè la percentuale di rocce che può essere fermata dal dispositivo. Tale valore non è intrinseco al dispositivo, ma dipende dalle condizioni geometriche e geomeccaniche locali e dalla valutazione statistica delle traiettorie di caduta. Dalle simulazioni delle traiettorie è possibile poi stabilire l'altezza di intercettazione della barriera la capacità energetica e il punto ottimale sul pendio dove installare l'opera per aumentare il valore di  $C$ . Secondo Mignelli et al. (2014), per le barriere paramassi interessate da blocchi fino a  $1 \text{ m}^3$  è stata adottata un'efficacia dell'80%. Per blocchi con volumetrie maggiori si presume una riduzione delle capacità. È ovvio che se l'altezza della barriera cambia (a seguito di impatti per esempio) o la posizione viene modificata la capacità di cattura  $C$  cambierà. Al fine quindi di garantire sempre un'efficacia costante della barriera per mantenere un valore di rischio accettabile bisogna attuare anche opportune campagne di monitoraggio e manutenzione delle opere. Infatti, l'analisi eseguita da Budetta et al. (2016) ha mostrato come in presenza di opere inadeguate o con

un grado di ammaloramento elevato la capacità di cattura decresce mantenendo quindi il rischio iniziale pressoché costante.

Attraverso la valutazione di  $C$ , facilmente calcolabile tramite un'analisi delle traiettorie di caduta, si è in grado poi di determinare la riduzione del rischio (numero di decessi/anno) che l'opera riesce a garantire. Si può così eseguire un'analisi costi-benefici sulla base di valori quantitativi confrontando diverse soluzioni progettuali e scegliendo quella che garantisce un livello di rischio accettabile ed un costo di realizzazione minore.

# CAPITOLO 3.

## DESCRIZIONE DELLE BARRIERE PARAMASSI E RETI IN ADERENZA

---

Il progetto ingegneristico di un'opera in generale e di protezione contro la caduta massi in particolare va a identificare l'obiettivo da raggiungere per ridurre il rischio. I diversi interventi e le diverse tecnologie invece rappresentano gli strumenti per giungere a tale obiettivo. Si intuisce così, che per arrivare al medesimo obiettivo l'ingegnere/progettista può seguire diverse strade ugualmente giuste.

Di seguito si andrà a ricapitolare i principali interventi di protezione e a descrivere nel dettaglio alcuni possibili interventi da realizzare per la protezione contro la caduta massi, soffermandosi in particolare sulla descrizione di barriere paramassi e reti in aderenza. È bene precisare che spesso alcuni interventi vengono utilizzati in maniera combinata, e la scelta più idonea dipenderà dalla morfologia del pendio, dall'intensità e dalla tipologia dell'evento, ma anche da fattori economico-logistici di realizzazione.

### 3.1 Interventi di protezione contro la caduta massi

La caduta massi è il fenomeno che si presenta con maggior frequenza nelle zone montane mettendo a rischio le infrastrutture viarie di collegamento e le zone urbanizzate. Le conseguenze indesiderate causate da questo fenomeno comportano un notevole impatto sia sociale che economico. Per contrastare tali fenomeni il progettista può ricorrere a diverse metodologie tecnico-progettuali.

Si ricorda, come già accennato nel capitolo 1.3, che tutti gli interventi si possono classificare in due macrocategorie, ovvero: opere di prevenzione (difesa attiva) che intervengono all'origine del problema stabilizzando il corpo frana; ed opere di protezione

(difesa passiva) che non agiscono direttamente sulle cause predisponenti ma vanno a diminuire gli effetti deviando e/o intercettando il materiale distaccatosi.

Il progettista può quindi intervenire prevenendo il dissesto, stabilizzando la parete con ancoraggio o chiodature oppure rimuovendo le porzioni instabili di roccia. Le rimozioni di queste porzioni possono essere eseguite, nei casi più semplici, tramite disaggi manuali, effettuati da personale fortemente specializzato, nei casi in cui invece la situazione analizzata richiede l'asportazione di grossi volumi di roccia si ricorre all'impiego di mezzi meccanici o ad esplosivi.

Un'altra scelta progettuale per mitigare il rischio può essere quella di intercettare o deviare i massi in caduta ed evitare quindi che interferiscano con l'elemento a rischio, tramite l'installazione di opere passive. Esistono diversi modi per raggiungere tale obiettivo. Tra gli interventi più comuni si citano:

- le gallerie paramassi (a mensola o a portale) (Figura 3.1) che sono generalmente realizzate in calcestruzzo armato gettato in opera o in elementi prefabbricati in calcestruzzo e ricoperte da uno strato di materiale granulare che ha la funzione di assorbire e dissipare gli impatti dei blocchi in caduta. Sono strutture installate in zone dove non si riesce a realizzare opere di protezione più economiche e sono;
- i rilevati paramassi, (Figura 3.1) rappresentano il metodo di difesa passiva più efficace ed economico a fronte però di un impatto non trascurabile in termini di ingombro sul territorio. Sono realizzati prevalentemente in terra rinforzata in forma trapezoidale e riescono ad assorbire elevate energie cinetiche fino a 50000 kJ. Si ricorre ad un loro impiego se si dispone di un'ampia porzione di terreno per poter installare l'opera e se i blocchi in caduta sono dotati di elevate energie cinetiche;
- le barriere paramassi che sono strutture passive, costituite dall'insieme di più elementi metallici e che riescono ad assorbire elevate energie cinetiche dei blocchi impattanti, la cui trattazione sarà approfondita nel capitolo 3.3
- le reti in aderenza per le quali bisogna effettuare un'ulteriore suddivisione, in reti a cortina e reti rinforzate. Le prime tendono a guidare semplicemente i blocchi al piede del versante controllandone il moto di caduta e riducendone la velocità e vengono classificate come interventi di tipo passivo, mentre le reti rinforzate sono classificate come interventi di tipo misto attivo/passivo in quanto provvisti sia di un sistema di chiodatura che consolida la parete e sia di una rete per contenere il

materiale che si stacca dal versante. La trattazione sarà approfondita nel paragrafo 3.4



*Figura 3.1 – Sulla sinistra un esempio di una galleria paramassi, a destra un esempio di rilevato paramassi*

### **3.2 Riferimento Normativo per barriere paramassi e reti in aderenza**

Il riferimento normativo, in Italia, in materia di progettazione e costruzione è costituito dalle Norme Tecniche per le Costruzioni, definite con il Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 (in seguito NTC 2018). Tali norme sono diventate fondamentali per un progettista al fine di eseguire la progettazione, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione di una struttura. Si precisa che le NTC si rifanno a delle norme europee, sempre in materia di costruzioni, denominati Eurocodici, con la differenza che le NTC sono rappresentate da un solo testo unico integrato con una circolare esplicativa e hanno valenza esclusivamente italiana, mentre gli Eurocodici sono una serie di documenti specifici per ogni argomento tecnico, e valgono in tutta Europa.

Per quanto attiene le barriere paramassi e le reti in aderenza però né le NTC 2018 né gli Eurocodici, affrontano una trattazione specifica ed approfondita riguardo tali strutture. Per questo motivo la progettazione, la manutenzione e la certificazione di queste opere è rimandata alla consultazione di altre norme tecniche estere, linee guida o raccomandazioni elaborate da enti nazionali o internazionali di unificazione.

In particolare, per il fenomeno della caduta massi e la progettazione delle opere di difesa si può far riferimento alla norma UNI 11211-*Opere di difesa dalla caduta massi*, fornite dall'ente di unificazione italiano (UNI) oppure alla norma ONR-24810 data dell'ente di certificazione austriaco (ONR) e che rappresenta nel panorama europeo la norma più

completa riguardo la caduta massi, poiché in essa si affronta il problema nella sua totalità considerando anche parametri ritenuti secondari da altre norme.

Nel dettaglio si analizzerà la norma UNI 11211-*Parte 4: progetto definitivo ed esecutivo*, la cui consultazione resta comunque facoltativa e non cogente. In particolare, nel paragrafo 3.3.3 si evidenzierà la parte relativa alla progettazione e al dimensionamento delle barriere paramassi, e nel paragrafo 3.4.2 per le reti in aderenza.

Per quanto attiene la progettazione delle fondazioni per le barriere e delle chiodature per le reti in aderenza, il riferimento normativo principale restano sempre le NTC 2018. In particolare, per il dimensionamento e le verifiche delle fondazioni su pali si dovrà consultare il capitolo *6.4.3-Fondazioni su Pali* o il capitolo *4.3-Costruzioni composte di Acciaio-Calcestruzzo* laddove le fondazioni dei montanti risultano essere progettate in calcestruzzo armato, mentre nel capitolo *6.6-Tiranti di Ancoraggio* sono riportate le indicazioni da rispettare per il dimensionamento e le verifiche delle fondazioni degli ancoraggi.

Per quanto riguarda invece gli aspetti legati alla manutenzione, alle ispezioni e ai monitoraggi delle opere si farà riferimento invece alla parte 5: *Ispezione, Monitoraggio, Manutenzione e ruolo dei Gestori*, sempre dalla UNI 11211, entrata in vigore nel maggio del 2019 e alla norma UNI 11156-*Valutazione della durabilità dei componenti edilizi*, che definisce la durabilità di un prodotto (barriera paramassi o rete in aderenza) in termini di vita utile e affidabilità. Si precisa che, come si evidenzierà meglio successivamente, essendo le barriere paramassi e le reti in aderenza strutture costituite da più elementi, per la conservazione e la manutenzione si citeranno altre norme che riguardano esplicitamente il singolo elemento e non l'intera opera, per esempio si farà riferimento alla norma UNI EN 13411-*Estremità per funi in acciaio*, per quanto riguarda la corretta installazione delle funi in acciaio, oppure la norma EN ISO 9223-*Corrosion of metals and alloys* per quanto riguarda la corrosione degli elementi metallici.

Un discorso separato invece va affrontato per quanto riguarda la commercializzazione delle barriere paramassi e reti in aderenza, e le norme in merito alla certificazione e ai test da dover eseguire. Queste tipologie di opere, infatti, vengono inquadrare dalle NTC 2018 nel capito 11.1 come materiali e prodotti ad uso strutturale. Per tutti i materiali e prodotti strutturali è obbligatorio che il produttore si doti di un documento che identifichi e certifichi quanto da lui realizzato, ovvero il fabbricante per il suo materiale o prodotto, deve ottenere la marchiatura CE che attesti che sia conforme ad una norma armonizzata

europea e che gli permetta anche di poter commercializzare tale prodotto all'interno dell'Unione Europea.

Il Regolamento UE 305/2011 fissa le condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione ed abroga la Direttiva 89/106/CEE. Riportando l'articolo 8 del Reg. 305/2011 *"...la marcatura CE è l'unica marcatura che attesta la conformità del prodotto da costruzione alla prestazione dichiarata in relazione alle caratteristiche essenziali, che rientrano nell'ambito di applicazione di tale norma armonizzata o dalla valutazione tecnica europea"*, si evince quindi che la marcatura CE garantisce a chi acquista che il prodotto è stato sottoposto all'analisi di procedure codificate a livello europeo.

Per poter ottenere la marcatura CE il fabbricante deve identificare e qualificare i materiali e i prodotti utilizzati nella produzione dell'opera. In accordo con le NTC 2018, al capitolo 11.1, si possono configurare diversi casi (Figura 3.2):

- a) per i prodotti ad uso strutturale è disponibile una norma europea armonizzata, pubblicata in GUUE (Gazzetta Ufficiale dell'Unione Europea). In tal caso l'impiego nelle opere è possibile solo se accompagnati dalla 'Dichiarazione di Prestazione' (DoP) emessa dal fabbricante e dalla marcatura CE;
- b) per i prodotti ad uso strutturale non è presente una norma europea armonizzata, ma le modalità e le procedure vengono normate nelle NTC 2018;
- c) per i prodotti che non rientranti nelle tipologie sopra citate il fabbricante al fine di ottenere la marcatura CE potrà richiedere ad un ente terzo, il TAB (Technical Assessment Body), la Valutazione Tecnica Europea (ETA) del proprio prodotto. In alternativa potrà rivolgersi al Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (C.S.LL.PP.) per farsi rilasciare un Certificato di Valutazione Tecnica (CVT).

L'organizzazione dei TABs (Technical Assessment Bodies) ha quindi il compito di valutare i prodotti da costruzioni solo nel caso i cui non vi siano norme europee armonizzate o non sia presente nelle NTC 2018 una specifica prescrizione. I TABs seguiranno le prescrizioni riportate nel Documento per la Valutazione Europea (EAD) (se presente per quel determinato prodotto), cioè un documento che riporta le procedure per effettuare i test in scala reale e i controlli da effettuare per ottenere la marcatura CE. Se il prodotto sarà conforme alle EAD i TABs potranno rilasciare l'ETA (Valutazione tecnica Europea). Le EAD sono emanate dall'EOTA (European Organisation for Technical Approvals) e per tutti quei prodotti che ad oggi non dispongono di una EAD, come riportato nell'articolo 66 del

Regolamento Europeo 305/2011, i TABs possono far riferimento alle ETAG (European Technical Approval Guideline) documento similare presente nella vecchia Direttiva 89/106/CEE oggi abrogata dal Reg. Europeo 305/2011.

Una volta ottenuto il certificato ETA, il fabbricante redige una dichiarazione di prestazione (DoP), che dovrà contenere le informazioni riguardo ai requisiti di sicurezza, al tipo di impiego e alle caratteristiche prestazionali di cui lui se ne assume piena responsabilità, e successivamente potrà porre la marcatura CE, rilasciata da un ente notificato dopo l'approvazione della commissione Europea.

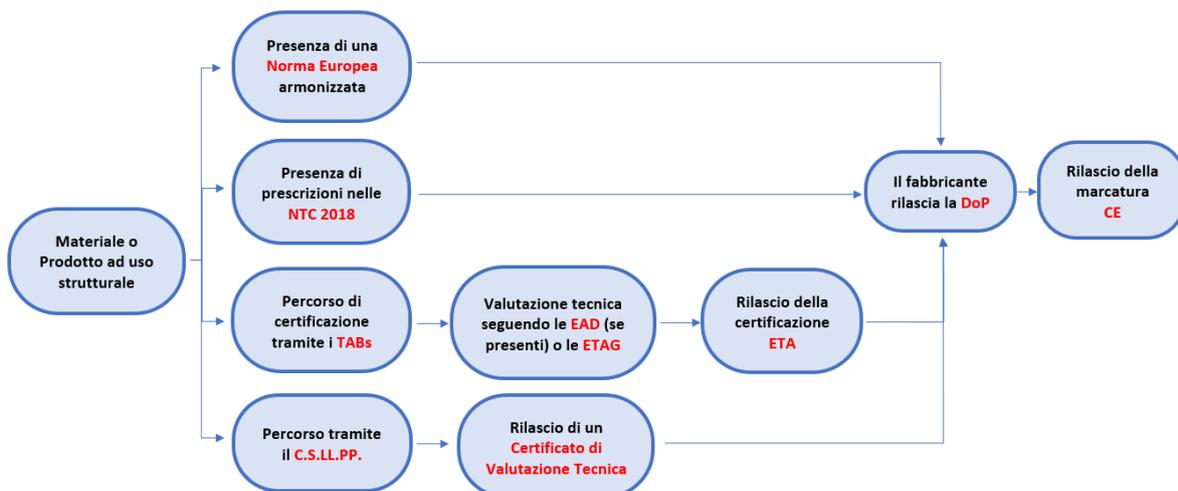


Figura 3.2 – Diagramma riepilogativo delle possibili procedure da seguire per il rilascio della marcatura CE per un materiale o un prodotto da costruzione, in accordo con le NTC 2018

Le barriere paramassi a rete e le reti in aderenza rientrano nella categoria c) descritta nel capitolo 11.1 del Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 (NTC2018), quindi tra quei prodotti per i quali non esiste una Norma Armonizzata, che descriva i requisiti e le procedure per l'ottenimento della marcatura CE e neppure una procedura di qualifica descritta all'interno delle stesse NTC 2018.

Per verificare le conformità e le prestazioni di una barriera paramassi, ad oggi si fa riferimento alle EAD 340059-00-0106: falling rock protection kits, pubblicate dell'EOTA nel 2018 e che sostituiscono le vecchie linee ETAG 027 (2008).

Per verificare le conformità e le prestazioni delle reti in aderenza invece si devono valutare diversi documenti. Quelli che vanno a considerare il prodotto come un unico sistema e quelli che vanno a valutare le diverse componenti. Si hanno infatti le seguenti EAD:

- EAD 23025-00-0106 (2016): Flexible facing systems for slope stabilization and rock protection, che va a valutare il sistema di protezione nel suo complesso;

- EAD 23004-00-0106 (2016): Wire ring mesh panel, per i pannelli di rete ad anelli;
- EAD 23005-00-0106 (2016): Wire rope net panels, per i pannelli di rete in fune d'acciaio;
- EAD 230008-00-0106 (2016): Double twisted steel wire mesh reinforced or not with ropes, per le reti a doppia torsione.

Si precisa infine, che le EAD valutano la certificazione del prodotto barriera o rete. Le fondazioni, sia dei montanti nelle barriere paramassi e sia per gli ancoraggi esulano da questa certificazione, e come si avrà modo di vedere nel seguito la loro progettazione andrà eseguita separatamente in quanto non rientranti nelle parti del "kit". Per la loro progettazione si seguono solitamente le raccomandazioni AICAP 2012 – *Ancoraggi nei terreni e nelle rocce*. Ma essendo comunque 'raccomandazioni' si devono utilizzare sempre nel rispetto delle NTC 2018. Infatti, per determinare le verifiche da effettuare si fa riferimento al paragrafo 6.4.3-Fondazioni su pali e al 6.6 - Tiranti di ancoraggio.

### **3.3 Barriere paramassi**

Le barriere paramassi sono delle strutture di difesa passiva, realizzate in genere lungo la base di versanti in roccia instabili e/o in canaloni, dimensionate ed ubicate in modo tale da arrestare blocchi e massi anche di grosse dimensioni e materiale detritico mobilizzato (Manuali e linee guida APAT, 10/2002).

Le barriere paramassi sono strutture deformabili, leggere con elementi altamente resistenti. La leggerezza della struttura, la semplicità, la rapidità di installazione e di manutenzione, consentono di eseguire l'intervento anche in zone montuose di difficile accessibilità.

La capacità di arrestare i massi in caduta è determinata dalle caratteristiche di resistenza e deformabilità degli elementi che la costituiscono (reti, montanti, funi, ancoraggi, dissipatori di energia) (Figura 3.3, Figura 3.4). Infatti, è necessario, per un corretto funzionamento, che la barriera riesca a deformarsi in modo da dissipare le energie cinetiche del blocco impattante e ciò avviene mediante l'azione combinata di tutti gli elementi strutturali che la costituiscono. Una barriera paramassi a rete è costituita da una sequenza di moduli funzionali formati da una struttura di intercettazione, da una struttura di supporto e da elementi di connessione (Peila & Ronco, 2009), possono essere presenti

anche eventuali freni collocati lungo le funi. La barriera infine è vincolata al terreno tramite fondazioni.

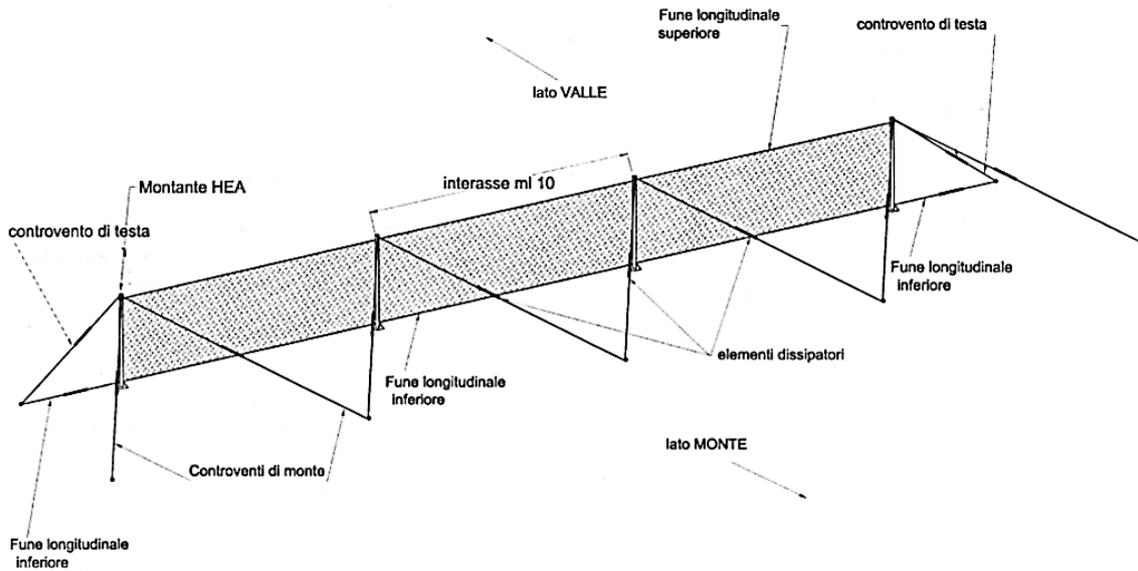


Figura 3.3 – Schema delle componenti principali di una barriera paramassi

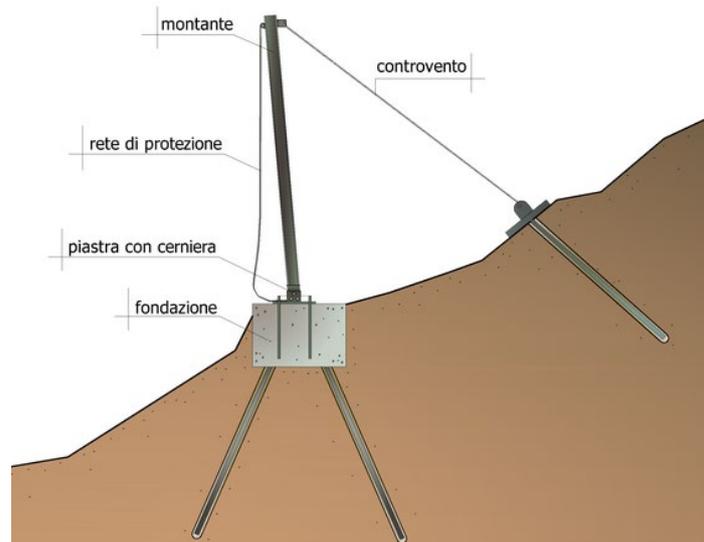


Figura 3.4 – Vista laterale delle componenti di una barriera paramassi

### 3.3.1 TECNOLOGIE

La **struttura di intercettazione** ha la funzione di fermare il masso in caduta deformandosi elasticamente e/o plasticamente e trasferire le conseguenti sollecitazioni alle strutture di collegamento e successivamente alle fondazioni. Può essere costituita da uno o più pannelli di rete in acciaio sovrapposte, che si differenziano per tipo e fattura. Solitamente si trova costituita da una rete principale che ha il compito di sostenere la maggior parte della forza trasmessa dal blocco e da una rete secondaria, con un diametro più piccolo, che ha il compito di arrestare e intercettare gli elementi lapidei di dimensioni minori.

In commercio si trovano svariate tecnologie che si possono adoperare. Si riportano alcune tra le più in uso in Tabella 3-1, e riscontrate durante il caso studio:

- rete ad anelli: dove l'anello può essere costituito da un singolo filo di metallo o da funi spiroidali, in entrambi i casi l'unione di questa forma la rete principale che è collegata tramite giunzioni alle funi di connessione. Ogni anello è unito ad altri 5/6 anelli, e lo scorrimento reciproco tra essi riesce a garantire alla rete un grado di deformabilità elevato;
- rete a pannelli di funi longitudinali: la struttura di intercettazione primaria è costituita da funi spiroidali disposte longitudinalmente collegate rigidamente alla struttura dei montanti. Tale tecnologia è impiegata nelle barriere travi e funi;
- rete a maglia quadrangolare: sono reti principali costituite da funi spiroidali giuntate tramite borchie o fili d'acciaio;
- rete a singolo filo: utilizzata principalmente come rete secondaria, è costituita da un singolo filo in acciaio a singola torsione (maglia romboidale) o a doppia torsione (maglia esagonale).

*Tabella 3-1 – Esempi di strutture di intercettazione principali e secondarie rilevati durante il caso studio*

	
Rete principale ad anelli con funi spiroidali	Rete principale ad anelli con filo metallico



Rete principale con funi longitudinali



Rete principale a maglia quadrangolare



Rete secondaria a singolo filo a singola torsione (maglia romboidale)



Rete secondaria a singolo filo a doppia torsione (maglia esagonale)

**La struttura di supporto** ha invece il compito di mantenere dispiegata la struttura di intercettazione. È costituita da profilati metallici o montanti disposti a distanza prefissata e ancorati al terreno tramite fondazioni e provviste di incastri o cerniere che consentono il libero movimento del montante garantendo così la deformabilità dell'opera a seguito di impatti. Le cerniere si possono classificare in base al grado di libertà che si vuole dare alla struttura e si possono trovare in commercio cerniere monodirezionali, bidirezionali e sferiche o omnidirezionali. L'incastro invece, è tipico delle barriere travi e funi e non fornisce al montante alcun grado di libertà andando a costituire un elemento rigido. Infatti, per questo tipo di barriere deve essere garantita sempre la funzione statica. Il montante e la cerniera a cui è collegato, sono vincolati al terreno tramite fondazioni costituite nella maggior parte dei casi da plinti in calcestruzzo con dei tirafondi che vanno ad ancorarsi alla roccia intatta, in alternativa si possono utilizzare dei micropali in acciaio, specialmente in terreni sciolti o comunque con caratteristiche geomeccaniche scadenti.

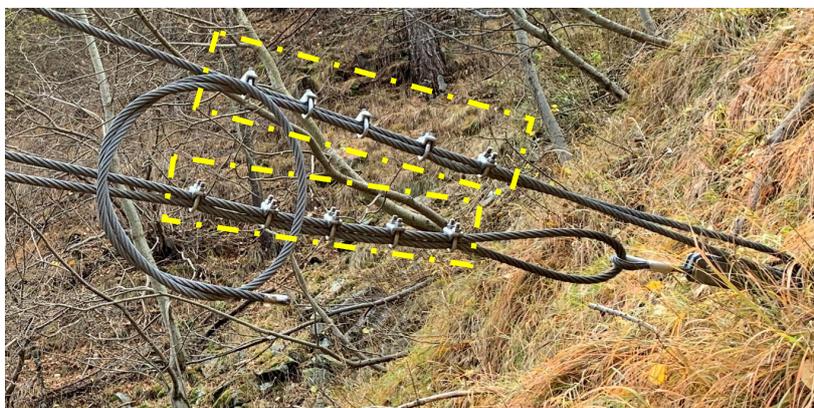
In Tabella 3-2 è possibile vedere alcune strutture di supporto riscontrate durante il caso studio. L'iterasse tra due montanti, in cui si trova la struttura di intercettazione, è definito campata, la sua lunghezza non è fissa ma può essere scelta dal progettista. È sempre buona norma però collocare tutti i montanti sullo stesso livello, altrimenti si potrebbe alterare la distribuzione delle forze sulle varie componenti e quindi ridurre la resistenza dell'intero sistema.

Tabella 3-2 – Esempi di strutture di supporto e collegamenti alla base

		
<p>Montante Tubolare (caso studio)</p>	<p>Montante del tipo HE (caso studio)</p>	<p>Montante del tipo HE con profilo a C saldato (passacavo)</p>
		
<p>Cerniera monodirezionale (caso studio)</p>	<p>Cerniera bidirezionale (caso studio)</p>	<p>Cerniera ad incastro</p>



**La struttura di collegamento** è composta da funi, morsetti e grilli. La struttura ha il compito di sostenere la struttura di intercettazione, tramite delle funi metalliche longitudinali collocate in sommità e al piede della rete. Inoltre, attraverso altre funi metalliche, denominate controventi, ha il compito di trasmettere le sollecitazioni indotte da un eventuale impatto sulla struttura di intercettazione alle fondazioni. Tali controventi, non sempre presenti, possono essere posizionati a monte, a valle oppure lateralmente. Tutte le funi metalliche sono costituite da fili elementari avvolti in maniera spiroidale e adeguatamente protetti contro la corrosione, generalmente in acciaio zincato. I collegamenti tra le funi, la rete di intercettazione gli ancoraggi sono realizzate mediante morsetti, grilli o redance. I fornitori delle barriere paramassi, in accordo con le norme UNI EN 13411-5:2009 (Estremità per funi di acciaio, parte 5: Morsetti per funi), devono dichiarare, per quanto riguarda le giunzioni morsettate, le caratteristiche delle giunzioni, nella fattispecie, numero minimo di morsetti, tipologia di morsetti, distanza tra di essi, distanza tra la giunzione morsettata ed il capo libero della fune, coppia di serraggio e modalità di montaggio. In Figura 3.5 si può osservare una corretta installazione dei morsetti sulla fune di controvento di monte.



*Figura 3.5 – Esempio di una corretta giunzione morsettata in una fune di controvento di monte vincolata al terreno tramite ancoraggio (caso studio)*

**I dissipatori** o freni si possono trovare su tutti i controventi di monte, valle e laterali. Sono dispositivi che hanno lo scopo di dissipare le energie del blocco impattante, consentendo alla fune di deformarsi in maniera plastica gradualmente e non arrivare subito a rottura. Anche in questo caso in commercio si possono trovare diverse soluzioni. Infatti, l'azione frenante può svilupparsi per solo attrito, per deformazione plastica, per entrambi, o per rottura parziale (Castanon-Jano et al.,2017). Si riportano in Tabella 3-3 alcune tipologie presenti in commercio e rilevati durante il caso studio.

*Tabella 3-3 – Esempi di dissipatori di energia presenti in commercio e rilevati durante il caso studio*

 <p>Freno a deformazione del materiale ed attrito</p>	 <p>Freno a deformazione del materiale ed attrito</p>	 <p>Freno ad attrito</p>
 <p>Freno ad attrito</p>	 <p>Freno ad attrito</p>	

**La struttura di fondazione** ha lo scopo di scaricare nel terreno le forze derivanti dall'urto del masso contro la barriera. La progettazione delle fondazioni parte da un'accurata analisi geotecnica del terreno sul quale andrà installata la barriera. Infatti, come si è accennato per i montanti, a seconda delle caratteristiche dell'ammasso si possono eseguire diverse scelte, come la costruzione di plinti in calcestruzzo oppure di micropali in acciaio. Un altro aspetto importante per il loro dimensionamento riguarda le energie che si possono sviluppare dopo l'urto con un blocco di roccia. Per la progettazione delle fondazioni si prenderà come riferimento la forza MEL (Maximum Energy Level) a cui una barriera può

resistere anche se la barriera è stata progettata allo stato limite di servizio (SEL). Nei paragrafi successivi si approfondirà il tema legato a questi due valori di energia.

Le fondazioni degli ancoraggi delle funi di connessione si possono realizzare, o tramite barre cementate nel terreno alla cui estremità sarà presente un golfare che consentirà la connessione delle funi della barriera oppure tramite una doppia fune spiroidale cementata nel terreno e ripiegata in foro alla cui estremità sarà presente una redancia (Figura 3.6). In entrambi i casi la progettazione delle fondazioni si potrà eseguire seguendo le raccomandazioni AICAP 2012, generalmente scegliendo il modello di Bustamante-Doix, che analizza le resistenze all'interfaccia acciaio-malta e malta-terreno (Guasti, 2018). Si precisa che tali raccomandazioni devono essere utilizzate sempre nel rispetto delle NTC 2018, con particolare riferimento ai capitoli 6.4.3 - *Fondazioni su pali* e al 6.6 - *Tiranti di ancoraggio*.

Durante le procedure di installazione è importante verificare sempre questo valore di resistenza. Inoltre, il posizionamento corretto degli ancoraggi delle funi di controvento deve risultare tale che l'angolo tra la risultante della forza di trazione e la perforazione dell'ancoraggio sia dell'ordine di 15° (Figura 3.7). Infine, come per tutti gli elementi metallici, si dovrà porre una particolare attenzione agli agenti che concorrono a favorire la corrosione e dovranno essere indicati adeguati interventi di protezione.



Figura 3.6 – Esempio di una barra in acciaio cementata con golfare (sulla destra) e di una doppia fune spiroidale ripiegata in foro e cementata nel terreno con redancia (sulla sinistra)

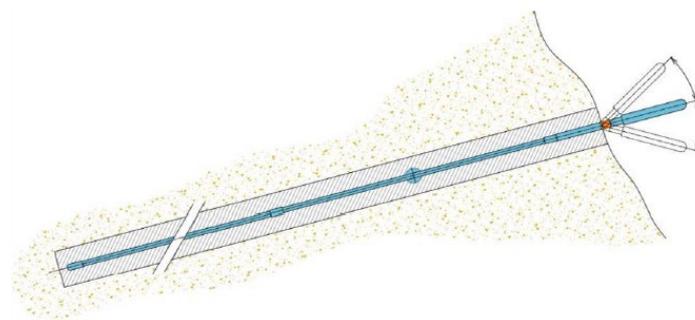


Figura 3.7 – L'angolo tra la forza di trazione della fune di controvento e la perforazione dell'ancoraggio deve essere dell'ordine di 15° per un corretto montaggio (Geobrug)

In commercio esistono diversi “kit” di barriere paramassi che differiscono tra loro per la combinazione dei singoli elementi con i quali sono stati assemblati. Tutte le barriere si possono però raggruppare in tre macrocategorie: quelle appartenenti a classi energetiche elevate, denominate “flessibili”; quelle appartenenti a classi di bassa energia, denominate “semi-flessibili” o “semi-rigide” (Peila et al., 2009); ed infine “barriere rigide” in cui la capacità di deformarsi è quasi nulla. Si intuisce quindi che il grado di deformabilità influisce molto sulla capacità della barriera a dissipare le energie cinetiche indotte dall'impatto con un blocco. Le barriere ad elevata deformabilità sono in grado di dissipare energie fino a 10000 kJ, grazie al fatto che la rete di intercettazione non è collegata in maniera rigida ai montanti ma è in grado di scorrere e deformarsi. Al contrario nelle barriere semi-rigide la capacità di assorbimento è dell'ordine di poche centinaia di kJ (Oliveto, et al., 2017), poiché la struttura di intercettazione principale è rappresentata da funi collegate ai montanti senza possibilità di scorrimento, come accade nelle barriere travi-funi. Le barriere rigide, infine, presentano una deformazione pressoché nulla e di conseguenza la capacità energetica di assorbimento è di molto inferiore alle altre tipologie.

### 3.3.2 PARAMETRI CARATTERISTICI DI UNA BARRIERA PARAMASSI A RETE

Le barriere paramassi sono caratterizzate da alcuni parametri che ne descrivono il corretto funzionamento. In questo paragrafo si riportano le principali caratteristiche e definizioni con cui vengono generalmente classificate le barriere e utili successivamente per la progettazione. I parametri principali come riportato nelle norme UNI 11211-4:2018 (Opere di difesa dalla caduta massi, parte 4-Progetto definitivo ed esecutivo) sono (Figura 3.8):

- l'energia  $E_{Rdu}$  è la resistenza della barriera allo stato limite ultimo: è definito come il valore di energia MEL (Maximum Energy Level);

- l'energia  $E_{Rds}$  è la resistenza della barriera allo stato limite di servizio o per impatti multipli: è definito come il valore di energia SEL (Service Energy Level);
- l'altezza nominale  $h_N$  corrispondente alla minima distanza fra la fune di supporto superiore e la linea congiungente la base dei montanti prima dell'impatto misurata ortogonalmente al pendio di riferimento;
- l'altezza residua  $h_R$  è la minima distanza tra la fune longitudinale superiore e la fune longitudinale inferiore misurata ortogonalmente al piano di riferimento dopo l'impatto di prova con il blocco arrestato ancora presente nella barriera;
- l'altezza commerciale  $h_C$  corrispondente all'altezza nominale più una tolleranza;
- la massima deformazione  $d_{maxMEL}$  o  $d_{maxSEL}$  durante l'impatto misurata parallelamente al pendio di riferimento;
- il varco laterale  $v_l$ , cioè l'apertura alle estremità dei moduli laterali;
- L'intensità e la direzione delle forze trasmesse dalla barriera paramassi alle opere di fondazione durante l'urto al livello energetico MEL.

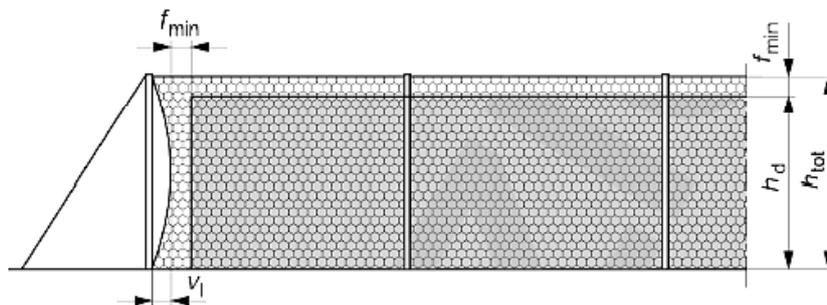


Figura 3.8 – Schema dei principali parametri geometrici di una barriera paramassi (UNI 11211-4:2018)

### 3.3.3 PROGETTAZIONE

La progettazione delle barriere non è trattata specificatamente nel DM del 17 gennaio 2018 “Norme Tecniche per le costruzioni”. Nelle NTC 2018 vengono citati, solo nel cap. 11, come materiali ad uso strutturale e quindi per la progettazione di tali opere si fa riferimento alla norma UNI 11211-4:2018 la cui consultazione resta comunque facoltativa e non cogente per il progettista.

La progettazione parte con la definizione delle azioni di progetto che agiscono sulla struttura e che derivano dalle caratteristiche del blocco in caduta che impatta con essa. Per tutte le azioni prese in esame sono applicati coefficienti di sicurezza parziali che vanno ad amplificare le azioni agenti e a ridurre quelle resistenti. Le azioni da calcolare sono di seguito riportate.

La **velocità di progetto dei blocchi** ( $v_d$ ) è definita come la velocità in corrispondenza del punto di impatto con l'opera corrispondente al frattile del 95% delle velocità calcolate tramite analisi traiettografiche ( $v_t$ ) moltiplicata per il coefficiente di sicurezza ( $\gamma_f$ )

$$v_d = v_t \cdot \gamma_f = v_t \cdot \gamma_{tr} \cdot \gamma_{Dp} \quad (7)$$

- $\gamma_{Tr}$  = fattore di sicurezza che dipende dall'affidabilità delle simulazioni:  
= 1.02 se il coeff. di restituzione è definito con back analysis;  
= 1.10 se il coeff. di restituzione è derivante da sole informazioni bibliografiche;
- $\gamma_{Dp}$  = fattore di sicurezza dovuto alla precisione del rilievo topografico:  
= 1.02 se il pendio è discretizzato mediante un buon rilievo topografico;  
= 1.10 se il pendio è discretizzato con media-bassa precisione.

La **massa del blocco di progetto** ( $m_d$ ) è definita come il prodotto del volume del blocco di progetto ( $Vol_b$ ) per il peso specifico della roccia ( $\gamma$ ), moltiplicato per un coefficiente di sicurezza ( $\gamma_m$ )

$$m_d = (Vol_b \cdot \gamma) \cdot \gamma_m = (Vol_b \cdot \gamma) \cdot \gamma_{volF1} \cdot \gamma_\gamma \quad (8)$$

- $\gamma_{VolF1}$  = fattore di sicurezza legato alla precisione del rilievo del volume del blocco di progetto:  
= 1.02 per rilievi accurati della parete (fotogrammetria, rilievi geomeccanici, ecc.);  
= 1.10 in assenza di rilievi legati al progetto.
- $\gamma_\gamma$  = fattore di sicurezza legato alla valutazione della massa per unità di volume della roccia = 1.00 (generalmente).

**L'Energia sollecitante di progetto** ( $E_{sd}$ ), che è l'azione sollecitante un'opera paramassi di tipo passivo, è definita con la formulazione classica dell'energia cinetica moltiplicata per un fattore di sicurezza ( $\gamma_R$ ), scelto dal progettista in funzione dell'ubicazione dell'opera e del livello di rischio dell'area

$$E_{sd} = \frac{1}{2} m_v v_d^2 \cdot \gamma_R \quad (9)$$

- $\gamma_R$  = fattore di sicurezza legato al rischio per la vita umana:  
= 1.00 modeste conseguenze economiche e danni facilmente riparabili;  
= 1.05 rilevanti conseguenze economiche, ma danni facilmente riparabili;  
= 1.10 rilevanti conseguenze economiche e danni difficilmente riparabili;  
= 1.20 rilevanti conseguenze economiche ed estesi danni non riparabili.

**L'altezza di intercettazione di progetto** ( $h_d$ ) è definita come l'altezza del punto di impatto del baricentro del blocco, con l'opera corrispondente al frattile del 95% delle altezze

calcolate nelle analisi traiettografiche ( $h_t$ ) moltiplicata per il coefficiente di amplificazione ( $\gamma_f$ )

$$h_d = h_t \cdot \gamma_f = h_t \cdot \gamma_{Tr} \cdot \gamma_{Dp} \quad (10)$$

- $\gamma_{Tr}$  = fattore di sicurezza che dipende dall'affidabilità delle simulazioni:
  - = 1.02 se il coeff. di restituzione è definito con back analysis;
  - = 1.10 se il coeff. di restituzione è derivante dalle sole info bibliografiche;
- $\gamma_{Dp}$  = fattore di sicurezza dovuto alla precisione del rilievo topografico:
  - = 1.02 se il pendio è discretizzato mediante un buon rilievo topografico;
  - = 1.10 se il pendio è discretizzato con media-bassa precisione.

I valori di velocità  $v_t$  e dell'altezza  $h_t$  sono ricavabili impiegando metodi previsionali di tipo statistico, comunemente chiamate analisi traiettografiche, cioè analisi che vanno a simulare l'andamento di caduta dei blocchi lungo il pendio. Naturalmente prima di eseguire tali analisi è bene disporre di un accurato rilievo topografico del pendio, individuare le possibili nicchie di distacco dei blocchi e assumere un volume per il blocco di progetto ed infine ipotizzare un range di variabilità dei parametri geotecnici.

