

POLITECNICO DI TORINO

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio

Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture

Tesi di Laurea Magistrale

Studio delle problematiche di caduta massi su una strada ad alta percorrenza e della durabilità delle opere di protezione



Relatore:

Prof. Ing. Daniele PEILA

firma del Relatore

.....

Candidato:

Antonio LECCE

firma del Candidato

.....

Correlatore:

Dott. Ing. Maddalena MARCHELLI

firma del Correlatore

.....

A.A. 2018/2019

Alla fine di questo percorso è doveroso ringraziare in primis il Professor Daniele Peila, relatore di questa tesi, per avermi dato l'opportunità di collaborare al contratto di ricerca che lo coinvolgeva, per la disponibilità, l'incitamento e gli insegnamenti trasmessi sempre con entusiasmo sia in aula che in campo.

Un ringraziamento speciale dedico alla Dott. Ing. Maddalena Marchelli, correlatrice della tesi, che in maniera sempre disponibile, gentile e con grande professionalità e competenza mi ha assistito lungo tutto il mio percorso di tesi, permettendomi di affiancarla durante i sopralluoghi, risolvendo ogni mio dubbio e dedicando numerose ore alla mia tesi nonostante i molteplici impegni.

Vi ringrazio sinceramente.

Ringrazio tutta la mia famiglia, senza la quale non sarei arrivato dove sono oggi.

A mio padre Giuseppe, mia madre Maria e mia sorella Miriam che non mi hanno mai fatto mancare nulla con i loro sacrifici ed il loro bene e che mi hanno sempre appoggiato nelle mie scelte, lasciandomi libero di seguire i miei obiettivi. Sarete sempre un punto fermo nella mia vita.

A mia nonna Maddalena e mio nonno Giovanni, che mi sono sempre stati vicini e che hanno costantemente creduto in me. Le vostre chiamate ogni sera non mi hanno mai fatto sentire da solo.

A mio nonno Antonio e mio zio Gabriele che, nonostante la distanza, mi hanno continuamente pensato ed aiutato in ogni momento in cui ne avevo bisogno.

A mio zio Paolo, per avermi ascoltato nei momenti più complicati.

Se sono qui, adesso, è soltanto per merito vostro. Grazie.

INDICE

INTRODUZIONE	1
Capitolo 1 - Riferimenti normativi: obblighi e responsabilità relativi alla caduta massi in elementi stradali	3
Capitolo 2 - Le frane: caratteristiche generali e classificazione	7
2.1 - Classificazione di Varnes	7
2.1.1 - Morfologia di una frana	13
2.1.2 - Stato di attività	15
2.1.3 - Distribuzione dell'attività	16
2.1.4 - Stile di attività	17
2.1.5 - Contenuto d'acqua e velocità	18
2.2 - Fenomeni di caduta massi	19
Capitolo 3 - Opere di protezione da caduta massi	24
3.1 - Inquadramento normativo delle barriere paramassi e delle reti in aderenza	27
3.2 - Barriere paramassi	31
3.2.1 - Componenti principali di una barriera paramassi	32
3.2.1.1 - Struttura di intercettazione	32
3.2.1.2 - Struttura di supporto	34
3.2.1.3 - Componenti di connessione e dissipatori di energia	35
3.2.1.4 - Fondazioni	39
3.2.2 - Tipologie di barriere paramassi	41
3.2.3 - Certificazione delle barriere paramassi	44
3.2.3.1 - Requisiti e metodologie per la certificazione CE	46
3.3 - Reti in aderenza	50
3.3.1 - Componenti principali di una rete in aderenza	51
3.3.1.1 - Rete di contenimento	51
3.3.1.2 - Set di funi	54
3.3.1.3 - Elementi di connessione	54

3.3.1.4 - Ancoraggi	55
3.3.2 - Tipologie di reti in aderenza	56
3.3.1 - Aspetti normativi delle reti in aderenza.....	60
3.3.1.1 - Rete a doppia torsione	60
3.3.1.2 - Pannelli di rete in fune d'acciaio	64
3.3.1.3 - Elementi di giunzione	65
Capitolo 4 - Manutenzione e durabilità delle opere di difesa.....	67
4.1 - La manutenzione nelle opere di protezione da caduta massi.....	69
4.1.1 - Frequenza di controllo	71
4.2 - Fenomeni di degrado della durabilità di un'opera	74
4.2.1 - Barriere paramassi	77
4.2.2 - Reti in aderenza	78
Capitolo 5 - Problematiche prestazionali delle barriere paramassi e delle reti in aderenza	80
5.1 - Problematiche relative alle barriere paramassi	82
5.1.1 - Problematiche legate al contesto circostante all'opera.....	82
5.1.2 - Problematiche legate alla progettazione ed installazione	84
5.1.3 - Problematiche legate ad impatti.....	89
5.1.4 - Problematiche legate all'usura ed alla corrosione	94
5.1.5 - Problematiche legate ad una errata manutenzione.....	95
5.2 - Problematiche relative alle reti in aderenza	98
5.2.1 - Problematiche legate al contesto circostante dell'opera.....	98
5.2.2 - Problematiche legate alla progettazione ed installazione	100
5.2.3 - Problematiche legate ad impatti e sollecitazioni	104
5.2.4 - Problematiche legate all'usura ed alla corrosione	105
5.2.5 - Problematiche legate ad una errata manutenzione.....	106
5.3 - Algoritmo per la valutazione dello stato di conservazione di un'opera di difesa.	107
5.3.1 - Elementi principali, problematiche e classi di importanza.....	111
5.3.1.1 - Barriere paramassi	111

5.3.1.2 - Reti in aderenza	117
Capitolo 6 - Valutazione dello stato di conservazione delle opere di protezione contro la caduta massi (applicazione ad un caso studio: S.S. 34 del Lago Maggiore)	122
6.1 - Metodologia	125
6.1.1 - Analisi qualitativa dello stato di conservazione	126
6.1.2 - Raccolta e sintesi	127
6.1.3 - Automatizzazione del processo	130
6.2 - Caso studio.....	135
6.2.1 - Strada Statale S.S. 34 del Lago Maggiore	135
6.2.2 - Inquadramento geologico e geomorfologico	136
6.2.3 - Analisi degli eventi storici	142
6.2.4 - Campagna di rilievo.....	148
6.2.5 - Analisi dei risultati.....	151
6.2.5.1 - Reti a cortina.....	152
6.2.5.2 - Reti rinforzate	155
6.2.5.3 - Barriere paramassi ad elevata deformabilità.....	157
6.2.5.4 - Barriere paramassi a ridotta deformabilità	163
6.2.6 - Evidenze riassuntive	166
CONCLUSIONI	169
BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA	172
RIFERIMENTI NORMATIVI	177
ALLEGATI.....	178
ALLEGATO A.1: Template del verbale di sopralluogo di una barriera paramassi	179
ALLEGATO A.2: Template del verbale di sopralluogo di una rete a cortina.....	185
ALLEGATO A.3: Template del verbale di sopralluogo di una rete rinforzata	190
ALLEGATO A.4: Esempio di compilazione del verbale di sopralluogo di una barriera paramassi	195
ALLEGATO A.5: Esempio di compilazione del verbale di sopralluogo di una rete a cortina	206
ALLEGATO A.6: Esempio di compilazione del verbale di sopralluogo di una rete rinforzata.....	216

INTRODUZIONE

Il presente elaborato nasce grazie all'affiancamento agli studi condotti nell'ambito del contratto di Ricerca in essere tra il DIATI e l'Unione dei Comuni del Lago Maggiore *“Redazione degli studi e delle indagini sull'assetto geomorfologico dei versanti e dei progetti di messa in sicurezza dei versanti lungo la Strada Statale n°34 del Lago Maggiore nel tratto da Ghiffa a Cannobio”*, Registro Repertorio n° 21 del 28/07/2018. La Strada Statale S.S. 34 del Lago Maggiore svolge un importante ruolo di connessione territoriale, essendo l'unica infrastruttura viaria a disposizione per il traffico veicolare lungo la sponda occidentale del Lago Maggiore, nella provincia di Verbano-Cusio-Ossola, in Piemonte, come collegamento tra l'Italia e la Svizzera.

Nel corso degli anni, infatti, lo sviluppo del settore urbanistico e l'intensificazione del traffico stradale hanno portato le Pubbliche Amministrazioni e gli Enti proprietari, o gestori, di infrastrutture viarie ad interessarsi in maniera crescente ai possibili rischi naturali interagenti con tali elementi a rischio ed alla soluzione più adeguata per una corretta mitigazione del rischio, specialmente per quanto riguarda i fenomeni di caduta massi. In aggiunta, la gestione e la manutenzione delle opere di protezione già presenti sul territorio, al fine di garantirne la piena efficienza nel tempo, giocano anch'essi un ruolo fondamentale per assicurare un'adeguata mitigazione del rischio. Tuttavia, quest'ultimo aspetto viene spesso trascurato, sottovalutando quelli che sono i danni indotti dall'invecchiamento sulle opere durante la loro vita utile anche da un punto di vista economico e delle responsabilità. A tal proposito, nel seguente elaborato il Capitolo 1 è interamente dedicato alla delineazione dei profili di responsabilità in caso di fenomeni di caduta massi interagenti con gli elementi stradali, cercando di fare chiarezza su un settore normativo molto articolato.

Lo scopo del presente elaborato verte sull'individuazione ed approfondimento delle problematiche che influenzano il comportamento e la funzionalità delle barriere paramassi e delle reti in aderenza. Tale scopo, il cui studio risulta tutt'oggi molto limitato in letteratura, è stato perseguito anche grazie allo studio delle problematiche prestazionali ed alla valutazione dello stato di conservazione delle opere di protezione da caduta massi collocate lungo la S.S. 34 dal km 16+300 al km 39+300 tramite un algoritmo di calcolo sviluppato dal Politecnico di Torino nel corso del Progetto RED, con conseguente giudizio critico relativo alla funzionalità delle opere censite. Alla base dell'algoritmo di calcolo utilizzato vi è una procedura codificata che fornisce semplicità e rapidità per il controllo ed il rilievo delle opere di protezione. In aggiunta, si è contribuito anche alla realizzazione di ulteriori documentazioni utili per la mitigazione del rischio da fenomeni di caduta massi.

Le tipologie di opere di protezione da caduta massi più diffuse lungo l'infrastruttura viaria oggetto di studio risultano essere le barriere paramassi e le reti in aderenza. Dopo un primo inquadramento normativo alla luce delle più recenti norme per l'ottenimento della qualificazione delle suddette opere, si è proceduto alla descrizione nel dettaglio delle loro componenti costitutive le quali possono essere soggette a fenomeni di deterioramento. Ciò, infatti, comporta una riduzione o annullamento della capacità di un componente di svolgere la propria funzione durante la vita utile dell'opera, cioè della durabilità, sotto l'azione di agenti differenti.

Risulta importante sottolineare che il livello prestazionale di un'opera può essere compromesso non solo da fenomeni di invecchiamento ma anche da errate scelte progettuali, errate modalità esecutive ed eventuali impatti o sollecitazioni delle opere. In generale, è possibile affermare che in letteratura lo studio su tali aspetti è ancora oggi molto limitato. Grazie, dunque, ai vari sopralluoghi effettuati e ad una accurata ricerca bibliografica, nel Capitolo 5 viene proposta una codifica di una serie di problematiche prestazionali riscontrabili in sito che influiscono sul comportamento dell'opera e che possono essere utilizzate come base per una corretta osservazione delle opere di protezione.

Nel Capitolo 6, infine, vengono riportate nel dettaglio le informazioni acquisite, e successivamente elaborate, durante i sopralluoghi effettuati, con le relative problematiche riscontrate in sito, che hanno portato alla compilazione delle schede descrittive e di valutazione dello stato di conservazione dell'opera. Per una corretta compilazione, è stata effettuata preliminarmente una ricerca delle principali tipologie di elementi costituenti che possono costituire le barriere paramassi e le reti in aderenza. In aggiunta, viene anche riportato l'iter procedurale attuato per il rilievo delle opere. Nel dettaglio, la tempistica di compilazione in sito delle schede descrittive e di valutazione dello stato di conservazione delle opere è stata accelerata dalla programmazione speditiva di un'interfaccia dinamica che restituisce una prima valutazione dello stato di conservazione prima di un'analisi critica dei risultati riportati.

Capitolo 1 - Riferimenti normativi: obblighi e responsabilità relativi alla caduta massi in elementi stradali

Tra le varie tematiche che interessano gli Enti proprietari o concessionari di strade ed autostrade, di fondamentale aspetto risultano quelle legate sia alla sicurezza e alla salvaguardia dell'utente che usufruisce degli elementi stradali sia alla corretta circolazione veicolare con annessa manutenzione dei piani stradali. Risulta, quindi, necessario chiarire le responsabilità di eventuali problematiche connesse alla caduta massi su elementi stradali.

Il Decreto Legislativo 30 aprile 1992, n°285, Nuovo Codice della strada: Testo aggiornato alle modifiche introdotte con la Legge 19 luglio 2015 (in G.U. 03/08/2015 n.175), fornisce delle prescrizioni sugli argomenti citati che, essendo non particolarmente dettagliati specialmente nell'ambito delle competenze di intervento, sono stati nel corso degli anni delineate da sentenze emesse dalla Corte di Cassazione. In aggiunta, diversamente da quanto si possa pensare, le responsabilità ed i doveri connessi a tali tematiche non riguardano soltanto gli Enti proprietari degli elementi stradali ma possono interessare anche i proprietari di beni limitrofi ad essi.

A tal proposito, dunque, il D. Lgs. 285/ 1992, individua e delimita i confini e le competenze relative alla realizzazione e manutenzione delle opere e delle ripe (ANAS, 2001). In accordo con l'art. 3 del D. Lgs. 285/1992, con il termine "ripa" si intende *la porzione di territorio immediatamente sovrastante o sottostante le scarpate del corpo stradale rispettivamente in taglio o in riporto sul terreno preesistente alla strada*. Il medesimo articolo definisce anche il termine "confine stradale" come il limite della proprietà stradale risultante dagli atti di acquisizione o dalle fasce di esproprio; in assenza di tali atti o fasce, i confini stradali vanno ricercati nel piede della scarpata, se la strada è in rilevato, o nel ciglio superiore della scarpata, se la strada è in trincea (Zeppilli, 2015). Ecco, dunque, che le scarpate stradali di controripa e sottoripa possono essere considerate parte dell'elemento stradale. La stabilità dal punto di vista geotecnico e/o geomeccanico di tale scarpata ha un ruolo importante sull'agibilità delle strade.

Precisando quanto riportato dall'art. 14, comma 3 in cui si evidenzia che per le strade attribuite in concessione, i compiti ed i poteri dell'Ente proprietario ricadono e sono svolti, salvo eccezioni, dall'Ente gestore. Le scarpate stradali, pertanto, sono da considerarsi di proprietà esclusivamente dell'Ente proprietario (o gestore) della strada. Su tali porzioni di territorio, i proprietari privati dei fondi limitrofi non hanno prescrizioni da dover rispettare. Su di essi, invece, ricade un obbligo manutentivo relativamente alle ripe che sono situate all'interno dei fondi limitrofi alle strade, cioè relativamente a quelle zone di terreno

immediatamente sovrastanti o sottostanti le scarpate (Zeppilli, 2015). L'articolo 31 del D. Lgs. 285/1992, infatti, sostiene che tali proprietari devono assicurare e garantire nel tempo una condizione per la quale non si verifichino frane, ingombri stradali, cedimenti, caduta di elementi lapidei o qualsiasi altro materiale capaci di recare danno. In aggiunta, sono tenuti a realizzare, dove necessario, opere di mantenimento ed evitare di eseguire interventi che siano in grado di provocare le criticità citate.

Relativamente agli Enti proprietari (o gestori) degli elementi stradali, ai sensi dell'art. 14 del D. Lgs. 285/1992, essi devono provvedere: *(a) alla manutenzione, gestione e pulizia delle strade, delle loro pertinenze e arredo, nonché delle attrezzature, impianti e servizi; b) al controllo tecnico dell'efficienza delle strade e delle relative pertinenze; c) all'apposizione e manutenzione della segnaletica prescritta [...]*. L'ente proprietario (o gestore) di una strada aperta al pubblico transito si presume dunque responsabile, ai sensi dell'art. 2051 del Codice Civile, dei sinistri riconducibili alle situazioni di pericolo connesse in modo immanente alla struttura o alle pertinenze della strada stessa, indipendentemente dalla sua estensione, salvo che dia la prova che l'evento dannoso era imprevedibile e non tempestivamente evitabile o segnalabile (C. Cass., Sez. III, 12/4/2013, n.8935; v. poi Cass. 18753/2017; Cass. 11526/2017; Cass. 7805/2017; Cass. 1677/2016; Cass. 9547/2015; Cass. 1896/2015) (Gennai, 2018). Si evidenzia che sussiste soltanto la presunzione di responsabilità dell'Ente in questione, la quale può decadere qualora l'Ente proprietario (o gestore) provi che *il fatto presenti i requisiti dell'autonomia, dell'eccezionalità, dell'imprevedibilità e dell'inevitabilità e che sia, quindi, idoneo a interrompere il nesso causale tra cosa in custodia e danno e il rapporto di custodia fra il soggetto e la cosa stessa, concretando così gli estremi del caso fortuito»* (C. Cass., Sez. VI, 30/9/2014, n. 20619) (Gennai, 2018). Nel dettaglio, l'ANAS si presume responsabile, ai sensi dell'art. 2051 del c.c., del danno indotto ad un automobilista dalla presenza di un'importate blocco lapideo sulla sede stradale, a meno che non dimostri che il danno sia stato causato da una condotta colposa della vittima (Cass. 28 settembre 2012, n. 16542). Tuttavia, l'ipotesi del caso fortuito potrebbe decadere nel momento in cui lungo una strada di competenza dell'Ente gestore sia esposto il segnale stradale di pericolo "Caduta massi", il quale fa venir meno la condizione di imprevedibilità del fenomeno e rimarca l'onere dell'Ente a far tutto il possibile per impedire l'interazione dell'evento con l'elemento stradale (Cass. 28/09/201, n. 16542) anche nel momento in cui, come verrà descritto in seguito del presente capitolo, il materiale roccioso provenga da fondo di proprietà privata. In tal caso, l'Ente proprietario (o gestore) può risultare corresponsabile del danno indotto a terzi.

Nonostante agli articoli 14 e 31 del Nuovo Codice della Strada, in unione all'art. 2051 del c.c., descrivano in maniera chiara gli obblighi relativi alla manutenzione delle opere e responsabilità derivanti da eventuali sinistri, non risultano ben chiare le prescrizioni relative alle competenze di intervento. L'Ispettorato Generale per la Circolazione e la Sicurezza Stradale del Ministero dei Lavori Pubblici, infatti, nel 1997 ha precisato che le condizioni da rispettare di cui all'art. 31, descritte in precedenza, sono compito dei *proprietari dei fondi, degli Enti proprietari (o gestori) delle strade e degli Organi nazionali e regionali competenti in materia di Protezione Civile e Difesa del Suolo [...]*. Nel 1999, la Direzione Generale del Coordinamento Territoriale dei Lavori Pubblici emanò una nota in cui precisava che spetta all'ANAS *l'esecuzione delle opere di difesa passiva tese a preservare la sede stradale da fenomeni di crollo e di caduta massi la cui provenienza sia adiacente alla sede stradale, cioè nella fascia prossima al confine della strada fino ad una distanza da valutare caso per caso* (ANAS, 2001). Nella medesima nota si riporta anche che è compito degli Enti proprietari dei fondi (quali Enti locali, privati, etc.) o degli Enti preposti (quali Azienda forestale, etc.) eseguire interventi di difesa attiva e/o passiva su quella porzione di territorio che non rientra all'interno dei confini stradali. Infine, viene sottolineato che in casi di somma urgenza, al fine di garantire la sicurezza e la regolarità della circolazione, l'ANAS ha il dovere di intervenire in qualsiasi porzione del territorio anche non ricadente all'interno del demanio stradale, con successiva possibilità di rivalsa nei confronti dei soggetti inadempienti. Nel marzo del 2000, la nota della Direzione Generale del Coordinamento Territoriale dei Lavori Pubblici emanata l'anno precedente venne ripresa, su apposita richiesta, dall'Avvocatura Distrettuale dello Stato di Torino, la quale ne condivise i principi e ne precisò alcuni aspetti, di seguito riassunti (ANAS, 2001):

- Nel caso di porzioni di territorio soggette a fenomeni di distacco o dilavamento di elementi lapidei ma non ricadenti all'interno dei confini stradali perché oltre il limite delle scarpate di taglio o di riporto dell'elemento stradale, in accordo a quello che è il quadro dei poteri e compiti delineato dall'art. 14 del D. Lgs. 285/92, l'ANAS ha il compito di eseguire soltanto le opportune opere di difesa passiva qualora i dissesti citati provengano, come delineato dalla nota del 1999, da una fascia prossima al confine della strada, *intendendo con questa espressione il confine dell'area demaniale, comprensiva della scarpata. (v. da ultimo Cass. 10759/98)* (ANAS, 2001), fino ad una distanza da valutare caso per caso, *vale a dire in relazione alla morfologia dei luoghi e alla natura dei terreni* (ANAS, 2001). Tale precisazione relativa ad una fascia di territorio oltre il demanio stradale è facilmente comprensibile qualora si pensasse al caso di installazione di

reti in aderenza (vedasi par. 3.3) che devono essere estese a monte quanto necessario per la mitigazione del rischio.

- Nel momento in cui la fonte di pericolo, come per esempio una parete rocciosa subverticale fratturata potenzialmente interagente con l'elemento stradale, è posta a notevole distanza dalla porzione di territorio appartenente al demanio stradale, l'obbligo di realizzare opportune opere di mitigazione del rischio o di manutenzione spetta all'Ente proprietario, pubblico o privato, di quel territorio. Nel momento in cui l'Ente proprietario in questione risulti restio ad adempiere ai propri obblighi, si può procedere secondo quanto riportato dall'art. 211 del Nuovo Codice della Strada. Con particolare riferimento al comma 4: *“ove il trasgressore non compia nel termine le opere cui è obbligato, il prefetto, su comunicazione dell'ente proprietario o concessionario della strada, dà facoltà a quest'ultimo di compiere le opere suddette. Successivamente al compimento, l'ente proprietario trasmette la nota delle spese sostenute ed il prefetto emette ordinanza-ingiunzione di pagamento. Tale ordinanza costituisce titolo esecutivo ai sensi di legge”*, fermo restando che l'Ente proprietario della strada ha la possibilità, laddove i lavori di mitigazione del rischio risultino urgenti non rinviabili, di avvalersi dell'occupazione di urgenza (istituto giuridico grazie alla quale la Pubblica Amministrazione anticipa il procedimento di espropriazione per pubblica utilità di un'area all'interno della quale realizzare l'opera pubblica).
- Se la mitigazione del rischio comprende aree vaste in cui è necessaria un'azione programmata e sistematica, la valutazione degli interventi da svolgere e la progettazione di opere è compito della Regione secondo quanto riportato all'interno dell'art. 69 del D. Lgs. 616/77, con l'eventuale collaborazione degli Enti Locali e dell'Ente proprietario della strada.

Capitolo 2 - Le frane: caratteristiche generali e classificazione

Con il termine “frana” (*landslide*) si intende il movimento di una massa di roccia, detrito o terra lungo un pendio (Cruden & Varnes, 1996), sotto l’effetto dell’azione di gravità con velocità variabile da alcuni millimetri/anno fino a decine di metri al secondo (APAT, 2006). Ad oggi, il più usato dei sistemi di nomenclatura e classificazione dei dissesti gravitativi, riproposto nel seguente elaborato, è quello ideato da David J. Varnes nella versione del 1978, successivamente aggiornato nel 1996.

Nei paragrafi seguenti verrà effettuata una breve descrizione generale delle principali tipologie di frane e le relative caratteristiche, prestando successivamente particolare attenzione ai fenomeni di caduta massi che risultano essere, tra le tipologie di frana, dei fenomeni impulsivi e poco controllabili.

2.1 - Classificazione di Varnes

Al fine di identificare e distinguere i differenti movimenti gravitativi, nel 1978 Varnes ideò un sistema di classificazione basato su due criteri principali: il tipo di movimento del fenomeno ed il tipo di materiale coinvolto.

Le principali tipologie di movimento identificate nel 1978 (Tabella 1) sono classificabili in cinque classi differenti: crolli (*falls*), ribaltamenti (*topples*), scivolamenti (*slides*), espandimenti (*spreads*), colate (*flows*). Una sesta classe, chiamate frane complesse (*complex*), risulta essere la combinazione nello spazio e/o nel tempo di due o più delle tipologie di movimento citate. Il tipo di materiale interessato, invece, può consistere in roccia (*rock*) o suolo (*soil*), quest’ultimo suddiviso a sua volta in detriti (*debris*) e terra (*earth*). Una frana, quindi, viene classificata con un sistema matriciale in cui le righe rappresentano il tipo di movimento e le colonne il tipo di materiale (Oldrich et al., 2014).

Tabella 1: Classificazione di Varnes,(1978) dei dissesti gravitativi.

Type of movement		Type of material	
		Bedrock	Engineering soils
			Predominantly coarse Predominantly fine
Falls		Rock fall	Debris fall Earth fall
Topples		Rock topple	Debris topple Earth topple
Slides	Rotational	Rock slide	Debris slide Earth slide
	Translational		
Lateral spreads		Rock spread	Debris spread Earth spread
Flows		Rock flow (deep creep)	Debris flow Earth flow (soil creep)
Complex		Combination of two or more principal types of movement	

Per quanto riguarda la tipologia di materiale, con “roccia” si intende il materiale che era intatto ed in posto prima del movimento (Rinaldi, 2005). Con “detrito”, invece, un materiale prevalentemente grossolano costituito da più del 20% di grani avente dimensione maggiore di 2 mm. Infine, con “terra” si intende un materiale prevalentemente fino costituito da almeno l’80% da fini avente diametro minore di 2 mm.

La classificazione in Tabella 1 risulta, tuttavia, essere rigida dato che le frane avvengono quasi sempre con varietà di movimenti e materiali coinvolti. Infatti, nel 1996 l’aggiornamento del sistema di classificazione effettuato da Cruden e da Varnes ha omesso la frana “complessa” come tipologia di movimento, includendola invece nello stile di attività di una frana (Rinaldi, 2005). Tale aggiornamento, inoltre, prevede che un fenomeno franoso venga identificato tramite combinazione di termini descrittivi relativi alle caratteristiche del primo movimento, a quelle dell’eventuale secondo movimento in cui si evolve, e all’attività del fenomeno (Cruden & Varnes, 1996).

Nonostante Varnes classificasse le frane principalmente in base alla tipologia di movimento ed al materiale coinvolto, egli stesso affermava che vi erano ulteriori principi coi quali identificarli e classificarli. Tra i più rilevanti, nei parr. 2.1.1, 2.1.2, 2.1.3, 2.1.4 e 2.1.5 si riportano lo stato di attività, la distribuzione di attività, lo stile di attività, il contenuto d’acqua e la velocità di una frana.

Con riferimento alla Tabella 1, di seguito vengono descritti brevemente le varie tipologie di movimento riportate. Un crollo (*fall*) viene definito come il distacco di una massa in roccia, più raramente in detrito e/o in terra, che si muove lungo un versante attraverso un moto vario (Figura 1). La velocità del fenomeno varia da veloce ad estremamente veloce e l’impatto al suolo può determinare la formazione di diversi elementi di pezzatura più fine. Per una più dettagliata descrizione si rimanda al par. 2.2.

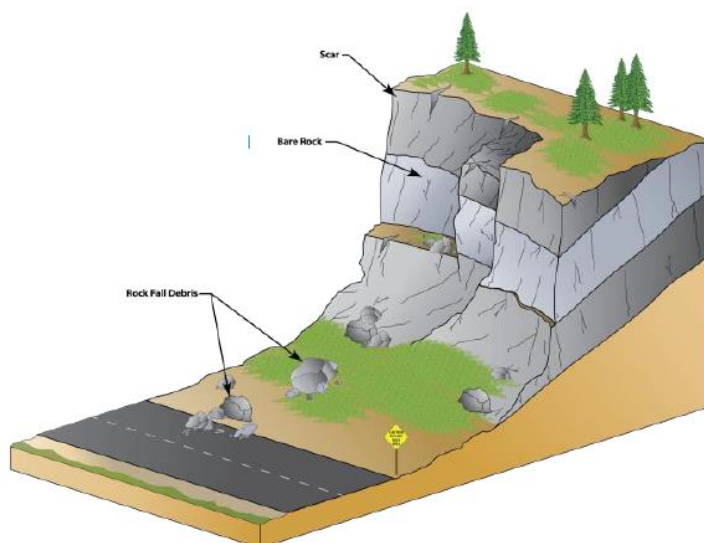


Figura 1: Rappresentazione qualitativa di un fenomeno di crollo in roccia (Fanti, 2015).

Un ribaltamento (*topple*) è un fenomeno di rotazione rigida frontale o un'inflexione di una massa di roccia, detriti e terre intorno ad un punto o un asse situato al di sotto del baricentro della massa stessa (Figura 2) (APAT, 2006). I movimenti di un ribaltamento sono simili a quelli di un crollo. Per una più dettagliata descrizione si rimanda al par. 2.2.

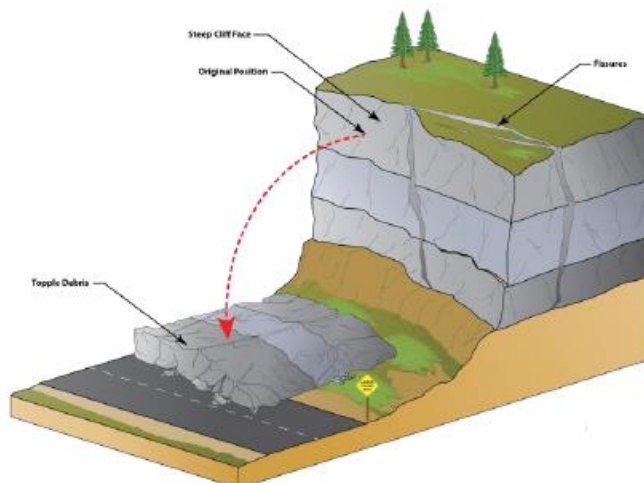


Figura 2: Rappresentazione qualitativa di un fenomeno di ribaltamento in roccia (Fanti, 2015).

Lo scivolamento (*slide*) è un movimento di una massa di roccia, di detrito e/o di terreno a causa di deformazioni di taglio lungo una o più superficie di rottura, o entro un limitato spessore di materiale, che provocano il superamento della resistenza al taglio della massa in quella determinata/e superficie/i. Il collasso del materiale avviene di solito per rottura progressiva e, in funzione della superficie di rottura, si distinguono due tipologie di scivolamenti: traslazionale e rotazionale. Nel momento in cui il movimento della massa mobilitata avviene con entrambi i cinematismi, si parla di scivolamento composto.

- Scivolamento rotazionale (*rotational slide*): con tale espressione si intende il movimento rotazionale, rispetto ad un asse parallelo al pendio, di una massa verso la base del versante lungo una superficie curvilinea concava verso l'alto (Figura 3.b). La massa in movimento, frequentemente, si scompone in più blocchi che talvolta possono rimanere relativamente integri al loro interno, senza subire una caoticizzazione (come fosse un movimento rigido), sovrapponendosi alla sottostante superficie di terreno originaria (APAT, 2006). La porzione in prossimità del piede del corpo di frana è soggetta forze di compressione, a causa della geometria della superficie di rottura, che comportano sollevamenti ed elevato contenuto d'acqua. In superficie, gli alberi in tale porzione tendono a piegarsi verso valle, viceversa per quelli di monte (Figura 3.a). Tale tipologia di fenomeno interessa principalmente terreni omogenei e ammassi rocciosi intensamente fratturati. Con riferimento alla

Tabella 3, par. 1.1.1, da un punto di vista geometrico si parla di scivolamento rotazionale quando D_r/L_r è compreso tra il 5% ed il 10% (Walker et al., 1987).

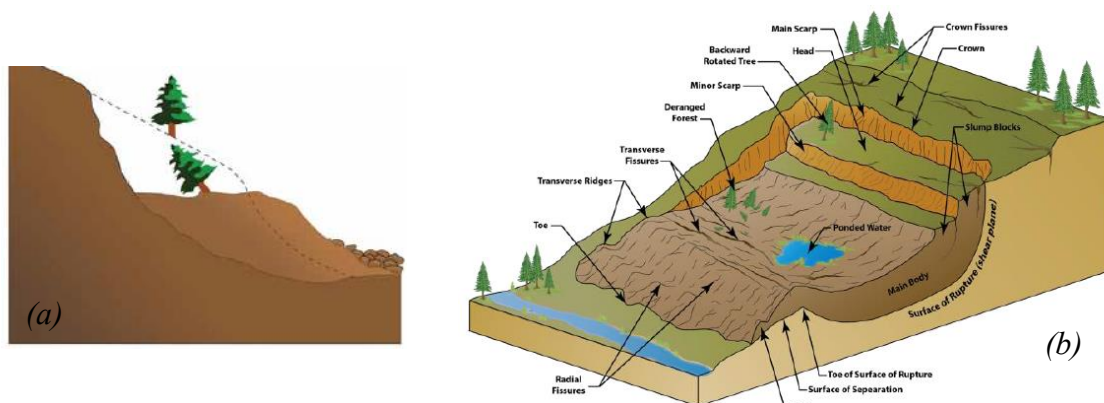


Figura 3: (a) Testimonianze sul territorio di fenomeni di scivolamento rotazionale (APAT, 2006); (b) Rappresentazione qualitativa di un fenomeno di scivolamento rotazionale di terreno (Fanti, 2015).

- Scivolamento traslazionale (*traslational slide*): con tale espressione si intende il movimento planare di una massa di roccia, detrito o terreno, verso la base del versante lungo una o più superfici piane (quali piani di scistosità in rocce metamorfiche, piani di faglia, etc.) più o meno ondulate, aventi stessa pendenza del versante (Figura 4). Tale fenomeno spesso instaura al contatto tra due formazioni aventi caratteristiche geomeccaniche differenti (APAT, 2006) ed è tipico nelle coperture detritiche di limitato spessore all'interfaccia di separazione con il substrato sottostante (Spagna, 2013). La massa dislocata può sia essere completamente destrutturata e disarticolata, sia rimanere relativamente integra o scomporsi in molteplici blocchi, i quali possono conservare la loro struttura interna (APAT, 2006). Con riferimento alla Tabella 3, par. 1.1.1, da un punto di vista geometrico si parla di scivolamento traslazione quando il rapporto D_r/L_r è compreso tra il 15% ed il 30% (Walker et al., 1987).

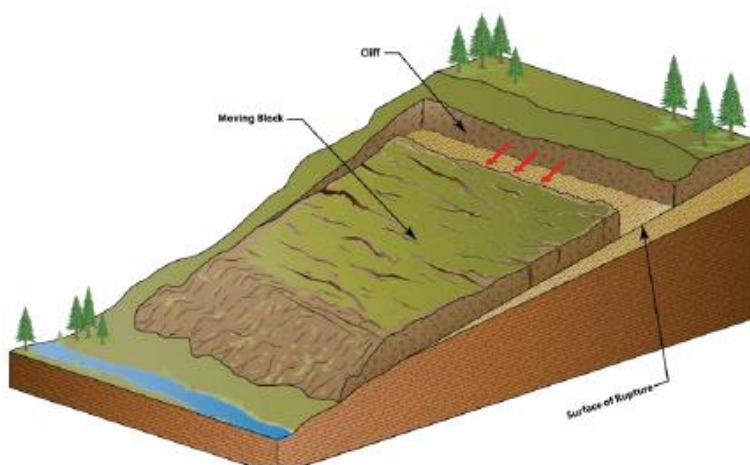


Figura 4: Rappresentazione qualitativa di un fenomeno di scivolamento traslazionale di terreno (Fanti, 2015).

Si sottolinea, infine, che in letteratura sono classificati tra gli scivolamenti traslazionali anche le cosiddette “frane per saturazione e fluidificazione dei terreni della copertura superficiale” (*soil slip*), le quali devono tale definizione al fatto che avvengono per saturazione, dovuta alle acque di infiltrazione, e successiva fluidificazione della copertura superficiale formata da terreni incoerenti e/o parte alterata del substrato (APAT, 2006).

Con colata (*flow*) si intende un fenomeno caratterizzato da una forma stretta e allungata che si sviluppa lungo un impluvio (Figura 5) e che risulta spesso essere lo stadio di evoluzione di una differente tipologia di movimento, come per esempio una frana per saturazione e fluidificazione della copertura superficiale.

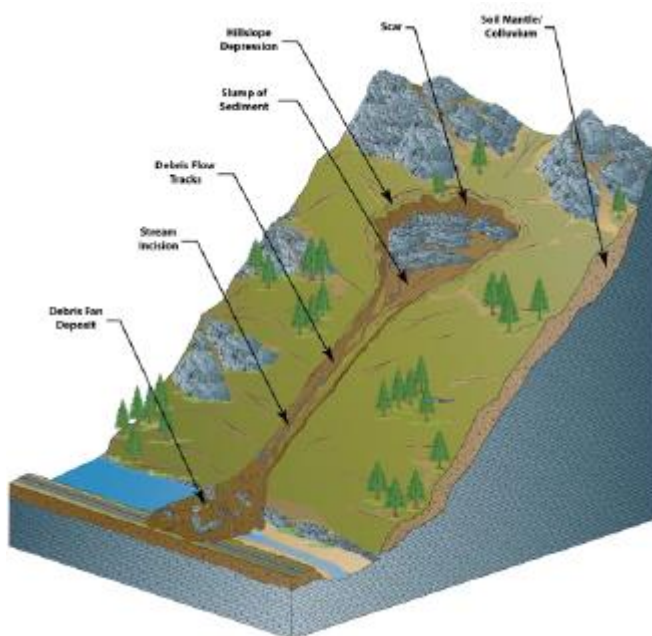


Figura 5: Rappresentazione qualitativa di una colata (Fanti, 2015).

Con riferimento alla Tabella 3, par. 1.1.1, da un punto di vista geometrico si parla di *flows* quando il rapporto D_r/L_r è compreso tra il 0.5% ed il 3% (Walker et al., 1987). Secondo quanto riportato da Varnes, ci sono 5 categorie fondamentali di fenomeni di flusso che differiscono le une dalle altre in maniera sostanziale e che egli definisce come segue:

- Colata di detrito (*debris flow*): con il termine colata di detrito si intende un flusso canalizzato di materiale detritico saturo, non plastico, caratterizzato da velocità da molto rapida ad estremamente rapida (Hungr & Bovis, 2001). La caratteristica chiave di un debris flow è la presenza di un canale o di un percorso vincolato (Hungr & Bovis, 2001).
- Valanga di detrito (*debris avalanche*): con il termine valanga di detrito si intende un flusso superficiale di detriti, parzialmente o totalmente saturo, caratterizzato da

velocità da molto rapide ad estremamente rapide su un pendio ripido e senza confinamento in un canale (Hung, et al., 2014). Le valanghe di detriti possono essere soggette a canalizzazione, destabilizzare i riempimenti del canale ed evolvere in una colata di detrito (*debris flow*) (Hung, et al., 2014).

- Colata di terra (*earth flow*): con il termine colata di terra si intende un movimento intermittente di materiale argilloso, plastico, caratterizzato da velocità rapide o basse (Hung & Bovis, 2001).
- Colata di fango (*mud flow*): con il termine colata di fango si intende un flusso di terreno saturo, plastico, in un canale ripido che comporta un contenuto idrico significativamente maggiore rispetto al materiale iniziale (Hung, et al., 2014). Tale fenomeno è caratterizzato da velocità da molto rapide ad estremamente rapide.
- *Creep*: il *creep* è un movimento lento e costante verso il basso del terreno o della roccia. Il movimento è causato da sforzi di taglio sufficienti a produrre deformazioni permanenti ma non per indurre un vero e proprio cedimento.

Gli espandimenti laterali (*lateral spreads*), detti anche soltanto espandimenti dopo l'aggiornamento del 1996, si verificano quando un materiale con comportamento "rigido", come roccia o terreno parzialmente cementato, è sovrapposto ad un materiale a comportamento plastico. Ciò che si verifica è estensione e fratturazione del materiale rigido a causa del materiale plastico.

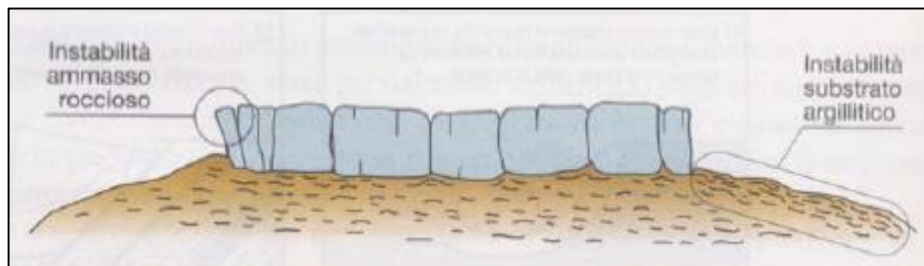


Figura 6: Rappresentazione qualitativa di un espandimento laterale.

2.1.1 - Morfologia di una frana

Una delle questioni che per diversi anni ha riguardato il settore delle frane è quella relativa alla comprensione reciproca fra studiosi di Paesi differenti (Spagna, 2013). La terminologia, infatti, degli elementi costituenti una frana, nonché la loro identificazione e classificazione, era differente da un Paese ad un altro. Oggi la nomenclatura comunemente adottata, in lingua inglese, si basa su quella proposta da Varnes nel 1978. La traduzione italiana adottata quella suggerita nel 1990 da Spagna (Spagna, 2013), riportati in Tabella 2 con riferimento alla Figura 7.

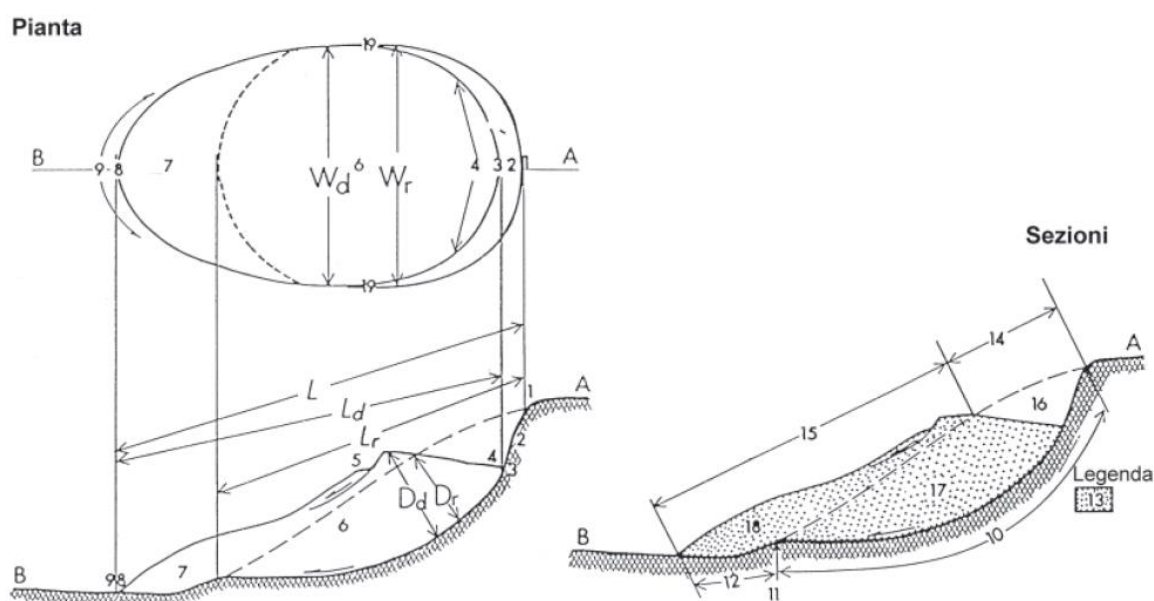


Figura 7: Rappresentazione qualitativa delle principali componenti di una frana e delle relative caratteristiche geometriche (Spagna, 2013).

Tabella 2: Terminologia relativa ad una generica frana con rappresentazione grafica (Spagna, 2013).

ID	Terminologia	Descrizione
1	Coronamento (<i>crown</i>)	Il materiale rimasto in posto praticamente non disturbato e adiacente alle parti più alte della scarpata principale.
2	Scarpata principale (<i>main scarp</i>)	Una superficie ripida del terreno non dislocato posta al margine superiore del corpo di frana e formatasi a seguito del moto di scorrimento del materiale staccatosi dal terreno indisturbato.
3	Punto sommitale (<i>top</i>)	Il punto più alto di contatto fra il materiale dislocato (13) e la scarpata principale (2).
4	Testata (<i>head</i>)	Le parti superiori del corpo di frana, lungo il contatto fra il materiale dislocato e la scarpata principale (2).
5	Scarpata secondaria (<i>minor scarp</i>)	Una superficie generalmente ripida sul materiale dislocato della frana, prodottasi per movimenti differenziali all'interno del corpo di frana.
6	Corpo di frana principale (<i>main body</i>)	La parte di materiale dislocato che ricopre la superficie di rottura (10) tra la scarpata principale (2) e l'unghia della superficie di rottura (11).
7	Piede (<i>foot</i>)	La parte del corpo di frana che è scorsa al di là dell'unghia della superficie originaria del terreno.
8	Punto inferiore (<i>tip</i>)	Il punto dell'unghia (9) situato a maggior distanza dal punto sommitale della frana.

ID	Terminologia	Descrizione
9	Unghia della frana (<i>toe</i>)	Il margine, generalmente arcuato, del materiale di frana dislocato alla maggiore distanza dalla scarpata principale (2).
10	Superficie di scorrimento (<i>slip surface</i>)	La prosecuzione della scarpata principale (2) al di sotto della massa di materiale dislocato.
11	Unghia della superficie di rottura (<i>toe of rupture surface</i>)	L'intersezione, a volte sepolta, fra la parte inferiore della superficie di rottura (10) di una frana e la superficie topografica originaria.
12	Superficie di separazione (<i>surface of separation</i>)	La parte della superficie topografica originaria mascherata dal piede (7) della frana.
13	Materiale dislocato (<i>displaced material</i>)	Materiale spostato dalla sua posizione originaria sul versante a causa del movimento franoso.
14	Zona ribassata (<i>zone of depletion</i>)	L'area della frana nella quale il materiale dislocato (13) viene a trovarsi a quota più bassa di quella della superficie topografica originaria.
15	Zona di accumulo (<i>zone of accumulation</i>)	L'area della frana nella quale il materiale dislocato (13) viene a trovarsi a quota più elevata rispetto a quella della superficie topografica originaria.
16	Nicchia di distacco (<i>depletion</i>)	Il volume, virtuale, posto al di sopra della scarpata principale e compreso fra la massa ribassata (17) e la superficie topografica originaria.
17	Massa ribassata (<i>depleted mass</i>)	Parte della massa dislocata ricoprente la superficie di scorrimento (11) ma che viene a porsi a quota inferiore a quella della superficie topografica originaria.
18	Corpo di accumulo (<i>accumulation</i>)	Pare del volume di materiale dislocato (13) che viene a trovarsi fra la superficie originaria del pendio e quella di neoformazione conseguente al fenomeno di frana.
19	Fianco (<i>flank</i>)	Margine laterale della frana. È da preferire l'indicazione dell'orientazione geografica ma se si usa la destra e la sinistra il riferimento è quello della frana vista dal coronamento.

In Tabella 3, invece, vengono descritte le grandezze geometriche che caratterizzano una frana, riportate graficamente in Figura 7.

Tabella 3: Descrizione delle caratteristiche geometriche di una frana (Spagna, 2013).

Simbolo	Descrizione
L_r : lunghezza della superficie di rottura	Distanza fra l'unghia della superficie di rottura e il coronamento.
L_d : lunghezza dell'ammasso di frana	Distanza fra il punto inferiore e il punto sommitale.
L : lunghezza totale	Distanza fra il coronamento e l'unghia frontale della frana.
W_r : larghezza della superficie di scorrimento	Massima distanza fra i fianchi della frana, misurata perpendicolarmente alla lunghezza L_r .
W_d : larghezza del corpo di frana	Massima larghezza della massa dislocata, in direzione perpendicolare alla lunghezza L_d .
D_r : profondità della superficie di rottura	Profondità massima della superficie di scorrimento corrispondente alla distanza fra la superficie di rottura e la superficie topografica originaria, misurata perpendicolarmente a quest'ultima.
D_d : profondità del corpo di frana	Massima profondità della massa dislocata misurata in direzione perpendicolare alla sua lunghezza L_d .

2.1.2 - Stato di attività

Lo stato di attività dei movimenti franosi descrive questi ultimi dal punto di vista temporale (Figura 8). Viene definita frana “attiva” (*active*) una frana che si sta muovendo al momento dell’osservazione e/o misura strumentale (Cruden & Varnes, 1996). Un movimento franoso che è nuovamente attivo dopo un periodo di inattività viene definito “riattivo” (*reactived*); con “sospesa” (*suspended*), invece, viene indicata una frana che ha subito spostamenti all’interno dell’ultimo ciclo annuale di stagioni ma che non si muove al momento dell’osservazione e/o misura strumentale. Se una frana non subisce movimenti da oltre un ciclo stagionale, essa viene classificata come “inattiva” (*inactive*), o, in alternativa, qualora si reputi che le cause innescanti originali permangano, come “quiescente” (*dormant*). Nel momento in cui si valuta che la frana non possa più essere riattivata, essa viene definita “stabilizzata” (*stabilized*), distinguendo tra una frana “naturalmente stabilizzata” (*abandoned*) o “artificialmente stabilizzata” (*artificially stabilized*). Infine, una frana viene definita “relitta” (*relicted*) quando si è chiaramente sviluppata in condizioni climatiche e geomorfologiche differenti da quelli attuali (Cruden & Varnes, 1996).

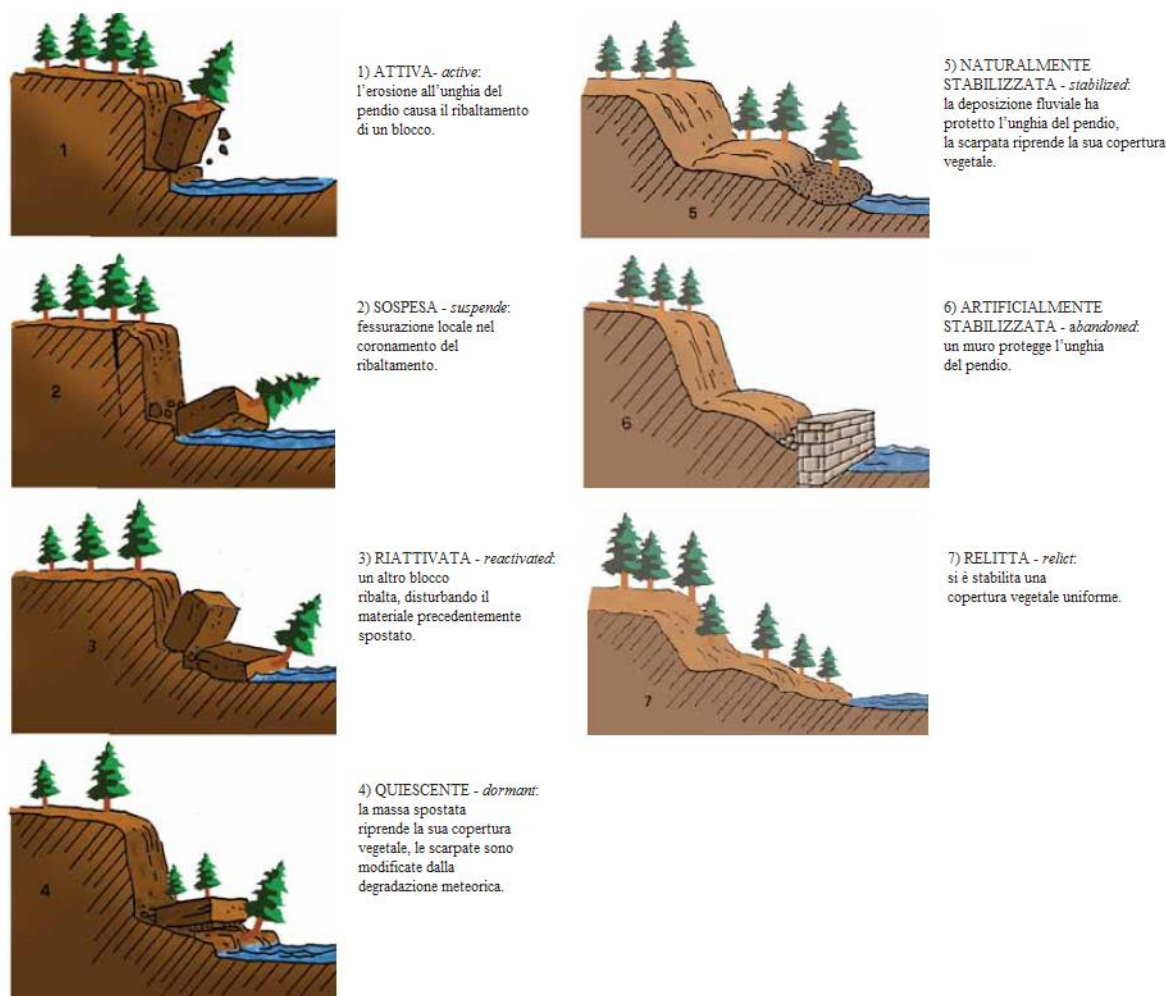


Figura 8: Esempio dei possibili diversi stati di attività di una frana di ribaltamento, “topple” (APAT, 39/2006).

2.1.3 - Distribuzione dell'attività

La distribuzione delle attività (*distribution of activity*) descrive un dissesto dal punto di vista spaziale, permettendo di prevedere il tipo di evoluzione (Figura 9). Il caso più semplice è quello in cui la superficie di rottura ed il volume di materiale mobilitato non subiscono importanti variazioni durante i movimenti di massa; in tal caso, una frana viene detta “costante” (*moving*). Una frana è definita “in avanzamento” (*advancing*) nel momento in cui la superficie di rottura si estende lungo la stessa direzione del movimento della frana (Cruden & Varnes, 1996), inglobando porzioni di territorio verso valle. Viceversa, se tale superficie si sviluppa nella direzione opposta alla direzione del movimento del materiale franato, essa viene definita “retrogressiva” (*retrogressing*), coinvolgendo porzioni di territorio verso monte. Un dissesto è definito “in allargamento” (*widening*) se la superficie di rottura si estende lateralmente su uno o entrambi i fronti (Cruden & Varnes, 1996), invece “in diminuzione” (*diminishing*) se il volume di materiale coinvolto diminuisce nel tempo. Se si osserva la presenza di una scarpata di una frana ma risulta non visibile la superficie di rottura al piede, una frana può essere definita “confinata” (*confined*). Se, invece, la superficie di rottura ha la possibilità di espandersi in più direzioni, aggiungendo materiale al volume già mobilitato di una frana, quest'ultima viene definita “multi-direzionale” (*enlarging*).

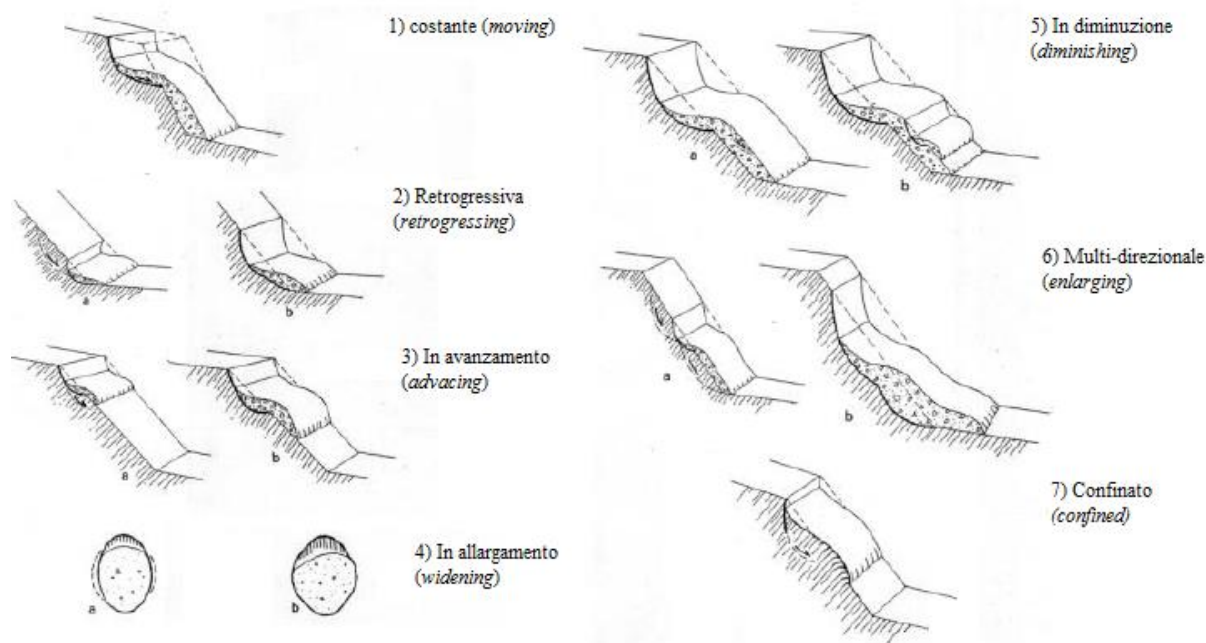


Figura 9: Frane con diverse distribuzioni di attività (Rinaldi, 2005).

2.1.4 - Stile di attività

Lo stile di attività (*style of activity*) indica in che modo tipologie di movimenti differenti contribuiscono in una frana (Figura 10). Una frana “singola” (*single*) è una frana con un singolo movimento del materiale coinvolto che accade come se fosse un blocco rigido; un isolato fenomeno di ribaltamento, per esempio, può essere descritto come una frana singola. Una frana “multipla” (*multiple*), invece, consiste nella ripetizione nello spazio di fenomeni singoli. Nel dettaglio, tale definizione viene attribuita quando si verificano movimenti ripetuti dello stesso tipo in cui il nuovo materiale mobilitato interagisce con quello precedente condividendo spesso la stessa superficie di rottura (Cruden & Varnes, 1996). Spesso quest’ultima classificazione dello stato di attività di una frana viene confusa con la cosiddetta frana “successiva” (*successive*); tale definizione viene attribuita ad un dissesto caratterizzato dallo stesso tipo di movimento di un dissesto adiacente, avvenuto nel tempo, con il quale però non condivide né il materiale mobilitato né la superficie di rottura. Con il termine “complessa” (*complex*) viene indicata una frana che presenta almeno due tipologie di movimento differenti che non accadono nello stesso istante temporale ma sono gli uni successive alle altre, in sequenza temporale (Cruden & Varnes, 1996). Un dissesto, invece, caratterizzato da differenti tipi di movimento che accadono in differenti aree della massa mobilitata, a volte simultaneamente, viene detto “composito” (*composite*).

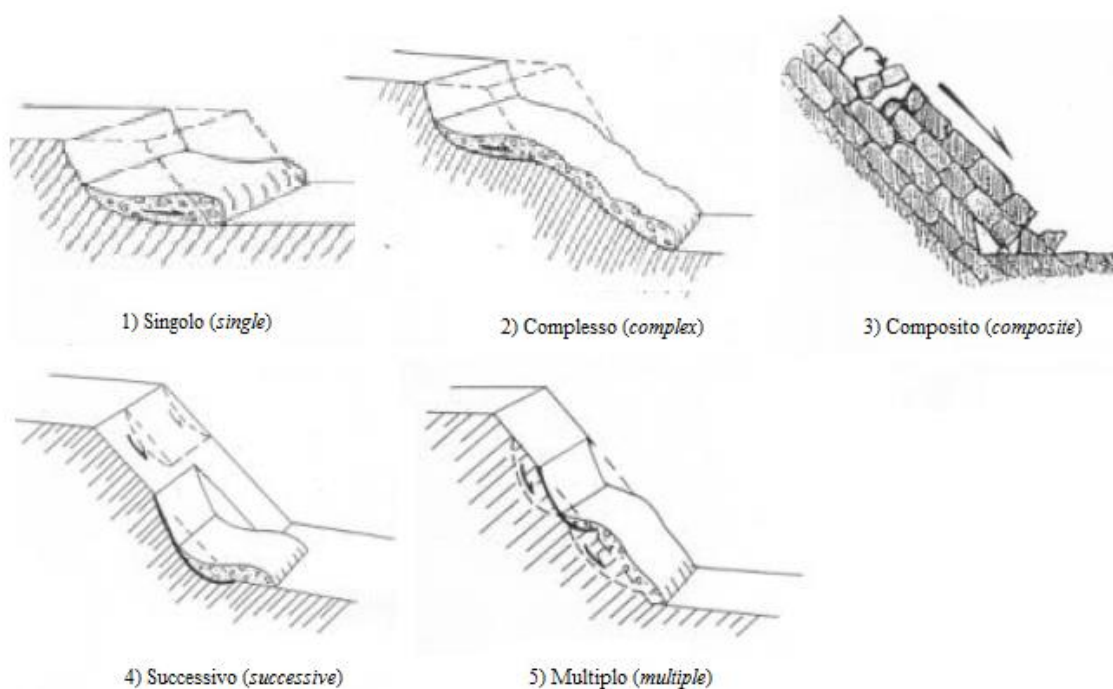


Figura 10: Frane con diversi stili di attività (Rinaldi, 2005).

2.1.5 - Contenuto d'acqua e velocità

La classificazione del contenuto d'acqua (*water content*) della massa mobilitata di una frana, rimane valida la classificazione suggerita da Varnes nel 1978 il quale suggerì quattro classi sulla base della semplice osservazione di tale massa:

1. Secco (*dry*): il materiale assume il comportamento di un solido a causa dell'assenza d'acqua al suo interno;
2. Umido (*moist*): la massa mobilitata contiene acqua non in forma libera. Ciò implica che il materiale si possa comportare come un solido plastico;
3. Bagnato (*wet*): la massa mobilitata ha un contenuto d'acqua sufficiente da comportarsi in parte come un fluido;
4. Molto bagnato (*very wet*): la massa mobilitata ha un contenuto d'acqua tale da poter essere paragonata ad un fluido per bassi gradienti.

La velocità di una frana (*rate of movement*) è un parametro molto importante anche per caratterizzare il potenziale distruttivo di un evento franoso. La classificazione assunta da Varnes e Cruden nel 1996, leggermente differente da quella del 1978, prevede una suddivisione della velocità in sette classi, da “estremamente lenta” a “estremamente rapida” (Figura 11). In aggiunta, nel 1985 Morgenstern attuò un'analogia con la scala Mercalli delle intensità dei terremoti, riuscendo a ottenere sei classi di effetti più o meno distruttivi corrispondenti approssimativamente alle sei classi più veloci della classificazione di Varnes. In maniera generale, l'intensità di un terremoto può essere stimata attraverso gli effetti che un terremoto ha sull'uomo, sulle costruzioni e sull'ambiente. L'ultima classe mancante per ottenere la corretta corrispondenza con la scala delle velocità fu aggiunta nel 1996.

Classe	Descrizione	Danni osservabili	Velocità tipica	Velocità (m/s)
7	Estremamente rapida	Catastrofe di eccezionale violenza. Edifici distrutti per l'impatto del materiale spostato. Molti morti. Fuga impossibile.	> 5 m/s	5
6	Molto rapida	Perdita di alcune vite umane. Velocità troppo elevata per permettere l'evacuazione delle persone.	> 3 m/min	$5 \cdot 10^{-2}$
5	Rapida	Evacuazione possibile. Distruzione di strutture, immobili ed installazioni permanenti.	> 1.8 m/hr	$5 \cdot 10^{-4}$
4	Moderata	Alcune strutture temporanee o poco danneggiabili possono essere mantenute.	> 13 m/mese	$5 \cdot 10^{-6}$
3	Lenta	Possibilità di intraprendere lavori di riabilitazione e restauro durante il movimento. Le strutture meno danneggiabili possono essere mantenute con frequenti lavori di riabilitazione se il movimento totale non è troppo grande durante una particolare fase di accelerazione.	> 1.6 m/anno	$5 \cdot 10^{-8}$
2	Molto lenta	Alcune strutture permanenti possono non essere danneggiate dal movimento.	> 16 mm/anno	$5 \cdot 10^{-10}$
1	Estremamente lenta	Impercettibile senza strumenti di monitoraggio. Costruzioni di edifici possibile con precauzioni.	< 16 mm/anno	

Figura 11: Classificazione della velocità di una frana secondo Cruden & Varnes, 1996, con integrazione dei danni osservabili in analogia con la scala Mercalli delle intensità dei terremoti (Calvello, 2013).

2.2 - Fenomeni di caduta massi

Con il termine “caduta massi” si intende quel fenomeno di distacco e successivo movimento verso valle di uno o più elementi lapidei di dimensione variabile da una parete rocciosa o da un pendio a pendenza elevata. La Norma UNI 11211: 2018 definisce la caduta massi come il crollo di elementi lapidei solitamente isolati e con dimensione compresa tra 0.02 m^3 fino a 5 m^3 che, muovendosi sul versante, sono in grado di raggiungere velocità sino a 20-30 m/s. Tali velocità comportano importanti energie cinetiche in gioco del materiale lapideo. Tuttavia, si sottolinea che in letteratura sono presenti esempi di crolli di blocchi indipendenti con volumetria più elevata rispetto al range riportato.

Le tipologie di distacco relative al fenomeno di caduta massi che possono presentarsi in natura sono differenti (Figura 12).

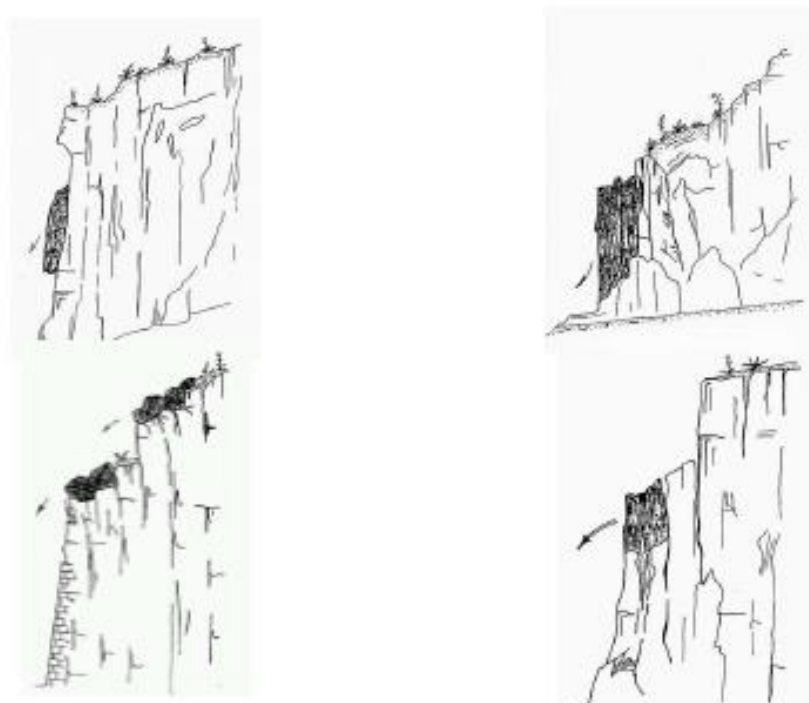


Figura 12: Esempi di tipologie di distacco dei fenomeni di caduta massi.

Normalmente, si tende a rappresentare i cinatismi di instabilità come uno scivolamento planare, uno scivolamento a cuneo o un ribaltamento.

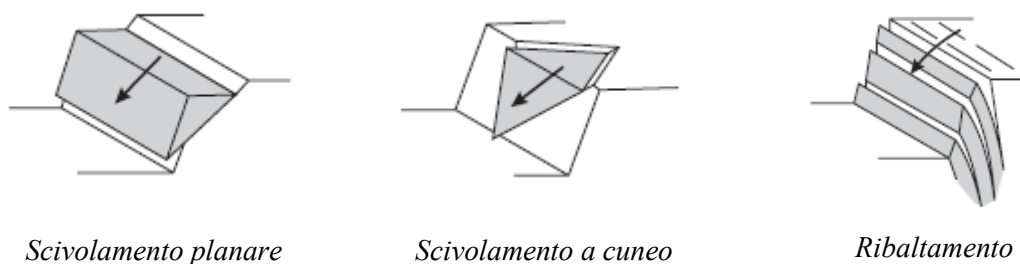


Figura 13: rappresentazione dei cinatismi di instabilità dei fenomeni di caduta massi (Wyllie & Mah, 1974).

In maniera generale, infatti, il distacco di elementi lapidei dipende fortemente da quelle che sono le caratteristiche dei vari set di discontinuità che caratterizzano un ammasso roccioso (e.g. spaziatura, persistenza, dip direction, inclinazione, etc.) oltre che dalle relative caratteristiche geo-meccaniche. I test secondo i quali è possibile individuare le discontinuità (quali piani di scistosità in rocce metamorfiche, piani di faglia, fessurazione, etc.) che potenzialmente possono dar vita a fenomeni di scivolamento planare, a cuneo o a ribaltamento sono i test di Markland (1972). Con riferimento alla Figura 14.a, viene riportato un ammasso roccioso con tre famiglie di discontinuità.

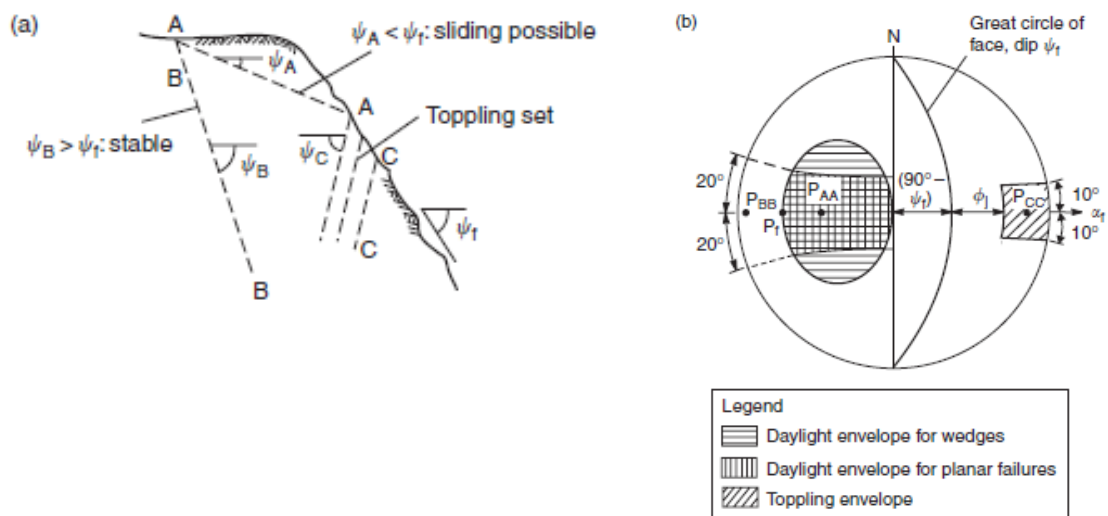


Figura 14: (N.B. con "daylight" si intende una discontinuità che ha una direzione di inclinazione che interseca il versante) (Wyllie & Mah, 1974).

Il cinematismo di un blocco che si distacca è funzione della direzione di immersione (*dip direction*) e della direzione di inclinazione (*dip inclination*). Considerando il piano AA, una delle condizioni per cui si può verificare uno scivolamento planare è che l'inclinazione della discontinuità φ_A deve risultare contemporaneamente minore di quella del pendio φ_f e maggiore dell'angolo di attrito della roccia. Dunque, è già possibile concludere che un caso in cui non è mai verificabile uno scivolamento planare è quello relativo al set di discontinuità BB in Figura 14.a, dato che quest'ultimo presenta una inclinazione φ_B maggiore di φ_f . In aggiunta, la superficie di scivolamento dovrebbe avere superfici di rilascio laterali. La seconda condizione per uno scivolamento planare riguarda l'immersione della discontinuità α_A , la quale deve risultare compresa in un range di $\pm 20^\circ$ rispetto a quella del pendio α_f (Wyllie & Mah, 1974). Ciò significa che una condizione per la quale $|\alpha_A - \alpha_f| > 20^\circ$ implica una stabilità del blocco dato che in queste condizioni ci sarà uno spessore crescente di roccia intatta ad una estremità del blocco che avrà una resistenza sufficiente a resistere al cedimento (Wyllie & Mah, 1974). I poli della superficie inclinata del pendio e delle famiglie di discontinuità (indicati col simbolo P) possono essere riportati in una proiezione

stereografica (Figura 14.b). In tale modo, si delinea una porzione d'area chiamata "daylight envelope", che può essere usata per identificare velocemente i blocchi potenzialmente instabili e soggetti ad una delle tre tipologie di cinematismi citati (Wyllie & Mah, 1974).

Le condizioni per le quali si può avere un ribaltamento consistono, invece, in superfici di discontinuità planari e parallele tra loro, che immergono a reggipoggio rispetto al versante, la cui direzione di immersione dei blocchi o colonne, dati dall'intersezione delle famiglie di discontinuità, deve essere approssimativamente parallela a quella del versante (range di $\pm 20^\circ$). In aggiunta, vi deve essere la presenza di un set di superfici di discontinuità che formino la base dei blocchi potenzialmente ribaltabili. Nello stereogramma, l'area di instabilità relativa a fenomeni di ribaltamento si colloca in maniera diametralmente opposta alla regione degli scivolamenti (Figura 14.b)

Infine, l'analisi cinematica degli scivolamenti a cuneo è simile a quella eseguita per gli scivolamenti planari, con l'eccezione che le superfici di scivolamento in tal caso sono due. L'immersione della linea di intersezione tra i due piani che possono formare il cuneo deve essere compresa in un range di $\pm 20^\circ$ rispetto all'immersione del fronte, e la relativa inclinazione minore di quella del fronte. In aggiunta, l'inclinazione della linea di intersezione deve essere maggiore rispetto all'angolo di attrito e deve intersecare il pendio nella parte soprastante o terminare in un giunto di trazione. Per questo motivo, la regione all'interno dello stereogramma (Figura 14.b) risulta più ampia rispetto agli scivolamenti a cuneo (Wyllie & Mah, 1974).

In accordo con il Manuale 39/2006 redatto dall'APAT, le cause innescanti (Figura 15.a) per i fenomeni di caduta massi sono da ricercare in possibili vibrazioni di natura antropica o naturale, nell'incremento delle pressioni idrostatiche all'interno delle fratture o nel peggioramento delle caratteristiche geotecniche dell'ammasso roccioso in corrispondenza della superficie di rottura a causa dell'alterazione da parte degli agenti atmosferici. Inoltre, nell'innescare dei fenomeni di caduta massi influiscono anche le escursioni termiche ed i cicli di gelo e disgelo, in cui il congelamento dell'acqua all'interno delle discontinuità ne comporta un aumento di volume e, dunque, il verificarsi di una spinta destabilizzante. Infine, l'apparato radicale presente in sito è in grado di penetrare in profondità all'interno delle discontinuità dell'ammasso roccioso, allargandole ed inducendo un effetto destabilizzante (Figura 15.b).

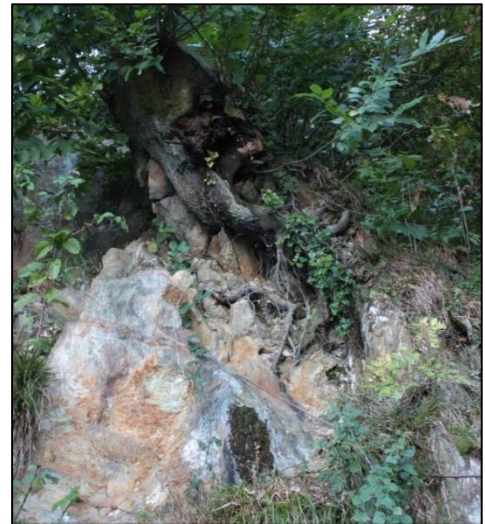
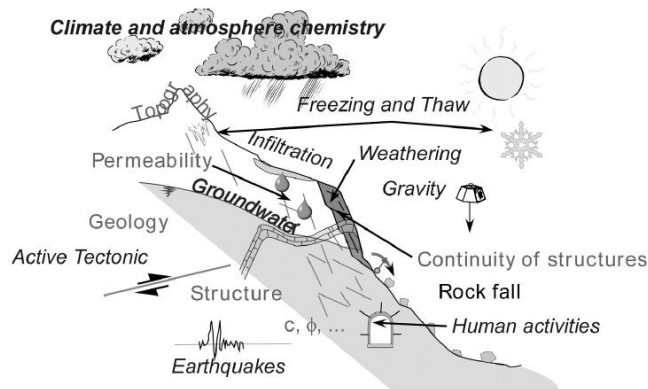


Figura 15: a) Rappresentazione delle cause innescanti di un fenomeno di caduta massi (Volkwein, et al., 2011); b) Esempio dell' interazione dell'apparato radicale con l'ammasso roccioso (Fonte: Caso Studio).

In un caso di crollo, la rottura avviene per taglio o trazione lungo i piani di discontinuità preesistenti dell'ammasso roccioso con spostamento quasi nullo o trascurabile nelle fasi iniziali (Oliveto, et al., 2017). Nella fase post-rottura, la cinematica del blocco evolve, anche per più cicli in funzione della morfologia del territorio, per caduta libera (*free fall*), successivo impatto-rimbalzo (*rebound*) e rotolamento (*rolling*) e/o scivolamento (*slipping*) lungo il pendio (Figura 16).

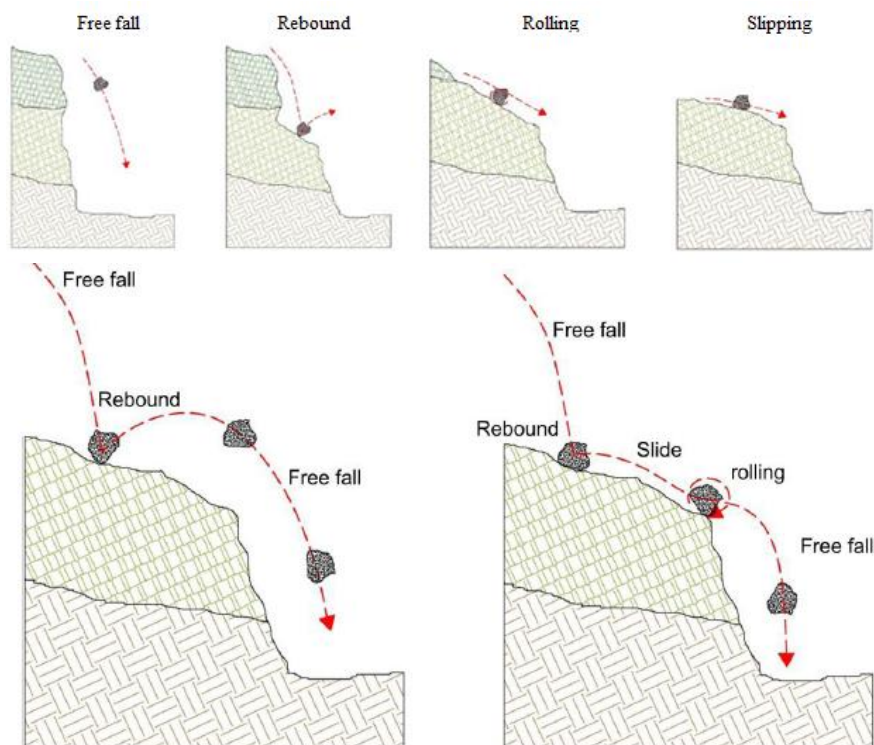


Figura 16: Cinematismo della caduta massi (Robles, et al., 2016).

La fase di caduta libera, tipica dei fenomeni di caduta massi, è quella fase in cui l'energia potenziale dell'elemento lapideo si trasforma in energia cinetica con movimento lungo traiettorie paraboliche. Al momento dell'impatto con la formazione sottostante, il masso dissipa gran parte della sua energia cinetica, se non la totalità, attraverso la sua frantumazione e/o tramite le deformazioni della superficie impattante. Qualora l'energia cinetica venisse totalmente dissipata, l'elemento lapideo si arresterebbe nel punto di impatto senza dar vita ad ulteriori movimenti. Viceversa, dopo il primo impatto ed in versanti che morfologicamente presentano acclività adeguate, l'elemento lapideo continua la discesa compiendo una o più successioni di salti in aria, mentre al di sotto dei 45° il movimento assume una maggior aderenza alla superficie, tramutandosi in rotazione (Marotto, 2014). La fase di scivolamento, infine, avviene in pendii a bassa pendenza o in tutte quelle porzioni di versante in cui il moto del masso tende ad arrestarsi grazie alla forza di attrito generata all'interfaccia tra il blocco e la formazione sottostante.

La dimensione ed il numero dei blocchi che possono distaccarsi dipendono, come già accennato in precedenza, dal set di discontinuità che caratterizza l'ammasso roccioso. La nicchia di distacco, dati i cinematismi che sono stati descritti, può essere localizzata ad una distanza considerevole dalla zona di accumulo del materiale franato. Tuttavia, in contesti come scarpate di controripa in roccia senza opere di protezione oppure non adeguatamente protette di un elemento stradale, il cinematismo a cui è soggetto un blocco distaccato è sostanzialmente solo quello di caduta libera, con la zona di distacco quasi contigua a quella di accumulo. A tal proposito, in Figura 101, par. 6.3 si riporta l'evento di crollo relativo a Caso Studio lungo la S.S. 34 occorso durante i vari sopralluoghi effettuati, che ha coinvolto il crollo di blocchi pluridecimetrici con invasione della sede stradale, non comportando vittime a differenza di un precedente evento avvenuto nel medesimo versante.

Capitolo 3 - Opere di protezione da caduta massi

Il fenomeno della caduta massi è molto diffuso nel territorio italiano, in particolar modo nel settore montano, e può interessare differenti elementi a rischio, tra cui per esempio le aree urbanizzate, le vie ferrate o gli elementi stradali. Al fine di mitigare il rischio dovuto a tale tipologia di fenomeno, vengono impiegate opportune opere di difesa che a loro volta si dividono in opere di prevenzione e di protezione (Tabella 4).

Le opere di prevenzione, dette anche interventi di difesa attivi, sono interventi sulle pareti rocciose atti a stabilizzare in posto gli elementi lapidei impedendone il distacco. Le opere di protezione, invece, dette anche interventi di difesa passivi, hanno il compito di intercettare e/o deviare gli elementi lapidei dopo che essi si sono mobilitati.

Oltre alla realizzazione di opere di difesa, ulteriori possibili interventi per la mitigazione del rischio possono consistere nel monitoraggio oppure, previa analisi costi-benefici, una delocalizzazione dell'elemento a rischio (e.g. strada, edificio, etc.) in un'area a pericolosità minore. 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 (150-200 km/h) del fenomeno può rendere del tutto inefficace la messa in opera di qualsiasi strumentazione d'allarme (Oliveto, et al., 2017).

Tabella 4: Principali interventi di difesa attivi e passivi per la riduzione del rischio (Peila & Oreste, 2001), (Peila, 2017).

Principali tipologie di interventi			Breve descrizione (vantaggi e/o svantaggi)
INTERVENTI DI PREVENZIONE	Modifica della geometria del versante	Interventi di profilatura di un versante	Interventi che riducono le forze instabilizzanti agenti a valle di un'adeguata analisi di stabilità per la verifica dell'effettivo incremento del fattore di sicurezza
		Disgaggio e conseguente rimozione, a mano o con abbattimento meccanico, di elementi lapidei instabili	Si tratta di interventi a carattere provvisorio, con esigenza di personale qualificato e difficile quantificazione dei costi, delle tempistiche e del <i>modus operandi</i> di distacco.
		Abbattimento con esplosivo o con agenti non esplosivi	Fornisce la possibilità di intervento in aree disagiate e su blocchi di notevole volumetria, rapidi e con costi contenuti. Ciononostante, la progettazione di una volata può essere a volte complessa, possono sussistere vincoli territoriali (quali viabilità alternativa, ecc.), eventuali fenomeni di vibrazioni e/o proiezioni di elementi lapidei e possibilità di una condizione di stabilità post intervento migliore di quella iniziale

	Principali tipologie di interventi		Breve descrizione (vantaggi e/o svantaggi)
INTERVENTI DI PREVENZIONE	Modifica delle condizioni piezometriche	Drenaggi superficiali (canaletta di raccolta delle acque, trincee drenanti non profonde)	Permettono di raccogliere ed allontanare le acque ruscellanti che interesserebbero la zona di cresta, impedendone l'infiltrazione.
		Drenaggi profondi (paratie drenanti, dreni suborizzontali, pozzi drenanti, gallerie drenanti)	Opere che permettono una riduzione delle pressioni neutre a vantaggio di quelle efficaci. Alcuni di esse hanno un costo contenuto (e.g. pozzi, dreni suborizzontali), altri più elevati (e.g. galleria drenante)
	Modifica della resistenza meccanica dell'ammasso roccioso e/o applicazione di forze stabilizzanti	Consistono in interventi quali: tiranti (attivi o pretesi), bulloni, chiodatura, legature, iniezioni, spritz-beton, contrafforti in cls.	In linea generale, la progettazione di tali interventi è relativamente semplice sebbene sia necessario evidenziare le difficoltà legate ai lavori in cui interviene l'edilizia acrobatica. Quest'ultima oltre a comportare particolare attenzione alle modalità operative, limita le capacità operative (e.g. perforazione a mano ridotta rispetto a perforatrice su slitta, etc.).
	Protezione della superficie dell'ammasso roccioso dall'alterazione.	Controllo dell'infiltrazione e del ruscellamento superficiale	Consistono interventi già citati quali realizzazione di sistemi drenanti oppure sistemi di impermeabilizzazione superficiale o rivegetazione (geosintetici).
		Limitazione o impedimento degli effetti delle azioni esterne (e.g. vento, gelo, etc.)	Consistono interventi già citati quali realizzazione spritz-beton oppure impermeabilizzazione o protezione con manto naturale (geosintetici)
		Impedimento di innesco di fenomeni di rottura progressiva	Consistono interventi come reti in aderenza, spritz-beton, geosintetici, etc.
INTERVENTI DI PROTEZIONE	Reti in aderenza (a cortina o rafforzamento corticale)		Si tratta di reti metalliche poste in aderenza al versante.
	Barriere paramassi (rigide, a ridotta deformabilità e ad elevata deformabilità)		Sono opere in grado di assorbire l'energia cinetica di un blocco ed arrestarlo. Negli ultimi anni, grado impiego hanno avuto le barriere paramassi a rete.
	Gallerie artificiali paramassi		Si tratta di gallerie artificiali (a mensola o a sbalzo), con in sommità materiale inerte in grado di dissipare l'energia cinetica di un blocco.
	Trincee e berme intermedie		Consistono in scavi avente lo scopo di intercettare blocchi lapidei, arrestandoli al loro interno.
	Rilevati paramassi (naturale o in terra rinforzata)		Usati per blocchi aventi elevata energia cinetica, sono rilevati perlopiù in terra rinforzata che hanno lo svantaggio di un ingombro territoriale notevole.

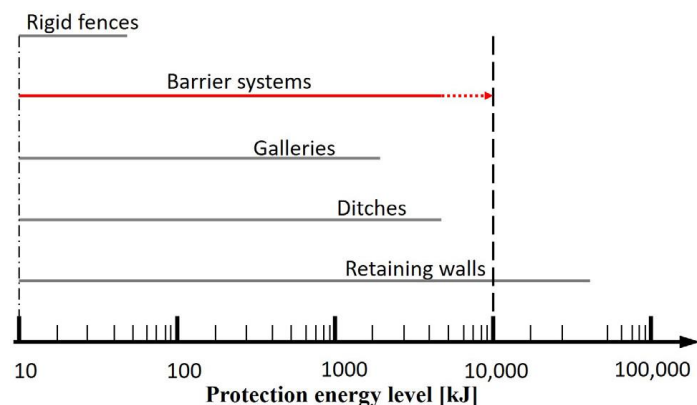


Figura 17: Capacità energetica di assorbimento delle più comuni opere di protezione contro la caduta massi (Xu, et al., 2018, modifica da Volkwein & Gerber, 2011)

In Figura 17 si riportano le capacità energetiche di assorbimento delle più comuni opere di protezione contro la caduta massi (Xu, et al., 2018), in cui è possibile osservare che, allo stato attuale, in commercio esistono barriere paramassi in grado di contenere energie sino a 10.000 kJ. Tale grafico aggiorna quello redatto da Volkwein & Gerber nel 2011 sotto il punto di vista energetico. Inoltre, occorre evidenziare che, a livello terminologico, l'espressione "retaining walls" indica ciò che nel 2011 veniva definito come "re-inforced earth dams", cioè rilevati in terra rinforzata, che rimangono le soluzioni progettuali che garantiscono le più alte capacità energetiche a discapito di un ingombro territoriale notevole.

Con riferimento alla Tabella 4 e nel caso particolare in cui gli elementi a rischio risultano essere elementi stradali, nel seguente elaborato vengono studiati nel dettaglio gli aspetti relativi alle due principali tipologie di opere di difesa passiva più usate nell'ambito della protezione delle strade: barriere paramassi e reti in aderenza (rispettivamente par. 3.2 e par. 3.3), tralasciandone gli aspetti di dimensionamento e focalizzandosi sugli singoli elementi costituenti e sulla relativa durabilità e manutenzione.

Premesso che le barriere paramassi e le reti in aderenza vengono spesso utilizzate in maniera combinata, nella realtà operativa la scelta della soluzione più adeguata dipende da vari fattori, tra cui: morfologia del pendio, tipologia del dissesto e magnitudo dell'evento di progetto, frequenza dei fenomeni di instabilità (con valutazione della possibilità di effettuare disaggi), tempi di esecuzione dei lavori, accessibilità (impiego elicottero, taglio della vegetazione, strade di accesso, etc.), sicurezza degli operatori, costi dell'intervento e costi di manutenzione (Cardinali, 2016). La scelta della tipologia, della tecnologia e del posizionamento più adeguati è spesso funzione della morfologia del pendio (Figura 18).

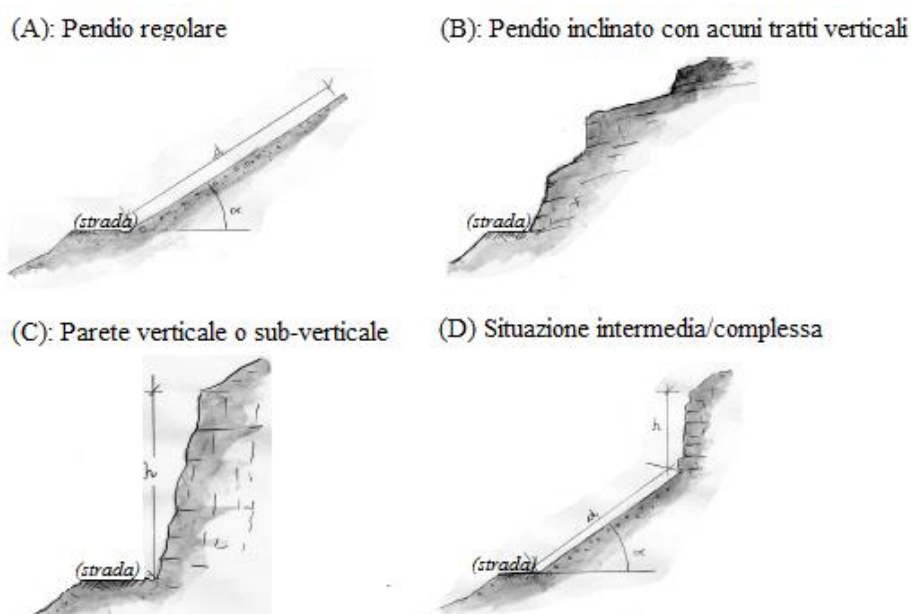


Figura 18: Rappresentazione delle più comuni morfologie di pendio riscontrabili in natura (Cardinali, 2016).

In Figura 18 si riportano le più comuni morfologie di versante che si possono trovare in natura. In maniera generale e con riferimento soltanto alle due tipologie di soluzioni considerate nel seguente elaborato, il rischio in un pendio con uno sviluppo pressoché regolare (caso A) può essere mitigato con la posa in opera di barriere paramassi. Più allineamenti di barriere paramassi risultano essere idonee anche per il caso C dove, dietro accurate analisi traiettografiche per valutare la corretta posizione, si opta spesso per un allineamento al piede del versante ed un in prossimità dell'elemento stradale. La distanza di una barriera paramassi dal piano stradale è funzione della deformata massima verso valle valutata con test di impatto in vera grandezza (par. 3.2.3.1). Una rete in aderenza, con eventuale barriera paramassi sul ciglio scarpata, è la soluzione ottimale in casi in cui la parete è verticale o sub-verticale. Infine, in morfologie più complesse come nel caso (B), l'uso combinato di barriere sulla cresta superiore e reti sulla scarpata di controripa risulta indispensabile.

3.1 - Inquadramento normativo delle barriere paramassi e delle reti in aderenza

Con riferimento al Decreto Ministeriale 17/01/2018 (Norme Tecniche per le Costruzioni 2018), le barriere paramassi e le reti in aderenza vengono inquadrate come opere strutturali all'interno del Capitolo 11 N.T.C. 2018. Nel dettaglio, nel cap. 11, par. 11.1 del D.M 17/01/2018 sono definiti i materiali e prodotti per uso strutturale come *quelli che consentono ad un'opera, ove questi sono incorporati permanentemente, di soddisfare in maniera prioritaria il requisito di base delle opere n.1 "Resistenza meccanica e stabilità" di cui all'Allegato 1 del Regolamento EU 305/2011* (Regolamento dei prodotti da costruzione, in breve CPR: Construction Products Regulation, in vigore dal 2013). Tale requisito di base prevede che le opere di costruzione, nel complesso e nelle loro singole parti, devono essere in grado, quando sottoposti ai carichi stabiliti per l'uso a cui sono destinati e tenendo conto dell'ordinaria manutenzione, di resistere al crollo, totale o parziale, della costruzione, di non presentare gravi ed inammissibili deformazioni e danni altre parti dell'opera e di non comportare danni accidentali non proporzionati alla causa che li ha provocati. I Regolamenti dell'UE sono leggi sovranazionali che entrano in vigore in tutti gli Stati Membri dell'Unione senza bisogno di un recepimento nazionale (Malvisi, 2017) e, nello specifico, il Regolamento 305/2011 (che ha abrogato la Direttiva 89/106/CEE) *fissa le condizioni per l'immissione o la messa a disposizione sul mercato di prodotti da costruzione* (cioè quei prodotti o kit fabbricati in serie e messi sul mercato), *stabilendo disposizioni armonizzate per la descrizione della prestazione di tali prodotti in relazione loro caratteristiche*

essenziali e per l'uso della marcatura CE sui prodotti in questione (art. 1, Regolamento EU 305/2011).

In accordo con il par. 11.1 delle N.T.C. 2018, i materiali ed i prodotti per uso strutturale devono essere identificati e qualificati da parte del fabbricante dell'opera ed accettati in cantiere dal Direttore dei Lavori previa acquisizione e verifica della relativa documentazione. Relativamente alla identificazione e qualificazione, possono sussistere i seguenti casi (Tabella 5):

- a) Laddove per l'uso strutturale previsto dell'opera esista una norma europea armonizzata (norma sviluppata dagli Organismi di Normazione Europei, per esempio il CEN, in cui viene descritto come verificare i requisiti essenziali di una Direttiva o Regolamento), pubblicata nella GUUE (Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee), tale opera deve presentare obbligatoriamente una marcatura CE e deve essere accompagnata da una DoP (Dichiarazione di Prestazione). La Dichiarazione di Prestazione, che ha sostituito la vecchia Dichiarazione di Conformità, è un documento emesso all'atto di immissione sul mercato dal fabbricante che contiene, tra le varie informazioni, quelle relative al tipo di utilizzo ed alle caratteristiche prestazionali dell'opera di cui se ne assume le responsabilità.
- b) I materiali e prodotti d'uso strutturale non presentano nessuna norma armonizzata ma una qualificazione tramite le modalità e procedure riportate nelle norme N.T.C. 2018.
- c) I materiali e prodotti d'uso strutturale non ricadono nelle casistiche di cui ai due punti precedenti. In questo caso il fabbricante potrà:
 - provvedere alla marcatura CE del proprio prodotto tramite acquisizione della “Valutazione Tecnica Europea” (ETA: European Technical Assessment), rilasciata da un Organismo per la Valutazione Tecnica (TAB: Technical Assessment Body), su richiesta volontaria di un fabbricante (art. 26, Regolamento 305/2011);
 - provvedere all'ottenimento di un “Certificato di Valutazione Tecnica” (CVT, che ha sostituito il vecchio Certificato di Idoneità Tecnica) rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (C.S.LL.PP.), previa istruttoria del Servizio Tecnico Centrale (STC), anche sulla base di Linee Guida approvate dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (cap. 11, par. 11.1, N.T.C. 2018).

La “Valutazione Tecnica Europea” (ETA) è documento di natura volontaria che contiene le prestazioni di un prodotto da costruzione. Essa serve come base per la marcatura CE e per la Dichiarazione di Prestazione (DoP) e si rilascia nel momento in cui, in assenza di standard armonizzati, sono disponibili come riferimento o un Documento per la Valutazione Europea (EAD: European Assessment Document), cioè un documento dei metodi e criteri per la valutazione delle prestazioni in relazione ai requisiti essenziali, oppure una Linea Guida per l’Approvazione Tecnica Europea (ETAG: European Technical Approval Guideline, documento presente già nella vecchia Direttiva 89/106/CEE, oggi abrogata, che non è stato ritirato e che viene usato come EAD fino ad un eventuale aggiornamento). Infatti, secondo l’art. 66 del Regolamento Europeo 305/2011 gli ETAG possono essere utilizzati dai TAB come EAD per l’emissione di ETA. Una volta rilasciata l’ETA, il fabbricante può redigere una DoP e, in accordo con l’art. 8, comma 3 del Regolamento UE 305/2011, porre la marcatura CE.

Tabella 5: Tabella riepilogativa delle possibilità, obbligatorie o volontarie, di qualificazione di un prodotto.

Riferimenti	Breve descrizione
<i>a) Norma Europea Armonizzata</i>	Obbligatorietà della marcatura CE in base alle prescrizioni riportate nelle norme armonizzate.
<i>b) Procedure riportate nelle NTC2018</i>	Rilascio di un Attestato di Qualificazione.
<i>c) Procedure di qualificazione volontarie per i prodotti non ricadenti nei punti a) e b).</i>	Rilascio della marcatura CE dietro emissione di un ETA rilasciato sulla base di un EAD o ETAG.
	Rilascio di una CVT da parte del C.S.LL.PP previa istruttoria STC, anche sulla base di Linee Guida approvate dal C.S.LL.PP.

Riepilogando, la marcatura CE è obbligatoria (percorso CEN) per la maggior parte dei prodotti da costruzioni per poterli commercializzare all’interno dell’UE. Per stabilire se tale marcatura CE è obbligatoria per un prodotto, è necessario consultare la Gazzetta Ufficiale dell’Unione Europea (GUUE), ricercare la pubblicazione più aggiornata dei titoli e dei riferimenti delle norme armonizzate ivi pubblicate e valutare se il prodotto in analisi rientri nel campo di applicazione di tale norma. Qualora il prodotto non rientrasse sotto le prescrizioni di una norma armonizzata, la marcatura CE non è obbligatoria ma di tipo volontario per il fabbricante (percorso EOTA). Il modus operandi in questo caso prevede la verifica dell’esistenza di una EAD o ETAG a cui rifarsi per la certificazione di un prodotto.

In conclusione, nelle NTC 2018 le barriere paramassi rientrano tra i materiali per uso strutturale per cui, fino al luglio 2018, era previsto il possesso della Marcatura CE in conformità alla procedura ETAG027. Sulla base del Regolamento UE 305/2011 sui prodotti per le costruzioni, l’EOTA ha trasformato, nel luglio 2018, l’ETAG027 (facente parte della

vecchia Direttiva, oggi abrogata, 89/106/CEE) nell'EAD 340059-00-0106. Quest'ultima predispone i requisiti e le condizioni per l'ottenimento dell'ETA che serve a verificare la prestazione di una barriera paramassi.

I pannelli di rete in fune d'acciaio, invece, vengono certificate in conformità alla procedura contenuta nell'EAD 230005-00-0106 per l'ottenimento dell'ETA. Tale EAD richiama al suo interno le prove dettate dalla ISO 17746 che, a sua volta, riprendono quelle all'interno della UNI 11437.

Relativamente alle reti a doppia torsione, nel 2013 sono state pubblicate “*Linee Guida per la certificazione tecnica all'impiego e l'utilizzo di prodotti in rete metallica a doppia torsione*” che, in unione con la Norma UNI 11437:2012, permettono di certificare l'opera. A tal proposito, con la nota n. 3703 del 2017 del Presidente del C.S.LL.PP. si precisa che è consentito l'uso di reti a doppia torsione con finalità strutturali anche se si è in possesso dell'adeguata marcatura CE che faccia riferimento ad un ETA rilasciato sulla base di un EAD. Nello specifico, l'EAD in analisi è identificato col codice EAD 230008-00-0106.

Tabella 6: Riferimenti per la qualificazione delle barriere paramassi e reti in aderenza.

<i>Opera di protezione</i>	<i>Normativa di riferimento per la qualificazione</i>
Barriera paramassi a rete	EAD 340059-00-0106 (2018)
Pannelli di rete in fune d'acciaio	EAD 230005-00-0106 (2016) + ISO 17746
Pannelli di rete ad anelli	EAD 230004-00-106 (2016)
Rete a doppia torsione	Linee Guida del C.S.LL.PP., con parere n.69 nell'adunanza del 2 luglio 2013, + UNI 11437: 2012 <i>oppure</i> EAD 230008-00-0106 (2016)

3.2 - Barriere paramassi

Le barriere paramassi sono opere di difesa passiva realizzate in genere lungo la base di versanti in roccia instabili e/o in canoloni, dimensionate ed ubicate in modo tale da arrestare blocchi e massi anche di grosse dimensioni e materiale detritico mobilizzato (Manuale APAT, 10/2002). Tali barriere sono strutture progettate ad hoc dai vari fabbricanti al fine di dissipare l'energia cinetica di un masso isolato o di uno sciame di massi che agiscono sull'opera di protezione in condizioni temporali tali da poter essere considerati come un unico evento (UNI 11211-4: 2018). Relativamente alle barriere paramassi a rete (*rockfall net fences*), esse vanno testate con prove in vera grandezza secondo le regole e procedure contenute all'interno dell'EAD 340059-00-0106, che ha sostituito uno dei documenti più importanti nel campo delle barriere paramassi, la Linea Guida ETAG 027. Si sottolinea che l'esecuzione dei test di impatto contenuti nell'EAD restituisce un ETA che conferma che la barriera soddisfa i requisiti essenziali contenuti all'interno del documento (Volkwein, et al., 2019)

In accordo l'EAD 340059-00-0106, una barriera paramassi a rete presenta quattro principali componenti: la struttura di contenimento, la struttura di supporto, gli elementi di connessione e le fondazioni (Figura 19).

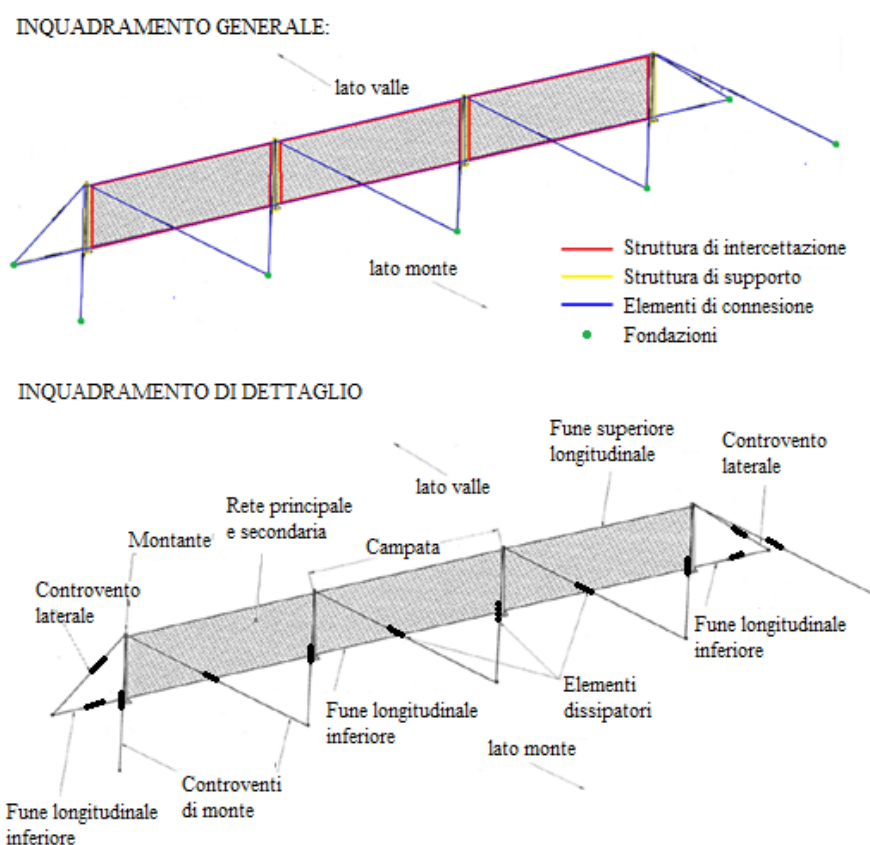


Figura 19: Rappresentazione qualitativa delle componenti di una barriera paramassi secondo l'EAD 340059-00-0106.

3.2.1 - Componenti principali di una barriera paramassi

3.2.1.1 - Struttura di intercettazione

La struttura di intercettazione è costituita da una rete principale ed una rete secondaria. La prima ha il compito di resistere alla maggior parte della forza impulsiva del blocco impattante, la seconda, invece, quello di evitare il passaggio di elementi lapidei di contenute dimensioni. Si sottolinea che la risposta deformativa della struttura di intercettazione, in particolare della rete principale, durante l'impatto è funzione dell'assemblaggio con il quale essa viene inserita nell'opera (Peila, 2017). La funzione della struttura di intercettazione è quella di sostenere l'impatto diretto del blocco, deformarsi in modo elastico e/o plastico, e trasmettere le tensioni alle strutture di connessione e di supporto ed alle fondazioni.

Si riporta, di seguito, un elenco delle principali tipologie di reti principali e reti secondarie presenti in commercio (Figura 20), con una breve descrizione delle stesse:

- *Rete a pannelli di fune*: le reti a pannello di fune sono reti principali in cui le funi spiroidali possono essere giuntate tramite borchie o fili d'acciaio.
- *Rete ad anelli*: le reti ad anelli sono reti principali che si possono suddividere, a loro volta, in due categorie. La prima è definita come rete ad anelli metallici, in cui il singolo anello è costituito da un filo metallico avvolto su sé stesso e fissato con un elemento di giunzione che crea una maglia tramite il collegamento a 4 degli anelli limitrofi. La seconda, invece, è la rete ad anelli parasiluri dove il singolo anello è costituito da una fune spiroidale creando una maglia tramite il collegamento con 4 o 6 anelli limitrofi. Quest'ultima tipologia di rete risulta essere più resistente rispetto alla prima e, dunque, solitamente usata per alte esigenze di assorbimento.
- *Rete spiroidale*: la rete spiroidale è una rete principale costituita da una fune spiroidale che è collegata alle altre tramite singola torsione (maglia romboidale) e che è caratterizzata da fili di diametro contenuto.
- *Rete a pannelli di funi metalliche longitudinali*: tale tipologia di rete è una rete principale tipica di quelle che vengono definite come "barriere travi e funi". In questo caso, la struttura di intercettazione primaria è costituita da funi longitudinali che interessano l'intero stendimento e collegate rigidamente alla struttura di supporto. Esse possono essere ancorate lateralmente oppure giuntate tramite morsetti formando un'asola intorno ai montanti estremi.
- *Rete a singolo filo*: le reti a singolo filo sono utilizzate come reti secondarie. Esse possono essere costituite da un singolo filo a maglia romboidale, attraverso una singola torsione, o a maglia esagonale, attraverso una doppia torsione.



Rete principale: rete ad anelli metallici del tipo parasiluri



Rete principale: rete a pannelli di funi metalliche longitudinali



Rete principale: pannelli di fune con borchie modello HCP



Rete principale: rete ad anelli metallici



Rete principale: rete spiroidale



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



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

Figura 20: Esempi di rete principale e rete secondaria (Fonte: Caso Studio).

3.2.1.2 - Struttura di supporto

La struttura di supporto è costituita da pali, chiamati anche montanti, che hanno funzione di mantenere nella posizione corretta la struttura di intercettazione, con collegamento a quest'ultima del tipo diretto o con elementi di connessione. Tipicamente si tratta di montanti tubolari in acciaio oppure profilati metallici del tipo HE (divisibili in HEA e HEB in funzioni di caratteristiche geometriche del profilo) o IPE, posti a distanza fissa (oggi giorno tipicamente dell'ordine di 10 m) e collegati alla struttura di fondazione tramite incastro, cerniere monodirezionali, cerniere bidirezionali o cerniere sferiche o omnidirezionali (Figura 21). La funzionalità di un vincolo con gradi di libertà rispetto ad una rigida è quella di ridurre il momento flettente agente sull'elemento durante l'impatto (Peila, 2017). L'area delimitata da due montanti viene definita modulo funzionale o campata.

Tipologie di montanti più diffusi:



Montante tubolare ()*



Montante con profilo a doppia T del tipo HE ()*



Montante con profilo a C (passacavo) saldato (tipico di barriere "travi e funi") ()*

Tipologie di collegamento alla fondazione della struttura di supporto:



Cerniera omnidirezionale con giunto brevettato [IPER-EL] ()*



*Piastra di base e cerniera bidirezionale (**)*



*Piastra di base e cerniera monodirezionale (**)*



*Piastra di base con incastro (***)*



*Cerniera sferica (****)*

Figura 21: Esempi di montanti con relative cerniere [Fonte: () Caso Studio; (**) Luciani, 2015; (***) Cargenl, O. nell'ambito del Caso Studio; (****) Chaussod, 2015].*

3.2.1.3 - Componenti di connessione e dissipatori di energia

Con componenti di connessione si intendono di solito cavi metallici disposti trasversalmente e perpendicolarmente alla struttura di intercettazione, come per esempio le funi longitudinali superiore e inferiore che concorrono a sostenere la struttura di intercettazione. Con riferimento alla Figura 22, la quale riporta le componenti di una barriera paramassi ad elevata deformabilità, esse sono le due funi estreme di una campata della barriera che interessano l'intero stendimento orizzontalmente. In aggiunta, sono compresi anche le funi di controvento di monte, di valle e laterali, non sempre presenti in una barriera, i quali hanno il compito di mantenere in posizione i montanti e trasmettere gli sforzi indotti da un eventuale impatto agli elementi di fondazione. Le prime due collegano rispettivamente la testa e la base dei montanti agli ancoraggi di monte e di valle, mentre la terza collega la testa dei montanti estremi alle fondazioni laterali. Generalmente, la fune longitudinale inferiore è assicurata agli ancoraggi laterali mentre quella superiore può, in funzione del modello e casa produttrice di barriere paramassi, essere vincolata in alternativa alla testa degli montanti.

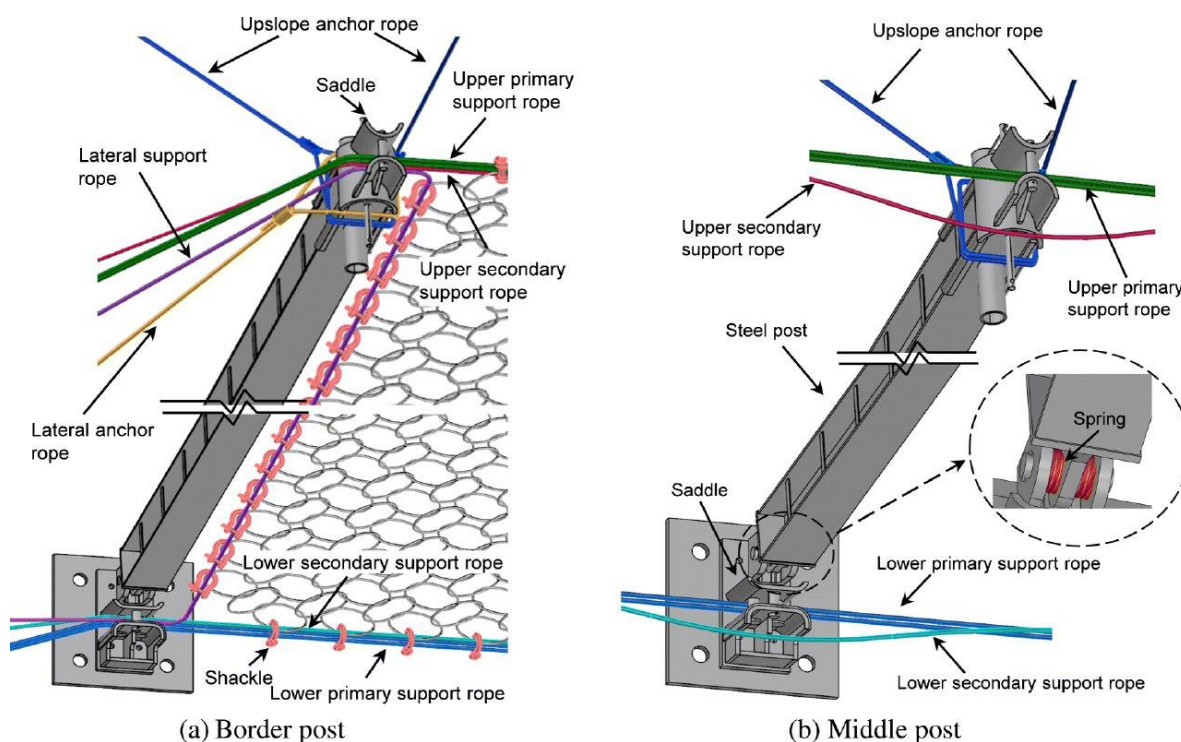


Figura 22: Schema delle componenti di una barriera paramassi ad elevata deformabilità (Yu, et al., 2019).