Completate le fasi di analisi delle traiettorie e calcolati i valori sopra citati, la fase di progettazione dell'intervento di mitigazione continua attraverso la scelta di un prodotto certificato che soddisfi determinati requisiti prestazionali in termini di capacità di assorbimento energetico, altezza nominale, allungamento verso valle compatibile con la distanza dall'elemento a rischio da proteggere e forze trasmesse alle fondazioni. È utile precisare sin da ora che il parametro prestazionale più importante per tutte le barriere paramassi riguarda il livello energetico. Come si avrà modo di spiegare meglio nel paragrafo 3.3.4, esistono due livelli energetici in base ai quali vengono classificate le barriere e sono il livello energetico MEL (Maximum Energy Level) e il livello energetico SEL (Service Energy Level). Il primo fa riferimento allo stato limite ultimo della barriera, mentre il secondo allo stato limite di esercizio. Il progettista eseguirà una scelta progettuale soprattutto in base a questi due livelli. Una volta scelto il tipo di prodotto con determinate prestazioni si eseguiranno le verifiche riportate dalla norma UNI 11211-4.

**L'energia di sollecitazione di progetto** ( $E_{sd}$ ), deve risultare minore dell'energia dissipabile dalla barriera divisa per un fattore di sicurezza ( $\gamma_E$ ).

$$E_{sd} < \frac{E_{Barriera}}{\gamma_E} \quad (11)$$

- $\gamma_E$  = coefficiente di sicurezza da applicare ai valori energetici MEL e SEL di progetto scelto:
  - =1.00 nel caso di approccio al livello energetico SEL;
  - =1.20 nel caso di approccio al livello energetico MEL.
 Inoltre, se per motivi morfologici è necessario installare una barriera con meno di tre campate:
  - qualora la barriera sia testata e certificata da un ente terzo si rimanda all'applicazione dei coefficienti di sicurezza  $\gamma_E$  di cui sopra;
  - qualora la barriera non sia stata testata da un ente terzo anche nella configurazione di installazione con meno di tre campate, è necessario adottare una delle due soluzioni seguenti:  $\gamma_E=1.2$  e ricorre a due stendimenti paralleli;  $\gamma_E=2$ .

**L'altezza di intercettazione della barriera** nel punto di installazione ( $h_{tot}$ ), deve essere maggiore o uguale alla somma dell'altezza di intercettazione di progetto ( $h_d$ ), e del franco libero minimo  $f_{min}$ . Il franco libero minimo  $f_{min}$  è la fascia al bordo superiore o ai fianchi dell'opera di intercettazione passiva (vedi Figura 3.8) di dimensione pari al raggio del blocco di progetto e comunque non minore di 0,5 m.

$$h_{tot} \geq h_d + f_{min} \quad (12)$$

**La distanza di arresto** ( $d_A$ ) tra la barriera e l'opera da proteggere deve essere maggiore o uguale alla massima deformazione della barriera durante l'impatto  $d_{Barriera}$  (che corrisponde a  $d_{maxMEL}$  o  $d_{maxSEL}$ ) misurata parallelamente al pendio di riferimento moltiplicata per un coefficiente di sicurezza ( $\gamma_D$ ) posto pari a 1.3.

$$d_A \geq d_{Barriera} \cdot \gamma_D \quad (13)$$

**Le fondazioni** si devono dimensionare sulla base delle indicazioni fornite dal produttore della barriera. Quindi una volta scelto il prodotto si considereranno le forze trasmesse durante l'impatto alle fondazioni dei montanti e dei controventi, che il fornitore è obbligato a dichiarare, considerando le azioni misurate durante il crash test al livello energetico MEL (nel paragrafo seguente si descriverà questo crash test) e quindi le verifiche devono essere eseguite sempre allo stato limite ultimo, anche laddove la progettazione sia stata sviluppata seguendo un approccio al livello energetico SEL. In particolare, si devono considerare quattro meccanismi di rottura che riguardano sia il lato geotecnico che strutturale:

- rottura del materiale che costituisce l'ancoraggio;
- rottura per sfilamento dell'ancoraggio del bulbo o del getto di fondazione;
- rottura per sfilamento dell'ancoraggio a livello di interfaccia bulbo-terreno;

- rottura per instabilità globale del terreno, ancoraggi compresi.

Si precisa che sulle fondazioni dei montanti agiranno sforzi di compressione, taglio e trazione, mentre negli ancoraggi delle funi dei controventi solo sforzi di trazione.

Finite così le verifiche il progettista dovrà collocare la barriera lungo il versante. Lo stendimento della barriera, che dovrà essere costituito da almeno tre, salvo rari problemi morfologici, deve prendere in considerazione la presenza di varchi laterali, porre almeno il franco libero minimo più il varco laterale fuori dalle traiettorie di impatto, e nel caso di allineamenti contigui, garantire la sovrapposizione dei franchi liberi e dei varchi (Figura 3.9). Nel caso di allineamenti distanti sarà necessario aumentare la sovrapposizione in modo da minimizzare il rischio che traiettorie non ortogonali agli allineamenti possano superare passando attraverso il varco.

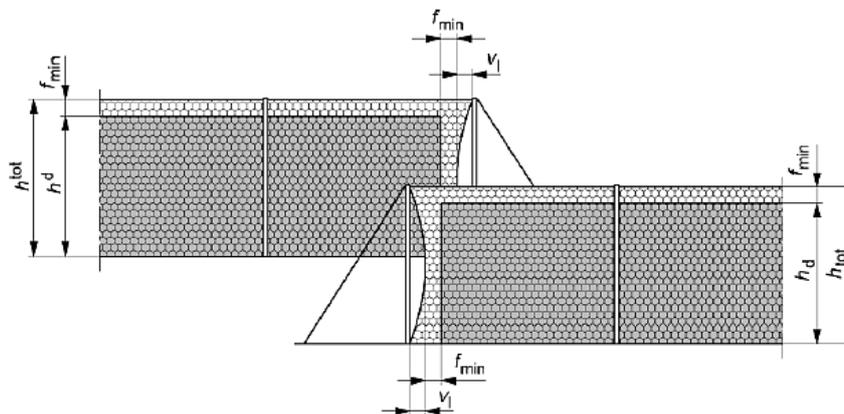


Figura 3.9 – Allineamenti contigui, va garantito almeno la sovrapposizione del franco libero minimo e del varco laterale (UNI 11211-4:2018)

Per quanto riguarda la collocazione piano altimetrica, la configurazione ottimale, basandosi sui risultati dell'analisi traiettografica, risulta essere in corrispondenza di valori bassi di velocità (e quindi di energia) e di altezza di rimbalzo, in modo da poter installare una barriera non troppo alta che però disponga della giusta capacità per bloccare tutti i massi in caduta.

#### 3.3.4 CERTIFICAZIONE CE E TEST STANDARDIZZATI

Attraverso il Documento per la Valutazione Tecnica Europea EAD 340059-00-0106 emanato dall'EOTA nel 2018, vengono indicati i requisiti, le procedure per effettuare i test in scala reale e i controlli sui prodotti e i materiali, al fine di ottenere la certificazione CE e poter così commercializzare la barriera in tutta la Comunità Europea.

La filosofia dell'EAD, ereditata dell'ETAG è quella di andare ad uniformare il mercato secondo standard europei uguali per tutti. È bene precisare che all'interno EAD 340059-00-0106, non si parla di progettazione, la quale come visto nel paragrafo 3.3.3 viene descritta nella norma UNI 11211-4:2018, ma vuole definire soltanto dei metodi per valutare la barriera a livello prestazionale tramite test di impatto standardizzati.

Nell'EAD la barriera paramassi viene considerata come un kit, cioè un sistema formato da singoli elementi costituenti (già descritti del paragrafo 3.3.1). Si precisa che le fondazioni non sono considerate parte del kit, e quindi non necessitano della marcatura CE, e il loro dimensionamento, quindi, sarà rimandato al progettista.

Per poter ottenere il certificato ETA, un produttore dovrà far eseguire dei test di impatto standardizza a vera grandezza alla sua opera che ne determineranno il livello prestazionale. Per poter compiere tali test il fabbricante dovrà fornire all'organismo di approvazione un kit, costituito da almeno 3 moduli funzionali (campate) con 4 montanti (l'interasse tra i montanti non è fisso e può essere scelto dal produttore), più tutte le componenti aggiuntive quali controventi ed eventuali freni. Non si potrà ridurre l'altezza della barriera posta in situ rispetto a quella testata, ma si potrà aumentare fino a un massimo di 1 metro per le barriere testate con un'altezza maggiore o uguale a 4 metri, e fino a 50 cm le barriere testate con un'altezza minore di 4 metri.

Per poter essere conforme alle norme europee, la barriera deve essere valutata sotto il profilo energetico. In particolare, attraverso dei crash test, descritti nell'EAD, si va a valutare l'energia di impatto che la barriera è in grado di dissipare quando sottoposta all'urto di un blocco in movimento, dovrà inoltre arrestarlo e le deformazioni causate dovranno rientrare in alcune geometrie specifiche durante e dopo l'impatto.

Vengono definiti due diversi livelli energetici, per i quali dovrà essere testata:

- SEL (Service Energy Level) o stato limite di esercizio, serve per valutare la risposta della barriera a resistere ad impatti multipli;
- MEL (Maximum Energy Level) o stato limite ultimo, serve per valutare la massima energia a cui la barriera è in grado di resistere a seguito di un impatto.

I test per valutare il livello energetico vengono eseguiti in appositi campi prova (verticali o inclinati), dotati di strutture in grado di accelerare un blocco fino alla velocità richiesta. Il crash test prevede l'impatto contro la barriera di un blocco normalizzato, avente la forma di un dodecaedro in cemento, con dimensioni inferiori ad un terzo dell'altezza nominale della barriera e peso compreso tra 2500-3000 kg/m<sup>3</sup>, l'impatto infine dovrà avvenire sulla

campata centrale in una barriera composta da tre moduli funzionali, di altezza nominale  $h_N$  (Figura 3.10).

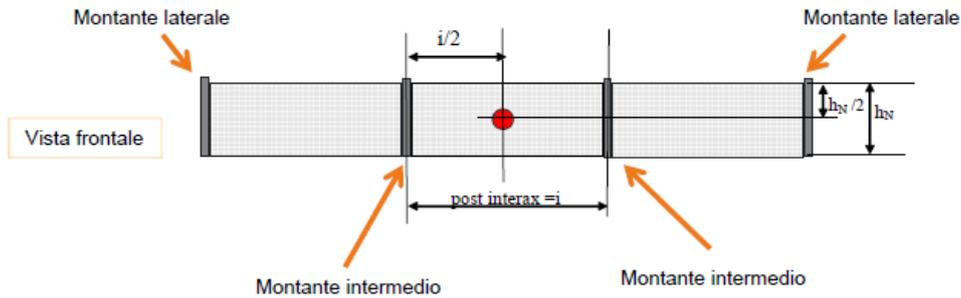


Figura 3.10 – Configurazione della barriera paramassi per eseguire i test nei campi prova. L'area in rosso rappresenta il punto di impatto del blocco per testare il livello energetico SEL 1 e MEL (illustrazione Maccaferri, Cardinali, 2016)

Per determinare il livello energetico SEL, cioè determinare se la barriera riesce a resistere ad impatti multipli, vengono eseguiti due lanci consecutivi con velocità del blocco non inferiore a 25 m/s. Tra i due impatti non bisogna eseguire nessun tipo di manutenzione sull'opera. Per superare il test al livello SEL, in entrambi i lanci, la barriera dovrà fermare il blocco, che durante il primo impatterà al centro della campata centrale (Figura 3.10), mentre durante il secondo all'interno dell'altezza residua  $h_R$  risultante dopo il primo lancio. (Figura 3.11)

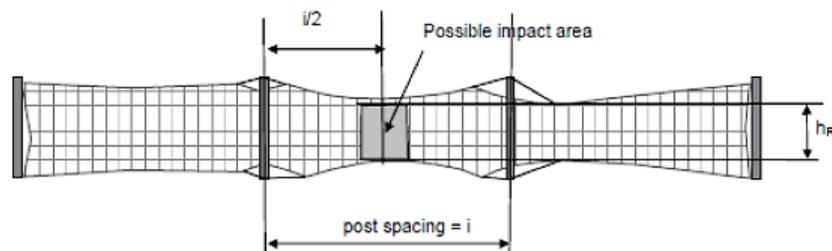


Figura 3.11 – Area di possibile impatto per il secondo test al livello energetico SEL 2 (EAD 340059-00-0106)

In particolare, dopo il primo impatto la barriera deve fermare il blocco senza la rottura degli elementi di connessione, le aperture nella rete devono essere inferiori a due volte la dimensione iniziale della rete, l'altezza residua  $h_R$  dopo l'impatto (ossia la minima distanza tra la fune inferiore e la fune superiore misurata ortogonalmente al pendio dopo il test, senza aver rimosso il blocco) deve essere  $\geq$  del 70% dell'altezza nominale  $h_N$ , mentre presso i montanti l'altezza residua deve essere maggiore dell'altezza residua misurata nel punto di impatto. Dopo il secondo impatto invece il blocco deve essere arrestato senza toccare il terreno fino a che il sistema non raggiunga la massima deformazione (in termini di elongazione).

Per determinare invece il livello energetico MEL, cioè la capacità massima della barriera di dissipare l'energia, le linee EAD prevedono l'esecuzione di un solo lancio che impatterà al centro della campata centrale (Figura 3.10). Il test si potrà considerare superato se il blocco viene arrestato dalla barriera senza toccare il terreno fino al raggiungimento della massima deformazione (in termini di elongazione).

Un parametro importante da misurare durante il test MEL è la deformazione massima che subisce la rete verso valle, in quanto tramite questo parametro si potrà collocare correttamente la barriera sul pendio, rispettando la giusta distanza dall'infrastruttura da proteggere. Devono essere calcolate inoltre le forze trasmesse alle fondazioni, tramite apposite celle di carico che registreranno il valore di picco, il quale dovrà essere dichiarato successivamente dal produttore. Si precisa che, poiché il montaggio in situ può discostarsi rispetto alle condizioni dei campi prova, è necessario che il progettista confronti le geometrie di montaggio con le tolleranze piano altimetriche indicate nel manuale di montaggio, redatto dal produttore, per progettare correttamente le dimensioni e la posizione delle fondazioni. Si ricorda, che le fondazioni non rientrano nel kit da certificare e quindi sarà compito del progettista dimensionarle considerando le forze scaricate durante il test al livello energetico MEL.

L'ultimo parametro da misurare nella prova MEL è l'altezza residua. In funzione di tale parametro, infatti, si possono suddividere le barriere in tre classi:

- classe A se l'altezza residua dopo il test al MEL risulta  $h_R \geq 0,5 h_N$ ;
- classe B se l'altezza residua dopo il test al MEL risulta  $0,3 h_N < h_R < 0,5 h_N$ ;
- classe C se l'altezza residua dopo il test al MEL risulta  $h_R \leq 0,3 h_N$ .

Basandosi infine sui test eseguiti (SEL 1, SEL 2 e MEL) è possibile uniformare la risposta delle barriere paramassi. Per ottenere la certificazione ETA una barriera dovrà rientrare in una delle categorie (Tabella 3-4), di seguito riportate e descritte dall'EAD. Ogni categoria farà riferimento ad un prefissato livello energetico SEL o MEL.

Tabella 3-4 – Categorie di assorbimento energetico delle barriere paramassi (EAD 340059-00-0106)

Classe energetica	0	1	2	3	4	5	6	7	8
SEL (kJ)	-	85	170	330	500	660	1000	1500	>1500
MEL (kJ) con MEL $\geq$ 3 SEL	100	250	500	1000	1500	2000	3000	4500	>4500

È bene osservare come l'importanza di questi test non si limita solo all'ottenimento della certificazione ETA, e successivamente CE per poter commercializzare il prodotto in Europa, ma sono anche uno strumento fondamentale per valutare le caratteristiche meccaniche e

di deformabilità delle opere. Queste informazioni sono indispensabili per un progettista, che potrà così confrontare i diversi prodotti che il mercato offre sulla base di test standardizzati uguali per tutti e scegliere la soluzione che meglio si adatti al tipo di intervento da eseguire. Si precisa ulteriormente che, sebbene in natura si possono verificare casi molto differenti da quelli testati nei campi prova, per esempio impatti eccentrici, ripetuti, presenza di detriti diffusi ecc., che vanno a generare forze diverse sulla struttura, questi test sono indirizzati a garantire che la barriera possieda in qualsiasi caso delle performances minime di sicurezza.

### 3.3.5 DURABILITÀ DELLE BARRIERE PARAMASSI

In accordo con la norma UNI 11156, la durabilità di un prodotto (esempio barriera paramassi o rete in aderenza) dipende fondamentalmente da due fattori:

- la vita utile, ovvero il periodo di tempo dopo l'installazione durante il quale le parti del prodotto mantengono livelli prestazionali superiori o uguali ai limiti di accettazione;
- l'affidabilità, ovvero la capacità di un sistema di funzionare senza guasti ad un livello prefissato in condizioni ambientali predeterminate, per tutta la vita utile.

In aggiunta, l'esecuzione corretta delle operazioni di manutenzione ordinaria, si ritiene parte integrante per garantire la durabilità dell'opera per tutta la vita utile.

Il fattore che più influisce sulla durabilità delle barriere paramassi e delle reti in aderenza è sicuramente la corrosione, essendo questi costituiti per la quasi totalità da elementi metallici. A causa di reazioni chimiche, elettrochimiche o mecano-chimiche che si sviluppano tra la superficie del materiale e l'ambiente circostante, un materiale tende a perdere gradualmente le caratteristiche meccaniche e fisiche. Per proteggere gli elementi metallici dalla corrosione, si tende solitamente a rivestire la superficie metallica con apposite protezioni, in grado di contrastare gli agenti atmosferici e garantire così una durabilità maggiore del prodotto. L'applicazione di strati in lega di zinco ad oggi è la scelta più utilizzata per proteggere tali elementi metallici dalla corrosione.

Per quanto riguarda le barriere paramassi, il Documento EAD 340059-00-0106, riporta una vita utile di 25 anni. Tale valore però va riferito ad un'opera adeguatamente installata e mantenuta, nonché in assenza di impatti e una condizione ambientale non aggressiva. Nel momento in cui si ha una corrosione rientrante in una classe di aggressività ambientale C3 o C4 (corrosione media o alta) definita nella norma EN ISO 9223, la vita

utile della barriera si riduce a 10 anni (Lecce, 2019), soprattutto per opere collocate in prossimità del bordo stradale, dove l'impiego di sali antigelo durante la stagione invernale configura un'ambiente di classe C4 o superiore. Possono essere attuate attività per prolungare la vita utile dell'opera come alternativa alla sua sostituzione al termine della vita utile, ma in assenza di normative specifiche bisogna valutare caso per caso ed eventualmente stilare un progetto specifico.

Come visto la manutenzione incide parecchio sulla durabilità dell'opera, allora la norma UNI 11211-5:2019 (Opere di difesa dalla caduta massi - Parte 5: Ispezione, Monitoraggio, Manutenzione e ruolo dei Gestori) cerca di individuare dei criteri operativi per eseguire correttamente le ispezioni, i monitoraggi e le manutenzioni delle opere di difesa da caduta massi. Per gestire al meglio la manutenzione è fondamentale per un'opera possedere un 'Piano di gestione', cioè un documento dove sono pianificate le attività, i tempi e le responsabilità di ispezione, monitoraggio ed eventuale manutenzione. Può essere redatto dal gestore delle opere e deve riportare le attività da eseguire in caso di manutenzione ordinaria e straordinaria. Le attività da eseguire possono essere di routine con funzione preventiva ma possono riguardare anche la riparazione di piccoli danneggiamenti, come per esempio la rimozione di detriti accumulati sull'opera oppure verificare il serraggio dei morsetti sulle giunzioni delle funi. Le attività straordinarie invece possono attivarsi a seguito di ispezioni e monitoraggi specifici (per esempio dopo un evento franoso) e possono riguardare impatti di blocchi, caduta di alberi, neve e valanghe o altri gravi agenti dannosi che possono diminuire le prestazioni della struttura.

### **3.4 Reti in aderenza**

L'intervento di messa in sicurezza di un versante tramite l'impiego di reti in aderenza prevede il collocamento di pannelli in rete metallica, nella parete rocciosa, a protezione di un'infrastruttura o un'abitazione, per prevenire e/o controllare il distacco di elementi lapidei (aventi volumetrie solitamente comprese tra 0,01 e 1,5 m<sup>3</sup>) nella fascia corticale. Generalmente, lo spessore coinvolto da dissesti corticali non è superiore a 1-2 m, nonostante la parte degradata dell'ammasso roccioso possa raggiungere talvolta i 4-6 m (Ferraiolo & Giacchetti, 2004). Questi interventi agiscono fornendo un'azione di contenimento diffusa e pressoché omogenea sull'intera parete (Peila, 2017).

La scelta delle reti in aderenza è molto vantaggiosa poiché sono applicabili con costi ragionevolmente contenuti, ed inoltre si riesce a realizzare l'intervento di protezione con molta rapidità anche in luoghi di difficile accesso con un impatto visivo quasi nullo. Però ad oggi non si dispone di una procedura per il dimensionamento normativa, ed inoltre tali interventi non applicabili in pareti dove sono previsti distacchi di blocchi ciclopici o di intere porzioni di versante.

Si possono distinguere due differenti meccanismi di funzionamento per le reti in aderenza, ovvero reti che guidano gli elementi distaccati verso il piede del versante controllando il moto di caduta e riducendone la velocità (reti a cortina), oppure reti che riescono a contenere gli elementi distaccati all'interno di porzioni di rete delimitate da funi vincolate tramite un sistema di chiodatura della parete (reti rinforzate). I diversi meccanismi di funzionamento incidono anche sulla classificazione dei due interventi, in quanto le reti a cortina vengono classificate come interventi passivi, poiché tendono a guidare semplicemente il blocco al piede, mentre le reti rinforzate vengono classificate come interventi di tipo attivo, poiché la presenza diffusa sulla parete di chiodi tende a consolidare la parete e limitare il distacco dei blocchi, andando a prevenire la caduta. È evidente che si tratta di interventi strutturalmente diversi, e quindi anche la loro progettazione sarà differente, poiché diverse sono le sollecitazioni alle quali saranno sottoposti gli elementi costituenti. Le componenti principali tuttavia sono pressoché uguali, come si può notare in Figura 3.12. Entrambe le tipologie sono costituite da una serie di pannelli di rete di contenimento, un set di funi (funi di sostegno superiore, funi di sostegno al piede, eventuali funi intermedie e, nel caso di reti rinforzate funi di rinforzo), elementi di connessione (tra i diversi pannelli di rete, tra funi e rete) e ancoraggi.

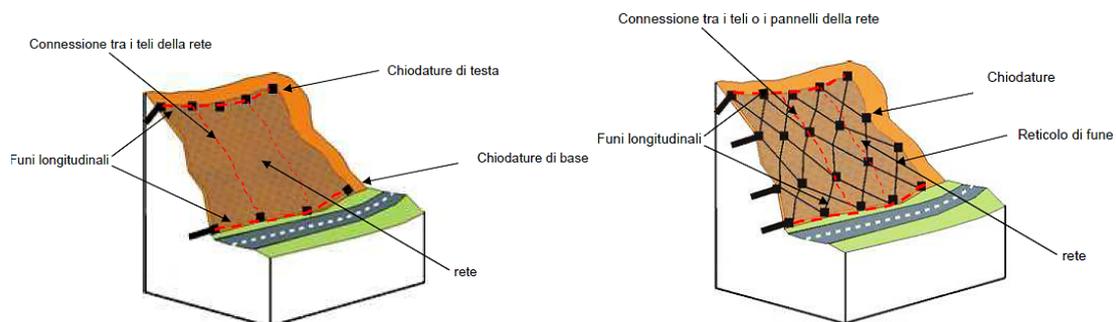


Figura 3.12 – Schematizzazione delle componenti principali per reti a cortina (sinistra) e reti rinforzate (destra) (illustrazione Maccaferri, Cardinali, 2016)

### 3.4.1 TECNOLOGIE

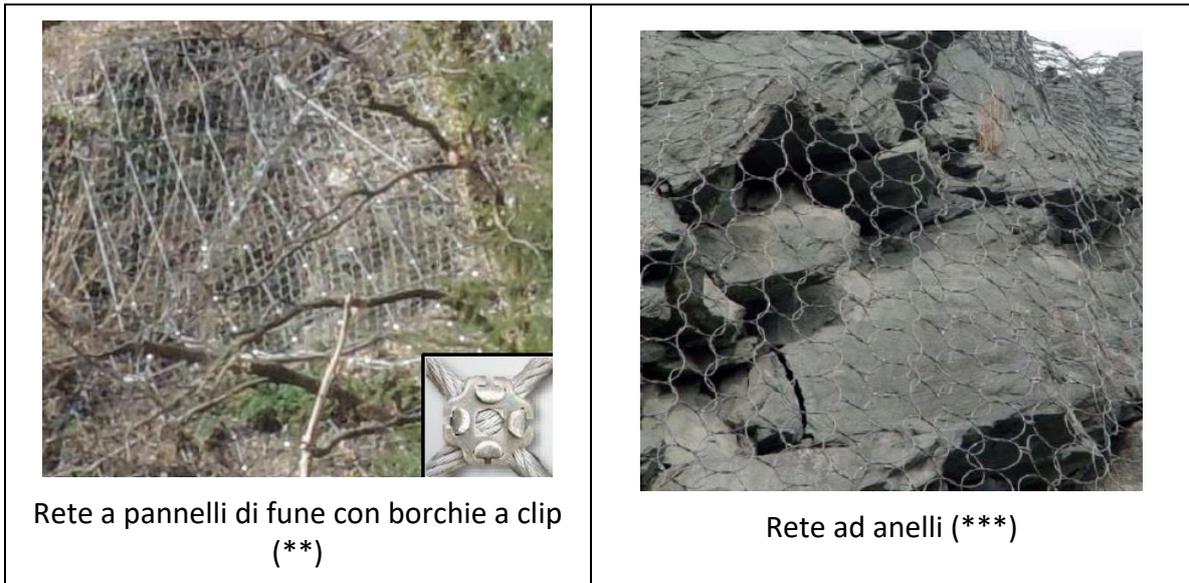
**La rete di contenimento** ha il compito di trattenere il materiale detritico che si stacca deformandosi elasticamente e/o plasticamente. In commercio si trovano svariate tecnologie in grado di assolvere questo compito. Per esempio, la rete di contenimento può essere costituita da (Tabella 3-5):

- pannelli in filo d'acciaio, a singola torsione (romboidali) o a doppia torsione (esagonali). Ad oggi la tipologia più utilizzata è la rete con filo d'acciaio a doppia torsione. Il filo presenta solitamente uno spessore compreso tra 2,7 e 3 mm, con un diametro nominale della maglia tra 60 e 80 mm;
- pannelli in rete di fune realizzate con le funi metalliche spiroidali giuntate tramite borchie a clip o fili d'acciaio annodati, che vanno a formare una maglia tipicamente romboidale di dimensioni 250x250 mm, 300x300 mm o 400x400 mm;
- pannelli con rete ad anelli, dove l'anello può essere costituito da un singolo filo di metallo o da funi spiroidali, inoltre il singolo anello può essere concatenato con altri 4 o 6 anelli. Tali reti sono adatte al contenimento dei distacchi di volumetrie maggiore, dell'ordine del metro cubo (Valfrè, 2017).

Capita spesso che le reti a pannelli di fune e le reti ad anelli presentino una rete secondaria, per esempio reti a doppia torsione, per trattenere ed intercettare i blocchi con pezzatura più piccola.

Tabella 3-5 – Esempi di rete di contenimento [Fonte: (\*, caso studio); (\*\*, Lecce, 2019); (\*\*\*, Valfrè, 2017)]

	
Rete in filo d'acciaio a doppia torsione (*)	Rete a pannelli di fune con borchie in filo d'acciaio (**)



**Il set di funi** è costituito da diversi cavi in acciaio formati, come per le barriere paramassi, da fili elementari avvolti in maniera spiroidale e adeguatamente protetti contro la corrosione, generalmente in acciaio zincato. Lo spessore varia in base alla presenza dei trefoli, ma sempre nell'ordine di qualche decina di millimetri.

Per quanto riguarda le reti a cortina la fune di sostegno superiore è la più importante in quanto ha il compito di mantenere la rete in posto e sopportare i diversi carichi, può essere accoppiata anche ad una fune di sostegno inferiore che ha la funzione di contenere i detriti accumulati al piede. Nelle installazioni più datate è possibile trovare al posto della fune di sostegno al piede una barra in acciaio, che svolge il medesimo compito. Nelle reti a cortina, infine, possono essere presenti anche funi orizzontali e/o verticali, che non ricoprono una funzione puramente strutturale, ma servono soltanto a far aderire meglio la rete al versante.

Per quanto riguarda invece le reti in aderenza, presentano anch'esse le medesime funi di sostegno superiori e inferiori, ma in aggiunta sono presenti delle funi di rinforzo che rappresentano la parte strutturale più importante (unitamente agli ancoraggi), per questa tipologia di opera. In Figura 3.13 è possibile apprezzare le differenze tra queste due tipologie di reti.

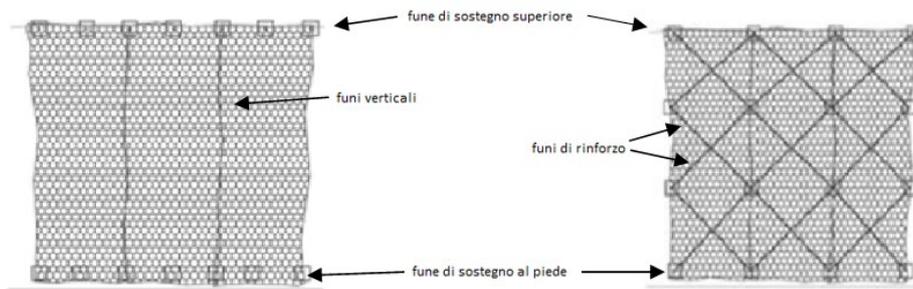
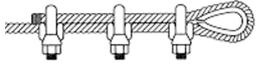
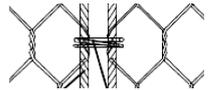


Figura 3.13 – Vista frontale schematica delle funi delle reti a cortina (sinistra) e nelle reti rinforzate (destra) (illustrazione Maccaferri, Cardinali 2016)

**Gli elementi di connessione** hanno la funzione di unire le diverse componenti che costituiscono l'opera. Per collegare i pannelli di rete tra loro si possono utilizzare dei semplici nodi in filo d'acciaio, oppure delle clip in acciaio. Talvolta si sceglie di sovrapporre le due estremità delle reti, altre si decide di far passare una fune metallica per cucire le estremità. Per quanto riguarda invece l'unione tra i pannelli di rete e la fune di sostegno al piede e superiore solitamente si fa risvoltare la rete intorno alla fune e si chiude con delle clip o nodi in filo d'acciaio. Altri elementi di connessione che si possono trovare sono i 'grilli' utilizzati per lo più per unire la fune di sostegno con la fune dell'ancoraggio, oppure i 'morsetti' che garantiscono che la fune passata nell'ancoraggio e ripiegata su sé stessa, in modo da formare un'asola, mantenga una corretta tensione. In Tabella 3-6 è possibile notare i diversi elementi di connessione e i loro principali utilizzi. Per quanto riguarda la parte relativa alle giunzioni morsettate, come già descritto per le barriere si fa riferimento alla norma UNI EN 13411-5:2009 (Estremità per funi di acciaio, parte 5: Morsetti per funi), nonché è rimandato al produttore indicare nel manuale di installazione, seguendo le suddette norme, numero minimo di morsetti, tipologia di morsetti, distanza tra di essi, distanza tra la giunzione morsettata ed il capo libero della fune, coppia di serraggio e modalità di montaggio. Una corretta installazione delle giunzioni morsettate, si ha quando il tratto ripiegato della fune è sufficiente ad agganciare il numero minimo di morsetti richiesti, che solitamente è pari a 3 ma può variare in funzione dello spessore della fune, con un interasse 'e'. Il ponte del montante, cioè la parte dove andranno serrati i dati, deve essere posto sempre sulla parte portante della fune e mai sul tratto di rinvio, questo poiché potrebbe facilitare lo sfilamento della fune. Uno schema qualitativo di una corretta installazione, tratto dalle UNI EN 13411-5:2009, è riportato in Figura 3.14.

Tabella 3-6 - Elementi di connessione

Elemento di giunzione	Principale Utilizzo
 Morsetto	 Per serrare la fune
 Grillo	 Per unire la fune di sostegno con l'ancoraggio
 Graffa	 Per unire due pannelli di rete

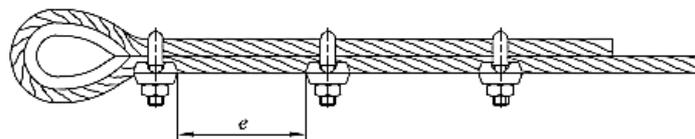


Figura 3.14 – Schema di un corretto montaggio delle giunzioni morsettate (UNI EN 13411-5:2009)

**Gli ancoraggi** servono per mantenere in posto la fune di sostegno (al piede e superiore), e trasmettere i carichi al terreno. Gli ancoraggi possono essere realizzati in diversi modi (Tabella 3-7): attraverso barre in acciaio cementate nel terreno alla cui estremità può essere presente o un golfare (anello metallico) in cui la fune viene risvoltata ed ancorata con le giunzioni morsettate o una piastra bullonata in cui la fune viene ancorata; in alternativa si può realizzare un ancoraggio con una fune risvoltata in foro e successivamente cementata alla cui estremità sarà presente una redancia per facilitare il passaggio delle funi. In tecnologie meno recenti però può capitare di ritrovare l'impiego di barre cementate e ripiegate (barre ad U). Per una corretta installazione è fondamentale, soprattutto per le reti a cortina, che gli ancoraggi della fune di sostegno superiore siano infissi ad almeno 1,5 metri dal ciglio ed ancorati nella roccia intatta, in modo da evitare lo scalzamento dell'ancoraggio. Per quanto riguarda le reti rinforzate, gli ancoraggi si trovano anche all'interno della rete a formare una maglia quadrangolare o rettangolare. In questo caso gli ancoraggi svolgono un ruolo attivo di rinforzo dell'ammasso roccioso prevenendo il distacco dei blocchi. Solitamente sono costituiti da barre cementate in cui è presente all'estremità un golfare dove viene fatta passare la fune di rinforzo. È importante che la fune venga fatta semplicemente passare all'interno dell'anello e non deviata, così da evitare la creazione di punti deboli che potrebbero portare alla rottura per trazione dell'elemento di testa dell'ancoraggio. Anche se da evitare, tale metodo di installazione della fune di rinforzo può facilitare le operazioni di manutenzione e svuotamento in

quanto si andrà ad allentare una fune per volta garantendo così l'aderenza alla parete della restante parte di rete.

Tabella 3-7 – Esempi di ancoraggi (fonte caso studio)

 <p>Barra in acciaio cementata con golfare, ancoraggio al piede</p>	 <p>Barra in acciaio cementata con piastra</p>
 <p>Barra in acciaio ripiegata, ad U</p>	 <p>Barra in acciaio cementata con golfare, ancoraggio di rinforzo. Corretta installazione della fune fatta passare semplicemente e non deviata</p>

### 3.4.2 PROGETTAZIONE

In merito alla progettazione delle reti in aderenza, non esistono linee guida e/o standard tecnici universalmente riconosciuti (Marchelli et al., 2019). Il progettista, quindi, per dimensionare l'intervento si baserà sull'esperienza, sullo studio di casi simili e su analisi geostrutturali per comprendere le diverse sollecitazioni che andranno ad agire prima sulla rete, poi sulle funi ed infine sugli ancoraggi e che saranno differenti da sito a sito. Il progettista, infine, si potrà basare per la progettazione anche su prove sperimentali, in laboratorio e in vera grandezza, tramite le quali è stato possibile identificare i principi di funzionamento. Le prove sperimentali sono rivolte, infatti, a determinare i parametri caratteristici delle reti ovvero la resistenza a trazione (espressa come forza per unità di lunghezza) e il comportamento a punzonamento (espresso come deformazione per un dato livello di carico) (Peila, 2017).

Il progettista dovrà considerare sia le azioni destabilizzanti che come riportato nella norma UNI 11211-4:2018 sono la forza relativa al peso proprio della rete e la forza relativa al peso dei detriti accumulati al piede della rete, più forze aggiuntive variabili quelli il carico da neve che potrebbe depositarsi sulla rete, l'azione sismica e l'eventuale azione dinamica indotta dai blocchi in caduta laddove la rete non fosse ben aderente al versante, e sia le forze stabilizzanti che sono rappresentate dalla resistenza al taglio tra rete e pendio. Definiti alcuni aspetti generali per la progettazione si precisa che le metodologie saranno diverse per quanto riguarda le reti a cortina e le reti rinforzate.

#### 3.4.2.1 Reti a cortina

Come visto, lo schema strutturale delle reti a cortina è formato principalmente da rete, fune di sostegno superiore e ancoraggi, si trascura la fune di sostegno al piede in quanto non svolge un compito puramente strutturale. Il metodo all'equilibrio limite è il più adottato per il dimensionamento di questo intervento. L'approccio valuta il rapporto tra le forze resistenti e le azioni agenti. Le azioni instabilizzanti agenti sul tale sistema sono (Figura 3.15): il peso proprio della rete ( $W_m$ ); la forza peso dei detriti accumulabili al piede ( $W_d$ ) più eventuali forze aggiuntive come il carico da neve e/o ghiaccio o azioni dinamiche dei blocchi in caduta. Per quanto riguarda la forza esercitata dai detriti ( $W_d$ ), essa dipende dalla forma e dal volume con i quali si dispongono al piede. Il progettista dovrà pertanto indicare il massimo accumulo accettabile dal sistema, al fine di programmare eventuali manutenzioni per il ripristino dell'opera. Per il dimensionamento, si eseguirà una procedura iterativa cercando di trovare la massima sacca di detriti accumulabile al piede che la rete, in funzione della resistenza a trazione, può contenere. La rete, infatti, contrasterà le forze sopra citate esplicitando una resistenza a trazione, la quale verrà a sua volta trasmessa alla fune di sostegno superiore e poi agli ancoraggi.

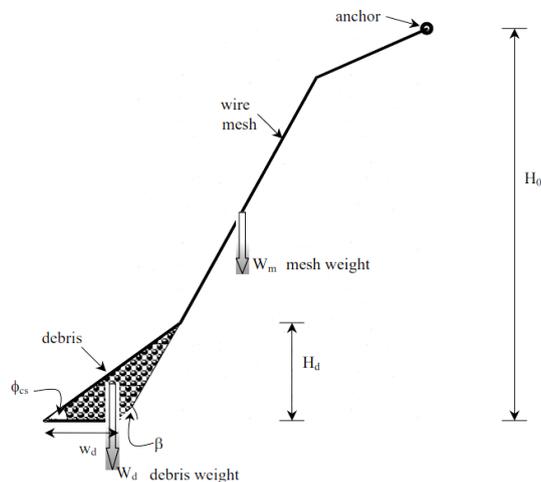


Figura 3.15 – Schema delle azioni agenti su una rete a cortina (Muhunthan, 2005)

Calcolate le azioni di progetto si passerà a verificare se tali azioni siano compatibili con la tipologia di sistema scelto, considerando adeguati fattori di sicurezza sia per le azioni che per le reazioni. La prima verifica riguarda la rottura per trazione della rete e consiste nel controllare che la risultante delle forze agenti di progetto sia minore della resistenza a trazione della rete divisa per un opportuno coefficiente di sicurezza.

Successivamente si passa a verificare che l'azione di trazione trasmessa, dal peso della rete e dalla sacca di detriti al piede, alla fune sia minore della resistenza della fune, divisa per un opportuno coefficiente di sicurezza. L'azione di trazione esercitata sulla fune viene solitamente considerata come un carico distribuito (Figura 3.16 a) e attraverso la soluzione della catenaria si riesce a calcolare la forza di trazione  $T$  parallela alla fune che andrà poi scaricata agli ancoraggi (Figura 3.16 b)

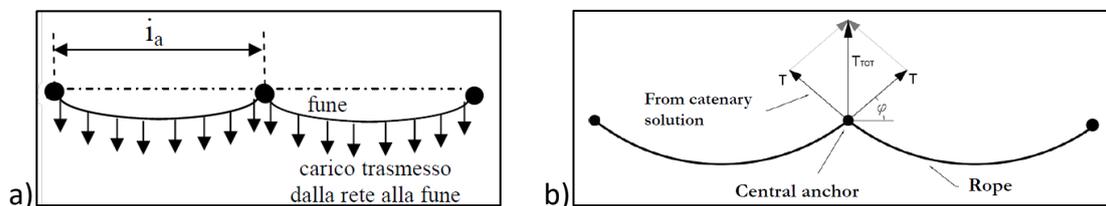


Figura 3.16 – Schema delle azioni sulla fune di testa. a) azione trasmessa dalla rete alla fune; b) azione trasmessa dalla fune all'ancoraggio

Per quanto riguarda invece gli ancoraggi, la forza  $T$  proveniente dalla fune genera su di essi sforzi di taglio, trazione e sfilamento. Per le verifiche a taglio e trazione basta verificare che la resistenza della barra divisa per un coefficiente di sicurezza sia maggiore dell'azione sollecitante  $T$ . Gli ancoraggi in fune dovranno essere verificati esclusivamente a trazione in quanto non resistono a sforzi di taglio. Invece per la verifica a sfilamento si dovrà verificare che la resistenza a taglio all'interfaccia acciaio-malta e malta-terreno, divisa per un coefficiente di sicurezza, sia maggiore della forza sollecitante  $T$ .

Sebbene sugli ancoraggi laterali si sviluppa una forza sollecitante minore rispetto a quelli centrali è opportuno progettare tutti gli ancoraggi con le medesime geometrie e resistenze.

#### 3.4.2.2 Reti rinforzate

Nelle reti rinforzate i chiodi rappresentano la parte attiva dell'intervento, mentre alla rete è demandato il compito di trattenere i blocchi di roccia, che si staccano dalla parete fratturata, all'interno di una porzione delimitata da quattro chiodi. Anche qui si considera l'approccio all'equilibrio limite per il dimensionamento dell'intervento. La progettazione parte con un accurato rilievo geotecnico dell'ammasso roccioso. Successivamente individuata la porzione instabile si andrà a dimensionare il tipo di chiodo scegliendo la

resistenza, la dimensione e l'inclinazione e a seguire la densità dei chiodi da installare, cioè l'interasse sia orizzontale che verticale tra un chiodo e l'altro. Eseguite le verifiche si passerà a scegliere il tipo di rete.