I collegamenti tra le funi citate, le quali devono essere protette dalla corrosione, vengono effettuati tramite dei grilli, redance, perni, morsetti o altri elementi accessori (Figura 23). Con particolare riferimento ai morsetti, fabbricante di una barriera paramassi è tenuto a dichiararne le caratteristiche quali numero, tipologia, interasse, capo libero della fune, modalità di montaggio e coppia di serraggio all'interno del manuale di installazione, in accordo con quella che la norma UNI EN 13411-5.

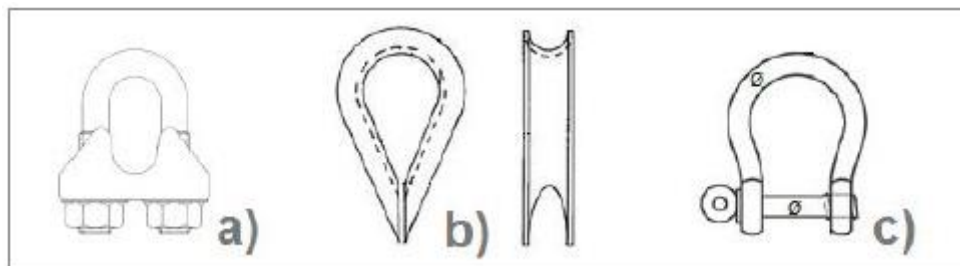


Figura 23: Rappresentazione qualitativa di un morsetto (a), di una redancia (b) e di un grillo (c) (Fonte: Chaussod, 2015)

Le funi in analisi possono presentare elementi che si deformano in maniera controllata, denominati dissipatori di energia o freni, che concorrono alla dissipazione dell'energia del blocco impattante. In maniera generale, i dissipatori di energia possono essere raggruppati in due grandi famiglie: freni a deformazione materiale e freni ad attrito. La classificazione di Costanon-Jano, et al., 2017, nel dettaglio, prevede altre due tipologie che possono essere considerate intermedie. Secondo tale classificazione, in commercio sono presenti quattro tipologie di dissipatori di freni che Costanon-Jano, et al., definisce come segue:

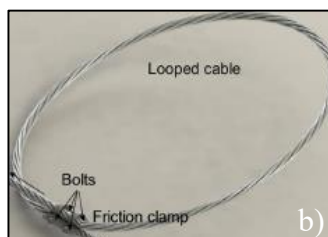
- *Freni per puro attrito*: sono freni che dissipano energia soltanto per attrito. In Figura 24.b si riporta un freno ad anello in cui la fune, dopo aver formato un cerchio su sé stessa, viene giuntata con un morsetto a sezione rettangolare fissato con quattro bulloni. Il freno in Figura 24.m presenta un funzionamento simile a quello appena descritto, con il medesimo morsetto in cui stavolta transitano due differenti funi. Due estremità per lato di tali funi si collegano agli ancoraggi laterali ed al montante, mentre le restanti due estremità sono libere per consentire il processo di frizione fino a una lunghezza limitata (Castanon-Jano, et al., 2017). Lo slittamento della fune di connessione col montante, collegata con un morsetto ad una piastra, è il principio del freno in Figura 24.n. l'estremità non collegata al montante è libera di muoversi. Al fine di garantire la trasmissione della sollecitazione al terreno, la piastra è collegata ad un'altra fune ancorata al suolo. Il freno in Figura 24.o utilizza lo stesso meccanismo di dissipazione di quello appena descritto, sostituendo la connessione fissa della fune nella piastra con un sistema a morsetto-bullone (Peila et al., 1998). In questo modo, sia i cavi provenienti dal palo che l'ancora sono in grado di far scorrere l'energia dissipante. In commercio

- esistono diverse tipologie di freni ad attrito, ognuna più o meno articolata ma con lo stesso principio di dissipazione energetica di base (e.g. Figura 24.d, Figura 24.i)
- *Freni a deformazione materiale*: sono freni che dissipano energia deformandosi in maniera plastica, dunque irreversibile. In commercio esistono molti tipi di freni di questa tipologia, come quello a spirale metallica (Figura 24.j), il quale se sottoposto ad una sollecitazione è soggetto a deformazione.
 - *Freni a parziale rottura*: tale categoria è quella utilizzata di meno nella pratica operativa. Il principio base di dissipazione è il raggiungimento della rottura degli elementi frenati. Nel caso in Figura 24.p, per esempio, il meccanismo di dissipazione consiste in un tubo all'interno del quale sono presenti due funi collegate ad un elemento tagliente. In caso di sollecitazione, le due funi scorrono in senso opposto e trascinano l'elemento tagliente a contatto col tubo, dividendola e, dunque, dissipando energia. Un meccanismo meno articolato è quello in Figura 24.q, dove il dissipatore è costituito da una serie di funi, ognuna più lunga della precedente, collegate in parallelo. La prima fune, che risulta essere la più corta, viene portata a rottura, dissipando dunque energia, nel momento in cui subisce una sollecitazione adeguata a seguito di un impatto. Qualora ciò avvenisse, il carico dell'impatto, ridotto della parte dissipata dal primo cavo, passa al secondo di lunghezza maggiore in un ciclo fino, eventualmente, all'ultima fune presente. Una tipologia di freno che risulta a metà tra uno a pura deformazione ed uno a parziale rottura è quello riportato in Figura 24.k. Tale freno consiste in un disco d'acciaio con una serie di fori a spirale. In caso di impatto, l'acciaio presente tra due fori sarà soggetto a deformazione plastica fino a giungere a rottura (Castanon-Jano, et. al., 2017). Ciò avviene in maniera sequenziale fino al completo allungamento del freno.
 - *Freni ad attrito e deformazione materiale*: tale tipologia può essere considerata la più diffusa sul territorio. Tra quelli riportati in Figura 24, si segnalano i freni tipicamente impiegati dalla Maccaferri e dalla Geobrugg. La prima azienda (Figura 24.g) produce un freno composto da due tubi d'acciaio con due tappi forati alle estremità. Questi due tubi d'acciaio sono attraversati da due funi opposte, le quali sono fissate in corrispondenza dei tappi. In caso di impatto, le due funi comprimono i tubi d'acciaio, deformandoli. La componente d'attrito della dissipazione avviene tra le funi ed i tubi d'acciaio. In Figura 24.f si osserva un tipico dissipatore dell'azienda Geobrugg. Nel dettaglio, la fune viene fatta transitare all'interno di un tubo ad anello che viene fissato in entrambe le estremità da un manicotto in alluminio. In caso di impatto, la fune si muove all'interno dell'anello dissipando energia per attrito e, conseguentemente, i manicotti di alluminio deformano l'anello, comprimendolo.

Tra i freni ad attrito e deformazione materiale più recenti, vi sono quelli della Geobrugg. Si tratta di due barre d'acciaio affiancate (Figura 24.u), o in alternativa una lamiera metallica, che sono piegate attorno a un mandrino, formando un profilo a U. In caso di impatto, le barre passano attraverso il mandrino, dissipando energia per attrito e deformazione e rilasciando la porzione di fune presente all'altra estremità.



UMM: freno a deformazione materiale (*)



AG-Brugg: freno ad attrito (***)



CLIOS: Freno a deformazione materiale + attrito (*)



IGOR-SAFE: freno ad attrito (*)



ARTIGIANA COST: Freno a deformazione materiale + attrito (*)



GEOBRUGG: Freno a deformazione materiale + attrito (**)



MACCAFERRI: Freno a deformazione materiale + attrito (**)



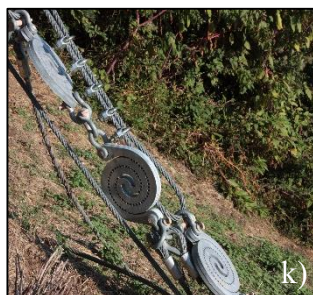
ISOFER-INCOFIL: freni ad attrito (*)



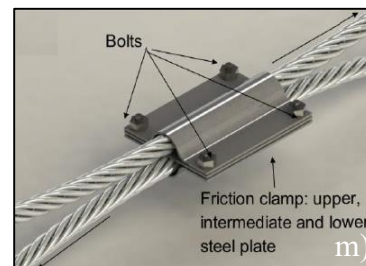
ISO200: freno ad attrito (*)



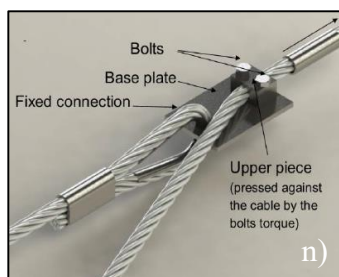
TRUMER: freno a deformazione materiale (*)



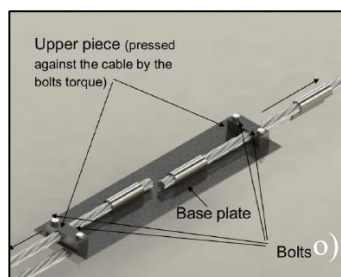
PFEIFER: freno a deformazione materiale (isodisk) (**)



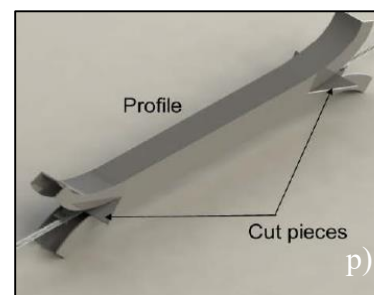
EI (Enterprise Industrielle): freno ad attrito (***)



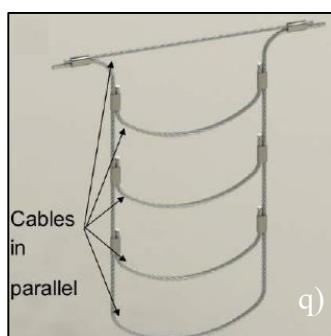
G.T.S.: freno ad attrito (***)



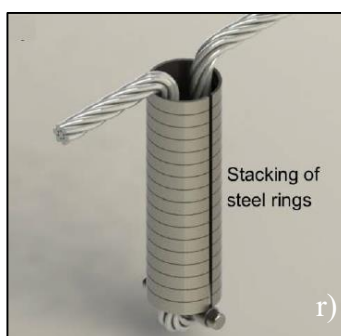
E.L.I.T.E TUBOSIDER: freno ad attrito (***)



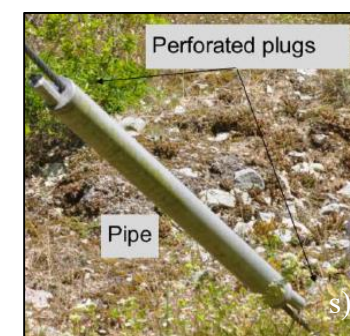
SISYPHE: freno a parziale rottura (***)



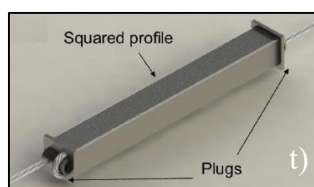
SOL SYSTEMES: freno a parziale rottura (***)



TECNAP SARL: freno a parziale rottura (***)



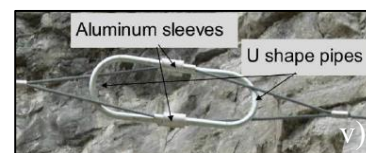
TUBOSIDER: freno ad attrito e deformazione materiale (***)



G.T.S.: freno ad attrito e deformazione materiale (***)



GEOBRUGG: freno ad attrito e deformazione materiale (****)



FATZER AG: freno ad attrito e deformazione materiale (***)

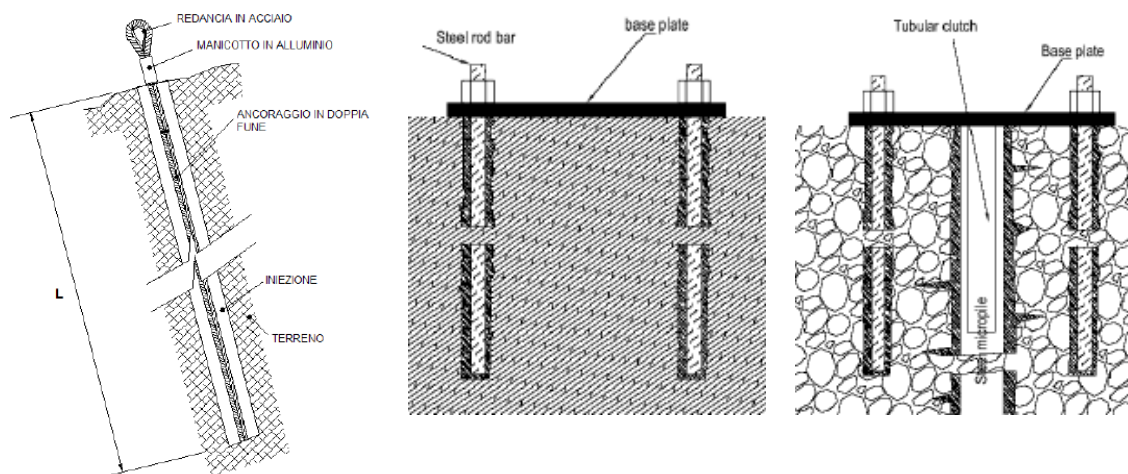
Figura 24: Esempi dei principali dissipatori di energia presenti in commercio, con relative case produttrici in maiuscolo, che possono essere presenti nelle funi di connessione di una barriera paramassi [Fonte (*): www.rockfalldefence.com; Fonte (**): Caso Studio; Fonte (***): Costanon-Jano, et al., 2017; Fonte (****): www.geobrugg.com].

3.2.1.4 - Fondazioni

La funzione delle fondazioni è quella di trasferire al terreno le sollecitazioni derivanti dall'impatto del blocco. L'EAD 340059-00-0106 non fornisce indicazioni di dettaglio su di esse che, dunque, sono delegate al progettista. Quest'ultimo, ad oggi, dimensionerà tali componenti con riferimento alle norme AICAP considerando le forze misurate durante il test MEL, indipendentemente dal fatto che la barriera venga scelta, per esigenze territoriale, usando come parametro il risultato del test SEL (Cardinali, 2016). Entrambi i test citati sono descritti all'interno del par. 3.2.3.1.

La modalità di realizzazione delle fondazioni deve essere opportunamente valutata in funzione delle caratteristiche geotecniche del terreno. Con riferimento alla Figura 25, usualmente nelle barriere paramassi gli ancoraggi di fondazione delle funi di connessione sono spesso realizzate tramite una fune spiroidale con redancia ripiegata in foro e cementata al suo intero, in alternativa, da una barra cementata (chiodo) con golfaro. Le fondazioni dei montanti, invece, possono prevedere la realizzazione di una piastra di base fissata ad un

plinto in calcestruzzo ancorato con tirafondi in acciaio (accompagnati da dadi di serraggio ed elementi copriferro) e, nel caso di una formazione con caratteristiche geotecniche scadenti, con micropalo in acciaio. Si sottolinea che la presenza in un plinto in calcestruzzo non è sempre prevista, specialmente per fondazioni su substrato roccioso con adeguate caratteristiche geomeccaniche. Anche per le fondazioni va posta una particolare attenzione alla protezione contro la corrosione degli elementi metallici resistenti.



Esempio di ancoraggio di fondazione con fune spiroidale con redancia cementata in foro

Esempio fondazione di un montante in roccia: piastra di base + tirafondi

Esempio fondazione di un montante in terreno sciolto: piastra di base + tirafondi + micropalo

Figura 25: Esempi, in sezione laterale, di fondazioni nelle barriere paramassi (Peila, 2017).

3.2.2 - Tipologie di barriere paramassi

Come sottolineato nel par. 3.2, le barriere paramassi sono opere in grado di dissipare l'energia cinetica di un blocco impattante. Dato che la dissipazione di energia si realizza attraverso deformazioni del sistema, le opere di difesa passiva in analisi possono essere definite anche in termini di deformabilità (Oliveto, et al., 2017). Con riferimento alla Figura 26, tutti i tipi di barriere paramassi possono comunemente essere raggruppati in due classi: quelli appartenenti a classi energetiche elevate, denominate “flessibili”, e quelli classi di bassa energia, chiamare “semi-flessibili” o “semi-rigide” (Peila et al., 2008). Nel momento in cui la deformazione di una barriera semi-flessibile è quasi nulla, essa può essere definita “barriera rigida”.

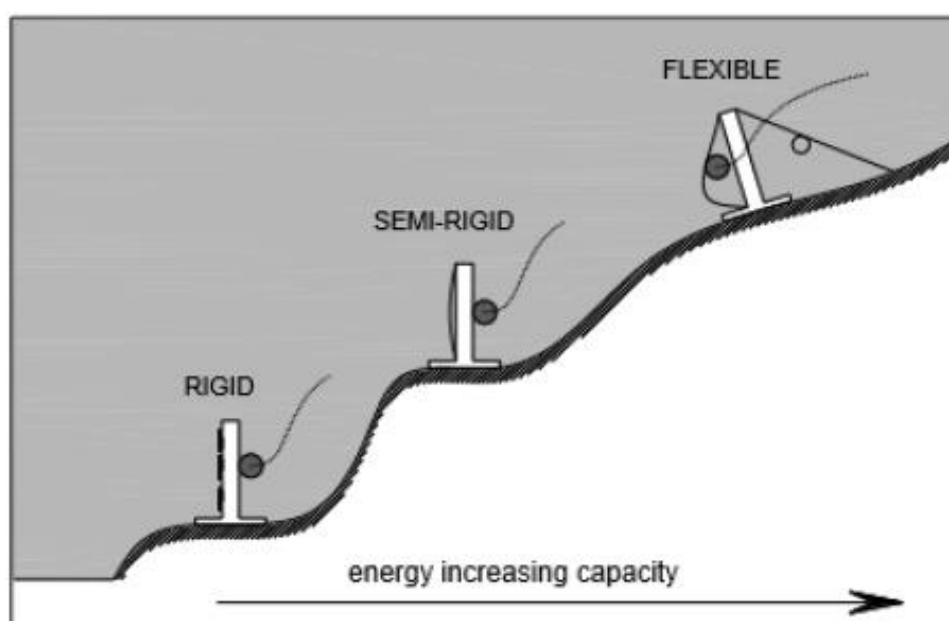


Figura 26: Schema delle rilevanti tipologie di barriere paramassi in cui la capacità di assorbimento è messa in relazione con la capacità deformativa del sistema (Gottardi et al., 2011).

Nel dettaglio, è possibile affermare che tanto più una barriera è deformabile in maniera plastica, tanto più elevata sarà la capacità di assorbimento energetico della stessa.

Le caratteristiche delle tipologie di barriere citate in precedenza sono di seguito riportate:

- *Barriere ad elevata deformabilità (flessibili)*: le barriere ad elevata deformabilità (Figura 27 e Figura 28) sono in grado di dissipare notevoli quantità di energie (Figura 17), da centinaia di kJ fino anche a 10.000 kJ (barriera presente in commercio), mediante grandi deformazioni plastiche, dunque permanenti, del sistema (Gottardi et al, 2011). In tale tipologia di barriera, la struttura di intercettazione non è collegata in maniera rigida a quella di supporto, bensì è collegata in maniera tale da consentirne uno scorrimento controllato.

Le barriere flessibili sono strutture leggere con elementi altamente resistenti, formati da materiali di alta qualità e durata. 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 (Manuale APAT, 2002). Le barriere paramassi a rete risultano sempre più diffuse negli ultimi anni a discapito delle barriere a ridotta deformabilità e permettono di avere un ridotto impatto ambientale.



Figura 27: Esempio di vari stendimenti di una barriera ad elevata deformabilità tratto dal Caso Studio del seguente elaborato.



Figura 28: Esempio di una barriera ad elevata deformabilità, nel dettaglio barriera IPER-EL in uno stato di completo ammaloramento, tratto dal Caso Studio del seguente elaborato.

- **Barriere a ridotta deformabilità (semi-rigide):** le barriere a ridotte deformabilità hanno una deformazione prevalentemente elastico sotto l'impatto di un blocco ad energia medio-bassa, con la possibilità di alcune deformazioni plastiche (Gottardi et al, 2011). In questa tipologia di barriera, la capacità di assorbimento è dell'ordine di poche centinaia di kJ (Oliveto, et al., 2017). La struttura delle

barriere a ridotta deformabilità (Figura 29 e Figura 30) è simile a quelle flessibili ma con differenze importanti negli elementi costitutivi e nelle relative interconnessioni. Per esempio, relativamente alle “barriere travi e funi”, la rete principale è collegata a quella di supporto senza che vi sia la possibilità di scorrimento.



Figura 29: Esempio di una barriera ad ridotta deformabilità, nel dettaglio “barriera travi e funi”, tratto dal Caso Studio del seguente elaborato.



Figura 30: Esempio di una barriera a ridotta deformabilità, nel dettaglio barriera a pannelli di fune con borchie, tratto dal Caso Studio del seguente elaborato.

- *Barriere rigide:* le barriere rigide presentano una deformazione pressoché nulla sotto l’impatto di un blocco (Figura 31). Le scarse capacità energetiche (Figura 17) di assorbimento hanno portato ad una riduzione del loro utilizzo.



Figura 31: Esempio di una barriera rigida a protezione sul coronamento di un muro in c.a. (APAT, 2002).

3.2.3 - Certificazione delle barriere paramassi

Nel 2008 è divenuta valida la Linea Guida ETAG 07 (Guideline for European Technical Approval of falling rock protection kits), emanata dall'EOTA (European Organisation for Technical Assessment) e successivamente aggiornata al 2013, redatta nell'ambito dell'attuazione della Direttiva Europea 89/106, (Construction Products Regulation) la quale oggi è abrogata e sostituita dal Regolamento n° 305/2011 dell'EU. Tale Linea Guida aveva con lo scopo di approvare e certificare le barriere paramassi disponibili sul mercato secondo uno standard comune (Volkwein, et al., 2019). Nel 2018, l'ETAG 027 è stata sostituita da un Documento per la Valutazione Tecnica Europea EAD 340059-00-0106.

L'EAD 340059-00-0106 consolida al giorno d'oggi l'innovazione che nell'ambito delle opere di protezione contro la caduta massi l'ETAG027 aveva introdotto uniformando le procedure atte alla certificazione delle barriere paramassi. Il nuovo documento indica, infatti, i requisiti e le procedure delle prove sul campo per l'ottenimento di un ETA. A differenza dell'ETAG 027, dove il vecchio ETA (European Technical Approval) verificava l'idoneità d'uso del prodotto, nell'EAD 340059-00-0106 il nuovo ETA (European Technical Assessment) ne verifica le prestazioni secondo criteri selezionati in conformità a quanto riportato nel Regolamento UE 305/2011 (Werner & Baumann, 2018). Tale ETA serve anche come base per il rilascio di una Dichiarazione di Prestazione (DoP) e della marcatura CE, entrambe a carico del fabbricante (Werner & Baumann, 2018).

Con riferimento a quanto illustrato dal punto di vista normativa all'interno par. 3.1, tale tipologia di documento, seppur di tipo volontaria, delinea di fatto un percorso obbligatorio per ottenere l'accettazione dei materiali in cantiere da parte del Direttore dei Lavori (tramite

controllo del DoP: Dichiarazione di Prestazione). Le stazioni appaltanti devono richiedere, infatti, l'installazione soltanto di barriere marcate CE (Malvisi, 2017).

Risulta importante evidenziare che L'EAD 340059-00-0106, come l'ETAG027, non fornisce indicazioni sulla progettazione di una barriera paramassi, la quale risulta descritta nella norma UNI 11211-4: 2018, bensì definisce una metodologia prestazionale al fine dell'ottenimento di una ETA. In aggiunta, definisce anche i componenti di una barriera (come riportato nel par. 3.2), l'utilizzo previsto e la qualità dei materiali costituenti la barriera, i quali devono essere singolarmente conformi ai relativi standard europei.

Con riferimento alla terminologia riportata nel par. 3.2, la metodologia standard per l'ottenimento dell'ETA consiste in un test di impatto in vera grandezza di un kit minimo di barriera paramassi a rete costituito minimo da 3 moduli funzionali identici (campate) e 4 montanti, il quale deve essere installato dal produttore in conformità al manuale di installazione che egli stesso fornisce all'Organismo di Approvazione, con eventuali componenti aggiuntivi quali controventi e/o freni (Figura 32). Si sottolinea che l'EAD 340059-00-0106 è applicabile a kit con un MEL (vedi par. 3.2.3.1) pari o superiore a 100 kJ.

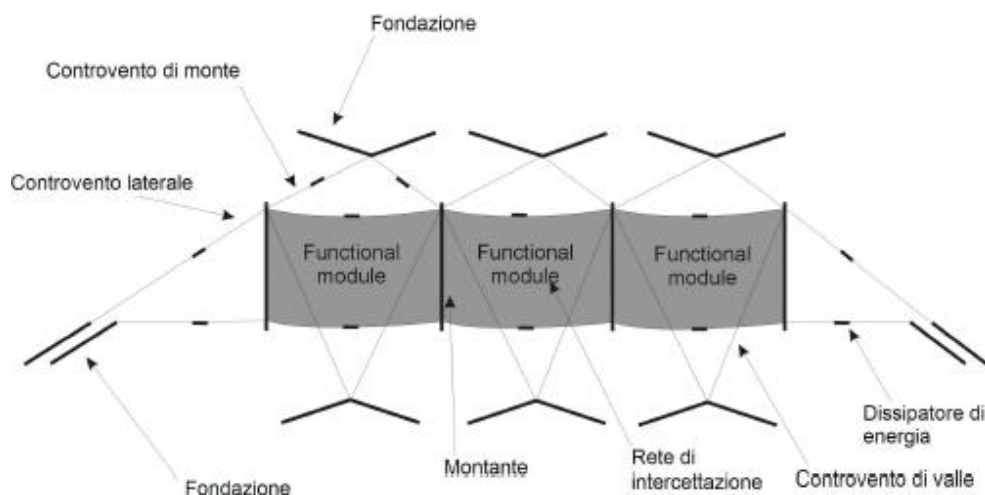


Figura 32: Vista da valle di una barriera paramassi.

L'interasse dei montanti della barriera è a scelta del produttore della stessa e le fondazioni non fanno parte di questo kit ma sono lasciati alla responsabilità del progettista. In aggiunta, qualora la barriera paramassi fosse stata testata senza uno strato addizionale che incrementa l'azione di mitigazione, questo può essere aggiunto in un secondo momento. Al contrario, se è stata rilasciata una ETA con uno strato addizionale, quest'ultimo non può più essere rimosso perché facente parte del kit minimo di prova.

L'altezza della barriera che verrà posta in opera a protezione di un versante non può essere ridotta rispetto all'altezza della barriera testata e non può essere aumentata di oltre 1 metro

per altezza testata maggiore o uguale a 4 metri, e oltre 0.5 metri per altezza testata minore di 4 metri.

Dopo ogni impatto, la barriera deve essere controllata e, eventualmente, mantenuta oppure sostituita.

3.2.3.1 - Requisiti e metodologie per la certificazione CE

Al fine dell'ottenimento della conformità d'uso della barriera paramassi a rete, quest'ultima deve essere in grado di superare i test di impatto le cui metodologie sono riportate all'interno dell'Allegato A dell'EAD 340059-00-0106 per il rilascio della Valutazione Tecnica Europea (ETA).

Dal punto di vista energetico, il sistema assemblato deve essere soggetto a due diversi livelli energetici:

- MEL (*Maximum Energy Level*): il MEL viene definito in modo convenzionale come la massima energia a cui la barriera è in grado di resistere quando sottoposta ad un impatto normalizzato. La definizione di tale livello di energia potrebbe essere fuorviante in quanto definito come “massima” energia. Infatti, l'Ente Certificatore si limita a certificare la barriera paramassi a rete di un produttore in funzione del livello energetico che lo stesso produttore dichiara prima della prova, senza giungere al reale stato limite ultimo di collasso dell'opera. Tale livello, quindi, può essere considerato come il valore di energia di progetto al quale riferirsi nella scelta di una idonea barriera paramassi a rete.
- SEL (*Service Energy Level*): il SEL è un secondo livello energetico che serve a testare la capacità di una barriera paramassi a rete a resistere ad urti successivi.

Il campo prova che si utilizza oggi per testare la capacità energetica di assorbimento di una barriera paramassi a rete è un campo prova a caduta verticale, in cui si dispone di un derrick da cava capace di agganciare e rilasciare il blocco all'interno della barriera (vedasi Figura 33). Il blocco in questione, per norma, è un dodecaedro in calcestruzzo semplice o armato di dimensione massima inferiore a 1/3 dell'altezza nominale della barriera (vedasi Figura 33) e peso specifico dell'ordine di 2500-3000 kg/m³. La forma del blocco è stata scelta al fine di assicurare l'eventuale ripetibilità della prova dato che l'impatto avverrà su una superficie sempre relativamente omogenea.

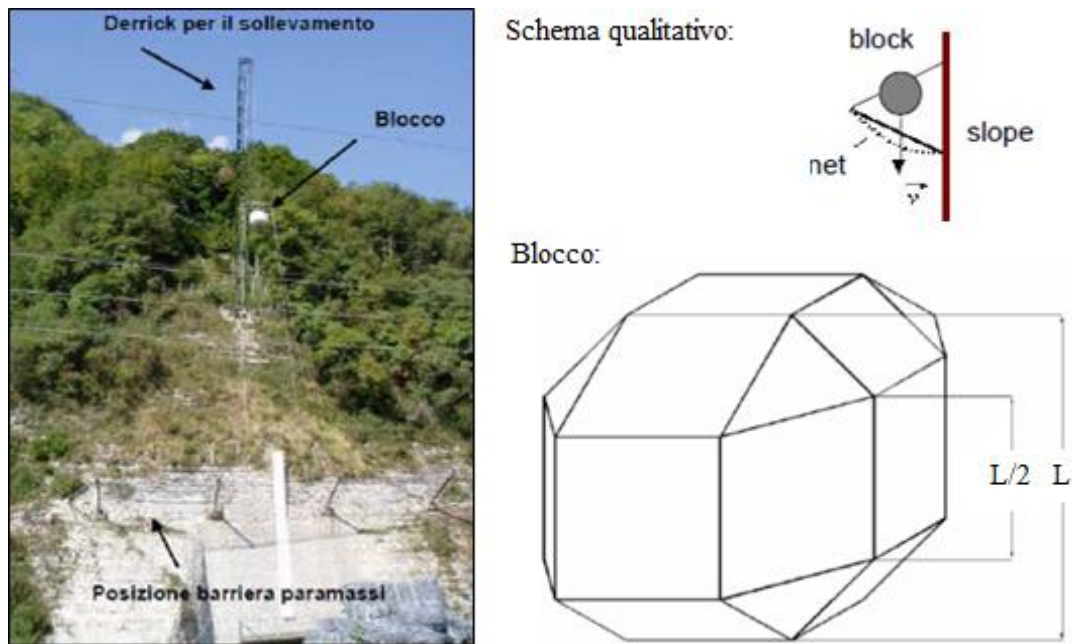


Figura 33: Esempio del campo prove a caduta verticale in località Fonzaso (BL) e dettaglio del dodecaedro impattante (Peila, 2017).

La prova MEL, svolta per stabilire la massima capacità di arresto della barriera, viene eseguita sottoponendo il sistema assemblato ad un unico impatto con un blocco dodecaedrico, con le caratteristiche descritte in precedenza, lasciato precipitare in volo libero ad una velocità non inferiore a 25 m/s. L'impatto avviene in corrispondenza del baricentro geometrico del modulo funzionale centrale, così come riportato in Figura 34, dove con h_n viene indicata l'altezza nominale della barriera, cioè l'altezza misurata perpendicolarmente rispetto al pendio di riferimento consistente nella distanza minima tra la fune superiore e la fune di connessione tra i montanti.

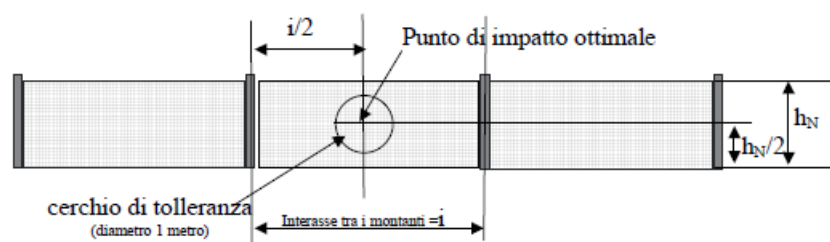


Figura 34: Posizione dell'impatto per il MEL con relativa tolleranza.

La prova MEL risulta superata qualora il blocco venga completamente fermato e non tocchi terra una volta che ha subito l'allungamento massimo, cioè la deformazione verso valle misurata parallelamente al pendio di riferimento. In maniera generale, le barriere elastoplastiche a rete presentano una deformazione massima dello stesso ordine di grandezza dell'altezza della struttura (2 - 8 m). L'allungamento massimo (Figura 35.a) viene misurato attraverso video ad alta velocità (100 FPS o superiore) che consente, inoltre, di ricavare la

velocità del blocco al momento dell'impatto e, dunque, la relativa energia cinetica. Oltre alla misura ed alla dichiarazione della deformazione massima, deve essere anche misurata e dichiarata l'altezza residua h_R della barriera, definita come l'altezza minima tra la fune superiore ed inferiore mirata perpendicolarmente al pendio di riferimento dopo l'esecuzione della prova, senza rimuovere il blocco (Figura 35.b). Relativamente alle forze indotte sulle funi principali del kit durante l'impatto, quest'ultime vengono misurate per tutta la durata del test da celle di carico installate sulle funi stesse e/o sulle fondazioni (il valore di picco del diagramma forza-tempo ottenuto deve essere dichiarato dal fabbricante).

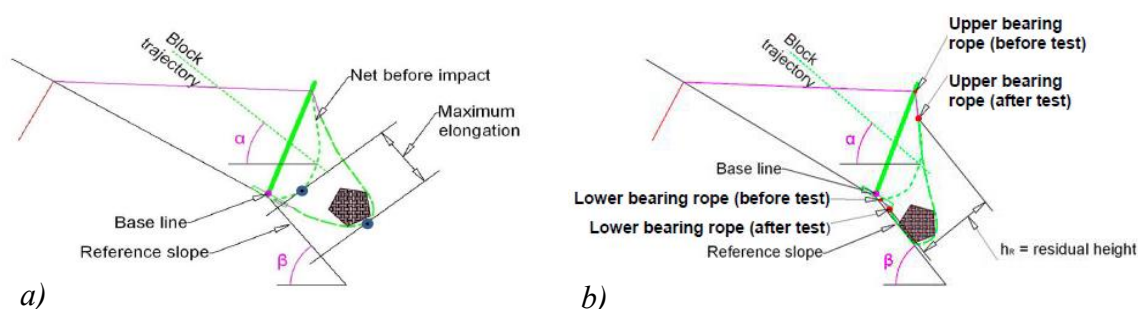
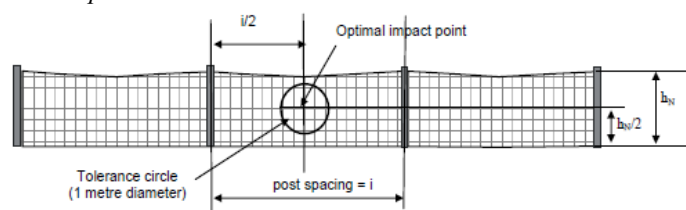


Figura 35: a) allungamento massimo di una barriera paramassi dopo una prova MEL (Fonte: EAD 340059-00-0106);
b) altezza residua di una barriera paramassi dopo una prova MEL (Fonte: EAD 340059-00-0106).

La prova SEL, svolta per verificare la capacità della barriera a sopportare impatti successivi, viene eseguita attraverso due lanci successivi di un medesimo blocco dodecaedrico, con le caratteristiche descritte ad inizio paragrafo, lasciato precipitare in volo libero ad una velocità non inferiore a 25 m/s e con una energia cinetica pari a 1/3 dell'energia MEL dichiarata dal produttore. Tra un impatto ed il successivo non deve avvenire manutenzione dell'opera eccetto la rimozione del blocco, il quale durante il primo urto deve impattare al centro della campata centrale del sistema assemblato e durante il secondo all'interno dell'altezza residua h_R risultante dopo il primo lancio (Figura 36).

Primo impatto:



Secondo impatto:

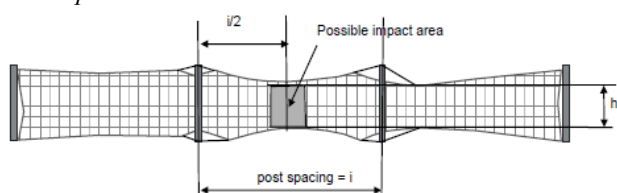


Figura 36: Primo impatto: posizione dell'impatto del blocco per il primo lancio SEL con relativa tolleranza (Fonte: EAD 340059-00-0106); Secondo impatto: area di possibile impatto per il secondo lancio SEL (Fonte: EAD 340059-00-0106).

La prova SEL relativa al primo lancio risulta superata qualora il blocco venga fermato e non tocchi terra quando ha subito l'allungamento massimo. Inoltre, non si devono essere rotture nei montanti e nelle funi, l'altezza residua deve risultare maggiore del 70% dell'altezza nominale e, infine, l'apertura della maglia della rete principale e gli spazi creati tra tale e le funi portanti non devono essere maggiori di due volte la dimensione iniziale della maglia della rete principale. Per il secondo lancio, invece, l'opera deve essere in grado di arrestare il blocco e non portarlo a contatto con il suolo. La prova SEL relativa al secondo lancio, invece, risulta superata quando il blocco viene arrestato e non tocca terra.

In conclusione, sulla base di quanto descritto, l'EAD 340059-00-0106 suddivide in categorie le barriere paramassi a rete in funzione dell'energia, sia MEL che SEL, che esse sono in grado di assorbire Tabella 7. Inoltre, tali opere vengono suddivise in tre categorie in funzione dell'altezza residua dopo la prova MEL Tabella 8.

Tabella 7: Categorie delle barriere paramassi a rete in funzione dei livelli MEL e SEL.

Classificazione energetica delle barriere paramasso									
<i>Classe</i>	0	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>SEL (kJ)</i>	-	85	170	330	500	660	1000	1500	> 1500
<i>MEL (kJ)</i>	100	250	500	1000	1500	2000	3000	4500	> 4500

Tabella 8: Categorie delle barriere paramassi a rete in funzione dell'altezza residua.

Classificazione delle barriere in funzione dell'altezza residua	
<i>Categoria A</i>	$h_r \geq 0.5 h_{nom}$
<i>Categoria B</i>	$0.3 h_{nom} \geq h_r \geq 0.5 h_{nom}$
<i>Categoria C</i>	$h_r \leq 0.3 h_{nom}$
h_r : altezza residua; h_{nom} : altezza nominale	

3.3 - Reti in aderenza

Le reti in aderenza sono opere che frequentemente sono collocate a protezione delle scarpate di controripa di un elemento stradale. Tali opere sono interventi che mirano a controllare o prevenire lo sviluppo di dissesti corticali (Ferraiolo & Giacchetti, 2004). Con “dissesto corticale” si intendono tutti quei fenomeni di distacco di contenuti elementi lapidei (aventi volumetrie generalmente comprese tra 0.01 m^3 e 1.5 m^3) della parte superficiale dei versanti rocciosi. Si tratta di dissesti che interessano la parte dell’ammasso roccioso più fratturata in quanto allentata e soggetta a fenomeni accelerati di degrado (dovuti a ghiaccio, dilatazione termica, azione divaricatrice degli apparati radicali delle piante, scavo meccanico e con esplosivo) e alterazione.

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). I cinematismi di tale spessore raramente possono essere identificati in maniera univoca (crollo, ribaltamento, etc.) e sono spesso considerati come una combinazione di vari cinematismi, che può interessare un singolo elemento lapideo o un insieme (Figura 37).

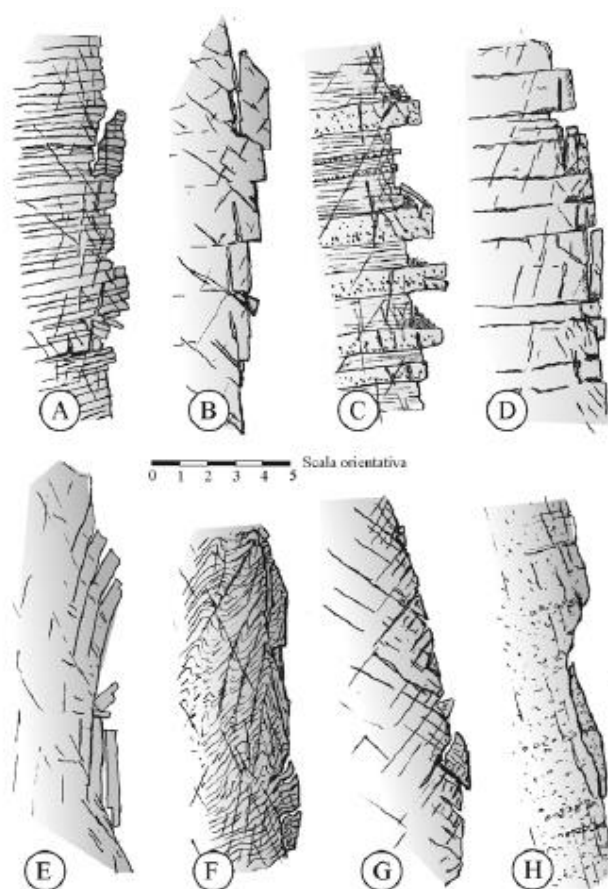


Figura 3.2 - Tipiche situazioni di instabilità corticale. A) Calcari sottilmente stratificati - B) rocce carbonatiche massive - C) Rocce in facies di flysch - D) Rocce carbonatiche stratificate - E) Porfiriti - Scisti - F) rocce filladiche - G) rocce massive intrusive - H) Arenarie, siltiti, conglomerati.

Figura 37: Tipiche situazioni di instabilità corticale (Ferraiolo & Giacchetti, 2004).

Tali opere di difesa, come già introdotto all'inizio del presente paragrafo e come consultabile all'interno della Tabella 4, possono essere classificate sia come interventi attivi, se l'instabilità del blocco è prevenuta, che passivi, qualora gli elementi lapidei rimangano intrappolati tra la rete e la parete rocciosa e, quindi, vengano controllati e guidati alla base del pendio in maniera controllata (Marchelli, et al., 2019).

Le reti in aderenza inglobano due tipologie principali di opere (reti a cortina e reti rinforzate), le quali sono descritte nel dettaglio all'interno del par. 3.3.2 del presente elaborato. In maniera generale, le componenti principali con le quali è possibile suddividere una generica rete in aderenza sono: rete di contenimento, set di funi (funi di sostegno superiore, funi di sostegno al piede, eventuale presenza di funi intermedie e, nel caso di reti rinforzate, funi di rinforzo), elementi di connessione e ancoraggi.

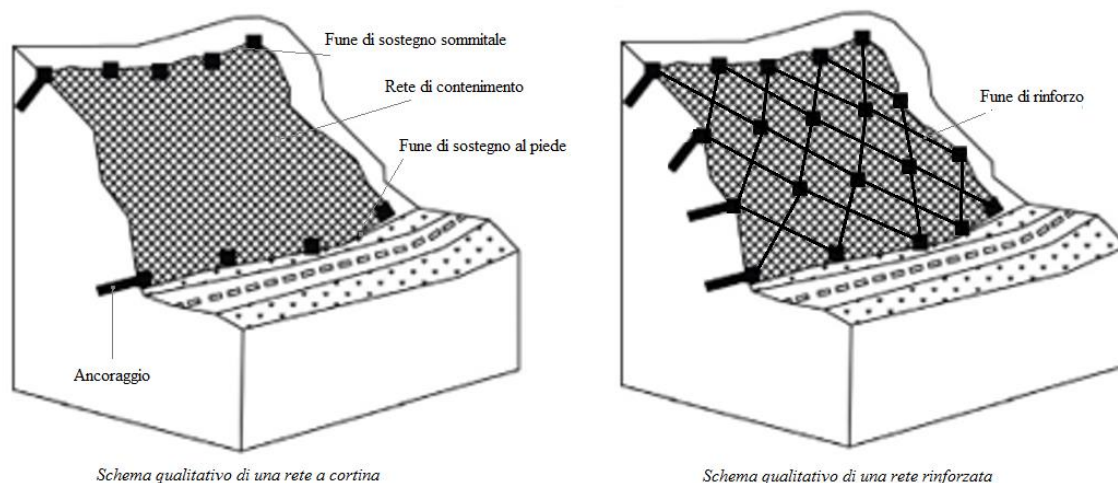


Figura 38: Rappresentazione qualitativa delle tipologie di reti in aderenza.

3.3.1 - Componenti principali di una rete in aderenza

A differenza delle barriere paramassi, la suddivisione proposta nel seguente elaborato delle componenti delle reti in aderenza non deriva da uno specifico riferimento normativo o Linea Guida. Tuttavia, consente di descrivere in maniera organizzata gli elementi che costituiscono l'opera in analisi.

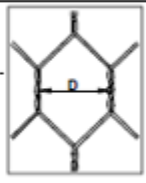
3.3.1.1 - Rete di contenimento

La rete di contenimento è costituita da teli in filo d'acciaio o pannelli di funi metalliche zincati e adeguatamente congiunti l'uno all'altro, protetti contro l'ossidazione e caratterizzati da apertura della maglia, diametro del filo e resistenza dell'acciaio differenti, che permettono livelli prestazionali differenti da rete a rete.

Tra le tipologie utilizzate, si ritrovano (Figura 39):

- *Rete a singolo filo*: le reti a singolo filo sono le più comuni utilizzate in campo. La tipologia maggiormente utilizzata è la rete a singolo filo a maglia esagonale (doppia torsione, Tabella 9) con diametro del filo comunemente compreso tra 2.7 mm e 3 mm (Valfrè, 2017). Il diametro nominale, inteso come la distanza che sussiste tra le doppie torsioni della maglia, in commercio è di solito pari a 60 mm o 80 mm.

Tabella 9: Diametro nominale e tolleranze delle reti a doppia torsione in commercio (Fonte: Linee Guida C.S.LL.PP, 2013)

Diametro "D" nominale (mm)	Denominazione tipologia maglia	Tolleranze (mm)	
60	6x8	Da 0 mm a +8mm	
80	8x10	Da 0 mm a +10 mm	

Una variante è la rete a singolo filo a singola torsione (romboidale). Una delle più recenti innovazioni tecnologiche sul mercato è il cosiddetto “Sistema TECCO”, che consiste nell’abbinamento di una rete a singolo filo a singola torsione (di diametro 2, 3 o 4 mm) con piastre di ripartizione che trasferiscono eventuali sollecitazioni ai chiodi distribuiti per il versante.

- *Pannelli di fune*: le reti a pannelli di fune, analogamente a quanto illustrato per le barriere paramassi, possono essere pannelli di fune d’acciaio oppure di rete ad anelli. Relativamente ai pannelli di fune d’acciaio, questi sono pannelli costituiti da una rete di funi (aventi diametro frequentemente pari a 8mm e 10 mm), di varie dimensioni, in cui i nodi sono fissati attraverso borchie a clip (modello HCP) o in filo d’acciaio (modello SW). Le reti di funi costituiscono delle maglie tipicamente romboidali (generalmente si tratta di pannelli HEA di dimensioni 250x250 mm, 300x300 mm o 400x400 mm). Comunemente l’utilizzo di tali soluzioni è preferito per alte prestazioni per la protezione di versanti rocciosi (Paldino, 2017). Le borchie HCP presentano una media resistenza all’apertura ed alla corrosione con un costo sostenuto, invece quelle SW risultano essere più economiche e con resistenze elevate all’apertura ed alla corrosione (Paldino, 2017). Nel caso dei pannelli ad anelli, invece, possono variare spessore e diametro, rispettivamente del trefolo e degli anelli, ed il numero di anelli concatenati l’uno con l’altro (4 o 6 in analogia alle barriere paramassi). Tali reti sono adatte al contenimento dei distacchi di volumetrie maggiore, dell’ordine del metro cubo (Valfrè, 2017).



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



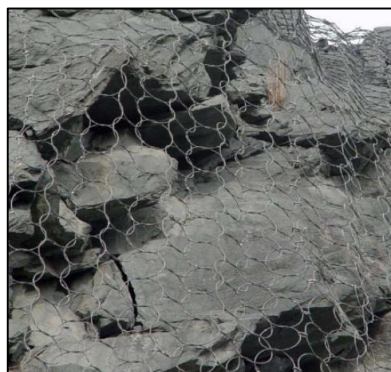
*Sistema TECCO: rete a singolo filo a singola torsione con dettaglio della piastra di ripartizione e del dado di serraggio dell'ancoraggio (**)*



*Rete a pannelli di fune d'acciaio con borchie in filo d'acciaio (modello SW) (**)*



*Rete a pannelli di fune d'acciaio con borchie a clip (modello HCP) (**)*



Pannelli di rete ad anelli ()*

Figura 39: Esempi di tipologie di reti di contenimento [Fonte (): (Valfrè, 2017) ; Fonte (**): Caso Studio].*

Una soluzione progettuale, molto spesso utilizzata, consiste nella combinazione di più tipologie di reti di contenimento, quale per esempio la sovrapposizione tra pannelli di fune con borchie, per il trattenimento di materiale a pezzatura più elevata, e rete a doppia torsione, per il contenimento di elementi lapidei di dimensioni minori.

3.3.1.2 - Set di funi

Le funi che costituiscono le reti in aderenza, così come quelle delle barriere paramassi, sono funi spiroidali in acciaio zincato (di diametro dell'ordine di una decina di millimetri), perlopiù in anima metallica che tessile, costituiti da un numero di trefoli variabile (Figura 40). La fune di sostegno superiore di una rete in aderenza in unione a quella di sostegno al piede, laddove presente, costituiscono le funi principali di una rete a cortina, delimitando la rete a monte e a valle. Specificatamente per i rafforzamenti corticali, questi ultimi presentano anche delle funi di rinforzo della medesima tipologia e caratteristiche.

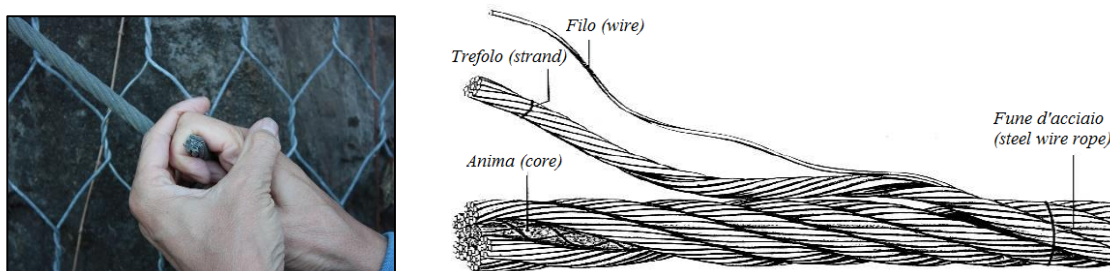


Figura 40: Rappresentazione qualitativa di una fune spiroidale (Fonte: AliotoGroup).

3.3.1.3 - Elementi di connessione

La giunzione tra un pannello di rete ed il successivo, per esempio tra teli di reti a doppia torsione con o senza sovrapposizione, può avvenire tramite nodi costituiti da elementi in filo d'acciaio (avente diametro tipicamente 2.2 mm). Altre soluzioni consistono nell'utilizzo di clip d'acciaio e/o di un filo o di una fune intermedia di giunzione che passa all'interno delle maglie delle reti (Marchelli, et al., 2019).

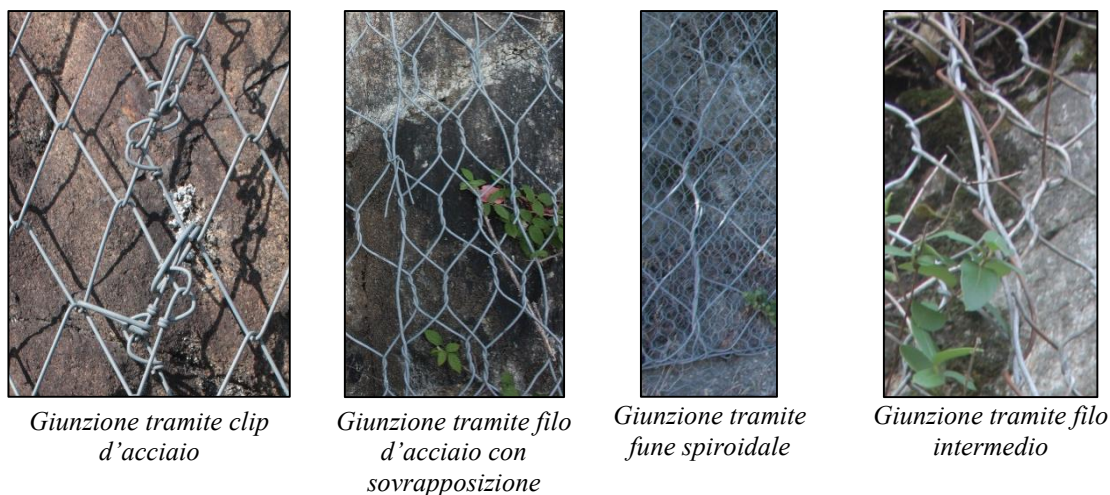


Figura 41: Esempi di giunzione tra pannelli di rete tratti dal Caso Studio del seguente elaborato.

Per quanto riguarda la rete di contenimento, quest'ultima deve risultare ben collegata alle funi di sostegno superiore ed inferiore. Tipicamente ciò avviene risvoltando la rete intorno alle funi citate e/o inserendo elementi di giunzione quali clip o nodi con elementi metallici.

Infine, i morsetti di giunzione (*rope clips*), costituiti da un corpo centrale e da dadi di chiusura, hanno il compito di giuntare e mantenere in tensione le funi spiroidali in una rete a cortina o rinforzata (Marchelli, et al., 2019). Le modalità di giunzione sono riportate sia all'interno del manuale di installazione sia della norma UNI EN 13411-5: 2009.

3.3.1.4 - Ancoraggi

Gli ancoraggi di una rete in aderenza sono solitamente del tipo in barra cementata, con presenza o meno di piastra di ripartizione, o in fune risvoltata in foro e cementata. Tali ancoraggi sono realizzati ad interasse costante in corrispondenza delle funi di sostegno di superiore ed inferiore. Nel caso di rafforzamenti corticali, gli ancoraggi sono anche presenti nell'intero versante, tipicamente in barra cementata, e seguono una maglia quadrangolare o rettangolare ben definita (tipicamente da 3x3 m fino a 5x5 m o superiori). La connessione tra i punti di ancoraggio e le funi spiroidali può variare a seconda del tipo di ancoraggio (Marchelli, et al., 2019). Con riferimento alle barre cementate, infatti, esse possono presentare in testa degli anelli metallici, chiamati golfari, in cui la fune viene fatta passare all'interno, oppure delle piastre bullonate di ancoraggio con dadi in cui la fune viene agganciata. Nella tipologia di barre cementata U-bolt, invece, analogamente alla barra cementata con golfaro, la fune viene semplicemente fatta transitare all'interno. nel caso di funi iniettate con redancia, le funi spiroidali vengono fatte o semplicemente passare al loro interno o connesse al punto di ancoraggio tramite morsetti.



Piastra bullonata di ancoraggio



Barra cementata con golfaro



U-bolt

Figura 42: Esempi di teste di ancoraggi (Fonte: Caso Studio).

3.3.2 - Tipologie di reti in aderenza

Le prestazioni di una rete in aderenza variano, oltre che in funzione della tipologia adottata, anche per differenti parametri. Come anticipato in precedenza nel par. 3.3.1.1 prima di affrontare nel dettaglio le tipologie di reti in aderenza, dunque, in Tabella 10 è riportata una sintesi dei fattori prestazionali più rilevanti per tali opere:

Tabella 10: Fattori prestazionali che influenzano una rete in aderenza (Ferraiolo & Giacchetti, 2004).

<i>Fattori</i>	<i>Osservazioni</i>
Diametro del filo costituente la rete	Tanto più elevato sarà il diametro del filo, tanto più la rete risulterà resistente a taglio (e.g. in presenza di ammassi spigolosi), a trazione e a fenomeni di abrasione.
Apertura maglia	Un'apertura ridotta della maglia consente il contenimento di elementi lapidei di dimensioni ridotte e conferisce maggiore resistenza a trazione. Tuttavia, conferisce una maggiore rigidità alla rete (esempio di conseguenza: difficoltà di posa in opera dell'opera in pendii morfologicamente irregolari).
Resistenza dell'acciaio costituente il filo	Un acciaio di elevata qualità conferisce maggiore resistenza all'opera a discapito, spesso, della rigidità della stessa.
Protezione contro l'ossidazione	I fili costituenti l'opera sono soggetti a fenomeni di ossidazione e/o corrosione. L'utilizzo di particolari leghe galvaniche e di rivestimenti in plastica consente l'impiego delle reti in ambienti aggressivi (vedi par. 4.2).
Forma, spessore, trama della maglia	La maglia della rete può essere di differenti tipologie. Tra quelle maggiormente diffusi in commercio, la maglia romboidale ha elevate proprietà deformative. Viceversa, le reti a maglia esagonale sono meno soggette a deformazioni per la propria struttura (doppia torsione) e, in linea teorica, sono più adatte a interventi di consolidamento.
Comportamento della rete	La rete è soggetta a deformazioni e resistenze diverse in funzione della direzione della sollecitazione. Una rete, in linea teorica, dovrebbe assicurare delle prestazioni omogenee in tutte le direzioni. Nella realtà operativa, invece, la rete a singolo filo a singola torsione ha un comportamento altamente anisotropo, con resistenza a trazione e allungamento differenti in funzione della direzione. Meno anisotrope sono le reti a doppia torsione. Quasi isotrope, invece, sono le reti a pannelli di funi.
Fattori dipendenti dalla posa in opera da parte degli operatori	Non piena adeguatezza di installazione.

Dalla Tabella 10 si osserva come la rigidità di una rete possa variare in funzione di diversi fattori. Nonostante una eccessiva rigidità comporti delle difficoltà sulla relativa posa in opera da parte degli operatori, in generale è possibile affermare che maggiore è la rigidità di una rete, migliore sarà l'azione di contenimento che essa svolgerà (Figura 43.a). Alcune tipologie di reti, infatti, presentano un'elevata deformabilità anche per sollecitazioni non eccessivamente elevate. Ciò comporta una variazione della geometria di applicazione delle forze e agevola la propagazione del dissesto all'interno del pendio.

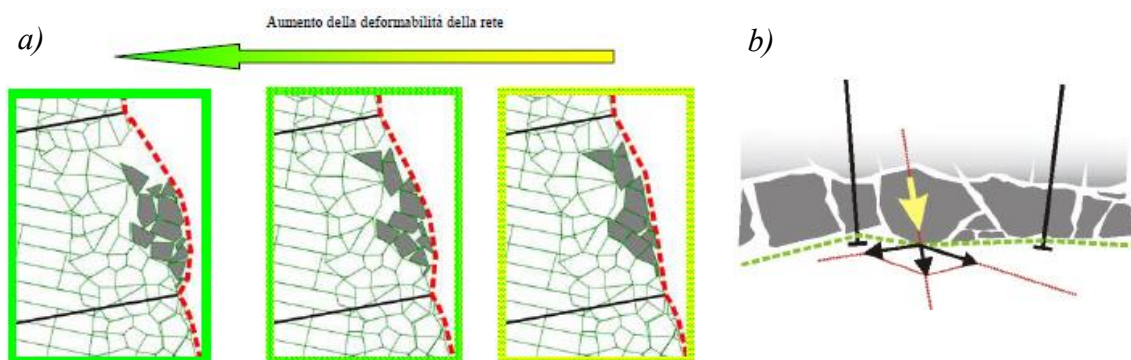


Figura 43: a) Relazione tra la deformabilità e l'azione di contenimento della rete (Peila, 2017); b) Schema delle forze agenti sulla rete (Ferraiolo & Giacchetti, 2004).

Il rivestimento in rete sarà pertanto efficace e verificato solo se reagisce al carico con una limitata deformazione, in modo tale da non permettere al dissesto di propagarsi all'interno del pendio e non scalzare gli elementi lapidei (Peila, 2017). Una dislocazione degli elementi lapidei, infatti, può provocare il denudamento degli ancoraggi. In aggiunta, la sollecitazione a punzonamento indotta dal materiale lapideo viene scaricata sui vincoli limitrofi, cioè gli ancoraggi (Figura 43.b). Risulta, quindi, necessario che la resistenza a punzonamento ed a trazione della rete sia sufficiente per non portare la stessa a rottura (e.g. reti più resistenti, posa di funi di rinforzo, etc.). Una rete non rigida potrebbe far variare la geometria di applicazione delle forze sulla rete fino a portarla a rottura o deformarla.

Relativamente alle tipologie di opere, con il termine rete in aderenza si inglobano le reti a cortina e le reti rinforzate.

- Si parla di “rete a cortina” (*simple wire mesh drapery*), o “rivestimento semplice”, quando il cinematismo dei blocchi è intercettato e accumulato al piede della rete svolgendo così soltanto un'azione di contenimento (intervento di difesa passivo). Tale tipologia di rete è tipica in pareti rocciose con elementi lapidei aventi dimensione orientativamente compresa tra 0.1 m e 0.5 m (Ferraiolo & Giacchetti, 2004).

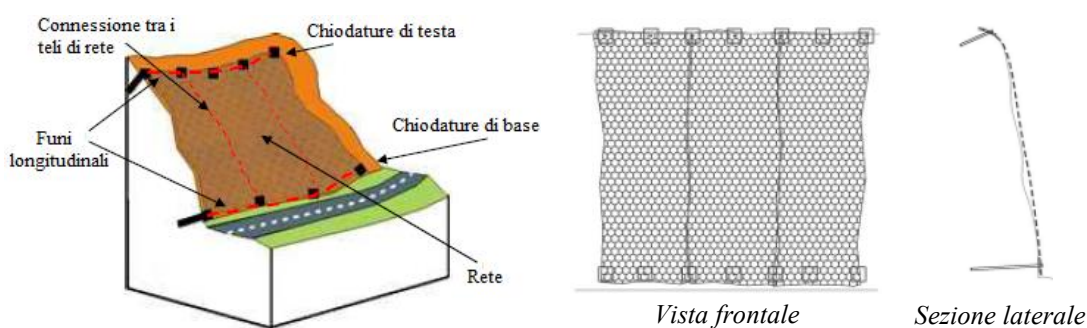


Figura 44: Schema generale, vista frontale ed in sezione di una rete a cortina (Peila, 2017), con applicazione reale tratta dal Caso Studio del seguente elaborato.

Una rete a cortina è, in maniera generale, costituita da una struttura di contenimento, adeguatamente sostenuta da una fune in sommità (Figura 45.a), la cui aderenza al versante può essere migliorata tramite la presenza di una fune al piede opportunamente ancorata (Figura 44) e/o mediante funi metalliche intermedie verticali (Figura 45.b) e/o orizzontali (Figura 45.c), senza nessun compito di tipo strutturale, con relativi ancoraggi.

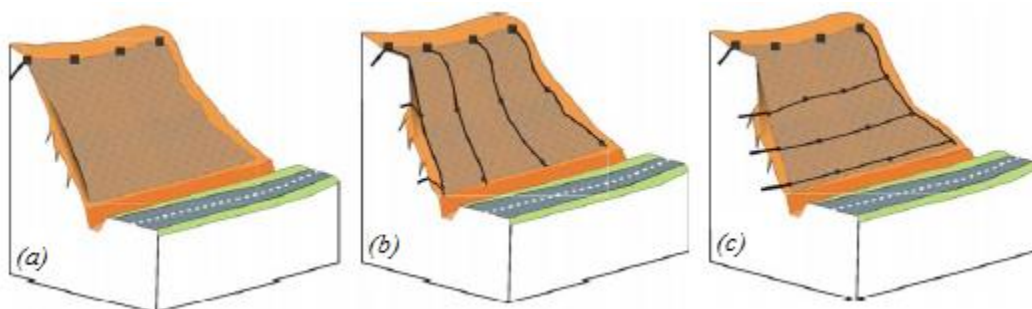


Figura 45: Esempio di una rete a cortina, con trincea al piede, con sola fune di sostegno superiore (a), con presenza di funi intermedie verticali (b) o funi intermedie orizzontali (c) (Ferraiolo & Giacchetti, 2004).

Sebbene la messa in opera più diffusa nella pratica operativa sia quella per la quale una rete a cortina deve risultare più aderente possibile alla parete rocciosa, al fine di evitare lesioni di tipo dinamico dovute al blocco in caduta, esiste anche la possibilità in cui l'opera in analisi non viene posta in aderenza al versante. In tal caso, la rete (tipicamente una rete a doppia torsione) viene semplicemente sostenuta e lasciata libera di tesarsi sotto il peso proprio, lasciando la possibilità di una caduta controllata tra la parete rocciosa e la rete agli elementi lapidei soggetti a fenomeni di distacco (Ferraiolo & Giacchetti, 2004).

- Si parla di “rete rinforzata” (*reinforced wire mesh drapery*), o “rafforzamento corticale”, quando gli elementi lapidei sono contenuti all'interno di porzioni di rete delimitate da funi metalliche di rinforzo ancorate tramite un sistema sistematico di chiodature lungo il versante in roccia più o meno fratturato (intervento attivo e passivo). Tale tipologia di rete è tipica in pareti rocciose con elementi lapidei aventi dimensione orientativamente compresa tra 0.5 m e 1 m (Ferraiolo & Giacchetti, 2004).

La rete rinforzata è, in maniera generale, costituita allo stesso modo di quanto fin qui descritto per la rete a cortina, con l'aggiunta della presenza di funi metalliche di rinforzo fissate alla parete rocciosa tramite uno schema a maglia quadrata o a losanghe di bulloni che fungono anche da ancoraggi (Figura 46). Le funi di rinforzo conferiscono una minore deformabilità ed una migliore ripartizione delle sollecitazioni della rete.

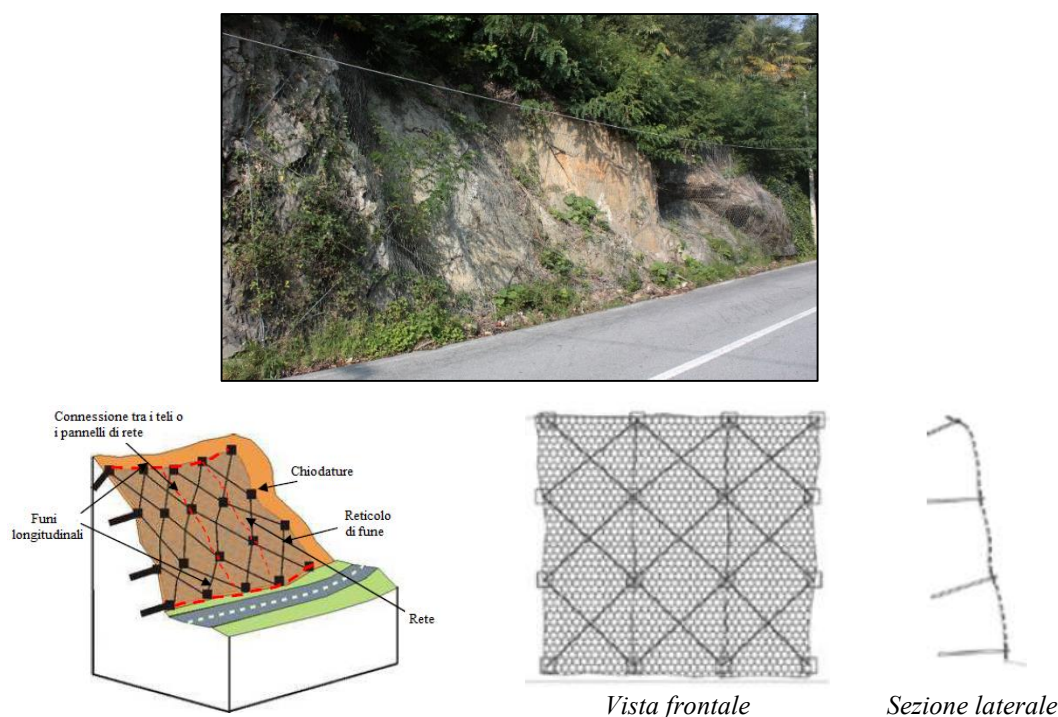


Figura 46: Schema generale, vista frontale ed in sezione di una rete rinforzata (Peila, 2017), con applicazione reale (Fonte: Caso Studio)

3.3.1 - Aspetti normativi delle reti in aderenza

In merito alla progettazione delle reti in aderenza, non esistono linee guida e/o standard tecnici universalmente riconosciuti (Marchelli, et al., 2019). Non esiste, dunque, una metodologia univoca per il loro dimensionamento. La fase cruciale dell'attività di progettazione e dimensionamento di un intervento è evidentemente costituita dalla previsione dell'entità delle sollecitazioni e della loro modalità di ripartizione sul rivestimento. Occorre, infatti, prevedere quali saranno le forze che si ripartiscono sul rivestimento in seguito all'impatto su di esso di un blocco roccioso di forma irregolare. Per farlo occorre tenere in debito conto le interazioni reciproche che si instaurano, in ambiente dinamico, tra parete, volume di roccia in movimento e rivestimento, nonché, tra i vari elementi costituenti il rivestimento medesimo (ancoraggi, funi, reti) (Valfrè, 2017).

In maniera generale, è possibile affermare che le azioni destabilizzanti agenti sulle reti in aderenza che devono essere considerate in fase di progetto sono quelle relative alla forza peso propria della rete e del massimo volume di detriti accumulabile al piede della rete (che deve essere garantito nel tempo attraverso piani di manutenzione) e dalle forze aggiuntive dovute alla neve che poggia sulla rete e all'eventuale formazione di ghiaccio, specialmente in regioni montane. L'azione stabilizzante che deve considerarsi, invece, è quella della resistenza a taglio che si sviluppa all'interfaccia rete-parete rocciosa.

Le reti in aderenza, come tutti i tipi di prodotti all'interno dell'UE, necessitano di essere certificate affinché possano essere utilizzate in campo per la mitigazione del rischio. La procedura di certificazione di tali opere è differente in funzione della tipologia di rete di contenimento installata (vedi par. 3.3.1.1). Nel dettaglio, nei paragrafi seguenti verranno descritti i riferimenti normativi per la certificazione delle tipologie di reti di contenimento più diffuse: reti a doppia torsione e pannelli di rete in fune d'acciaio.

3.3.1.1 - Rete a doppia torsione

Le reti a doppia torsione rientrano all'interno dei prodotti che non godono né di una Norma Armonizzata né di una procedura di qualifica citata nelle N.T.C. 2018 al par. 11.1. Il fabbricante, dunque, deve ottenere la marcatura CE sulla base della pertinente Valutazione Tecnica Europea (ETA) o tramite un Certificato di Valutazione Tecnica (CVT) rilasciato dal Presidente del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (C.S.LL.PP.).

A livello nazionale, si fa riferimento alle “*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, che consentono il rilascio di un CIT da parte del Servizio Tecnico Centrale (STC). Essendo state emanate prima dell’entrata in vigore delle NTC 2018, all’interno di questo documento si parla ancora di Certificato di Idoneità Tecnica (CIT) e non di Certificato di Valutazione Tecnica (CVT). Tali Linee Guida inglobano tutte le opere che vedono l’utilizzo di una rete a doppia torsione (e.g. gabbioni, elementi di rinforzo per terre rinforzate, etc.). A livello europeo, vi è anche la possibilità di certificare una rete a doppia torsione tramite l’EAD 230008-00-0106.

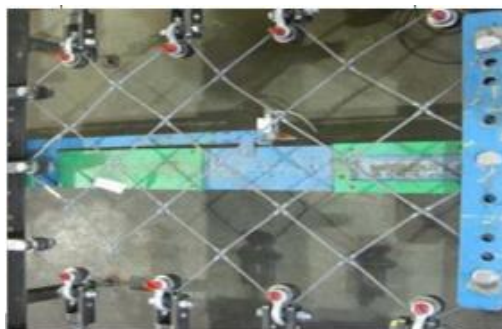
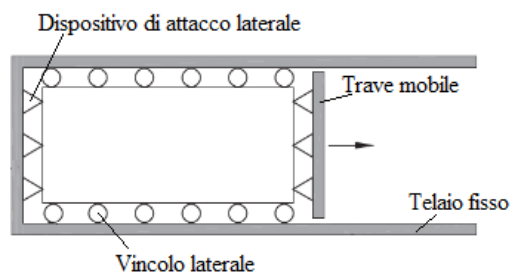
Le reti metalliche a doppia torsione devono essere prodotte con un sistema permanente di controllo interno della produzione in stabilimento e di gestione della qualità del prodotto (controllo permanente della produzione in fabbrica). Nel dettaglio, nel caso di prodotti in rete a doppia torsione per rivestimenti corticali, oltre alle prove descritte all’interno delle Linee Guida e che riguardano prove svolte durante il processo di fabbricazione, è necessario condurre le prove indicate dalla Norma UNI 11437:2012 (Prove su rete per rivestimento di versanti). Quest’ultima norma, la quale può essere anche considerata un ausilio da un punto di vista progettuale, definisce le procedure per la determinazione delle principali proprietà delle reti utilizzate per il rivestimento dei versanti. La Norma UNI 11437 stabilisce che i rivestimenti in rete sono caratterizzati da:

- Peso per unità di area;
- Resistenza e deformabilità della rete quando sottoposta ad un’azione di trazione da parte di un carico applicato longitudinalmente (resistenza a trazione);
- Resistenza e deformabilità della rete quando sottoposta ad un carico di sfondamento da parte di un carico concentrato perpendicolare al piano della rete (resistenza a punzonamento).

Questa norma UNI fornisce la possibilità di effettuare un confronto di varie reti sulla base di prove omogenee. La caratterizzazione delle proprietà meccaniche delle reti, quindi, viene effettuata mediante prove a trazione e prove di punzonamento della rete.

Relativamente alla prova a trazione (Figura 47), sono ammesse due procedure: con contrazione laterale impedita e con contrazione laterale libera (Cardinali, 2016). La prima è valida per qualsiasi tipologia di rete di contenimento e consiste nel vincolare la rete in maniera rigida da un lato ed applicare una forza di trazione sul lato opposto. Viceversa, la seconda è valida solo per reti in filo d’acciaio e prevede la sollecitazione a trazione di una rete da entrambi i lati in cui essa è fissata al telaio.

1) Con contrazione laterale impedita: valida per tutte le tipologie di reti (a singolo filo, pannelli di rete, etc.)



2) Con contrazione laterale libera: valida solo per reti in filo d'acciaio

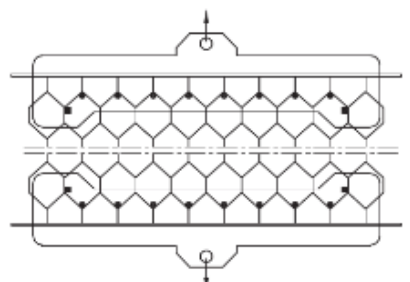


Figura 47: Prove di trazione per i rivestimenti corticali con schema qualitativo e rappresentazione reale (Cardinali, 2016).

La prova di trazione ha lo scopo di valutare la resistenza a trazione longitudinale e la deformazione longitudinale associata lungo la direzione di applicazione della forza (applicata per mezzo di una trave mobile) della campione di rete (avente area minima di 1 m² e larghezza minima di 1 m). Inoltre, è necessario indicare anche la reazione di trazione trasversale nella direzione perpendicolare a quella di tiro. I vincoli laterali presenti permettono lo scorrimento della rete lungo la direzione di sollecitazione e sono dotati di celle di carico per valutare la reazione trasversale.

Durante il test di trazione, si registrano in continuo la forza esercitata dalla trave, il suo spostamento e la reazione trasversale della rete ai lati. Vengono restituiti, così due curve carico-spostamento, dove il carico è espresso in kN e lo spostamento in mm.

L'obiettivo della prova a punzonamento (Figura 48), invece, è quello di valutare la resistenza allo sfondamento da parte di una sollecitazione ortogonalmente al piano della rete e la relativa deformazione associata. Tale prova può avvenire in laboratorio vincolando la rete ad un telaio rigido e sollecitandola tramite un punzonatore di forma normata (calotta sferica).



Figura 48: Prove di punzonamento per i rivestimenti corticali con schema qualitativo e rappresentazione reale (Cardinali, 2016).

Dalla prova di punzonamento è possibile ottenere un grafico carico-spostamento. Nello specifico, durante il test vengono registrati, in maniera continua, la forza applicata dal punzonatore e la deformata del punto centrale della rete rispetto ad un piano di riferimento. In Figura 49 è riportato un esempio reale di tale grafico, in cui il valore di picco indica il carico di rottura, espresso in kN, per punzonamento. In unione con il valore di spostamento associato, in mm, alla rottura, questi ultimi parametri sono i parametri prestazionali associati alla rete di contenimento nei confronti del punzonamento.

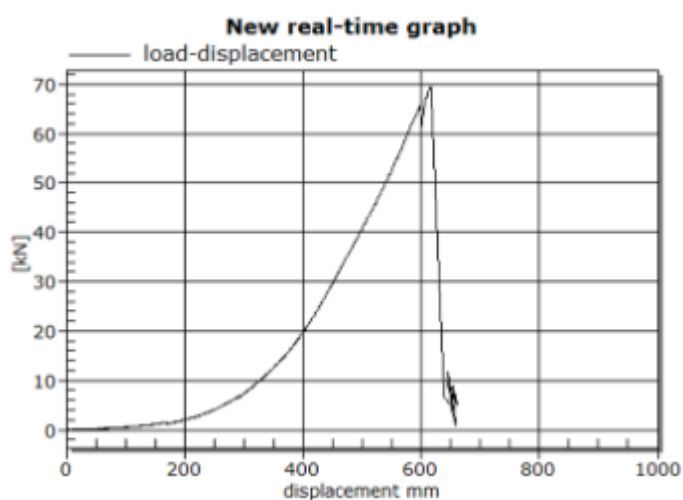


Figura 49: Esempio reale del grafico carico-spostamento di una prova di punzonamento (Cardinali, 2016)

Si sottolinea, infine, come verrà evidenziato anche all'interno del par. 3.2.1.2, che l'esempio fornito in merito alla prova di punzonamento è riferito ad un pannello di rete in funi d'acciaio, in accordo con la norma UNI ISO 17746: 2016 (Pannelli e rotoli di rete in funi d'acciaio – Definizioni e caratteristiche tecniche). La norma ISO, infatti, si affianca alla norma UNI 11437, recependo in maniera identica le prove di punzonamento e di trazione.

3.3.1.2 - Pannelli di rete in fune d'acciaio

Le caratteristiche che i pannelli di rete di funi di acciaio devono possedere e le prove a cui devono essere sottoposti vengono riportate all'interno della Norma UNI ISO 17746: 2016 (Pannelli e rotoli di rete in funi d'acciaio – Definizioni e caratteristiche tecniche), la quale viene presa come riferimento anche all'interno dell'EAD 230005-00-0106 del 2016.

La norma UNI ISO 17746 si affianca alla norma UNI 11437, recependo in maniera tale quale le prove di punzonamento e di trazione e integrandola per le prove specifiche di dettaglio delle reti a pannello di funi d'acciaio. Nel seguente paragrafo, dunque, non verranno presentate le prove di punzonamento e trazione (per le quali si rimanda al par. 3.2.1.1), ma quelle relative ai nodi, in filo d'acciaio o borchie, delle funi. Le prestazioni, infatti, di una rete a pannelli di fune d'acciaio sono strettamente collegate al comportamento dei nodi.

I test che si effettuano sono la prova per carico di rottura massima del nodo (prova a sfilamento, Figura 50.a) e quella per carico di rottura all'apertura del nodo (prova ad apertura, Figura 50.b). Il primo test citato si ottiene fissando una delle due funi del nodo e sollecitando a trazione la restante fino a che non si ha lo sfilamento della fune. La seconda, invece, prevede di vincolare una delle due funi di un nodo e sollecitare l'altra nella direzione ortogonale fino a portare a rottura la giunzione. Limitatamente alla giunzione con filo d'acciaio, la norma ISO 17746 prescrive che il diametro del filo usato nel nodo deve essere uguale a 3 mm e la relativa resistenza almeno pari a 350 N/mm².

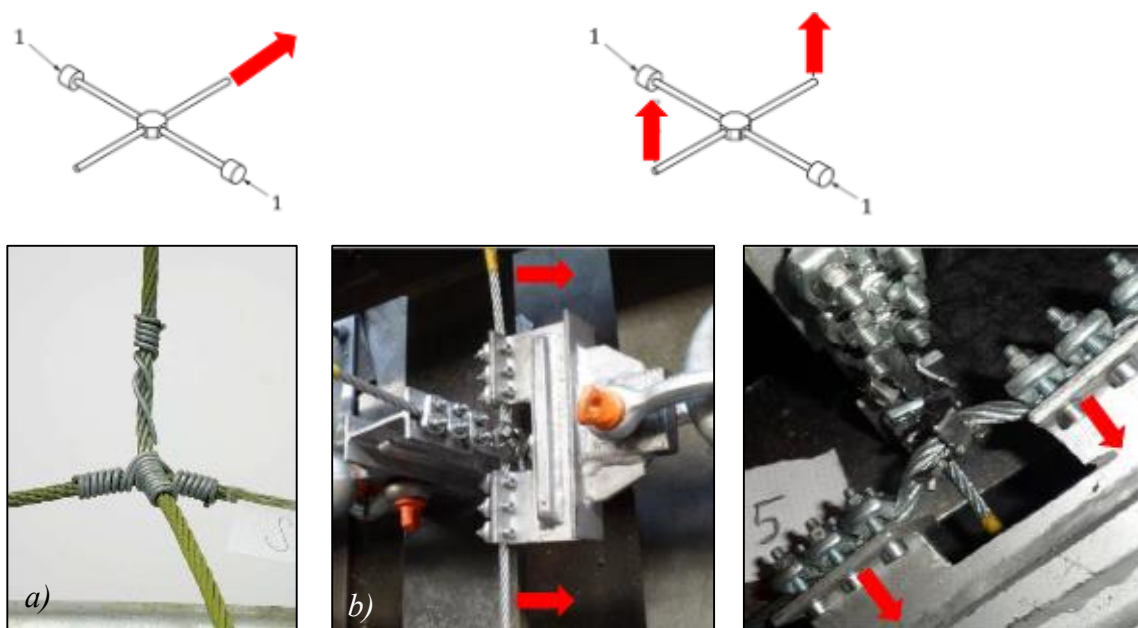


Figura 50: a) Prova a sfilamento della giunzione di una rete a pannelli (Cardinali, 2016); b) Prova ad apertura della giunzione di una rete a pannelli (Paldino, 2017).

3.3.1.3 - Elementi di giunzione

Una corretta installazione ed un adeguato posizionamento delle reti in aderenza sono essenziali per garantirne un buon funzionamento. Relativamente all'installazione delle reti in aderenza, uno dei punti sui quali prestare particolare attenzione riguarda i morsetti di giunzione delle funi. Tuttavia, è opportuno sottolineare che quanto verrà descritto all'interno del seguente paragrafo ha validità anche per le morsettature di una barriera paramassi.

I morsetti di giunzione sono impiegati per formare asole di funi metalliche e possono essere installate per consentire l'ancoraggio e/o il tensionamento di tali funi.

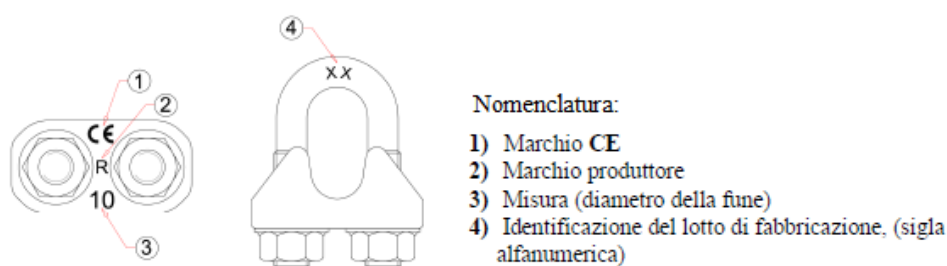


Figura 51: Rappresentazione qualitativa di un morsetto di giunzione (UNI EN 13411-5).

I morsetti spesso vengono installati in maniera non conforme a quanto riportato nel manuale di montaggio. Una norma di riferimento a tal proposito è la UNI EN 13411-5: 2009 (Estremità per funi di acciaio: Morsetti per funi). In accordo con quanto riportato in tale norma, la geometria ed il numero minimo di morsetti, la relativa coppia di serraggio e la lunghezza minima del tratto terminale della fune devono essere scelti in funzione del diametro della fune. Con riferimento alla Figura 52, il tratto di rinvio della fune T deve essere sufficiente a contenere il numero minimo di morsetti richiesti, aventi interasse S . Tale interasse deve essere compreso tra 1.5 e 3 volte la larghezza del ponte del morsetto installato. In maniera generale, il numero minimo di morsetti per una fune è pari 3 e devono essere montati in maniera tale che i dadi di serraggio si trovino non sul tratto di rinvio della fune ma così come riportato in Figura 52.

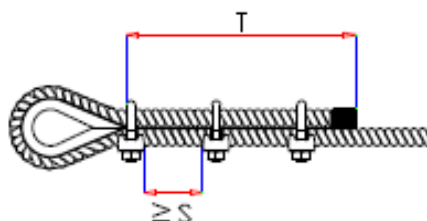


Figura 52: Schema qualitativo di installazione dei morsetti di giunzione (Fonte: UNI EN 13411)..

La medesima norma, inoltre, restituisce informazioni sulla frequenza di controllo relativamente alle principali criticità in cui possono incorrere i morsetti di giunzione. Essa, infatti, suggerisce un controllo a cadenza trimestrale relativo a possibili danneggiamenti o

deformazioni del morsetto ed alla verifica della coppia di serraggio. A cadenza annuale, invece, il controllo per quanto riguarda l'assenza di ossidazione e corrosione (Figura 53).

Tabella interventi di manutenzione e controllo		
Tipi di controllo	Frequenza intervento	
	Trimestre	Anno
Controllo visivo, condizione del filetto	x	
Controllo coppia di serraggio	x	
Deformazione	x	
Usura	x	
Stato di conservazione		x

Figura 53: Modalità e frequenza di manutenzione e controllo (Fonte: UNI EN 13411).

I morsetti lavorano, infatti, al pieno delle loro potenzialità soltanto quando restano invariate le relative caratteristiche geometriche e fisiche e quando la coppia di serraggio non si riduce nel tempo. Si sottolinea che l'impiego di tali elementi, sebbene essenziali, comporta per la fune una perdita di resistenza indicativamente del 20-30%. Il montaggio errato ridurrebbe del 60% la resistenza dell'insieme rispetto al carico di rottura della fune (Fonte: UNI EN 13411-5).

Relativamente le componenti di connessione tra due pannelli di rete, la norma EAD 230008-00-0106 riporta la forma e le dimensioni delle cuciture tramite clip, filo d'acciaio ed anelli metallici (Figura 54).

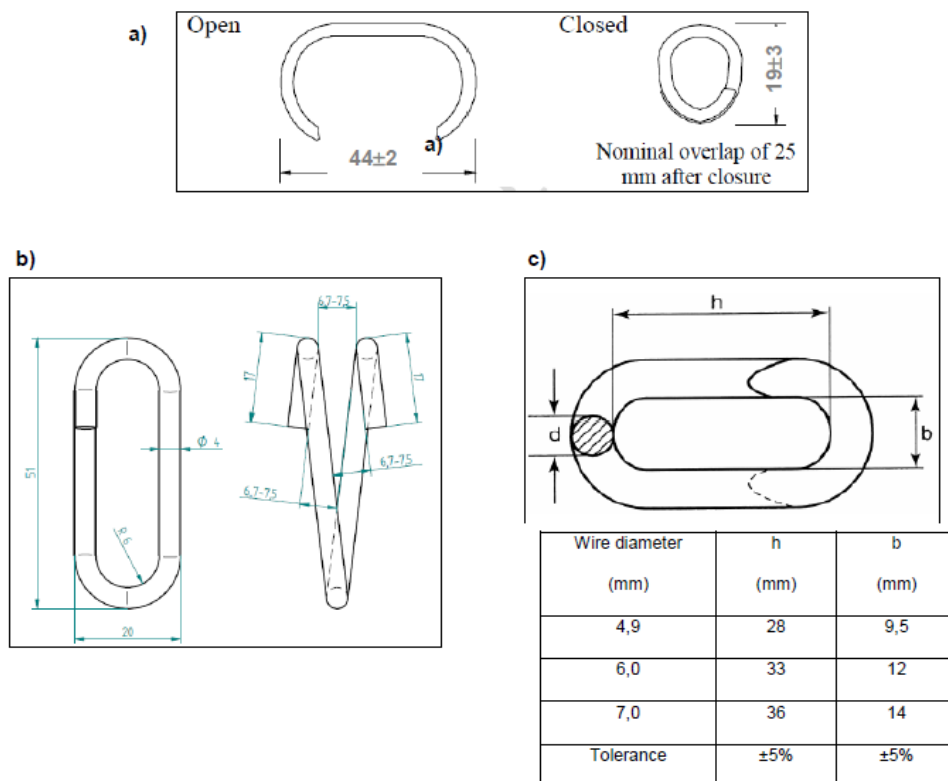


Figura 54: Forme e dimensioni degli elementi di connessione: a) anelli metallici; b) clips; c) filo d'acciaio (Fonte: EAD 230008-00-0106).

Capitolo 4 - Manutenzione e durabilità delle opere di difesa

I metodi organizzativi delle diverse tipologie di manutenzione sono chiaramente definiti ed estremamente ben strutturati in settori quali l'ingegneria civile, l'edilizia o l'industria. Per quanto riguarda settori meno classici, come la protezione contro la caduta massi, rimangono sommarie quando non sono inesistenti (Guillemin, 2009). Questo fenomeno è dovuto principalmente al fatto che, per un'opera di ingegneria civile, l'assenza di manutenzione porta a sanzioni immediate o effetti differenti direttamente percepiti dal cliente e dall'utente: rischio di incidente, eventuale impossibilità temporanea di uso di un bene, perdita di entrate operative, e così via. Per un'opera di protezione contro i movimenti di roccia, invece, la percezione non visiva di tale opera, l'eventuale distanza dalle infrastrutture che proteggono, le difficoltà di accesso (in montagna e in parete), le difficoltà o impossibilità di realizzazione di alcuni controlli, la mancanza di documentazione "memoria" della presenza e della gestione dell'opera (che a volte implica l'abbandono totale dell'opera o, nel peggiore dei casi, la semplice dimenticanza della sua esistenza) possono mascherare la necessità e l'importanza della relativa manutenzione (Guillemin, 2009).

Da un punto di vista normativo, la manutenzione di un'opera di difesa non presenta una norma di riferimento ideata ad hoc per tale settore. Diverse, infatti, sono le norme che trattano di manutenzione, prevalentemente in ambito industriale. Proprio per ampliare i concetti legati agli aspetti manutentivi oltre il solo settore dell'industria, la norma UNI 11063: 2017, che ha abrogato la precedente versione del 2013, si pone come una norma di interesse trasversale per tutti quei settori che prevedono un'attività di manutenzione. Tale norma, in unione con la UNI 10147, classifica le attività di manutenzione e fornisce delle definizioni univoche che, generalmente, venivano solamente riferiti ai settori industriali.

Prima di parlare di manutenzione, è utile definire il concetto di "sistema" e le sue proprietà in quanto a questo si applicano le procedure di manutenzione (Reggiani, 2007). In maniera generale, un sistema può essere visto come un insieme di sottosistemi interconnessi o interagenti costituiti da elementi di natura anche differente (Reggiani, 2007). Nell'ambito delle opere di difesa da fenomeni di caduta massi, il termine "sistema" sta ad indicare proprio l'opera, o l'insieme di opere, che hanno il compito di mitigare il rischio. Le opere di difesa, come già visto all'interno del Capitolo 3, possono essere suddivisi nelle loro componenti principali (sottosistema), ognuna delle quali composta da diversi elementi che concorrono ad una corretta funzionalità dell'opera.

Con il termine manutenzione si intende il set di attività atte a mantenere o ripristinare un bene in un determinato stato o in determinate condizioni di affidabilità, per eseguire la funzione richiesta (Guillemin, 2009). La terminologia generale utilizzata nelle operazioni di manutenzione è riportata in Tabella 11.

Tabella 11: Terminologia utilizzata nell'ambito della manutenzione (Fonte: <https://www.certifico.com/id/3135>).

Termine	Definizione	Definizione da Norma:
<i>Affidabilità</i>	L'attitudine di una entità a essere in grado di svolgere una funzione richiesta in condizioni date a un dato intervallo di tempo.	UNI 13306: 2010
<i>Disponibilità</i>	Attitudine ad essere in uno stato atto a funzionare come e quando richiesto, in determinate condizioni, partendo dal presupposto che siano fornite le risorse esterne necessarie.	UNI 13306: 2010
<i>Efficienza</i>	Rapporto tra il risultato conseguito e le risorse utilizzate.	UNI EN ISO 900: 2015
<i>Elemento, entità, bene</i>	Parte, componente, dispositivo, sottosistema, unità funzionale, apparecchiatura o sistema che possa essere descritto e considerato individualmente	UNI 13306: 2010
<i>Manutenibilità</i>	Attitudine di una entità, in certe condizioni d'uso, ad essere mantenuta o ripristinata in uno stato in cui essa possa eseguire la funzione richiesta, quando la manutenzione è effettuata in date condizioni, e vengono adottate le procedure e le risorse prescritte.	UNI 13306: 2010
<i>Manutenzione</i>	Combinazione di tutte le azioni tecniche, amministrative e gestionali, durante il ciclo di vita di un'entità, destinate a mantenerla o a riportarla in uno stato in cui possa eseguire la funzione richiesta.	UNI 13306: 2010
<i>Valore di rimpiazzo</i>	Costo necessario per sostituire gli impianti attuali con impianti a nuovo aventi caratteristiche tecnologiche e potenzialità analoghe agli impianti attuali.	UNI 10147: 2013
<i>Vita utile</i>	Intervallo di tempo da un dato istante sino all'istante in cui è raggiunto uno stato limite.	UNI 13306: 2010

Con riferimento alla tabella soprariportata, è possibile classificare l'attività di manutenzione di un bene in due differenti sottoclassi:

- *Manutenzione ordinaria*: con tale terminologia si intendono interventi manutentivi durante il ciclo di vita dell'opera (Reggiani, 2007). Con riferimento alla definizione riportata nel D. Lgs. 50/2016, si tratta di interventi di riparazione, rinnovamento e sostituzione necessarie per eliminare il degrado dei manufatti e delle relative pertinenze, al fine di conservarne lo stato e la fruibilità di tutte le componenti, degli impianti e delle opere connesse, mantenendole in condizioni di valido funzionamento e di sicurezza, senza che da ciò derivi una modificazione della consistenza, salvaguardando il valore del bene e la sua funzionalità. Si tratta, dunque, di interventi mirati a mantenere l'integrità originaria dell'opera, a ripristinare/contrastare il normale degrado dei beni, ad assicurare la vita utile del prodotto.

- *Manutenzione straordinaria*: con riferimento alla definizione riportata nel D. Lgs. 50/2016, con tale terminologia si intendono gli interventi e le modifiche necessarie per rinnovare e sostituire parti anche strutturali dei manufatti e delle relative pertinenze, per adeguarne le componenti, gli impianti e le opere connesse all'uso e alle prescrizioni vigenti e con la finalità di rimediare al rilevante degrado dovuto alla perdita di caratteristiche strutturali, tecnologiche e impiantistiche, anche al fine di migliorare le prestazioni, le caratteristiche strutturali, energetiche e di efficienza tipologica, nonché per incrementare il valore del bene e la sua funzionalità;

Le tipologie di intervento di manutenzione e le azioni per ripristinare il funzionamento di un bene sono di seguito riportate:

- *A seguito di guasto*: si tratta di una tipologia di manutenzione che avviene a seguito di un guasto. Con guasto, secondo la norma UNI 10147, si intende la cessazione di una entità nell'eseguire la funzione richiesta.
- *Preventiva*: si tratta di una tipologia di manutenzione che avviene ad intervalli prestabiliti mirati a ridurre la probabilità di guasto un componente del bene. Nel dettaglio, consiste nell'anticipare il guasto, definendo una frequenza temporale per il ripristino o la sostituzione di un determinato componente, indipendentemente se quest'ultimo sia ancora in buono stato o no.
- *Secondo condizione*: si tratta di una tipologia di manutenzione basata sulla ricerca e l'osservazione di indici, detti premonitori, che segnalano il cattivo funzionamento dell'entità. Questa tipologia risulta essere sicuramente quella che massimizza la vita di un componente. Tuttavia, non sempre risulta semplice applicare questa manutenzione o individuare un indice da monitorare.

4.1 - La manutenzione nelle opere di protezione da caduta massi

Le opere e le componenti strutturali, in accordo con le norme N.T.C. 2018, devono consentire l'utilizzazione per cui sono pensate, in forma economicamente sostenibile, tramite una corretta progettazione, esecuzione, collaudo e manutenzione. Il concetto, dunque, di manutenzione è inglobato nel processo che garantisce l'uso adeguato delle opere o componenti strutturali. Già dalla fase progettuale, le N.T.C. 2018 ed il D.P.R. 207/2010 (oggi abrogato in alcuni punti dal D. Lgs. 50/2016: Nuovo codice dei contratti pubblici) prescrivono che il progetto esecutivo di un'opera deve essere accompagnato dal cosiddetto

Piano di Manutenzione, in unione con il Fascicolo Tecnico, cioè un documento legato agli aspetti di sicurezza.

Il Piano di Manutenzione dell'Opera è un documento obbligatorio del progetto esecutivo (art. 33, D.P.R. 207/2010) ed è un piano che prevede, pianifica e programma l'attività di manutenzione, solitamente ordinaria, dell'intervento al fine di garantirne nel tempo il mantenimento delle caratteristiche di qualità e funzionalità. Il progettista, dunque, deve per tutte le opere pubbliche e private, redigere questo elaborato. Attraverso tale piano, si devono individuare esaurientemente gli elementi da salvaguardare e le risorse necessarie ad ottimizzare le economie gestionali mantenendo il livello di prestazionali nel tempo, e si devono programmare gli interventi nel corso della vita utile (Cargnel, 2012).

Il piano di Manutenzione deve essere formato da 3 documenti, di seguito illustrati:

- *Manuale d'uso*: tale documento deve contenere le informazioni relative al corretto uso delle parti più importanti di un bene. Nello specifico, ha lo scopo di evitare che vi siano danni derivati da una scorretta utilizzazione dell'opera e di far conoscere all'utente finale le operazioni, di natura ordinaria, mirante alla conservazione del bene.
- *Manuale di Manutenzione*: tale documento deve fornire in relazione alle diverse unità tecnologiche, alle caratteristiche dei materiali o dei componenti interessati, le indicazioni necessarie per la corretta manutenzione nonché per il ricorso ai centri di assistenza o di servizio (art.38, D.P.R. 207/2010). Rispetto al manuale d'uso, il manuale di manutenzione ha un carattere più tecnico poiché distingue gli interventi manutentivi effettuabili da un personale non qualificato con quelli che richiedono operatori specializzati.
- *Programma di Manutenzione*: tale programma si realizza con cadenza temporale prefissata, o altrimenti prevista, al fine di una corretta gestione del bene e delle sue parti nel corso degli anni. Il documento in analisi deve essere articolato secondo tre specifici sottoprogrammi (art.38, D.P.R. 207/2010):
 - Sottoprogramma delle prestazioni: in tale sottoprogramma il progettista ha l'obbligo di individuare per ogni parte dell'opera e per ogni suo componente i requisiti prestazionali associati.
 - Sottoprogramma dei controlli: tale sottoprogramma definisce le verifiche da attuare al fine di individuare il livello prestazionale del bene durante la relativa vita utile.
 - Sottoprogramma degli interventi: in tale sottoprogramma si riportano in ordine temporale i differenti interventi di manutenzione previsti.

Nell'ambito delle opere di difesa da caduta massi, sia attive che passive, le tipologie manutentive che possono essere attuate sono quelle già descritte all'inizio del Capitolo 4 (manutenzione a guasto, preventiva o secondo condizione). In genere, l'attività di manutenzione delle opere di difesa si basa su una sorveglianza programmata, a cadenza prestabilita, delle opere e delle relative componenti, dalla quale potrà scaturire la necessità di interventi di tipo straordinario. Nel piano di manutenzione di tali opere, infatti, specialmente per quelli di tipo passivo soggetti ad impatti con elementi lapidei di cui non è possibile valutare a priori l'entità del danno sull'opera, devono essere indicate le azioni di manutenzione straordinaria volte a ripristinare l'uso del bene a crollo avvenuto, nonché istruzioni per il recupero, il riciclo e lo smaltimento dei materiali provenienti dalle operazioni di manutenzione o dallo smantellamento dell'opera (Cargnel, 2012). La manutenzione straordinaria di un'opera contro la caduta massi, laddove questa non venga direttamente sostituita a causa di un impatto, consta nel ripristino della geometria iniziale dell'opera, nella sostituzione degli elementi danneggiati e/o deformati. È opportuno sottolineare che interventi di manutenzione effettuati in un momento d'emergenza, o comunque isolati tra loro, potrebbero essere inefficaci se non dannosi perché progettati senza tenere conto degli effetti che essi hanno nel tempo, nello spazio (a monte ed a valle dell'opera) e degli effetti sulle altre componenti del sistema. Per quanto riguarda la manutenzione ordinaria, invece, questa prevede la possibile sostituzione di elementi arrugginiti o corrosi ed il mantenimento, nell'area in cui è collocata l'opera, di una corretta gestione e pulizia dalla vegetazione al fine di un idoneo comportamento dell'opera stessa.

4.1.1 - Frequenza di controllo

L'attuazione di una corretta strategia di manutenzione, come anticipato nel paragrafo precedente, implica delle ispezioni, visive ma non solo, in campo per valutare lo stato delle opere e delle relative componenti. Si sottolinea che, al momento, non esiste alcuna codifica di validità generale su ciò che risulta necessario valutare. A tal proposito, all'interno del Capitolo 5 sono riportate le problematiche che influiscono sull'efficacia ed efficienza delle barriere paramassi e delle reti a cortina, le quali sono tenute in conto nella metodologia di valutazione dello stato di conservazione e funzionalità delle suddette opere adottata nel seguente elaborato.

In maniera generale, è possibile affermare che è necessario un monitoraggio periodico che consente la qualificazione e quantificazione dei disturbi che potrebbe aver subito l'opera rispetto ad uno stato di riferimento (Guillemin, 2009). Tale controllo ruota intorno a due procedure alternative e complementari (Guillemin, 2009):

- *Visite periodiche ed eccezionali*: le visite periodiche, come suggerisce il nome, si svolgono regolarmente. La frequenza è solitamente da semestrale fino anche a biennale per determinate tipologie di opere. Le visite periodiche delle opere sono operazioni semplici, che non richiedono una particolare qualifica e che mirano a controllare visivamente lo stato di un'opera. Le visite eccezionali sono strutturate sullo stesso modello delle visite periodiche e vengono avviate in circostanze particolari come condizioni meteorologiche intense, frane rilevate, sismi, etc. In conclusione, entrambe le tipologie di visite consistono nel fare in modo che nessun particolare disturbo influisca sulle opere, garantendone l'efficienza, e che l'ambiente circostante non mostri alcuna anomalia che possa mettere a repentaglio il sistema.
- *Ispezioni di dettaglio (periodiche ed eccezionali)*: le ispezioni periodiche di dettaglio avvengono generalmente almeno ogni 5 anni e richiedono un importante livello di indagine. Inoltre, il livello tecnico richiesto per eseguire queste ispezioni, basato su un esame dettagliato di tutte le attrezzature e componenti che compongono un'opera, è elevato. Le ispezioni di dettaglio eccezionali seguono lo stesso schema delle ispezioni di dettaglio periodiche. Quest'ultima tipologia di ispezione viene eseguita quando si riscontrano anomalie durante le semplici visite periodiche o eccezionali e quando la scadenza della successiva ispezione di dettaglio periodica è troppo lontana rispetto alla gravità dell'anomalia (Guillemin, 2009).

Si sottolinea che se il personale d'intervento relativo alle visite, periodiche o eccezionali, non richiede un livello molto alto di competenza tecnica da parte del controller, lo stesso non vale per le ispezioni dettagliate. Le visite, inoltre, dovrebbero fornire anche informazioni in merito alla difficoltà di accesso alle opere situati, per esempio, in pendii molto acclivi, pareti rocciose, etc. in tal caso, è necessario l'intervento di personale qualificato e specializzato.

Per le visite periodiche e per le ispezioni di dettaglio, il periodo ottimale è verso la fine dell'inverno e l'inizio della primavera, dopo che la neve si è sciolta e con assenza di vegetazione (Guillemin, 2010).

Nel momento in cui durante una visita periodica o eccezionale riscontri un'anomalia sull'opera, le misure da adottare a seguito di una segnalazione di anomalia durante una visita periodica o eccezionale consistono in:

- Esecuzione di una ispezione di dettaglio eccezionale da parte di uno specialista per l'organizzazione dell'intervento mirato a ristabilire le condizioni originarie dell'opera;

- Completamento del lavoro da parte di un team di manutenzione o da un'azienda specializzata;
- Restrizioni alla circolazione o all'occupazione nell'area interessata, o addirittura, nei casi più gravi, il blocco del traffico o l'evacuazione delle aree esposte.

I progettisti che redigono un piano di manutenzione di un'opera di protezione da caduta massi possono rifarsi sia alle indicazioni fin qui elencate sia, attraverso un'analisi di mercato, ai manuali di manutenzione delle opere delle principali aziende in tale settore per avere un'idea di quelle che sono le frequenze di controllo di un'opera. Nel caso, per esempio, di barriere paramassi, i fabbricanti, con riferimento alla Linea Guida ETAG027 oggi rimpiazzata dall'EAD 340059-00-0106, dovevano fornire in unione al manuale di installazione anche quello di manutenzione dell'opera. Le indicazioni contenute all'interno dei seguenti manuali sono di carattere generale. L'analisi puntuale delle condizioni a cui è sottoposta una barriera paramassi è sempre demandata al piano di manutenzione stilato dai progettisti (Chaussod, 2015). In Tabella 12 sono riportate le frequenze di controllo proposti da alcuni manuali di manutenzione dei principali fabbricanti di barriere paramassi (Chaussod, 2015).

Tabella 12: Frequenze di controllo proposte dai principali fabbricanti di barriera paramassi (Chaussod, 2015)

<i>Operazione</i>	<i>Frequenza di controllo</i>	
	<i>min</i>	<i>max</i>
Controllo e relativa manutenzione dello stato della vegetazione nei pressi della barriera	1 anno	5 anni
Controllo ed eventuale sgombero di materiale lapideo nei pressi della barriera	1 anno	5 anni
Controllo dello stato di ossidazione degli elementi della barriera	1 anno	5 anni
Controllo strumentale ed eventuale manutenzione degli elementi di collegamento della barriera	2 anni	2 anni

Con riferimento alla tabella soprariportata, nonostante i principali fabbricanti consiglino un controllo biennale degli elementi di collegamento di una barriera, nel caso specialmente dei morsetti di giunzione sarebbe opportuno seguire le indicazioni riportate al par. 3.3.1.3 in quanto, come si avrà modo di osservare all'interno del Capitolo 5, tali elementi risultano facilmente ammalorabili.

Per le reti in aderenza e per le barriere paramassi, una lista indicativa, non completamente esaustiva, di ciò che è necessario verificare sotto l'ottica manutentiva è riportata da Cargnel, O. nel 2012 (Tabella 13).

Tabella 13: Lista indicativa, non esaustiva, delle verifiche da effettuare in un'ottica manutentiva (Cargnel, 2012).

Reti in aderenza (reti a cortina e reti rinforzate)	Barriera paramassi (sia ad elevata deformabilità che rigide)
Verifica visiva dello stato superficiale di pannelli in fune, reti e funi metalliche (ossidazione, rottura di fili e/o trefoli, usura, presenza di deformazioni, ammaloramento dovuto a incendi, impatti, etc.	Verifica visiva dello stato superficiale di reti, pannelli in fune e funi metalliche (ossidazioni, usura e rottura fili e/o trefoli, presenza di deformazioni, ammaloramento dovuto ad incendi, etc.)
Verifica della tesatura delle funi, lo stato dei morsetti e le coppie di serraggio.	Verifica visiva e manuale degli ancoraggi delle opere e i sistemi fondazionali.
Verifica superficiale dello stato degli ancoraggi di contorno ed eventualmente intermedi, valutandone eventuali cedimenti.	Verifica dello stato di conservazione (arrugginimento, verniciatura, condizioni di eventuali saldature, etc.) e dei montanti e dei fazzoletti.
Verifica dello stato di golfare e piastre di ripartizione e, in corrispondenza di quest'ultime, l'eventuale rottura per punzonamento.	Verifica della funzionalità di giunti monodirezionali e bidirezionali, laddove presenti.
Verifica accurata di accumuli di detrito sul versante e sacche al piede, valutandone l'azione sulla tenuta globale o locale del rivestimento e, eventualmente, svuotare e ripristinare le condizioni iniziali di aderenza.	Determinazione, in caso di deposito di materiale detritico o di evento franoso, del relativo volume e delle azioni sull'opera di ritenuta. Misurazioni delle deformazioni della superficie di intercettazione rispetto alla configurazione iniziale. Valutazione della necessità di rimozione del materiale e, nel caso, ripristino della geometria iniziale.
Verifica dello stato dei pannelli in fune.	Controllo dello stato di conservazione e funzionalità di tutti gli elementi metallici e dei dispositivi (morsetti, dissipatori di energia, redance, golfare, piastre, etc.). Se necessario, verifica delle coppie di serraggio e del corretto posizionamento dei morsetti sulle funi. Valutazione dell'efficacia ed eventuale riduzione della capacità energetica di assorbimento dei dissipatori e verifica della connessioni con le funi.

4.2 - Fenomeni di degrado della durabilità di un'opera

La durabilità, requisito definito dalla UNI 11156, indica la capacità di un componente di svolgere le funzioni richieste durante un periodo di tempo specificato (vita utile o *service life*), sotto l'azione di diversi agenti. Le condizioni di durata o vita utile (periodo durante il quale l'elemento tecnico mantiene livelli prestazionali superiori o uguali ai limiti di accettazione) e di affidabilità (capacità di funzionare senza guasti fino al termine della vita utile) dei materiali e dei componenti concorrono a determinare la durabilità di un sistema, considerando anche le operazioni di manutenzione ordinaria da effettuare durante il periodo di uso e gestione.

Uno dei fenomeni che maggiormente influisce sulla durabilità delle reti in aderenza e delle barriere paramassi è la corrosione. Il fenomeno di corrosione consiste in un processo di deterioramento e consumazione di un materiale (metallo o non metallo), con conseguente peggioramento delle relative proprietà fisiche e meccaniche, a causa di reazioni chimiche,

elettrochimiche o meccano-chimiche tra la superficie del materiale e l'ambiente circostante. Tale fenomeno è un processo naturale e generalmente lento, salvo in particolari circostanze. In generale, i fenomeni corrosivi vengono distinti in corrosione umida e secca. La prima, a differenza della seconda, avviene in presenza di acqua condensata.

In base alla morfologia di attacco del fenomeno, si possono avere corrosione generalizzata o localizzata. In funzione, invece, del meccanismo del fenomeno, in maniera generale si possono verificare, come citato in precedenza, reazioni chimiche, elettrochimiche o meccanico-chimiche.