Il chiodo esplica la funzione di stabilizzazione andando ad incrementare le forze resistenti aumentando la coesione. Considerando il modello semplificato del pendio indefinito, è possibile ricavare la forza  $R$  che il chiodo deve esercitare per stabilizzare la fascia instabile. Le forze da considerare per l'equilibrio sono la forza peso, la forza sismica, eventuali forze esterne e la forza resistente data dal chiodo. Determinata l'azione  $R$  che il chiodo deve esercitare per stabilizzare il pendio è possibile eseguire le verifiche. In accordo con le NTC 2018 e l'Eurocodice 7-Progettazione geotecnica, le verifiche da eseguire sono:

- stabilità del pendio in presenza di ancoraggi (stabilità globale, GEO);
- verifica di resistenza strutturale dell'ancoraggio (taglio-trazione, STR);
- verifica a sfilamento dell'ancoraggio malta-terreno (GEO);
- verifica a sfilamento dell'ancoraggio malta-acciaio (SRU).

Tutte le verifiche verranno eseguite allo stato limite ultimo (SLU) e per ognuna di esse si dovrà verificare che le forze instabilizzanti siano minori delle forze stabilizzanti. Inoltre, per ogni verifica si sceglierà una diversa combinazione di coefficienti parziali, in accordo sempre con le NTC 2018, da applicare alle azioni ( $A$ ), ai parametri geotecnici ( $M$ ) e alle resistenze ( $R$ ). In particolare, si per la verifica a stabilità globale si seguirà l'approccio  $A2+M2+R2$ , mentre per le restanti tre verifiche si seguirà l'approccio  $A1+M1+R3$ . Per i valori dei coefficienti parziali relativi alle azioni ( $A$ ) si rimanda alla tabella 6.2.I delle NTC 2018, per i coefficienti parziali dei parametri geotecnici del terreno ( $M$ ) alla tabella 6.2.II ed infine i coefficienti parziali relativi alla resistenza degli ancoraggi ( $R$ ) alla tabella 6.6.I.

Se tutte le verifiche saranno soddisfatte, si passerà a dimensionare la rete. Un rivestimento in rete sarà tanto più efficace quanto meno sarà il suo grado di deformazione, così che possa trattenere e quindi limitare il distacco di blocchi all'interno del pendio. La rete sarà soggetta, di conseguenza, ad azioni di trazione e punzonamento provenienti dai blocchi staccati. Tali azioni dovranno essere confrontate e risultare minori alla resistenza a trazione e punzonamento della rete. Per determinare questi due valori caratteristici della rete si eseguono dei test standardizzati che verranno descritti nel seguente paragrafo.

### 3.4.3 CERTIFICAZIONE CE E TEST STANDARDIZZATI

Per verificare le conformità e le prestazioni delle reti in aderenza, come già esposto nel paragrafo 3.2, si ricorda che le reti in aderenza si configurano come prodotti di tipo c) ai sensi del capitolo 11 delle NTC 2018 e rientrano tra quei prodotti e sistemi costruttivi per i quali non si dispone di una norma europea armonizzata ne vengono descritti all'interno delle NTC 2018, quindi è necessario ricorrere ad una "Valutazione Tecnica Europea" (ETA) seguendo le procedure descritte nei documenti EAD, per ottenere la marcatura CE. I documenti EAD da consultare sono diversi in base alla tipologia di rete da dover installare. Nel seguito si vedranno i test che i fabbricanti devono eseguire per l'ottenimento della certificazione CE. Si farà riferimento in particolare alle due tipologie di rete più utilizzate, cioè reti a doppia torsione e reti a pannelli di fune.

Le reti a doppia torsione impiegate in diversi ambiti, come per esempio nei gabbioni metallici o nelle terre rinforzate, possono seguire, per ottenere la certificazione CE, le prove descritte nel documento EAD 230008-00-0106. Nel caso specifico di impiego per rivestimenti corticali invece, è necessario eseguire anche le prove riportate nella norma UNI 11437:2012 (Prove su rete per rivestimento di versanti). Da queste norme si evince che due sono le principali azioni da determinare per una rete utilizzata come rivestimento corticale (sia essa a doppia torsione sia a pannelli di fune) ovvero la resistenza e deformabilità della rete se sottoposta ad un'azione di sfondamento da parte di un carico concentrato perpendicolare al piano della rete (prova a punzonamento), e la resistenza e deformabilità della rete se sottoposta ad un'azione di trazione da parte di un carico applicato longitudinalmente (prova a trazione).

**La prova a punzonamento** serve per valutare il comportamento della rete sotto l'effetto di un blocco che staccandosi va a spingere contro essa. La prova consiste nell'applicare un carico normale al centro di un provino di rete, opportunamente vincolato ai lati, tramite un dispositivo di ripartizione del carico (pressore) con forma di calotta sferica le cui dimensioni sono normate. In Figura 3.17 è possibile osservare un apparecchio utilizzato per eseguire la prova a punzonamento.



Figura 3.17 – Apparecchiatura utilizzata per la prova a punzonamento (Boneti & Galimberti 2004)

L'obiettivo della prova è misurare il diagramma carico applicato-spostamento (Figura 3.18), dove il carico viene misurato in kN e lo spostamento in mm, per ottenere il valore massimo di resistenza al punzonamento che si registrerà alla rottura del provino, ovvero quando non sarà più in grado di sostenere alcun aumento della forza applicata. Naturalmente la rete dovrà essere verificata sia allo stato limite ultimo, sia a quello di esercizio, e quindi è necessario che la deformazione massima raggiunta sia minore di quella ammissibile.

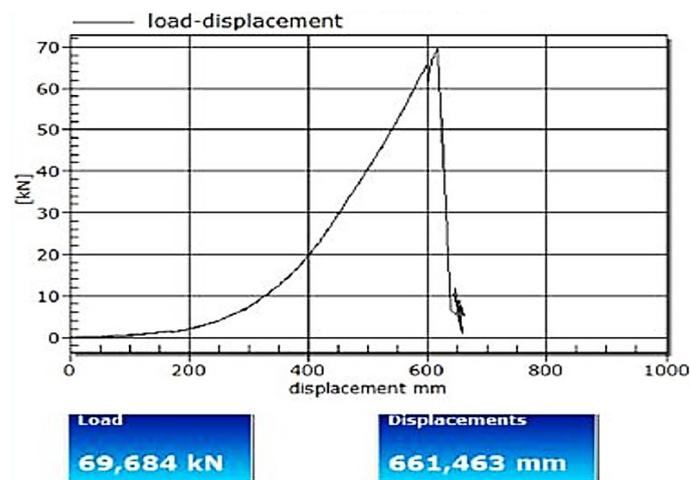


Figura 3.18 – Grafico carico applicato-spostamento in una prova a punzonamento. In basso sono riportati i valori dello spostamento registrato in corrispondenza della massima forza applicata (Cardinali, 2016)

**La prova di trazione** serve per valutare il comportamento della rete, quanto in essa si accumula del materiale detritico al piede o in una porzione delimitata da quattro chiodi (reti rinforzate) che tende a tirare la rete deformandola. La prova consiste nell'applicare un carico ai due lati opposti di un provino di rete, fino ad aprire, rompendola, una singola maglia. Esistono due tipologie di prove che possono essere eseguite. La prima applicabile a tutti i tipi di rete (quindi sia a doppia torsione che ai pannelli di fune) viene eseguita con contrazione laterale impedita, cioè si utilizza un telaio, nel quale viene agganciata la rete, costituito da quattro travi d'acciaio, una delle quali è libera di scorrere nella direzione del

carico (Figura 3.19 a). La seconda applicabile esclusivamente alle reti in filo d'acciaio (a doppia o singola torsione) viene eseguita con contrazione laterale libera. La rete è agganciata al telaio soltanto nei due lembi opposti nei quali si vuole applicare il carico (Figura 3.19 b).

Mentre si esegue la prova si registrano la forza applicata per il tiro e lo spostamento, similmente a quanto avviene per le prove a punzonamento. La prova si considera terminata se il provino giunge a rottura o raggiunge il massimo carico applicabile.

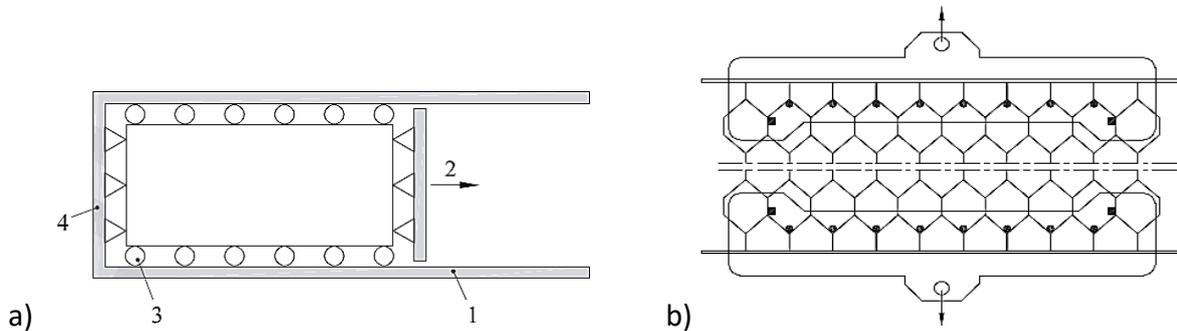


Figura 3.19 – Configurazione dei telai nelle prove a trazione. a) telaio a contrazione laterale impedita (1: telaio fisso, 2: trave mobile, 3: vincolo laterale, 4: dispositivo di attacco laterale). b) telaio a contrazione laterale libera. (UNI 11437:2012)

Per quanto riguarda le reti a pannelli di fune le prove a punzonamento e trazione saranno le medesime di quelle riportate per le reti a doppia torsione, poiché la norma UNI ISO 17746:2016 (Pannelli e rotoli di rete in funi d'acciaio – Definizioni e caratteristiche tecniche) recepisce in maniera identica la prova a punzonamento e a trazione descritta nella norma UNI 11437. Si aggiunge di seguito soltanto la descrizione delle prove che la norma ISO indica di eseguire sui nodi (a borchie o in filo).

Le prove che si eseguono per valutare la resistenza del nodo di collegamento tra le funi sono di due tipi: prove a trazione (massimo carico di rottura al nodo) e prove ad apertura del nodo (carico massimo di rottura a strappo del nodo).

La prima prova si esegue bloccando una fune convergente al nodo e applicando nell'altra una forza di trazione, come riportato in Figura 3.20 a). La prova deve consentire la valutazione della forza di scorrimento della fune attraverso il nodo.

La seconda prova si esegue bloccando una fune convergente al nodo e applicando nell'altra una forza nella direzione ortogonale, fino a portare a rottura la giunzione (Figura 3.20 b)

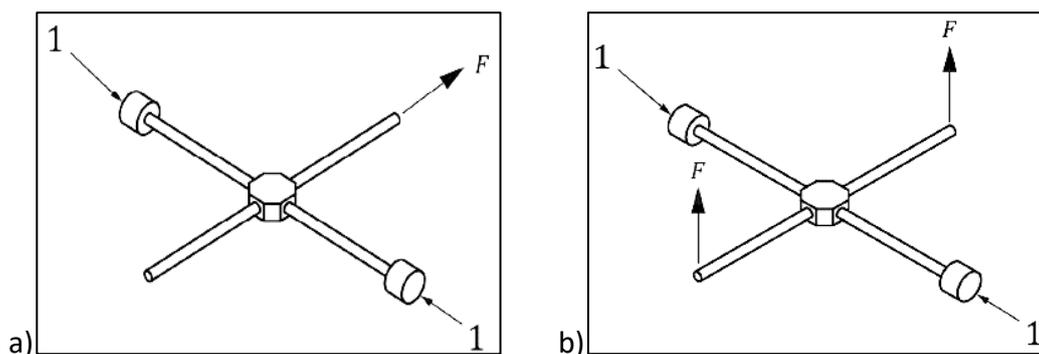


Figura 3.20 – Rappresentazione dello schema di applicazione delle forze per prove sui nodi dei pannelli di rete a fune. a) Prova di trazione; b) prova ad apertura dal nodo. (UNI ISO 17746:2016)

Si ricorda che per ottenere la certificazione CE per i pannelli di reti in fune d'acciaio, le prove da eseguire a livello europeo sono riportate anche nelle EAD 23005-00-0106 (2016): Wire rope net panels.

#### 3.4.4 DURABILITÀ DELLE RETI IN ADERENZA

Nelle “Linee Guida per la certificazione di idoneità tecnica all’impiego e l’utilizzo di prodotti in rete metallica a doppia torsione” rilasciate dal C.S.LL.PP. nel 2013, si evidenzia come la durabilità delle reti in aderenza sia strettamente legata alla corrosione dei fili metallici. Naturalmente anche per le reti in aderenza vale quanto detto per le barriere paramassi, nel paragrafo 3.3.5, e cioè che la durabilità dell’opera dipenda da una buona e costante manutenzione ordinaria e dalle condizioni di aggressività ambientale. Si legge infatti nelle suddette Linee Guida che la diversa durabilità dell’opera dipende dal tipo di rivestimento utilizzato per proteggere i fili metallici dalla corrosione, e tale protezione varia in funzione delle condizioni di aggressività ambientale (Tabella 3-8).

Tabella 3-8 – Tipologia di rivestimento dei fili metallici in funzione dell’aggressività ambientale (Linee Guida C.S.LL.PP)

Aggressività ambientale	Tipo di rivestimento
Bassa	Lega Zn 95% Al 5% oppure Lega Zn 90% Al 10%
Media	Lega Zn 95% Al 5% oppure Lega Zn90% Al 10%
Alta	Lega Zn90% Al 10% oppure Leghe ZnAl e rivestimento plastico

Anche lo spessore minimo di rivestimento da applicare è descritto nelle Linee Guida ed è funzione del diametro nominale del filo. Ad oggi l’applicazione di strati in lega di zinco è la scelta più utilizzata per rivestire e quindi proteggere dagli agenti atmosferici tali elementi metallici, anche se in alcuni ambienti con elevata aggressività o per opere che presentano una vita nominale di molti anni, si preferisce aggiungere anche una protezione in materiali polimerici.

# CAPITOLO 4.

## ELEMENTI PER UNA CORRETTA CAMPAGNA DI ISPEZIONE ALLE OPERE DI DIFESA

---

Le opere di difesa contro la caduta massi richiedono una manutenzione accurata e periodica per poter garantire nel tempo il mantenimento delle caratteristiche di qualità, funzionalità e il livello di protezione per il quale sono state progettate ed installate. Per tale motivo è opportuno che gli enti gestori si dotino di opposti piani di manutenzione, andando a scandire i tempi entro i quali eseguire ispezioni dettagliate per valutarne lo stato di conservazione e successivamente programmare, se necessario, interventi di manutenzione mirata.

Il presente capitolo, va ad individuare i principali elementi necessari per effettuare un sopralluogo rapido, ma al contempo completo, alle opere di protezione contro la caduta massi, per poter valutare, seppur in maniera qualitativa, il livello di efficienza residua, in funzione sia degli elementi costituenti e sia dell'ambiente circostante l'opera.

L'importanza di eseguire ispezioni periodiche e di dettaglio è fondamentale per l'ente gestore, poiché tramite esse potrà monitorare lo stato delle opere e decidere se intervenire laddove necessario. Un utile strumento da affiancare ai sopralluoghi potrebbe essere quello di creare un catasto georiferito delle opere, che sia di facile consultazione ed aggiornabile di volta in volta a seguito delle diverse ispezioni oppure dopo l'interventi manutentivi eseguiti. Infatti, avendo un quadro di insieme di tutto il patrimonio delle opere ed una valutazione sul loro stato di conservazione, il proprietario o gestore dell'opera, potrà stabilire una scala di priorità degli interventi di manutenzione (semplice controllo, manutenzione ordinaria, manutenzione straordinaria) e poter destinare quindi

le risorse economiche all'esecuzione di interventi più urgenti. I vantaggi di un catasto georiferito, inoltre, non si limitano soltanto a pianificare le risorse da destinare alla manutenzione, ma si possono estendere anche a pianificare la progettazione e l'installazione di nuove opere.

È opportuno chiarire, sin da adesso il significato di manutenzione ordinaria e straordinaria. Riportando quanto definito nelle norme UNI 11211:5, la prima fa riferimento all'esecuzione di interventi mirati a mantenere l'integrità dell'opera, a ripristinare/contrastare il normale degrado e ad assicurare la vita utile. Mentre la manutenzione straordinaria fa riferimento all'esecuzione di interventi necessari per rinnovare o sostituire parti anche strutturali dei manufatti, il cui scopo è quello di prolungare la vita utile dell'opera.

La procedura proposta nei seguenti paragrafi è stata impiegata durante il caso studio, per censire le opere di protezione contro la caduta massi, e valutarne il loro stato di conservazione. Si suppone che tali strumenti siano indispensabili, ma sicuramente ampliabili ed aggiornabili per eseguire una corretta campagna di ispezione sulle opere.

Si vuole precisare infine, che lo sviluppo tecnico e tecnologico registrato negli ultimi anni, ha portato sul mercato svariate tecnologie di opere di protezione. Non di rado sul territorio si sono trovate opere installate molti anni prima delle attuali norme di certificazioni e delle quali non si disponeva di alcun documento, affiancate ad opere più recenti le quali sono accompagnate invece da libretti di installazione, manuali di manutenzione e fascicoli tecnici. Quello che si vuole proporre qui è quindi una lista di strumenti che sia il più versatile, ma al contempo rigorosa e che possa adattarsi bene ad ispezionare sia opere più datate che opere più recenti.

## **4.1 Scheda di rilievo**

Un primo elemento indispensabile per eseguire dei corretti sopralluoghi è dotarsi di un'opposita scheda di rilievo nella quale devono essere annotate le principali caratteristiche dell'opera e i principali problemi riscontrati. Attraverso la compilazione di queste schede si riuscirà ad ottenere una identificazione delle tecnologie installate ed una valutazione finale sullo stato di conservazione dell'opera.

Nel caso studio affrontato, i cui dettagli verranno esaminati approfonditamente all'interno del Capitolo 5, sono stati utilizzati 4 modelli di schede di rilievo, elaborate da Marchelli et

al. (2019) e Marchelli (2020), una per ogni singola tipologia di opera di protezione censita.

In particolare:

- barriera paramassi a rete;
- barriera paramassi semideformabile di tipo travi-funi;
- rete a cortina;
- rete rinforzata.

Anche se ogni modello di scheda utilizzato si differenzia l'uno dall'altro, nelle parti relative alle componenti costituenti dell'opera, è possibile individuare in tutte le tipologie di schede utilizzate cinque macrosettori, indispensabili per censire accuratamente un'opera.

- 1) Tutte le schede si compongono da una prima parte che riguarda l'anagrafica e la collocazione geografica dell'opere (Figura 4.1). In questa sezione vengono riportate le credenziali dell'operatore specializzato che ha eseguito e compilato il verbale, la data o le date del sopralluogo, il comune o località nella quale ricade l'opera ed un codice identificativo dell'opera di protezione, scelto dall'operatore secondo un determinato schema prestabilito. Sempre in tale sezione bisogna riportare anche le coordinate geografiche e nel caso l'opera fosse in prossimità ad un elemento stradale anche il nome della strada e le progressive chilometriche di riferimento.

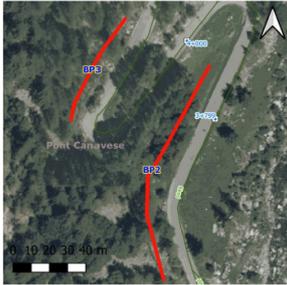
VERBALE DI SOPRALLUOGO - SCHEDA DESCRITTIVA E STATO DI CONSERVAZIONE		
<b>BARRIERA PARAMASSI</b>		
Operatore		
Data (GG/MM/AAAA)	02/12/2021	
Comune - Località	Valprato Soana	
Codice Barriera	BP3	
Collocamento geografico dell'opera :		
		
Punto di collocazione dell'opera		SP 48
Progressiva km <sup>(*)</sup>	4+060	<sup>(*)</sup> riferimento alle progressive delle strade provinciali (SP) della Città Metropolitana di Torino

Figura 4.1 – Esempio di scheda. Prima parte relativa all'anagrafica dell'opera

- 2) Una seconda macro-sezione riguarda la descrizione dell'opera (Figura 4.2). Tale sezione naturalmente sarà diversa in base alla tipologia di opera censita. Per le barriere paramassi sono richieste informazioni di carattere generale come, per esempio, la tipologia di barriera, la lunghezza complessiva dell'opera, il numero di

campate e l'altezza della barriera, per poi passare ad informazioni di dettaglio che richiedono il nome del produttore, l'anno di installazione, l'energia di progetto e se l'opera è stata realizzata prima o dopo le normative ETAG 027 (2008). Infine, l'ultima parte di questa sezione richiede informazioni relative alle singole componenti della barriera, per esempio il tipo di montante, la tipologia della rete principale, la presenza di dissipatori ecc.

Per quanto riguarda invece le reti a cortina, vengono richieste in questa sezione tra le informazioni generali, se queste siano semplici o provviste di funi intermedie, tra le informazioni di dettaglio invece il nome del produttore, l'anno di installazione, le resistenze a trazione a taglio e a sfilamento della rete e il massimo volume accumulabile al piede. Ed infine si trova una sezione nella quale si richiedono informazioni relative alle singole componenti della rete a cortina, per esempio tipologia della maglia della rete, cuciture e giunzioni tra i pannelli di rete, ancoraggi ecc.

Informazioni analoghe sono richieste anche per le reti rinforzate, con qualche differenza per le informazioni di carattere generale dov'è richiesta la tipologia della maglia della chiodatura lungo il versante, il numero di chiodi, numero di pannelli di rete e la lunghezza complessiva dell'opera. Una parte importante, infine, per le reti rinforzate riguarda la caratterizzazione delle funi di rinforzo.

DESCRIZIONE DELLA BARRIERA PARAMASSI	
<i>Informazioni di carattere generale sulla barriera paramassi:</i>	
Tipologia di barriera paramassi	<input type="checkbox"/> Barriera rigida; <input type="checkbox"/> A ridotta deformabilità; <input checked="" type="checkbox"/> Ad elevata deformabilità;
Lunghezza complessiva dell'opera (m)	ca. 78 m
Numero campate (-)	13
Altezza barriera (m)	4
<i>Informazioni di dettaglio sulla barriera paramassi:</i>	
Produttore	Nessuna informazione
Tipo di prodotto (modello-marca)	Nessuna informazione
Anno di installazione	Circa negli anni 2000
Energia di progetto (kJ)	Nessuna informazione
Realizzazione opera con riferimento alla Linea Guida ETAG027 (Guide Line for European Technical Approval of Falling Rock Protection Kits)	<input checked="" type="checkbox"/> Pre-ETAG027; <input type="checkbox"/> Post-ETAG027;

Figura 4.2 – Esempio di scheda. Seconda parete relativa alla descrizione dell'opera

- 3) La terza sezione riguarda la compilazione di una check list, che rappresenta la parte più importante del verbale di sopralluogo. Tramite la sua compilazione il tecnico incaricato ed opportunamente formato è in grado di valutare, in maniera sistematica, le problematiche relativi agli elementi costituenti l'opera. Una

trattazione di dettaglio su come sia costituita la check list sarà affrontata all'interno del paragrafo 4.2.

- 4) Un'altra importante sezione riguarda la parte relativa alle conclusioni. La scheda originale proposta dagli autori prevedeva la compilazione dello "*stato di conservazione dell'opera*". L'operatore qui doveva indicare sinteticamente i risultati della check list ed evidenziare eventuali criticità, esprimendo un giudizio finale sullo stato di conservazione. La variazione apportata nel presente lavoro ha visto la modifica di questa parte con una sezione che riguardasse "*lo stato dell'opera*". Con questa modifica vengono riportate in una prima parte alcuni aspetti che l'operatore ritiene importanti in merito alle tecnologie impiegate e alle condizioni del versante, ed infine un commento sui risultati della check list esprimendo un giudizio sullo stato di conservazione e su un possibile grado di manutenzione necessaria.
- 5) Infine, l'ultima sezione della scheda di rilievo, riguarda gli allegati fotografici a supporto della descrizione dell'opera. Qui si riportano le fotografie degli elementi principali e di eventuali danni o di altri elementi che l'operatore ritiene siano importanti per rendere più esplicito quanto descritto nella sezione precedente anche nell'ottica di un eventuale confronto con successive ispezioni.

Si può facilmente intuire che i dati richiesti per compilare le schede di rilievo sono molto accurati e richiedono una conoscenza completa ed approfondita delle opere. Per questo è opportuno che il personale addetto ad eseguire le ispezioni e successivamente compilare le schede, sia altamente specializzato e formato.

## **4.2 Valutazione dello stato di ammaloramento delle opere**

Nel seguente capitolo si andrà ad illustrare la parte relativa alla compilazione della check list, che come già detto rappresenta la sezione più importante della scheda di rilievo, in quanto i valori inseriti in questa sezione rappresentano i dati di input dell'algoritmo utilizzato nel caso studio per valutare lo stato di conservazione delle opere di protezione (barriere paramassi e reti in aderenza) presenti lungo la viabilità di competenza della Città Metropolitana di Torino.

L'algoritmo impiegato è stato sviluppato da Marchelli et al. (2019) per le reti in aderenza e da Marchelli (2020) per le barriere paramassi a rete, e restituisce informazioni utili

riguardanti la capacità residua dell'opera per mitigare il rischio e dell'eventuale manutenzione da prestare.

Per gli enti proprietari o gestori di tali opere è infatti opportuno valutare lo stato di conservazione di tali opere per definire una scala di priorità degli interventi di manutenzione e garantire così sempre un livello di sicurezza minimo nei confronti della problematica della caduta massi. Lo scopo dell'approccio proposto è la valutazione dell'efficienza residua della mitigazione del rischio delle opere di difesa quando non sono disponibili dati quantitativi da un monitoraggio. Tale metodo, dunque, intende essere uno strumento alternativo ad un monitoraggio continuo, cioè uno strumento che serve a valutare, in maniera periodica da parte di un esperto, come l'invecchiamento influisce su sistema di protezione (Marchelli et al., 2019), assumendo come ipotesi di partenza che all'inizio della vita utile del sistema, questo abbia completa efficienza, ossia considerando assenti eventuali problemi connessi con la progettazione, posizionamento e installazione, che però incidono ampiamente sull'efficacia del sistema (Dimasi et al., 2015).

Le indagini periodiche, svolte da tecnici esperti e opportunamente formati, forniscono un risultato in termini di estensione del danno e del grado di conservazione dell'intera opera.

Sia le barriere paramassi che le reti in aderenza sono costituite da un insieme di diversi elementi che concorrono a proteggere l'elemento esposto a rischio garantendo un certo livello di sicurezza. Come si può ben intuire ogni singolo componente che costituisce l'opera può essere soggetto a danneggiamento ma tale danneggiamento influirà in maniera differente sulla funzionalità dell'intero sistema. Il punto di partenza è stato quindi, dividere le opere nelle loro componenti principali e successivamente individuare per ogni componente delle possibili problematiche che possano arrecare un danno. Per esempio, la corrosione degli elementi metallici, l'usura, gli agenti atmosferici, l'interazione con i detriti, la vegetazione, gli impatti ecc. Naturalmente le problematiche di danno riscontrate agiscono in maniera differente sul singolo elemento e il danno arrecato all'intero sistema avrà un peso differente. Per questo motivo, l'autore sulla base di accurate analisi osservative in campo e sulla base di dati reperiti in letteratura ha associato ad ogni potenziale danneggiamento un livello di importanza, ossia un peso, espresso mediante una classe C, funzione dell'influenza che questo può avere sulla funzionalità del sistema. Sono state individuate 3 classi di importanza C: la classe C1 indica che l'influenza del problema sulla funzionalità complessiva è trascurabile; C2 che il problema potrebbe influenzare il sistema di protezione e C3 quando la voce considerata è

in grado di ridurre drasticamente l'efficienza, e di conseguenza l'efficacia, dell'opera (Marchelli et al., 2019).

L'algoritmo per la valutazione dello stato di conservazione, si basa su un sistema multi-matriciale al quale bisogna fornire in ingresso, oltre che la classe di importanza, anche un valore del grado di danneggiamento  $d$  per ogni  $n$ -esimo potenziale danno individuato. L'operatore specializzato che eseguirà il sopralluogo avrà a disposizione tre gradi di danno per poter valutare le criticità degli elementi:  $d0$  (nessun danno),  $d1$  (danno moderato),  $d2$  (danno intenso).

Tabella 4-1 - Classi di importanza e livello di danno da attribuire alle componenti dell'opera

Classi di importanza ( $C$ )		Livello di Danno ( $d$ )	
C1	Poco importante	d0	Nessun danno
C2	Mediamente importante	d1	Danno moderato
C3	Molto importante	d2	Danno intenso

Durante il rilievo in campo l'operatore compila una check list, differente in base al tipo di opera che si andrà ad ispezionare (barriera paramassi a rete, barriera semideformabile di tipo travi e funi, rete a cortine o rete rinforzata), nella quale saranno riportati tutti i principali elementi che costituiscono l'opera, i potenziali danneggiamenti e le relative classi di importanza (anche se non necessarie al momento del sopralluogo). A fianco sarà presente una colonna in cui l'operatore andrà a riportare il suo giudizio, in base a quanto osservato, riguardo lo stato di danno  $d$ .

Alle operazioni di rilievo segue poi il calcolo dello stato di conservazione, che viene eseguito attraverso l'uso di un doppio sistema matriciale:

- una matrice 3x3 servirà per individuare i punteggi  $P_i$ , da associare a ciascun potenziale danneggiamento in funzione della sua classe di importanza  $C$  e dal livello di danno  $d$ , attribuito dall'operatore.

Tabella 4-2 - Matrice dei punteggi  $P_i$  per la definizione dello stato di conservazione

Livello di danno \ Classi di importanza	C1	C2	C3
	d0	P=0	P=0
d1	P=1	P=2	P=3
d2	P=2	P=3	P=5

Si riuscirà così ad ottenere un punteggio percentuale complessivo dell'opera, in accordo con la seguente formula:

$$P_{TOT} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{P_{max}} \quad (14)$$

cioè dato dal rapporto tra la sommatoria dei punteggi  $P_i$  determinati per ogni voce della check list e il punteggio massimo raggiungibile  $P_{max}$ .

$P_{max}$  sarà uguale alla somma dei prodotti tra il punteggio massimo attribuibile ad ogni classe di importanza e il numero totale di elementi presenti nell'opera con quella determinata classe.

$$P_{max} = 5 \cdot n_{C3} + 3 \cdot n_{C2} + 2 \cdot n_{C1} \quad (15)$$

Infatti, com'è noto, può capitare che per una stessa tipologia di opera, esistono varianti in commercio che prevedono la presenza o meno di alcune componenti. A titolo esemplificativo, può capitare che non tutte le barriere paramassi siano equipaggiate con controventi di valle. In tal caso le voci relative a tale componente è esclusa dal calcolo del punteggio massimo  $P_{max}$  e di conseguenza dal punteggio percentuale complessivo.

$P_{TOT}$  fornisce un'indicazione qualitativa in merito al numero di elementi che hanno subito un danneggiamento: un punteggio alto indicherà quindi che molti elementi dell'opera riversano in stato uno stato critico di conservazione. In Tabella 4-3 vengono riportati gli intervalli di valore considerati durante il caso studio;

Tabella 4-3 - Estensione del danno in funzione del punteggio percentuale complessivo  $P_{TOT}$ .

	$P_{TOT}$ (%)		Estensione del Danno
<b>P1</b>	0	20	Bassa
<b>P2</b>	21	35	Moderata
<b>P3</b>	36	75	Medio-Alta
<b>P4</b>	76	100	Alta

- mediante una seconda matrice 3x3, avente la stessa struttura della precedente, è possibile associare ad ogni voce della check list anche un livello di conservazione o grado di manutenzione A. In modo del tutto analogo alla determinazione del punteggio  $P_i$ , si perviene ad un valore di A dato dal livello di danno attribuito all'iesima voce e dalla classe di importanza corrispondente. Si possono avere tre livelli: A0 è necessario un piano di manutenzione a lungo termine, non si riscontrano perdite di funzionalità dell'opera; A1 è necessario un piano di manutenzione a breve/medio termine, si riscontra una perdita parziale di funzionalità; A2 è necessaria una manutenzione urgente, si riscontra una perdita totale di funzionalità dell'opera.

Tabella 4-4 - Matrice del livello di conservazione A per la definizione dello stato di conservazione

Classi di importanza Livello di danno	C1	C2	C3
<b>d0</b>	A0	A0	A0
<b>d1</b>	A0	A0	A1
<b>d2</b>	A0	A1	A2

All'intero sistema è possibile associare un livello di manutenzione  $A_{TOT}$  corrispondente al peggiore ottenuto nelle singole voci.

$$A_{TOT} = \text{peggiore } (A)_{1,2,\dots,n} \quad (16)$$

Lo stato di conservazione complessivo dell'opera è espresso dunque attraverso una valutazione quantitativa sull'estensione dei danni  $P_{TOT}$  e dallo stato di conservazione  $A_{TOT}$  che informa riguardo alla necessita di intervento.

Si possono effettuare alcune considerazioni in merito a questi due parametri. Un punteggio  $P_{TOT}$  alto può comportare un basso livello di conservazione  $A_{TOT}$ , ma tuttavia un basso valore di  $P_{TOT}$  non implica necessariamente una completa efficienza dell'opera. Può risultare infatti che, nonostante l'estensione del danno sia bassa, la struttura risulti gravemente compromessa, in quanto un solo elemento importante (di classe C3) presenta un danno intenso (d3).

Come già descritto precedentemente, l'applicazione dell'algoritmo sviluppato da Marchelli et al., prevede la divisione di ogni opera negli elementi principali che la compongono e a questi sono attribuiti delle problematiche di danno con una classe di importanza (peso) stabilita a priori. Nei paragrafi successivi si approfondirà la tematica, riportando le varie voci dei potenziali danneggiamenti ai diversi elementi costituenti le barriere paramassi e le reti a cortina, attribuiti dagli autori.

#### 4.2.1 BARRIERE PARAMASSI

Il metodo proposto, col fine di mantenere una validità generale, a prescindere quindi dalle singole variabili costruttive, ha individuato le componenti principali che costituiscono le barriere paramassi e se danneggiate possono portare alla difettosità dell'opera. Le componenti principali sono:

- versante;
- rete principale;
- rete secondaria;

- montanti;
- funi longitudinali superiori;
- funi longitudinali inferiori;
- funi di controvento laterale;
- funi di controvento di monte;
- altre funi.

A seguito di un completo studio della letteratura esistente (Volta, 2011; Bertrand et al., 2012; Gentilini et al., 2013; Thoeni et al., 2013; Dimasi et al., 2015; Luciani et al., 2016; Castanon-Jano et al., 2018; Lecce, 2018; Xu et al., 2018; Zhao et al., 2020) e un'approfondita campagna d'indagine effettuata dall'Autore, sono stati identificati tutti i possibili scenari critici o danneggiamenti che possono verificarsi sulle componenti principali costituenti il sistema barriera paramassi (Marchelli, 2020). Le problematiche individuate però influiscono in modo differente sull'efficienza dell'opera, per questo si è associato un peso, cioè una classe di importanza del danno, come già esposto precedentemente. Di seguito si riporta una tabella riepilogativa con gli elementi principali, i potenziali danni individuati e la corrispettiva classe di danno.

Dalla Tabella 4-5 si riesce ad evincere che il versante ricopre un ruolo fondamentale nello stato di conservazione dell'opera, in quanto entrambi i danneggiamenti individuati hanno una classe C3. La presenza di vuoti al piede potrebbe rappresentare una via preferenziale per un masso in caduta, evidenziando così l'inefficacia della barriera ad intercettare il blocco e rischiando così di mettere in pericolo l'elemento a rischio sottostante l'opera. Allo stesso modo la presenza di specie vegetali ad alto fusto, a monte e a valle potrebbe limitare la deformazione massima della struttura di intercettazione non consentendo un corretto funzionamento.

Tabella 4-5 - Componenti principali della barriera paramassi, potenziali danneggiamenti e classe di importanza

Componente	Potenziale danneggiamento	Classe di importanza
<u>Versante</u>	Presenza di vuoti al piede della barriera	C3
	Presenza di specie vegetali ad alto fusto o cespugli che limitino la capacità deformativa della rete	C3
<u>Rete principale</u>	Presenza di detriti nella rete	C2
	Presenza di sterpaglie, specie vegetali arbustive e/o rampicanti nella rete	C1
	Lacerazioni della rete	C3
	Deformazioni	C2
	Danneggiamento\corrosione\mancanza di elementi di giunzione tra i pannelli di rete	C3
	Rottura giunzioni rete-funi	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C1
<u>Rete secondaria</u>	Presenza di strappi, deformazioni e/o perforazioni	C2
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C1
	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	C1
<u>Montanti</u>	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C1
	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	C1
	Danneggiamento della cerniera di base	C3
	Deformazione importante e/o rottura del montante	C3
	Ancoraggio dei montanti: variazione della geometria originaria di eventuali chiodi e/o barre (elementi piegati o deformati in modo permanente, fratturati o estratti)	C2
<u>Funi longitudinali superiori</u>	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	C3
	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	C2
	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa (1 = danneggiamento connessione; 2 = distacco dagli elementi di ritenuta)	C3
	Ammaloramento/danneggiamento/distacco/assenza degli ancoraggi o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	C3
	Presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	C1
	<b>Freni:</b> presenza di specie vegetali/ detriti nell'area di scorrimento dei freni	C2
	<b>Freni:</b> deformazioni permanenti o scorrimenti	C3
<u>Funi longitudinali inferiori</u>	<b>Freni:</b> presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C1
	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	C3
	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	C2
	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o distacco dagli elementi di ritenuta di testa (1 = danneggiamento connessione; 2 = distacco dagli elementi di ritenuta)	C3
	Ammaloramento/danneggiamento/distacco/assenza degli ancoraggi o degli elementi di giunzione tra fune e ancoraggio a terra	C3
	Presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	C1
	<b>Freni:</b> presenza di specie vegetali/ detriti nell'area di scorrimento dei freni	C2
<u>Funi di controvento laterale</u>	<b>Freni:</b> deformazioni permanenti o scorrimenti	C3
	<b>Freni:</b> presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C1
	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	C3
	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	C2
	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/ deformazioni permanenti/ rotture dell'ancoraggio	C3
	Presenza di ammaloramento/ danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio, danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	C2
	Presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	C1
<u>Funi di controvento di monte</u>	<b>Freni:</b> presenza di specie vegetali/ detriti nell'area di scorrimento dei freni	C2
	<b>Freni:</b> deformazioni permanenti o scorrimenti	C2
	<b>Freni:</b> presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C2
	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	C3
	Fune lasca o tesa in modo anomalo (anche una sola)	C2
	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti/ deformazioni permanenti/ rotture dell'ancoraggio	C3
	Presenza di ammaloramento/ danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio, danneggiamento/corrosione/assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio	C3
<u>Altre funi (e.g. di trasmissione, verticali)</u>	Presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	C1
	<b>Freni:</b> presenza di specie vegetali/ detriti nell'area di scorrimento dei freni	C2
	<b>Freni:</b> deformazioni permanenti o scorrimenti	C3
	<b>Freni:</b> presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C1
	Presenza di zone arrugginite/danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	C1

Per quanto riguarda invece la rete principale, sono stati individuati sette potenziali danneggiamenti, di cui tre con una classe C3, due con classe C2 e due con classe C1. La presenza di lacerazioni in questo elemento rappresenta l'apertura di spazi che potrebbero far passare blocchi di volumetrie anche importanti, evidenziando l'inefficacia del sistema. Anche il danneggiamento, la corrosione e la mancanza di elementi di giunzione tra i pannelli di rete, così come la rottura tra le giunzioni rete-funi potrebbe portare ad avere gli stessi problemi, non riuscendo a garantire l'unione della rete di intercettazione. La presenza di detriti o di un blocco incastrato può causare sollecitazioni non previste che potrebbero portare a deformazioni e a ridurre l'altezza nominale di intercettazione, inoltre se non rimossi tali blocchi possono portare la rete a rottura per punzonamento. Per quanto riguarda le deformazioni possono portare ad una riduzione della capacità energetica di assorbimento della rete. Ugualmente se la rete interagisce con della vegetazione questa può portare a sollecitazioni non previste e in presenza di ristagni d'acqua, favorire la corrosione. Essendo la barriera costituita prevalentemente da elementi metallici la presenza di zone arrugginite è un fenomeno che interessa tutti gli elementi costituenti. La presenza di corrosione, infatti, può portare problemi nella sezione resistente delle funi, nei montanti e negli elementi di connessione.

Per quanto riguarda la rete secondaria, il suo scopo principale è quello di intercettare gli elementi lapidei di ridotte dimensioni e quindi la presenza di strappi in questa componente porterebbe ad una riduzione di funzionalità del sistema.

Per i montanti invece è indispensabile che non vengano abbattuti, in quanto il loro compito è di mantenere dispiegata tutta la struttura. Un loro danneggiamento o abbattimento comporterebbe inevitabilmente la rottura di tutto il sistema barriera e per questo motivo è stata attribuita una classe di importanza C3. Anche un danneggiamento della cerniera di base, che rappresenta il collegamento tra il montante e la fondazione rappresenta un grave danno per l'intera struttura e anche questo danno è stato valutato con una classe di importanza C3. I problemi agli ancoraggi invece influiscono in maniera minore ma comunque non trascurabile, per questo vanno controllati eventuali variazioni delle geometrie dei chiodi o barre, e se presentano sfilamenti, pieghe o deformazioni.

Sia per le funi longitudinali superiori e inferiori e sia per le funi di controvento laterali e di monte è possibile fare un discorso simile, in quanto sono interessate tutte dalle medesime problematiche. Per tali elementi è importante che godano di una buona integrità e che quindi non presentino delle rotture, che non sia danneggiata la testa dell'ancoraggio e che

comunque questo non risulti sfilato o deformato. Le funi inoltre devono risultare ben tese e mai lasche in quanto potrebbero compromettere la funzionalità dell'opera. Se presenti, i dissipatori di energia, non devono presentare deformazioni, in tal caso andrebbero sostituiti se arrivati a fine corsa. Inoltre, la presenza di specie vegetali nella zona di scorrimento potrebbe ostruire e limitarne la corretta deformazione.

Il danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della testa dell'ancoraggio, la corrosione o l'assenza degli elementi di giunzione fune-ancoraggio, viene valutato in maniera differente per le funi di controvento laterali e di monte. Infatti, nel primo caso è attribuita una classe di importanza C2, e nel secondo caso, essendo le funi di controvento di monte maggiormente sollecitate in caso di impatto viene attribuito un peso C3.

Infine, in base alle diverse tecnologie in commercio una barriera può avere altre tipologie di funi che contribuiscono a dissipare le energie dei blocchi impattanti e a mantenere l'opera in posto. Tali funi possono essere controventi di valle, funi di trasmissione longitudinale ecc. Per la classe di importanza e le valutazioni da effettuare valgono le medesime affermazioni fatte per le precedenti funi.

#### 4.2.2 RETI IN ADERENZA

Per affrontare lo studio dello stato di conservazione delle reti in aderenza è necessario distinguere tra reti a cortina e reti rinforzate, poiché gli elementi che le costituiscono differiscono. Benché si possano ritrovare elementi in comune e criticità simili, queste due opere differiscono nel modo in cui mitigano il rischio.

Col fine di mantenere una validità generale, a prescindere quindi dalle singole variabili costruttive, si sono individuate le componenti principali che costituiscono le reti a cortine e le reti rinforzate.

##### Rete a cortina:

- rete di contenimento;
- fune di sostegno sommitale;
- fune di sostegno al piede;
- fune di sostegno intermedie (eventuali);
- elementi di giunzione tra i pannelli di rete;
- elementi di giunzione rete-fune superiore;
- elementi di giunzione rete-fune inferiore;
- elementi di giunzione rete-funi intermedie;

Rete rinforzata:

- rete di contenimento;
- fune di sostegno sommitale;
- fune di sostegno al piede;
- fune di rinforzo;
- elementi di giunzione tra i pannelli di rete;
- elementi di giunzione rete-fune superiore;
- elementi di giunzione rete-fune inferiore;

In Tabella 4-6 vengono riportate le principali problematiche individuate per le diverse componenti delle reti a cortina e delle reti rinforzate. Naturalmente come per le barriere paramassi, tali problematiche influiscono in modo differente sull'efficienza dell'opera, per questo è associato un peso, cioè una classe di importanza del danno C.

Analizzando nel dettaglio la Tabella 4-6 è opportuno sottolineare che, pur essendo le due tipologie di reti molto simili e interessate quasi sempre dalle stesse problematiche, queste influiscano con peso diverso nei due casi, proprio perché la tecnologia per mitigare il rischio è differente, come già discusso all'interno del paragrafo 3.4. In breve le reti a cortina vengono classificati come interventi di mitigazione di tipo passivo, poiché guidano semplicemente i blocchi distaccati al piede, mentre le reti rinforzate sono classificate come interventi di mitigazione di tipo attivo, in quanto l'azione attiva esplicitata dai chiodi tende a prevenire anche un eventuale distacco dei blocchi.

Partendo con l'analizzare la rete metallica di contenimento, si può dedurre che la presenza di lacerazioni o deformazioni e/o spancamenti influiscano in maniera significativa sul grado di conservazione. In caso di lacerazioni della rete, infatti, i blocchi in caduta possono uscire dalla rete di contenimento ed intercettare un potenziale elemento a rischio. La presenza di detrito ha lo stesso peso in entrambi i casi (rete a cortina e rete rinforzata), poiché se tale cumulo risulta eccessivo può portare a rottura la rete per la nascita di sollecitazioni indesiderate. Per quanto riguarda la presenza di detriti nella rete e la presenza di specie vegetali che interagiscono con la rete, questi hanno un peso minore nel caso di rete rinforzate poiché la presenza dei chiodi di ancoraggio garantisce un'aderenza migliore al versante, mentre nel caso di rete a cortina se il danno risulta rilevante può portare ad una non corretta aderenza della rete al versante e ciò potrebbe causare ulteriori lacerazioni o danneggiamenti. Infine, la presenza di corrosione diminuisce l'efficienza del sistema ma non in modo rilevante.

Tabella 4-6 - Componenti principali delle reti a cortina e delle reti in aderenza, potenziali danneggiamenti e classe di importanza

Componente	Potenziale danneggiamento	Classe di importanza	
		Rete a cortina	Rete rinforzata
Rete metallica di contenimento	<u>Rete a cortina</u> : Il detrito forma un accumulo rilevante al piede del pendio <u>Rete rinforzata</u> : il detrito forma un accumulo rilevante all'interno di un campo definito da 4 chiodi	C3	C3
	Presenza di detriti nella rete	C2	C1
	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti che interagiscono con la rete	C2	C1
	Lacerazioni della rete	C3	C3
	Deformazioni e/o spaccamenti nella rete	C3	C3
	Presenza di corrosione e/o rimozione delle protezioni anticorrosive della rete	C1	C1
Fune di sostegno sommitale	Fune mancante <u>Rete a cortina</u> = se la fune è assente indicare d2 <u>Rete rinforzata</u> = se la fune è assente attribuire: d1 se la rete è fissata a terra con molteplici ancoraggi; d2 se la rete NON è fissata a terra con molteplici ancoraggi.	C3	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento della fune	C3	C2
	Ancoraggio mancante	C3	C3
	Elementi mancanti nelle giunzioni (fune-ancoraggio)	C3	C3
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi	C1	C1
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra	C2	C2
Fune di sostegno al piede	Sfilamento degli ancoraggi	C3	C3
	Fune mancante <u>Rete a cortina</u> = se la fune è assente attribuire: 1 se la rete è fissata a terra con ancoraggi; d2 se la rete NON è fissata a terra con ancoraggi. <u>Rete rinforzata</u> = se la fune è assente attribuire: d1 se la rete è fissata a terra con molteplici ancoraggi; d2 se la rete NON è fissata a terra con molteplici ancoraggi.	C2	C1
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento della fune	C2	C1
	Fune non visibile perchè coperta da detriti e/o vegetazione	C1	C1
	Ancoraggi non visibili	C1	-
	Assenza degli ancoraggi	C2	C1
	Elementi mancanti nelle giunzioni	C2	C3
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi	C1	C1
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra	C2	C1
	Sfilamento degli ancoraggi	C2	C1
Fune di sostegno intermedie (verticali o orizzontali, se presenti)	Fune mancante	C1	-
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune	C1	-
	Fune non visibile perchè coperta da detriti e/o vegetazione	C1	-
	Ancoraggi non visibili	C1	-
	Assenza degli ancoraggi	C1	-
	Elementi mancanti nelle giunzioni	C1	-
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi	C1	-
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra	C1	-
	Sfilamento degli ancoraggi	C1	-
Fune di rinforzo	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune	-	C1
	Fune mancante	-	C3
	Ancoraggio mancante	-	C3
	Elementi mancanti nelle giunzioni	-	C3
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi	-	C1
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra	-	C2
	Sfilamento degli ancoraggi	-	C3
Elementi di giunzione tra i pannelli di reti	Elementi mancanti	C3	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione	C2	C2
Elementi di giunzione tra rete-fune superiori	Elementi mancanti	C3	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione	C2	C2
Elementi di giunzione tra rete-fune inferiori	Elementi mancanti	C2	C2
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione	C1	C1
Elementi di giunzione tra rete-fune intermedie	Elementi mancanti	C2	-
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione	C1	-

Per le funi di sostegno sommitale si riscontrano gli stessi problemi con classi di importanza uguali in tutti i potenziali danneggiamenti, fatta eccezione per la criticità riguardante la presenza di zone arrugginite o danneggiamento. Infatti, per le reti a cortina la fune di sostegno sommitale rappresenta l'unico elemento in grado di trasferire le sollecitazioni

agli ancoraggi e quindi un suo danneggiamento influenzerebbe l'intera struttura, per tale motivo è stato assegnato un peso di C3. Al contrario le reti rinforzate possono contare anche sulle funi di rinforzo per ripartire il carico su tutta la struttura.

Di estrema importanza sono, per entrambe le tipologie, gli ancoraggi. Infatti, la loro mancanza o un loro sfilamento ha un peso elevato poiché rappresenta l'unico punto di giunzione tra la rete e il terreno, garantendo non solo la corretta aderenza ma anche la trasmissione dei carichi al terreno. Infine, anche i morsetti svolgono un ruolo importante poiché, una loro mancanza potrebbe portare allo sfilamento della fune dall'ancoraggio.

Per le funi di sostegno al piede non sono state riscontrate problematiche che porterebbero da sole alla completa difettosità dell'opera, tranne nelle reti rinforzate dove la mancanza di giunzioni morsettate potrebbe compromettere lo stato di conservazione. Si ricorda infatti che per le reti rinforzate il ruolo principale di sostegno è svolto dalle funi di rinforzo, per questo motivo nella fune di sostegno al piede le altre voci hanno un'importanza poco rilevante.

Facendo riferimento sempre alla Tabella 4-6, si nota che per le reti a cortina possono essere installate anche delle funi intermedie che tuttavia non ricoprono una funzione strutturale per l'opera, ma hanno solo il compito di mantenere la rete aderente alla parte, e per tale motivo non influiscono sull'efficacia del sistema in maniera rilevante.

Diversamente per le reti rinforzate, le funi di rinforzo svolgono un ruolo importantissimo. La mancanza di una fune o di un ancoraggio potrebbe compromettere il corretto funzionamento. Anche lo sfilamento dell'ancoraggio o la mancanza delle giunzioni morsettate nelle funi potrebbero portare allo sfilamento della fune e quindi a comprometterne la funzionalità. Per questo è stata attribuita una classe di importanza C3. Per quanto riguarda gli elementi di giunzione tra i pannelli di rete, per entrambe le tipologie la mancanza di essi porterebbe ad aperture nella rete che potrebbero far transitare elementi lapidei mostrando così l'inadeguatezza del sistema a proteggere l'elemento a rischio. Inoltre, si è notato che la mancanza di un elemento incide più della corrosione sul calcolo sull'efficienza del sistema, per questo al primo è stato attribuito un peso di C3 mentre al secondo di C2. Analogamente questo discorso può essere ripetuto per gli elementi di giunzione tra rete e fune superiore dove la fune rappresenta un elemento fondamentale per entrambe le tipologie di rete. Invece, si è valutato il danno in maniera differente per gli elementi di giunzione tra rete e fune inferiore, dove una loro mancanza o corrosione non influiscono in maniera rilevante sull'efficienza dell'opera.

### 4.3 Grado di manutenzione richiesto

Al fine di pervenire ad una classificazione delle opere che tenga conto della funzionalità residua di contrastare la caduta massi e successivamente programmare una manutenzione adeguata, si è deciso di attribuire a tutte le opere ispezionate un 'grado di manutenzione' tramite il quale l'ente gestore potrà programmare gli interventi in funzione della priorità richiesta.

Per determinare il grado di manutenzione richiesto da un'opera, durante il caso studio, si è deciso di considerare i valori restituiti dall'algoritmo esposto nel paragrafo precedente, e cioè il valore del punteggio percentuale complessivo  $P_{tot}$ , che rappresenta l'estensione del danno, e il valore dallo stato di conservazione  $A_{tot}$ . In particolare, ogni grado di manutenzione è individuato da un prefissato intervallo del punteggio  $P_{tot}$ , e da un valore di  $A_{tot}$ . In Tabella 4-7 sono riportati gli intervalli dell'estensione del danno  $P$ , scelti in riferimento al caso studio. Infatti, non si esclude la possibilità di adottare intervalli differenti in base alle problematiche individuate nei diversi siti. Mentre i valori dello stato di conservazione restituiti dall'algoritmo possono essere tre, ovvero, A0 se non si riscontrano perdite di funzionalità dell'opera, A1 se si riscontrano perdite parziali di funzionalità, A2 se si riscontrano perdite totali di funzionalità dell'opera.

Tabella 4-7 - Estensione del danno in funzione del punteggio percentuale complessivo  $P_{TOT}$ .

	$P_{TOT}$ (%)		Estensione del Danno
<b>P1</b>	0	20	Bassa
<b>P2</b>	21	35	Moderata
<b>P3</b>	36	75	Medio-Alta
<b>P4</b>	76	100	Alta

Dall'intersezione di questi due parametri si è potuto così classificare le opere con quattro gradi di manutenzione:

- manutenzione urgente (per ripristino o sostituzione);
- manutenzione medio-alta (con interventi diffusi);
- manutenzione moderata (con interventi localizzati e mirati solo ad alcuni elementi);
- manutenzione bassa-nulla.

In Figura 4.3 si riporta lo schema utilizzato per determinare il grado di manutenzione.

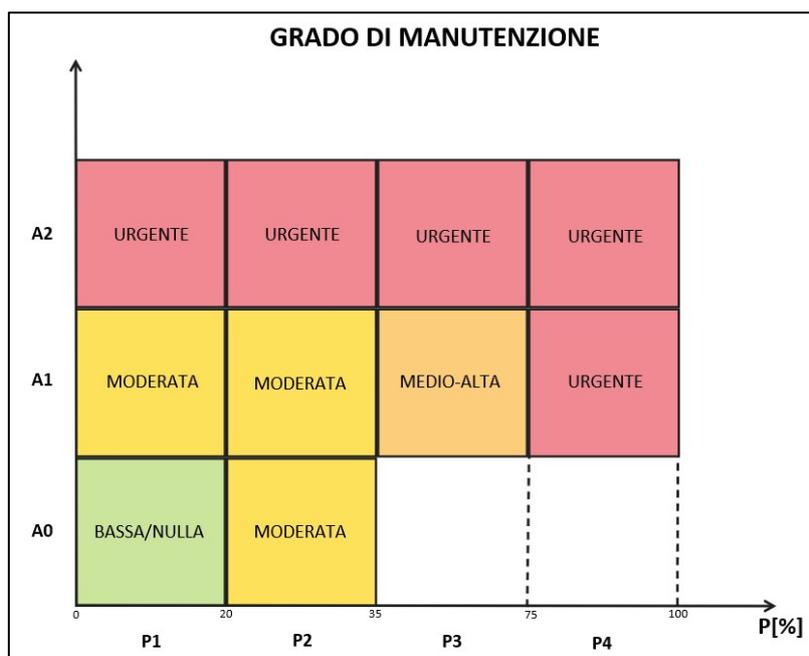


Figura 4.3 - Matrice che restituisce il grado di manutenzione

Guardando il grafico in Figura 4.3 si possono effettuare alcune considerazioni. Se l'estensione del danno è ridotta, cioè si hanno bassi valori di P e se non si riscontrano perdite di funzionalità dell'opera, cioè si ha un valore dello stato di conservazione pari ad A0, ne consegue che l'opera gode di un ottimo stato di conservazione e quindi non necessita di manutenzione nel breve termine e si avrà a disposizione più tempo per programmare altre indagini ed ispezioni. Viceversa, se l'estensione del danno è ridotta, cioè si hanno bassi valori di P, ma un solo componente importante (di classe C3) dell'opera è interessato da un grave danneggiamento che porta ad avere una perdita totale di funzionalità, cioè un valore dello stato di conservazione pari ad A2, l'opera necessiterà di un intervento urgente di manutenzione nel breve periodo, per poter recuperare la corretta funzionalità. Si sottolinea, che a prescindere dal valore del punteggio P, se lo stato di conservazione dell'opera risulta essere pari ad A2 la manutenzione richiesta è sempre urgente, e l'intera funzionalità dell'opera è compromessa. Infine, si segnala che se l'estensione del danno supera il 35%, lo stato di conservazione non potrà mai essere pari ad A0, e la manutenzione richiesta potrà essere soltanto medio-alta o urgente.

Una volta calcolato il grado di manutenzione, l'ente gestore potrà destinare prioritariamente le risorse al ripristino di quelle opere la cui efficienza è bassa e quindi necessitano di una manutenzione urgente. Mentre per tutte quelle opere la cui efficienza è ancora alta non si dovrà eseguire una manutenzione straordinaria nel breve periodo. Ciò però non impedisce all'ente di eseguire controlli periodici su tali opere. Infatti, solo

l'attuazione di un piano corretto di manutenzione, che comporta frequenti ispezioni, visive e non solo, potrà garantire nel tempo la durabilità e il mantenimento dell'efficienza rispetto ad uno stato iniziale di riferimento.

## **4.4 Georiferire e caratterizzare le opere**

Al fine di agevolare l'ente gestore, nella programmazione sia di future ispezioni e sia di eventuali interventi manutentivi, si è pensato di creare un catasto georiferito di tutte le opere di protezione contro la caduta massi censite di competenza dell'ente, in maniera tale che le informazioni e le valutazioni sulle singole opere siano più fruibile e di facile lettura.

Attraverso questo strumento, infatti, si potrà consultare più rapidamente e in maniera più efficace lo stato di conservazione delle opere ed eventualmente decidere se eseguire o meno interventi mirati. Il catasto georiferito è stato elaborato in maniera tale che non fosse soltanto un elemento statico e quindi solo di consultazione, ma anche dinamico. In particolare, pensato in maniera tale che ogni campo del database dell'opera potesse essere aggiornabile ed ampliabile con nuove informazioni. Infatti, lo stato di conservazione dell'opera non è immutabile nel tempo e va per questo aggiornato di volta in volta dopo ogni ispezione o dopo l'esecuzione di interventi manutentivi mirati.

Avendo un quadro di insieme di tutto il patrimonio delle opere ed una valutazione sul loro stato di conservazione, il gestore dell'opera, potrà stabilire una scala di priorità degli interventi di manutenzione (semplice controllo, manutenzione ordinaria, manutenzione straordinaria) e poter destinare quindi le risorse economiche all'esecuzione di interventi più urgenti.

I vantaggi di un catasto georiferito, inoltre, non si limitano soltanto a pianificare le risorse da destinare alla manutenzione, ma anche a pianificare eventuali nuovi progetti e installazioni. Per esempio, attraverso la sovrapposizione con mappe tematiche, che individuano le zone ad alto rischio di caduta massi, si potrà capire se una determinata zona è già protetta con opere oppure se necessità di uno specifico intervento di messa in sicurezza del versante.

L'operazione di georiferire le opere è stata eseguita in ambiente GIS, in particolare utilizzando il software open source QGIS. La scelta di una tecnologia open source è stata dettata nel rispetto dell'articolo 68 del CAD (Codice di Amministrazione Digitale), che

recita: *“Le pubbliche amministrazioni acquisiscono programmi informatici o parti di essi nel rispetto dei principi di economicità e di efficienza, tutela degli investimenti, riuso e neutralità tecnologica, a seguito di una valutazione comparativa di tipo tecnico ed economico tra le seguenti soluzioni disponibili sul mercato:*

- a) software sviluppato per conto della pubblica amministrazione;*
- b) riutilizzo di software o parti di esso sviluppati per conto della pubblica amministrazione;*
- c) software libero o a codice sorgente aperto;*
- d) software fruibile in modalità cloud computing;*
- e) software di tipo proprietario mediante ricorso a licenza d'uso;*
- f) software combinazione delle precedenti soluzioni.”*

Quindi le Pubbliche Amministrazione, in questo caso la Città Metropolitana di Torino, devono sempre preferire, salvo giustificati motivi, software ad accesso libero proprio nel rispetto del principio di economicità.

In particolare, QGIS è un sistema informativo geografico open source utilizzabile per svariate lavorazioni, ad esempio visualizzare dati GIS, acquisire dati, per effettuare analisi GIS avanzate e per creare mappe, atlanti e report sofisticati. QGIS è stato progettato con un'architettura plugin e ciò permette di aggiungere numerosi elementi e funzioni. Infatti, molte delle funzioni di QGIS sono attualmente implementate come plugin e sono disponibili gratuitamente grazie al lavoro di una community estesa in tutto il mondo. QGIS inoltre supporta una vasta gamma di formati di dati raster e vettoriali ed è compatibile con i maggiori sistemi operativi oggi in commercio. Quindi l'utilizzo di questo software garantisce la possibilità di eseguire svariate azioni, ma anche di adattarsi bene su diverse piattaforme.

Nel capitolo successivo, si approfondirà ulteriormente il software andando ad individuare gli elementi utilizzati nel caso studio, per la creazione, prima del database delle opere e poi per l'implementazione in ambiente GIS di esso. Ci si soffermerà in particolare sulle informazioni utili ed essenziali per popolare il database e dei vari tools e plug-in impiegati. Il risultato finale da queste procedure è quello di ottenere degli elementi georiferite (le opere) che al loro interno contengano sia le informazioni riguardo alla collocazione spaziale e sia le informazioni restituite dall'analisi sullo stato di conservazione, in particolare i valori di P, A, il grado di manutenzione e altre informazioni utili ricavate sempre dai dati di output delle schede di rilievo.

# CAPITOLO 5.

## CENSIMENTO E VALUTAZIONE DELLO STATO DI CONSERVAZIONE DELLE OPERE DI PROTEZIONE CONTRO LA CADUTA DI COMPETENZA DELLA CITTÀ METROPOLITANA DI TORINO

---

Le barriere paramassi e le reti in aderenza sono i sistemi che trovano maggiore impiego nella protezione e quindi mitigazione del rischio da caduta massi. Come tutte le opere ingegneristiche però non possono prescindere da un corretto piano di manutenzione per mantenere, nel tempo, la loro efficacia ed efficienza. Infatti, tali opere sono soggette già di per sé a fenomeni di deterioramento progressivo degli elementi costituenti, se si aggiunge poi una errata o mancata manutenzione sia ordinaria che straordinaria, la loro vita utile di funzionamento si ridurrà ulteriormente.

Il presente caso studio nasce in collaborazione con la Città Metropolitana di Torino, per valutare lo stato di conservazione delle opere di protezione contro la caduta massi (in particolare barriere paramassi e reti in aderenza) installate a protezione della viabilità di loro competenza, e successivamente per stilare una scala di priorità volta ad eseguire gli interventi manutentivi richiesti. Il lavoro ha visto la collaborazione tra il personale dell'ufficio '*Direzione Coordinamento Viabilità – Viabilità 1*' della Città Metropolitana di Torino e il Politecnico di Torino, nella figura dello scrivente.

È importante per tutti i gestori di opere, ed in particolar modo per un'amministrazione pubblica, conoscere i tempi entro i quali tali opere non siano più in grado di garantire la riduzione del rischio per le quali sono state installate, e quindi il ritorno dell'investimento effettuato, per poter pianificare una nuova progettazione o una manutenzione volta al ripristino dell'efficacia del sistema. Per l'Ente gestore la valutazione dello stato di conservazione delle opere presenta vari interessi, primo tra tutti quello di natura economica dato che un'opera ancora efficace ed efficiente non necessita di essere sostituita, e poi quello di natura organizzativa, in vista dei possibili interventi di manutenzione per il recupero dell'efficienza globale dell'opera e dell'ottenimento di una banca dati delle opere aggiornata (Lecce, 2019).

Per valutare lo stato di ammaloramento delle opere si è deciso di utilizzare un algoritmo già testato e validato in diversi siti situati nelle Alpi italiane nord occidentali e centrali, sia per valutare le barriere paramassi e sia per valutare le reti in aderenza, nei lavori di Marchelli et al. L'attuale lavoro di tesi ha voluto applicare tale metodologia su opere collocate in siti differenti da quelli già esaminati dagli Autori, al fine di aumentare il campione statistico dei dati analizzati tramite questo algoritmo e consolidarne la sua validità.

La campagna di rilievi, quindi, è servita ad un duplice scopo, sia quello di valutare lo stato di conservazione delle opere di protezione contro la caduta massi presenti lungo la viabilità in gestione alla Città Metropolitana di Torino, e sia quello di validare ulteriormente, in zone differenti, la procedura elaborata da Marchelli et al.

## **5.1 Inquadramento caso studio**

Il caso studio ha visto l'ispezione e seguente valutazione delle opere di protezione contro la caduta massi, presenti lungo la viabilità di competenza della Città Metropolitana di Torino. Per poter gestire e coordinare al meglio le diverse attività di manutenzione ed esecuzione di nuovi lavori, l'intera rete viaria della Città Metropolitana di Torino, internamente è suddivisa in due settori, Viabilità 1 e Viabilità 2. Il caso studio si è concentrato nell'esaminare le opere che competono esclusivamente al settore della Viabilità 1.

L'area di competenza della Viabilità 1 ha un'estensione di circa 3200 km<sup>2</sup> e la lunghezza totale della rete viaria da gestire è di circa 1300 km. Internamente è suddivisa in 5 Unità

Operative che consentono di gestire le risorse e pianificare gli interventi in maniera efficace (Figura 5.1).

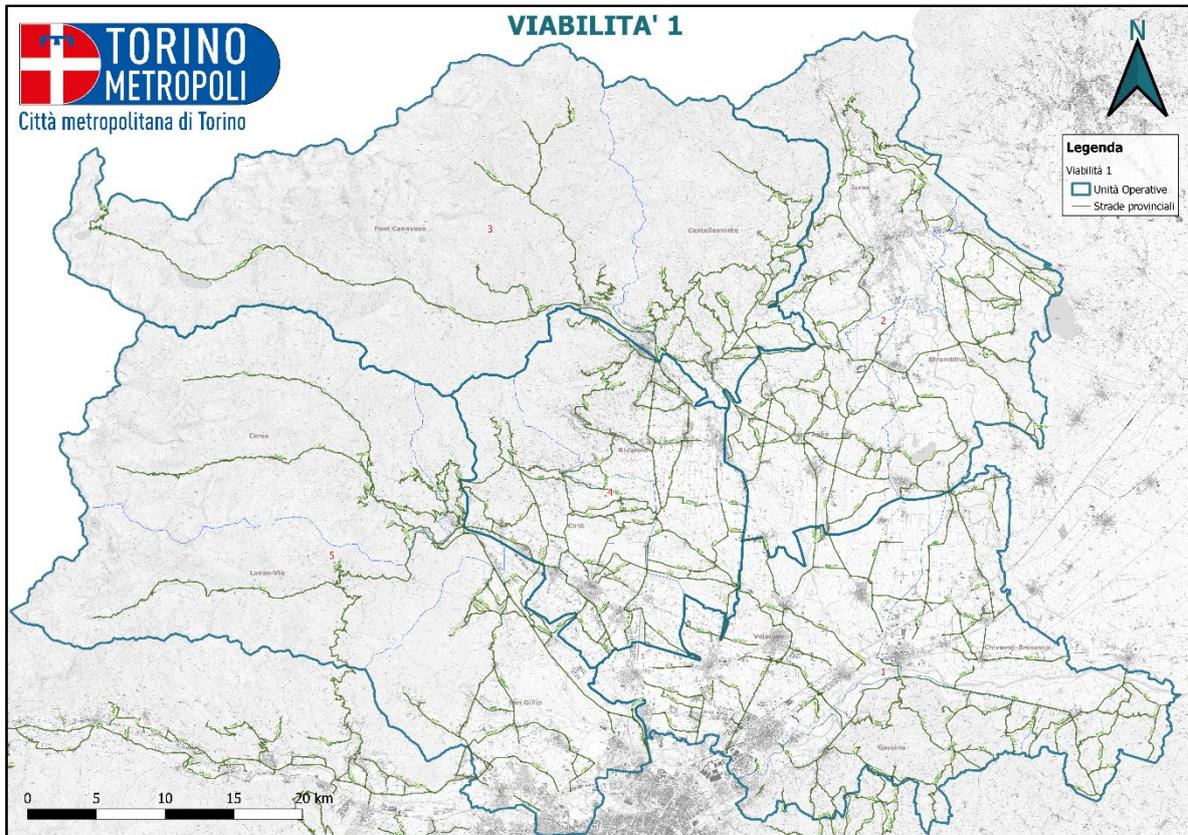


Figura 5.1 – Divisione delle Unità Operative, della Viabilità 1, della Città Metropolitana di Torino

Il territorio oggetto di studio presenta un dislivello molto marcato, infatti, si passa da una zona prevalentemente pianeggiante nella zona sud sud-est che si attesta ad una quota media di circa 170 m s.l.m., a zone con crinali molto acclivi le cui punte superano talvolta i 2300 m s.l.m., presenti nella maggior parte dei casi nelle zone a nord nord-ovest. Si vuole sottolineare, inoltre, che alcune strade provinciali rappresentano per molti comuni montani l'unico collegamento a beni e servizi di prima necessità. Talvolta tali arterie tagliano ripetutamente pendii montuosi esposti a rischi di caduta massi. Non di rado, soprattutto nel periodo invernale in cui si verificano intensi eventi piovosi, lungo queste strade capita di assistere a frane o smottamenti che interferendo con la viabilità ne limita la percorrenza. Si intuisce che in un contesto geografico così formato eventuali crolli di porzioni di parete rocciosa possono rappresentare, oltre che un pericolo immediato per chi percorre la strada, causando possibili incidenti, anche un potenziale pericolo a lungo termine, in quanto andrebbero ad isolare intere comunità. In queste condizioni assumono particolare importanza tutte le azioni di prevenzione e protezione per poter mitigare il rischio di caduta massi e mettere in sicurezza i versanti.

Consultando la banca dati del SiFraP, si intuisce come l'intera Città Metropolitana, ed in particolar modo le zone collocate nella parte periferica a nord dal centro, siano interessate da importanti dissesti franosi.

Il progetto SiFraP (Sistema Informativo Frane in Piemonte) nasce come estensione del progetto Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI), con l'intento di aggiornare la banca dati dei fenomeni franosi in Piemonte. È reso disponibile dal portale di Arpa Piemonte e sono reperibili informazioni riguardo alla collocazione dei movimenti franosi, alla loro tipologia e alla loro estensione (areale, lineare o puntuale). In Figura 5.2 si riportano tutti i movimenti franosi catalogati dal SiFraP e ricadenti all'interno del perimetro della Viabilità 1 della Città Metropolitana di Torino. Si precisa che nella cartografia sono riportati tutti i tipi di dissesti e non soltanto quelli relativi a crolli e caduta massi.

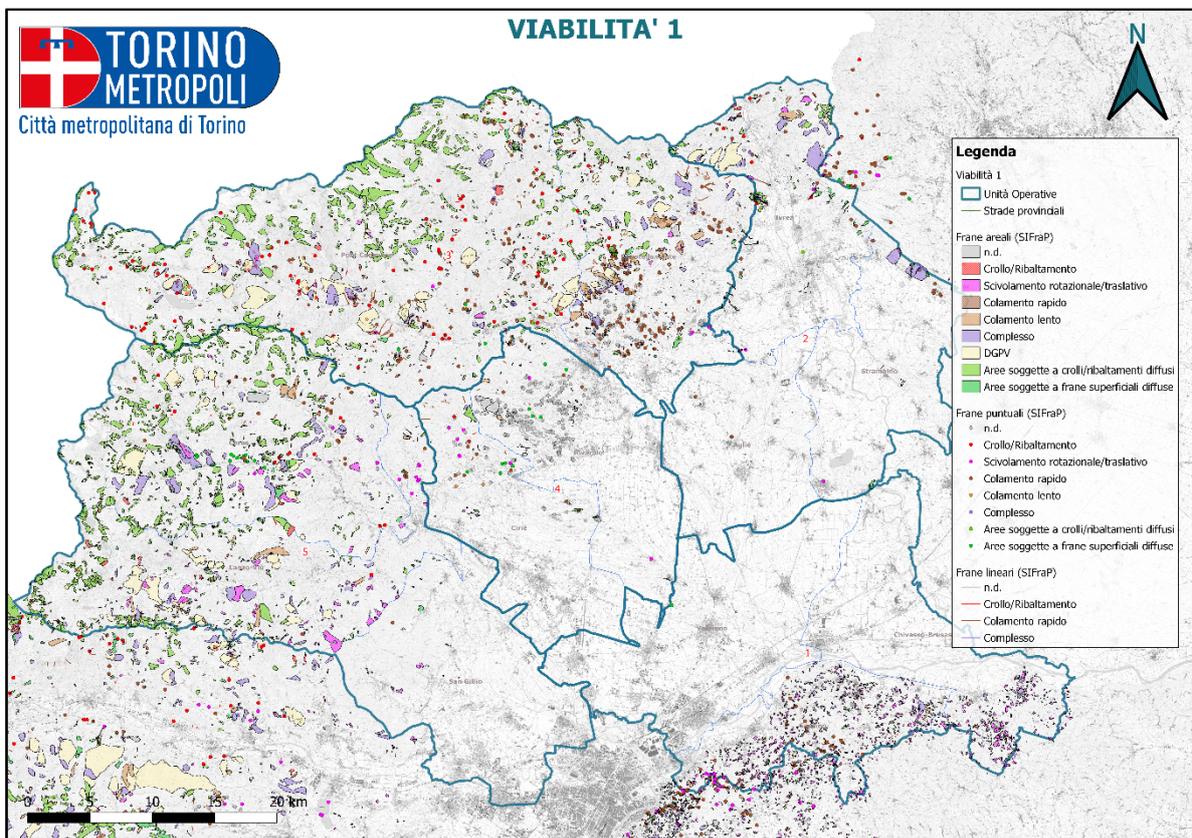


Figura 5.2 – Cartografica riportante i dissesti franosi rilevati dal SiFraP

Nel presente lavoro di tesi non si sono effettuati studi storici degli eventi franosi passati, però si vuole precisare che la conoscenza di fenomeni pregressi risulta importante per inquadrare il tipo di movimento franoso che ha colpito o potrebbe colpire un elemento a rischio, capire se una determinata opera di protezione è stata oggetto di impatti ed infine, soprattutto per eseguire nuove progettazioni, la conoscenza di frane pregresse potrebbe

aiutare nell'individuazione dei parametri necessari ad eseguire una back-analysis. Per una maggiore comprensione della cartografia presentata in Figura 5.2, nei grafici in Figura 5.3 si riporta, la divisione dei dissesti franosi ricadenti in ogni singola unità operativa e in Figura 5.4 la divisione per tipologia dei dissesti censiti dal SiFraP, e ricadenti esclusivamente all'interno del perimetro della Viabilità 1 della Città Metropolitana di Torino.

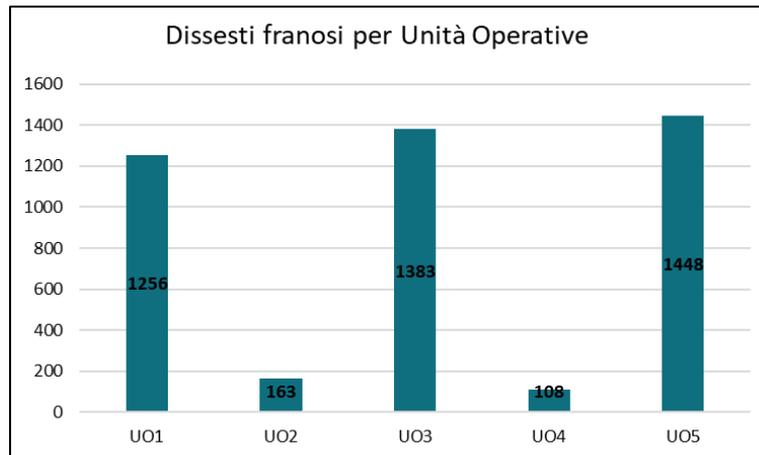


Figura 5.3 – Divisione dei dissesti franosi per singola Unità Operativa censiti dal SiFraP

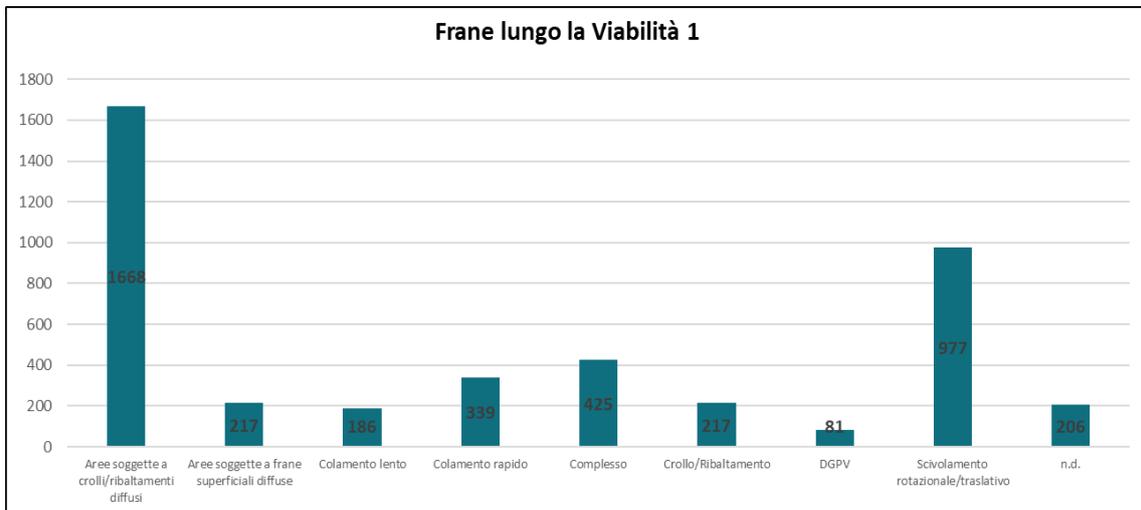


Figura 5.4 – Divisione per tipologia dei dissesti franosi censiti dal SiFraP ricadenti all'interno del perimetro della Viabilità 1 della Città Metropolitana di Torino

Le Unità Operative che sono interessate maggiormente da fenomeni franosi sono sicuramente le UO 1, UO 3 e UO 5. La maggior parte di queste aree è soggetta a fenomeni diffusi di crollo o ribaltamenti. Dal grafico in Figura 5.5 però si evince che questa tipologia di dissesto è presente maggiormente nelle unità operative 3 e 5. Infatti, la maggior parte dei dissesti censiti nell'unità operativa 1 è classificata come tipologia di scivolamenti rotazionali/traslattivi.

Come si avrà modo di approfondire nel seguito, la distribuzione spaziale delle aree soggette a crollo, ricalca in maniera approssimata il collocamento sul territorio delle opere di difesa contro la caduta massi censite durante il caso studio. Infatti, confrontando i due grafici in Figura 5.5 e in Figura 5.6 le unità operative che presentano un maggior numero di zone soggette a crolli sono anche quelle in cui sono installate un numero maggiore di opere di protezione, in particolar modo le unità operative 3 e 5. Lo stesso confronto si può fare per l'unità operativa 1 nella quale non state censite dal SiFraP aree soggette a crolli/ribaltamenti ed anche sul territorio, durante il caso studio non sono state rilevate opere di protezione.

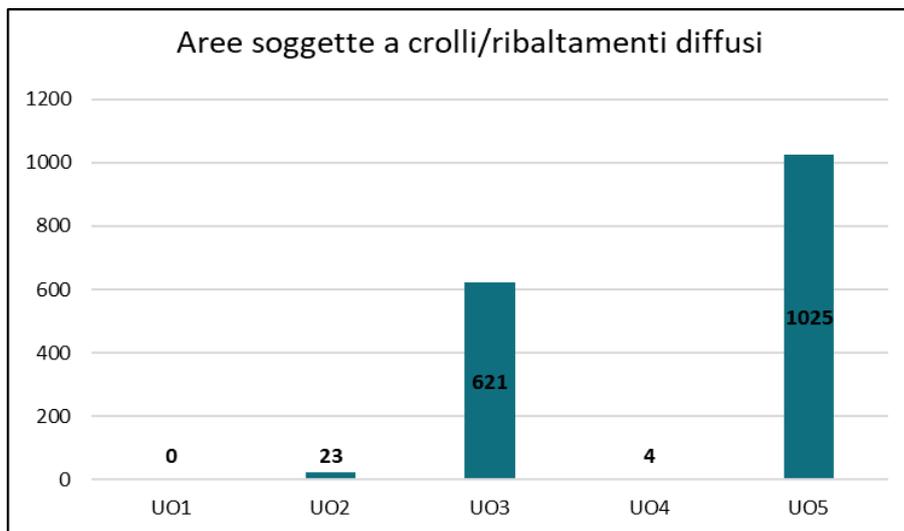


Figura 5.5 – Grafico riportante le aree soggette a crolli o ribaltamenti, suddivise per Unità Operative

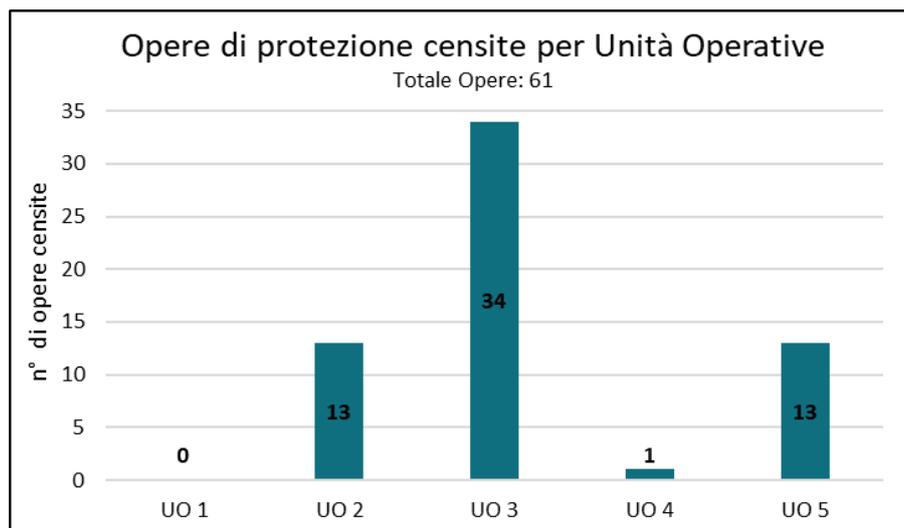


Figura 5.6 – Opere di protezione censite durante il caso studio e divise per unità operative

## 5.2 Raccolta dati

Per poter pervenire ad una valutazione dello stato di conservazione si è deciso di seguire una procedura ben strutturata e suddivisa in diversi passaggi.

Il primo step è stato quello di realizzare un censimento preliminare delle opere, per poter programmare, in maniera speditiva le date dei sopralluoghi da effettuare, in modo tale da ottimizzare al meglio i tempi delle singole ispezioni. In questa prima fase è stato essenziale l'affiancamento del personale della Città Metropolitana, in quanto la loro conoscenza del territorio ha agevolato l'individuazione preliminare delle opere da investigare e gli spostamenti in situ.

Con i dati raccolti si sono potuti programmare le campagne di rilievo ed ispezione. I sopralluoghi presso le opere di protezione lungo la Viabilità, in gestione alla Città Metropolitana di Torino si sono svolti nel periodo compreso tra novembre e dicembre 2021. In Tabella 5-1 sono riepilogate le date e le relative unità operative ispezionate. Come già detto, al fine di ottimizzare i tempi, e di conseguenza anche gli spostamenti, si è preferito per ogni data di sopralluogo concentrarsi esclusivamente ad ispezionare le opere ricadenti in un'unica unità operativa. Dal censimento preliminare, l'unità operativa che presentava più opera da valutare era la 3, infatti, per tale motivo, è stato necessario programmare più giornate al fine di poterle ispezionare tutte in maniera accurata.