- *Corrosione chimica*: la corrosione chimica si ha quando un materiale metallico viene attaccato da sostanze chimiche in presenza d'acqua, anche sotto forma di vapore acqueo. Un tipico esempio di tale fenomeno è la corrosione atmosferica, in cui un elemento metallico esposto all'aria tende ad ossidarsi;
- *Corrosione elettrochimica*: la corrosione elettrochimica si ha quando due metalli sono posti in contatto. Nel dettaglio, se i metalli sono di natura differente, tale tipologia di corrosione prende il nome di corrosione galvanica;
- *Corrosione meccano-chimica*: la corrosione meccano-chimica si ha dalla combinazione di reazioni elettrochimiche e di tensioni meccaniche. Tale tipologia di fenomeno può avvenire:
 - Per sfregamento: quando la tensione in gioco è dovuta da forze di attrito agenti sulla superficie del materiale;
 - Per fatica: quando la tensione in gioco è un carico variabile nel tempo;
 - Sotto sforzo: quando la tensione in gioco è un carico costante nel tempo che provoca a formazione di cricche.

Gli approcci disponibili per il controllo della corrosione includono l'applicazione di rivestimenti protettivi alle superfici metalliche (e.g. zinco) per fungere da barriera, l'aggiunta di specie chimiche all'ambiente per inibire la corrosione, alterazione di una lega chimica per renderla più resistente alla corrosione, e il trattamento della superficie di un metallo per aumentarne la resistenza alla corrosione (Shaw & Kelly, 2006). Tra queste, quella comunemente utilizzata è l'utilizzo di rivestimenti metallici zincati o zincati a caldo. Il semplice rivestimento zincato (*zinc plating*) consiste di un processo di copertura della superficie del metallo con un film di zinco che funge da protezione contro la corrosione. Il rivestimento zincato a caldo (*hot dip galvanization*), invece, avviene immergendo il metallo da proteggere in un bagno di metallo fuso alla temperatura di circa 450°C.

Nell'ambito della corrosione, la Norma UNI EN ISO 9223 classifica la corrosività ambientale in base alle condizioni ambientali. Nello specifico, in funzione della descrizione qualitativa fornita dalla norma citata, la corrosività viene suddivisa in 6 categorie (Tabella 14, Luciani, 2015).

Tabella 14: Classificazione degli ambienti correlati alle categorie di corrosività (Luciani, 2015).

Categoria (ISO 9223)	Corrosività	Ambienti tipici (esempi)	
		Interno	Esterno
C1	Molto bassa	Spazi riscaldati con umidità relativa bassa ed inquinamento insignificante (e.g. uffici, scuole, musei, etc.).	Zone secche o fredde, ambiente atmosferico con inquinamento e tempo di umidità molto bassa (e.g. alcuni deserti, zone interne antiche o antartiche)
C2	Bassa	Spazi non riscaldati con temperatura e umidità relativa variabili. Bassa frequenza di condensazione e basso inquinamento (e.g. magazzini, palazzetti sportivi, etc.).	Zone temperate, ambiente atmosferico con inquinamento basso ($SO_2 < 5 \frac{\mu g}{m^2}$) (e.g. aree rurali, piccole città, etc.). Zone secche o fredde, ambiente atmosferico con tempo di umidità breve (e.g. deserti, aree subartiche)
C3	Media	Spazi con moderata frequenza di condensazione e inquinamento moderato da processi di produzione (e.g. fabbriche, lavanderie, birrifici, latterie, etc.)	Zone temperate, ambiente atmosferico con inquinamento medio ($5 \frac{\mu g}{m^2} < SO_2 < 30 \frac{\mu g}{m^2}$) o qualche effetto dei cloruri (e.g. aree urbane, aree costiere con bassa deposizione di cloruri). Zone tropicali e subtropicali, atmosfera con inquinamento basso.
C4	Alta	Spazi con alta frequenza di condensazione e inquinamento elevato da processi produttivi (e.g. fabbriche, piscine, etc.).	Zone temperate, ambiente atmosferico con inquinamento elevato ($20 \mu g/m^2 < SO_2 < 90 \mu g/m^2$) o effetti sostanziali dei cloruri (e.g. aree urbane inquinate, aree industriali, aree costiere senza spray marino o esposizione a Sali disgelanti, etc.) Zone tropicali e subtropicali, atmosfera con inquinamento medio.
C5	Molto alta	Spazi con frequenza molto elevata di condensazione e/o inquinamento elevato da processi produttivi (e.g. miniere, caveau ad uso industriale, capanne non ventilate in zone tropicali e subtropicali).	Zone temperate e subtropicali, ambiente atmosferico con inquinamento molto elevato ($90 \frac{\mu g}{m^2} < SO_2 < 150 \frac{\mu g}{m^2}$) e/o effetti significativi dei cloruri (e.g. aree industriali, aree costiere, posizione protette lungo la costa).
CX	Estrema	Spazi con condensazione pressoché costante o periodi estremi di esposizione ad effetti di umidità estrema e/o con inquinamento elevato da processi produttivi (e.g. capanne non ventilate in zone tropicali umide con penetrazione di inquinamento esterno inclusi cloruri aerotrasportati e particelle stimolanti la corrosione).	Zone tropicali e subtropicali, ambiente atmosferico con inquinamento elevato da $SO_2 > 250 \frac{\mu g}{m^2}$, inclusi forti effetti dei cloruri (e.g. aree industriali estreme, aree costiere e fuori costa con occasionale spray marino).

4.2.1 - Barriere paramassi

All'interno del Documento per la Valutazione Europea EAD 340059-00-0106, che ha rimpiazzato la Linea Guida ETAG027, relativo alle barriere paramassi a rete vengono riportate le informazioni in merito alla vita utile delle opere in analisi ed alla corrispettiva durabilità. I metodi di valutazione inclusi nel documento citato sono stati redatti sotto richiesta dei fabbricanti per ottenere una vita utile pari a 25 anni. Tuttavia, si evidenzia che tale vita utile è da intendersi in condizioni di installazione, uso previsto e manutenzione adeguate. In aggiunta, una vita lavorativa di 25 anni è assicurata laddove una barriera paramassi, oltre alle condizioni citate in precedenza, risulti priva di impatti ed in una condizione ambientale non aggressiva (categoria di corrosione C2 con riferimento alla EN ISO 9223). Nel momento in cui si ha una corrosività rientrante nelle categorie C3 o C4 della EN ISO 9223, si considera una vita utile di 10 anni.

La protezione contro la corrosione di ogni singola componente dell'opera deve essere attuata con riferimento alle relative norme pertinenti. Nel dettaglio:

- Piastre di supporto e di base (in acciaio): zincatura a caldo secondo la norma EN ISO 1461;
- Componenti in acciaio inossidabile: protezione valutata secondo la EN 1993-1-4, Allegato A.
- Per funi e fili dell'opera: con riferimento, rispettivamente, con la EN 10264-2 e la EN 10244-2 bisogna valutare se il rivestimento è adatto alle condizioni atmosferiche classificate secondo la EN ISO 9223 (Tabella 14).
- Altri accessori (grilli, morsetti, etc.): zincatura a caldo secondo la EN ISO 1461 o zincati secondo la EN ISO 4042.

Relativamente agli ancoraggi, è opportuno prevedere una idonea protezione contro la corrosione elettrochimica. Gli ancoraggi delle reti paramassi possono essere sottoposti a tre differenti tipologie di protezione (Werner & Baumann, 2018):

- Iniezione di almeno 20 mm di malta cementizia tra il tirante e la parete perforata (solitamente è ciò che nella pratica operativa viene effettuato). La testa dell'ancoraggio risulta semplicemente zincata.
- Se per la rete si prevede solo un utilizzo temporaneo (< 5 anni), non occorrono misure particolari né per il rivestimento del tirante né per la testa dell'ancoraggio
- In casi particolari, il tirante può essere protetto contro la corrosione mediante un tubo di rivestimento. La malta cementizia interna deve avere uno spessore di almeno 5 mm in caso di produzione industriale, mentre lo spessore di quella

applicata attorno al tubo deve essere di almeno 20 mm (Werner & Baumann, 2018). La testa dell'ancoraggio deve essere cementata con copertura minima di 50 mm.

4.2.2 - Reti in aderenza

La durabilità delle reti in aderenza, con riferimento alle Linee Guida emanate dal C.S.LL.PP., è fortemente influenzata dalla corrosione dei fili metallici. La scelta, dunque, della vita nominale di progetto, secondo le N.T.C. 2018, deve essere definita con particolare riferimento alla durabilità della rete e dei sistemi di protezione dalla corrosione dei fili metallici, anche in riferimento alla possibilità di manutenzione ordinaria ed alle condizioni di aggressività ambientali. Secondo tali Linee Guida, limitatamente all'ambito delle reti paramassi contenuto al loro interno, il tipo di protezione dei fili metallici varia in funzione delle condizioni di aggressività ambientale (Tabella 15), classificate nella norma UNI EN ISO 9223.

Tabella 15: Tipologia di rivestimento dei fili metallici di una rete paramassi in funzione delle condizioni di aggressività ambientali (Fonte: Linee Guida C.S.LL.PP.)

Aggressività ambientale	Tipo di rivestimento
Bassa	Lega Zn95% Al 5% oppure Lega Zn90% Al 10%
Media	Lega Zn95% Al 5% oppure Lega Zn90% Al 10%
Alta	Lega Zn90% Al 10% oppure Leghe ZnAl e rivestimento plastico

Ad ogni tipo di rivestimento compete in generale una diversa durabilità dell'opera, in relazione ai caratteri di impiego ed alle diverse condizioni di aggressività ambientale. Per le caratteristiche dei diversi tipi di rivestimento protettivo con leghe di zinco, può essere fatto riferimento a quanto previsto dalla norma UNI EN 10223-3 ed a quelli prescritti per la Classe A della norma UNI EN 10244-2. Lo spessore minimo di rivestimento deve essere rapportato al diametro nominale del filo secondo quanto indicato dalla stessa norma UNI EN 10244-2 (Tabella 16).

Tabella 16: Spessore minimo di ricoprimento in funzione del diametro nominale della fune (Fonte: Linee Guida C.S.LL.PP.)

Diametro (mm)	Ricoprimento minimo (gr/m²)
2.0	215
2.2	230
2.4	230
2.7	245
3	255
3.4	265
3.9	275

Il rivestimento in materiali polimerici costituisce una protezione aggiuntiva da utilizzare in condizioni ambientali con elevata aggressività e/o per opere di elevata vita nominale. I rivestimenti polimerici devono essere conformi alle prescrizioni delle norme UNI EN 10245-2, per i rivestimenti in PVC, e UNI EN 10245-5 per i rivestimenti in poliammide (PA6). Tali rivestimenti possono essere anche composti da diversi polimeri, basta che sia garantita certificata una adeguata aderenza sulla superficie del filo ed una idonea resistenza agli agenti atmosferici (e.g. raggi UV). Il rivestimento in materiale polimerico deve essere comunque associato a rivestimenti galvanici altamente prestazionali quali quelli costituiti da leghe zinco-alluminio (Fonte: Linee Guida C.S.LL.PP., 2013).

Capitolo 5 - Problematiche prestazionali delle barriere paramassi e delle reti in aderenza

La funzionalità ed il comportamento delle opere contro la caduta massi sono influenzati da fenomeni di deterioramento, dovuti all'invecchiamento, degli elementi costituenti l'opera e/o da eventuali problemi di installazione. In aggiunta, una manutenzione non corretta, o addirittura assente, ne contribuisce all'ammaloramento ed all'errato funzionamento delle stesse. In letteratura, tuttavia, lo studio su tali aspetti è ancora oggi molto limitato.

Il presente capitolo, dunque, si prefigge lo scopo di fornire un inquadramento di dettaglio delle problematiche che influenzano il livello prestazionale delle barriere paramassi e delle reti in aderenza. A tal fine, si è preso come punto di partenza ciò che è stato osservato da:

- Studi effettuati in campo riportati da Dimasi, et al. (2015) e Luciani, et al. (2018), relativi a 62 barriere paramassi nella Valle d'Aosta;
- Analisi effettuata da Volta, F. (2011) per le barriere paramassi nella provincia autonoma di Bolzano;
- Studi effettuati in campo da Marchelli, et al., (2019) per le reti in aderenza collocate in alcune zone del settore NW delle Alpi italiane;
- Studi effettuati in campo nel seguente elaborato per le barriere paramassi e le reti in aderenza presenti lungo la S.S. 34 (totale opere: 85) al fine di restituire, laddove possibile, un maggior dettaglio delle problematiche.

È opportuno sottolineare, ovviamente, che ogni criticità evidenziata influenzerà in maniera differente il comportamento e l'efficienza globale della relativa opera. Tale argomento verrà affrontato all'interno del par. 5.3.1, con riferimento al metodo sviluppato dal Politecnico di Torino nell'ambito del progetto RED.

Con il termine “efficienza” si intende la capacità dell'opera di mitigare il rischio nella maniera ottimale, che differisce dal termine “efficacia” che risulta essere l'adeguatezza dell'opera a mitigare il fenomeno anche in funzione del contesto circostante. Una compromissione dell'efficienza globale dell'opera comporta una conseguente perdita di efficacia. Per fare un esempio, nel caso di barriere paramassi la presenza di muretti a secco immediatamente a monte di una campata abbassano l'altezza efficace di intercettazione, compromettendo l'efficacia dell'opera. Nel caso delle reti in aderenza, invece, un esempio può essere fatto in merito all'aumento delle azioni destabilizzanti a causa dell'alterazione della parete superficiale, che potrebbe indurre un superamento della resistenza della rete e, dunque, influirne l'efficacia.

Al fine di agevolare la descrizione delle problematiche delle opere considerate nel seguente elaborato (barriere paramassi e reti in aderenza), si è optato per una suddivisione delle criticità in 5 macro-categorie, come riportato in Tabella 17.

Tabella 17: Suddivisione in categorie delle problematiche prestazionali di un'opera di difesa.

<i>Problematiche legate a:</i>	
– <i>Contesto circostante all'opera:</i>	in tale categoria si ipotizza che l'opera sia correttamente installata e mantenuta e che la riduzione di efficienza globale sia causata da fenomeni non dipendenti direttamente dall'opera o dalle sue componenti;
– <i>Progettazione ed installazione:</i>	in tale categoria si considerano le errate scelte progettuali e/o di installazioni di componenti, non conformi al manuale fornito, che influiscono sull'efficienza e/o sull'efficacia.
– <i>Impatti:</i>	in tale categoria sono anche comprese le problematiche derivanti da una assenza manutenzione in caso di impatti o sollecitazioni.
– <i>Usura e corrosione:</i>	in tale categoria sono anche comprese anche le problematiche derivanti da una assenza manutenzione degli elementi usurati e/o corrosi.
– <i>Errata manutenzione:</i>	le problematiche relative ad una errata manutenzione interessano le restanti categorie considerate nel momento in cui gli effetti di queste ultime si verificano.

È bene evidenziare, comunque, che le problematiche prestazionali riportate non risultano indipendenti l'una dalle altre e che spesso può sussistere una relazione di causa-effetto tra le diverse categorie. Infatti, a titolo di esempio, basti pensare che una errata o assente pulizia sistematica con tagli selettivi della vegetazione del versante in cui è collocata una barriera paramassi potrebbe comportare la presenza di specie arbustive a valle dell'opera stessa che ne limitano la capacità deformativa comportando una perdita di efficienza globale del sistema, sebbene l'opera goda della sua completa efficacia di mitigazione del rischio.

5.1 - Problematiche relative alle barriere paramassi

5.1.1 - Problematiche legate al contesto circostante all'opera

Le prestazioni di una barriera paramassi possono risultare compromesse anche quando le strutture e le componenti di quest'ultima si presentano installate e mantenute correttamente, senza alcuna particolare criticità. In tal caso, infatti, le problematiche risultano essere legate principalmente al contesto circostante all'opera in termini di vegetazione, variazione della morfologia, variazioni delle condizioni al contorno per causa naturali ed azioni antropiche e venute d'acqua.

La tipologia ed il tasso di vegetazione che caratterizza il versante su cui l'opera è posta in opera è un fattore che può svolgere un ruolo molto importante nella relativa perdita prestazionale. Molto frequente, infatti, risulta essere l'interazione della vegetazione circostante, quali per esempio specie vegetali ad alto o medio fusto a valle dell'opera, con la barriera paramassi a causa di una errata o assente manutenzione del versante. Tale interazione influisce sul comportamento del sistema in quanto la struttura di intercettazione non risulta libera di deformarsi, riducendo così la relativa capacità di assorbimento energetico (Figura 55.a). In tal caso, un'adequata pulizia del versante con tagli selettivi ove necessario risulta di fondamentale importanza al fine di evitare problemi alla capacità deformativa, quindi energetica, della barriera.



Figura 55: a) Esempio di specie vegetale arbustive posta a valle dell'opera (Fonte: Caso Studio); b) Esempio di stoccaggio di legname da parte di un privato all'interno della campata di una barriera paramassi (Fonte: report fotografico di Cargnel, O., in merito al Caso Studio).

L'azione antropica e/o della fauna locale può essere considerata anch'essa uno dei motivi di perdita di prestazionale. In Figura 55.b, infatti, si riporta il caso in cui una campata di una barriera paramassi è adibita a luogo di stoccaggio di legname da parte di un privato, inducendo una deformazione della rete principale e secondaria e, dunque, una riduzione della capacità energetica in caso di impatto.

Relativamente alle variazioni delle condizioni al contorno per cause naturali, eventi franosi che non interessano direttamente la barriera paramassi possono comunque indurre un calo prestazionale della stessa. La presenza, infatti, di vuoti al piede della struttura di intercettazione, dovuti ad eventuali eventi franosi che hanno interessato soltanto il versante a valle dell'opera, comporta la creazione di varchi attraverso i quali i blocchi distaccati provenienti da monte possono transitare senza essere arrestati, raggiungendo l'elemento a rischio posto a valle (Figura 56). La presenza di vuoti al piede può essere dovuta anche ad una errata installazione dell'opera, come verrà illustrato nel par. 5.1.2 in Figura 62.

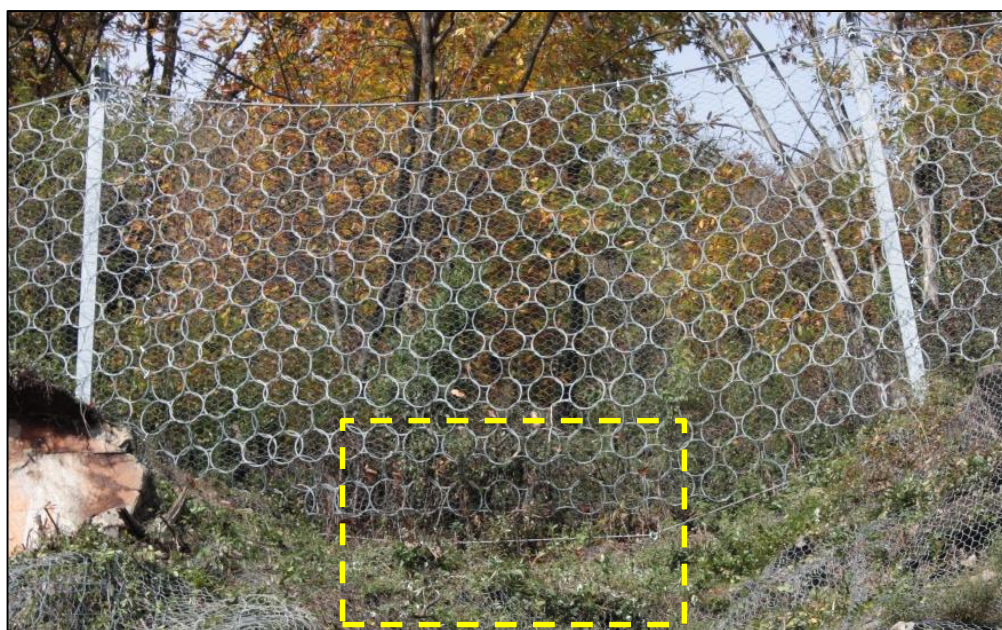


Figura 56: Presenza di un leggero vuoto al piede della campata dovuto ad un evento franoso del versante sottostante la barriera (Fonte: Caso Studio).

Infine, i fenomeni di corrosione e/o ossidazione delle componenti di una barriera paramassi (vedi par. 5.1.4) potrebbero risultare accelerati a causa delle acque meteoriche o delle acque di ruscellamento superficiale interagenti con l'opera. In quest'ultimo caso, risulta necessario valutare già in fase di progettazione un eventuale idoneo sistema di allontanamento delle acque ruscellanti, dato che, in aggiunta, le venute d'acqua possono influire sull'esecuzione delle fondazioni e degli ancoraggi dell'opera.

5.1.2 - Problematiche legate alla progettazione ed installazione

All'interno del seguente paragrafo si tratteranno le problematiche relative alla progettazione ed installazione di una barriera paramassi. Esse, infatti, possono influenzare sia l'efficienza che l'efficacia dell'opera. In maniera generale, il sistema di difesa in esame deve essere in grado di intercettare ed arrestare un blocco distaccato prima che esso raggiunga l'elemento a rischio posto a valle. Esso, dunque, deve essere idoneo in termini di altezza di intercettazione, capacità energetica di assorbimento e deformazione della struttura di intercettazione. Inoltre, il sistema deve essere esteso all'intera area a rischio di caduta massi.

Uno dei compiti, infatti, in fase progettuale di mitigazione del rischio tramite barriere paramassi è la scelta della collocazione dell'opera sul territorio più idonea a tale scopo, la quale viene effettuata in funzione di analisi statistiche di velocità e traiettoria di un blocco di progetto, tenendo conto sia delle condizioni morfologiche che idrogeologiche della zona scelta per l'installazione dell'opera. Tuttavia, si deve anche tener conto di un parametro caratteristico di ogni barriera che influisce sull'interazione del blocco impattante con l'elemento a rischio: la deformazione massima verso valle (vedi par. 3.2.3.1). In Figura 57 si riporta, infatti, il caso di una barriera ad elevata deformabilità installata lungo il coronamento di un muro di controripa in pietra e malta. La deformazione della struttura di intercettazione, in caso di impatto, interesserebbe l'elemento stradale invadendo la carreggiata e risultando essa stessa un fattore di pericolo. Un ulteriore fenomeno, di natura esecutiva, può verificarsi in fase preparatoria di posa in opera della barriera. Non di rado, infatti, capita di realizzare gli ancoraggi delle fondazioni in maniera tale da sollecitarli a taglio in caso di un eventuale impatto.



Figura 57: Barriera ad elevata deformabilità installata a bordo strada (Luciani, 2015).

Per quanto riguarda l'installazione, questa deve avvenire in conformità a quanto riportato all'interno del manuale di installazione fornito dal fabbricante. Non è raro, infatti, osservare una barriera paramassi a rete che sia stata installata in maniera non conforme al manuale d'installazione o, se si tratta di barriere paramassi pre-ETAG (oggi EAD 340059-00-0106), ai disegni costruttivi dei produttori dell'opera. Un errore di installazione può ridurre la capacità della barriera di arrestare il blocco e, di conseguenza, consentire il passaggio dei blocchi impattanti (Luciani et. al, 2018).

Tra le più frequenti situazioni di errata installazione vi sono quelle relative alle funi, le quali possono presentare angoli che possono danneggiarle e impedirne il corretto scorrimento, nel caso di barriere paramassi a rete, nel corso di un impatto oltre che sottoporle a sforzi differenti da quelle registrati in campo prova di certificazione (Dimasi et al, 2015). Oltre a geometrie d'installazione non idonee, in maniera generale le funi possono anche essere installate in maniera troppo lasca o eccessivamente tesa. Nel caso in cui la fune risulti troppo lasca, un impatto ne comporterebbe uno strappo improvviso che potrebbe condurla a rottura. Medesimo effetto si avrebbe anche nel caso di una fune tesa in modo anomalo, in cui la forza impulsiva indotta dall'impatto potrebbe risultare più che sufficiente a portarla a rottura. In aggiunta, nel caso in cui una fune troppo lasca non giunga a rottura a seguito di un impatto, a causa della bassa rigidezza del sistema le deformazioni verso valle risulterebbero più elevate rispetto a quelle riportate dal campo prova (Luciani, 2015). In merito alle funi di controvento di monte, ricorrente è il caso in cui esse risultano spesso installate in maniera sub-orizzontale con delle lunghezze ridotte o eccessive al fine di adattare l'opera alle condizioni morfologiche del territorio. (Figura 58).



Figura 58: Esempi di funi di controvento di monte non correttamente installate (Dimasi et al., 2015).

Per quanto riguarda la fune longitudinale inferiore, essa potrebbe subire un danneggiamento per strofinamento laddove risulti montata a contatto con rocce, plinti in calcestruzzo o tirafondi metallici (Figura 59).

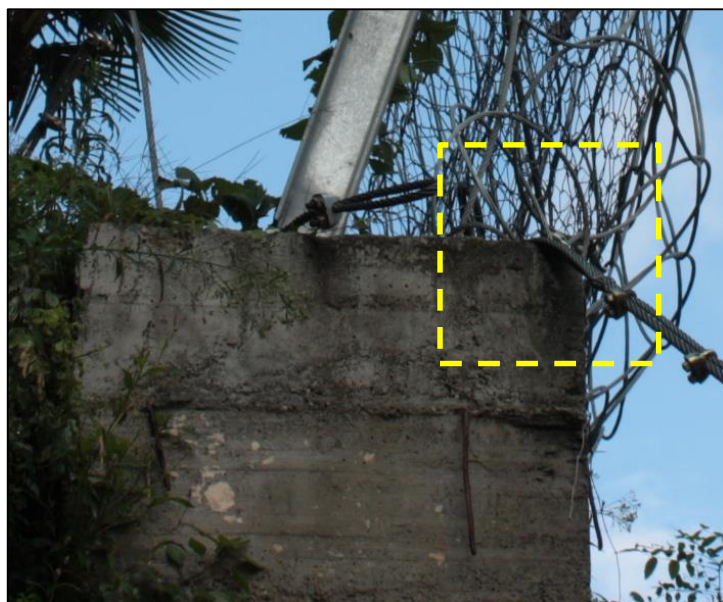


Figura 59: Esempio di interazione della fune longitudinale inferiore con il plinto in cls (Fonte: Caso Studio).

Nell'ambito della posa in opera della barriera paramassi, è necessario avere particolarmente cura di realizzare a regola d'arte le fondazioni sia dei montanti che delle funi di connessione, in particolare degli elementi di ancoraggio. Tali elementi, infatti, hanno il compito ultimo di trasferire le sollecitazioni al terreno. Se dovessero essere soggetti a sollecitazioni tali da portarli a rottura per sfilamento, l'intera funzionalità della barriera paramassi sarebbe compromessa. In Figura 60, per esempio, si riporta il caso di una barriera paramassi con un ancoraggio del controvento di monte, non idoneo, costituito da una barra d'armatura cementata in corrispondenza della quale la fune forma un'asola senza poi essere adeguatamente vincolata e giuntata.



Figura 60: Esempio di una installazione della fune di controvento di monte con relativo ancoraggio non idoneo (Fonte: Caso Studio).

Oltre all'esecuzione a regola d'arte delle fondazioni dei montanti, è opportuno che questi ultimi giacciano sullo stesso livello, cioè vengano installate lungo la stessa isoipsa. Nella pratica operativa, è possibile a volte osservare la realizzazione di barriere paramassi sul coronamento di un muro di contenimento, caratterizzato da altezze differenti rispetto al piano

di base. Se le fondazioni non sono disposte sullo stesso livello (Figura 61), cioè se vi è un disallineamento dei montanti, lo stress della barriera risulta essere elevata e la resistenza della struttura diminuisce (Cardinali, 2016).

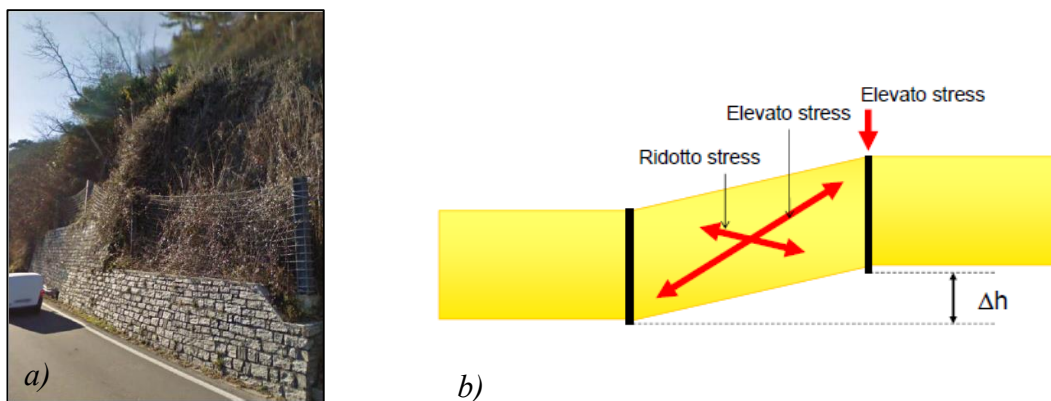


Figura 61: a) Esempio di installazione di una barriera paramassi con dislivelli tra le fondazioni dei montanti (Fonte: Cargnel, O. relativo al Caso Studio); b) Rappresentazione qualitativa degli stress indotti da una errata realizzazione delle basi dei montanti (Cardinali, 2016).

Il disallineamento dei montanti può avvenire anche per cause non collegate all'installazione ma ad eventuali impatti (vedi par. 5.1.3). Tale criticità può essere anche riscontrabile quando una barriera viene realizzata in un versante topograficamente irregolare, in corrispondenza di avvallamenti. In quest'ultimo caso, ciò può comportare l'eventuale presenza di un varco al piede dovuto ad una errata installazione dell'opera (Figura 62).



Figura 62: Esempio di varco al piede della rete dovuto ad una errata installazione della barriera (Luciani tesi).

Per quanto riguarda l'installazione degli elementi accessori di una barriera, oltre alla possibilità di osservare un elemento costitutivo dell'opera installato non secondo gli standard riportati nel manuale di installazione, vi è anche la possibilità di rilevarne la parziale o completa assenza. Tra gli elementi di collegamento, i morsetti possono essere considerati uno dei punti sul quale prestare particolarmente attenzione per garantire il corretto

comportamento delle strutture di connessione durante tutta la vita di una barriera paramassi (Luciani, & Peila, 2017). I morsetti di giunzione delle funi possono non risultare installati in conformità alla norma di buona tecnica UNI EN 13411-5 (vedi par. 3.3.1.3) ed al manuale di installazione dell'opera in termini di numero, distanza e coppia di serraggio. In Figura 63 è riportato un esempio in cui si osserva un numero adeguato di morsetti posti però a distanza elevata l'uno dall'altro, con interasse variabile e numero non idoneo.



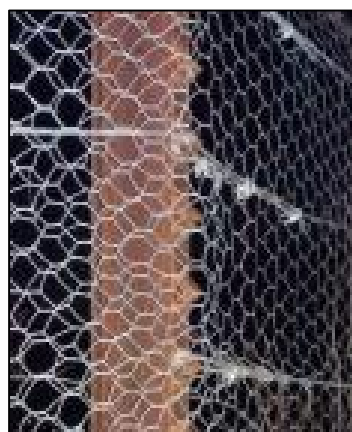
Figura 63: Esempio di morsetti delle funi di controvento di monte in numero non idoneo e mal distanziati (Fonte: Caso Studio).

Relativamente ad una errata coppia di serraggio dei morsetti, in Figura 64 è possibile osservare il caso in cui, a seguito di un impatto, la fune ha avuto la possibilità di scorrere perché non adeguatamente giuntata. In tal caso, un eventuale dissipatore di energia collocato lungo la fune non avrebbe modo di attivarsi e di contribuire alla capacità energetica del sistema. È opportuno sottolineare che una errata coppia di serraggio di morsetti può essere dovuta sia ad una errata installazione sia ad una sua riduzione nel tempo senza adeguata manutenzione. Un controllo periodico, dunque, di tale parametro risulta necessario dato che può ridursi nel tempo (vedi par. 3.3.1.3).



Figura 64: Esempio del mal funzionamento dei morsetti di giunzione in caso di impatto (Dimasi et al., 2015).

Infine, l'esigenza di installare ex novo barriere paramassi può essere data anche per sostituire o rimpiazzare vecchie barriere che si presentano in un elevato stato di ammaloramento o che sono state interessate da fenomeni franosi che le hanno completamente divelte. È questo il caso riportato in Figura 65, in cui si osserva il montaggio di una nuova barriera "travi e funi" a continuazione di una già presente sul territorio. Ciò che si evidenzia è l'errata installazione delle funi metalliche longitudinali sul montante in comune tra la nuova e la vecchia barriera. Tali funi, infatti, non formano un'asola attorno al montante ma risultano chiuse e morsettate attorno agli elementi di alloggiamento delle funi del montante, creando un punto fragile sollecitato a taglio in caso di impatto. Tale casistica può anche essere considerata un caso di errata manutenzione, in quanto la barriera non divelta dal fenomeno franoso è ricondotta alla sua estensione originaria mediante l'installazione di una nuova barriera paramassi.



Dettaglio dell'errata installazione

Figura 65: Esempio di una errata installazione delle funi metalliche longitudinali di una barriera "travi e funi" (Fonte: report fotografico Cargnel, O. relativo al Caso Studio).

5.1.3 - Problematiche legate ad impatti

Le barriere paramassi sono ideate e progettate con l'intento di intercettare ed arrestare i blocchi impattanti a cui, durante la loro vita utile, possono essere soggette. Le problematiche collegate ad impatti, non solo lapidei, riguardano tutte le strutture di una barriera paramassi. Nel presente paragrafo verranno anche trattate le problematiche relative ad una assenza di manutenzione, ordinaria e straordinaria, a seguito di impatti.

Con riferimento alla struttura di intercettazione, eventuali impatti hanno la capacità di lacerare e/o deformare la rete principale e/o secondaria (Figura 66.a), specialmente nel caso in cui tali reti presentino una alterazione delle proprietà meccaniche (dovuta a fenomeni corrosivi) o della geometria iniziale. Nel caso più estremo, tale struttura può essere completamente attraversata da un blocco senza opporre particolare resistenza (Figura 66.b)

o scavare la rete a causa del suo moto lungo il pendio. Nello specifico, carenze di questo tipo sono dovute principalmente ad assenza di interventi manutentivi o ad errori progettuale relativamente alla scelta del blocco di progetto ed alla analisi statistica delle velocità in gioco e/o delle traiettorie lungo il versante.



Figura 66: a) Esempio di deformazione della struttura di intercettazione a causa dell'impatto con un blocco (Fonte: Caso Studio); b) Esempio di perforazione di una barriera paramassi a seguito di un blocco di energia > MEL (Guillemin, 2009).

Gli impatti a cui una barriera paramassi può essere soggetta non sono limitati soltanto ad elementi lapidei ma possono anche comprendere la vegetazione arbustiva circostante, con a volte gli stessi effetti di un impatto con un elemento lapideo. In Figura 67 si riporta un esempio in cui la struttura di intercettazione di una barriera è stata interessata dall'impatto con un elemento arbustivo.



Figura 67: Esempio di impatto con elementi arbustivi (Fonte: report fotografico Cargnel, O. relativo al Caso Studio).

Com'è possibile osservare in Figura 67, gli impatti, sia di elementi lapidei che di specie arbustive, possono comportare tra i tanti effetti anche quello di riduzione dell'altezza nominale di intercettazione, se non addirittura di quella residua. In tal caso, l'efficienza di dell'opera è abbassata, o annullata, considerevolmente dall'azione di schianto di specie vegetali a medio/alto fusto.

Un aspetto da tener in conto relativo alle problematiche legato all'impatto è legato al punto in cui l'impatto avviene. Nonostante la bassa probabilità, è possibile che si verifichi il caso in cui un blocco impatti direttamente un montante, il quale non svolge alcuna funzione strutturale nel sistema. In Figura 68 viene riportato il caso in cui un blocco, prima di essere intercettato dalla rete, ha divelto il montante.



Figura 68: Esempio di abbattimento del montante a causa di un blocco impattante (Cardinali, 2016)

Una ulteriore criticità di un evento di crollo sulla rete principale e/o secondaria o sul montante può essere quella relativa alla perdita del rivestimento anticorrosivo nel punto di impatto rispettivamente delle funi e dei fili che li costituiscono, comportando un fenomeno di corrosione localizzata (Figura 69). Il fenomeno di corrosione localizzata a causa di impatti può presentarsi anche sui montanti che negli elementi di collegamento e giunzione tra pannelli di rete.



Figura 69: Esempio di corrosione localizzata di una rete principale ad anelli metallici a causa di un impatto (Luciani, 2015)

Relativamente alla struttura di supporto, nonostante le basse probabilità di accadimento, un impatto potrebbe comportare la deformazione, la rottura o l'abbattimento del montante. Inoltre, possono sussistere anche criticità nelle fondazioni dei montanti, modificandone geometria o portandoli a rottura, e danneggiamenti del relativo vincolo di collegamento alla base. In aggiunta, nel sistema di insieme degli elementi di supporto, un impatto potrebbe provocare un disallineamento dei montanti e, quindi, una variazione della geometria dell'opera (Figura 70).

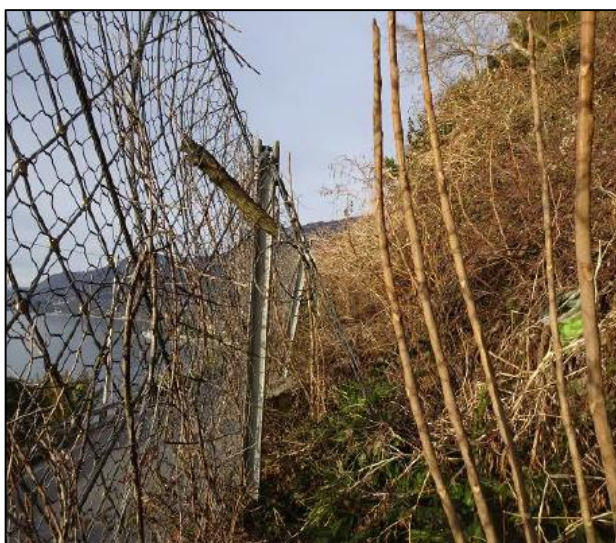


Figura 70: Esempio di lieve disallineamento di un montante a seguito di un impatto (Fonte: report fotografico Cargnel, O. relativo al Caso Studio)

Per quanto riguarda la fune longitudinale inferiore, la fune longitudinale superiore le funi di controvento, esse principalmente possono essere soggetti a rotture, anche parziali, dei singoli fili costituenti a seguito di un impatto. Inoltre, possibile è anche il caso in cui tali funi si ritrovano in una configurazione finale per cui sono soggette ad una ridotta o eccessiva tesatura. Laddove fossero presenti dissipatori di energia nelle funi citate, questi potrebbero presentare deformazioni permanenti parziali o totale (Figura 71). Una loro mancata sostituzione, infatti, comporterebbe, in caso di un nuovo impatto, una riduzione della capacità di assorbimento del sistema.



Figura 71: Esempio di un freno Maccaferri post-impatto (Peila, 2017).

Tra i fenomeni più ricorrenti a cui è soggetta una barriera soggetta a impatti che non subisce alcuna manutenzione ordinaria o straordinaria, vi è l'accumulo di elementi lapidei di pezzatura media-fine, ma anche di sterpaglie e/o specie vegetali arbustive, a monte della struttura di intercettazione (Figura 72). Tra i principali effetti di un notevole volume accumulato, si citano l'eventuale riduzione dell'altezza di intercettazione, se non residua, della barriera, la deformazione della struttura di intercettazione e/o il disallineamento dei montanti rispetto alla geometria iniziale. In aggiunta, si evidenzia la possibilità di un non corretto funzionamento degli elementi interessati dalla presenza di accumuli di materiale, quali fune di sostegno al piede e cerniere di base dei montanti.



Figura 72: Esempio di accumulo di materiale detrito e specie vegetali a monte della struttura di intercettazione (Fonte: report fotografico Cargnel, O. relativo al Caso Studio).

5.1.4 - Problematiche legate all'usura ed alla corrosione

Uno dei problemi che più contribuisce all'ammaloramento di una barriera paramassi è la corrosione che può interessare tutte le componenti che costituiscono la barriera. Quest'ultima, infatti, può presentare l'ossidazione degli elementi metallici, con formazione di ruggine. La ruggine riduce l'area della sezione trasversale resistente dei componenti, comportandone una riduzione delle proprietà fisiche e meccaniche (Marchelli, et al., 2019).

I fenomeni di corrosione possono interessare tutti i componenti, seppur in maniera diversa, di una barriera paramassi: dai montanti alle fondazioni, dalle funi a tutti gli elementi accessori (morsetti, eventuali freni, redance, etc.). Laddove la sezione dei componenti risulta apprezzabile, come nei montanti, gli effetti di una corrosione non particolarmente invasiva risultano poco influenti ai fini strutturali. Viceversa, per i fili d'acciaio di cucitura, per le reti a singolo filo e per i singoli fili costituenti i trefoli delle funi spirodali presenti all'interno di una barriera paramassi, la corrosione è un processo molto importante da dover considerare. Oltre ad una variazione delle proprietà dovute a tale processo, infatti, una riduzione di sezione anche solo dell'ordine dei millimetri comporterebbe un aumento significativo delle tensioni a cui sono soggetti gli elementi citati (Luciani, 2015). Gli elementi che si mostrano più frequentemente corrosi sono i morsetti di collegamento delle funi, i quali risultano spesso distribuiti casualmente dando la possibilità di osservare in una fune elementi corrosi e no e non permettendo di individuare l'evento di attivazione della corrosione. Non è raro, infatti, che morsetti di recente installazione possano necessitare di essere mantenuti anche per eventuali fenomeni corrosivi. Pertanto, i produttori dovrebbero porre particolare attenzione e analisi sulla resistenza alla corrosione dei morsetti al fine di garantire la durata delle connessioni (Luciani & Peila 2017).

I fenomeni di corrosione possono sopraggiungere anche a causa di impatti (vedi 5.1.3) e la relativa cinetica di sviluppo può essere accelerata laddove l'ambiente circostante in cui è collocata l'opera presenti condizioni favorevoli (principalmente condizioni climatiche e tipologia di batteri presenti).

I problemi di corrosione possono essere riscontrati anche in opere di recente installazione. Ecco, dunque, che risulta fondamentale limitare il fenomeno attraverso rivestimenti anti-corrosivi dei componenti dell'opera al fine di garantirne il corretto comportamento (vedi Capitolo 4). Per quanto la dinamica di sviluppo, la corrosione si sviluppa di solito in tempi relativamente lunghi se non sussistono particolari condizioni locali. In una barriera paramassi, tuttavia, lo sviluppo del fenomeno corrosivo è accelerato da particolari condizioni quali il contatto metallo-metallo di composizioni differenti che favorisce una corrosione di

natura elettrochimica (corrosione galvanica). Inoltre, vi è la possibilità che le funi di sostegno inferiori e gli elementi che sono a contatto con la vegetazione ed il terreno, in condizioni di umidità diverse dal resto della barriera, possano essere più soggette al degrado, anche per effetto di agenti biologici quali i batteri solfato-riduttori presenti nel terreno (Luciani, 2015).

5.1.5 - Problematiche legate ad una errata manutenzione

Una corretta manutenzione risulta fondamentale al fine di garantire una idonea efficienza dell'opera per tutta la relativa vita utile. In maniera generale, con manutenzione di intendono una serie di interventi atti a garantire e/o ripristinare le condizioni originarie della barriera paramassi (vedi Capitolo 4). Tuttavia, nella realtà operativa la manutenzione delle opere non viene spesso effettuata con la cadenza prevista o risulta non idonea o addirittura assente. Ciò comporta un livello prestazionale dell'opera differente da quello di origine. Nel seguente paragrafo verranno riportate le problematiche relative ad una errata manutenzione dell'opera, avendo già trattato le conseguenze di un'assenza di manutenzione nei precedenti paragrafi.

Come già introdotto all'inizio del presente capitolo, le problematiche relative ad una errata manutenzione si presentano nel momento in cui gli effetti delle restanti categorie descritte si verificano. Gli errori di natura manutentiva sono molto vari tra di loro a causa dell'arbitrarietà di scelta dell'intervento ritenuto più idoneo da personale non qualificato e/o delle tempistiche previste. In Figura 73.a, per esempio, si riporta il caso in cui la capacità prestazionale della barriera risulta compromessa per un evento franoso che non ha interessato direttamente l'opera ma il versante posto a valle e che ha provocato la presenza di un varco. Il rischio derivante da quest'ultimo è stato mitigato con la posa in opera di una rete a doppia torsione che certamente non garantisce una capacità energetica sufficiente. In casi come questi, si dovrebbe prevedere la posa in opera di un nuovo set composto da rete principale, rete secondaria ed eventuali funi aggiuntive con ancoraggi a protezione del varco che non alteri la configurazione della barriera. Infatti, qualsiasi intervento che modifichi la geometria iniziale del campo prova con cui è stata testata la barriera, comporta un malfunzionamento della stessa, come nel caso in Figura 73.b in cui una delle due funi longitudinali inferiori presenti è obbligata a transitare all'interno di un passacavo intermedio per chiudere il varco creatosi al piede. Si sottolinea che alcune barriere paramassi sono caratterizzati dalla presenza di una doppia fune longitudinale superiore ed inferiore, come nel caso in esempio, montate in maniera differente in corrispondenza degli elementi di supporto intermedi.



Figura 73: a) Esempio di varco al piede chiuso con la posa in opera di una rete a doppia torsione (Luciani, 2015); b) Esempio di varco al piede chiuso obbligando la fune longitudinale inferiore a transitare in un passacavo intermedio (Fonte: Caso Studio).

Con riferimento a quanto descritto all'interno del par. 5.1.3, una barriera paramassi che ha subito direttamente fenomeni di impatto deve essere soggetta a manutenzione straordinaria con tempistiche ridotte, valutando la possibilità di sostituzione della stessa. In caso di impatto, bisogna prevedere la rimozione del blocco fermato ed al ripristino dell'altezza di intercettazione della barriera. La rete principale, insieme eventualmente a quella secondaria, secondaria può essere soggetta a lacerazioni e/o deformazioni. Una corretta manutenzione prevede il ripristino di tali componenti prestando attenzione, soprattutto per la rete principale, a non variare la rigidità della componente (e.g.: inserimento di un vincolo rigido). Una variazione di rigidità, infatti, comporta degli sforzi trasmessi in gioco più elevati nonché la creazione di un punto di debolezza in corrispondenza del punto della rete in cui è avvenuta la lacerazione e/o deformazione (Figura 74).



Figura 74: Esempio di inserimento di un vincolo rigido (morsetto) come intervento manutentivo di una rete principale ad anelli con rottura dell'anello a seguito di un impatto (Fonte: Luciani, 2015).

Infine, in caso di impatto la verifica dell'esigenza di mantenere le fondazioni e gli ancoraggi è difficile da attuare quando questi, da un esame visivo esterno, non presentano danneggiamenti. I danni, infatti, possono essere anche non visibili perché avvenuti all'interno del sottosuolo.

Come già introdotto nel par. 5.1.1, ricorrente è il caso in cui una errata manutenzione del versante comporti la crescita di specie arbustive a medio/alto fusto tra le maglie della rete principale, causandone la formazione di varchi e/o deformazioni (Figura 75).



*Figura 75: Esempio di crescita di una pianta a medio fusto tra la struttura di intercettazione con formazione di un varco
(Fonte: report fotografico di Cargnel, O., in merito al Caso Studio).*

5.2 - Problematiche relative alle reti in aderenza

Nei paragrafi successivi si riportano le principali problematiche prestazionali delle reti a cortina e delle reti rinforzate. Queste ultime, infatti, sono perlopiù soggette alle medesime criticità, le quali tuttavia influenzano in maniera differente l'efficienza globale della tipologia di rete considerata.

5.2.1 - Problematiche legate al contesto circostante dell'opera

In analogia con quanto riportato all'interno del par. 5.1.1 in merito alle barriere paramassi, anche le prestazioni delle reti in aderenza (reti a cortina e reti rinforzate) possono risultare compromesse nonostante esse siano adeguatamente. In tal caso, infatti, le problematiche constano di presenza di vegetazione, morfologia del versante, variazioni delle condizioni al contorno per causa naturali ed azioni antropiche e venute d'acqua.

La presenza di vegetazione, quali alberi o cespugli, non soggetta a tagli selettivi sistematici o straordinari ove necessario potrebbe comportare fenomeni di spanciamiento provocando una non corretta aderenza della rete al versante. L'unione tra una non corretta installazione delle reti in aderenza e una elevata presenza di vegetazione sul versante potrebbe comportare, come riportato all'interno del par. 5.2.2, casi di non aderenza tali da non far svolgere alcuna azione di mitigazione all'opera considerata.

La vegetazione è responsabile anche dell'aumento di rigidità della rete di contenimento (per esempio con specie rampicanti o arbustive cresciute tra le maglie della rete). Con riferimento alla Figura 76.a, infatti, la specie arbustiva presente sul versante, oltre alla possibile rottura di alcune maglie della rete, comporta un non corretto contenimento di eventuali elementi distaccati. Questi ultimi, dunque, con la loro azione dinamica possono sollecitare la rete di rigidità ridotta in maniera tale da portarla a rottura.



Figura 76: a) Esempio di una specie arbustiva cresciuta inglobando la rete soprastante (Fonte: Caso Studio); b) Esempio di emergenza idrica su una parete rocciosa che ha comportato il parziale arrugginimento di un ancoraggio (Fonte: Caso Studio).

Relativamente all'ammasso roccioso protetto da una rete in aderenza, quest'ultimo può essere caratterizzato da una circolazione idrica nelle relative fessure. Nel momento in cui vi è la venuta a giorno sulla parete del versante, l'acqua fuoriuscente dalla parete può comportare un'accelerazione delle dinamiche di arrugginimento e corrosione degli elementi metallici con cui viene a contatto (Figura 76.b).

Il versante da proteggere con la posa in opera di reti in aderenza può presentarsi, sotto il punto di vista morfologico, in maniera più o meno irregolare. Ciò comporta che la tipologia di rete in aderenza da utilizzare va scelta adeguatamente in fase progettuale e che più la morfologia è articolata, maggiore è la difficoltà di installazione dell'opera sulla parete con reti in aderenza, così come riportato all'interno del par. 5.2.2. Se l'utilizzo di una determinata tipologia di rete rispetto ad un'altra è perlopiù un problema di ambito progettuale in funzione, tra gli altri parametri, della morfologia del versante, non lo è la mancata aderenza a causa della presenza di vegetazione interagente con la rete (Figura 77).



Figura 77: Esempio di interazione tra la vegetazione del versante in cui è collocata l'opera e l'opera stessa (Fonte: Caso Studio).

Infine, si sottolinea come anche le azioni derivanti dall'uomo o dalle specie animali possano influire sull'integrità ed efficienza di una rete in aderenza (Marchelli, et al., 2019).

5.2.2 - Problematiche legate alla progettazione ed installazione

Per la corretta progettazione di una rete in aderenza è fondamentale comprendere che il comportamento complessivo del sistema, nelle installazioni reali di reti, è fortemente condizionato dall'assemblaggio della rete o dei pannelli di rete di fune, dai cavi di rinforzo e dalle modalità di messa in opera (Peila, 2017). Il progettista, inoltre, deve valutare le condizioni geo-meccaniche e di alterazione del versante da proteggere, l'estensione dell'opera sul versante da proteggere e la resistenza necessaria che la rete da porre in opera deve possedere.

In fase progettuale, infatti, di fondamentale importanza risulta la determinazione dello spessore instabile della parete rocciosa al fine di prevedere un'adeguata lunghezza degli ancoraggi tale da andare ad interessare il substrato non alterato sottostante (vedi par. 3.3). La determinazione della lunghezza necessaria degli ancoraggi risulta anche importante ai fini realizzati dell'opera, dato che la capacità di perforazione a mano di operatori appena in fune è dell'ordine dei 3 m per fori aventi diametro 36-40 mm (Ferraiolo & Giacchetti, 2004). Come anticipato all'interno del par. 5.2.1, la morfologia del versante influisce sulla facilità d'installazione di una rete in aderenza. La scelta della tipologia di rete in aderenza più adeguata per un versante va effettuata in fase progettuale, tenendo conto tra i vari fattori anche della morfologia. In Figura 78, infatti, si osserva un caso diffuso di non aderenza della rete a causa dell'andamento irregolare del versante. In aggiunta, si osserva nello specifico come un elemento lapideo pluridecimetrico potenzialmente instabile non risulta ben contenuto. La presenza di forme irregolari implica infatti la realizzazione di rattoppi, sovrapposizioni e piegature (Ferraiolo & Giacchetti, 2004).

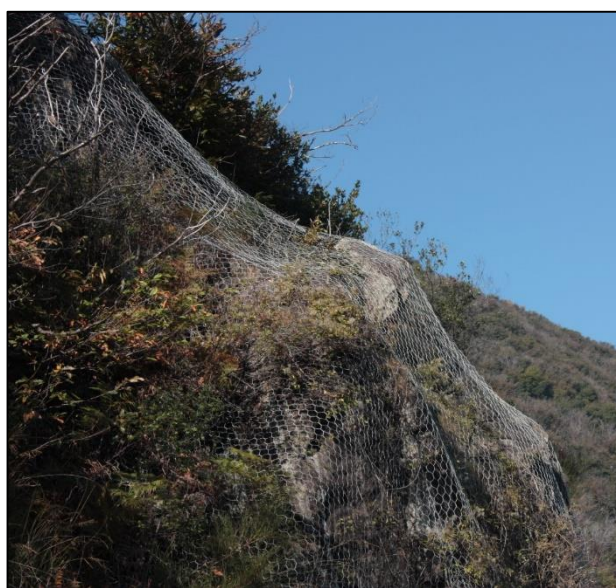


Figura 78: Esempio di una parete in roccia morfologicamente articolata che non consente la piena aderenza della rete al versante (Fonte: Caso Studio);

Nella gran parte dei casi, la morfologia della parete in roccia è tale da rendere difficoltosa una perfetta adesione tra parete stessa e rivestimento ed è quindi possibile il distacco degli elementi lapidei ed il loro moto verso valle, non essendo adeguatamente contrastati dalla rete. La struttura, infatti, potrebbe essere sollecitata da forze impulsive che dipendono dall'irregolarità della parete rocciosa e dalla qualità del posizionamento della rete (Peila, 2017). Ciò comporterebbe possibili fenomeni di lesione di tipo dinamico che possono essere evitati o garantendo una corretta aderenza della rete al versante o scegliendo, in fase di progetto, una rete con elevata resistenza dinamica. A titolo di esempio, in Figura 78 è riportato il caso di una rete TECCO in cui la presenza di vegetazione a monte, in unione ad una non idonea densità di ancoraggi lungo la parete rocciosa, ha comportato una notevole non aderenza della rete alla parete rocciosa di controripa.



Figura 79: Esempio di una rete TECCO non aderente al versante (Fonte: Caso Studio).

Con riferimento a quanto descritto all'interno del par. 5.2.1, la presenza, in una parete rocciosa naturale, anche dopo adeguate operazioni di disgaggio, di rientranze, avvallamenti, fratturazioni, sporgenze e punti di repentina variazione dell'acclività, è da ritenersi inevitabile e le conferisce una morfologia sempre accidentata e spesso anche molto frastagliata (Valfrè, 2017). In via generale, si osserva che tutte le reti posate in opera devono essere leggermente pre-tesate, in modo da consentire ai vincoli di entrare in funzione (Ferraiolo & Giacchetti, 2004). Una morfologia della parete molto frastagliata può anche impedire una perfetta tesatura degli elementi costituenti il rivestimento.

Nel momento in cui la scelta progettuale della tipologia di rete (a cortina o rinforzata) risultasse, dal punto di vista morfologico, errata, ciò comporterebbe elementi lapidei che possono distaccarsi, acquisire energia cinetica e arrestarsi al piede, deformando la rete, o

lacerarla. In Figura 80, è riportato un esempio in cui una rete rinforzata risulta progettata e/o installata con una maglia delle funi di rinforzo non ben proporzionata. Essa, infatti, presenta un'altezza eccessiva che non ne consente la corretta aderenza al versante.



Figura 80: Esempio di una rete rinforzata installata con una maglia delle funi di rinforzo eccessiva (Fonte: Caso Studio).

Da un punto di vista relativo soltanto all'installazione delle reti, molto frequente è il caso in cui il set di funi caratteristico di ciascuna tipologia di reti in aderenza non risulti correttamente giuntato. I morsetti di giunzione risultano molto spesso poco o eccessivamente distanziati, con interasse variabile ed in numero inferiore rispetto a quanto suggerito dalla UNI EN 13411-5: 2009, con la possibilità di una non idonea coppia di serraggio (Figura 81.a).