*Tabella 5-1 - Date sopralluoghi ed unità operative ispezionate*

<b>Date Sopralluogo</b>	<b>Unità Operativa</b>
16/11/2021	UO 3
18/11/2021	UO 5
19/11/2021	UO 4
23/11/2021	UO 3
2/12/2021	UO 3
3/12/2021	UO 2

Ci si è concentrati ad ispezionare esclusivamente barriere paramassi a rete, barriere paramassi semideformabili di tipo travi e funi, reti a cortina e reti rinforzate. In totale sono state censite e valutate 61 opere di protezione così suddivise (Figura 5.7):

- 7 Barriere Paramassi a Rete, di cui 4 collocate nell'unità operativa 3 e 3 collocate nell'unità operativa 5;
- 9 Barriere semi-flessibili di tipo Travi-Funi, di cui 2 collocate nell'unità operativa 2 e 7 collocate nell'unità operativa 3;

- 26 Reti a Cortina, di cui 4 collocate nell'unità operativa 2, 16 collocate nell'unità operativa 3, 1 collocata nell'unità operativa 4 e 5 collocate nell'unità operativa 5;
- 19 Reti Rinforzate: 7 collocate nell'unità operativa 2, 7 collocate nell'unità operativa 3 e 5 collocate nell'unità operativa 5.

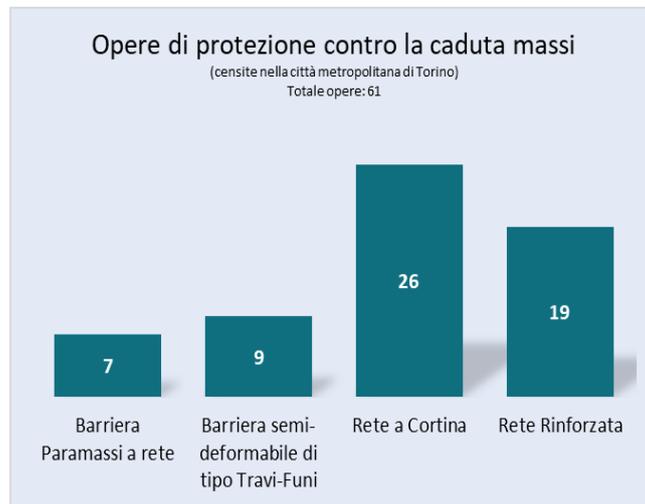


Figura 5.7 – Suddivisione per tipologia delle opere censite durante il caso studio

In Figura 5.8 si riporta la suddivisione di tali opere per unità operativa.

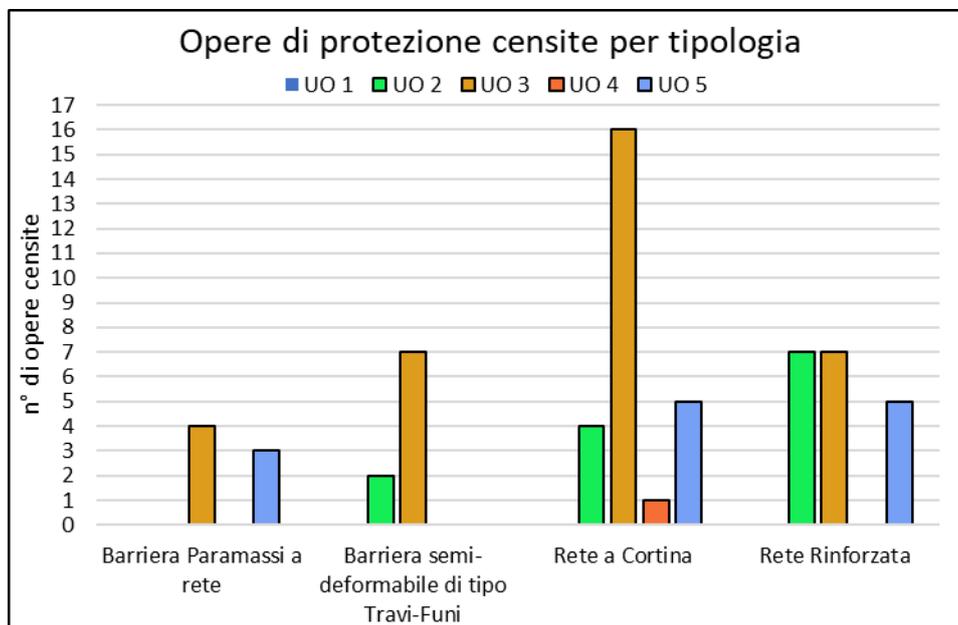


Figura 5.8 – Tipologia di opere installate nelle singole unità operative

Come precedentemente mostrato anche in Figura 5.6, l'unità operativa 3 è quella che presenta installate più opere e al contrario all'interno dell'unità operativa 1 non si sono rilevate opere di protezione contro la caduta massi.

I sopralluoghi, presso le opere ispezionate, hanno visto un'indagine accurata, prendendo nota sia dei dati relativi alla collocazione spaziale, in particolare nome della strada provinciale e progressiva chilometrica, sia delle caratteristiche specifiche dell'opera ed infine annotando eventuali criticità riscontrate. Il tutto unito da un accurato rilievo fotografico che consentisse di giustificare l'attribuzione di un dato livello di danno nella compilazione della check list.

Una volta raggiunta l'opera, si è passati ad ispezionare le parti principali, partendo dal visionare lo stato del versante, per poi soffermarsi sui singoli elementi dell'opera. Si sono misurati i diametri delle funi, la lunghezza dell'intera opera e delle singole campate nel caso delle barriere paramassi, si è presa nota della tipologia di montanti o del tipo di rete installata unitamente al tipo di ancoraggio o fondazione e di tutte le informazioni utili a descrivere con dettaglio l'opera.

Il passo successivo all'ispezione dell'opera in situ è stato quello di compilare dettagliatamente le schede di rilievo, già presentate nel presente elaborato al Capitolo 4.1. La parte più importante delle schede di rilievo è sicuramente la check list, nella quale per ogni potenziale danno rilevato ad un elemento principale dell'opera si deve attribuire un livello di danno che può variare da  $d0$  (nessun danno) a  $d2$  (danno intenso). Successivamente inserendo i dati della check list compilata come dati di ingresso dell'algoritmo multimetricale (esposto già nel paragrafo Valutazione dello stato di ammaloramento delle opere 4.2), questo restituisce i valori dell'estensione del danno  $P_{tot}$  e dello stato di danno  $A_{tot}$ . Grazie a questi due valori si è pervenuti ad un giudizio complessivo sullo stato di conservazione dell'opera ed intersecando i valori di  $P_{tot}$  e  $A_{tot}$  si è arrivati ad attribuire un grado di manutenzione alla struttura esaminata. Il grado di manutenzione così determinato consente di definire una scala di priorità sugli interventi da eseguire. Si è scelto di classificare le opere con quattro gradi di manutenzione:

- manutenzione urgente (per ripristino o sostituzione);
- manutenzione medio-alta (con interventi diffusi su l'intera opera);
- manutenzione moderata (con interventi localizzati e mirati solo ad alcuni elementi dell'opera);
- manutenzione bassa-nulla.

Come detto ogni grado di manutenzione è individuato da un prefissato intervallo del punteggio  $P_{tot}$ , e da un valore di  $A_{tot}$ . I valori attribuibili all'estensione possono essere quattro: P1 estensione del danno bassa (0-20%), P2 estensione del danno moderata (20-

35%), P3 estensione del medio-alta (35-75%), P4 estensione del danno alta (75-100%). Mentre i valori dello stato di conservazione restituiti dall'algoritmo possono essere tre, ovvero, A0 se non si riscontrano perdite di funzionalità dell'opera, A1 se si riscontrano perdite parziali di funzionalità, A2 se si riscontrano perdite totali di funzionalità dell'opera. Si ricorda che al Capitolo 4.3 del presente elaborato è stata già eseguita una trattazione approfondita riguardo l'assegnazione del grado di manutenzione, alla quale si rimanda per ulteriori chiarimenti.

Tutti questi giudizi sono stati riportati scrupolosamente all'interno della scheda di rilievo, nella parte relativa alle *"conclusioni sullo stato dell'opera"*, compilata successivamente alla fase di sopralluogo.

Prima di passare ad analizzare nel dettaglio tutti i risultati acquisiti, con particolare riferimento alle problematiche maggiormente riscontrate, si possono effettuare alcune considerazioni generali che hanno interessato quasi tutte le opere. Si è osservato infatti che alcune opere, in particolar modo le reti in aderenza, sono state installate con lavori in somma urgenza e i dati di progetto non erano disponibili per la maggior parte delle opere. Inoltre, per la totalità delle opere si sottolinea la mancanza totale di documentazione, in particolare, progetti di installazione, manuali di manutenzione o verbali di collaudo. A causa della mancanza di questi documenti non si è riusciti a risalire al fornitore del prodotto né identificare altri parametri importanti, quali per esempio, l'energia di progetto per le barriere paramassi o la resistenza a trazione per le reti in aderenza.

Per la maggior parte delle opere, non si è riusciti a risalire neppure all'anno di installazione, dato importante soprattutto per valutare gli effetti della corrosione sul lungo periodo e quindi analizzare come questa possa influire sullo stato di conservazione ed in ogni caso utile per capire il comportamento nel tempo delle opere. Si è riscontrato infatti che molte reti a cortina, riversano in uno stato critico, in quanto le conseguenze della corrosione unitamente ad impatti verificatisi nei molti anni di funzionamento hanno determinato una progressiva perdita di efficienza. L'anno di installazione inoltre poteva fornire informazioni utili anche per quel che riguarda la certificazione del prodotto e capire quindi se fosse conforme con le recenti norme EAD o ETAG.

Infine, in quasi tutte le opere si è riscontrata un'abbondante copertura vegetativa che ha compromesso, in alcuni casi, l'esecuzione di un'indagine accurata degli elementi principali, e ciò ha comportato l'impossibilità di compilare accuratamente la scheda di rilievo, soprattutto nella parte relativa alla check list. In riferimento alle reti in aderenza, ad esempio, non si è riusciti, in quasi la totalità delle opere ispezionate, ad accedere alla

parte sommitale ad indagare quindi le componenti quali le funi di sostegno superiore e gli elementi ad essa connessi. Tale impossibilità di accesso è stata causata sia alla presenza di un elevato tasso di vegetazione e sia per l'assenza di vie di accesso a personale non qualificato ad operare con tecniche alpinistiche.

Infine, si precisa che alcune opere non presentano compilata la parte di scheda relativa alla check list, in quanto, alcune barriere paramassi e reti in aderenza da ispezionare erano di difficile accesso e quindi non valutabile dettagliatamente.

### **5.3 Risultati ottenuti dalla campagna di rilievo**

Nel seguito si andranno ad analizzare i risultati ottenuti sulla valutazione dello stato di conservazione delle opere di protezione contro la caduta massi, installate lungo la Viabilità 1, di competenza della Città Metropolitana di Torino. Le opere ispezionate ed analizzate sono state in totale 61, di cui 7 Barriere Paramassi a Rete, 9 Barriere semideformabili di tipo Travi-Funi, 26 Reti a Cortina e 19 Reti Rinforzate. Si ricorda che l'algoritmo, ideato da Marchelli et al., ed utilizzato in questo caso studio per valutare lo stato di conservazione delle opere, assume come ipotesi di partenza che all'inizio della vita utile il prodotto, abbia completa efficienza, ovvero non si considerano eventuali problemi connessi alla progettazione, al posizionamento o all'installazione che però incidono ampiamente sull'efficacia del sistema (Dimasi et al., 2015). Nei seguenti paragrafi si illustreranno le criticità più ricorrenti riscontrati durante il caso studio. In particolare, per ogni tipologia di opera prima si presenteranno i risultati ottenuti sul grado di manutenzione complessivo dell'opera e successivamente si analizzeranno le criticità rilevate sugli elementi principali. Al fine di individuare la componente principale che maggiormente necessita di manutenzione, è stata adattata la procedura illustrata nel paragrafo 4.3 per valutare lo stato dell'intera opera al singolo componente. In particolare, per tutte le componenti principali delle opere si è calcolato il valore dell'estensione del danno P, considerando nel calcolo esclusivamente le criticità relative all'elemento considerato e lo stato di conservazione A per poi giungere all'attribuzione di un grado di manutenzione prendendo come riferimento sempre la Figura 4.3.

Si precisa che la documentazione fotografica di dettaglio ha permesso di controllare e verificare successivamente i risultati ottenuti, per pervenire ad un giudizio finale di validità generale. Per una consultazione più approfondita delle singole opere e delle relative check list, si rimanda all'allegato nel quale vengono riportate tutte le schede di rilievo compilate.

### 5.3.1 BARRIERE PARAMASSI A RETE

Le barriere paramassi a rete censite lungo la viabilità in gestione alla Città Metropolitana, sono in totale 7 (Figura 5.9). Dalle ispezioni eseguite ed applicando le procedure di valutazione, esposte precedentemente, è risultato che circa 86% delle barriere necessitano di una manutenzione urgente e 14% di una manutenzione moderata.

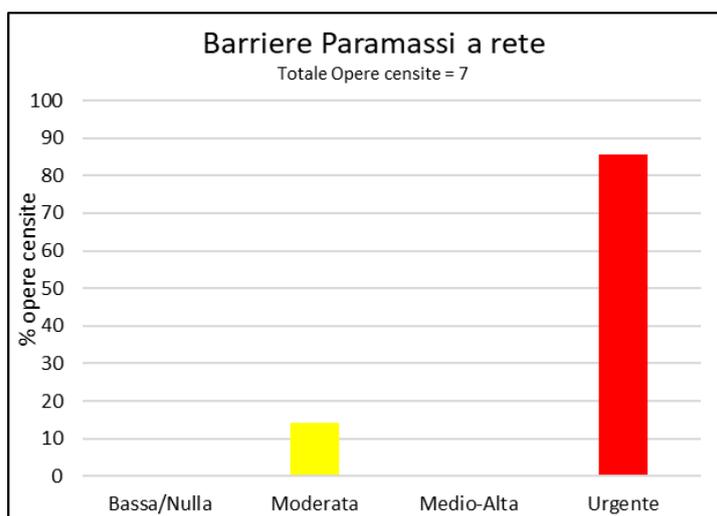


Figura 5.9 – Grado di manutenzione necessaria per le barriere paramassi a rete

Analizzando nel dettaglio le problematiche degli elementi principali (Figura 5.10), presentati all'interno del paragrafo 4.2.1, è lo stato in cui riversa il versante a determinare, per circa l'85% delle opere, uno stato di conservazione dell'opera critico e quindi a definire un grado di manutenzione urgente. Per circa il 28% delle opere invece, il secondo elemento principale che necessita di una manutenzione urgente è la rete principale.

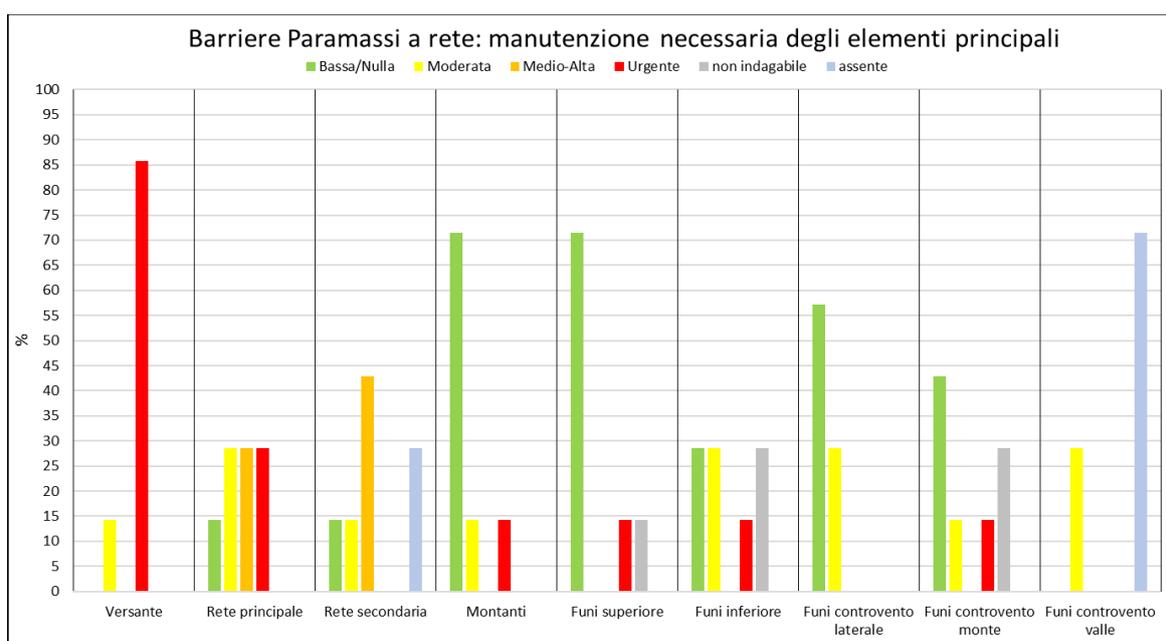


Figura 5.10 - Percentuale relativa al grado di manutenzione necessaria ai singoli elementi principali

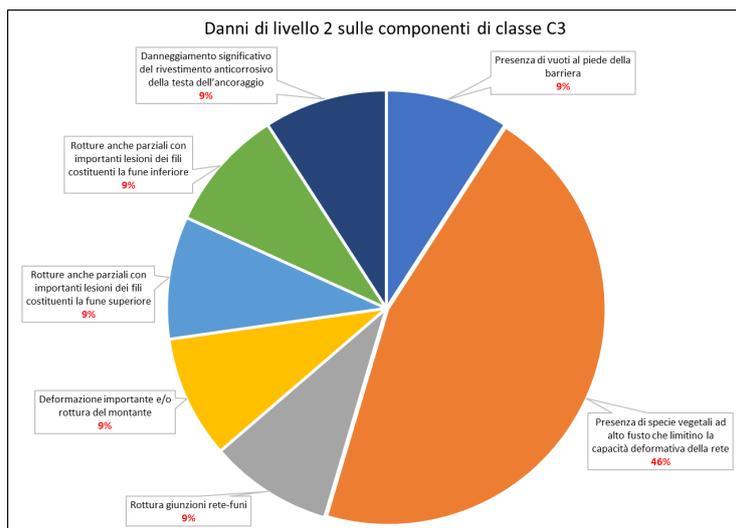


Figura 5.11 - Criticità di classe C3, nelle barriere paramassi a rete nelle quali è stato valutato un danno di livello 2

In particolare, la Figura 5.11 riporta tutte le criticità di classe C3 alle quali è stato attribuito un livello di danno 2. È importante analizzare queste condizioni poiché sono loro a determinare per l'opera una manutenzione urgente. Si precisa che le opere analizzate presentavano più di una criticità di classe C3 e con danno 2. Al fine di illustrare i dati in maniera più fruibile e leggibile si è deciso di riportarli, nel grafico in Figura 5.11, considerando una frequenza relativa al 100%. Si intuisce che la criticità più frequente a determina per l'opera un grado di manutenzione urgente è la 'presenza di specie vegetali ad alto fusto', dove nel 46% dei casi determina per l'opera delle condizioni critiche in quanto la vegetazione limita la capacità deformativa della rete riducendone la capacità di assorbimento energetico. Tutte le altre criticità, anche se in misura molto minore contribuiscono al deterioramento dell'intera opera.

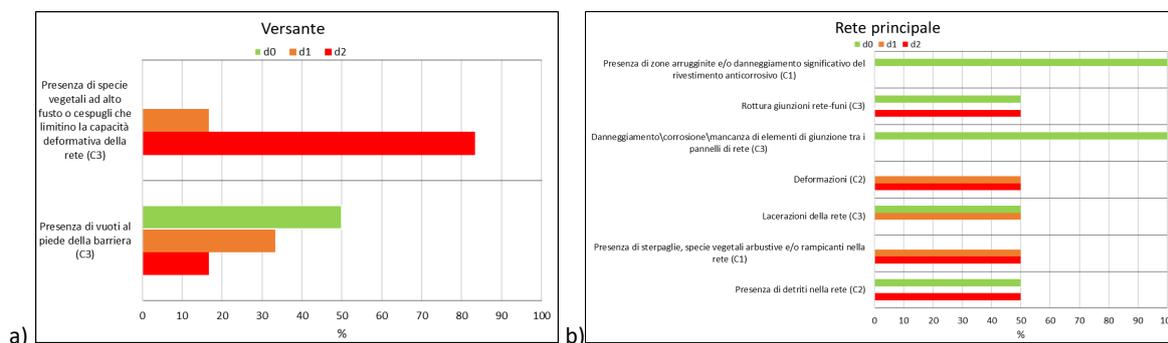


Figura 5.12 - Livelli di danno degli elementi delle barriere paramassi a rete che presentano un grado di manutenzione urgente. a) versante; b) rete principale

Invece, considerando esclusivamente le opere che presentano un grado di manutenzione urgente è stato verificato, come si può osservare in Figura 5.12 a), che nella totalità dei casi il versante presenta sempre "specie vegetali ad alto fusto o cespugli che limitino la

*capacità deformativa della rete*” con una valutazione del danno pari a 2 nell’83% dei casi e con un danno pari ad 1 nel restante 17%. Mentre solo nel 17%, delle barriere che presentavano un grado urgente, sono stati rilevati *“vuoti al piede”* con un livello di danno pari a 2 e nel 33% dei casi con un livello di danno pari ad 1. Si evidenzia che entrambe le criticità hanno una classe di importanza C3 (molto importante) quindi il loro stato di conservazione influisce in maniera rilevante sulla funzionalità del sistema.

Per circa il 28% delle opere (Figura 5.10) invece, il secondo elemento principale che necessita di una manutenzione urgente è la rete principale. Le criticità più ricorrenti in tale componente (Figura 5.12 b)) sono la presenza di *“deformazioni”* e la *“presenza di sterpaglie, specie vegetali arbustive e/o rampicanti nella rete”*. In tutte le opere sono stati rilevati tali criticità con un grado di danno 1 o 2. Si evidenzia che tra le due la criticità, la più rilevante è la presenza di deformazioni in quanto possiede una classe di importanza C2 rispetto alla seconda la cui classe risulta essere C1. Anche la *“rottura delle giunzioni tra reti-funi”* e la *“presenza di detriti”*, presente, in entrambi i casi nel 50% delle opere con un livello di danno 2 risulta essere una criticità molto importante. La presenza di materiale accumulato nella rete, in particolare, segnala la mancanza di manutenzione straordinaria mirata alla loro rimozione. La presenza di tale materiale potrebbe causare nel tempo la deformazione della rete di intercettazione e quindi alterare il livello energetico della struttura. In nessuna opera, però, si sono riscontrate lacerazioni o danneggiamenti significativi della rete principale.

I dissipatori presenti in tutte le opere non arrecavano particolari criticità o segni di deformazione, se si esclude una singola opera (su 7) nella quale si è rilevata la fine corsa del freno ad attrito.

Si segnala infine che nel 70% delle opere (Figura 5.10) sia le funi superiori che i montanti non necessitavano di manutenzione. Soltanto un’opera, infatti, presentava problemi critici ai montanti, i quali sono stati manomessi da azioni antropiche e quindi non più in grado di svolgere il loro compito efficacemente.

Oltre il 70% delle barriere non presenta installate le funi di controvento di valle. Non avendo a disposizione le schede di progetto non si può avere la certezza, ma molto probabilmente l’opera progettata non prevedeva la loro l’installazione. Infatti, non si osservano danni o manomissioni. Lo stesso discorso vale per la rete secondaria dove il 29% delle opere risulta sprovvista. Anche qui, la sua assenza è da ricercare nei dati di progetto dell’opera.

Si può concludere che anche se 6/7 barriere presentano uno stato urgente di manutenzione, per almeno la metà di esse si tratterebbe di eseguire della semplice manutenzione ordinaria. Soltanto in un'opera, infatti, si consiglierebbe una progettazione nuova dell'intero sistema in quanto gli interventi di manutenzione da eseguire non garantirebbero comunque il ripristino totale delle funzionalità e la rimozione e sostituzione parrebbe essere la soluzione più vantaggiosa in termini di tempi e costi.

### 5.3.2 BARRIERE PARAMASSI SEMIDEFORMABILI TIPO TRAVI-FUNI

Le barriere paramassi semideformabili di tipo travi-funi censite lungo la viabilità in gestione alla Città Metropolitana, sono in totale 9 (Figura 5.13). Dalle ispezioni eseguite ed applicando le procedure di valutazione, esposte precedentemente, è risultato che circa il 67% delle barriere necessitano di una manutenzione urgente ed 11% di una manutenzione medio-alta. Mentre sul restante 22% delle opere non è stato possibile eseguire un'ispezione di dettaglio in quanto le opere erano di difficile accesso a personale non qualificato ad operare con tecniche alpinistiche, e quindi non si è riusciti ad attribuire ad esse un grado di manutenzione poiché non pienamente indagabili. Per questo motivo nelle statistiche successive si è preso in considerazione un campione di solo 7 opere corrispondenti al 78%.

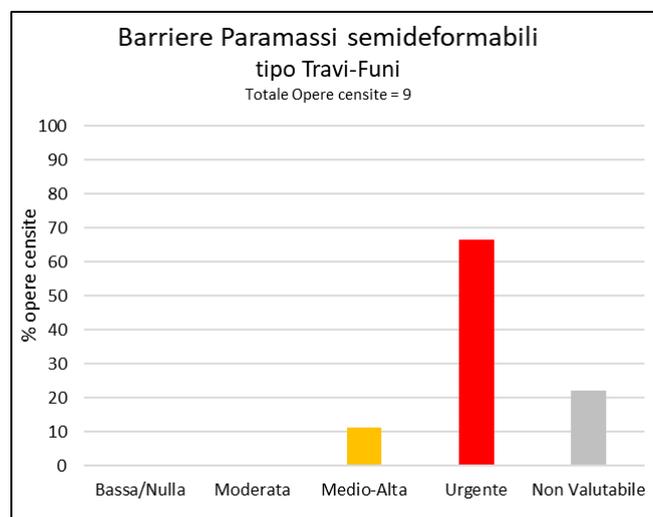


Figura 5.13 - Grado di manutenzione necessaria per le barriere paramassi tipo travi e funi

Nelle barriere paramassi semideformabili di tipo travi-funi la struttura di intercettazione principale è rappresentata da funi longitudinali. Come si può evincere dalla Figura 5.14, per le opere analizzate durante il caso studio, i danni riportati alla maglia principale sono la causa primaria, per quasi il 70% delle opere, a determinare una manutenzione urgente.

In particolare, la Figura 5.15 riporta tutte le criticità di classe C3 alle quali è stato attribuito un livello di danno 2. È importante analizzare queste condizioni poiché sono loro a determinare per l'opera una manutenzione urgente. Si precisa che le opere analizzate presentavano più di una criticità di classe C3 e con danno 2. Al fine di illustrare i dati in maniera più fruibile e leggibile si è deciso di riportarli, nel grafico in Figura 5.15, considerando una frequenza relativa al 100%. Si intuisce che nel 36% dei casi è 'il danneggiamento del rivestimento anticorrosivo delle funi longitudinali', mentre la seconda criticità che si è registrata con maggiore frequenza è la 'presenza di specie vegetali ad alto fusto', dove nel 22% dei casi determina per l'opera delle condizioni critiche in quanto la vegetazione limita la capacità deformativa della rete riducendone la capacità di assorbimento energetico. Tutte le altre criticità, anche se in misura molto minore contribuiscono al deterioramento dell'intera opera.

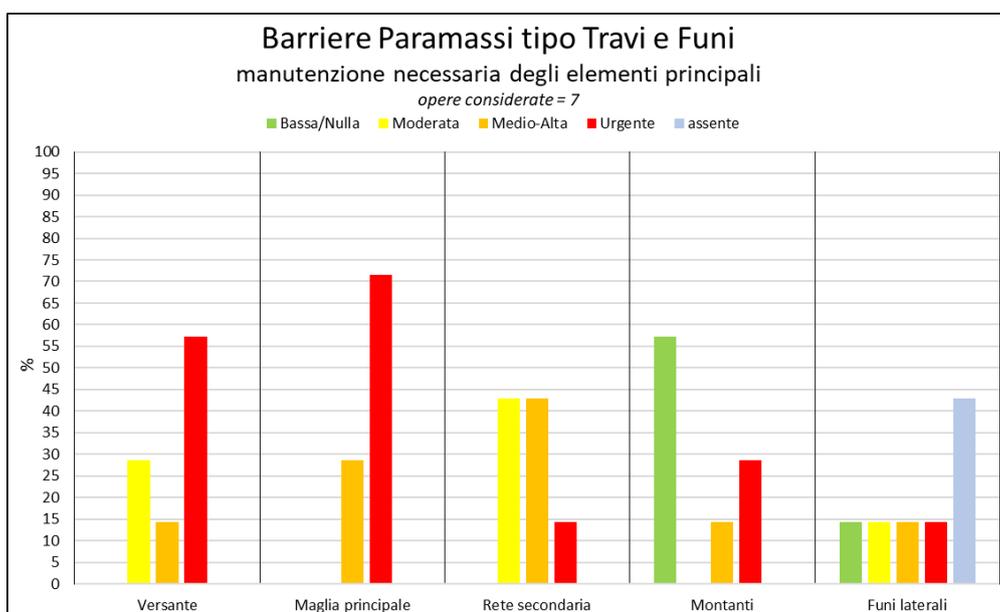


Figura 5.14 - Percentuale relativa al grado di manutenzione necessaria ai singoli elementi principali

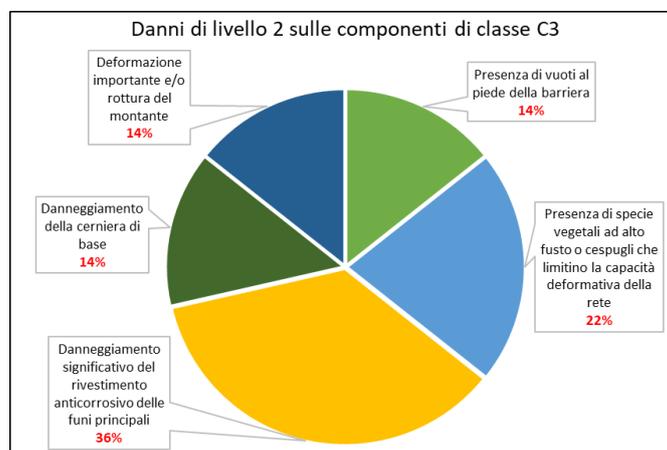


Figura 5.15 - Criticità di classe C3, nelle barriere travi-funi nelle quali è stato valutato un danno di livello 2

Analizzando nel dettaglio le problematiche relative a tale componente (Figura 5.16 a)) si nota che nella totalità dei casi le funi presentano segni di corrosione o zone dove il rivestimento anticorrosivo è danneggiato con un livello di danno pari a 2. La seconda criticità osservata più frequentemente è la presenza di funi lasche o tese in modo anomalo, che presentano nel 40% dei casi un danno di livello 2 e nel restante 60% un danno di livello 1. Si segnala anche un accumulo di materiale detritico arrestato al piede della barriera che è causa la deformazione della maglia principale. Anche qui, come nel caso delle barriere paramassi a rete, la presenza di materiale detritico segnala la mancanza di manutenzione straordinaria mirata alla sua rimozione. La presenza di sterpaglie e specie vegetali arbustive sono un altro problema frequente, con livelli di danno pari a 2 nell'80% dei casi e con un livello di danno pari ad 1 nel restante 20%.

Lo stato del versante invece è il secondo responsabile a determinare, per circa il 60% delle opere ispezionate (Figura 5.14), uno stato urgente di manutenzione. Nella totalità delle opere che presentavano un grado urgente di manutenzione del versante, la problematica più ricorrente rilevata (Figura 5.16 b)) è la presenza di specie vegetali ad alto fusto che interagisce con l'opera. Solo nel 50% dei casi invece si è riscontrata la problematica dell'apertura dei varchi al piede con un livello di danno pari a 2.

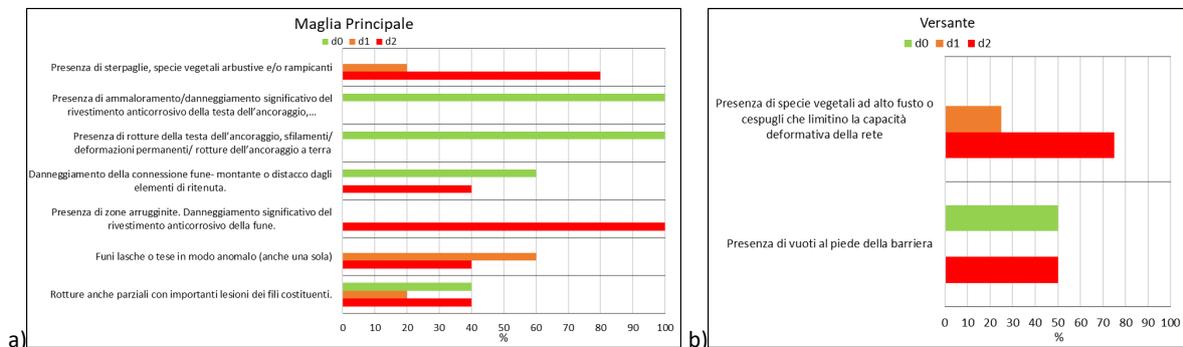


Figura 5.16 - Livelli di danno degli elementi delle barriere travi-funi che presentano un grado di manutenzione urgente. a) Maglia principale; b) Versante

Anche le restanti componenti, come per esempio i montani e la rete secondaria, anche se in percentuale minore, contribuiscono a determinare uno stato critico per tali barriere (Figura 5.14). Nel 43% dei casi le opere son sprovviste delle funi laterali, la loro assenza è da ricercare nei dati di progetto dell'opera. Comunque si precisa che per questo tipo di opera l'assenza delle funi laterali non dovrebbe arrecare particolari danni, in quanto la funzione statica è garantita dal montante e dall'incastro presente alla base.

Si segnala che i montanti, nella maggior parte dei casi (più del 55%) si presentano in una condizione ottimale e solo su 2 opere, delle 7 prese in considerazione per le statistiche, si

è osservato che i montanti erano abbattuti da massi ciclopici. Tale danno risulta essere molto grave per questo tipo di struttura, in quanto nelle barriere paramassi di tipo travi-funi, il montante è un elemento rigido e una sua alterazione potrebbe compromettere fortemente la funzionalità dell'intera struttura. Si consiglierebbe, in questi casi, una progettazione nuova dell'intero sistema in quanto gli interventi di manutenzione da eseguire non garantirebbero comunque il ripristino totale delle funzionalità e la rimozione e sostituzione parrebbe essere la soluzione più vantaggiosa in termini di tempi e costi.

### 5.3.3 RETI A CORTINA

Le reti a cortina censite lungo la viabilità in gestione alla Città Metropolitana, sono in totale 26 (Figura 5.17). Dalle ispezioni eseguite ed applicando le procedure di valutazione, esposte precedentemente, è risultato che il 69% delle reti necessitano di una manutenzione urgente, 8% di una manutenzione medio-alta, 8% di una moderata e il 4% di una manutenzione bassa/nulla. Mentre sul restante 11% delle opere non è stato possibile eseguire un'ispezione di dettaglio in quanto le opere erano di difficile accesso a personale non qualificato ad operare con tecniche alpinistiche, e quindi non si è riusciti ad attribuire ad esse un grado di manutenzione poiché non pienamente indagabili. Per questo motivo nelle statistiche successive si è considerato un campione di solo 23 reti a cortina.

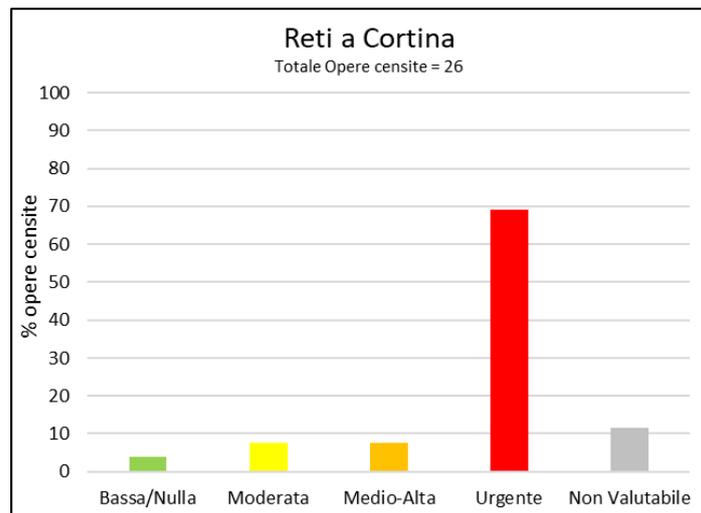


Figura 5.17 - Grado di manutenzione necessaria per le reti a cortina

La Figura 5.18 riporta le percentuali del grado di manutenzione necessaria agli elementi principali individuati all'interno del paragrafo 4.2.2. Non è stata riportata la voce relativa alla fune di sostegno superiore, ed i relativi componenti ad essa aggregati, in quanto per la totalità delle opere ispezionate, essa era inaccessibile. Tale impossibilità è stata causata

sia alla presenza sul versante di un elevato tasso di vegetazione e sia per l'assenza di vie che consentissero l'accesso a personale non qualificato ad operare con tecniche alpinistiche.

Per quanto riguarda, invece la fune di sostegno al piede, si segnala che 5 opere ne erano sprovviste e la parte inferiore della rete di contenimento di tali opere era vincolata solo tramite ancoraggi.

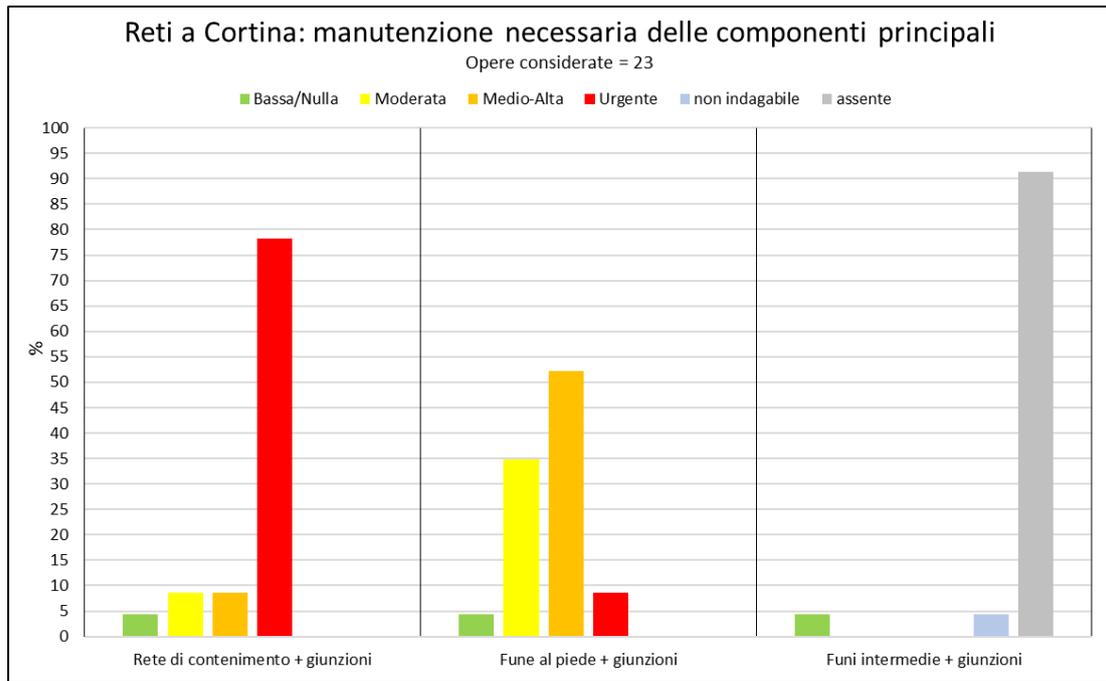


Figura 5.18 - Percentuale relativa al grado di manutenzione necessaria ai singoli elementi principali

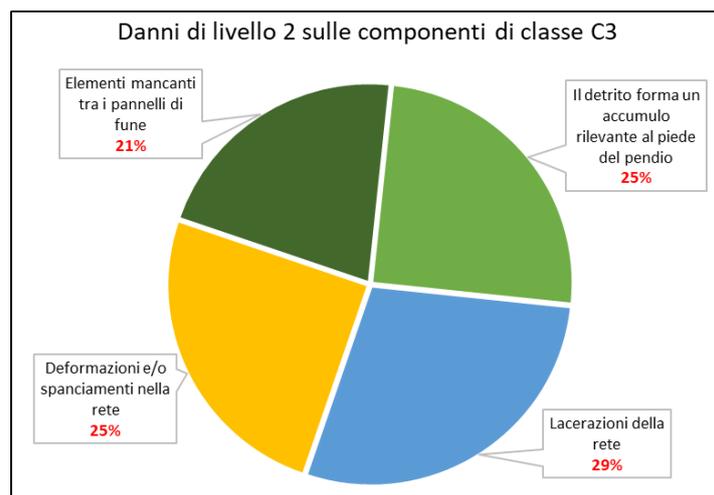


Figura 5.19 - Criticità di classe C3, nelle reti a cortina, nelle quali è stato valutato un danno di livello 2

La Figura 5.19 riporta tutte le criticità di classe C3 alle quali è stato attribuito un livello di danno 2. È importante analizzare queste condizioni poiché sono loro a determinare per l'opera una manutenzione urgente. Si precisa che le opere analizzate presentavano più di

una criticità di classe C3 e con danno 2. Al fine di illustrare i dati in maniera più fruibile e leggibile si è deciso di riportarli, nel grafico in Figura 5.19, considerando una frequenza relativa al 100%. Si ricorda che le criticità di classe C3 che riguardano la fune di sostegno superiore non sono state riportate, in quanto tale elemento nella totalità dei casi non è stato ispezionato. Si intuisce dal grafico che non esiste una criticità nettamente predominante che si verifica con maggior frequenza, infatti le 4 criticità concorrono, quasi in egual modo a determinare per le reti a cortina un grado urgente di manutenzione.

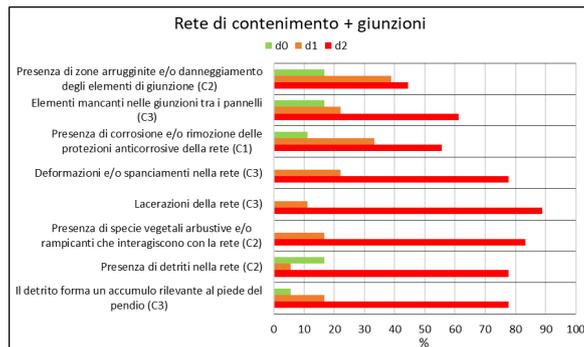


Figura 5.20 - Livelli di danno degli elementi delle reti a cortina che presentano un grado di manutenzione urgente

Escludendo le 3 opere non indagabili, si può affermare che la maggior parte delle reti a cortina necessitano di una manutenzione urgente, infatti, lo stato di conservazione è molto critico. La componente che più frequentemente presenta criticità è la rete di contenimento. Analizzando in particolare le criticità che sono state individuate per tale elemento, si nota che tutte (Figura 5.20) presentano lacerazioni con un danno di livello 2 nell'88% dei casi e nel restante 12% con un livello 1. Le lacerazioni sono classificate con un grado di importanza pari a C3 (molto importante), la loro presenza, infatti, potrebbe costituire, per dei massi in caduta, una via preferenziale ed entrare in contatto con un potenziale elemento a rischio. Si è riscontrato inoltre che l'opera interagiva, nella totalità dei casi, con una fitta vegetazione lungo il versante, compromettendo fortemente l'efficienza dell'opera ed inoltre si è riscontrato quasi sempre un accumulo di detriti al piede, danno classificato con un grado C3, e che nel 77% presenta un livello di danno pari a 2. Dall'analisi dalla tecnologia adoperata si evince che la maggior parte delle opere sono state installate parecchi anni fa. L'azione del tempo unitamente all'assenza di manutenzione ordinaria e straordinaria ha determinato deformazioni e spancamenti in alcune zone della rete. Molte opere presentano anche segni avanzati di corrosione, sia sulla rete di contenimento che sulle funi. L'azione corrosiva in tre casi è stata accentuata anche da alcune venute a giorno d'acqua, lungo la parete.