Figura 81: a) Esempio di una non corretta giunzione delle funi di una rete rinforzata (Fonte: Caso Studio); b) Esempio di un ancoraggio in barra d'armatura non ripiegata relativo alla fune di sostegno al piede (Fonte: Caso Studio).

È possibile anche osservare, a volte, l'installazione di ancoraggi delle funi di una rete in aderenza non pienamente idonei a garantire l'efficacia dell'opera. Sebbene non esista una specifica normativa che fornisca delle prescrizioni sulla fase di esecuzione di una rete, è possibile concludere che, per esempio, ancoraggi realizzati da una barra d'armatura non ripiegata non garantiscono la corretta tenuta di una fune di sostegno e/o di una fune di

rinforzo (Figura 81.b). Limitatamente all'installazione delle funi di rinforzo, bisognerebbe evitare di creare punti di debolezza all'interno delle teste dei relativi ancoraggi durante la fase di esecuzione. In Figura 82.a, infatti, si riporta un caso diffuso di errata installazione delle funi di rinforzo. In tal caso, esse non transitano mantenendo la propria direzione all'interno della testa dell'ancoraggio (Figura 82.b), bensì la deviano creando, in caso di sollecitazione, un punto di debolezza in corrispondenza del cambio di direzione della fune. In aggiunta, anche le teste degli ancoraggi possono risentire di tale installazione, in quanto potenzialmente soggetti a forze di trazione che possono danneggiare e/o portare a rottura l'elemento.



Figura 82: a) Esempio di errata installazione delle funi di rinforzo (Fonte: Caso studio); b) Esempio di una corretta installazione delle funi di rinforzo (Fonte: Caso Studio).

Infine, una rete di contenimento deve risultare ben connessa sia alla fune di sostegno superiore che a quella inferiore, laddove presente. Tale rete, infatti, dovrebbe essere sia ben risvoltata intorno alle funi citate, sia vincolata con elementi di giunzione come un filo d'acciaio o altro ad interasse regolare. Nella pratica operativa, comune è il caso in cui il collegamento non viene effettuato correttamente. In Figura 83, è possibile notare come la rete, che ha subito una sollecitazione, abbia creato un vuoto alla base della fune di sostegno al piede a causa di una errata connessione. Ciò comporta nei casi di scarpate di controripa la possibile invasione dell'elemento lapideo sull'elemento stradale una volta che esso è stato guidato al piede della rete.



Figura 83: Esempio di vuoto al piede della rete (Fonte: Caso Studio).

5.2.3 - Problematiche legate ad impatti e sollecitazioni

La funzione delle reti a cortina è quella di contenere la caduta di eventuali elementi lapidei e guidarli al piede della rete in maniera controllata. Le reti rinforzate, invece, trattengono gli elementi lapidei all'interno del campo definito da quattro chiodi. In entrambi i casi, per raggiungere la funzione indicata, essenziale risulta essere la continuità strutturale e la buona aderenza della rete al versante. Nel presente paragrafo verranno anche trattate le problematiche relative ad una assenza di manutenzione a seguito di impatti o sollecitazioni.

Nel momento in cui un elemento lapideo acquisisce una sufficiente energia cinetica e la rete di contenimento non è caratterizzata da un'elevata resistenza dinamica, esso potrebbe comportare deformazioni e/o lacerazioni della rete che comprometterebbero la funzionalità dell'opera (Figura 84.a). In aggiunta, il luogo di connessione tra due pannelli di rete può comportare una notevole riduzione dell'efficacia del sistema. Infatti, qualora due pannelli di rete fossero stati connessi con elementi di giunzione non idonei o non mantenuti, in caso di sollecitazione si potrebbe creare un'apertura della rete che lascerebbe non protetta una porzione di versante (Figura 84.b).



Figura 84: a) Esempio di lacerazione della rete dovuto ad un impatto pregresso (Fonte: Caso Studio); b) Esempio di una importante apertura tra due pannelli di rete (Fonte: Caso Studio).

La struttura di contenimento di una rete in aderenza può essere danneggiata non solo da impatti ma anche dalla presenza di accumuli di detrito al piede o nelle zone intermedie, i quali possono causare eccessivi sforzi che portano al cedimento del filo costituente la rete ed alla rottura della componente in analisi (Marchelli, et al., 2019). Nella realtà operativa, è comune osservare la presenza di accumuli di materiale (Figura 85.a). Ciò potrebbe comportare anche, in particolari condizioni, lo sfilamento di uno degli ancoraggi. Questo

evidenzia una chiara mancanza nelle procedure di manutenzione. Risulta, quindi, necessario uno svuotamento periodico della rete dall'eventuale presenza di detrito ma anche di sterpaglie e specie arbustive.



Figura 85: a) Esempio di accumulo di materiale detritico all'interno della rete di contenimento (Fonte: Caso Studio); b) Esempio di sfilamento di un ancoraggio delle funi di rinforzo di una rete rinforzata (Fonte: Caso Studio).

La rete di contenimento non è la sola componente che può risentire degli effetti di una sollecitazione. Relativamente alle reti rinforzate, per esempio, le forze trasmesse agli ancoraggi dalle funi di rinforzo potrebbero comportare uno sfilamento più o meno importante dello stesso (Figura 85.b).

5.2.4 - Problematiche legate all'usura ed alla corrosione

Analogamente a quanto descritto per le barriere paramassi, anche nelle reti in aderenza i fenomeni di usura e corrosione potrebbero comportare problemi alla funzionalità dell'opera. La corrosione, infatti, può ridurre le proprietà meccaniche della rete, determinando un comportamento non idoneo della rete. Le condizioni circostanti l'opera, come già visto all'interno del par. 5.2.1 in Figura 76.b, quali i ristagni d'acqua dovuti alle specie vegetali presenti, il ruscellamento delle acque e/o emergenze idriche dell'ammasso roccioso possono comportare una riduzione delle tempistiche di accadimento della corrosione, il quale risulta accelerato in particolari condizioni ambientali (e.g. zone marine). In condizioni di umidità,

la crescita di funghi risulta avvantaggiata con conseguente modifica dell'ambiente chimico (Marchelli, et al., 2019).

Relativamente agli ancoraggi ed alle funi che costituiscono l'opera, uno dei principali problemi è costituito dal fenomeno di arrugginimento. La ruggine, infatti, riduce l'area della sezione trasversale resistente dei componenti ed è in grado di danneggiare la testa e la piastra di ancoraggio (Marchelli, et al., 2019). Lo sfilamento di quest'ultimo può essere causato sia dalla presenza di acqua e/o di umidità, che corrodono e deteriorano la superficie di contatto tra il chiodo dell'ancoraggio e la boiaccia cementizia, sia da accumuli di detrito nella rete, a causa della formazione di forze esercitate eccessive (vedi par. 5.2.3). In aggiunta, analogamente a quanto illustrato per le barriere paramassi, anche per le reti in aderenza gli elementi di giunzione possono essere considerati uno degli elementi che più influisce sulla efficienza globale dell'opera. Tali elementi devono essere periodicamente controllati ed eventualmente mantenuti in caso di fenomeni di corrosione, i quali compromettono la loro integrità e proprietà meccaniche (Figura 86). In caso contrario, infatti, potrebbero comportare lo sfilamento delle funi cui sono collegate dalle relative teste di ancoraggio se la rete è soggetta a sollecitazione o se vi sono accumuli di materiale all'interno.



Figura 86: Esempio di giunzioni in numero non idoneo, con elevato interasse e con dadi arrugginiti delle funi di rinforzo di una rete rinforzata (Fonte: Caso Studio).

5.2.5 - Problematiche legate ad una errata manutenzione

Nelle reti in aderenze, un'errata manutenzione corrisponde perlopiù all'assenza di quest'ultima. È possibile che si verifichi, in caso di lacerazione della rete di contenimento, una manutenzione non pienamente idonea, di tipo quasi artigianale, per ricostituire la continuità strutturale della rete.

5.3 - Algoritmo per la valutazione dello stato di conservazione di un'opera di difesa

Il Politecnico di Torino, nell'ambito del progetto RED, ha sviluppato un algoritmo per la valutazione dello stato di conservazione di un'opera di difesa, il quale restituisce informazione sulla perdita o meno di funzionalità di quest'ultima relativa alla mitigazione del rischio, e della conseguente necessità di manutenzione. Lo scopo di tale approccio 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). Il progetto RED (*Risk Evaluation Dashboard*) è un progetto nazionale, concluso nel luglio 2018, commissionato dalla Regione Autonoma Valle d'Aosta per lo sviluppo di uno strumento informativo in grado di trattare celermente dati relativi a crolli e valanghe al fine di fornire agli Enti gestori del territorio, tramite appositi algoritmi, informazioni utili per una valutazione speditiva e ponderata sulla scelta della tipologia di intervento per la mitigazione del rischio più idonea in caso di urgenza ma non solo.

La metodologia innovativa del Politecnico sulla valutazione dello stato di conservazione di un'opera di difesa si basa sul fatto che ogni singola componente di tale opera può essere soggetta a danneggiamenti e che ciascuno di questi, in maniera differente, influisce sulla relativa funzionalità (Figura 87). È stato necessario, dunque, dapprima realizzare e rendere di validità generale una suddivisione degli elementi principali per ogni opera di difesa. Questo, infatti, risulta di fondamentale importanza in quanto le variabili costruttive di una stessa tipologia di opera possono essere molteplici. Successivamente, per ognuno degli elementi individuati, è stata redatta una lista delle problematiche che possono comportare un danneggiamento dell'elemento in analisi, a cui associare un livello di danno. Infine, come già accennato in precedenza, ogni singola problematica individuata per ciascun componente principale influisce diversamente sull'efficienza del sistema. Ecco, dunque, che ad ogni problematica individuata è stata associata una classe di importanza. In tale maniera è possibile distinguere il caso in cui si ha una sola problematica, con peso elevato, caratterizzata da un importante livello di danno, che compromette l'intera funzionalità del sistema, da quello in cui si ha un danneggiamento dell'opera più diffuso ma dovuto a problematiche di minor entità, senza che queste compromettano in maniera critica l'efficienza dell'opera.

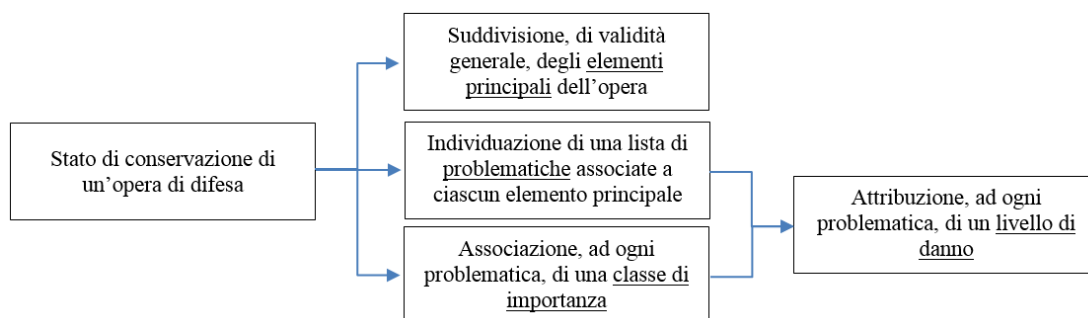


Figura 87: Schema concettuale alla base dell'algoritmo di calcolo dello stato di conservazione di un'opera di difesa.

Da un punto di vista operativo, l'algoritmo di calcolo dello stato di conservazione di un'opera, attiva o passiva, si basa su un sistema multi-matriciale che necessita, come dati di input, del grado di danneggiamento dei vari elementi dell'opera. L'associazione di un livello di danno alle problematiche di un'opera viene agevolato attraverso la compilazione di una check list ad hoc per ogni opera di difesa. Si tratta di una scheda dettagliata in cui un'opera viene suddivisa nei suoi elementi principali; ciascuno di tali elementi, in aggiunta, riporta delle voci che indicano le problematiche che possono interessarlo e che compromettono la funzionalità dell'opera con pesi differenti.

Relativamente alle barriere paramassi, alle reti a cortina ed alle reti rinforzate considerate nel seguente elaborato, la suddivisione negli elementi principali, le problematiche considerate e le relative classi di importanza sono descritti all'interno del par. 5.3.1.

La valutazione dello stato di conservazione, attraverso il metodo in analisi, viene effettuata sotto l'ipotesi iniziale di una corretta progettazione ed installazione dell'opera. Inoltre, non viene tenuta in considerazione l'adeguatezza dell'opera di difesa oggetto di studio a mitigare il rischio relativo ad un determinato evento franoso.

La stima dello stato di conservazione viene fatta attribuendo ad ognuna delle n -problematiche relative ad ogni singolo elemento dell'opera, un livello di danno, d , ed una classe di importanza, C . In tale metodologia, sono stati individuati 3 classi di importanza, riportati in Tabella 18, relativi alle n problematiche riportate.

Tabella 18: Classi di importanza (peso) delle voci relative alle componenti di un'opera di difesa.

Classi di importanza	
C1	Poco importante
C2	Mediamente importante
C3	Molto importante

L'associazione di tali classi ad ognuna delle problematiche individuate è stata effettuata sulla base di dati di letteratura, da osservazioni in sito e dall'esperienza del personale del Politecnico di Torino coinvolto all'interno del progetto RED. La classe C1 indica che l'influenza del problema sulla funzionalità complessiva è trascurabile, C2 che il problema potrebbe influenzare funzionalità del 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'operatore esperto (e.g. ingegnere, geologo) che compila la check list ha la possibilità di associare un livello di danno alle varie voci pari a 0, 1 o 2 (Tabella 19). Il processo ponderato limita parzialmente la soggettività intrinseca del metodo nell'attribuzione di tali livelli, anche se provenienti da un esperto (Marchelli, et al., 2019). All'interno del seguente elaborato, a partire dal caso studio effettuato, è presente un capitolo al quale si rimanda in cui vengono riportati degli esempi fotografici utili per la comprensione dell'attribuzione di uno specifico livello di danno tra i tre riportati.

Tabella 19: Livelli di danno da attribuire, a scelta, alle voci relative alle componenti di un'opera di difesa.

Stati da danno	
d0	Nessun danno
d1	Danno moderato
d2	Danno intenso

Lo stato di conservazione viene identificato a partire da un doppio sistema matriciale. Grazie ad una matrice 3x3 sono determinati dei punteggi P_i da associare alla i -esima voce in funzione della relativa classe di importanza e del livello di danno attribuito dall'operatore (Tabella 20).

Tabella 20: Matrice per la determinazione dei punteggi per la definizione dello stato di conservazione.

Classe di importanza Livello di danno	<i>C1</i>	<i>C2</i>	<i>C3</i>
<i>d0</i>	$P = 0$	$P = 0$	$P = 0$
<i>d1</i>	$P = 1$	$P = 2$	$P = 3$
<i>d2</i>	$P = 2$	$P = 3$	$P = 5$

In questa maniera, è possibile ottenere un punteggio percentuale complessivo dell'opera P_{TOT} rapportando la sommatoria dei punteggi delle n -voci presenti con il punteggio massimo P_{max} raggiungibile. Il punteggio P_{TOT} fornisce un'informazione, di carattere qualitativo, relativa al numero di elementi che hanno subito un danneggiamento: tanto più alto è il punteggio, tanto più elevata è la probabilità che molte componenti dell'opera siano in stato di degrado.

$$P_{TOT} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{P_{max}}, \text{ con } P_{max} = 5 \cdot n_{presenti} \quad (\%) \quad (1)$$

Con riferimento alla Tabella 20, è possibile comprendere come il valore di P_{max} sia pari al prodotto tra il massimo punteggio attribuibile ($P = 5$) ed il numero di voci n considerate. Infatti, come già descritto all'interno dei paragrafi del Capitolo 3, per una medesima tipologia di opera possono esistere varianti realizzative che non prevedono la presenza di alcune componenti. In tal caso, le voci direttamente relative a tali componenti o ad esse collegati non devono concorrere alla valutazione del punteggio massimo e, dunque, al punteggio percentuale complessivo.

Attraverso la struttura matriciale già riportata in Tabella 20, è possibile fornire un livello semaforico di conservazione A (Tabella 21), da associare a ciascuna voce della check list. In questo modo, in funzione del livello di danno della i -esima voce e della relativa classe di importanza, si può ottenere un livello semaforico:

- Verde (A0): la voce in analisi non comporta una perdita di funzionalità dell'opera alla mitigazione del rischio e, dunque, nessun tipo di intervento è richiesto. La manutenzione del sistema può essere prevista sul lungo termine.
- Giallo (A1): la voce in analisi comporta una perdita parziale di funzionalità dell'opera alla mitigazione del rischio, con necessità di intervento. La manutenzione del sistema può essere prevista sul breve/medio termine.
- Rosso (A2): la voce in analisi comporta una perdita totale di funzionalità dell'opera alla mitigazione del rischio, con necessità di intervento. La manutenzione del sistema risulta urgente.

Tabella 21: Matrice per la determinazione del livello semaforico di conservazione per la definizione dello stato di conservazione.

Classe di importanza Livello di danno	C1	C2	C3
$d0$	A0	A0	A0
$d1$	A0	A0	A1
$d2$	A0	A1	A2

Relativamente all'intera opera, ad essa viene attribuito uno stato di conservazione dell'opera A_{TOT} pari al peggiore degli n -livelli semaforici di conservazione. Lo stato A_{TOT} restituisce informazioni sul grado di funzionalità dell'opera in quel momento e sulla eventuale esigenza di intervento.

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

In conclusione, dunque, lo stato di conservazione di un'opera viene descritto da una valutazione qualitativa dell'estensione del danno, P_{TOT} , e dello stato di conservazione dell'opera, A_{TOT} . Il punteggio P_{TOT} risulta essere tanto più elevato quanto più basso è lo stato di conservazione. Tuttavia, non sussiste il viceversa; un basso, cioè, valore di elementi danneggiati non implica necessariamente una completa efficienza, dunque funzionalità, dell'opera. Quest'ultima, infatti, può risultare gravemente compromessa anche quando un solo elemento principale presenta un elevato livello di danno relativo ad una problematica di notevole importanza.

5.3.1 - Elementi principali, problematiche e classi di importanza

La metodologia di valutazione dello stato di conservazione di un'opera, così come descritto nel dettaglio all'interno del par. 5.3, sviluppata dal Politecnico di Torino prevede la suddivisione dell'opera in elementi principali. Ciascuno di essi viene accompagnato da quelle che sono le problematiche in cui può imbattersi l'elemento considerato, alle quali attribuire un livello di danno, che potrebbero comportare una perdita di funzionalità del sistema. Tuttavia, è opportuno sottolineare che i diversi livelli di danno attribuiti alle singole problematiche di ogni elemento hanno un grado di importanza differente nel calcolo dell'efficienza globale del sistema (Marchelli, et al., 2019). Nel par. 5.1 e par. 5.2, infatti, è possibile già osservare come, nella varietà di criticità possibili, ve ne siano alcune che compromettono il sistema in maniera più rilevante rispetto ad altre. Ecco, dunque, che ad ognuna delle problematiche individuate è stato attribuito un peso, o classe di importanza.

Nei paragrafi successivi si analizzeranno nel dettaglio le problematiche e le relative classi di importanza individuate dal Politecnico di Torino nell'ambito del progetto RED.

5.3.1.1 - Barriere paramassi

Gli elementi principali con i quali le barriere paramassi sono state suddivise al fine di ottenere una validità generale, in funzione delle variabili costruttive, e per agevolare la stima dello stato di conservazione, dunque di funzionalità, dell'opera sono di seguito riportate:

- | | |
|----------------------------------|----------------------------------|
| 1. Versante; | 6. Funi longitudinali inferiori; |
| 2. Rete principale; | 7. Funi di controvento laterale; |
| 3. Rete secondaria; | 8. Funi di controvento di monte; |
| 4. Montanti; | 9. Altre funi. |
| 5. Funi longitudinali superiori; | |

Le problematiche e le relative classi di importanza relative al versante in cui è collocata l'opera sono riportati in Tabella 22. Com'è possibile osservare, le criticità relative al versante hanno la capacità di influire in maniera drastica sullo stato di conservazione, dunque di funzionalità, di una barriera paramassi. Un vuoto al piede di una barriera, infatti, potrebbe comportare una mancata intercettazione di un blocco distaccato che prosegue, per esempio, per scivolamento lungo il versante. Inoltre, la struttura di intercettazione dell'opera deve essere in grado, eventualmente, di deformarsi fino alla sua deformazione massima per consentire un corretto funzionamento del sistema. In aggiunta, specie vegetali ad alto fusto a valle della barriera possono comportare esse stesse un fattore di pericolo per l'elemento a rischio posto a valle della barriera nel caso di una loro abbattimento a seguito dell'impatto.

Tabella 22: Problematiche e classi di importanza relativi versante in cui è collocata una barriera paramassi.

<i>Elemento principale</i>	<i>Problematiche</i>	<i>Classe di importanza</i>
Versante	Presenza di vuoti al piede della barriera	C3
	Presenza di specie vegetali ad alto fusto o cespugli che delimitano la capacità deformativa della barriera	C3

Relativamente alla rete principale, le criticità che si possono presentare sono più numerose (Tabella 23). Tra le voci che sono in grado di influenzare in maniera molto rilevante il sistema si ritrova la presenza lacerazioni della rete in analisi. Queste, infatti, implicano la presenza di varchi sulla superficie della rete principale che potrebbero far transitare gli elementi lapidei senza far entrare in funzione la componente. In aggiunta, si ritrovano il danneggiamento, la corrosione e/o la mancanza di elementi di giunzione tra i pannelli di rete principale che, in unione con eventuali rotture delle giunzioni della rete con le funi di connessione, potrebbero compromettere la continuità strutturale del sistema. Di minor importanza ma non trascurabile è la presenza di detriti nella rete e deformazioni del sistema. La prima può, per esempio, provocare una riduzione dell'altezza nominale di intercettazione, se non di quella residua. La seconda, invece, in funzione dell'entità, potrebbe non consentire la piena capacità energetica di assorbimento della rete. Le criticità, infine, che non concorrono direttamente al ammalorare la funzionalità del sistema sono la presenza di sterpaglie o altri elementi vegetali nella rete e di zone arrugginite.

Tabella 23: Problematiche e classi di importanza relativi alla rete principale di una barriera paramassi.

<i>Elemento principale</i>	<i>Problematiche</i>	<i>Classe di importanza</i>
Rete principale	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
	Rotture giunzioni rete-funi	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C1

La rete secondaria dato il suo ruolo di protezione nei confronti di elementi lapidei di limitate dimensioni, concorre ad una riduzione di funzionalità del sistema laddove presenti importanti strappi, deformazioni e/o perforazioni (Tabella 24). Analogamente, invece, alla rete principale, l'eventuale presenza di zone arrugginite e/o del rivestimento anticorrosivo e di specie vegetali e/o rampicanti non implicano una perdita di funzionalità del sistema, ma soltanto un numero incremento del numero di elementi danneggiati dell'opera.

Tabella 24: Problematiche e classi di importanza relativi alla rete secondaria di una barriera paramassi.

<i>Elemento principale</i>	<i>Problematiche</i>	<i>Classe di importanza</i>
Rete secondaria (se presente)	Presenza di strappi, deformazioni e/o perforazioni	C2
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C1
	Presenza di specie vegetali e/o rampicanti	C1

I montanti, i quali hanno il compito di mantenere dispiegata la struttura di intercettazione, vengono meno a tale funzione nel momento in cui subiscono una deformazione e/o una rottura. Inoltre, in presenza di montanti con una cerniera alla base, il danneggiamento di quest'ultima comporterebbe un momento flettente sul montante, a seguito per esempio di un impatto, che potrebbe danneggiarlo. In aggiunta, in funzione dell'entità del danno, una variazione della geometria originaria di chiodi e/o barre di ancoraggio, come per esempio la deformazione, la frattura o lo sfilamento di tali elementi, sarebbe in grado di influire in maniera non trascurabile sulla funzionalità. Trascurabili, in termini di efficienza globale del sistema, sono la presenza di zone arrugginite, di danneggiamento del rivestimento anticorrosivo e di specie vegetali arbustive o rampicanti (Tabella 25).

Tabella 25: Problematiche e classi di importanza relativi ai montanti di una barriera paramassi.

<i>Elemento principale</i>	<i>Problematiche</i>	<i>Classe di importanza</i>
Montanti	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

Relativamente alle funi longitudinali superiore e inferiore, viste le medesime problematiche individuate, queste ultime sono riportate in Tabella 26. L'integrità delle funi in analisi e dei relativi ancoraggi, la correttezza delle connessioni con il montante e con la struttura di intercettazione e l'adeguatezza delle giunzioni delle funi svolgono un ruolo estremamente importante per la funzionalità del sistema. Da non sottovalutare è la presenza di funi lasche o tese in modo anomalo che, in funzione dell'entità del danno, potrebbero parzialmente compromettere la funzionalità dell'opera. Laddove siano presenti dissipatori di energia, questi ultimi devono godere di assenza di deformazioni e di specie vegetali o detriti che ne ostruiscono lo scorrimento per evitare di avere ripercussioni sull'efficienza globale del sistema.

Tabella 26: Problematiche e classi di importanza relativi alle funi longitudinali superiori e inferiori di una barriera paramassi.

<i>Elementi principali</i>	<i>Problematiche</i>	<i>Classe di importanza</i>
Funi longitudinali superiori (i freni possono essere assenti)	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	C3
	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o ammaloramento/ danneggiamento/distacco degli elementi di giunzione, degli ancoraggi o elementi mancanti	C3
	Funi lasche o tese in modo anomalo (anche una sola)	C2
	Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C1
	Freni: Deformazioni permanenti o scorrimenti	C3
	Freni: Presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento	C2
	Freni: Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C1
Funi longitudinali inferiori (i freni possono essere assenti)	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	C3
	Danneggiamento della connessione fune-piede del montante o ammaloramento/ danneggiamento/distacco degli elementi di giunzione, degli ancoraggi o elementi mancanti	C3
	Funi lasche o tese in modo anomalo (anche una sola)	C2
	Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C1
	Freni: Deformazioni permanenti o scorrimenti	C3
	Freni: Presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento	C2
	Freni: Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C1

In analogia per quanto effettuato con le funi longitudinali superiori ed inferiori, anche per le funi di controvento di monte e di controvento laterale vengono riportate in un'unica tabella le problematiche che possono presentarsi con i corrispondenti “pesi” (Tabella 27). Com'è possibile osservare, per entrambe le tipologie di funi di controvento una rottura, anche parziale, dei fili costituenti le funi o una rottura della testa dell'ancoraggio o dello sfilamento/deformazione dello stesso potrebbe influire drasticamente sulla funzionalità dell'opera. Inoltre, si sottolinea che l'ammaloramento della testa dell'ancoraggio, il danneggiamento del rivestimento anticorrosivo della fune o degli elementi di giunzione, nonché la mancanza di questi ultimi, influiscono in maniera diversa nelle funi in analisi. Infatti, per la fune di controvento laterale, soltanto una elevata entità del danno attribuita a una delle voci citate comporterebbe una parziale perdita di funzionalità dell'opera. Viceversa, nelle funi di controvento di monte queste problematiche rientrano nella classe di importanza più alta. Ciò è spiegato dal fatto che le funi che maggiormente sono sollecitate in caso di impatto risultano molto spesso essere quelle di monte che, dunque, non devono presentare alcuna particolare criticità. Anche in questo caso, come per le funi longitudinali superiore ed inferiore, in presenza di eventuali freni questi ultimi devono essere esenti da deformazioni e da specie vegetali o detriti che ne ostruiscono lo scorrimento.

Tabella 27: Problematiche e classi di importanza relativi alle funi di controvento laterale e di monte di una barriera paramassi.

<i>Elementi principali</i>	<i>Problematiche</i>	<i>Classe di importanza</i>
Funi di controvento laterale (i freni possono essere assenti)	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	C3
	Funi lasche o tese in modo anomalo (anche una sola)	C2
	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti, deformazioni permanenti	C3
	Presenza di ammaloramento della testa dell'ancoraggio, danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo, danneggiamento elementi di giunzione o elementi mancanti	C2
	Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	C1
	Freni: Deformazioni permanenti o scorrimenti	C3
	Freni: Presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento	C2
	Freni: Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C1
Funi di controvento di monte (i freni possono essere assenti)	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	C3
	Funi lasche o tese in modo anomalo (anche una sola)	C2
	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti, deformazioni permanenti	C3
	Presenza di ammaloramento della testa dell'ancoraggio, danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo, danneggiamento elementi di giunzione o elementi mancanti	C3
	Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune	C1
	Freni: Deformazioni permanenti o scorrimenti	C3
	Freni: Presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento	C2
	Freni: Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C1

Una barriera paramassi, infine, può presentare ulteriori funi che contribuiscono al corretto funzionamento, come per esempio funi di controvento di valle, funi di trasmissione longitudinali, funi di chiusura laterali e così via. Proprio per le caratteristiche di validità generale che si prefigge il metodo di valutazione dello stato di conservazione in analisi, uno degli elementi principali considerati nella suddivisione di una barriera paramassi è la categoria “Altre funi” (Tabella 28). Queste ultime, in analogia a quanto detto finora per le funi del sistema considerate, non devono presentare rottura, anche parziali, dei fili costituenti per evitare una eventuale perdita rilevante della funzionalità del sistema. In aggiunta, in funzione dell’entità del danno, possono comportare una perdita parziale di funzionalità del sistema anche se una sola fune si presentasse lascia o tesa in modo anomalo. Relativamente alla presenza di eventuali freni, valgono le medesime osservazioni fin qui effettuate.

Tabella 28: Problematiche e classi di importanza relativi ad eventuali altre funi di una barriera paramassi.

<i>Elementi principali</i>	<i>Problematiche</i>	<i>Classe di importanza</i>
Altre funi (tali fune e gli eventuali freni possono essere assenti)	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti	C3
	Funi lasche o tese in modo anomalo (anche una sola)	C2
	Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C1
	Freni: Deformazioni permanenti o scorrimenti	C3
	Freni: Presenza di specie vegetali/detriti nell'area di scorrimento	C2
	Freni: Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo	C1

5.3.1.2 - Reti in aderenza

Nel seguente paragrafo si affrontano in parallelo le problematiche e le relative classi di importanza delle due tipologie di reti in aderenza: rete a cortina e rete rinforzata. Queste, infatti, sono soggette alle medesime criticità ma, data la differente azione di mitigazione del rischio, con pesi sulla valutazione finale dello stato di conservazione dell'opera differenti.

Gli elementi principali con i quali le reti in aderenza sono state suddivise al fine di ottenere una validità generale, in funzione delle variabili costruttive, e per agevolare la stima dello stato di conservazione, dunque di funzionalità, dell'opera sono di seguito riportate:

Rete a cortina:

1. Rete;
2. Fune di sostegno sommitale;
3. Fune di sostegno al piede;
4. Fune di sostegno intermedie;
5. Elementi di giunzione tra i pannelli di rete;
6. Elementi di giunzione rete-fune superiore;
7. Elementi di giunzione rete-fune inferiore;
8. Elementi di giunzione rete-funi intermedie;

Rete rinforzata:

1. Rete;
2. Fune di sostegno sommitale;
3. Fune di sostegno al piede;
4. Fune di rinforzo;
5. Elementi di giunzione tra i pannelli di rete;
6. Elementi di giunzione fune-superiore;
7. Elementi di giunzione fune-inferiore;

Con riferimento alla Tabella 29, per entrambe le tipologie di opere la presenza di lacerazione, di deformazioni e/o di spanciamenti della rete di contenimento influisce drasticamente sulla funzionalità dell'elemento, quindi dell'opera. Medesima influenza ha la presenza di accumuli di detrito rilevanti al piede delle reti a cortina e all'interno del campo delimitata dalla maglia perimetrata da 4 chiodi nelle reti rinforzate. Tale accumulo, infatti, se rilevante può comportare una sollecitazione eccessiva della rete della maglia portandola a rottura. Differente, invece, è il caso di detriti all'interno della rete e dell'interazione delle specie vegetali o rampicanti con la stessa. Nel caso di reti rinforzate, infatti, ciò può essere considerato di minor importanza ai fini dell'efficacia dell'opera dato che l'aderenza al versante, grazie alla maglia sistematica di chiodi, non risulta particolarmente compromessa. Viceversa, nelle reti a cortina le criticità citate possono non essere trascurabile e comportare una perdita parziale di funzionalità dell'elemento, qualora l'entità del danno sia rilevante, a causa di una non adeguata aderenza al versante. Ciò influenzerebbe la funzione di contenimento dell'opera, dando origine a fenomeni dinamici di caduta di elementi lapidei

che possono lacerare la rete. Risulta interessante, infine, notare come i fenomeni di arrugginimento o danneggiamento del rivestimento anticorrosivo assumano un ruolo non di rilievo nell'efficacia globale dell'opera.

Tabella 29: Problematiche e classi di importanza relativi alla rete di contenimento della rete a cortina e della rete rinforzata.

<i>Elemento principale</i>	<i>Problematiche</i>	<i>Classe di importanza</i>	
		<i>Rete a cortina</i>	<i>Rete rinforzata</i>
Rete	<i>Rete a cortina:</i> il detrito forma un accumulo rilevante al piede	C3	C3
	<i>Rete rinforzata:</i> il detrito forma un accumulo rilevante all'interno di un campo definito da 4 chiodi		
	Presenza di detriti nella rete	C2	C1
	Presenza di sterpaglie, specie vegetali arbustive e/o rampicanti che interagiscono con la rete	C2	C1
	Lacerazioni della rete	C3	C3
	Deformazioni e/o spanciamenti della rete	C3	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento del rivestimento anticorrosivo della rete	C1	C1

La fune di sostegno sommitale delle reti a cortina e di quelle rinforzate presenta le medesime classi di importanza delle problematiche rilevate, salvo sul peso che hanno zone arrugginite della fune o danneggiamenti (Tabella 30). Tali criticità sono più drastiche nelle reti a cortina a causa, per esempio, del fatto che la fune di sostegno sommitale è l'unica componente che trasferisce le sollecitazioni in gioco (peso della rete, dell'eventuale neve e/o ghiaccio e del detrito accumulato) agli ancoraggi. Nel momento in cui quest'ultima si presentasse arrugginita o danneggiata, la conseguente perdita delle caratteristiche meccaniche di resistenza potrebbe comportare un mal funzionamento del sistema. Viceversa, nelle reti in aderenza tali problematiche sono meno rilevanti in quanto, con riferimento al medesimo esempio, le sollecitazioni vengono distribuite nel campo di competenza definito dai quattro chiodi e non ricadono direttamente sulla fune di sostegno superiore. In aggiunta, risultano particolarmente critiche le problematiche relative ad eventuali elementi mancanti nelle giunzioni. L'eventuale mancanza totale, infatti, di morsetti di giunzione della fune potrebbe comportare lo sfilamento della fune dalla testa dell'ancoraggio. Da non trascurare sono le criticità relative ad eventuali sfilamenti o assenza di ancoraggi, mentre soltanto un elevato livello di danno della testa degli ancora principali e/o della piastra comporterebbe una perdita notevole di funzionalità dell'elemento. Infine, è anche possibile che tale componente risulti completamente assente. In questa eventualità, le reti a cortina presenterebbero una perdita totale di funzionalità nei confronti della mitigazione del rischio.

Le reti rinforzate, invece, potrebbe anche godere di una parziale funzionalità laddove la rete sia fissata a terra con molteplici ancoraggi.

Tabella 30: Problematiche e classi di importanza relativi alla fune di sostegno sommitale della rete a cortina e della rete rinforzata..

<i>Elemento principale</i>	<i>Problematiche</i>	<i>Classe di importanza</i>	
		<i>Rete a cortina</i>	<i>Rete rinforzata</i>
Fune di sostegno sommitale (se la fune risulta mancante, non si considerano le altre problematiche)	Fune mancante*	C3	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune	C3	C2
	Ancoraggio mancante	C3	C3
	Elementi mancanti nelle giunzioni	C3	C3
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi	C1	C1
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra	C2	C2
	Sfilamento degli ancoraggi	C3	C3
<p>* Rete a cortina: in caso di fune mancante, attribuire un livello di danno d2.</p> <p>** Rete rinforzata: in caso di fune mancante, attribuire: d1: se la rete è fissata a terra con molteplici ancoraggi; d2: se la rete NON è fissata a terra con molteplici ancoraggi.</p>			

La fune di sostegno al piede di una rete a cortina non comporta mai da sola, qualsiasi sia l'entità del danno delle problematiche di interesse, una perdita totale della funzionalità dell'opera (Tabella 31). Essa, infatti, può comportare al massimo una perdita parziale di funzionalità dell'opera laddove il livello di danno associato alla presenza di zone arrugginite e al danneggiamento del rivestimento anticorrosivo della fune, all'eventuale assenza, danneggiamento o sfilamento di ancoraggi o alla mancanza di morsetti di giunzione sia di notevole entità. Viceversa, l'unica componente nelle reti rinforzate che può indurre uno stato critico di conservazione dell'opera è la mancanza o assenza di elementi di giunzione della fune di sostegno al piede.

Tabella 31: Problematiche e classi di importanza relativi alla fune di sostegno al piede della rete a cortina e della rete rinforzata.

Elemento principale	Problematiche	Classe di importanza	
		Rete a cortina	Rete rinforzata
Fune di sostegno al piede (se la fune risulta mancante, non si considerano le altre problematiche)	Fune mancante*	C2	C1
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune	C2	C1
	Fune non visibile perché coperta da detrito e/o vegetazione	C1	C1
	Ancoraggio non visibile	C1	-
	Ancoraggio mancante	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
<p>*Rete a cortina: in caso di fune mancante, attribuire: d1: se la rete è fissata a terra con ancoraggi; d2: se la rete NON è fissata a terra con ancoraggi.</p> <p>*Rete rinforzata: in caso di fune mancante, attribuire: d1: se la rete è fissata a terra con molteplici ancoraggi; d2: se la rete NON è fissata a terra con molteplici ancoraggi.</p>			

Limitatamente alle reti a cortina, le funi di sostegno intermedie non influiscono sull'efficacia del sistema qualsiasi sia il loro livello di danno (Tabella 32).

Tabella 32: Problematiche e classi di importanza relativi alle funi di sostegno intermedie della rete a cortina.

Elemento principale	Problematiche	Classe di importanza
Funi di sostegno intermedie (se presenti)	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune	C1
	Fune non visibile perché coperta da detrito e/o vegetazione	C1
	Fune mancante	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

Relativamente alle reti rinforzate, le funi di rinforzo svolgono un ruolo importante per la mitigazione del rischio. L'eventuale mancanza di una fune e/o di un ancoraggio potrebbe comportare una non adeguata azione protettiva dell'opera. In aggiunta, una perdita totale di funzionalità si potrebbe anche raggiungere laddove gli ancoraggi risultassero sfilati o le giunzioni tramite morsetti assenti o gravemente mancanti. Di minor importanza risulta essere eventuali danneggiamenti della testa degli ancoraggi e/o della piastra.

Tabella 33: Problematiche e classi di importanza relativi alle funi di rinforzo della rete rinforzata.

<i>Elemento principale</i>	<i>Problematiche</i>	<i>Classe di importanza</i>
Funi 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 nella testa degli ancoraggi principali e/ della piastra	C2
	Sfilamento degli ancoraggi	C3

Infine, una zona di particolare interesse sia per le reti a cortina che per le reti rinforzate risulta essere quella di congiunzione tra due pannelli di rete, tra la fune di sostegno superiore e la rete di contenimento e tra quest'ultima e la fune di sostegno al piede. Per i primi due casi citati, una errata o assente connessione potrebbe comportare un collasso del sistema e, dunque, una perdita totale di funzionalità dell'opera. Meno rilevante ma comunque importante è l'eventuale presenza di zone arrugginite o danneggiamenti degli elementi di giunzione. Nel terzo caso, invece, una connessione non del tutto adeguata tra la fune al piede e la rete può comportare una perdita parziale di funzionalità. Limitatamente alle reti a cortina, medesima osservazione può essere conclusa per quanto riguarda le connessioni tra le funi di sostegno intermedie e la rete.

Tabella 34: Problematiche e classi di importanza relativi agli elementi di giunzione della rete a cortina e della rete rinforzata.

<i>Elemento principale</i>	<i>Problematiche</i>	<i>Classe di importanza</i>	
		<i>Rete a cortina</i>	<i>Rete rinforzata</i>
Elementi di giunzione tra i pannelli di rete	Elementi mancanti	C3	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione	C2	C2
Elementi di giunzione rete-fune superiore	Elementi mancanti	C3	C3
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione	C2	C2
Elementi di giunzione rete-fune inferiore (se presente la fune)	Elementi mancanti	C2	C2
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione	C1	C1
Elementi di giunzione rete-funi intermedie (se presenti funi)	Elementi mancanti	C2	-
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione	C1	-

Capitolo 6 - Valutazione dello stato di conservazione delle opere di protezione contro la caduta massi (applicazione ad un caso studio: S.S. 34 del Lago Maggiore)

Il presente Caso Studio nasce dall'affiancamento agli studi svolti nell'ambito del Contratto di Ricerca Registro Repertorio n° 21 del 28/07/2018 *“Redazione degli studi e delle indagini sull'assetto geomorfologico dei versanti e dei progetti di messa in sicurezza dei versanti lungo la S.S. 34 del Lago Maggiore nel tratto da Ghiffa a Cannobio”* dal Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) del Politecnico di Torino, avente come affidatario l'Ente Unione dei Comuni del Lago Maggiore. Il tratto di S.S. 34 oggetto di studio all'interno del Contratto di Ricerca si estende dal km 16+300 al km 39+300 ed interessa i Comuni di Ghiffa, Oggebbio, Cannero Riviera e Cannobio, in provincia di Verbano-Cusio-Ossola, in Piemonte.

La collaborazione con il Contratto di Ricerca di cui sopra verte principalmente sullo studio dello stato di conservazione di 32 barriere paramassi e di 53 reti in aderenza (30 reti a cortina e 23 reti rinforzate), con conseguente giudizio critico relativo alla funzionalità dell'opera considerata. Nel dettaglio, si è proceduto alla compilazione di un verbale di sopralluogo per ogni opera individuata, costituito da:

- Sezione descrittiva dell'opera;
- Osservazioni generali in merito al contesto circostante all'opera, giudizi qualitativi sull'installazione e posizionamento, eventuale presenza di ulteriori opere di difese limitrofe ed eventi pregressi che hanno interessato direttamente l'opera o le zone circostanti;
- Check list di valutazione dello stato di conservazione dell'opera;
- Rilievo fotografico di dettaglio;

Tuttavia, come verrà riportato in seguito nella presente trattazione, tale affiancamento consta anche della collaborazione alla realizzazione di ulteriori documentazioni utili per la mitigazione del rischio da fenomeni di caduta massi.

In maniera generale, l'iter procedurale per la mitigazione del rischio di un versante soggetto a fenomeni di caduta massi deve prevedere approfondimenti dal punto di vista geomorfologico del territorio e la definizione delle zone sorgenti di distacco dei blocchi, oltre che gli elementi a rischio da proteggere (nel caso in analisi, l'elemento viario S.S. 34). Al fine, dunque, di una corretta mitigazione del rischio è necessaria una conoscenza dell'area di studio tramite una serie di indagini (ANAS, 2001):

- Un rilievo topografico, nella scala adeguata al tipo di problema, con conseguente redazione di una idonea cartografia;
- Uno studio geologico e geomorfologico della zona di distacco e delle relative porzioni di territorio poste a valle. In questa fase devono essere identificati i possibili punti di distacco dei blocchi, la loro geometria e volumetria e la giacitura delle fratture che isolano gli elementi lapidei. Sulla base di un rilievo geostrutturale in sito, infatti, è necessario fornire le dimensioni di un blocco di progetto da considerarsi per le valutazioni energetiche. Al posizionamento cartografico dovrà essere allegata un'accurata documentazione fotografica ed eventualmente un rilievo fotogrammetrico del sito);
- La definizione e posizionamento sulla cartografia delle aree da proteggere, della relativa vulnerabilità e del loro valore (sotto il punto di vista economico, storico o artistico), facendo specifico riferimento al fenomeno della caduta massi.
- L'analisi degli eventi di crollo già avvenuti con una caratterizzazione delle possibili traiettorie (punti di distacco, punti di passaggio, punti di arresto), utile per eventuali studi di back-analysis.

Successivamente ai punti soprariportati, deve essere eseguito uno studio geotecnico di dettaglio mirato alla conoscenza dello stato di alterazione dell'ammasso roccioso (da effettuarsi caso per caso) ed alla definizione dei cinatismi di instabilità dei blocchi grazie alla quale poter progettare gli interventi più idonei. Da non trascurare, infine, è anche il censimento delle opere di difesa, attive o passive, presenti nel territorio e lo studio del relativo stato di conservazione e funzionalità. Nel caso, infatti, in cui l'elemento a rischio sia un'infrastruttura viaria, l'Ente proprietario, o gestore, di quest'ultima presenta vari interessi relativi alla conoscenza dello stato di conservazione delle opere, in accordo con quanto riportato all'interno del Capitolo 1. Tra questi si può citare quello di natura economica, dato che un'opera ancora efficace ed efficiente non necessita di essere sostituita, e 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.

In funzione, quindi, di quanto soprariportato in maniera generale, nel presente Caso Studio si è collaborato con il DIATI per la realizzazione di:

- Un'approfondita analisi storica degli eventi franosi che hanno interessato direttamente la S.S. 34 o le relative zone territoriali limitrofe (vedi par. 6.2.3);
- Accurate cartografie di dettaglio relative a n° 14 aree di particolare interesse per la mitigazione del rischio da caduta massi fornite dall'Ente committente. Ognuna delle

n° 14 cartografie (formato A3x3: 891x420), non riportate nel seguente elaborato data la natura in essere del contratto di ricerca, consta di:

- Un inquadramento geologico effettuato mediante Ortofoco ICE 2009-2011;
- Un inquadramento geologico (laddove possibile anche litotecnico): la cartografia geologica e/o litotecnica è stata reperita dalle tavole in allegato ai PRGC o alle Varianti Strutturali al PRGC dei comuni interessati;
- Un inquadramento geomorfologico con dissesti storici reperiti: la cartografia geomorfologica è stata reperita dalle tavole in allegato ai PRGC o alle Varianti Strutturali al PRGC dei comuni interessati. Ad essa sono stati aggiunti i dissesti storici reperiti dalle fonti riportare nel par. 6.3.
- Un inquadramento idraulico (laddove possibile anche idrogeologico): la cartografia idraulica o idrogeologica è stata reperita dalle tavole in allegato ai PRGC o alle Varianti Strutturali al PRGC dei comuni interessati;
- Un inquadramento delle acclività: la cartografia delle pendenze è stata realizzata utilizzando il software ArcGis 10.3 dotato di un tool di calcolo della pendenza del territorio a partire da un DTM (Digital Terrain Model). Nello studio in analisi, il DTM è stato ricavato in campo con tecnologia LIDAR e presenta una risoluzione di 1 m.
- Un inquadramento dell'esposizione dei versanti: la cartografia dell'esposizione è stata realizzata utilizzando il software ArcGis 10.3 dotato di un tool di calcolo delle esposizioni dei versanti di un territorio a partire da un DTM (Digital Terrain Model). Nello studio in analisi, il DTM è stato ricavato in campo con tecnologia LIDAR e presenta una risoluzione di 1 m.
- Un inquadramento puntuale delle collocazioni delle barriere paramassi e reti in aderenza censite: la cartografia della localizzazione puntuale delle opere è stata realizzata a valle dei vari sopralluoghi eseguiti, utilizzando come basemap la cartografia BDTRE2018 (Banca Dati Territoriali di Riferimento degli Enti), la quale costituisce la sostituzione nella Regione Piemonte della Carta Tecnica Regionale).
- Compilazione dei verbali di sopralluogo mirati alla determinazione dello stato di conservazione e della relativa funzionalità delle barriere paramassi e reti in aderenza censite lungo il tratto di competenza contrattuale della S.S. 34 dalla progressiva ANAS 16+300 alla progressiva ANAS 39+300.

6.1 - Metodologia

La metodologia di valutazione dello stato di conservazione di un'opera e della relativa funzionalità si basa, attraverso sopralluoghi in sito, sulla identificazione, localizzazione, catalogazione e caratterizzazione delle opere di protezione esistenti. La metodologia operativa di censimento e di investigazione predisposta al fine dello studio delle opere di protezione esistenti ed investigarne qualitativamente il loro stato di conservazione e connessa funzionalità è di seguito riportata:

1. Studio della zona e caratterizzazione qualitativa delle criticità connesse: analisi area, fenomeni pregressi, altre opere, etc. (vedi par. 6.1.1);
2. Identificazione e localizzazione della singola opera (nel caso di opere a protezione di infrastrutture viarie, mediante progressive chilometriche);
3. Rilievo fotografico accurato;
4. Rilievo manuale per identificarne la geometria, caratteristiche tipologiche e tecnologie di ciascuna opera di protezione (vedi par. 6.1.3);
5. Analisi qualitativa dello stato di conservazione delle componenti dell'opera mediante compilazione sistematica di una check list di rilievo, realizzata ad hoc per le tipologie di opere di difesa (vedi par. 5.3 e 6.1.1)
6. Raccolta e sintesi dei dati ai punti 2-3-4-5 e realizzazione di schede descrittive per ogni opera identificata (vedi par. 6.1.2). Il dettaglio di ciascuna scheda risulterà funzione delle informazioni a disposizione (e.g. documentazione pregressa), della possibilità di effettuare il rilievo e dallo stato di conservazione di tali opere;

Con riferimento alle sezioni del verbale di sopralluogo descritte nell'introduzione del Capitolo 6, in Figura 88 viene riportato lo schema concettuale della metodologia operativa con riferimento ai punti di cui sopra.

Nel presente elaborato, al fine di ridurre le tempistiche ed agevolare la compilazione in sito dei verbali di sopralluogo, che altrimenti sarebbe stata cartacea, è stata effettuata un'automatizzazione del processo relativo alla compilazione della sezione descrittiva e della sezione di valutazione dello stato di conservazione dell'opera (vedi par. 6.1.3).

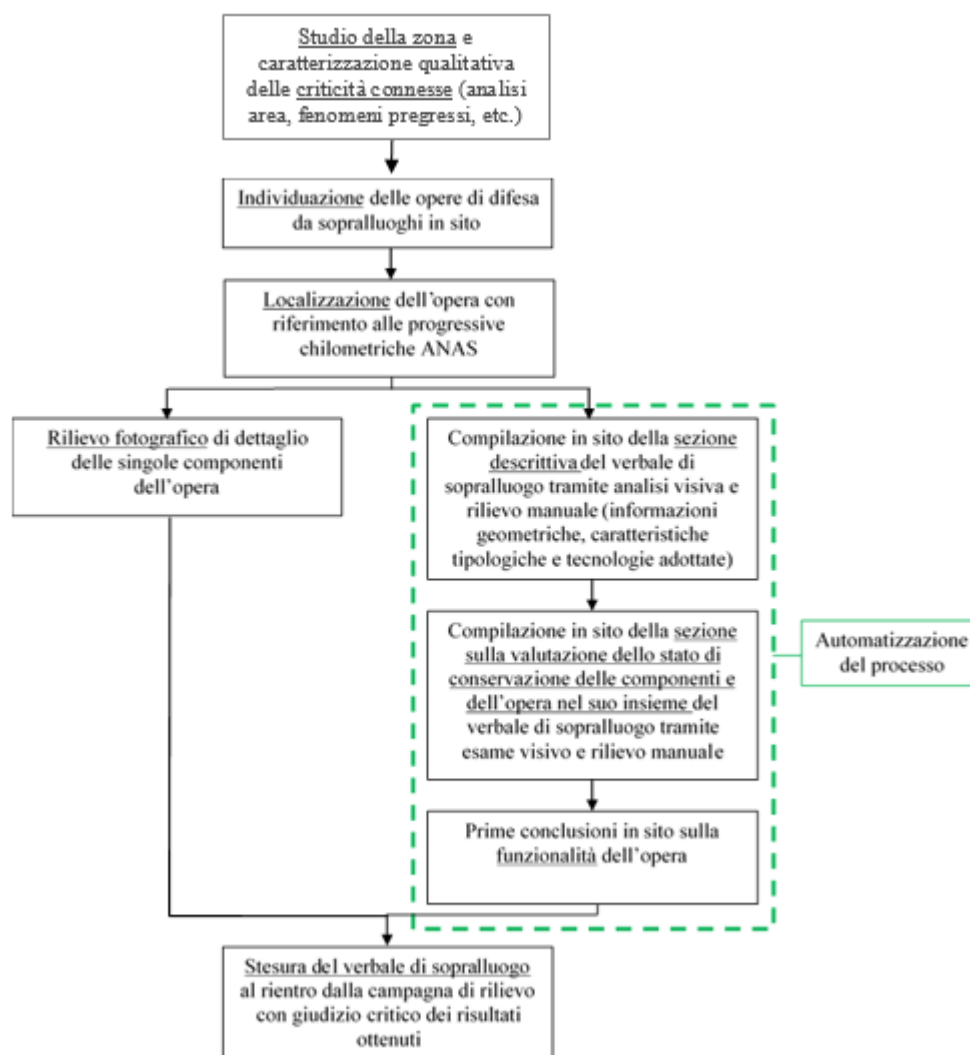


Figura 88: Schema della metodologia di censimento ed investigazione qualitativa dello stato di conservazione delle opere di protezione e connessa funzionalità.

6.1.1 - Analisi qualitativa dello stato di conservazione

La metodologia di valutazione dello stato di conservazione e funzionalità delle barriere paramassi e delle reti in aderenza, utilizzata all'interno del Contratto di Ricerca Registro Repertorio n° 21 del 28/07/2018, si basa sull'algoritmo ideato nell'ambito del Progetto RED dal Politecnico di Torino, descritto nel dettaglio all'interno del par. 5.3 del presente elaborato ed al quale si rimanda. In sintesi, tale metodologia prevede la compilazione, da parte di un operatore esperto, di una check list contenente una serie di criticità relative agli elementi principali, di validità generale, con cui sono state suddivise le barriere paramassi e le reti in aderenza. La suddetta compilazione consta dell'attribuzione di un livello di danno, pari a 0, 1 o 2, alle problematiche riportate nella lista, ognuna delle quali caratterizzata da una classe di importanza (C1, C2 o C3) a causa del fatto che ogni criticità influisce con un grado di importanza differente nell'efficienza globale dell'opera (vedi par. 5.3.1). In funzione dei livelli di danno attribuiti e delle classi di importanza delle voci presenti sulla check list,

attraverso un doppio sistema matriciale è possibile valutare lo stato di conservazione e la funzionalità dell'opera.

6.1.2 - Raccolta e sintesi

Per ciascuna delle barriere paramassi, delle reti a cortina e delle reti rinforzate collocate a protezione del tratto di Strada Statale S.S. 34 tra il km 16+300 ed il km 39+300, è stato redatto un verbale di sopralluogo contenente una serie di informazioni atte a descrivere al meglio sia le caratteristiche dell'opera che il relativo stato di conservazione. In Allegato A.1, A.2, A.3 vengono riportati tre template di verbale di sopralluogo, rispettivamente per le barriere paramassi, reti a cortina e reti rinforzate (Figura 35).

Tabella 35: Riferimenti in Allegato dei template dei verbali di sopralluogo per la valutazione dello stato di conservazione e relativi esempi presi dal Caso Studio.

<i>Verbale di sopralluogo (scheda descrittiva + scheda di valutazione dello stato di conservazione)</i>	<i>Template del verbale di sopralluogo</i>	<i>Esempio di compilazione di un verbale di sopralluogo</i>
Barriera paramassi	ALLEGATO A.1	ALLEGATO A.4
Rete a cortina	ALLEGATO A.2	ALLEGATO A.5
Rete rinforzata	ALLEGATO A.3	ALLEGATO A.6

Com'è possibile osservare all'interno degli Allegati A.1, A.2 e A.3, ogni scheda riporta:

- *Informazioni preliminari*: in tale sezione sono richieste le credenziali dell'operatore che compila il verbale, la data o le date di sopralluogo, il Comune all'interno del quale ricade l'opera con eventualmente indicazioni della località specifica e, infine, il codice identificato dell'opera.
- *Collocamento geografico*: in tale sezione è necessario riportare il punto di collocazione dell'opera con riferimento ad una cartografia geografica. Nel caso di prossimità ad un elemento stradale, è necessario indicare le progressive di inizio e fine dell'opera.
- *Descrizione*: tale sezione è chiaramente differente per le tre tipologie di opere considerate. Nello specifico:
 - Barriera paramassi: vengono richieste dapprima una serie di informazioni generali relative alla tipologia di barriera (rigida, a ridotta deformabilità o ad elevata deformabilità) ed alla lunghezza dell'opera e al numero di campate dell'opera. Successivamente si passa ad un livello di dettaglio di descrizione dell'opera, in cui si deve cercare di restituire informazioni sul produttore, anno di installazione ed energia di progetto (espressa in kJ).

Importante è anche classificare l'opera in relazione alla prima redazione della Linea Guida ETAG (2008) e verificare la presenza del manuale di manutenzione e del verbale di collaudo. Infine, una terza sezione riguarda le informazioni di dettaglio delle singole componenti dell'opera (e.g. tipologia montante, tipologia rete principale, interasse montanti, etc.);

- Rete a cortina: vengono richieste dapprima informazioni in merito alla tipologia di rete a cortina (semplice o con funi intermedie) ed alla lunghezza complessiva dell'opera. Successivamente si passa ad un livello di dettaglio di descrizione dell'opera, in cui si deve cercare di restituire informazioni sul produttore, anno di installazione, resistenza a trazione, a taglio ed a sfilamento della rete (con eventuale scheda tecnica del prodotto). In aggiunta, bisogna anche verificare se è disponibile il manuale di manutenzione dell'opera, il verbale di collaudo e se è nota la massima volumetria accumulabile al piede della rete. Infine, una terza sezione riguarda le informazioni di dettaglio delle singole componenti dell'opera (e.g. tipologia della maglia della rete, cuciture e giunzione tra le reti, etc.);
- Rete rinforzata: vengono richieste dapprima informazioni in merito maglia della chiodatura sistematica lungo il versante e della relativa tessitura (funi a losanghe o quadrate). Inoltre, si riportano le informazioni relative al numero di chiodi e di pannelli presenti ed alla lunghezza complessiva dell'opera. Le informazioni di dettaglio successive risultano analoghe a quelle già riportate per la rete a cortina, con l'aggiunta della caratterizzazione delle funi di rinforzo.

- *Osservazioni generali*: si ricorda che l'algoritmo di calcolo dello stato di conservazione di un'opera utilizzato nel seguente elaborato si fonda sulle ipotesi di corretta installazione e progettazione dell'opera oltre all'adeguatezza di quest'ultima alla mitigazione del rischio (vedi par. 5.3). Tale sezione, dunque, ha lo scopo di descrivere in maniera generale l'inquadramento del contesto circostante (anche da cartografie ufficiali), di effettuare osservazioni qualitative sull'installazione e sul posizionamento del sistema di difesa indipendentemente dal suo stato di conservazione, sulla presenza di ulteriori opere di difesa a protezione del medesimo versante o di quelli immediatamente adiacenti dell'opera considerata e, infine, lo studio degli eventi pregressi che hanno interessato direttamente l'opera o le zone adiacenti. In aggiunta, vi è la possibilità di indicare nel dettaglio eventuali impatti e avvenute manutenzioni dell'opera se note.

- *Check list*: la check list è la parte principale del verbale di sopralluogo in quanto fornisce i dati di input all'algoritmo per la valutazione dello stato di conservazione di un'opera. Grazie ad essa, infatti, l'operatore è in grado in maniera sistematica di valutare tutte le problematiche relative agli elementi principali del sistema, laddove presenti. La struttura di tale check list è già stata trattata all'interno del seguente elaborato (vedi par. 5.3 e par. 5.3.1).
- *Conclusioni sullo stato di conservazione*: in tale sezione è possibile, commentare i risultati ricavati dalla check list, evidenziare le criticità più rilevanti ed esprimere un giudizio sullo stato di conservazione dell'opera. In aggiunta, attraverso quanto riportato nella sezione "Osservazioni generali", è possibile restituire informazioni utili e commenti in merito all'efficacia dell'opera.
- *Allegato fotografico*: la scheda di valutazione dell'opera deve essere corredata da un accurato e dettagliato rilievo fotografico a supporto della descrizione dell'opera e delle sue criticità osservate.

6.1.3 - Automatizzazione del processo

Nel corso del seguente elaborato, al fine di agevolare il rilievo in campo, è stata programmata, in maniera speditiva, un'interfaccia dinamica su Excel da PC o tablet che automatizza la compilazione della sezione descrittiva dell'opera e della sezione check list di valutazione dell'opera del verbale di sopralluogo. In aggiunta, l'algoritmo di programmazione fornisce una prima valutazione del grado di conservazione dell'opera e della relativa efficacia. Il linguaggio di programmazione utilizzato è il Visual Basic for Applications (VBA), tipico per l'automatizzazione delle funzionalità e delle attività dei prodotti Microsoft, come Excel, Office, Power Point, etc (Figura 89).

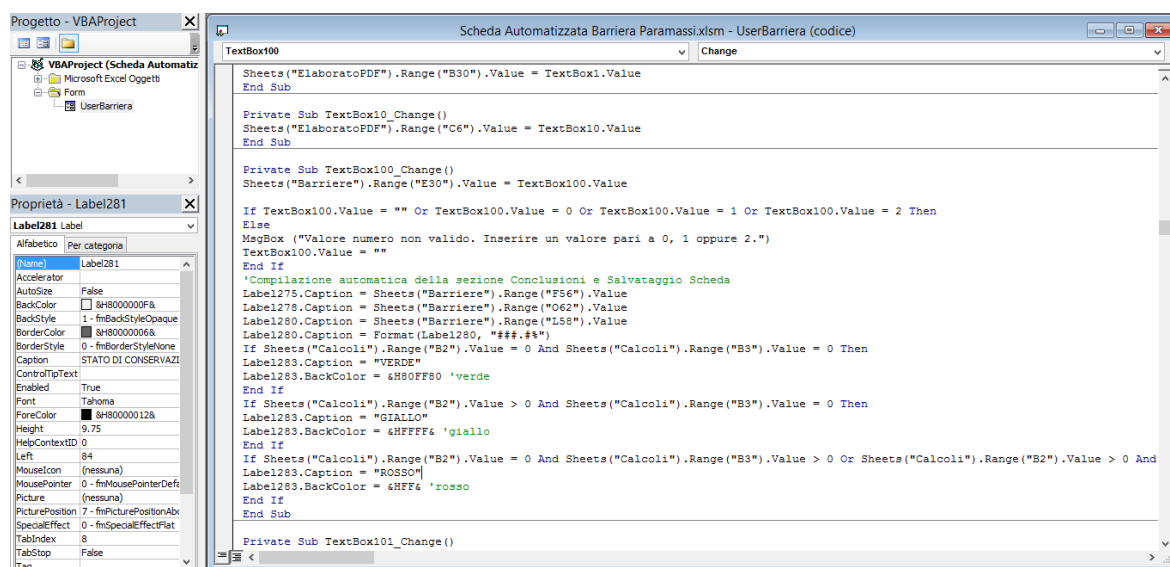


Figura 89: Ambiente di lavoro ed esempio di parte del codice di programmazione per la realizzazione dell'interfaccia dinamica relativa alle barriere paramassi su Excel.

L'interfaccia dinamica realizzata ha i vantaggi di:

- Semplicità di compilazione dei campi previsti del verbale di sopralluogo;
- Riduzione dei tempi di rilievo, se paragonati ad una compilazione cartacea della sezione descrittiva e della sezione check list del verbale di sopralluogo;
- Garanzia di una corretta compilazione della check list dato che l'operatore non può essere soggetto a errori di compilazione dei campi di attribuzione, per esempio, del livello di danno grazie a vincoli interni che proibiscono l'inserimento di valori maggiori di 2. In aggiunta, l'interfaccia nega l'attribuzione di valori di danno agli elementi principali e di quelli a loro collegati che sono stati spuntati come assenti (Figura 92).
- Possibilità di effettuare una compilazione parziale della check list per completarla in un secondo momento, laddove necessario.

- Stima dello stato di conservazione dell'opera e della relativa funzionalità in parallelo alla compilazione della scheda per una prima valutazione dell'opera.
- Compilazione, dopo il salvataggio del file, di una prima bozza su Excel del verbale di sopralluogo relativo alla parte descrittiva e della lista di controllo per la valutazione dell'opera.

Di seguito vengono riportate, a titolo di esempio, le finestre di dialogo dell'interfaccia programmata per le reti a cortina.

- *Dati generali*: la finestra di dialogo relativa ai dati generali consta di tutte quelle informazioni preliminari e fornite dal produttore o dai relativi manuali, laddove disponibili, dell'opera considerata. La compilazione dei campi stringa (max 50 caratteri) riportati in Figura 90 non è soggetta a vincoli di compilazione.

The screenshot shows a software window titled "Dati generali" with several tabs: "Dati generali", "Descrizione barriera", "CheckList", "Note Allegato fotografico", and "Conclusione e Salvataggio scheda". The "Dati generali" tab is active and contains the following fields and options:

- Dati generali:**
 - Data (GG/MM/AAAA): []
 - Località - Comune: []
 - Codice rete: []
 - Lunghezza complessiva: []
 - Tratto di strada da km: [] a km: []
 - Produttore: []
 - Anno di installazione: []
 - Operatore: []
- Tipologia di rete a cortina:**
 - ☒ Semplice (A);
 - ☐ Con funi verticali;
 - ☐ Con funi orizzontali;
- Diagramma:** Three 3D perspective drawings of curtain netting structures labeled A, B, and C. Below them is the text: "(A) Semplice; (B) con funi verticali; (C) con funi orizzontali;".
- Resistenze:**
 - Resistenza a trazione della rete (kN): []
 - Resistenza a taglio della rete (kN): []
 - Resistenza a sfilamento della rete (kN): []
 - Massimo volume accumulabile al piede (m3): []
- Manuale di manutenzione:** ☐ DISPONIBILE ☐ NON DISPONIBILE
- Verbale di collaudo:** ☐ DISPONIBILE ☐ NON DISPONIBILE
- SVUOTA CASELLE** button at the bottom right.

Figura 90: Finestra di dialogo "Dati generali" dell'interfaccia dinamica programma per una rete a cortina.

- *Descrizione barriera*: la finestra di dialogo relativa alla descrizione della barriera consta di una serie di campi stringa (max 1000 caratteri), non soggetti a vincoli durante la compilazione, in cui è possibile descrivere nel dettaglio le singole componenti dell'opera.

Dati Generali	Descrizione Rete a cortina	CheckList	Note Allegato fotografico	Conclusione e Salvataggio scheda
---------------	----------------------------	-----------	---------------------------	----------------------------------

Descrizione della rete a cortina:

Tipologia maglia della rete (in questi campi si deve fornire una descrizione sintetica della tipologia della maglia della rete (e.g. a singola torsione, a maglia esagonale e doppia torsione, reti in pannelli di fune) e delle caratteristiche geometriche e di resistenza):

Cuciture e giunzioni tra le reti (presenza, tipologia, n° al metro):

Ancoraggi principali (tipologia, diametro (mm), lunghezza (m), interasse (m), presenza di piastra e/o golfari):

Fune di sostegno sommitale (tipologia):

Fune di sostegno al piede (tipologia):

Figura 91: Finestra di dialogo “Descrizione rete a cortina” dell’interfaccia dinamica programma per una rete a cortina.

- **Check list:** nella finestra relativa alla check list (Figura 92) vi è la possibilità di compilare, oltre i campi numerici relativi ai livelli di danno, anche dei campi stringhe (max 1000 caratteri) riportati per ogni voce. In aggiunta, si sottolinea che tutti i campi numerici dei livelli di danno della check list non consentono un inserimento di valori superiori a 2, al fine di evitare errori di compilazione. Medesimo fine ha il blocco di compilazione delle problematiche di un elemento principale dall’opera laddove questo risultasse mancante, in unione con gli ulteriori elementi collegati a quello mancante (e.g. fune di sostegno al piede in Figura 92).

Dati Generali	Descrizione Rete a cortina	CheckList	Note Allegato fotografico	Conclusione e Salvataggio scheda
---------------	----------------------------	-----------	---------------------------	----------------------------------

Compilazione della check list per la valutazione dello stato di conservazione dell’opera e della relativa funzionalità:

Componente	Controllo eseguito	Classe	Stato conservazione	NOTE
Rete	Il detrito forma un accumulo rilevante al piede	C3		
	Presenza di detriti nella rete	C2		
	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti che interagiscono con la rete	C2		
	Lacerazioni della rete	C3		
	Deformazioni e/o spandimenti della rete	C3		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della rete	C1		
Fune di sostegno sommitale <input type="checkbox"/> Spuntare casella se MANCANTE	Fune mancante*	n.d.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento della fune	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		
<small>*N.B. Se la fune è mancante non si considerano le altre caratteristiche. Lo stato di conservazione assume valore pari a 2.</small>	Sfilamento degli ancoraggi	C3		

Fune di sostegno al piede <input checked="" type="checkbox"/> Spuntare casella se MANCANTE <small>*N.B. Se la fune è mancante non si considerano le altre caratteristiche. Lo stato di conservazione assume valore pari: - "1" se la rete è fissata a terra con ancoraggi - "2" se la rete NON è fissata a terra con ancoraggi</small>	Fune mancante*	C2	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento della fune	n.d.	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Fune non visibile perchè coperta da detrito e/o vegetazione	n.d.	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Ancoraggio non visibile	n.d.	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Ancoraggio mancante	n.d.	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Elementi mancanti nelle giunzioni	n.d.	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi	n.d.	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra	n.d.	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Sfilamento degli ancoraggi	n.d.	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
Funi di sostegno intermedie <input type="checkbox"/> Spuntare casella se MANCANTI	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune	C1	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Fune non visibile perchè coperta da detrito e/o vegetazione	C1	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Fune mancante	C1	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Ancoraggio non visibile	C1	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Ancoraggio mancante	C1	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Elementi mancanti nelle giunzioni	C1	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi	C1	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra	C1	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Sfilamento degli ancoraggi	C1	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
Elementi di giunzione tra i pannelli della rete	Elementi mancanti	C3	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione	C2	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
Elementi di giunzione rete - fune superiore	Elementi mancanti	C3	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione	C2	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
Elementi di giunzione rete - fune inferiore (se presente)	Elementi mancanti	n.d.	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione	n.d.	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
Elementi di giunzione rete - funi intermedie (se presente)	Elementi mancanti	C2	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione	C1	<input type="text"/>	<input type="text"/>				
LEGENDA: <table border="0"> <tr> <td colspan="2"> Livelli di danno 1 Nessun danno 2 Danno moderato 3 Danno intenso <input type="checkbox"/> Componente non presente </td> <td colspan="2"> Classi di importanza C1 Elemento poco importante C2 Elemento mediamente importante C3 Elemento molto importante </td> </tr> </table>					Livelli di danno 1 Nessun danno 2 Danno moderato 3 Danno intenso <input type="checkbox"/> Componente non presente		Classi di importanza C1 Elemento poco importante C2 Elemento mediamente importante C3 Elemento molto importante	
Livelli di danno 1 Nessun danno 2 Danno moderato 3 Danno intenso <input type="checkbox"/> Componente non presente		Classi di importanza C1 Elemento poco importante C2 Elemento mediamente importante C3 Elemento molto importante						
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">SVUOTA CASELLE</div>								

Figura 92: Finestra di dialogo "Check list" dell'interfaccia dinamica programma per una rete a cortina.

- *Note Allegato fotografico*: la finestra di dialogo relativa alle note in merito all'allegato fotografico realizzato in parallelo alla compilazione del verbale consta di un campo stringa (max 1000 caratteri), non soggetto a vincoli durante la compilazione, in cui l'operatore ha la possibilità di commentare e/o riferire un'informazione all'acquisizione fotografica per la realizzazione, in un secondo momento, di un accurato "Rilievo fotografico" all'interno del verbale di sopralluogo.

Figura 93: Finestra di dialogo “Note Allegato fotografico” dell’interfaccia dinamica programma per una rete a cortina.

- **Conclusioni e salvataggio scheda:** la finestra di dialogo in analisi fornisce informazioni contemporaneamente alla compilazione del verbale (Figura 94). I campi presenti, infatti, restituiscono una prima valutazione dello stato di conservazione e di funzionalità dell’opera. In aggiunta, l’operatore ha la possibilità di commentare i risultati ottenuti in un apposito campo stringa (max 10000 caratteri). Infine, in tale finestra di dialogo vi è la possibilità di salvataggio della scheda compilata. Una volta salvata la scheda, le finestre di dialogo saranno svuotate dai valori/ informazioni riportati in precedenza.

Figura 94: Finestra di dialogo “Conclusione e salvataggio schede” dell’interfaccia dinamica programma per una rete a cortina.

6.2 - Caso studio

6.2.1 - Strada Statale S.S. 34 del Lago Maggiore

La Strada Statale n° 34, gestita dall'ANAS, si estende per una lunghezza totale di poco più di 39 km all'interno della Provincia piemontese del Verbano-Cusio-Ossola (VCO). Nello specifico, la S.S. 34 ha inizio nel Comune di Gravellona Toce e prosegue sino al Comune di Intra prima di incominciare a svilupparsi lungo la costa del Lago Maggiore sino al confine di Stato con la Svizzera. Tale elemento stradale, infatti, costeggia il Lago Maggiore per la maggior parte della propria estensione, attraversando, da Sud verso Nord, i centri abitati di Ghiffa, Oggebbio, Cannero Riviera e Cannobio, collocati lungo la sponda occidentale del lago. Nel tratto italiano, la S.S. 34 termina in corrispondenza della frontiera svizzera, circa al km 39+300 in località Piaggio Valmara, oltre la quale diviene Strada Cantonale 13.

La Strada Statale S.S. 34 del Lago Maggiore svolge un importante ruolo di connessione territoriale. Essa, infatti, è l'unica infrastruttura viaria adibita al traffico veicolare che è messa a servizio della sponda occidentale del Lago Maggiore come collegamento tra l'Italia e la Svizzera. Di conseguenza, una sua interruzione comporterebbe notevoli disagi sia da un punto di vista sociale che economico. Essa, infatti, risulta essere soggetta non di rado a dissesti idrogeologici lungo la sponda del Lago Maggiore che, oltre a un rischio di perdita di vita umane, comporta anche l'interruzione del traffico commerciale.

In Figura 95, viene riportato il tratto di strada relativo al Contratto di ricerca del DIATI che si estende dalla progressiva ANAS 16+300 alla progressiva ANAS 39+300.

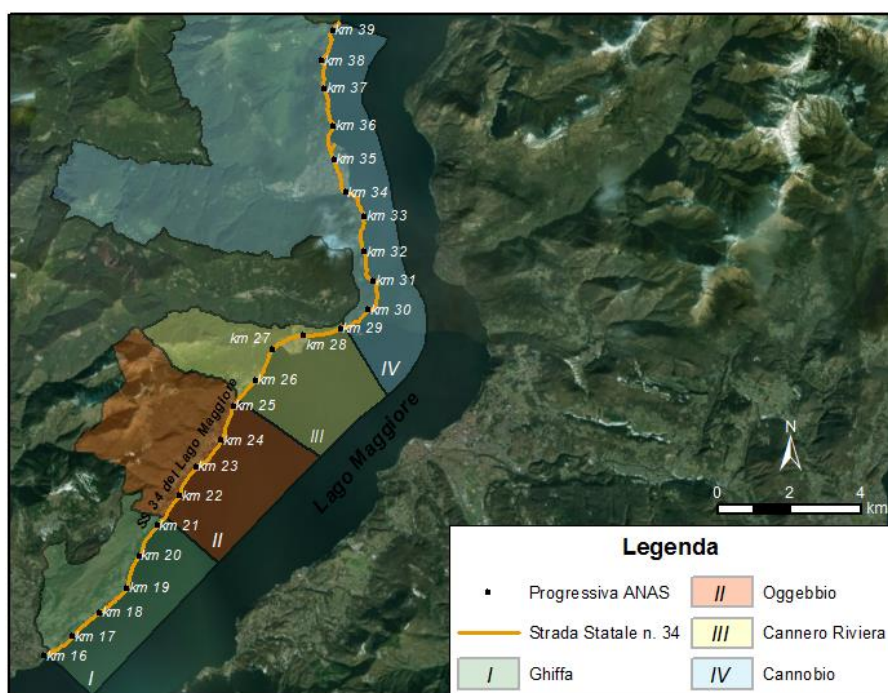


Figura 95: Inquadramento geografico della Strada Statale S.S. 34 del Lago Maggiore (Basemap: ESRI).

6.2.2 - Inquadramento geologico e geomorfologico

Il tratto di Strada Statale S.S. 34 del Lago Maggiore oggetto di studio del contratto di ricerca tra il DIATI e l'Unione dei Comuni del Lago Maggiore interessa i Comuni di Ghiffa, Oggebbio, Cannero Riviera e Cannobio. Tale porzione di territorio appartiene al basamento basamento sudalpino delle Alpi Occidentali, chiamato anche "Massiccio dei Laghi". (Boriani, et al., 1990). Quest'ultimo è costituito da due unità litostratigrafiche e strutturali giustapposte, entrambe di impronta metamorfica: la Zona-Ivrea-Verbania e la Serie dei Laghi (Boriani, et al., 1990). La Serie dei Laghi è costituita da due sub-unità chiamate Scisti dei Laghi e Zona Strona-Ceneri, separate da un orizzonte continuo di anfiboliti e paragneiss chiamato Zona Marginale della Strona-Ceneri. Gli Scisti dei Laghi sono principalmente costituiti da micascisti e paragneiss, mentre la Zona Strona-Ceneri è il prodotto metamorfico di rocce arenacee che presenta una sequenza sedimentaria (Boriani, et al., 1990). Le anfiboliti sono la prima unità della Zona Strona-Ceneri, i quali risultano a contatto con rocce metamorfiche denominate "Ceneri Gneiss". Nella zona più elevata della Strona-Ceneri, invece, si ritrovano i cosiddetti "Gneiss minuti". Infine, in entrambe le sub-unità della Serie dei Laghi sono presenti ortogneiss, principalmente in prossimità o in corrispondenza del loro contatto (Boriani, et al., 1990).

Tutta la porzione di territorio all'interno dei limiti amministrativi di Ghiffa appartiene all'unità della Serie dei Laghi, la quale risulta attraversata da corpi di ortogneiss di forma, estensione e composizione variabile. In linea generale, il territorio di Ghiffa presenta discontinuità tettoniche minori le quali hanno comportato all'interno dell'unità citata in precedenza la formazione di fasce cataclastiche e di cataclasiti. Per cataclasiti si intendono rocce che hanno subito deformazioni fragili a bassa temperatura causate dal calore di frizione sviluppato durante il movimento di una faglia (Relazione Geologica Generale, Studio Ripamonti, 2018). Tali fasce sono molto fratturate e, quando il processo di cataclasi è molto avanzato, si può arrivare ad avere delle vere e proprie rocce incoerenti. Infine, degni di nota all'interno del territorio di Ghiffa sono i depositi superficiali, aventi spessore rilevante, che possono altresì costituire conoidi alluvionali torrentizi. Altre forme di depositi, quali quelli di versante e le coltri eluvio-colluviali, seppur presenti presentano estensione e spessori abbastanza contenuti. Relativamente alle proprietà geo-meccaniche del substrato roccioso dipendono dalla composizione mineralogica dello stesso, dagli elementi strutturali e microstrutturali, dallo stato di alterazione ma, soprattutto, dalla eventuale presenza e caratteristiche delle superfici di discontinuità (piani di scistosità, stratificazioni, fratture, ecc.). Per avere una prima caratterizzazione dal punto di vista geomeccanico del substrato

roccioso (Tabella 36), il Comune di Ghiffa, all'interno della rispettiva relazione geologica della variante Strutturale al PRGC, ha utilizzato la metodologia proposta dalla I.S.R.M. (*International Society for Rock Mechanics*) denominata B.G.D. (*Basic Geotechnical Description of Rock Masses, 1980*). Tale metodologia prevede lo studio di specifici parametri e presenta due requisiti fondamentali: è basata su dati quantitativi che è possibile ricavare nelle rocce affioranti o, eccezionalmente, da prove tecniche effettuate, ed è in grado di restituire una indicazione di massima sul comportamento meccanico di un ammasso roccioso. Per quanto riguarda i terreni, invece, una prima caratterizzazione geotecnica è stata effettuata considerando come parametri geotecnici la granulometria, peso di volume, angolo di resistenza al taglio e coesione (Tabella 37).

Tabella 36: Parametri geomeccanici caratteristici, secondo la classificazione B.D.G., del substrato di Ghiffa (Fonte: variante Strutturale PRGC, 2018)

Litotipo	Condizioni di alterazione, W	Spessore degli strati, S	Intercetta delle fratture, F	Resistenza a compressione monoassiale, S	Angolo di attrito delle fratture, A
Ortogneiss	W1	L1-L2	F1, localmente F2	175.5-225.5 MPa	45°-55°
Paragneiss	W1-W2, localmente W3	L2-L3	F2, localmente F3	Sano: 98-196.1 MPa Alterato: 68.6-88.2 MPa	Sano: 40°-50° Alterato: 35°-45°
Micascisti	W2, localmente W3	L3-L4	F3, localmente F4	Sano: 58.8-88.2 MPa Alterato: 9.8-19.6 MPa	Sano: 35°-45° Alterato: 30°-35°

Tabella 37: Parametri geotecnici caratteristici dei depositi del Comune di Ghiffa (Fonte: Variante Strutturale PRGC, 2018)

Depositi	Peso di volume (kg/m³)	Angolo di attrito interno (°)	Coesione (kPa)
Depositi di conoide alluvionale	1700-2100	30-35	0
Depositi glaciali e fluvioglaciali (ghiaie ciottolose)	1900-2100	35-40	0-9.8
Depositi glaciali e fluvioglaciali a supporto di matrice sabbioso-limoso	1800-1900	30-35	9.8-29.4
Livelli limosi o limoso sabbiosi in depositi glaciali e fluvioglaciali	1600-1800	25-30	9.8-49

Analogamente al territorio di Ghiffa, anche quello di Oggebbio ricade interamente nell'unità degli Serie dei Laghi, nel dettaglio nella subunità degli Scisti dei Laghi. Le principali discontinuità tettoniche si sviluppano lungo due direzioni principali: ESE e ENE, come la direzione della scistosità regionale e di alcuni allineamenti morfologici. I parametri caratteristici del substrato roccioso e dei depositi presenti all'interno del Comune in analisi sono contenuti all'interno del corrispettivo PRGC e riportati, rispettivamente, in Tabella 38 e Tabella 39.

Tabella 38: Parametri caratteristici del substrato del Comune di Oggebbio (Fonte: Variante Strutturale PRGC, 2015).

<i>Litotipo</i>	<i>Peso di volume (kg/m³)</i>	<i>Angolo di attrito di picco (°)</i>	<i>Coesione (kPa)</i>
Micascisti e paragneiss	2600-2800	23-29	196.1-392.2
Ortogneiss	2700-3000	30-36	392.2-588.3

Tabella 39: Parametri geotecnici caratteristici dei depositi del Comune di Oggebbio (Fonte: Variante Strutturale PRGC, 2015)

<i>Depositi</i>	<i>Peso di volume (kg/m³)</i>	<i>Angolo di attrito interno (°)</i>	<i>Coesione (kPa)</i>
Depositi alluvionali di conoide	1700-2000	28-38	0
Depositi glaciali e fluvioglaciali	1700-1900	26-36	0.98-4.9
Depositi eluvio-colluviali	1700-1800	32-40	0-1.9
Detrito di falda stabilizzato	1800-2000	35-45	0
Depositi costieri	1600-2000	26-36	0-1.9

Nel territorio di Cannero Riviera, i litotipi presenti sono gli Scisti dei Laghi e gli ortogneiss. Si evidenzia che il substrato roccioso affiora in quantità rilevanti nel territorio amministrativo del comune in analisi a causa del fatto che gli ortogneiss, i quali sono il litotipo maggiormente presente, per struttura e composizione mineralogica risultano essere poco alterabili ed erodibili e, quindi, generalmente affioranti. In aggiunta, il substrato roccioso si trova spesso sormontato da depositi superficiali con spessore variabile derivanti dall'azione di agenti morfogenetici quali gravità, acque incanalate e ruscellanti, agenti atmosferici, ghiacciai ed azioni antropiche. Da un punto di vista strutturale, nel territorio di Cannero si riconoscono almeno due set di fratture che interessano sia ortogneiss sia Scisti dei Laghi, oltre al fenomeno di rilascio tensionale dovuto al ritiro delle lingue glaciali ha provocato, localmente, l'instaurarsi di fratture ad andamento parallelo al versante. Per quanto concerne i due set di fratturazione, si può riconoscere a scala regionale una famiglia a direzione circa N60° con immersione verso SO di 50°-60° ed una seconda famiglia, meno frequente, subperpendicolare alla prima. La direzione dei piani di scistosità, invece, è generalmente tra i 50° e i 70° con inclinazione in verso SE, variabile fra i 60° e i 80°. Si sottolinea comunque che, in alcune zone, sono frequenti bancate subverticali o che si immergono ad alto angolo verso NO. In maniera generale, si può concludere che gli ammassi rocciosi presenti nel territorio di Cannero Riviera godono di buone/discrete caratteristiche geomeccaniche, con peggioramenti presso le bancate di micascisti, nei paragneiss e ortogneiss e, particolarmente, nei litotipi che presentano discontinuità tettoniche e che, dunque, sono stati trasformati in cataclasiti o in rocce molto fratturate a volte incoerenti. Analogamente alla metodologia utilizzata per la caratterizzazione del substrato roccioso del Comune di Ghiffa, anche il Comune di Cannero Riviera all'interno de PRGC riporta una classificazione B.D.G., riportata in Tabella 40. Per quanto riguarda i terreni, invece, una

prima caratterizzazione geotecnica è stata effettuata considerando come parametri geotecnici la granulometria, peso di volume, angolo di resistenza al taglio e coesione (Tabella 41).

Tabella 40: Parametri geomeccanici caratteristici, secondo la classificazione B.D.G., del substrato di Cannero Riviera (Fonte: PRGC, 2004)

<i>Litotipo</i>	<i>Condizioni di alterazione, W</i>	<i>Spessore degli strati, S</i>	<i>Intercetta delle fratture, F</i>	<i>Resistenza a compressione monoassiale, S</i>	<i>Angolo di attrito delle fratture, A</i>
Ortogneiss	W1, localmente W2	L2-L3	F2, localmente F3	Sano: 98.6-196.1 MPa Alterato: 68.6-88.2 MPa	Sano: 40°-50° Alterato: 35°-45°
Paragneiss	W1-W2, localmente W3	L3-L4	F3, localmente F4	Sano: 68.6-98 MPa Alterato: 68.6-88.2 MPa	Sano: 35°-45° Alterato: 30°-40°
Micascisti	W1-W2, localmente W3	L3-L4	F3, localmente F4	Sano: 98-196.1 MPa Alterato: 68.6-88.2 MPa	Sano: 35°-45° Alterato: 30°-35°

Tabella 41: Parametri geotecnici caratteristici dei depositi del Comune di Cannero Riviera (Fonte: PRGC, 2004)

<i>Depositi</i>	<i>Peso di volume (kg/m³)</i>	<i>Angolo di attrito interno (°)</i>	<i>Coesione (kPa)</i>
Depositi alluvionali torrentizi e di conoide alluvionale	1700-2100	30-35 (sabbie e ghiaie); 35-40 (depositi caotici in alveo montano);	0
Depositi di origine glaciale	1900-2100	35-40	9.8-49
Lenti sabbiose in depositi glaciali	1700-1900	30-35	0
Lenti limose in depositi glaciali	1600-1800	25-30	9.8-98
Depositi detritici di versante	1800-2000	35-45	0

Infine, il territorio di Cannobio è caratterizzato nella zona settentrionale dalla Zona Marginale della Strona Ceneri, che costituisce un piano assiale antifforme al passaggio con la Zona della Strona Ceneri. Nella parte meridionale, invece, sono presenti ortogneiss affioranti in unione con la formazione della Zona marginale della Strona Ceneri, oltre il quale si presentano gli Scisti dei Laghi. Secondo l'indagine geologica svolta dallo studio geologico associato Bossalini & Cattin e presente all'interno del PRGC di Cannobio, il trend geologico-strutturale locale è prevalentemente rappresentato da giaciture immergenti verso NW-NE (320°-040°) con inclinazioni sempre superiori a 45°. In tale contesto, i piani di scistosità vengono spesso a trovarsi in condizioni di franapoggio, favorendo l'instabilità lungo questa direzione, come testimoniato pareti di crollo in caso di elevata inclinazione e da frana di scivolamento in roccia impostate su piani pressoché paralleli al pendio (ca. 50°) con movimento generale verso Nord.

I parametri caratteristici del substrato roccioso e dei depositi presenti all'interno del Comune in analisi sono contenuti all'interno del corrispettivo PRGC e riportati, rispettivamente, in Tabella 42 e Tabella 43.

Tabella 42: Parametri geomeccanici caratteristici del substrato del Comune di Cannobio (Fonte: PRGC, 2010).

<i>Litotipo</i>	<i>Peso di volume (kg/m³)</i>	<i>Resistenza a compressione monoassiale (MPa)</i>
Ortogneiss	2600-2800	98-196.1
Paragneiss	2600-2800	68.6-98
Anfiboliti	2700-3000	98-205.9
Marmi	2700-2800	78.4-147

Tabella 43: Parametri geotecnici caratteristici dei depositi del Comune di Cannobio (Fonte: PRGC, 2010)

<i>Depositi</i>	<i>Peso di volume (kg/m³)</i>	<i>Angolo di attrito interno (°)</i>	<i>Coesione (kPa)</i>
Deposito costituito da detrito di falda	1800-2000	35-45	0
Deposito superficiale costituito da alluvioni e conoidi maggiori	1700-2100	30-40	0
Deposito superficiale costituito da depositi glaciali e fluvioglaciali	1900-2100	35-40	9.8-98
Deposito superficiale costituito da depositi di spiaggia e conoidi minori	1600-2000	25-35	0-19.6

Per quanto riguarda l'aspetto geomorfologico del territorio, questo risulta essere stato influenzato principalmente da azioni glaciali e fluvioglaciali, come nel caso del territorio di Ghiffa. In aggiunta, il versante occidentale del Lago Maggiore presenta frequentemente porzioni di estensione nell'ordine di 1-2 km nelle quali sono riconoscibili testimonianze geomorfologiche legate a dinamiche di D.G.P.V. (Deformazioni Gravitative Profonde di Versante), quali contropendenze, scarpate in roccia e relativi orli sommitali e trincee (Studio Ripamonti, 2018). Tali dinamiche, almeno relativamente alla sponda occidentale, si possono considerare estinte.

Nell'area amministrata da Oggebbio, l'azione morfogenetica dell'apparato glaciale è responsabile della formazione delle classiche forme vallive presenti sul territorio. Successivamente ad essa, vi è stata l'azione morfogenetica legata alla dinamica torrentizia dei corsi d'acqua, i quali presentano una intensa attività erosiva lungo le sponde laterali con uno sviluppo verticale (erosione verticale) più o meno elevata (profilo a "V"). Nella zona dello sbocco di numerosi corsi d'acqua, infatti, all'interno del bacino del Lago Maggiore, si sono formate delle conoidi di deiezione, le quali risultano spesso parzialmente o totalmente sotto il livello lacustre. Il territorio di Oggebbio, infine, riporta anche testimonianze di processi legati alla dinamica gravitativa dei versanti rocciosi di crolli in roccia e formazione di accumuli detritici grossolani.

Nell'area di Cannero Riviera, sono prevalenti i caratteri morfologici tipici di un versante appartenente ad una valle interessata dall'attività dei ghiacciai. Gli effetti dell'azione erosiva glaciale sono chiaramente rilevabili nel profilo longitudinale del versante che si mostra articolato da una serie di gradini e di rotture di pendenza, da terrazzi anche di discreta estensione e nella presenza di rocce montonate (Relazione geologica, PRGC 2004). Nel

territorio risultano anche visibili gli effetti dell'attività deposizionale legata all'azione glaciale, soprattutto nella estrema diffusione di depositi di origine glacio-fluvio-lacustri, e di attività legate a D.G.P.V. soprattutto al confine con il Comune di Trarego Viggiona.

Il territorio di Cannobio, infine, è caratterizzato da varie frane in roccia legate all'importante stato di fratturazione presente, alle condizioni di acclività dei giunti di foliazione (mediamente 70°-80°) e dal fenomeno di rilascio tensionale. Anche in tale Comune, sono riconoscibili forme legate alle dinamiche gravitative profonde di versante.

6.2.3 - Analisi degli eventi storici

Nell'ambito della collaborazione effettuata durante lo svolgimento del Contratto di Ricerca del DIATI, è stata effettuata un'analisi di dettaglio limitatamente ai soli fenomeni franosi occorsi nel tempo che hanno interessato direttamente il tratto di Strada Statale S.S. 34 oggetto di studio, con invasioni del piano stradale, o la zona immediatamente limitrofa ad esso. Lo studio, infatti, degli eventi pregressi risulta importante sia per inquadrare i principali fenomeni che hanno colpito o interessato zone adiacenti all'elemento a rischio, sia per eventuali back-analysis mirate all'ottenimento di parametri per una più adeguata analisi statistica delle traiettorie e delle velocità, sia infine per avere informazioni su eventuali impatti e/o danneggiamenti delle opere di protezione esistenti.

Le informazioni reperite in merito ai dissesti storici pregressi per il seguente Caso Studio derivano dalle seguenti fonti:

- *Archivio di Stato di Pallanza*: i Piani Regolatori dei Comuni di Ghiffa, Oggebbio, Cannero Riviera e Cannobio hanno condotto uno studio dei fenomeni franosi occorsi all'interno del proprio territorio amministrativo da testimonianze dirette e dai documenti storici custoditi all'interno dell'Archivio di Stato di Pallanza. Tale Archivio nasce nel 1972, limitatamente al territorio dell'Alto Novarese, e risulta caratterizzato dalla presenza di Atti notarili, Atti giudiziari ed archivi storici relativi ad eventi franosi.
- *Banca Dati Geologica Regionale (BDG)*: la BDG è un catalogo storico degli effetti morfologici e dei danni indotti da fenomeni di instabilità naturale, gestito da Arpa Piemonte). Le schede di tali fenomeni contenute nella Banca Dati vanno in linea generale dal 1600 al 2000 e vengono aggiornate in maniera costante da informazioni derivate dall'attività più recenti di ARPA Piemonte.
- *Progetto IFFI/SifraP* (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia / Sistema Informativo Frana in Piemonte): il Progetto IFFI, approvato dal Comitato dei Ministri per la Difesa del Suolo (ex D.Lgs. 183/89), nasce con lo scopo di incrementare la conoscenza nell'ambito dei fenomeni franosi sull'intero territorio nazionale. Nella Regione Piemonte, tale progetto è stato realizzato tra il 2002 ed il 2005 da ARPA Piemonte, in collaborazione con le Province piemontesi, del CNR e delle Università coinvolte nelle attività del Progetto di Cartografia Geologica (CARG). Il Progetto SIFRAP è un'estensione del Progetto IFFI sviluppato in Piemonte con l'obiettivo di integrare, sviluppare ed aggiornare costantemente la

banca dati IFFI. Il database è gestito da ARPA Piemonte e viene aggiornato a cadenza annuale.

- *Progetto AVI* (Aree Vulnerate Italiane): commissionato nel 1989, il Progetto AVI ha lo scopo di censire i dissesti idrogeologici (frane e/o inondazioni) per il periodo 1918-1990 mediante consultazioni di quotidiani locali. Il censimento venne poi esteso al periodo 1991-1994. L'archivio dei dati del Progetto AVI è consultabile presso il Sistema Informativo sulle Catastrofi Idrogeologiche (SICI).
- *Schede dei dissesti gravitativi contenute all'interno dei PRGC*: i Comuni di Ghiffa, Oggebbio, Cannero Riviera e Cannobio, all'interno delle relazioni di indagine geologica contenute all'interno dei corrispettivi PRGC, presentano delle schede di censimento e descrizione di alcuni dei fenomeni franosi accaduti all'interno del relativo territorio amministrativo, opportunamente cartografate all'interno della "Carta Geomorfologica e del dissesto" dei Comuni citati.
- *"Carta geomorfologica e del dissesto"*: la "Carta geomorfologica e del dissesto" dei Comuni di Ghiffa, Oggebbio, Cannero Riviera e Cannobio, oltre a contenere informazioni di carattere geomorfologico del territorio, riportano anche alcune informazioni sui dissesti storici avvenuti. Nel dettaglio, gli eventi franosi per i quali sono state compilate le schede di censimento e descrizione risultano cartografati con il corrispettivo codice identificativo. In aggiunta, a volte tali cartografie presentano dei dissesti storici privi di schede specifiche, che vengono indicati con codici generici e che sono stati ugualmente riportati all'interno della seguente analisi.
- *Informazioni cronachistiche*: la consultazione di fonti cronachistiche ha consentito il reperimento di diversi eventi storici non segnalati in nessuna delle fonti precedenti.

Tutte le informazioni ricavate dalle fonti soprariportate sono state sottoposte a valutazioni incrociate al fine di identificare quei fenomeni che venivano descritti/citati da più di una fonte.

Con riferimento alla descrizione degli eventi franosi riportata all'interno del Capitolo 1, l'analisi dei dissesti storici effettuata ha permesso di reperire informazioni in merito a 150 eventi pregressi occorsi dagli anni precedenti al 1990 fino al 2018 che hanno interessato in maniera diretta l'infrastruttura viaria oggetto di studio e le relative zone limitrofe (Figura 96). In aggiunta, in Figura 97 vengono anche riportati gli eventi che sono censiti senza indicazione della data di accadimento.

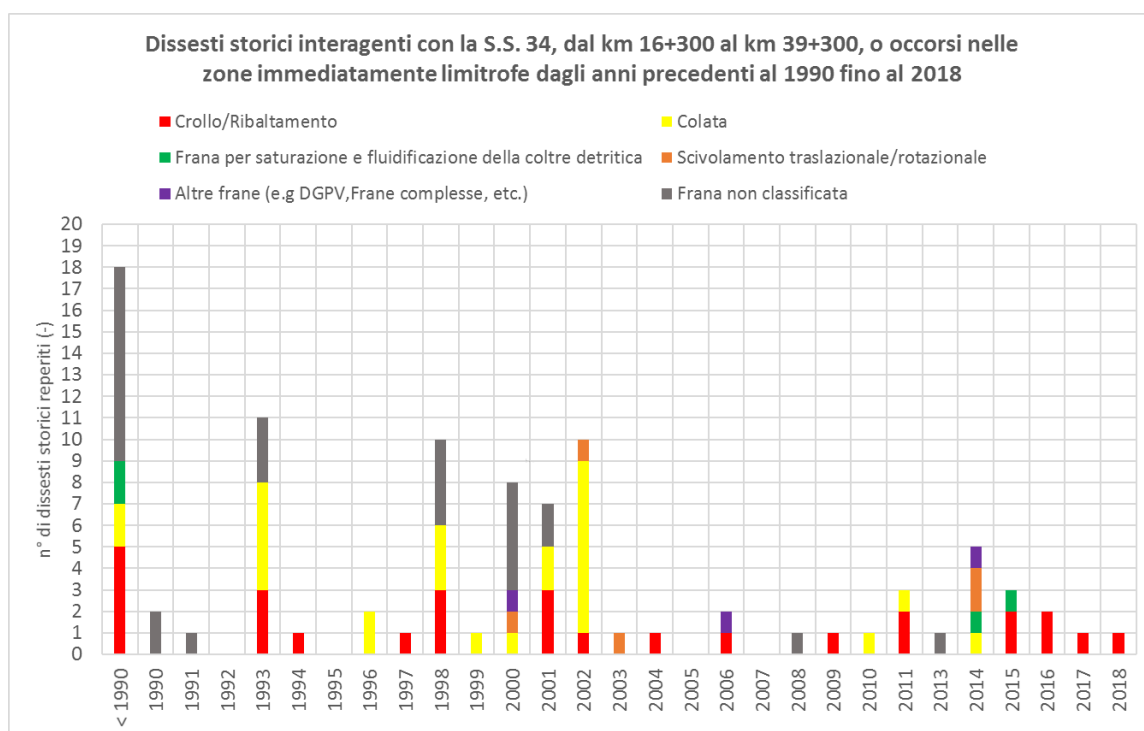


Figura 96: Dissesti storici interagenti con la S.S. 34, dal km 16+300 al km 39+300, o occorsi nelle zone immediatamente limitrofe dagli anni precedenti al 1990 fino al 2018.

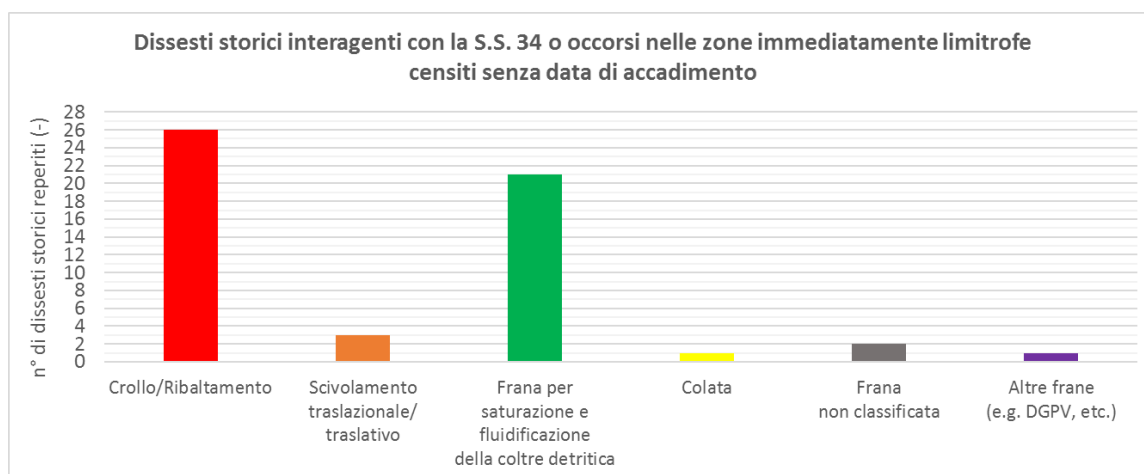


Figura 97: Dissesti storici interagenti con la S.S. 34 o occorsi nelle zone immediatamente limitrofe censite senza di data di accadimento.

Dalla Figura 96 è possibile osservare come nel 2002 vi siano stati numerosi fenomeni di colate. Nello specifico, tale eventi si verificarono perlopiù nel territorio di Oggebbio a seguito di intense precipitazione avvenute intorno al mese di maggio che hanno comportato il movimento di detrito e/o terra lungo le sponde di un elemento idrico, senza una interazione diretta con la S.S. 34. Analoga tipologia di movimento si è avuta nel 1998 a Ghiffa, dove l'alluvione del 5 settembre ha comportato anche l'innesco, presumibilmente, di frane per saturazione e fluidificazione della coltre detritica superficiale (F.S.C.) secondo quanto riportato nel relativo PRGC.

In maniera generale, considerando anche gli eventi senza data di accadimento (Figura 97), è possibile affermare che il tratto di S.S. 34 in analisi e le zone limitrofe ad esso sono state interessate principalmente da fenomeni di crollo e/o ribaltamento.

Con riferimento alla Figura 98, si può notare che il territorio di Ghiffa è stato caratterizzato principalmente, come illustrato in precedenza, da fenomeni di saturazione e fluidificazione della coltre detritica (F.S.C.) e colate. Viceversa, il territorio amministrato da Cannobio in prossimità della S.S. 34 è stato interessato quasi totalmente da fenomeni di crollo/ribaltamento. Più eterogeneo, invece, è il contesto del Comune di Cannero Riviera nel tratto in analisi. Infatti, nonostante un elevato numero di fenomeni di crollo e/o ribaltamento reperiti, la porzione di S.S. 34 dal km 25+220 al km 19+140 ha presentato anche fenomeni di scivolamenti rotazione/traslazionali, di F.S.C. e di colate, anche interagenti con l'elemento stradale. Infine, le zone limitrofe alla S.S. 34 all'interno di Oggebbio sono state luogo sia di fenomeni di crolli che di colate.

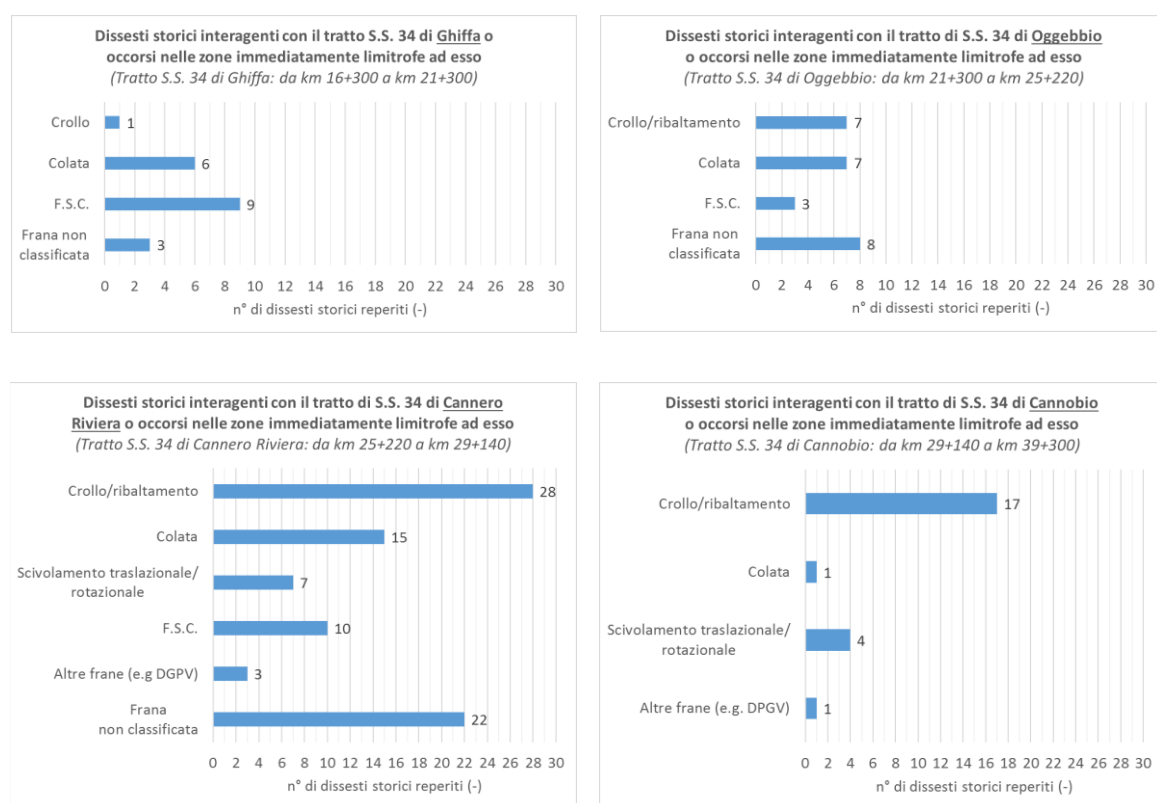


Figura 98: Distribuzione spaziale per Comune di accadimento degli eventi storici reperiti.

Tra i fenomeni che hanno colpito la S.S. 34, si riportano di seguito lo scivolamento traslazione del novembre 2014, il crollo del marzo del 2017 e quello del 2018.

Il fenomeno del novembre 2014 (Figura 99) è stato censito come uno scivolamento traslazionale che ha interessato il substrato di ortogneiss con sovrastanti detriti e terreni di copertura. Tale frana ha divelto una barriera paramassi realizzata sul coronamento di un muro di contenimento di controripa e collocata a protezione del versante, interessando anche

il muro di sottoscarpa fino alle abitazioni sottostanti. I volumi mobilizzati, tra massi, terra e tronchi d'albero, sono stati stimati inizialmente in circa 1900-2000 m³, ma i successivi lavori di disaggio hanno determinato ad un aumento molto significativo dei volumi, dell'ordine di 5000-6000 m³.



Figura 99: Scivolamento traslazione nel Comune di Cannero Riviera del novembre 2014 (Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=quJeMCg2YsQ>)

Nel marzo 2017 è avvenuto un evento di crollo sul versante di controripa della S.S.34 a causa di un distacco e successivo crollo di una porzione di roccia ortogneissica facente parte di parete rocciosa posta tra 60 e 70 m di quota al di sopra del piano stradale. Il volume totale di parete rocciosa crollata è stato di ca. 90 m³. Un blocco avente volumetria ca. pari a 3 m³ ha provocato una vittima.



Figura 100: Crollo nel Comune di Cannobio del marzo 2017 (Fonte: La Stampa)

Infine, nel periodo di esecuzione dei sopralluoghi in sito, il versante di controripa interessato nel 2017 da un fenomeno di crollo è stato soggetto ad un nuovo evento nel novembre 2018 (Figura 101). Tale fenomeno ha coinvolto circa 10-12 m di parete rocciosa, distaccando blocchi pluridecimetrici che hanno invaso il piano stradale senza comportare nessun vittima.



Figura 101: Fenomeno di crollo nella scarpata di controripa della S.S. 34 del Caso Studio. La condizione pre-crollo è riportata in (a), quella post-crollo in (b) e (c).

6.2.4 - Campagna di rilievo

Le attività di rilievo delle opere di protezione lungo la Strada Statale S.S. 34 dal km 16+300 al km 39+300 sono state effettuate attraverso una serie di sopralluoghi in sito tra il settembre 2018 ed il febbraio 2019 (Tabella 44).

Tabella 44: Date dei sopralluoghi effettuati in sito.

<i>Sopralluoghi effettuati</i>	<i>Operazioni effettuate</i>
26/09/2018	Inquadramento preliminare delle opere di protezione lungo la S.S. 34
27/09/2018	Inquadramento preliminare delle opere di protezione lungo la S.S. 34
03/10/2018	Analisi visiva speditiva dei versanti e delle opere tramite osservazione da lago (rilievo da barca)
12/10/2018	Realizzazione delle schede di censimento e caratterizzazione delle opere di protezione
16/10/2018	Realizzazione delle schede di censimento e caratterizzazione delle opere di protezione
17/10/2018	Realizzazione delle schede di censimento e caratterizzazione delle opere di protezione
13/11/2018	Analisi visiva dei versanti da bordo strada con individuazione dei punti ottimali per il rilievo geostrutturale + aggiornamento delle schede di descrizione e valutazione delle opere
06/12/2018	Studio di dettaglio di alcune delle 14 aree di interesse per la mitigazione del rischio fornite dall'Ente Committente + rilievo geostrutturale + aggiornamento delle schede di descrizione e valutazione delle opere
11/12/2018	Studio di dettaglio di alcune delle 14 aree di interesse per la mitigazione del rischio fornite dall'Ente Committente + rilievo geostrutturale + aggiornamento delle schede di descrizione e valutazione delle opere
19/12/2018	Studio di dettaglio di alcune delle 14 aree di interesse per la mitigazione del rischio fornite dall'Ente Committente + rilievo geostrutturale + aggiornamento delle schede di descrizione e valutazione delle opere
08/01/2019	Studio di dettaglio di alcune delle 14 aree di interesse per la mitigazione del rischio fornite dall'Ente Committente + rilievo geostrutturale + aggiornamento delle schede di descrizione e valutazione delle opere
15/01/2019	Studio di dettaglio di alcune delle 14 aree di interesse per la mitigazione del rischio fornite dall'Ente Committente + rilievo geostrutturale + aggiornamento delle schede di descrizione e valutazione delle opere
23/01/2019	Studio di dettaglio di alcune delle 14 aree di interesse per la mitigazione del rischio fornite dall'Ente Committente + rilievo geostrutturale + aggiornamento delle schede di descrizione e valutazione delle opere
08/02/2019	Studio di dettaglio di alcune delle 14 aree di interesse per la mitigazione del rischio fornite dall'Ente Committente + rilievo geostrutturale + aggiornamento delle schede di descrizione e valutazione delle opere
20/02/2019	Aggiornamento delle schede di descrizione e valutazione delle opere

Limitatamente agli interventi di difesa, i sopralluoghi riportati in Tabella 44 hanno consentito di individuare, localizzare e catalogare le opere di protezione esistenti, in unione ad un loro rilievo manuale. La metodologia operativa del rilievo è riportata all'interno del par. 6.1.

Le principali opere di protezione identificate lungo la S.S.34 risultano essere sia barriere paramassi (sia a ridotta che ad elevata deformabilità) che reti in aderenza (rete a cortina e reti rinforzate). In aggiunta, sono stati osservati anche interventi di chiodature e presenza di muri di contenimento in pietrame e calcestruzzo proiettato.