Infine, la maggior parte delle funi di sostegno al piede si presentavano corrose e collegate in maniera non idonea con la rete. Per quanto riguarda le funi intermedie sono state rilevate soltanto in due casi e quindi nel 92% delle opere tale componente è assente. Si ricorda che comunque tali funi non hanno una funzione strutturale ma il loro compito principale è quello di far aderire meglio la rete al versante e quindi la loro assenza non risulta così rilevante.

#### 5.3.4 RETI RINFORZATE

Le reti rinforzate censite lungo la viabilità in gestione alla Città Metropolitana, sono in totale 19 (Figura 5.21). Dalle ispezioni eseguite ed applicando le procedure di valutazione, esposte precedentemente, è risultato che circa il 16% delle reti necessitano di una manutenzione urgente, il 32% di una moderata e il 42% di una manutenzione bassa/nulla. Mentre sul restante 10% delle opere non è stato possibile eseguire un'ispezione di dettaglio in quanto le opere erano di difficile accesso e quindi non si è riusciti ad attribuire ad esse un grado di manutenzione poiché non pienamente indagabili. Per questo motivo nelle statistiche successive si è considerato il campione delle sole 17 opere indagate.

La Figura 5.22 riporta le percentuali del grado di manutenzione necessaria agli elementi principali individuati all'interno del paragrafo 4.2.2. Non è stata riportata la voce relativa alla fune di sostegno superiore, ed i relativi componenti ad essa aggregati, in quanto per la totalità delle opere ispezionate, essa era inaccessibile. Tale impossibilità è stata causata sia alla presenza sul versante di un elevato tasso di vegetazione e sia per l'assenza di vie che consentissero l'accesso a personale non qualificato ad operare con tecniche alpinistiche.

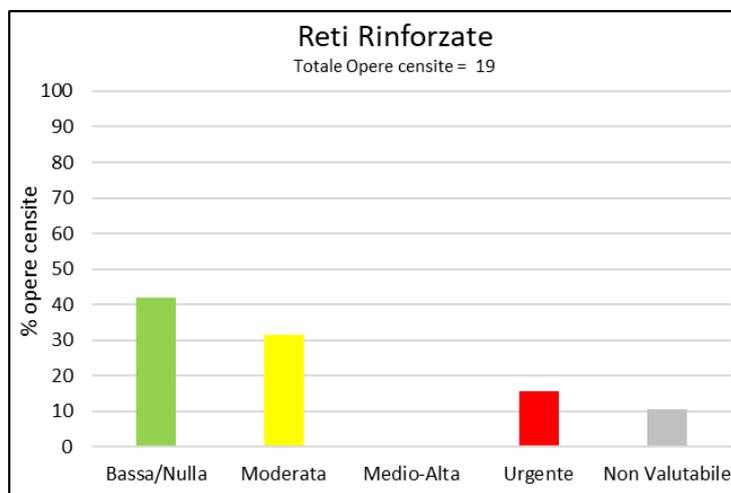


Figura 5.21 - Grado di manutenzione necessaria per le reti rinforzate

Nel complesso quasi la metà del patrimonio delle reti rinforzate gode di un buono stato di conservazione e quindi il grado di manutenzione richiesto è basso/nullo. La restante parte, invece presenta gravi criticità soprattutto negli elementi quali la rete di contenimento e le funi di rinforzo (Figura 5.22).

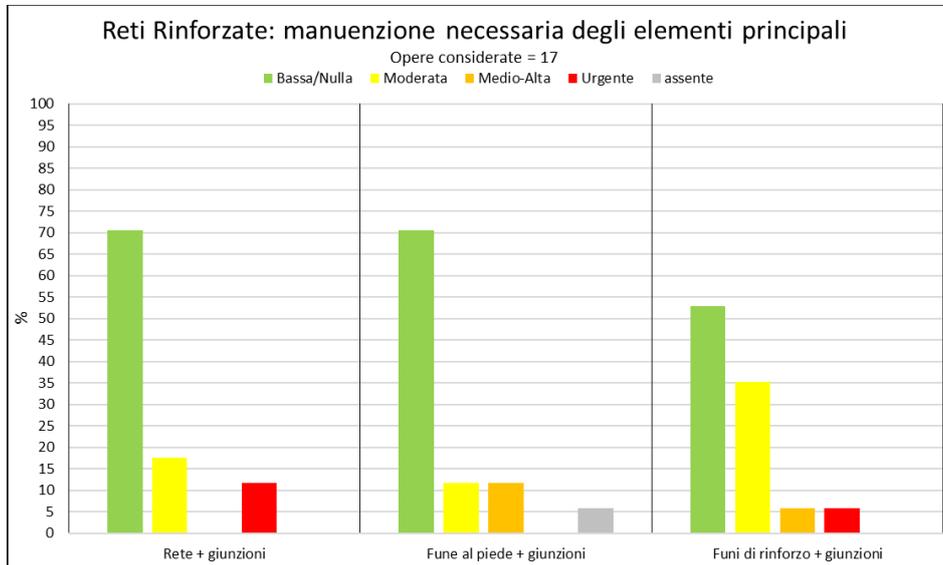


Figura 5.22 - Percentuale relativa al grado di manutenzione necessaria ai singoli elementi principali

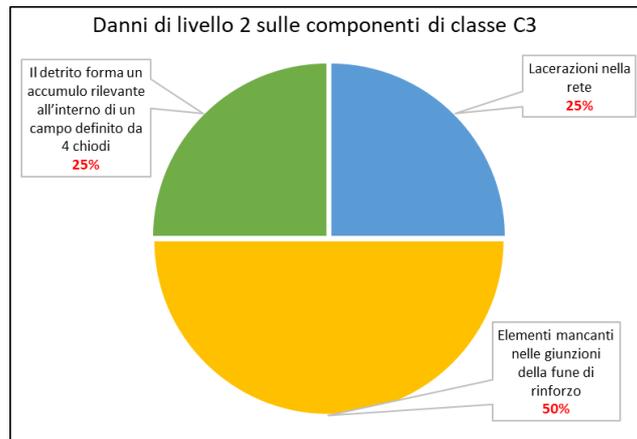


Figura 5.23 - Criticità di classe C3, nelle reti rinforzate, nelle quali è stato valutato un danno di livello 2

In particolare, la Figura 5.23 riporta tutte le criticità di classe C3 alle quali è stato attribuito un livello di danno 2. È importante analizzare queste condizioni poiché sono loro a determinare per l'opera una manutenzione urgente. Si precisa che le opere analizzate presentavano più di una criticità di classe C3 e con danno 2. Al fine di illustrare i dati in maniera più fruibile e leggibile si è deciso di riportarli, nel grafico in Figura 5.23, considerando una frequenza relativa al 100%. Si ricorda che le criticità di classe C3 che riguardano la fune di sostegno superiore non sono state riportate, in quanto tale elemento nella totalità dei casi non è stato ispezionato. Si intuisce che la criticità che più

frequentemente determina uno stato critico è la mancanza di elementi nelle giunzioni nelle funi di rinforzo, dove per il 50% delle opere causa un grado di manutenzione urgente. Invece, a determinare meno frequentemente uno stato critico per l'opera sono la presenza di lacerazioni nella rete e l'accumulo di detriti all'interno della rete.

Analizzando in particolare le problematiche individuate per la rete di contenimento (Figura 5.24) si osserva che nel 100% dei casi la rete interagisce con specie vegetali arbustive e presenta detriti e sterpaglie nella rete, con un livello di danno pari a 2. Si osserva però che tali problematiche seppur molto ricorrenti hanno un grado di importanza C1 (basso). Invece, la presenza di deformazioni o spanciamenti della rete, problematica presente anch'essa nel 100% dei casi con un danno di livello 2, ha un grado di importanza pari a C3 (molto più importante). Anche le lacerazioni presenti nel 50% dei casi con un livello di danno pari a 2 incidono fortemente sullo stato di conservazione delle opere. Si ricorda infatti che, le lacerazioni sono state classificate con una classe di importanza delle criticità C3 (molto importanti) (paragrafo 4.2.2), poiché anche piccole fessure potrebbero costituire una via preferenziale per elementi detritici in caduta e giungere a contatto con un potenziale elemento a rischio.

Infine, in un solo caso, si è osservato che le venute d'acqua nel versante interagivano con l'opera e per questo hanno corroso eccessivamente la rete.

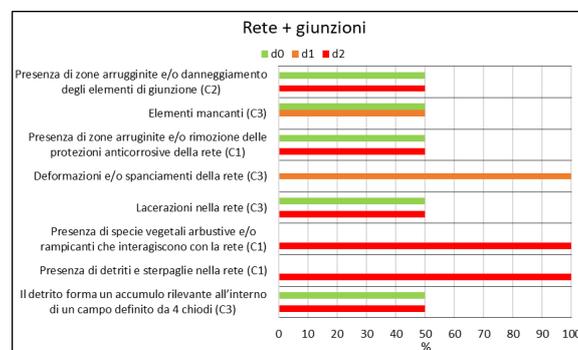


Figura 5.24 - Livelli di danno degli elementi delle reti rinforzate che presentano un grado di manutenzione urgente

Le criticità riscontrate sulle funi di rinforzo e le componenti ad esse collegate, hanno rappresentato la seconda problematica più rilevante per le reti in aderenza. In particolare, frequentemente si sono rilevati sfilamenti parziali degli ancoraggi che hanno determinato nel tempo la corrosione della barra in acciaio. Tale problematica è stata rilevata nel 35% delle opere unitamente alla corrosione dalla fune stessa. Mentre una sola opera presentava ancoraggi non idonei in quanto costituiti da barre semplicemente infisse, ed in aggiunta le funi di rinforzo non erano opportunamente morsettate.

Infine, si segnala uno stato ottimale per quasi il 70% delle funi di sostegno al piede (Figura 5.22). In una sola opera si è rilevata l'assenza di tale fune, e nel complesso le criticità riscontrate nel restante 24% delle opere è simile alle problematiche evidenziate per le funi di rinforzo, ovvero sfilamento parziale e corrosione degli ancoraggi, corrosione della fune e giunzioni morsettate corrose e mal posizionate con una coppia di serraggio molto probabilmente non idonea. Si ricorda che nonostante le criticità osservate nella fune inferiore siano molto simile a quelle osservate nelle funi di rinforzo, queste ultime sono valutate con un grado di importanza differente rispetto alle prime. In particolare, per le reti rinforzate, come già esposto all'interno del paragrafo 3.4.2.2 e successivamente al 4.2.2 del presente elaborato, le funi di rinforzo insieme all'azione attiva degli ancoraggi svolgono una funzione strutturale per l'intera opera e quindi un loro danneggiamento incide in maniera più evidente sullo stato di conservazione dell'opera, se paragonato allo stesso tipo di danno osservabile sulle funi di sostegno inferiore.

In conclusione, si ribadisce ulteriormente, che l'efficienza di un'opera, anche se ben progettata e ben collocata sul versante, può diminuire progressivamente fino ad annullarsi, in assenza di una manutenzione ordinaria e/o straordinaria.

## **5.4 Catasto georiferito**

Ultimata la fase di valutazione dello stato di conservazione delle opere e dopo aver attribuito ad ogni singola opera un grado di manutenzione, si è pensato successivamente di creare uno strumento che consentisse all'Amministrazione di gestire in maniera più funzionale la mole di dati raccolti per ogni opera e che fosse utile a stilare una scala di priorità delle azioni di manutenzione da eseguire sulle opere.

In particolare, questo strumento doveva possedere alcune caratteristiche specifiche:

- riportare le informazioni raccolte sulle opere di protezione contro la caduta massi;
- georiferire e quindi riportare su cartografia la posizione dell'opera;
- indicare lo stato di conservazione dell'opera;
- essere fruibile e di facile consultazione da parte di tutti gli operatori;
- essere utile per programmare la manutenzione ordinaria e straordinaria;
- essere aggiornabile in alcune parti;
- essere utile per futuri interventi relativi a nuove progettazioni di difesa.

Si è pensato così di costruire un catasto georiferito delle opere di protezione (in particolare barriere paramassi e reti in aderenza), che potesse rispondere pienamente alle specifiche sopra citate tramite l'impiego del software QGIS. Come già esposto all'interno del paragrafo 4.4, attraverso questo strumento, si potrà consultare rapidamente e in maniera più efficace lo stato di conservazione delle opere ed eventualmente decidere se eseguire o meno interventi mirati. In particolare, il gestore dell'opera, potrà stabilire una scala di priorità degli interventi di manutenzione (semplice controllo, manutenzione ordinaria, manutenzione straordinaria) e poter destinare quindi le risorse economiche all'esecuzione di interventi più urgenti.

#### 5.4.1 CREAZIONE DEL DATABASE

Il primo passo per creare il catasto georiferito è stato quello di creare dapprima un database che riportasse tutte le informazioni riguardanti sia le singole opere e sia i dati utili per la geolocalizzazione. Il database è stato costruito tramite il software Microsoft Excel.

Il database contiene al suo interno le informazioni relative alle opere di protezione contro la caduta massi, in particolare barriere paramassi e reti in aderenza, installate a protezione della viabilità in gestione della Città Metropolitana di Torino. I dati riportano le informazioni sullo stato di conservazione dell'opera, determinate attraverso le procedure esposte precedentemente ed informazione che consentono di identificare l'opera a livello geografico.

Per prima cosa si è deciso di dividere tutte le opere, censite in fase di sopralluogo, nelle diverse tipologie e di attribuire ad ognuna di esse, un codice specifico che fosse in grado di identificarle univocamente. In particolare, si è utilizzato un codice alfanumerico formato da una prima parte composta da una sigla in lettere che richiama la tipologia dell'opera e una seconda parte da un numero progressivo. Il campo che riporta questa informazione è stato nominato "ID Opera". Si riportano di seguito le sigle utilizzate per le quattro tipologie di opere rilevate:

- **BP** per le Barriere Paramassi a rete;
- **BTF** per le Barriere semideformabili di tipo Travi e Funi;
- **RC** per le Reti a Cortina;
- **RR** per le Reti Rinforzate.

Successivamente si è continuato a popolare il database con le informazioni riguardanti la collocazione spaziale dell'opera, in particolare, il comune o la località, l'unità operativa nella quale ricade l'installazione, la strada provinciale (sigla campo S.P.) e la progressiva chilometrica. Si sono riportate successivamente tutte le informazioni attinenti alle caratteristiche dell'opera, come per esempio la lunghezza, l'anno di installazione, ed infine le informazioni restituite dell'analisi dello stato di conservazione, e quindi, l'estensione del danno (P), il livello di conservazione (A), il grado di manutenzione necessaria, la componente che è stata valutata essere più critica per la singola opera ed altre eventuali problematiche. Si ricorda che i parametri appena citati sono stati esposti all'interno dei paragrafi 4.2 e 4.3, ai quali si rimanda per una spiegazione di dettaglio.

Gli ultimi due campi inseriti riguardano invece la scheda di rilievo, illustrata al paragrafo 4.1 e la cartella foto. Questi due campi permetteranno in ambiente GIS di creare delle azioni, tramite appositi *path*, in grado di aprire rapidamente la scheda di rilievo compilata e/o la cartella contenete tutto l'allegato fotografico relativo all'opera.

Ogni opera così registrata avrà tutte le informazioni principali per essere rilevata facilmente sul territorio (strada e progressiva chilometrica) e per poter consultare rapidamente il suo stato di conservazione.

#### 5.4.2 IMPLEMENTAZIONE IN AMBIENTE GIS

La creazione del catasto georiferito per le opere di protezione contro la caduta massi è stata eseguita interamente in ambiente GIS, in particolare utilizzando il software open source a disposizione della Città Metropolitana di Torino e cioè QGIS. La scelta e i vantaggi di utilizzare un software open source sono già stati esposti nel paragrafo 4.4. In breve, le amministrazioni pubbliche devono sempre preferire, nel rispetto del principio di economicità e salvo giustificati motivi, software ad accesso libero.

Il primo step è stato preparare l'ambiente di lavoro GIS. In particolare, scegliendo un adeguato sistema di riferimento, nel caso studio si è scelta la proiezione EPSG:32632-WGS 84/ UTM zone 32 N e poi caricare alcune basemap utili per identificare le aree studio. Dal Geoportale Piemonte, attraverso i servizi WMS/WMTS si sono scaricate le cartografie:

- ALLESTIMENTO CARTOGRAFICO DI RIFERIMENTO BDTRE 2021 (Raster 1:10 000);
- AGEA 2018 - Ortofoto RGB.

La Città Metropolitana di Torino ha fornito invece gli shapefiles relativi alla Viabilità. In particolare:

- lo shapefile di tipo lineare relativo agli assi stradali (strade provinciali);
- lo shapefile di tipo puntuale relativo ai cippi che identificano le progressive chilometriche (punti amministrativi);
- lo shapefile di tipo areale relativo alla struttura territoriale, in cui è diviso internamente l'ufficio della Viabilità (zone operative e circoli).

Lo shapefile è il formato vettoriale più utilizzato in ambiente GIS, poiché riesce a descrivere diverse geometrie come punti, polilinee e poligoni ed attribuire dei dati aggiuntivi ad ogni singola geometria. Un singolo shapefile è costituito da quattro file distinti con estensione:

- .shp (dove risiedono i dati geometrici effettivi);
- .prj (una stringa che descrive la proiezione utilizzata);
- .shx (un indice che consente ricerche più veloci);
- .dbf (un file di database contenente tutti i dati associato a una geometria del file .shp).

L'operazione successiva è stata riproiettare gli assi stradali e i punti amministrativi. In particolare, attraverso il plugin LRS (Linear Reference System) a partire dagli shapefiles degli assi stradali (file lineare) e dei punti amministrativi (file puntuali) si è creato un nuovo shapefile di tipo lineare, costituito da singoli tratti di strada, spezzati in corrispondenza delle progressive chilometriche. LRS è un metodo di riferimento spaziale, in cui le posizioni sono descritte in termini di misura lungo un elemento lineare (in questo caso l'asse stradale) a partire da un punto ben definito (in questo caso i punti amministrativi). Il plugin LRS è tornato utile sia per misurare la lunghezza di uno specifico tratto di strada sia per localizzare successivamente l'estensione dei tratti di strada protetti dalle opere. A questo punto si è potuto importare, in ambiente GIS tramite la funzione *Spreadsheet Layers*, il database creato precedentemente. Utilizzando nuovamente la funzione LRS si è convertito il database/tabella in un shapefile di tipo lineare, dove gli elementi generati individuano le porzioni di strada sottese e quindi protette dalle opere censite.

Lo step finale, quindi, è stato quello di georiferire le opere di protezione andando a collocarle nella posizione corretta lungo il versante. La Figura 5.25 mostra in dettaglio il risultato ottenuto. I poligoni evidenziati in mappa rappresentano le porzioni di versante

dove si trovano installate le reti in aderenza, mentre le linee rappresentano le porzioni di versante in cui sono collocate le barriere paramassi. I colori con i quali sono rappresentati, invece rappresentano i gradi di manutenzione richiesti, in particolare rosso per una manutenzione urgente, arancione per una manutenzione medio-alta, giallo per una manutenzione moderata e verde per una manutenzione bassa/nulla. Le opere sono identificate tramite il campo l'ID Opera assegnato nella prima fase.

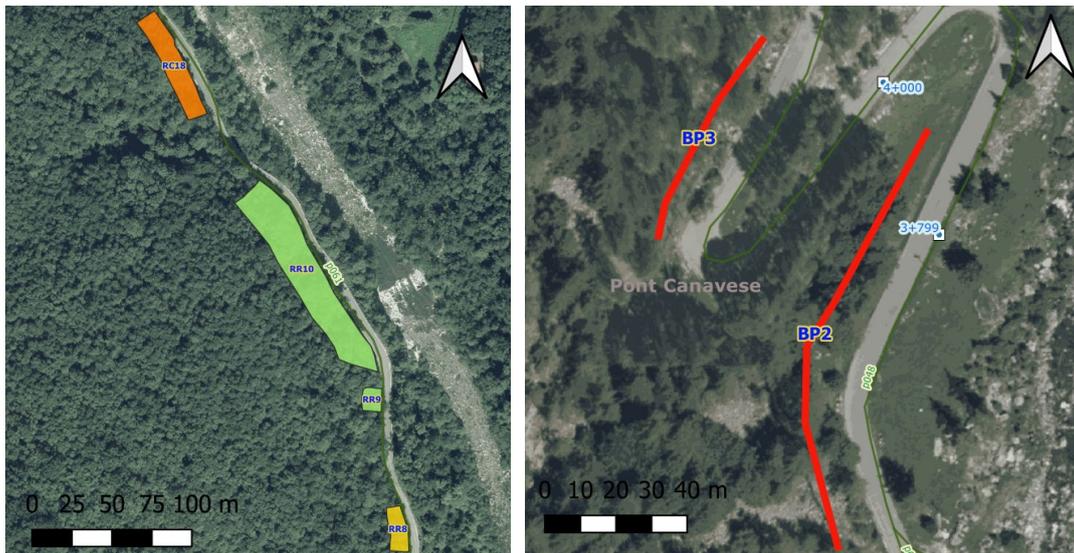


Figura 5.25 – Esempio di opere di protezione contro la caduta massi collocati lungo il versante e identificate tramite l'ID Opera

Si ricorda che Città Metropolitana di Torino, per quanto concerne il settore della Viabilità è suddivisa in due settori che ne facilitano la gestione e il monitoraggio e sono rispettivamente indicate come Viabilità 1 e Viabilità 2. Tutte le opere di protezione contro la caduta massi ispezionate e valutate ricadono esclusivamente all'interno del settore della Viabilità 1. Al suo interno la Viabilità 1 è suddivisa in 5 Unità Operative.

Nelle Figura 5.26, Figura 5.27, Figura 5.28 e Figura 5.29 si riportano le cartografie nelle quali sono evidenziate e localizzate geograficamente le opere di protezione contro la caduta massi, divise nelle cinque unità operative. A fianco alla mappa è presente una tabella nella quale vengono riportate alcune indicazioni geografiche delle opere e il grado di manutenzione necessario. Richiamando quanto già detto nel paragrafo 5.2, all'interno dell'unità operativa 1 non sono state riscontrate opere di protezione. Nell'unità operativa 2 invece sono state censite un totale di 13 opere (tra barriere paramassi e reti in aderenza), nell'unità operativa 3 un totale di 34 opere, nell'unità operativa 4 è stata censita una sola opera ed infine nell'unità operativa 5 un totale di 13 opere.

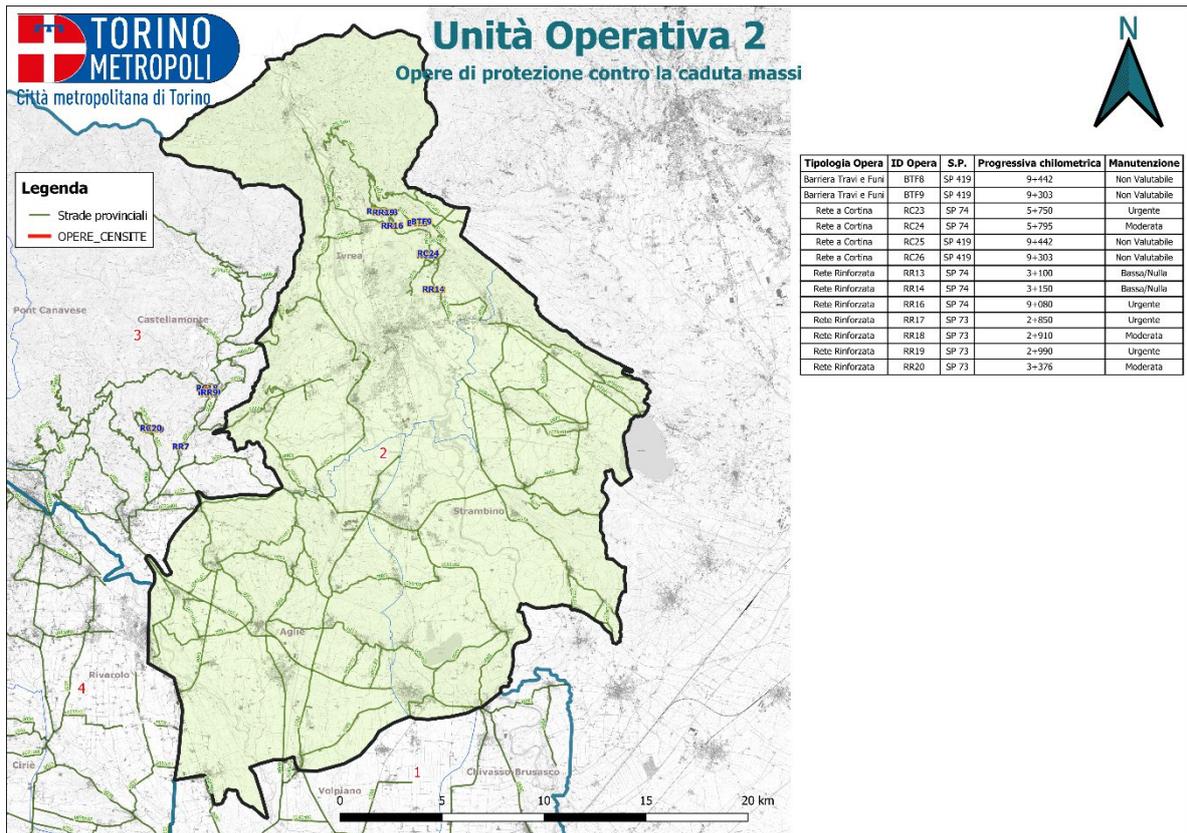


Figura 5.26 - Opere di protezione contro la caduta massi censite nell'unità operativa 2

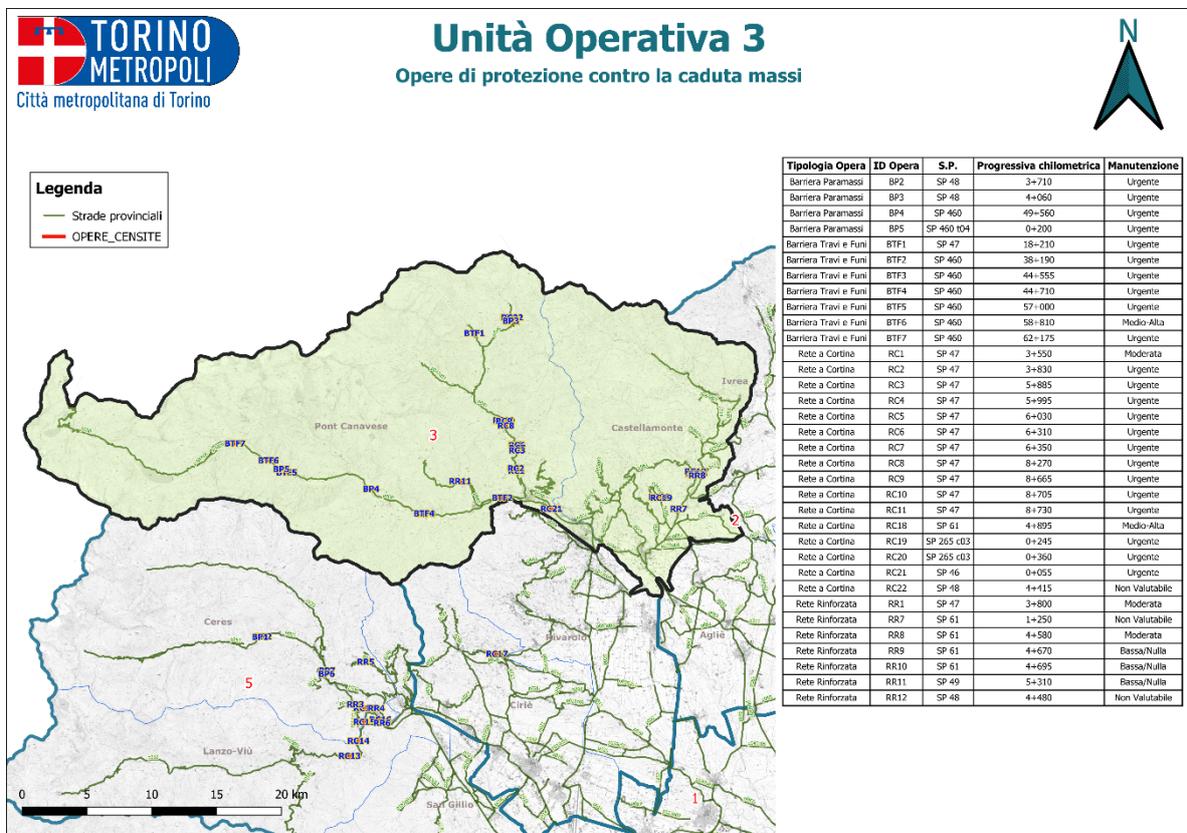


Figura 5.27 - Opere di protezione contro la caduta massi censite nell'unità operativa 3

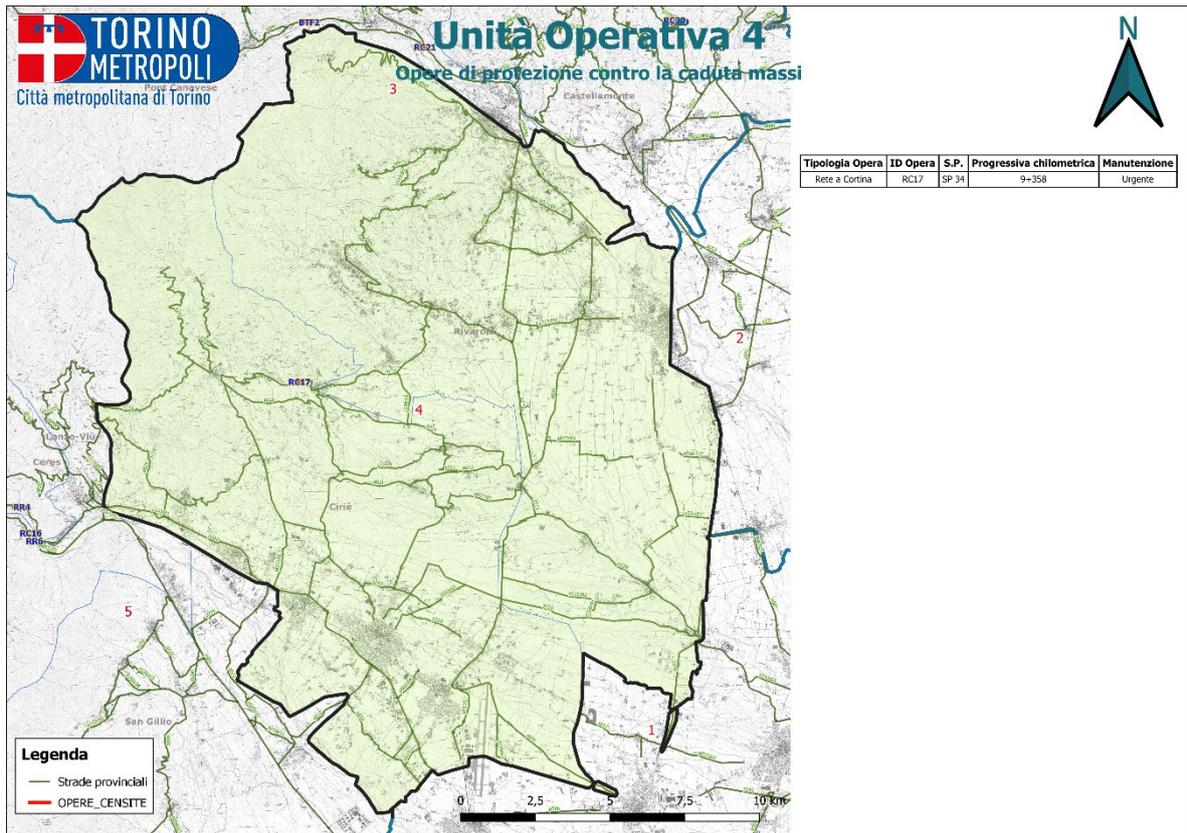


Figura 5.28 - Opere di protezione contro la caduta massi censite nell'unità operativa 4

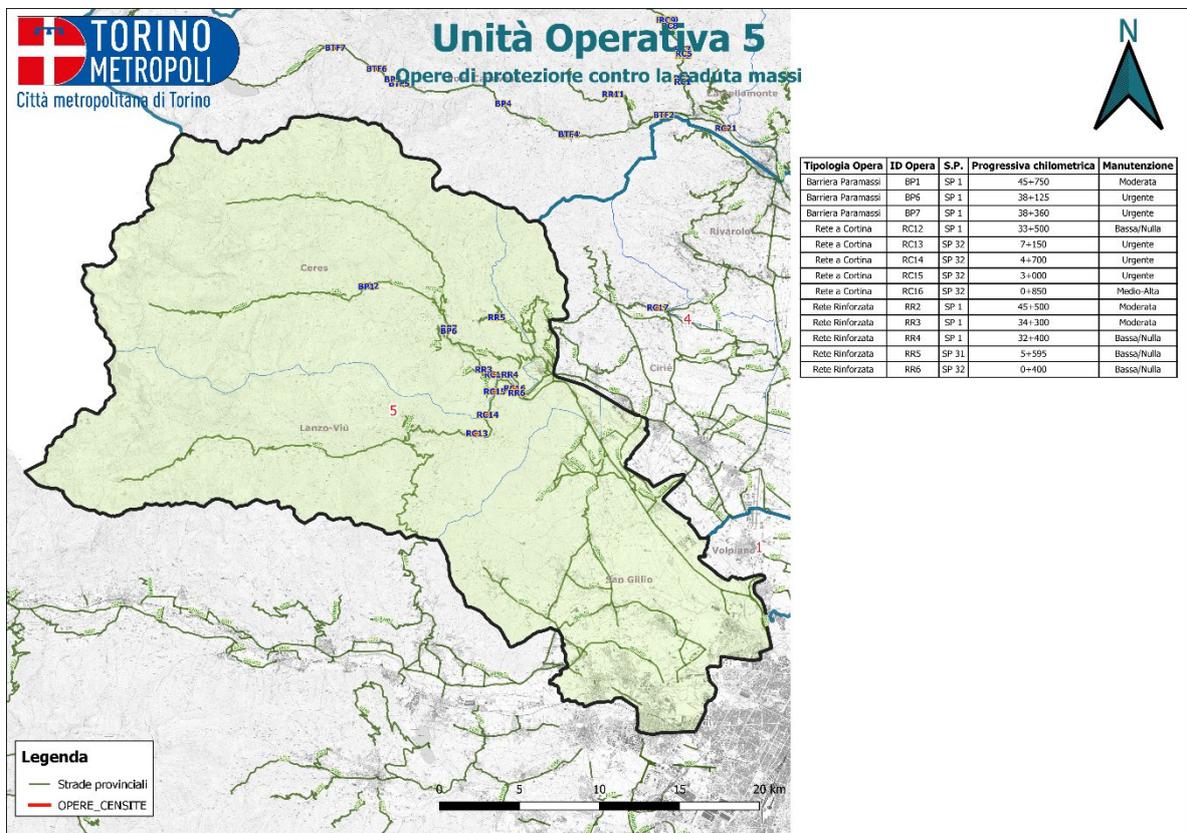
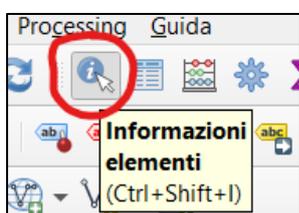


Figura 5.29 - Opere di protezione contro la caduta massi censite nell'unità operativa 5

### 5.4.3 CONSULTARE IL CATASTO GEORIFERITO

Lo scopo di importare il database in ambiente GIS era quello di agevolare la consultazione e valutare rapidamente lo stato di conservazione delle opere di protezione censite. Tutte le informazioni inserite nel database che identificano il singolo sistema di protezione, infatti, sono disponibili e leggibili e anche in GIS.

Nel seguito si illustreranno i modi e i vantaggi di possedere un sistema georiferito per consultare le opere. Si precisa che esistono vari modi per leggere e consultare le informazioni presenti nel database, tutti ugualmente validi. In base all'analisi che bisogna effettuare però è opportuno prediligere un tipo di visualizzazione del dato rispetto ad un'altra a vantaggio di una migliore lettura e comprensione.



Per una consultazione rapida, sulla singola opera si può attivare la funzione 'Informazioni elementi' (vedi figura a lato) e successivamente cliccare sull'elemento in mappa, che rappresenta l'opera, di cui si desidera leggere le informazioni. La

schermata che apparirà è riportata in Figura 5.30. In essa vengono sintetizzate alcune informazioni peculiari riguardanti la singola opera. In dettaglio, sono divise in due categorie, informazioni di tipo generale e informazioni tecniche. Le prime riportano i dati riguardanti per lo più il posizionamento spaziale come, per esempio, la tipologia di opera, l'ID Opera che rappresenta un codice univoco dell'opera assegnato durante la creazione del database, il comune o la località in cui essa ricade, l'unità operativa di riferimento, la strada provinciale e la progressiva chilometrica.

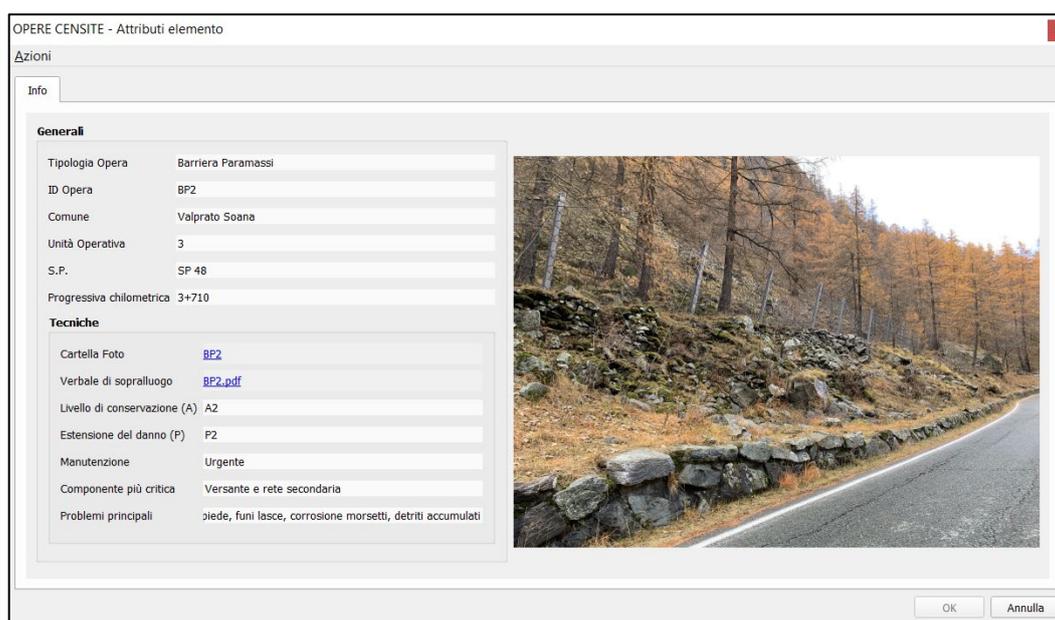


Figura 5.30 - Schermata tipo per consultare rapidamente le informazioni peculiari riguardanti un'opera

Le informazioni tecniche invece riportano i risultati ottenuti dalla valutazione sullo stato di conservazione dell'opera, come per esempio il livello di conservazione (A), l'estensione del danno (P) (in particolare viene indicato l'intervallo P1 - P2 - P3 o P4 in cui ricade la percentuale dell'estensione), il grado di manutenzione necessaria, la componente che risulta maggiormente più critica e che necessita di una immediata manutenzione ed infine altri problemi riscontrati durante il sopralluogo. Le prime due caselle delle informazioni tecniche rimandano, attraverso dei percorsi relativi, all'apertura del verbale di sopralluogo e all'apertura della cartella contenete tutto l'allegato fotografico, tramite il quale sarà possibile consultare lo stato di ciascuna opera ed eventualmente confrontarlo in future ispezioni.

Sulla destra della schermata, infine, viene riportata una foto che inquadra la collocazione dell'opera sul territorio.

Il catasto georiferito è stato elaborato in maniera tale che non fosse soltanto un elemento statico e quindi solo di consultazione, ma anche dinamico. In particolare, pensato in maniera tale che ogni campo del database dell'opera potesse essere aggiornabile ed ampliabile con nuove informazioni. Infatti, lo stato di conservazione dell'opera non è immutabile nel tempo e va per questo aggiornato di volta in volta dopo ogni ispezione o dopo l'esecuzione di interventi manutentivi mirati.

In particolare, facendo riferimento sempre alla schermata riportata in Figura 5.30, i campi modificabili sono esclusivamente quelli relativi allo stato di manutenzione. Attivando la funzione 'Attiva Modifiche' di QGIS è possibile andare a modificare i valori di A e P, ma anche del grado di manutenzione. Al fine di evitare errori di compilazione si è preferito optare per un menù a tendina che vincoli l'operatore a compilare i compi con i soli livelli di manutenzione attribuibili alle opere (Figura 5.31) e cioè Bassa/Nulla, Moderata, Medio-Alta, Urgente oppure Non valutabile nel caso in cui sussistano problematiche per le quali non si è in grado di attribuire uno specifico livello di manutenzione.

Livello di Conservazione (A)	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Case sensitive
Estensione del danno (P)	<input type="text"/>	<input type="checkbox"/> Case sensitive
Manutenzione	Seleziona	
Componente più critica	Bassa/Nulla	
Problemi principali	Moderata	
	Medio-Alta	
	Urgente	
	Non Valutabile	

Figura 5.31 – Informazioni tecniche modificabili dopo ulteriori ispezioni o a seguito di manutenzione. Particolare nel menù a tendina per l'assegnazione del grado di manutenzione

Oltre ad una consultazione di dettaglio e specifica per singola opera, attraverso vari tools presenti in QGIS, è possibile interrogare il database al fine di filtrare agevolmente tutti i dati e mostrare soltanto certe opere che rispondono a determinati parametri in relazione alle caratteristiche di maggiore interesse. Questo renderà più facile e veloce l'analisi di tutte le opere censite.

Utilizzando la funzione *'Selezione elementi per Valore'* sarà possibile accedere alla schermata che si riporta in Figura 5.32. Qui andando ad inserire i valori nei campi di interesse sarà possibile selezionare determinate opere e visualizzarle facilmente in mappe tramite appositi zoom. Ad esempio, se si volesse prendere visione delle sole Barriere Paramassi a rete, basterebbe scegliere tale voce nel menù a tendina a fianco al campo *'Tipologia Opera'*. Di maggiore interesse invece, risulterebbe la ricerca rispetto al grado di manutenzione. Infatti, tramite pochi passaggi l'operatore sarebbe in grado di filtrare tutte le opere che richiedono una manutenzione, ed esempio *'Urgente'*, così da localizzarle sul territorio e programmare velocemente future ispezioni o opportuni piani di manutenzione.

Naturalmente è possibile inserire più dati di filtraggio contemporaneamente e quindi eseguire una ricerca più specifica. Ad esempio, si potrebbero selezionare tutte le barriere paramassi a rete che necessitano di una manutenzione urgente, compilando i campi *'Tipologia Opera'* e *'Manutenzione'*.

The screenshot shows a dialog box titled "OPERE CENSITE - Seleziona Elementi". It has a tab labeled "Info". The dialog is organized into two main sections: "Generali" and "Tecniche".

**Generali**

- Tipologia Opera: Selezione (dropdown), Escludi Campo (button)
- ID Opera: [text input], Case sensitive (checkbox), Escludi Campo (button)
- Comune: [text input], Case sensitive (checkbox), Escludi Campo (button)
- Unità Operativa: Selezione (dropdown), Escludi Campo (button)
- S.P.: [text input], Case sensitive (checkbox), Escludi Campo (button)
- Progressiva chilometrica: [text input], Case sensitive (checkbox), Escludi Campo (button)

**Tecniche**

- Cartella Foto: [text input], Case sensitive (checkbox), Escludi Campo (button)
- Verbale di sopralluogo: [text input], Case sensitive (checkbox), Escludi Campo (button)
- Livello di conservazione (A): [text input], Case sensitive (checkbox), Escludi Campo (button)
- Estensione del danno (P): [text input], Case sensitive (checkbox), Escludi Campo (button)
- Manutenzione: Selezione (dropdown), Escludi Campo (button)
- Componente più critica: [text input], Case sensitive (checkbox), Escludi Campo (button)
- Problemi principali: [text input], Case sensitive (checkbox), Escludi Campo (button)

At the bottom of the dialog, there are several buttons: "Ripristina Modulo", "Lampeggia Elementi", "Zoom agli Elementi", "Selezione Elementi" (with a dropdown arrow), and "Chiudi".

Figura 5.32 - Schermata per filtrare i dati relativi alle opere

Si ricorda infine che i restanti dati inseriti durante la creazione del database restano comunque consultabili ed eventualmente modificabili. Tramite la funzione 'Apri Tabella Attributi' si avrà accesso alla consultazione dell'intera tabella con tutti i dati relativi alle opere ( Figura 5.33). Anche qui sarà possibile eseguire delle query per filtrare e selezionare soltanto alcune opere che si vogliono esaminare. Inoltre, da questa schermata sarà possibile anche aggiungere nuovi records relativi, per esempio, all'installazione di nuove opere.

Quindi come già detto precedentemente, tramite questo applicativo sarà possibile sia consultare quanto fatto durante il caso studio, valutare lo stato di conservazione delle opere di protezione contro la caduta massi, sia aggiornarne il loro stato a seguito di future ispezioni e sia implementare il database nel caso di nuove installazioni.

OPERE CENSITE :: Elementi Totali: 61, Filtrati: 61, Selezionati: 0

	Tipologia Opera	ID Opera	S.P.	Progressiva chilometrica	Livello di conservazione (A)	Estensione del danno (P)	Manutenzione	Componente più critica
1	Barriera Paramassi	BP1	SP 1	45+750	A1	P1	Moderata	Versante
2	Barriera Paramassi	BP2	SP 48	3+710	A2	P2	Urgente	Versante e rete secondaria
3	Barriera Paramassi	BP3	SP 48	4+060	A2	P2	Urgente	Versante e rete principale
4	Barriera Paramassi	BP4	SP 460	49+560	A2	P1	Urgente	Versante e rete principale
5	Barriera Paramassi	BP5	SP 460 t04	0+200	A2	P3	Urgente	Intera Opera
6	Barriera Paramassi	BP6	SP 1	38+125	A2	P1	Urgente	Versante e rete principale
7	Barriera Paramassi	BP7	SP 1	38+360	A2	P1	Urgente	Versante
8	Barriera Travi e Funi	BTF1	SP 47	18+210	A2	P2	Urgente	Versante e Funi longitudinali
9	Barriera Travi e Funi	BTF2	SP 460	38+190	A2	P2	Urgente	Funi longitudinali
10	Barriera Travi e Funi	BTF3	SP 460	44+555	A2	P4	Urgente	Intera Opera
11	Barriera Travi e Funi	BTF4	SP 460	44+710	A2	P2	Urgente	Versante e Funi longitudinali
12	Barriera Travi e Funi	BTF5	SP 460	57+000	A2	P3	Urgente	Funi longitudinali
13	Barriera Travi e Funi	BTF6	SP 460	58+810	A1	P3	Medio-Alta	Funi longitudinali
14	Barriera Travi e Funi	BTF7	SP 460	62+175	A2	P4	Urgente	Intera Opera
15	Barriera Travi e Funi	BTF8	SP 419	9+442	---	---	Non Valutabile	---
16	Barriera Travi e Funi	BTF9	SP 419	9+303	---	---	Non Valutabile	---
17	Rete a Cortina	RC1	SP 47	3+550	A1	P1	Moderata	Rete di contenimento
18	Rete a Cortina	RC10	SP 47	8+705	A2	P3	Urgente	Intera Opera
19	Rete a Cortina	RC11	SP 47	8+730	A2	P3	Urgente	Intera Opera
20	Rete a Cortina	RC12	SP 47	8+500	A2	P3	Urgente	Intera Opera

Mostra Tutti gli Elementi

Figura 5.33 - Estratta della tabella attributi di QGIS, nella quale è possibile consultare tutte le informazioni relative alle opere di protezione contro la caduta massi censite durante il caso studio

# CAPITOLO 6.

## UNA PROPOSTA DI GESTIONE DELLE OPERE PARAMASSI

---

La sicurezza e l'affidabilità delle opere ingegneristiche sono tematiche, sempre più ricorrenti presso gli Enti gestori. Prendendo come riferimento particolare la rete viaria, ad esempio, la sicurezza dell'utente che fruisce della strada deve essere sempre garantita. Per questo motivo l'obiettivo principale dell'Ente gestore è quello di mantenere un adeguato livello di sicurezza dell'infrastruttura cercando di ottimizzare i costi di gestione, manutenzione ed esercizio attraverso un determinato piano di gestione che consenta di individuare un ordinane di priorità degli interventi da eseguire.

In ottica di pianificare la manutenzione, nel seguente capitolo si cercherà di proporre una procedura per la gestione e il monitoraggio delle opere di protezione contro la caduta massi. Tale proposta cerca di ripercorrere i consigli indicati nelle linee guida emanate dal *'Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti'* il 17 aprile 2020 in merito alla "Classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti". Nella prima parte in particolare si presenteranno le Linee Guida nelle parti più importanti, mentre nella seconda parte del capitolo si cercherà di individuare degli elementi comuni utilizzabili anche per la gestione delle opere di protezione contro la caduta massi.

### 6.1 Linee guida dei ponti esistenti

Le linee guida emanate dal *'Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti'* nell'aprile 2020 in merito alla "Classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti" affrontano il problema dalla gestione dei manufatti con

un approccio multilivello. La filosofia dietro questo tipo di approccio risiede nel fatto che in Italia esiste un elevato numero di ponti e viadotti, e non sarebbe possibile, economicamente parlando, poter intervenire su tutti alla stessa maniera con lo stesso tipo di risorse. Quindi l'approccio multilivello consente di eseguire un censimento e delle ispezioni visive su tutto il patrimonio in gestione dell'Ente, attività comunque poco onerose e successivamente andare ad approfondire le indagini e le verifiche soltanto su quelle infrastrutture che lo richiedono.

Il patrimonio in Italia di ponti e viadotti è estremamente sconfinato, sia da un punto di vista delle caratteristiche tecniche e sia da un punto di vista delle norme di costruzioni con le quali sono stati progettati nei diversi anni. Infatti, si possono trovare sparsi sul territorio ponti ad arco o in muratura, ponti in cemento armato o in cemento armato precompresso e ponti in acciaio. Vista l'enorme eterogeneità di ponti e viadotti queste linee guida cercano di pervenire ad un metodo omogeneo ed uniforme di valutazione che si possa adattare al variare delle tipologie di infrastrutture. Il testo delle Linee Guida si suddivide in tre parti, nelle prime due vengono descritti dettagliatamente i diversi livelli di ispezione dell'infrastruttura e nella terza parte si sofferma nella descrizione dei sistemi di sorveglianza e monitoraggio.

#### 6.1.1 LIVELLI DI ISPEZIONE

L'approccio proposto si sviluppa su 6 livelli aventi grado di approfondimento e complessità crescenti. Dal Livello 0 al Livello 5 il dettaglio e l'onerosità delle indagini aumentano, ma il numero di infrastrutture su cui applicarle, così come l'incertezza dei risultati si riduce. In Figura 6.1 viene riportato il flusso logico e la relazione che sussiste tra i diversi livelli. Le Linee Guida nell'ottica di uniformare su tutto il territorio italiano le ispezioni, ma anche di agevolare nel rilievo il tecnico incaricato di eseguire i diversi controlli, forniscono per ogni livello di indagine delle schede da compilare.

Si precisa che, come riportato nel testo delle Linee Guida, i diversi livelli di analisi non sono necessariamente da applicare in maniera sequenziale, cioè non occorre attendere il completamento delle attività previste in un livello per avviare quelle del livello successivo.

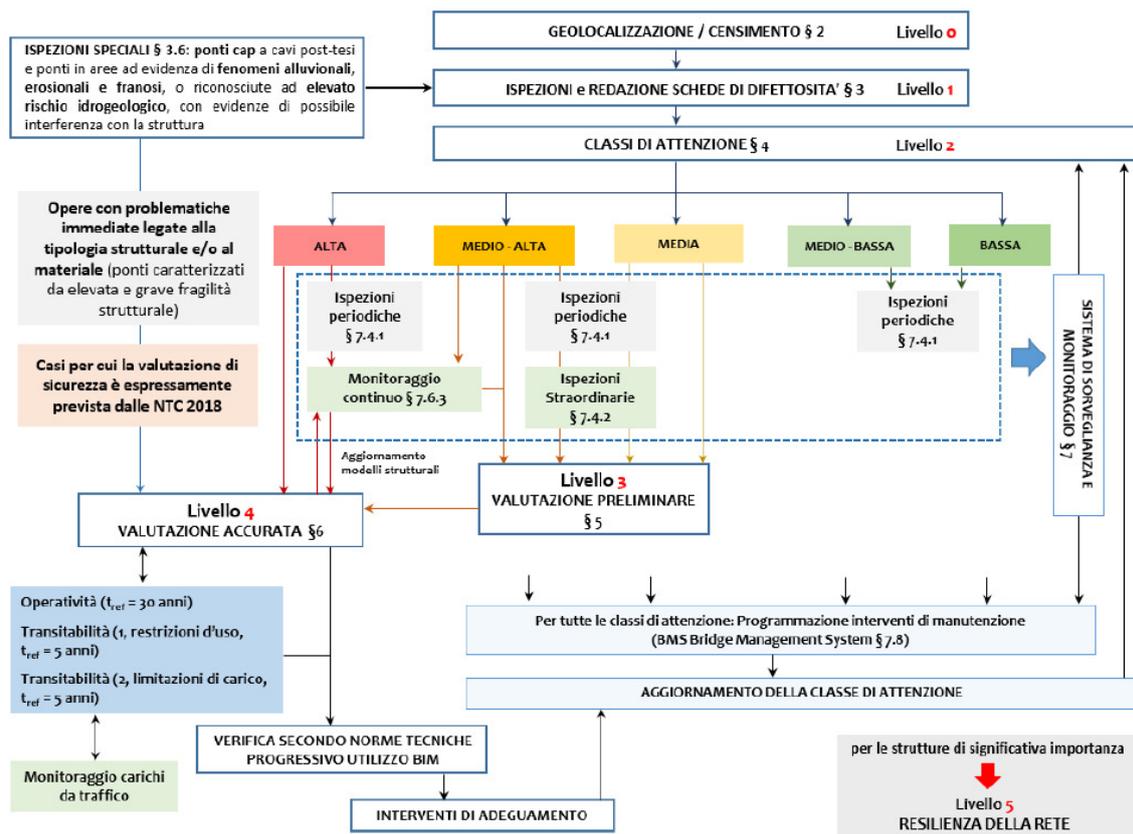


Figura 6.1 - Approccio multilivello e relazione tra i livelli di analisi

### 6.1.1.1 Livello 0

Il Livello 0 prevede il censimento di tutte le opere e delle loro caratteristiche principali mediante la raccolta delle informazioni e della documentazione disponibile. Questo primo livello serve per conoscere il numero di strutture da gestire e le loro caratteristiche principali ("Catasto Opere"). L'importanza in questa fase di eseguire una ricerca documentaria approfondita, sia dei documenti tecnici (relativi a progetto, esecuzione, successivi interventi) sia di documenti amministrativi, è fondamentale per la successiva valutazione preliminare di rischio. Il livello 0 si esplica attraverso la compilazione della *scheda di censimento di livello 0*. Le informazioni richieste da tale scheda, molto spesso però non sono facili da reperire per l'Ente gestore, poiché l'opera potrebbe essere stata costruita in un periodo nel quale l'infrastruttura non era di sua competenza. Per tale motivo questa prima fase che consiste essenzialmente nel ricostruire un'anagrafica dettagliata dell'opera, potrebbe richiedere tempistiche lunghe e quindi per facilitare e velocizzare l'organizzazione delle successive attività, già in questa prima fase, gli enti gestori stabiliscano un ordine, individuando le tratte varie da analizzare prioritariamente, anche in assenza di tutte le informazioni.

Le linee guida suggeriscono di iniziare a creare già dal livello 0 un sistema di mappatura informatizzata, che prevederà poi la popolazione del database con le informazioni provenienti dai successivi livelli.

#### *6.1.1.2 Livello 1*

Su tutte le opere presenti nel territorio e censite nel Livello 0, andranno eseguite delle ispezioni visive volte a verificare l'attendibilità delle informazioni raccolte e raccogliere ulteriori informazioni riguardo le caratteristiche geometriche e strutturali e valutare seppur in maniera speditiva e approssimata il grado di conservazione dell'opera, per individuare e segnalare la presenza di fenomeni di degrado. Anche qui andranno compilate delle schede di ispezioni e schede di difettosità. Le indicazioni riportate sulle schede di livello 1 sono poi utilizzate per la determinazione del livello di difettosità, uno dei principali parametri considerati nel metodo di classificazione di Livello 2.

In particolare, in questo livello andranno compilate 3 schede differenti:

- una scheda descrittiva di Livello 1 che riprende in parte quella di Livello 0 alla quale aggiunge i dati in riferimento alla geometria dell'opera e alla tipologia di struttura;
- una scheda che descrive l'ambiente in cui è inserita l'opera, quindi la presenza di fenomeni di frana o fenomeni idraulici;
- schede di difettosità, differenti per tipologia e materiale. In particolare, è presenta una scheda per ogni elemento che costituisce il ponte (es. spalla, pila, giunti, ecc.) nella quale vengono individuati già dei difetti tipici di quell'elemento. Ad ogni difetto è associato un peso variabile da 1 a 5. I difetti con peso 5 (difetti gravi) sono evidenziati sulle schede, al fine di rimarcare all'operatore la necessità di eseguire un rilievo accurato di tale componente.

Con la compilazione di queste schede si ottiene un buon quadro complessivo dell'opera. Infatti, si potrebbero già durante l'ispezione visiva individuare degli elementi particolarmente critici e che richiedono una valutazione di sicurezza ai sensi delle NTC 2018 al Cap. 8.3., oppure individuare opere caratterizzate da elevata "fragilità" intrinseca per le quali anche piccole variazioni delle caratteristiche strutturali potrebbero compromettere i meccanismi di resistenza. Laddove sussistano questi due casi si passerà direttamente dal Livello 1 al Livello 4, senza la valutazione dei livelli intermedi.

### 6.1.1.3 Livello 2

Il Livello 2 è il livello più importante e che presenta un'articolazione particolare. Tramite questo livello si giunge ad attribuire una *Classe di Attenzione (CdA)* che rappresenta in modo approssimato un livello di rischio per la struttura. La classe di attenzione serve per stabilire un ordine di priorità per approfondire indagini, controlli o verifiche e per programmare gli interventi manutentivi e strutturali necessari.

Le linee guida prevedono 5 possibili valori da attribuire alle classi di attenzione e possono essere Bassa, Medio-Bassa, Media, Media-Alta, Alta. Il valore della CdA è individuato tramite la valutazione semplificata del rischio. Considerando le peculiarità delle infrastrutture e il contesto in cui sono generalmente inseriti i ponti, i rischi individuati riportati nelle Linee Guida sono quattro:

- rischio strutturale e fondazionale;
- rischio sismico;
- rischio frane;
- rischio idraulico.

In una prima fase si analizzeranno i 4 rischi in maniera separata, ottenendo così per ogni rischio una Classe di Attenzione.

- classe di attenzione strutturale e fondazionale;
- classe di attenzione sismica;
- classe di attenzione frane;
- classe di attenzione idraulica.

Le quattro classi di attenzione alla fine vengono combinate tra di loro, in modo tale da ottenere una CdA complessiva del ponte, su cui basare le successive azioni previste dall'approccio multilivello.

La singola Classe di Attenzione (strutturale e fondazionale, sismica, frane, idraulica) si ottiene mediante le componenti classiche del rischio e cioè Pericolosità, Vulnerabilità ed Esposizione. Ogni componente del rischio è determinata a sua volta da differenti parametri, primari e secondari. La combinazione di tali parametri consente di pervenire ad un giudizio sul grado di pericolosità, di vulnerabilità e di esposizione che può variare in base a 5 classi che sono Bassa, Medio-Bassa, Media, Media-Alta, Alta. In Figura 6.2, è riportato il flusso logico che porta alla determinazione della classe di attenzione complessiva, partendo dalla valutazione dei parametri che caratterizzano la singola componente del rischio.

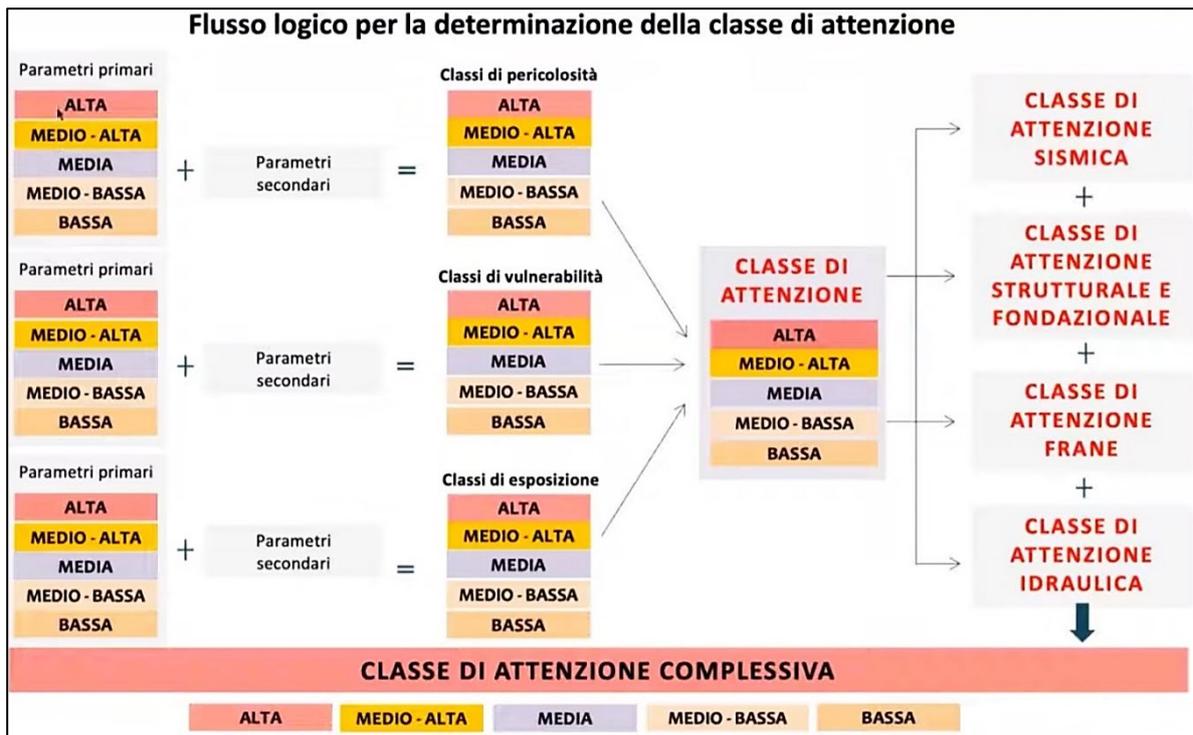


Figura 6.2 - Flusso logico per la determinazione della classe di attenzione complessiva dell'opera (Pellegrino, 2021)

In particolare, l'approccio utilizzato per determinare le singole le singole classi di attenzioni (strutturale e fondazionale, sismica, frane, idraulica) è un approccio per classi e operatori logici, cioè seguendo dei flussi logici si riesce a passare dai parametri primari e secondari, alla classificazione dei fattori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione ed infine alla determinazione della classe di attenzione associata la rischio.

Le linee guida forniscono già i parametri primari e secondari da dover considerare per determinare le componenti del rischio. Si sottolinea che i parametri da prendere in considerazione, variano sia in funzione della classe di attenzione e sia in funzione della componente del rischio. A titolo di esempio i parametri primari e secondari, per determinare la componente della pericolosità, della classe di attenzione strutturale e fondazionale, saranno differenti dai parametri presi in considerazione per determinare la componente della vulnerabilità della stessa classe di attenzione. Così come saranno differenti rispetto alle altre classi di attenzione (sismica, frane, idraulica). Nelle Tabella 6-1, Tabella 6-2, Tabella 6-3, Tabella 6-4, vengono riportati i parametri, individuati dalle linee guida per le diverse classi di attenzione, rispettivamente, strutturale e fondazionale, sismica, frane e idraulica.

Tabella 6-1 Parametri primari e secondari per determinare le componenti di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione della classe di attenzione strutturale e fondazionale

	Parametri primari	Parametri secondari
<b>Pericolosità</b>	Entità dei carichi presenti con particolare riferimento al transito di trasporto eccezionale	-
<b>Vulnerabilità</b>	Livello di difettosità Schema statico, luce, materiale e numero di campate	Rapidità di evoluzione del degrado Norma di progettazione
<b>Esposizione</b>	Livello di TGM e luce media della campata	Alternative stradali Tipologia di ente scavalcato Trasporto di merci pericolose

Tabella 6-2 - Parametri primari e secondari per determinare le componenti di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione della classe di attenzione sismica

	Parametri primari	Parametri secondari
<b>Pericolosità</b>	Accelerazione di picco al suolo e categoria topografica	Categoria di sottosuolo
<b>Vulnerabilità</b>	Schema strutturale, luce e materiale Livello di difettosità	Criteri di progettazione
<b>Esposizione</b>	Livello di TGM e luce media della campata	Alternative stradali Tipologia di ente scavalcato Trasporto di merci pericolose Strategicità dell'opera

Tabella 6-3 - Parametri primari e secondari per determinare le componenti di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione della classe di attenzione frane

	Parametri primari	Parametri secondari
<b>Suscettibilità</b>	Instabilità di versante (Magnitudo, Velocità, Stato di attività)	Incertezza di modello Misure di mitigazione
<b>Vulnerabilità</b>	Tipologia/robustezza del ponte e tipologia di fondazioni	Estensione dell'interferenza
<b>Esposizione</b>	Livello di TGM e luce della campata	Alternative stradali Tipologia di ente scavalcato Strategicità dell'opera

Tabella 6-4 - Parametri primari e secondari per determinare le componenti di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione della classe di attenzione idraulica

	Parametri primari	Parametri secondari
<b>Pericolosità/Suscettibilità</b>	Probabilità di accadimento e consistenza evento	Incertezza di modello Misure di mitigazione
<b>Vulnerabilità</b>	Resilienza all'evento naturale	Tipologia, magnitudo e frequenza evento Tipologia ed efficienza opere di mitigazione
<b>Esposizione</b>	Danno potenziale	Tipologia di ente scavalcato Importanza strategica dell'opera Estensione del danno

Ricapitolando, mediante la combinazione di questi parametri (primari e secondari), si determina il valore della componente del rischio (pericolosità, vulnerabilità, esposizione) e successivamente, intersecando valori delle componenti, tramite delle matrici che sono presenti nelle linee guida, si giunge alla definizione della classe di attenzione del singolo rischio.

A questo punto combinando tutti e quattro le CdA si otterrà la Classe di Attenzione complessiva dell'opera. La CdA complessiva è classificata in analogia a quanto visto nelle singole classi di attenzione in Bassa, Medio-Bassa, Media, Media-Alta, Alta. Sulla base di tale valore si stabiliscono successivamente le azioni da intraprendere per i successivi livelli, come viene riportato nello schema in Figura 6.1. Infatti, se da quest'analisi si ottiene una Classe di Attenzione complessiva Bassa o Medio-Bassa, si potranno eseguire delle ispezioni periodiche che consentiranno di monitorare l'opera e aggiornarne il suo stato di conservazione. Infatti, passati un paio di anni l'opera potrebbe essere soggetta a fenomeni di degrado e quindi la classe di attenzione potrebbe cambiare. Se invece si ottiene una Classe di Attenzione Media o Medio-Alta bisognerà proseguire con la valutazione del Livello 3. Mentre se la classe di attenzione risulterà Alta si passerà direttamente al Livello 4.

#### *6.1.1.4 Livello 3*

Le procedure del livello 3 devono essere attuate su tutte le opere che hanno ottenuto una classe di attenzione Media o Medio-Alta. Attraverso le procedure esposte nelle linee guida, in questo livello si arriverà ad ottenere una valutazione preliminare sullo stato di sicurezza dell'opera. L'analisi sviluppata nel livello 3 consente di stimare, seppur in maniera approssimata, le risorse minime garantite dalle diverse normative al variare dei modelli di traffico rispetto alle normative vigenti. In particolare, si andrà a calcolare un rapporto di sicurezza tra la domanda indotta dai carichi di traffico sugli elementi strutturali del ponte previsti delle norme all'epoca della costruzione rapportata con i modelli di traffico delle norme tecniche attuali.

Per aiutare il tecnico nella valutazione, le linee guida forniscono alcuni modelli di traffico che riportano gli schemi di carico considerati nelle diverse normative che si sono susseguite negli anni. Da questi schemi si calcola la combinazione dei carichi che massimizza il momento flettente. Analogo procedimento è applicato per calcolare le massime sollecitazioni flettenti indotte degli schemi di carico da traffico previste delle attuali Norme Tecniche. Il rapporto tra i due momenti flettenti fornisce una prima valutazione sullo stato di sicurezza del ponte. Se il risultato di tale rapporto è maggiore o

uguale ad 1 il ponte è preliminarmente adeguato. Se invece è inferiore ad 1, bisognerà approfondire ulteriormente le condizioni di sicurezza della struttura attraverso il livello 4

#### 6.1.1.5 Livello 4

Nel Livello 4 si esegue una valutazione accurata della sicurezza in accordo sempre con le NTC 2018. Quindi le linee guida non entrano in contrasto con le norme tecniche di costruzione, ma forniscono soltanto delle indicazioni per una corretta esecuzione delle verifiche nel rispetto delle attuali normative, con particolare riferimento al capitolo 8 delle NTC 2018.

Come già visto il livello di indagine 4 si può attivare prima della conclusione del livello 3. Ad esempio, con particolari classi di difettosità del Livello 1 o se la classe di attenzione del Livello 2 risulta essere Alta.

La valutazione accurata di sicurezza prende in considerazione tre aspetti fondamentali:

- l'influenza dello stato di degrado;
- la *vita utile di riferimento* da assumersi nel calcolo delle azioni;
- la valutazione dei carichi.

Per valutare il degrado a questo punto dell'ispezione non basteranno più delle indagini visive, ma si dovrà procedere con indagini accurate mediante prove in sito e in laboratorio. Il concetto della '*vita utile di riferimento*', invece, è stato introdotto dalle linee guida ed è definita come l'arco temporale cui è convenzionalmente riferita la verifica e durante il quale si assicura comunque il livello di sicurezza minimo per la salvaguardia della vita umana. All'interno dell'intervallo del tempo di riferimento bisogna eseguire gli interventi strutturali per garantire la sicurezza. Al termine di questo arco temporale, bisognerà ripetere le analisi.

Nel caso in cui non siano soddisfatte le verifiche relative ai carichi permanenti e alle azioni di servizio, bisognerà adottare provvedimenti restrittivi dell'uso della costruzione (es. ridurre il transito di veicoli) e adottare interventi di miglioramento o adeguamento.

#### 6.1.1.6 Livello 5

Il Livello 5 non è trattato specificatamente nelle linee guida poiché si applica solo ad alcuni tipi di ponti di significativa importanza. Vista l'importanza strategica di queste opere, bisognerà svolgere analisi più sofisticate che tengano conto di tutta la rete stradale e della resilienza del sistema stradale circostante.

## 6.1.2 SORVEGLIANZA E MONITORAGGIO

Dopo aver trattato tutti i livelli di analisi le linee guida dedicano l'ultima parte alla sorveglianza e al monitoraggio dell'opera. Viene introdotto in questa parte il Bridge Management System (BMS), cioè uno software di supporto alla gestione dei manufatti, che può essere utilizzato su tutte le opere e consente di eseguire un censimento delle infrastrutture e archiviare dati e informazioni che provengono dalle ispezioni e da altre forme di monitoraggio. Infatti, per attuare un efficace sistema di gestione delle infrastrutture, finalizzato in particolare al mantenimento delle migliori condizioni di efficienza e di sicurezza dell'infrastruttura, l'ente gestore deve dotarsi di opportuni software che siano di supporto ai tecnici nello svolgere tale compito.

Sinteticamente i vantaggi di tale sistema consistono nel:

- costruire un inventario delle opere in gestione;
- programmare e gestire le attività di ispezione;
- prevedere futuri scenari di ammaloramento tramite l'utilizzo di modelli di deterioramento;
- pianificare gli interventi di manutenzione con un ordine di priorità stabilito in maniera razionale.

Di fondamentale importanza sono le funzionalità di comunicazioni e interscambio, che il BMS dovrebbe avere con altri software del medesimo tipo. Infatti, altre funzionalità accessorie che si potrebbero ampliare sono per esempio l'inserimento, all'interno di tale sistema, di modelli di stima dei costi di manutenzione, che permettono di individuare, anche molto approssimativamente, il costo al metro quadrato di manutenzione con un indice che individui le condizioni della struttura. Altri modelli da implementare possono essere i modelli di previsione del deterioramento, che consentono di determinare lo stato di conservazione dell'opera nei successivi anni. Tramite questi modelli gli Enti potranno decidere se eseguire immediatamente degli interventi di manutenzione per poter riportare ad uno stato di affidabilità accettabile l'opera oppure se rinviare nel tempo tali interventi di manutenzione poiché si valuta che sussistono le condizioni che garantiscono uno stato di sicurezza alto anche senza il ripristino immediato dell'opera. Nell'ipotesi in cui si decida di rinviare la manutenzione tali modelli dovranno consentire di stimare anche i costi del ripristino che andranno eseguiti più in là nel tempo. L'ultimo modello da implementare sarebbe quello che consenta di definire un piano di interventi sulla base di un ordine di priorità.

Il BMS dovrebbe consentire anche di gestire tutta la parte di sorveglianza e monitoraggio delle opere. Le linee guida, a tal proposito, danno la definizione di ispezioni periodiche ordinarie e straordinarie. Le prime si riferiscono a semplici controlli visivi, devono fornire uno stato difettologico dell'opera e possono attivare eventualmente ispezioni straordinarie. Mentre le ispezioni straordinarie si riferiscono ad indagini strumentali non distruttive o semidistruttive e possono essere accompagnate anche da prove di carico statiche e da rilievi dinamici. Tali indagini vanno eseguite con una certa cadenza temporale e quindi è importante che il BMS riesca a gestire i dati derivanti da tali ispezioni per programmare immediatamente le successive.

Infine, il BMS dovrebbe essere in grado di gestire anche un monitoraggio in continuo. Tale tipo di monitoraggio attualmente è applicato soltanto a determinati tipi di ponte, e prevede l'installazione di una rete di sensori che registrano in continui dati relativi ad abbassamenti, rotazioni, temperatura, umidità ecc. La funzione del BMS dovrebbe essere quella di acquisire, trasmettere ed elaborare tutti questi dati, che attraverso l'individuazione di opportuni indicatori ingegneristici diano all'Ente un allarme nel caso in cui lo stato dell'opera necessiti di particolari interventi immediati.

## **6.2 Gestione delle opere paramassi**

Le opere di protezione contro la caduta massi, come tutte le opere ingegneristiche non possono prescindere da un corretto piano di manutenzione per mantenere nel tempo la loro efficacia ed efficienza. Infatti, come visto nei precedenti capitoli, l'efficacia di un'opera può diminuire nel tempo fino ad annullarsi se non si eseguono periodiche attività di manutenzione. Il compito principale degli Enti gestori è quindi quello di elaborare e successivamente eseguire un corretto piano che consenta di gestire in maniera opportuna l'opera. Questo obiettivo però spesso entra in contrasto con la disponibilità economica dell'Ente nel far attuare tali piani. Per questo motivo è opportuno che chi gestisce infrastrutture o opere di protezione, si doti di idonei strumenti che consentano di ottimizzare al meglio le risorse economiche a disposizione garantendo comunque livelli di sicurezza elevati.

Seguendo le linee guida sulla gestione dei ponti descritte precedentemente, in questo paragrafo si vogliono individuare, oltre ai già citati strumenti di gestione descritti all'interno del Capitolo 5, altri mezzi che possono aiutare ulteriormente l'Ente

nell'eseguire le attività di gestione e manutenzione delle opere di difesa contro la caduta massi in maniera più vantaggiosa in termini economici e di tempo.

Si è deciso di mantenere, anche per le ispezioni delle strutture di protezione, l'approccio multilivello, poiché come visto, consente di eseguire un rapido censimento e delle ispezioni visive su tutto il patrimonio in gestione dell'Ente e andare ad approfondire le indagini esclusivamente sulle opere che lo richiedono, metodo quindi che cerca di ottimizzare al meglio le risorse a disposizione, andando ad individuare una priorità di intervento.

Le prime attività proposte dalle linee guida riguardano un censimento generale di tutte le opere di competenza (Livello 0), ed una successiva ispezione visiva (Livello 1) nella quale si inizia a prendere visione della geometria e della tipologia di infrastruttura, con una preliminare valutazione delle criticità riscontrate attribuendo un grado di difettosità.

Questi primi due livelli di indagine possono essere paragonati a quanto già fatto nel caso studio, illustrato nel Capitolo 5, per le opere di protezione contro la caduta massi. Infatti, si è eseguito dapprima un censimento preliminare delle opere per poter programmare adeguatamente le successive ispezioni visive e poi si è proseguito effettuando le indagini in sito compilando le apposite schede di rilievo. Le schede utilizzate, per censire le opere paramassi, sono state compilate con alcune informazioni simili a quelle che le linee guida richiedono per ispezionare visivamente i ponti. Ad esempio, si è presa visione delle geometrie che caratterizzano l'opera, quindi estensione e lunghezza delle singole campate per quanto riguarda le barriere paramassi oppure la disposizione e il numero di chiodi per quanto riguarda le reti rinforzate. Si è cercato di risalire, attraverso i documenti di progetto, anche ad informazioni riguardo le resistenze o le capacità energetiche. E successivamente tramite una check list che individuava per le componenti principali le principali criticità, si è riusciti ad individuare un valore che esprimesse l'estensione del danno e il grado di conservazione. Tali valori calcolati per i sistemi di protezione sono paragonabili a quello che le linee guida chiamano '*livello di difettosità*' del ponte. Anche esso, infatti, è il risultato di una valutazione visiva delle criticità che interessano le componenti principali che costituiscono il ponte (spalle, pile, giunti ecc.) e anche ad esse è attribuito un peso, che può variare da 1 a 5 in base all'importanza della criticità rilevata, con l'unica differenza che nell'algoritmo usato, per la valutazione dello stato di conservazione delle opere di protezione, si è deciso di utilizzare dei pesi variabili da 1 a 3.

Come si è potuto osservare i primi due livelli non differiscono molto da quanto già effettuato nel caso studio. Quindi la proposta di gestione delle opere di protezione potrebbe considerare, per quanto attiene i primi due livelli, proprio l'utilizzo dello schema impiegato per il caso studio. Si potrebbero successivamente, ampliare ed approfondire le indagini sulle opere di protezione contro la caduta massi, proseguendo con ulteriori livelli di dettaglio.

Ad esempio, nel Livello 2, dove le linee guida individuano una Classe di Attenzione del ponte andando ad analizzare i diversi rischi (strutturale e fondazionale, sismico, frane e idraulico), anche per le opere di protezione si potrebbero prendere in considerazione i rischi collegati all'opera e agli elementi che essa protegge. La *Classe di Attenzione (CdA)*, come definita dalle linee guida, infatti, rappresenta in modo approssimato un livello di rischio per la struttura. Però le peculiarità delle opere di protezione contro la caduta massi e il contesto in cui sono generalmente collocate, differiscono in maniera sostanziale rispetto a quelle dei ponti. Per tale motivo c'è la necessità di considerare dei rischi associati a pericoli diversi dai quattro citati nelle linee guida. Ad esempio, il pericolo frana considerato per i ponti, è un rischio intrinseco all'opera di protezione, nel senso che tali strutture nascono proprio a valle di una valutazione del pericolo di caduta massi e proprio con lo scopo di mitigare questo rischio. Quindi il pericolo è stato già riscontrato nel versante in cui sono collocate. È più conveniente studiare allora un tipo di rischio che combini la resistenza della struttura in funzione del suo stato di conservazione e manutenzione. Anche qui, come nel caso delle linee guida dei ponti, l'approccio impiegato è un approccio per classi ed operatori logici. Cioè attraverso la valutazione di parametri si giunge a definire le componenti del rischio e successivamente dalla loro combinazione si determina la Classe di Attenzione.

#### 6.2.1 CLASSI DI ATTENZIONE PER LE OPERE DI PROTEZIONE

Considerando il contesto in cui le opere di protezione contro la caduta massi sono installate e le diverse azioni che posso agire sulle strutture, si è individuata, in prima approssimazione, una sola tipologia di rischio e cioè il rischio geo-strutturale. Si ribadisce che la valutazione del rischio eseguita in questo livello è comunque una valutazione approssimata, eseguita con delle semplificazioni che permettono di ottenere una classe di attenzione.

Per il rischio individuato si determinerà infatti una classe di attenzione, che in questo caso corrisponderà anche a quella complessiva. I parametri, primari e secondari, che

permettono di definire la CdA variano in base alla componente del rischio. Ogni componente del rischio è classificata in 4 classi: Alta, Medio-Alta, Media, Bassa, a differenza delle linee guida che ne utilizzavano cinque. Dalla combinazione dei tre valori delle componenti del rischio si giunge alla definizione della classe di attenzione. Il flusso logico seguito è quello adottato nelle linee guida sulla gestione dei ponti riportato in Figura 6.2.

La definizione della classe di attenzione geo-strutturale considera i principali parametri che influenzano il comportamento strutturale dell'opera, in funzione anche delle caratteristiche dell'elemento a rischio protetto da quest'ultima. In condizioni di esercizio, oltre al peso proprio della struttura ad incidere maggiormente sui sistemi di protezione, sono i carichi accidentali relativi ai blocchi che impattano contro l'opera. Si intuisce che le condizioni di conservazione della struttura sono direttamente collegate alla frequenza, all'entità dei volumi mobilitati (magnitudo) e alla probabilità di avvenimento. I parametri, primari e secondari, individuati per le singole componenti del rischio, al fine di ottenere la classe di attenzione geo-strutturale sono riportati in Tabella 6-5. Per non discostarsi troppo da quanto enunciato nelle linee guida si è deciso di riferire i parametri che riguardano la vulnerabilità alle condizioni della struttura, mentre quelli che riguardano l'esposizione agli elementi a rischio che sono protetti dell'opera.

*Tabella 6-5 - Parametri per la stima della Classe di Attenzione associata al rischio geo-strutturale*

	<b>Parametri Primari</b>	<b>Parametri secondari</b>
<b>Pericolosità</b>	Frequenza di crolli; magnitudo; probabilità di occorrenza spaziale	Affidabilità della valutazione
<b>Vulnerabilità</b>	Grado di manutenzione richiesto (dal livello 1)	Certificazione del prodotto secondo le linee EAD o ETAG
<b>Esposizione</b>	Livello del traffico medio giornaliero (TGM) o classe d'uso dell'edificio	Strategicità dell'opera

La **pericolosità** è legata alla probabilità che si verifichi un crollo la cui entità potrebbe dilaniare l'intera opera. Ribadita la complessità di previsione di accadimento, si è valutata la definizione di tre parametri principali e uno secondario facilmente stimabili. Al fine di giungere ad una gerarchizzazione dei tre parametri principali della pericolosità, si è utilizzato un sistema a punti attribuendo valori numerici ai tre parametri. La sommatoria dei valori associati ai singoli parametri porterà alla determinazione di un solo valore sintetico che racchiude il grado di instabilità del versante che potrà essere

successivamente confrontato con il parametro secondario. I punteggi attribuiti ai singoli parametri sono stati scelti sulla scorta di quanto enunciato nelle linee guida sui ponti.

A parità di condizione un'opera paramassi in cui si verificano frequentemente crolli con volumetrie notevoli è più a rischio di un'opera che possiede le stesse caratteristiche strutturali ma è collocata in un versante che presenta frequenze di crollo ridotte e di entità minori. Perciò per pervenire al grado di pericolosità è utile considerare sia le caratteristiche strutturali dell'opera che consentono di intercettare volumi maggiori, quindi la capacità energetica di assorbimento per le barriere paramassi e il massimo volume accumulabile al piede per le reti in aderenza, sia la frequenza di crollo rilevata per il versante in cui è collocata l'opera.

La *frequenza di crollo* è stata classificata in Elevata, Alta, Bassa, Rara come riportato in Tabella 6-6, considerando il numero medio di crolli che i possono verificare in un anno. Per semplicità, si ipotizza che il volume massimo del singolo blocco che potrebbe interagire con l'opera sia sempre minore della capacità di assorbimento energetico. I valori riportati fanno riferimento alle linee guida Austriache ONR 24810 per la progettazione dei sistemi di protezione. Ad ogni classe è stato assegnato un punteggio  $P_c$  che può variare da 1 a 4 in base alla frequenza di crollo

Tabella 6-6 – Frequenza di crollo (ONR 24810 Guidelines)

Frequenza di crollo				
	Elevata	Alta	Bassa	Rara
	$n \geq 10$	$1 < n < 10$	$0,03 \leq n < 1$	$n < 0,03$
	( $\geq 10$ eventi all'anno)	(da 1 a 10 eventi all'anno)	(da 1 evento l'anno a 1 ogni 30 anni)	(< di 1 evento ogni 30 anni)
$P_c$	4	3	2	1

Per stimare la *magnitudo*, intesa come volume mobilizzabile, si è ritenuto opportuno riferire tale parametro alla capacità di assorbimento energetico per le barriere e al massimo volume accumulabile al piede per le reti in aderenza. Si ritiene che in fase di progettazione sia stato calcolato già il volume del blocco di progetto che potrebbe interagire con la struttura e in funzione di questo si sia scelta la tipologia di opera più idonea a contenerlo. Quindi nell'ottica di ottimizzare le risorse e i tempi, si ritiene di non commettere un grosso errore effettuando questa semplificazione, considerando anche che tale parametro è di facile reperibilità, in quanto basta risalire ai dati tecnici dell'opera, reperiti già nel livello 0, e poi perché contiene indirettamente le informazioni relative ai volumi che si potrebbero staccare. Laddove ci fossero le risorse economiche, si precisa che tale approssimazione potrebbe essere sostituita da una valutazione più accurata della magnitudo riferita per esempio ad un preciso tempo di ritorno che potrebbe essere di 50 anni o riferita ad un tempo di ritorno pari alla vita utile dell'opera.

In Tabella 6-7 si sono divise le barriere paramassi in 4 classi in base alla capacità di assorbimento energetico. Mentre in Tabella 6-8 si sono divise le reti in aderenza in 3 classi in base alla disposizione della maglia dei chiodi. Le reti rinforzate che presentano una maglia di chiodi  $\geq 4$  m sono equiparate alle reti semplici (a cortina). Anche in questo caso come per le barriere si è considerata come ipotesi iniziale un'esatta progettazione dell'opera e quindi una valutazione corretta sulla disposizione dei chiodi, considerando una magnitudo maggiore per le reti che presentano una maglia di chiodi più fitta.

Tabella 6-7 - Classificazione delle barriere paramassi in funzione alla capacità di assorbimento energetico

<b>Classe A</b>	Capacità di assorbimento energetico > 5000 kJ
<b>Classe B</b>	Capacità di assorbimento energetico > 3000 kJ e < 5000 kJ
<b>Classe C</b>	Capacità di assorbimento energetico > 1000 kJ e < 3000 kJ
<b>Classe D</b>	Capacità di assorbimento energetico < 1000 kJ

Tabella 6-8 - Classificazione delle reti in aderenza in funzione della disposizione della maglia dei chiodi

<b>Classe A</b>	maglia chiodi $\geq 2$ e < 3 m
<b>Classe B</b>	maglia chiodi $\geq 3$ e < 4 m
<b>Classe C</b>	rete semplice o maglia $\geq 4$ m

Ad ogni classe è stato assegnato poi un punteggio  $P_M$  (Tabella 6-9) considerando che le opere di classe A potrebbero essere interessate da blocchi con volumetrie maggiori e quindi nel caso di un loro malfunzionamento causerebbero dei danni maggiori per l'elemento a rischio, rispetto a opere progettate per assorbire energie minori (di classe D).

Tabella 6-9 – Valori della Magnitudo in funzione della classe dell'opera

	<b>Magnitudo</b>			
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
$P_m$	12	9	6	3

Per stabilire la *probabilità di occorrenza spaziale* in maniera oggettiva è opportuno quantificare in termini di probabilità le informazioni sull'incidenza dei fenomeni attraverso precise analisi di propagazione. In alternativa può essere stimata in maniera soggettiva in base alle informazioni di carattere generale sul quadro della franosità in una determinata zona, attraverso per esempio delle analisi storiche. Calcolata la probabilità in termini assoluti (valori di probabilità annuale) oppure secondo scale nominali (es. molto probabile, poco probabile, ecc.) si attribuisce un punteggio  $P_O$  come riportato in Tabella 6-10. Per l'assegnazione di tali punti si è deciso di seguire il lavoro proposto da Fell (1994).

Tabella 6-10 – Valori della Probabilità di occorrenza

	<b>Probabilità di occorrenza spaziale</b>					
	Estremamente elevata	Molto elevata	Elevata	Media	Bassa	Molto bassa
Probabilità	1	0,2	0,05	0,01	0	0,0001
$P_o$	12	8	5	3	2	1

A questo punto per pervenire ad un indice sintetico confrontabile poi con i parametri secondari si esegue la sommatoria dei tre punteggi  $P_C + P_M + P_O$ , il cui valore finale

determinerà la classe di instabilità di versante (Tabella 6-11), con la quale si entrerà nel flusso logico per determinare la componente di pericolosità (Figura 6.3).

Tabella 6-11 - Determinazione dell'instabilità di versante in funzione della sommatoria dei parametri principali

$P_C + P_M + P_O$	Instabilità di versante
28-21	ALTA
20-14	MEDIO-ALTA
13-10	MEDIA
9-5	BASSA

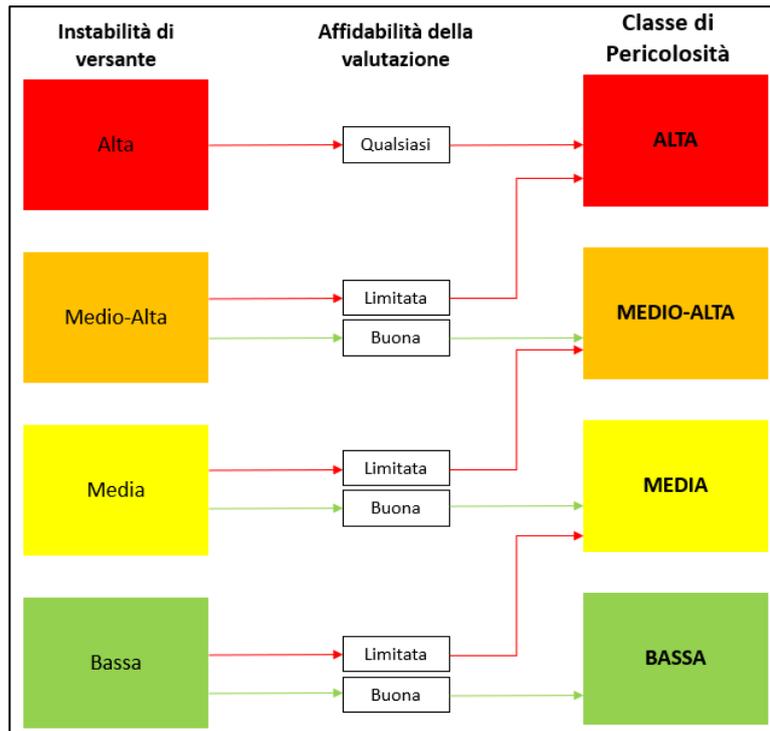


Figura 6.3 – Flusso logico per determinare la classe di pericolosità

La conoscenza del fenomeno franoso può essere di diverso livello in base alle informazioni che si riescono a reperire sugli eventi storici e sul modello di analisi eseguite. Tali conoscenze, come visto, sono talvolta difficilmente indagabili. Per questo motivo è stato introdotto un parametro secondario che tenga conto dell'affidabilità della valutazione eseguita, e che permette di aumentare la classe di attenzione, determinata dai parametri principali, laddove l'affidabilità sia limitata.

La **Vulnerabilità** solitamente esprime il grado di perdita di un dato elemento o insieme di elementi esposti al verificarsi di una frana. In questo caso la vulnerabilità è intesa come il grado di protezione che l'opera riesce a garantire per mitigare il rischio da caduta massi. Per tale motivo e per mantenere una continuità con le linee guida sui ponti, pur considerando un potenziale elemento a rischio (infrastruttura viaria o edificio) si è deciso di riferire la vulnerabilità alle condizioni in cui riversa l'opera, in particolar modo allo stato

di conservazione di quest'ultima, in quanto, un'opera la cui funzionalità è alta sarà sicuramente in grado di mitigare efficacemente il rischio, al contrario un'opera che presenta criticità elevate non sarà più in grado di mitigare il rischio e quindi la sua vulnerabilità sarà elevata.

Sono stati individuati a tal proposito due parametri per determinare il grado di vulnerabilità. Il primo è il grado di manutenzione che necessita la struttura (Urgente, Medio-Alta, Moderata, Bassa/Nulla). Tale valore è legato all'attuale stato di conservazione della struttura ed è valutabile dalle indagini eseguite nel livello 1, che restituiscono un valore sull'estensione del danno P e del grado di conservazione A. Il secondo parametro è un parametro secondario e riguarda la certificazione del prodotto secondo le recenti normative EAD o ETAG. Tale parametro può essere usato come elemento di discriminazione tra due opere con lo stesso grado di manutenzione, consentendo di definire un ordine di priorità interno e prevedendo una classe più alta per quelle opere che non risultano certificate. In Figura 6.4, si riporta il flusso logico per determinare la classe di vulnerabilità a partire da grado di manutenzione ricavabile dal livello 1 e successivamente valutando la certificazione del prodotto.

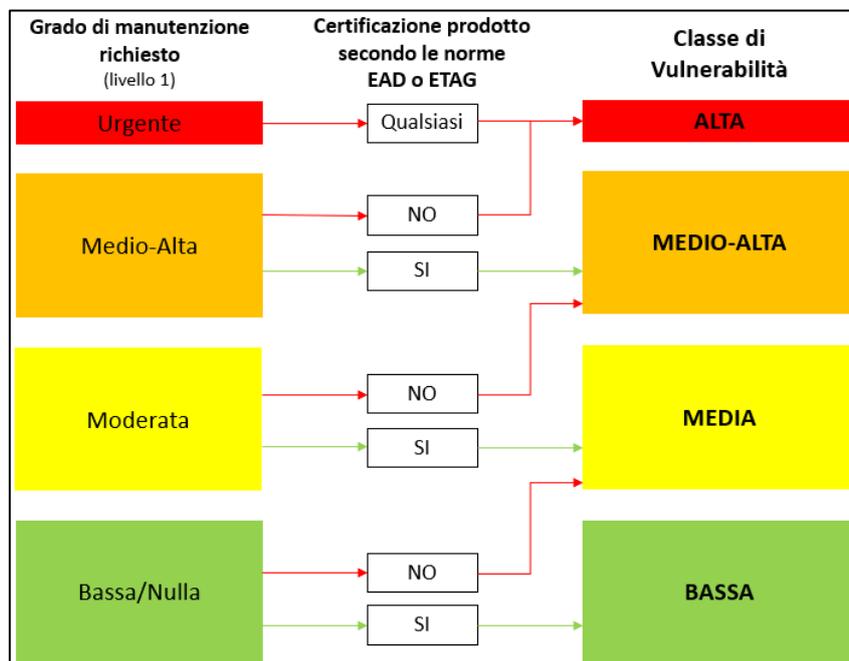


Figura 6.4 - Flusso logico per determinare la classe di vulnerabilità

L'**Esposizione** è legata alla probabilità che un elemento (popolazione, strutture, ecc.) sia esposto a un determinato pericolo, cioè si trovi in una determinata area in un dato momento (mobilità dell'elemento). Essendo le opere di protezione strutture non fruibili direttamente dalla popolazione l'esposizione dovrebbe essere pari a 0. Considerata quindi

la specificità di queste opere si è deciso di prendere in considerazione un'esposizione indiretta, considerando quindi gli utenti che usufruiscono del bene protetto dall'opera, che potrebbe essere una strada o un centro abitato. Nel caso di una strada il parametro principale considerato è il traffico medio giornaliero (TGM) ossia il numero medio di veicoli che transita in un giorno lungo la porzione di strada protetta dall'opera, mentre nel caso di centri abitati il parametro principale considerato è la classe d'uso dell'edificio, riferendosi in particolare al numero di persone che soggiornano mediamente nell'edificio protetto.

Anche in questo caso si potrebbero definire dei valori per il TGM e per la classe d'uso dell'edificio (riferita al numero di abitanti), tali da permettere una prima categorizzazione in Alta, Medio-Alta, Media e Bassa dell'esposizione. Ad ogni classe è attribuibile un intervallo di valori in base ai veicoli/giorno che transitano sulla strada protetta oppure alle persone/giorno che usufruiscono dell'edificio protetto. Vista la complessità dell'analisi, in questo lavoro ci si è fermati solo ad individuare alcuni parametri utili, e quindi la determinazione dei valori soglia tra una classe e l'altra è rimandata a studi più approfonditi.

La classe individuata secondo i valori soglia di TGM o numero di abitanti, sarà successivamente corretta attraverso il parametro secondario che considera la strategicità dell'opera. Tale informazione sono solitamente indicate dalla protezione civile o dell'ente gestore stesso. In particolare, per la rete viaria un'opera (in questo caso il tratto di strada protetto) si considera strategica se è di fondamentale importanza per le attività di protezione civile, in quanto è necessario garantire l'efficienza in caso di emergenza. Un tratto di strada può essere considerato strategico anche quando la strada rappresenta per alcune borgate o comunità montane l'unico collegamento a beni e servizi, in quanto eventuali crolli non intercettati dalle opere di protezione potrebbero interferire con la viabilità sottostante e arrecare danni andando ad isolare intere comunità. Similmente per le abitazioni la strategicità dell'opera viene valutata la funzione economico/sociale dell'edificio protetto dall'opera, in particolare, edifici strategici (ospedali, caserme dei vigili del fuoco, strutture di protezione civile, ecc..) avranno un'esposizione maggiore rispetto a edifici destinati al solo scopo abitativo, in quanto un danno arrecato a tali strutture comprometterebbe anche la gestione di eventuali soccorsi. In Figura 6.5 è riportato il flusso logico per determinare la classe di esposizione a partire dei livelli del traffico medio giornaliero (TGM) o della classe d'uso dell'edificio.

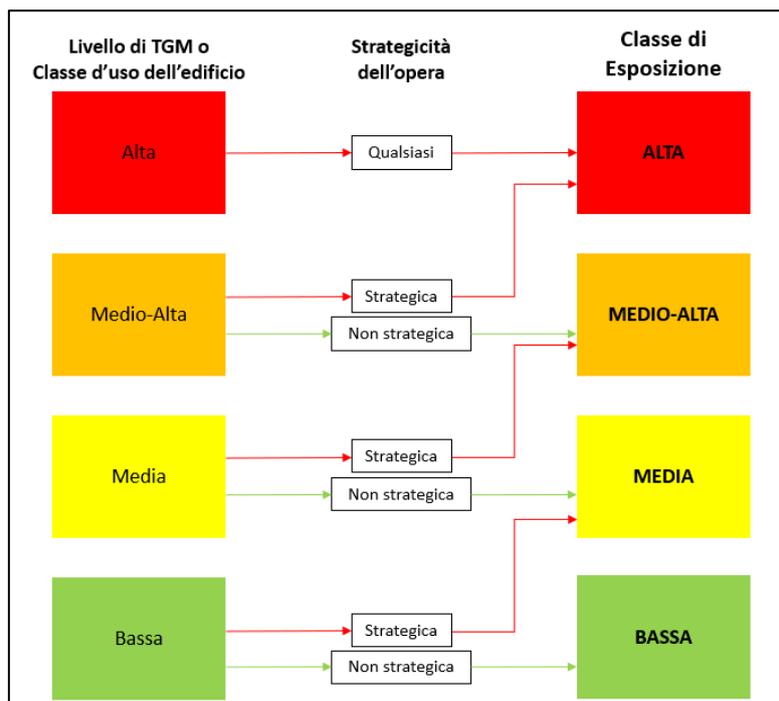


Figura 6.5 – Flusso logico per determinare la classe di esposizione

Determinati i valori delle classi di Pericolosità, Vulnerabilità ed Esposizione, si procede poi con la determinazione della classe di attenzione geo-struttura dell'opera, come indicato dal flusso logico riportato in Figura 6.6.

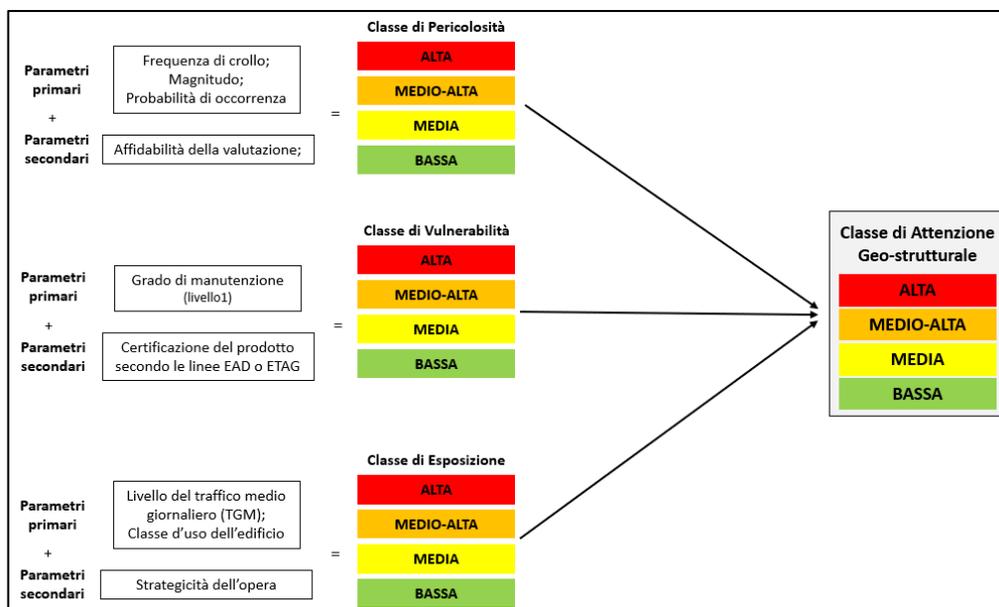


Figura 6.6 – Flusso logico per determinare la classe di attenzione geo-strutturale

La struttura delle matrici che consentono di intersecare i tre valori di pericolosità, vulnerabilità ed esposizione è rimandata a studi più approfonditi che prendano in considerazione anche l'importanza delle singole componenti. A titolo di esempio, alla classe di Vulnerabilità, dovrà essere assegnata una maggiore importanza, rispetto alle altre

due, in quanto tale componente è strettamente legata allo stato di conservazione e una struttura in condizioni critiche avrà sempre una classe di attenzione alta e quindi una priorità elevata, indipendentemente dalla classe di pericolosità ed esposizione.

#### 6.2.2 LIVELLI SUCCESSIVI E ALTRE IMPLEMENTAZIONI

Se dall'analisi esposta precedentemente, si ottiene una Classe di Attenzione Bassa o Media, si potranno continuare ad eseguire delle ispezioni periodiche che consentiranno di monitorare l'opera e aggiornarne il suo stato di conservazione. Infatti, passati un paio di anni l'opera potrebbe essere soggetta a fenomeni di degrado e quindi la classe di attenzione potrebbe cambiare. Se invece si ottiene una Classe di Attenzione Medio-Alta o Alta bisognerà approfondire il suo stato con ulteriori ispezioni e verifiche.

Di seguito si suggeriscono alcune idee che potrebbero essere attuate nei livelli successivi di indagine per approfondire lo stato dell'opera dove richiesto, che però non sono stati trattati specificatamente in questo lavoro.

Lo stato strutturale e fondazionale potrebbe essere indagato più approfonditamente andando ad effettuare delle prove per verificare la resistenza residua degli ancoraggi dei controventi oppure per i montanti delle barriere paramassi eseguire delle prove sul calcestruzzo e sulle barre in acciaio usate come tirafondi per prevenire eventuali fenomeni di cedimento delle fondazioni, in accordo con le NTC 2018 al Capitolo 8 – Opere esistenti. Per quanto riguarda il rischio idraulico, si potrebbe analizzare il versante per capire se esistono delle venute d'acqua che possono interagire con l'opera e quindi accelerare il fenomeno della corrosione degli elementi metalli. Valutare poi l'entità di tale fenomeno e progettare adeguati sistemi di drenaggio. Sempre riguardo al fenomeno della corrosione si potrebbero eseguire delle indagini non più solo visive, ma con prove specifiche, esaminare dei campioni di funi o spezzoni di rete per valutare la resistenza a trazione residua della fune e capire quindi come l'ambiente in cui è installata l'opera abbiamo inciso sul grado di corrosione o se l'opera ha subito degli impatti come questi abbiano alterato le caratteristiche prestazionali.

Le linee guida per gestire la manutenzione dei ponti, dopo la descrizione dei diversi livelli di indagine, suggeriscono di creare uno strumento (BMS) che consenta di raccogliere tutte le informazioni acquisite riguardo l'opera e di programmare anche le future indagini.

Già nel caso studio si è cercato di proporre un sistema di mappatura informatizzata che consentisse di georiferire l'opera sul territorio ed in più dare informazioni riguardo al suo

stato di conservazione e livello di manutenzione. Si potrebbe pensare di partire da quanto fatto durante il caso studio in ambiente GIS ed ampliare tale architettura aggiungendo altre informazioni derivanti per esempio dalle indagini eseguite in laboratorio e in sito.

All'interno del documento EAD si definisce una vita utile per tali opere pari a 25 anni. Questo valore però fa riferimento a condizioni di installazione, uso e manutenzione adeguate. In condizioni particolari, per esempio ripetuti impatti o condizioni ambientali particolarmente aggressivi, tale vita utile può ridursi a 10 anni. Sarebbe opportuno nell'ottica di gestire più efficacemente queste strutture, implementare dei modelli di calcolo che, attraverso opportuni parametri (per esempio la categoria dell'ambiente corrosivo) riescano a determinare il tempo di deterioramento dell'opera. Tali modelli potrebbero essere inseriti in un unico software in maniera tale che l'ente gestore sia avvisato tramite appositi allarmi allo scadere del periodo di manutenzione o del periodo di vita utile.

Inoltre, laddove si rendesse necessario si potrebbe far dialogare lo strumento di gestione delle opere con sistemi di monitoraggio. Ad esempio, se le condizioni dell'opera risultassero particolarmente critiche, si potrebbe pensare di collocare degli estensimetri sulle funi o sulla rete delle barriere paramassi in modo tale che arrivati a prefissati valori di estensione, a causa di impatti con vari blocchi, questi sensori possano inviare appositi allarmi al sistema ed avvisare il gestore dell'opera. In tal modo si riuscirebbe a prevedere con congruo anticipo lo stato di deformazione ultimo dell'opera, superato il quale, non è più in grado di garantire l'arresto di ulteriori blocchi. Avendo a disposizione tale informazione, l'Ente gestore può decidere se sia opportuno o meno chiudere un tratto di strada (se l'opera è stata installata a protezione della viabilità) oppure evacuare le abitazioni (se l'opera è stata installata a protezione di edifici) al fine di ridurre la componente del rischio legata all'esposizione, in quanto l'opera non è più in grado di garantire dei livelli di sicurezza.

Un sistema informatizzato che consenta di convogliare tutte le informazioni riguardo l'opera derivanti sia da ispezioni visive, sia da prove in laboratorio o in sito e sia da un monitoraggio in continuo tramite appositi sensori, potrà garantire una gestione dell'opera più efficace indirizzando le risorse all'esecuzione di interventi più urgenti.

# CONCLUSIONI

---

Il pericolo di instabilità dei versanti ed in particolare il pericolo di caduta massi è un problema molto diffuso all'interno del territorio nazionale. I principali interventi per mitigare il rischio consistono nell'installazione, lungo i versanti esposti a tale rischio, di barriere paramassi e reti in aderenza. Come tutte le opere ingegneristiche però anch'esse tendono con il passare del tempo a degradarsi e perdere la loro efficacia iniziale se non opportunamente mantenute.

Con il presente lavoro si è cercato di individuare ed approfondire il tema riguardante la gestione e la manutenzione delle opere di protezione contro la caduta massi, in particolare barriere paramassi e reti in aderenza. Si sono dapprima studiati i singoli elementi che costituiscono le opere, per poi individuare i fattori che maggiormente influiscono sull'ammaloramento al fine di proporre una strategia di ispezioni e controlli mirata all'individuazione delle criticità e delle necessità di intervento. A tale scopo si è utilizzato il criterio sviluppato dal Politecnico di Torino per la valutazione dello stato di conservazione delle opere applicandolo ad uno specifico caso studio che ha riguardato la valutazione delle opere installate a protezione della viabilità di competenza della Città Metropolitana di Torino. Infatti, il presente lavoro di tesi nasce in collaborazione con la Città Metropolitana di Torino, per valutare lo stato di conservazione delle opere di protezione contro la caduta massi (in particolare barriere paramassi e reti in aderenza) installate a protezione della viabilità di loro competenza, e successivamente individuare degli elementi che consentano di stilare una scala di priorità volta ad eseguire gli interventi manutentivi richiesti. Il lavoro ha visto la collaborazione tra il personale dell'ufficio '*Direzione Coordinamento Viabilità – Viabilità 1*' della Città Metropolitana di Torino e il Politecnico di Torino, nella figura dello scrivente.

Dopo un'accurata analisi bibliografica che ha visto lo studio dettagliato delle tecnologie, degli aspetti progettuali e degli aspetti normativi relativi alla certificazione, si è passati allo studio delle criticità che causano un rapido deterioramento degli elementi principali andando ad analizzare successivamente tali problematiche nel caso studio.

Per poter pervenire ad una valutazione dello stato di conservazione si è deciso di seguire una procedura ben strutturata e suddivisa in diversi passaggi. Il primo step è stato quello di realizzare un censimento preliminare delle opere, per poter programmare, in maniera speditiva le date dei sopralluoghi da effettuare. Con i dati raccolti si sono potuti programmare le campagne di rilievo ed ispezione. Tali campagne di rilievo hanno visto censite 61 opere di protezione contro la caduta massi così suddivise, 7 barriere paramassi a rete, 9 barriere semideformabili di tipo travi e funi, 26 reti a cortina e 19 reti rinforzate. Per valutare lo stato di ammaloramento delle opere si è utilizzato un algoritmo già testato e validato in diversi siti situati nelle Alpi italiane nord occidentali e centrali, sia per valutare le barriere paramassi e sia per valutare le reti in aderenza, nei lavori di Marchelli et al. L'attuale lavoro di tesi ha voluto applicare tale metodologia su opere collocate in siti differenti da quelli già esaminati dagli Autori, al fine di aumentare il campione statistico dei dati analizzati tramite questo algoritmo e consolidarne la sua validità. I risultati di output restituiti sono stati l'estensione del danno P e lo stato di conservazione A. Dalla loro intersezione si è potuto successivamente attribuire ad ogni opera un grado di manutenzione, variabile tra Alta, Medio-Alta, Moderata, Bassa/Nulla.

In quasi tutte le opere censite si è riscontrata una non adeguata o talvolta assente, manutenzione ordinaria. Infatti, in molte barriere paramassi e reti in aderenza si è riscontrato che la vegetazione anche arbustiva interferiva con l'opera. Queste interazioni nelle barriere paramassi comporta una riduzione della capacità deformativa e quindi una riduzione della capacità di assorbimento energetico, mentre nelle reti in aderenza comportano deformazioni che alterano l'aderenza al versante della rete. Anche la presenza di materiale detritico accumulato ai piedi delle opere ha determinato talvolta uno stato critico di conservazione. La presenza di materiale segnala l'assenza di manutenzione straordinaria, da eseguirsi cioè solo dopo un determinato evento franoso. Dai giudizi complessivi riguardanti tutte le opere si può affermare che, la maggior parte delle opere di competenza della Città Metropolitana di Torino necessitano di una manutenzione urgente. Tutto il patrimonio risulta essere abbastanza datato e mal conservato. Infatti, solo alcune opere di più recente installazione si presentano con un buono stato di conservazione. In alcuni casi, proprio per lo stato critico in cui riversano le opere si consiglierebbe una nuova progettazione, poiché nessun tipo di intervento manutentivo riuscirebbe a ripristinare lo stato di piena funzionalità dell'opera.

Quindi, nell'ottica di agevolare e pianificare efficacemente la manutenzione delle opere, con il presente lavoro si è voluto, successivamente aiutare l'Ente gestore a creare uno strumento che fosse in grado di classificare per ordine di priorità gli interventi di manutenzione da eseguire. Dopo aver attribuito a tutte le opere censite un grado di manutenzione che poteva variare tra Bassa/Nulla, Moderata, Medio-Alta e Alta, e sottoposto a revisione i giudizi attribuiti si è passati ad implementare i dati ricavati durante i sopralluoghi in ambiente GIS. In una prima fase si è creato il database popolandolo con le informazioni più rilevanti per le opere, sia attinenti alla collocazione spaziale e sia riguardanti lo stato di conservazione. Successivamente si è importato tale database nel software open source QGIS per georiferire le opere e poter interrogarlo, attraverso vari tools, in base alle diverse necessità. Si pensa che tramite questo strumento sarà più facile individuare le opere che necessitano prioritariamente di manutenzione e quindi impiegare i fondi e le risorse in maniera mirata. Inoltre, il catasto georiferito è stato elaborato in maniera tale che non fosse soltanto un elemento statico e quindi solo di consultazione, ma anche dinamico. In particolare, pensato in maniera tale che ogni campo del database dell'opera potesse essere aggiornabile ed ampliabile con nuove informazioni. Infatti, lo stato di conservazione dell'opera non è immutabile nel tempo e va per questo aggiornato di volta in volta dopo ogni ispezione o dopo l'esecuzione di interventi manutentivi mirati. Inoltre, lo strumento creato potrà tornare utile anche in fase di progettazione delle nuove opere, dove sarà possibile, aggiungendo nuovi record, gestire anche le future installazioni così da poter gestire con un unico strumento tutte le opere di protezione contro la caduta massi presenti sul territorio.

Nella parte conclusiva del lavoro, ispirandosi alle linee guida riguardanti la gestione e manutenzione dei ponti, si è deciso di ampliare quanto già fatto, proponendo ulteriori livelli di indagine. Il metodo di gestione proposto cerca di ottimizzare al meglio le risorse a disposizione, andando ad individuare una priorità di intervento per eseguire la manutenzione sulla scorta di indagini e verifiche eseguite precedentemente. Si è suggerito l'utilizzo di un approccio multilivello che consente di eseguire un rapido censimento e delle ispezioni visive su tutto il patrimonio in gestione dell'Ente e di andare ad approfondire le indagini esclusivamente sulle opere che lo richiedono. Quindi, nei diversi livelli, il dettaglio e l'onerosità delle indagini aumentano, ma il numero di infrastrutture su cui applicarle, così come l'incertezza dei risultati si riduce. Nel livello 0 si esegue un primo censimento di tutto il patrimonio delle opere in gestione all'Ente. Nel livello 1 si iniziano ad eseguire le prime indagini visive su tutte le opere censite del livello 0. Mentre nel livello

2 attraverso una procedura ben articolata si giunge ad attribuire una *Classe di Attenzione (CdA)* che rappresenta in modo approssimato un livello di rischio per la struttura e per gli elementi da essa protetti. Le classi di attenzione possono essere quattro Bassa, Media, Media-Alta, Alta e servono per stabilire un ordine di priorità per approfondire ulteriori indagini, controlli, verifiche o interventi manutentivi. La classe di attenzione fa riferimento ad una valutazione semplificata di rischi che caratterizzano le strutture di protezione contro la caduta massi e il contesto in cui sono generalmente inserite.

---

## **BIBLIOGRAFIA**

---

- Aleotti P., Polloni G., 2005. *Valutazione e mitigazione del rischio frane*. Hevelius.
- APAT, Agenzia per la Protezione dell’Ambiente e per i servizi Tecnici, 2007. Rapporto sulle frane in Italia. Il rapporto IFFI – metodologie, risultati e rapporti regionali.
- Arpa Piemonte, Cemagref, Grenoble, 2008. Progetto n. 165 PROVIALP, Protezione della viabilità alpina - Relazione finale.
- Bonati A. & Galimberti V, 2004. La valutazione sperimentale di sistemi di difesa attiva dalla caduta massi. Convegno *Bonifica di versanti rocciosi per la protezione del territorio*, Trento, GEAM, Torino, pp.177-189.
- Bonnard C., Forlati F., and Scavia C., 2004. *Identification and Mitigation of Large Landslide Risks in Europe: Advances in Risk Assessment*. CRC Press, London.
- Bozzolo D., Pamini R., 1986. Simulation of rockfall down a valley site. *Acta Mach*, Vol. 63, pp. 113-130.
- Brogini V., 2010. Analisi del rischio da frane di crollo in presenza di sistemi di protezione passiva nella provincia autonoma di Bolzano. Tesi di laurea magistrale in Ingegneria per l’Ambiente e il Territorio, Università di Bologna, Bologna.
- Budetta P., De Luca C., Nappi M., 2016. Quantitative Rockfall Risk Assessment for An Important Road by Means of the Rockfall Risk Management (RO. MA.) Method. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 75 (4): 1377–1397.
- Cancelli A., Crosta G. B., 1993. Hazard and risk assessment in rockfall prone areas. *Risk Reliability in Ground Engineering*, edited by Skipp B.O., Inst. Civ. Eng., Thomas Telford, 177–190.
- Cardinali S., 2016. Barriere paramassi e reti in aderenza: normativa di riferimento, approcci progettuali, esperienze. *Ufficio Tecnico: Officine Maccaferri Italia*.
- Cardinali S., 2016. Soluzioni per la mitigazione del rischio da caduta massi. *Ufficio Tecnico: Officine Maccaferri Italia*.

Castanon-Jano L., Blanco-Fernandez E., Castro-Fresno D. e Ballester-Muñoz F., 2017. Energy Dissipating Devices in Falling Rock Protection Barriers. *Rock Mechanics and Rock Engineering*. Volume 50, pp. 603-619.

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

Cruden D.M., Varnes D.J., 1996. Landslide: investigation and mitigation. *Washington Transportation Research Board*, U.S. Nation Academic of Science, Special Report., n°247, pp. 36-75.

De Biagi V., Napoli M. L., Barbero M., and Peila D., 2017. Estimation of the Return Period of Rockfall Blocks According to Their Size. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17 (1): 103–113.

De Biagi V., 2017. Brief Communication: Accuracy of the Fallen Blocks Volume-frequency Law. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 17 (9): 1487–1492.

Del Maschio L., Gozza G., Piacentini D., Pizziolo M., Soldati M., 2007. Previsione delle Traiettorie di Blocchi Mobilizzati da Frane di Crollo: Applicazione e Confronto di Modelli. *Giornale di Geologia Applicata*, Vol. 6, pp. 33-44.

Dussauge-Peisser C., A. Helmstetter, J.-R. Grasso, D. Hantz, P. Desvarreux, M. Jeannin, and A. Giraud. 2002. Probabilistic Approach to Rock Fall Hazard Assessment: Potential of Historical Data Analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 2: 15–26.

Dimasi C., Luciani A., Martinelli D., Paganoone M., Peila D., 2015. Controllo delle barriere paramassi a rete per la loro gestione e manutenzione. *GEAM Geoingegneria Ambientale e Mineraria*, LII, vol. 3, pp 65-73.

Fell R., 1994. Landslide risk assessment and acceptable risk. *Can. Geotechn. J.*, 31 (2), 261-272.

Fell R., Hartford D., 1997. Landslide risk management. *Landslide risk assessment*, edited by: Cruden D., and Fell R., Balkema, Rotterdam, 51–109.

Ferraiolo F. & Giacchetti G., 2004. Rivestimenti corticali: alcune considerazioni sull'applicazione delle reti di protezione in parete rocciosa. Atti del convegno *Bonifica dei versanti rocciosi per la protezione del territorio*, Trento, GEAM, 11-12 marzo, pp. 147-176.

Guasti G., 2018. Barriere paramassi e anti-colate detritiche, norme di progetto e di prodotto per una corretta progettazione. Civitanova M., 29 marzo 2018. Geobruigg Italia

Lecce A., 2019. Studio delle problematiche di caduta massi su una strada ad alta percorrenza e della durabilità delle opere di protezione. Tesi di laurea magistrale in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Politecnico di Torino, Torino.

Li Z. H., H. W. Huang, Y. D. Xue, and J. Yin, 2009. Risk Assessment of Rockfall Hazards on Highways. *Georisk* 3 (3): 147–154.

Linee Guida del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. *Linee guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti*. Approvate dall'Assemblea Generale in data 17/04/2020.

Marchelli M., De Biagi V., Peila D. 2019. A quick-assessment procedure to evaluate the degree of conservation of rockfall drapery meshes. *Frattura ed Integrità Strutturale*, n°47, pp. 437-450.

Marchelli M., 2020. Una procedura speditiva per la valutazione dello stato di conservazione delle barriere paramassi a rete. *GEAM Geoingegneria Ambientale e Mineraria*, LVII, n. 2, pp. 24-35.

Marchelli, M., De Biagi, V., Bertolo, D., Paganone, M., Peila, D., 2021. A mixed quantitative approach to evaluate rockfall risk and the maximum allowable traffic on road infrastructure. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*.

Materiale didattico disponibile dal Corso di *Consolidamento di rocce e terreni*, fornito dal prof. Peila Daniele, A.A. 2019/2020.

Materiale didattico disponibile dal Corso di *Landslides and slope engineering*, fornito dalla prof.ssa Deangeli Chiara, A.A. 2019/2020.

Mignelli C., Lo Russo S., Peila D., 2012. Rockfall risk management assessment: the RO.MA. approach. *Natural Hazards* 62:1109–1123.

Muhunthan B., Shu S., Sasiharani N., Hattamleh O. A., Badger T. C., Lowell S. M. & Duffy J. D., 2005. Analysis and design of wire/mesh cable net slope protection - Final Research Report. Washington State Transportation Commission - Department of Transportation, U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration.

Nielsen N. M., Hartford D. N. D., MacDonald J. J., 1994. Selection of tolerable risk criteria for dam safety decision making. *Proceedings of 1994 Canadian dam safety conference, Winnipeg, Manitoba*. BiTech Publishers, Vancouver, pp 355–369

Oliveto F., 2017. Modellazione FEM di barriere paramassi ad alta deformabilità in ambiente EE di Nolian All-In-One.

Peila D., Oreste P., 2001. Interventi di difesa contro la caduta massi. *Associazione Georisorse e Ambiente (GEAM)*, Torino.

Peila D., Guardini C., 2008. Use of the event tree to assess the risk reduction obtained from rockfall protection devices. *Nat Hazards Earth Syst Sci*, 8, pp.1441-1450.

Peila D., Ronco C., 2009. Technical Note: Design of rockfall net fences and the new ETAG 027 European guideline. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, pp. 1292-1298.

Peila D., 2017. Tecnologia ed aspetti progettuali di interventi di protezione contro la caduta massi.

Pierson L. A., 1991. The Rackfall hazard rating system. U. S. Department of transportation, Oregon.

Redmill F., Anderson T., 2006. Developments in risk-based approaches to safety proceedings of the fourteenth safety-critical systems. *Symposium, Springer, Bristol*.

Ritchie A. M., 1963. Evaluation of Rockfall and its Control. *Highway Research Record*, Washington, DC: Highway Research Board, National Research Council, Vol. 17, pp. 13-28.

Valfrè A., 2017. Dimensionamento di reti metalliche in aderenza per scarpate rocciose mediante modellazioni numeriche, Asti: SAFE s.r.l.

Varnes D. J., 1978. Slope movement types and processes. *Washington Transportation Research Board*, U.S. Nation Academic of Science, Special Report., n° 176, pp. 11-33.

Volta F., 2011. Il ruolo delle barriere paramassi nella mitigazione del rischio da frana nella provincia autonoma di Bolzano. Tesi di laurea magistrale in Ingegneria l'ambiente e il territorio. Università di Bologna, Bologna.

## **Siti**

<http://www.arpa.piemonte.it/>

<https://www.isprambiente.gov.it>

<https://polaris.irpi.cnr.it/>

<https://www.protezionecivile.gov.it>

<https://www.qgis.org/it/site/>

<https://www.geoportale.piemonte.it/>

## **Riferimenti Normativi**

Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC '18).

D.M. Infrastrutture e Mobilità Sostenibili n° 493 del 3 dicembre 2021 - Nuove Linee Guida per la classificazione e gestione del rischio, la valutazione della sicurezza ed il monitoraggio dei ponti esistenti.

EAD 230008-00-0106 (2016): Double twisted steel wire mesh reinforced or not with ropes, per le reti a doppia torsione.

EAD 23004-00-0106 (2016): Wire ring mesh panel, per i pannelli di rete ad anelli.

EAD 23005-00-0106 (2016): Wire rope net panels, per i pannelli di rete in fune d'acciaio.

EAD 23025-00-0106 (2016): Flexible facing systems for slope stabilization and rock protection, che va a valutare il sistema di protezione nel suo complesso.

EAD 340059-00-0106 (2018): falling rock protection kits.

EN ISO 9223 - Corrosion of metals and alloys.

Eurocodice 7 - EN 1997 - Progetti geotecnici.

ONR 24810 - Technical protection against rockfall.

Regolamento UE n. 305/2011 del Parlamento europeo e del Consiglio, che fissa condizioni armonizzate per la commercializzazione dei prodotti da costruzione e che abroga la direttiva 89/106/CEE del Consiglio.

UNI 11156 - Valutazione della durabilità dei componenti edilizi.

UNI 11211 - Opere di difesa dalla caduta massi.

UNI 11211-4:2018 Progetto definitivo ed esecutivo.

UNI 11211-5:2019 Ispezione, Monitoraggio, Manutenzione e ruolo dei Gestori.

UNI EN 13411-5:2009 Estremità per funi di acciaio parte, parte 5: Morsetti per funi.

UNI ISO 17746:2016 Pannelli e rotoli di rete in fune d'acciaio - Definizioni e caratteristiche tecniche.