Dai sopralluoghi effettuati, sono stati individuate un totale di 85 opere di protezione:

- 30 reti a cortina: 7 nel Comune di Ghiffa, 1 nel Comune di Oggebbio, 6 nel Comune di Cannero Riviera e 16 nel Comune di Cannobio;
- 23 reti rinforzate (rafforzamenti corticali): 1 nel Comune di Ghiffa, 4 nel Comune di Oggebbio, 9 nel Comune di Cannero Riviera e 9 nel Comune di Cannobio;
- 20 barriere paramassi ad elevata deformabilità: 1 nel Comune di Ghiffa, 6 nel Comune di Cannero Riviera e 13 nel Comune di Cannobio;
- 12 barriere paramassi a ridotta deformabilità: 2 nel Comune di Ghiffa, 1 nel Comune di Oggebbio, 6 nel Comune di Cannero Riviera e 13 nel Comune di Cannobio;

Uno schema riepilogativo delle opere di protezione individuate è fornito in Figura 102, con una rappresentazione puntuale della distribuzione territoriale delle opere in Figura 103.

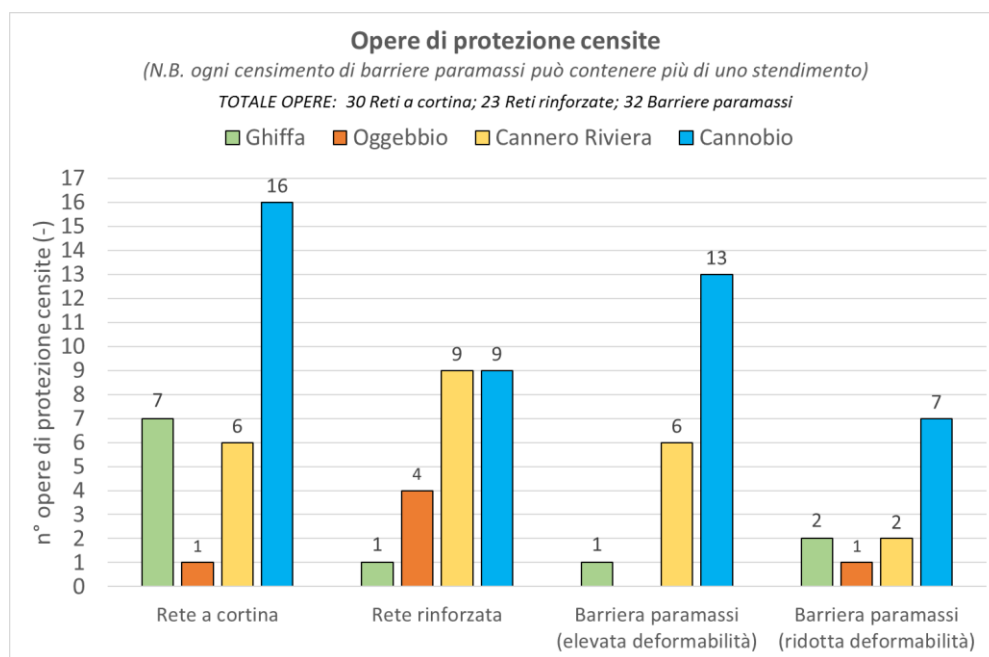


Figura 102: Censimento delle barriere paramassi e reti in aderenza individuate nei Comuni di Ghiffa, Oggebbio, Cannero Riviera e Cannobio.

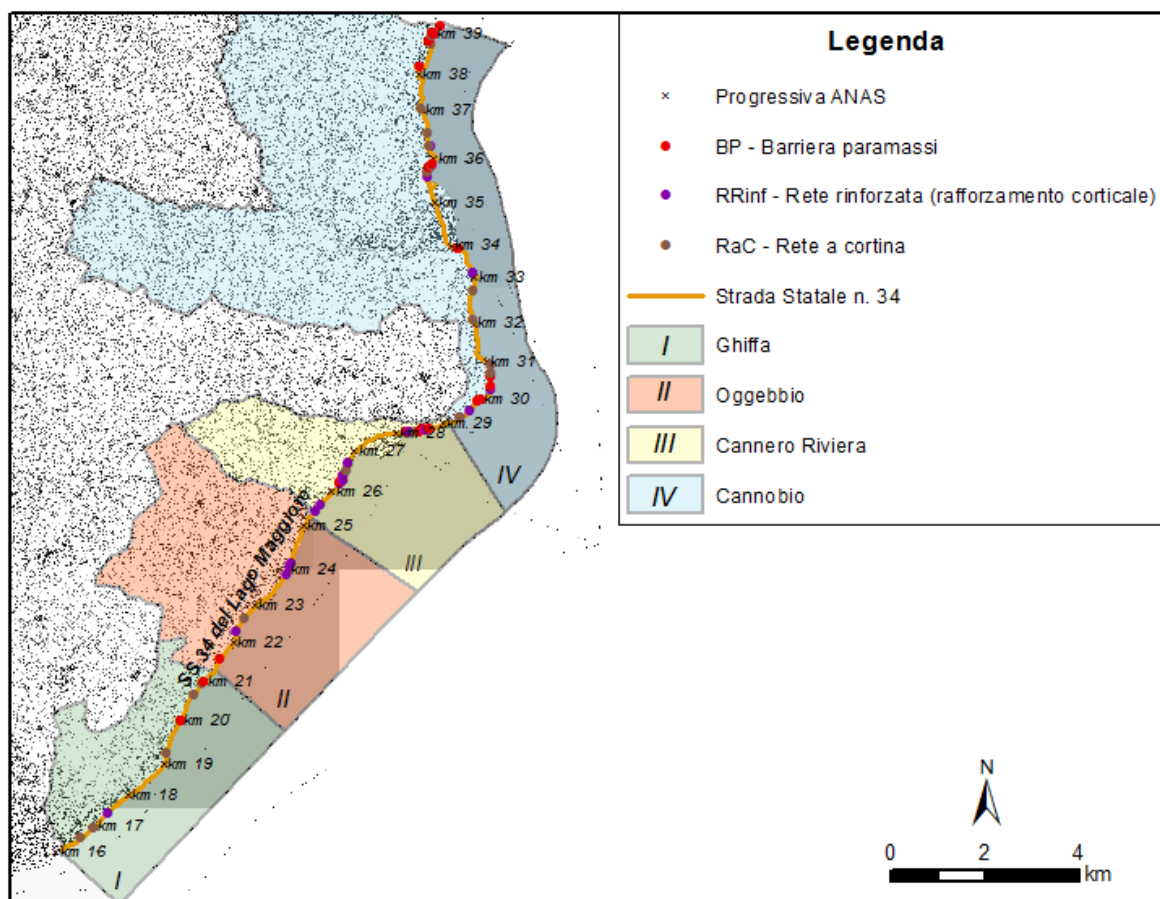


Figura 103: Inquadramento generale della collocazione puntuale delle opere di protezione censite lungo la S.S. 34 dal km 16+300 al km 39+300.

La metodologia adottata per il censimento e la caratterizzazione delle opere di difesa consiste, in sintesi, in un esame visivo e successivo rilievo manuale, come è stato descritto all'interno del par. 6.1. Nonostante i vari sopralluoghi effettuati dal settembre 2018 al febbraio 2019, il territorio è risultato essere caratterizzato da una fitta copertura vegetativa che ha limitato l'investigazione di alcune componenti delle opere di protezione se non dell'intero sistema. Ciò ha comportato l'impossibilità, parziale o totale, di compilazione del verbale di sopralluogo. Tuttavia, tale condizione ha permesso di evidenziare le criticità connesse alla presenza di specie vegetali interagenti con le opere di protezione stesse.

Nello specifico, per quasi la totalità delle reti in aderenza individuate non è risultato possibile un'indagine visiva e/o un rilievo manuale delle funi longitudinali superiori e delle componenti ad esse connesse a causa sia di un elevato tasso di vegetazione del versante in cui sono collocate sia per l'impossibilità di accesso a causa della posizione impervia di tale componente. Per le barriere paramassi, invece, parzialmente indagabili sono risultati, laddove presenti, le funi di controvento di monte e la fune di sostegno inferiore per le medesime illustrate citate in precedenza.

6.2.5 - Analisi dei risultati

Nei paragrafi seguenti verranno riportate le informazioni ottenute in merito alle problematiche riscontrate nelle 85 opere di protezione da caduta massi censite dai vari sopralluoghi lungo il tratto di Strada Statale S.S. 34 del Lago Maggiore dal km 16+300 a km 39+300. I primi risultati per quanto riguarda stato di conservazione e funzionalità delle opere, restituiti in sito tramite l'applicazione dell'algoritmo ideato dal Politecnico di Torino (vedi par. 5.3), sono stati poi soggetti a controllo, verifica fotografica e giudizio finale.

Con riferimento alle problematiche riscontrate in sito durante la compilazione dei verbali di sopralluogo riportate nel par. 6.4.1, in Tabella 45 vengono riportati gli elementi principali delle opere di protezione individuate che sono risultati essere parzialmente visibili e, dunque, non pienamente indagabili.

Tabella 45: Elementi principali risultati parzialmente visibili, dunque, non pienamente indagabili.

Barriera paramassi		Rete a cortina		Rete rinforzata	
Elementi principali	Indagabilità	Elementi principali	Indagabilità	Elementi principali	Indagabilità
Versante	Ben indagabile	Rete	Ben indagabile	Rete	Ben indagabile
Rete principale	Ben indagabile	Fune di sostegno superiore	Parzialmente indagabile	Fune di sostegno superiore	Parzialmente indagabile
Rete secondaria	Ben indagabile	Fune di sostegno al piede	Ben indagabile	Fune di sostegno al piede	Ben indagabile
Montanti	Ben indagabile	Funi di sostegno intermedie	Mai presenti	Funi di rinforzo	Ben indagabile
Fune longitudinale superiore	Ben indagabile	Elementi di giunzione tra pannelli di rete	Ben indagabile	Elementi di giunzione tra pannelli di rete	Ben indagabile
Funi longitudinale inferiore	Parzialmente indagabile	Elementi di giunzione rete-fune inferiore	Ben indagabile	Elementi di giunzione rete-fune inferiore	Ben indagabile
Funi di controvento di monte	Parzialmente indagabile	Elementi di giunzione rete-fune superiore	Parzialmente indagabile	Elementi di giunzione rete-fune superiore	Ben indagabile
Funi di controvento laterale	Ben indagabile	Elementi di giunzione rete-funi intermedie	Mai presenti		
Altre funi	Ben indagabile				

N.B.: anche gli elementi principali classificati come “ben indagabile” possono presentare alcune criticità non ben investigabili. Ciononostante, per il presente elaborato, tale condizione non ha influito sul giudizio ultimo dell'efficienza dell'elemento e, dunque, dell'efficacia dell'opera.

La limitata visibilità di alcuni elementi principali ne ha comportato la difficile investigazione; alcune problematiche, dunque, ad esse relative non sono state pienamente verificate. Ciononostante, un giudizio critico delle informazioni ricavate per le singole opere ha permesso di concludere che le criticità non pienamente valutabili in sito non influiscono né sullo stato di conservazione ultimo dell'elemento e, dunque, dell'opera, né sull'efficienza globale del sistema. Nei paragrafi 6.2.5.1, 6.2.5.2, 6.2.5.3 e 6.2.5.4, infine, vengono riportate le frequenze relative del livello di danno delle criticità che sono risultate ben investigabili.

Con frequenza relativa, f_r , si intende il rapporto che sussiste tra la frequenza assoluta, f_a , della singola problematica considerata ed il numero totale di opere che presentano quella data criticità, n_{tot} .

$$f_r = \frac{f_a}{n_{tot}} \quad (3)$$

Si sottolinea che a causa della scarsa documentazione preesistente relative alle opere lungo la S.S. 34 non è stato possibile risalire per la maggior parte di esse al relativo anno di installazione. Nell'analisi delle problematiche prestazionali, tale informazione può risultare utile se relazionata a fenomeni corrosivi e/o arrugginimenti. Ciononostante, come già riportato all'interno del Capitolo 5, si ricorda che lo studio condotto da Dimasi, et al., nel 2015 ha riscontrato fenomeni di corrosione e/o arrugginimento delle componenti metalliche anche su opere di recente installazione.

6.2.5.1 - Reti a cortina

Con riferimento a quanto introdotto nel par. 6.2.5, quasi la totalità delle reti a cortina censite, nonostante la ridotta capacità di investigazione delle funi di sostegno superiori e degli elementi ad esse collegate, presentano una funzionalità gravemente compromessa (Figura 104). Fanno eccezione le reti TECCO presenti sul territorio e i sistemi ibridi, cioè l'accoppiamento di pannelli di fune con reti a doppia torsione a maglia esagonale.

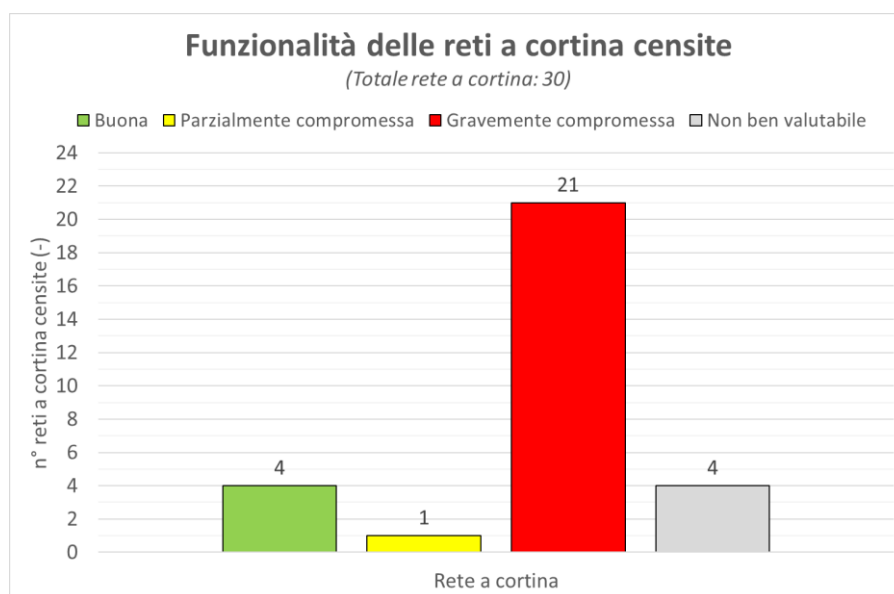


Figura 104: Funzionalità alla mitigazione del rischio delle reti a cortina censite nel tratto di S.S. 34 dal km 16+300 al km 39+300.

Con riferimento alla suddivisione in elementi principali effettuata all'interno del par. 5.3.1.2, le frequenze relative dei livelli di danno delle criticità riscontrabili nelle reti di contenimento sono riportate in Figura 105. Com'è possibile osservare da quest'ultima, più del 90% delle reti di contenimento si presenta fortemente interagente con la vegetazione circostante, compromettendo gravemente l'efficienza globale del sistema e contribuendo alla formazione di deformazioni e/o spancamenti della rete stessa. Infatti, l'80% delle degli elementi in analisi si presentano fortemente deformati e/o spanciati e solo il 34% lacerati in maniera più o meno importante. Si sottolinea, inoltre, la parziale compromissione dell'efficienza delle reti a causa della presenza di detriti al loro interno (52%). Tale aspetto è una chiara prova della mancanza di manutenzione ordinaria del sistema.

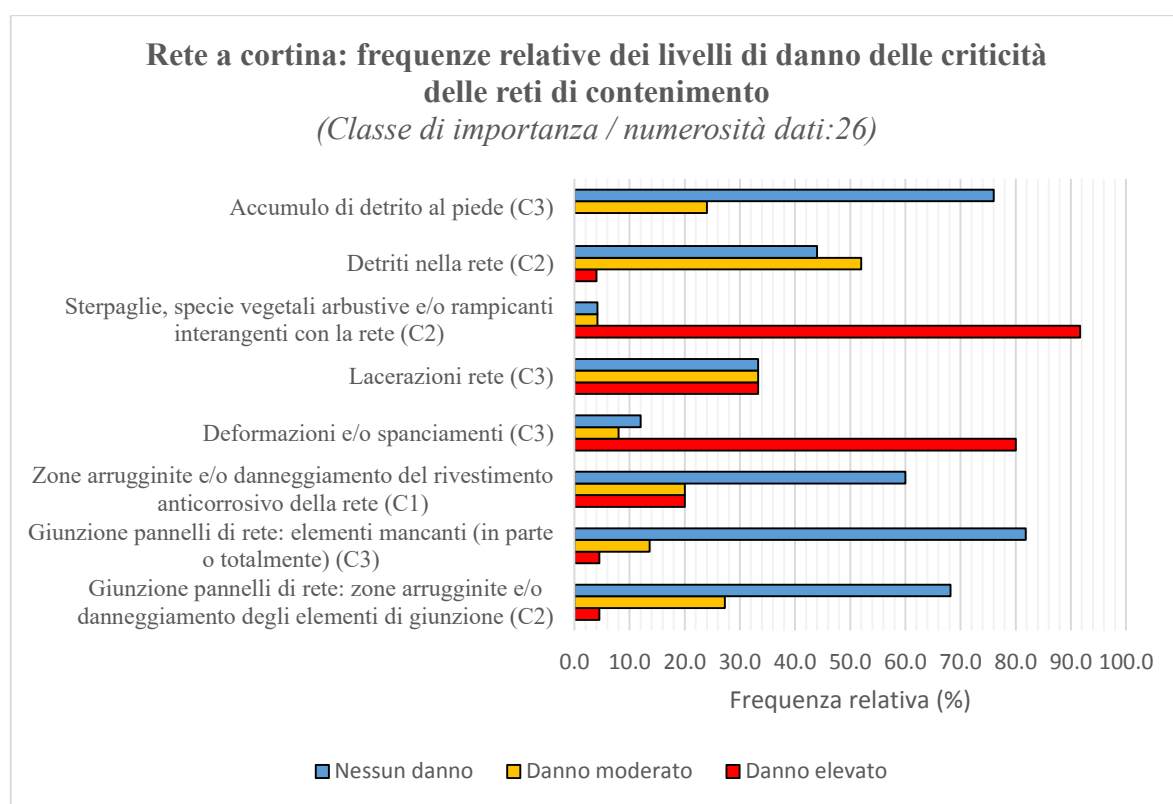


Figura 105: Frequenze relative dei livelli di danno delle criticità delle reti di contenimento delle reti a cortina censite.

Le funi di sostegno al piede delle reti a cortina censite si presentano fortemente ammalorate. In maniera generale, tale elemento principale di una rete a cortina non presenta criticità tali da compromettere gravemente l'efficienza globale dell'opera (Figura 106). Circa la metà di esse (54%), non presenta morsettature in numero adeguato, ben distanziate e/o con una idonea coppia di serraggio (vedi par. 3.3.1.3). Tale aspetto può essere ricondotto ad un errore in fase di installazione dell'opera. In aggiunta, la maggior parte delle funi di sostegno al piede si presenta fortemente arrugginita e con un errato collegamento con la rete di contenimento (rete mal risvoltata al piede e/o assenza di elementi di collegamento). Tale aspetto, spesso sottovalutato, può comportare la creazione di vuoti al piede della rete.

Relativamente agli ancoraggi delle funi di sostegno al piede (presente in 23 delle 25 opere censite), il 50% di essi mostra zone arrugginite con un livello di danno elevato che, tuttavia, non contribuiscono alla compromissione dell'efficienza globale dell'opera. In generale, soltanto un grave sfilamento e/o la mancanza dell'ancoraggio comprometterebbe parzialmente la funzionalità dell'opera. Tali problematiche sono state riscontrate, rispettivamente, nel 14% e nel 36% delle reti a cortina oggetto di studio.

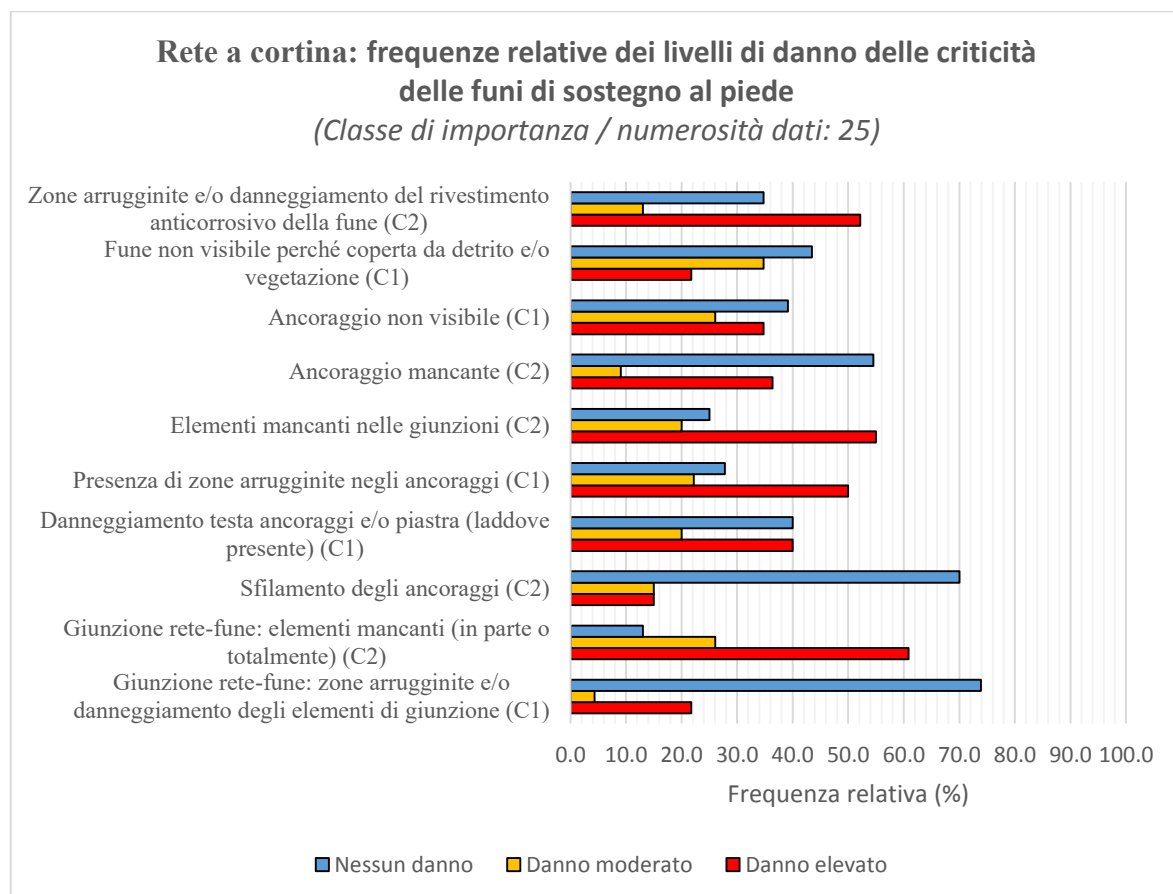


Figura 106: Frequenze relative dei livelli di danno delle criticità delle funi di sostegno al piede delle reti a cortina censite.

6.2.5.2 - Reti rinforzate

Con riferimento a quanto introdotto nel par. 6.2.5, a differenza delle reti a cortina, la maggior parte delle reti rinforzate censite presenta, nonostante la ridotta capacità di investigazione delle funi di sostegno superiori e degli elementi ad esse collegate, un'ideale funzionalità alla mitigazione del rischio dovuto da fenomeni di caduta massi (Figura 107).

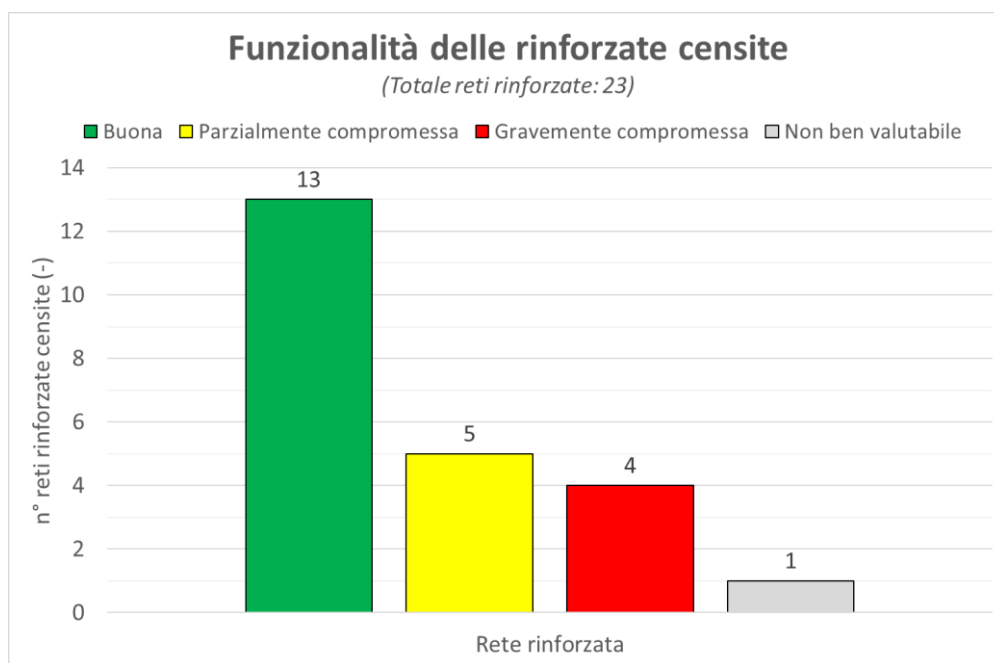


Figura 107: Funzionalità alla mitigazione del rischio delle rinforzate censite nel tratto di S.S. 34 dal km 16+300 al km 39+300.

Con riferimento alla suddivisione in elementi principali effettuata all'interno del par. 5.3.1.2, le frequenze relative dei livelli di danno delle criticità riscontrabili nelle reti di contenimento dei rafforzamenti corticali censiti sono riportati in Figura 108. In maniera generale, circa il 60% delle reti di contenimento delle reti rinforzate presenta specie vegetali arbustive e/o rampicanti che interagiscono con la rete. Le restanti problematiche non presentano perlopiù danni moderati, come la presenza di detriti all'interno della rete (ca. 40%). Più rilevanti, invece, risultano essere i danni seppur moderati relativi alla lacerazione (ca. 22%) e/o deformazione/spancamenti (30%) della rete.

Per quanto concerne le funi di sostegno al piede delle opere in analisi (presente in 22 delle 23 opere censite), esse presentano principalmente danni moderati (Figura 109). Soltanto il 30% delle opere rilevate presentano un danno elevato relativo al non corretto collegamento tra la rete e la fune di sostegno al piede (rete mal risvoltata al piede e assenza di elementi di collegamento). Tra le criticità più rilevanti, si sottolinea che più del 70% delle funi al piede non presenta morsettature in numero adeguato, ben distanziate e/o con una idonea coppia di serraggio (vedi par. 3.3.1.3).

Rete rinforzata: frequenze relative dei livelli di danno delle criticità delle reti di contenimento

(Classe di importanza / numerosità dati: 23)

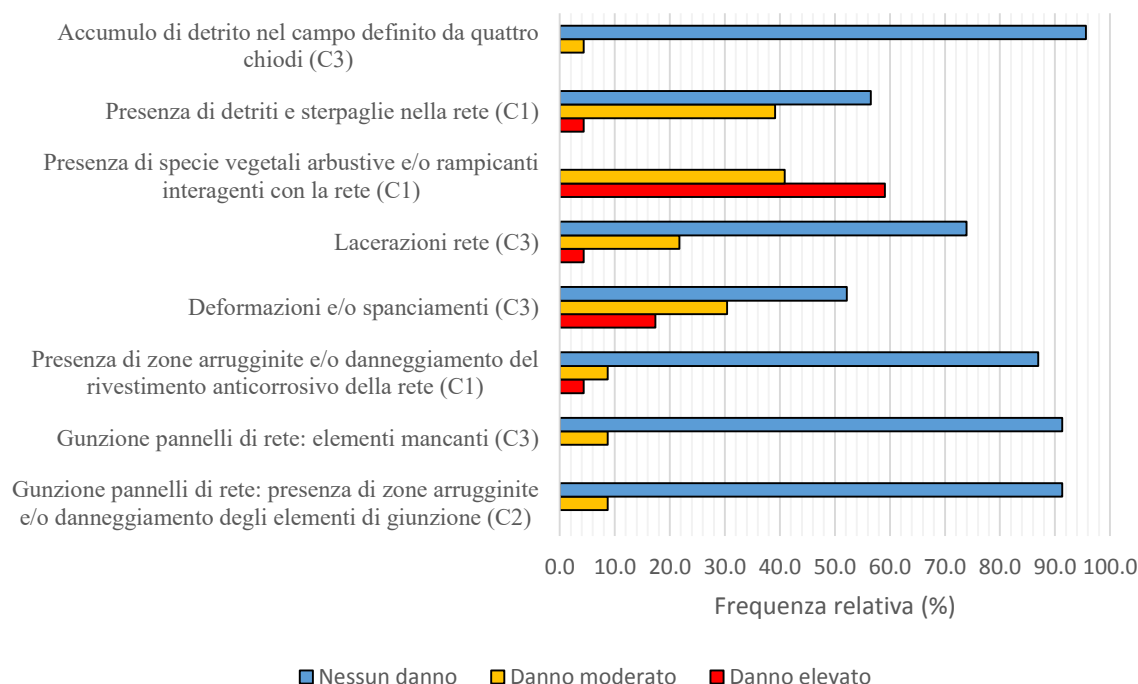


Figura 108: Frequenze relative dei livelli di danno delle criticità delle reti di contenimento delle reti rinforzate censite.

Rete rinforzata: frequenze relative dei livelli di danno delle criticità delle funi di sostegno al piede

(Classe di importanza / numerosità dati: 22)

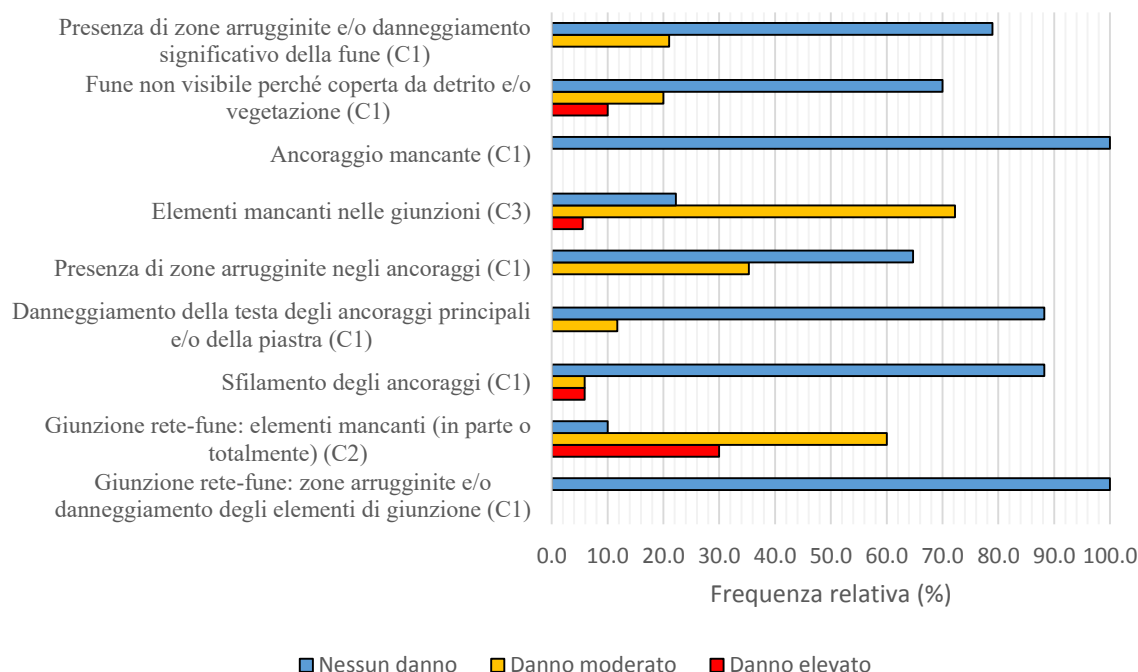


Figura 109: Frequenze relative dei livelli di danno delle criticità delle funi di sostegno al piede delle reti rinforzate censite.

Le medesime osservazioni effettuate in merito agli elementi di giunzione delle funi di sostegno al piede delle reti rinforzate possono essere concluse per quanto riguarda le funi di rinforzo, dove più del 60% delle opere presenta un danno moderato per tale criticità.

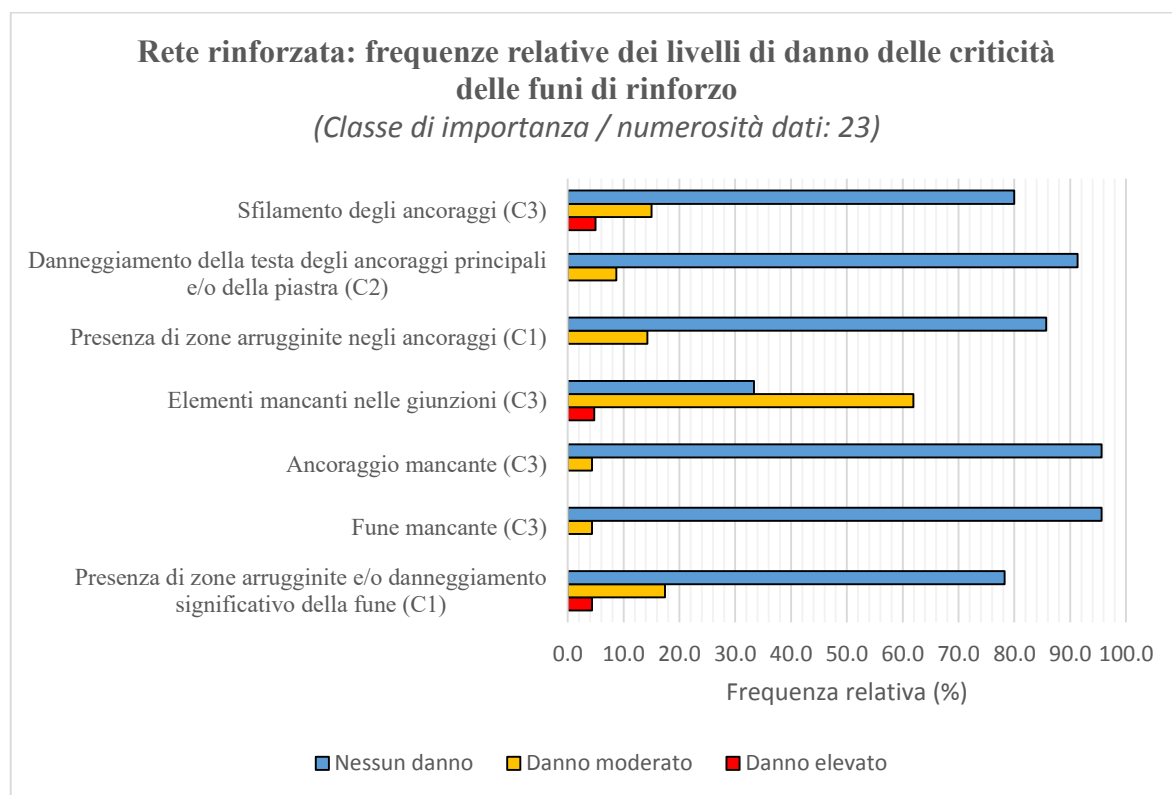


Figura 110: Frequenze relative dei livelli di danno delle criticità delle funi di rinforzo delle reti rinforzate censite.

6.2.5.3 - Barriere paramassi ad elevata deformabilità

Con riferimento a quanto introdotto nel par. 6.2.5, la funzionalità delle barriere paramassi ad elevata deformabilità censite lungo la S.S. 34 risulta essere eterogenea. La parziale capacità di investigazione delle funi di controvento di monte e delle funi di sostegno inferiori ha comportato delle difficoltà nella verifica di tutte le problematiche relative a tali componenti. In maniera generale, per circa il 25% delle barriere individuate non è stato concluso un giudizio in merito allo stato di conservazione e funzionalità dell'opera. Le restanti barriere censite, invece, si presentano sia gravemente che parzialmente compromesse e solo la minoranza presenta una buona funzionalità nei confronti dei fenomeni di mitigazione del rischio (Figura 111).

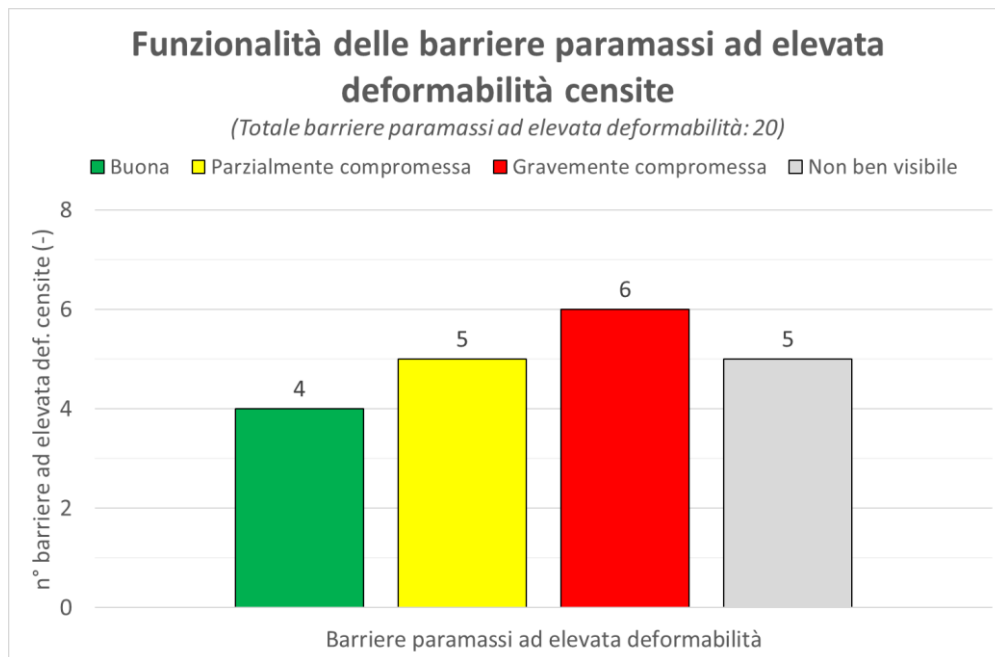


Figura 111: Funzionalità alla mitigazione del rischio delle barriere paramassi ad elevata deformabilità censite nel tratto di S.S. 34 dal km 16+300 al km 39+300.

Relativamente alle criticità del versante che influiscono sullo stato di conservazione e funzionalità dell'opera, queste constano di presenza di vuoti al piede della barriera e specie vegetali ad alto fusto interagenti con la rete. Per quanto riguarda la prima, circa il 40% delle barriere presenta varchi al piede che possono essere dovuti sia ad una errata installazione della barriera sia ad un evento franoso che ha interessato soltanto il versante a valle dell'opera. La seconda, invece, interessa circa il 45% delle opere rilevate e può comportare una riduzione della capacità energetica di assorbimento del sistema. Entrambe le problematiche relative al versante influiscono gravemente sulla funzionalità dell'opera.

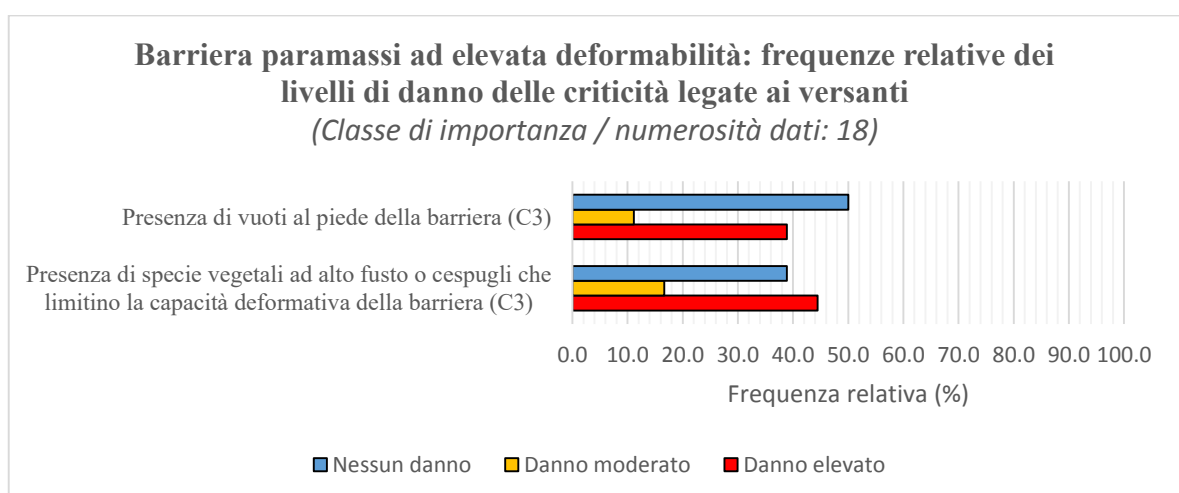


Figura 112: Frequenze relative dei livelli di danno delle criticità legati ai versanti delle barriere paramassi ad elevata deformabilità.

Con riferimento alla suddivisione in elementi principali effettuata all'interno del par. 5.3.1.1, in Figura 113 vengono riportate le frequenze relative dei livelli di danno delle problematiche delle reti principali. Le criticità che maggiormente influiscono sull'efficienza dell'elemento principale e, dunque, sull'efficacia dell'opera, sono la presenza di eventuali lacerazioni, la rottura delle giunzioni di collegamento tra la rete e le funi, il danneggiamento/corrosione/mancanza di elementi di giunzione tra i pannelli di rete e l'eventuale presenza di deformazioni. Relativamente alle lacerazioni, soltanto il 18% delle barriere censite presenta gravi danni in tal senso. Più diffuse, invece, sono le deformazioni (circa 38%). Entrambe le problematiche possono essere ricondotte ad impatti (con vegetazione e/o blocchi) con successiva assenza di manutenzione delle opere. Dello stesso ordine di grandezza delle lacerazioni della rete risulta essere la diffusione di danneggiamenti/corrosione/ mancanza di elementi di giunzione tra pannelli di rete e la rottura delle giunzioni tra rete e funi. Meno importante ai fini della funzionalità dell'opera ma non trascurabile è la presenza di detriti. Infatti, la presenza di deformazioni della rete è perlopiù dovuta a presenza di detrito della rete (48%) ma è opportuno evidenziare che anche la vegetazione a medio/alto fusto è in grado di interagire e deformare le maglie delle reti principali. La presenza di detriti è uno degli effetti di un'assenza di manutenzione del sistema.

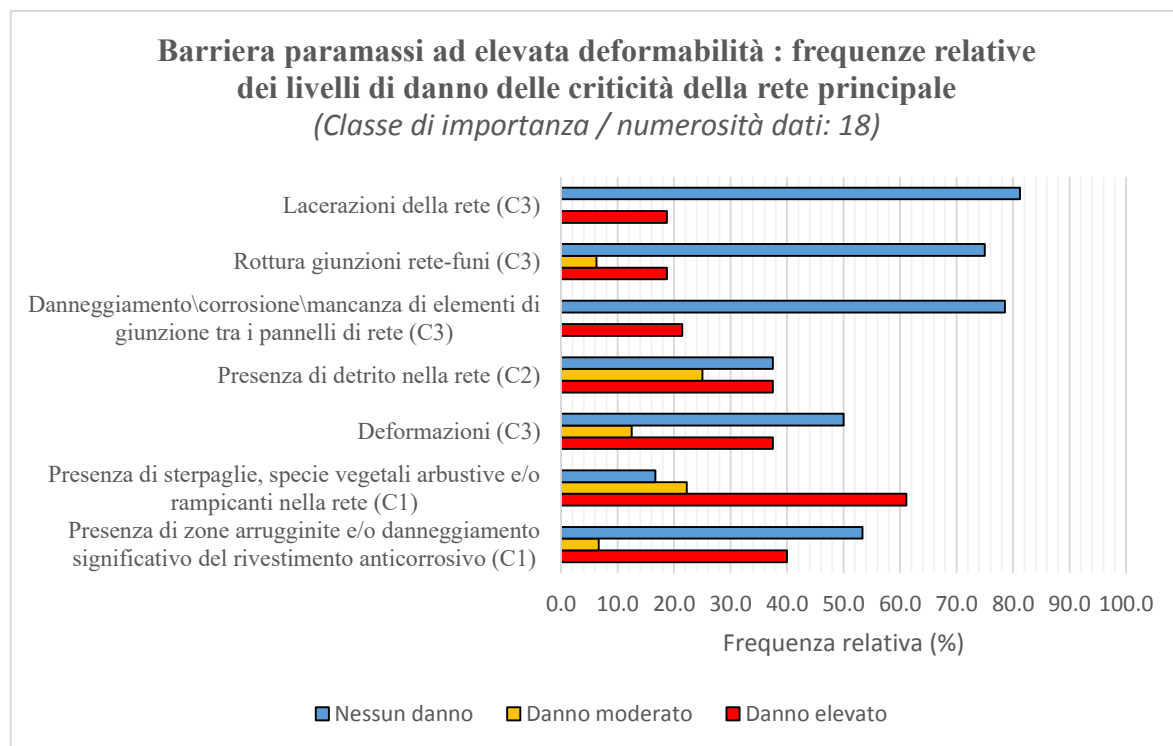


Figura 113: Frequenze relative dei livelli di danno delle criticità delle reti principali delle barriere paramassi ad elevata deformabilità.

La rete secondaria una barriera paramassi ad elevata deformabilità è in grado di influire provocando una perdita parziale della funzionalità dell'opera laddove l'efficienza dell'elemento in analisi risulti altamente danneggiata dalla presenza di strappi, deformazioni e/o perforazioni. Nel caso in analisi, poco più del 40% delle barriere presentano tale criticità. In aggiunta, le reti secondaria censite risultano altamente interagenti con specie vegetali e/o arbustive (circa 60%). Circa il 35% di essere, invece, si mostra fortemente arrugginita o con danneggiamento del rivestimento anticorrosivo.

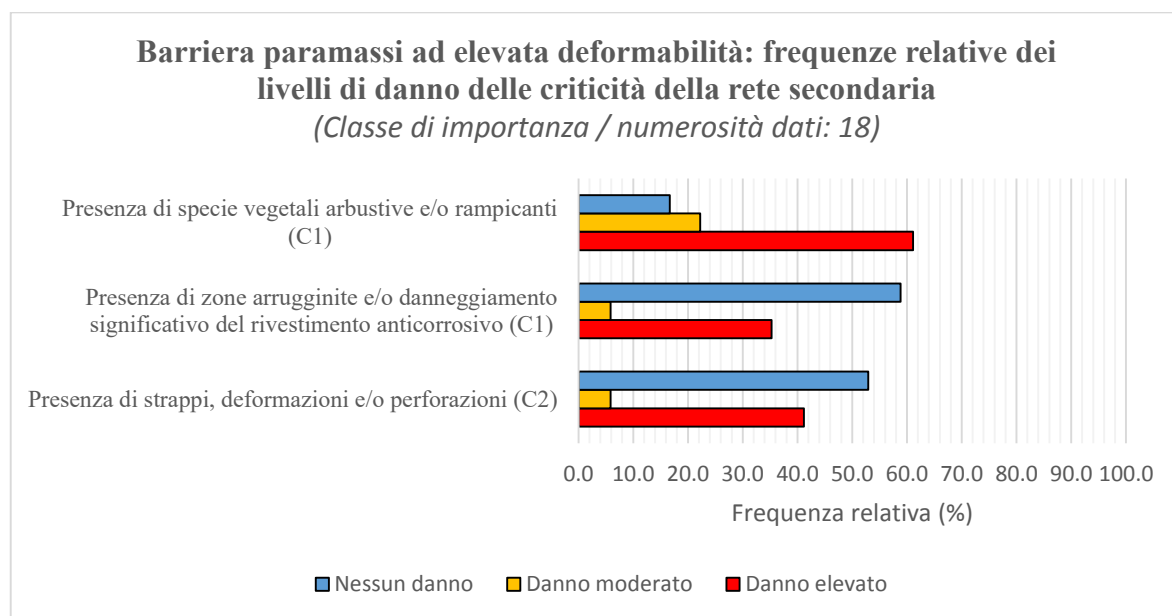


Figura 114: Frequenze relative dei livelli di danno delle criticità delle reti secondarie ad elevata deformabilità.

Le problematiche relative ai montanti non sono state verificare in tutte le opere individuate a causa della limitata capacità di investigazione di alcune parti del componente. Ciononostante, le criticità non verificate non avrebbero comportato, per la barriera in questione, una variazione dell'efficienza dei montanti e, dunque, di efficacia dell'opera. Una delle criticità più rilevanti che è stata verificata soltanto in 8 casi è quella relativa al danneggiamento dell'incastro/cerniera di base del montante (Figura 115). Nonostante la maggior parte delle opere non presentasse tale problematica, il 25% di esse hanno riportato gravi danneggiamenti. Tra i livelli di danno più elevati si ritrovano quelli relativi alla presenza di zone arrugginite o rimozione del rivestimento anticorrosivo del montante (circa 35%) e la presenza di specie vegetali interagenti con esso (60%). Al fine della funzionalità finale dell'opera, tali problematiche possono essere trascurate. Infatti, il montante non ha alcuna funzione strutturale e presenta degli spessori che permettono di trascurare l'effetto del fenomeno corrosivo. Infine, per quanto riguarda gli ancoraggi, circa il 20% mostra elementi piegati, deformati, estratti o fratturati e presenza di zone arrugginite.

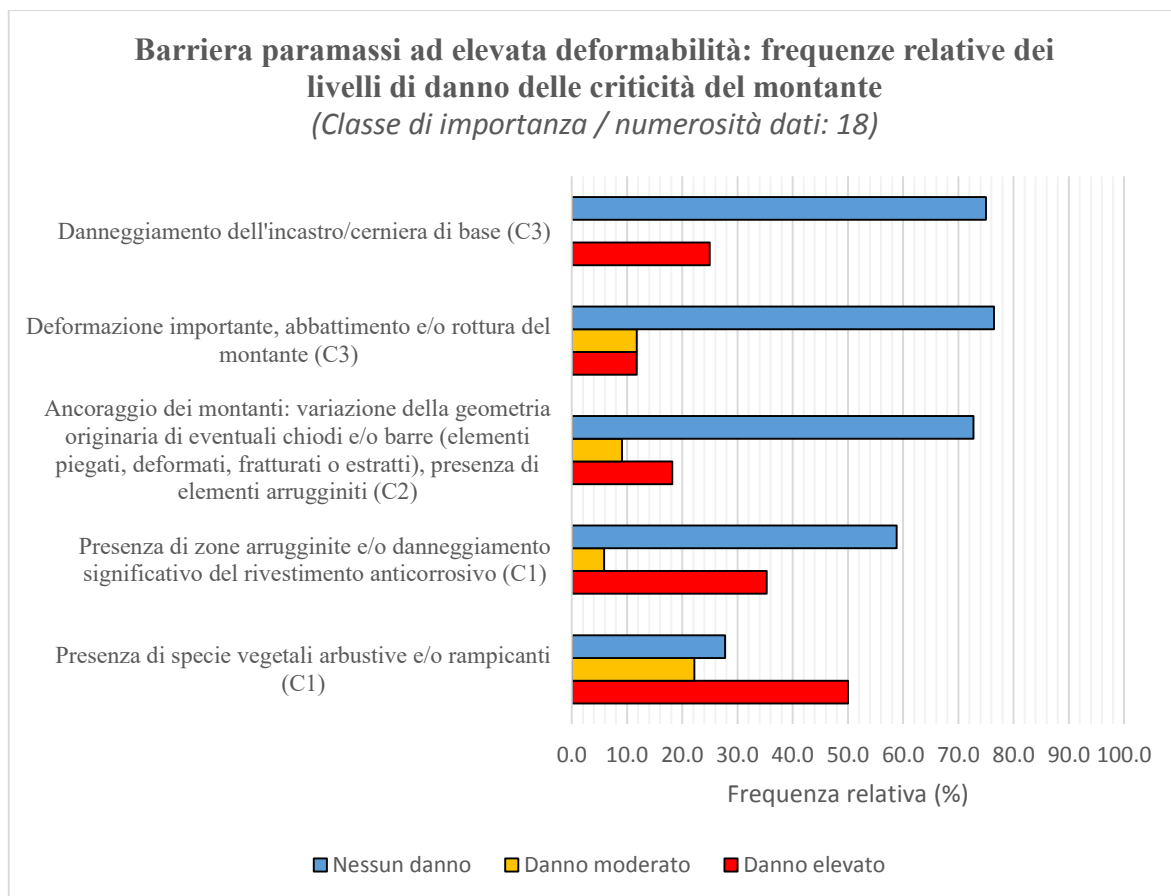


Figura 115: Frequenze relative dei livelli di danno delle criticità dei montanti delle barriere ad elevata deformabilità.

Le osservazioni relative alle funi di sostegno superiori, riportate in Figura 116, possono essere estese anche alle funi di sostegno al piede delle barriere censite. Si specifica, inoltre, che il grafico non riporta i casi di 4 barriere che presentano dissipatori di energia lungo le funi superiori poiché risultavano in buono stato di conservazione. In maniera generale, circa il 24% delle funi superiori presenta un distacco o un'assenza degli elementi di giunzione tale da influire gravemente sulla funzionalità dell'opera. Tali criticità possono essere dovute ad una installazione errata o a fenomeni di impatto, così come la presenza di funi lasche o tese in modo anomalo (nel caso in analisi, danno elevato per circa il 30% delle funi).

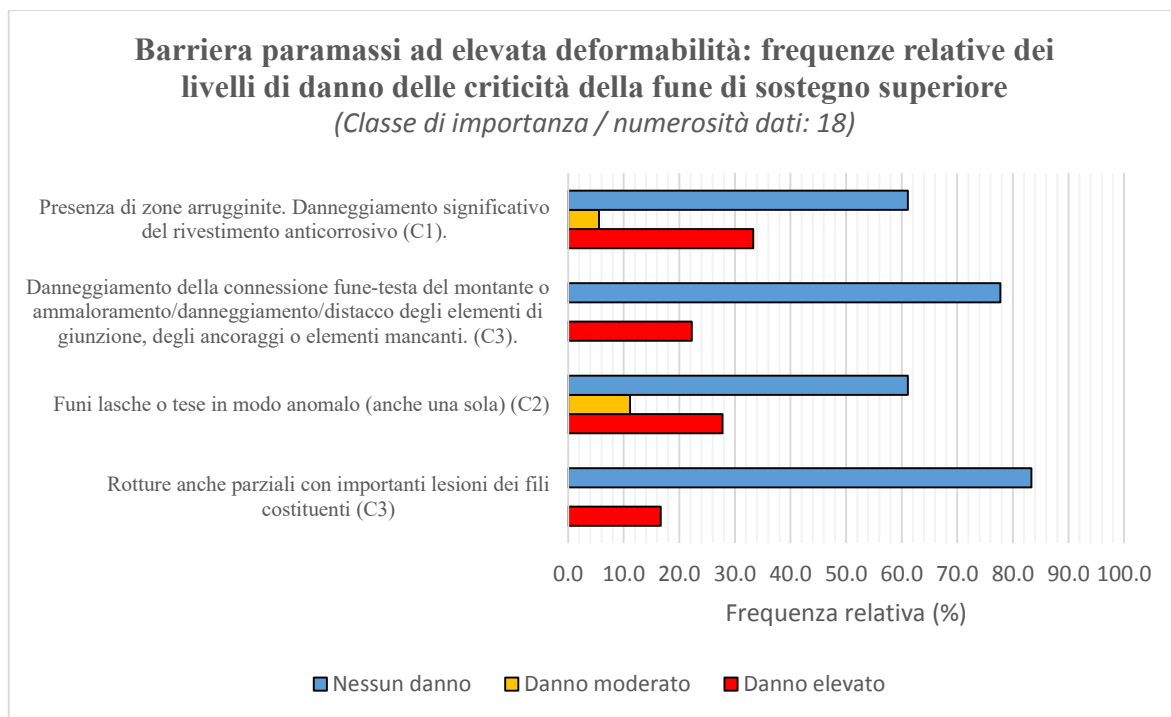


Figura 116: Frequenze relative dei livelli di danno delle criticità delle funi di sostegno superiori delle barriere ad elevata deformabilità.

Le funi di controvento laterale, infine, non risultano presenti in tutte le tipologie di opere paramassi censite. In totale, infatti, soltanto 11 opere mostrano tali funi e, tra esse, soltanto 2 non sono caratterizzate dalla presenza di dissipatori di energia. Fatta eccezione per la presenza moderata di specie vegetali e/o detriti nell'area di scorrimento dei freni, le funi di controvento laterale indagate non presentano un danneggiamento rilevante (Figura 117).

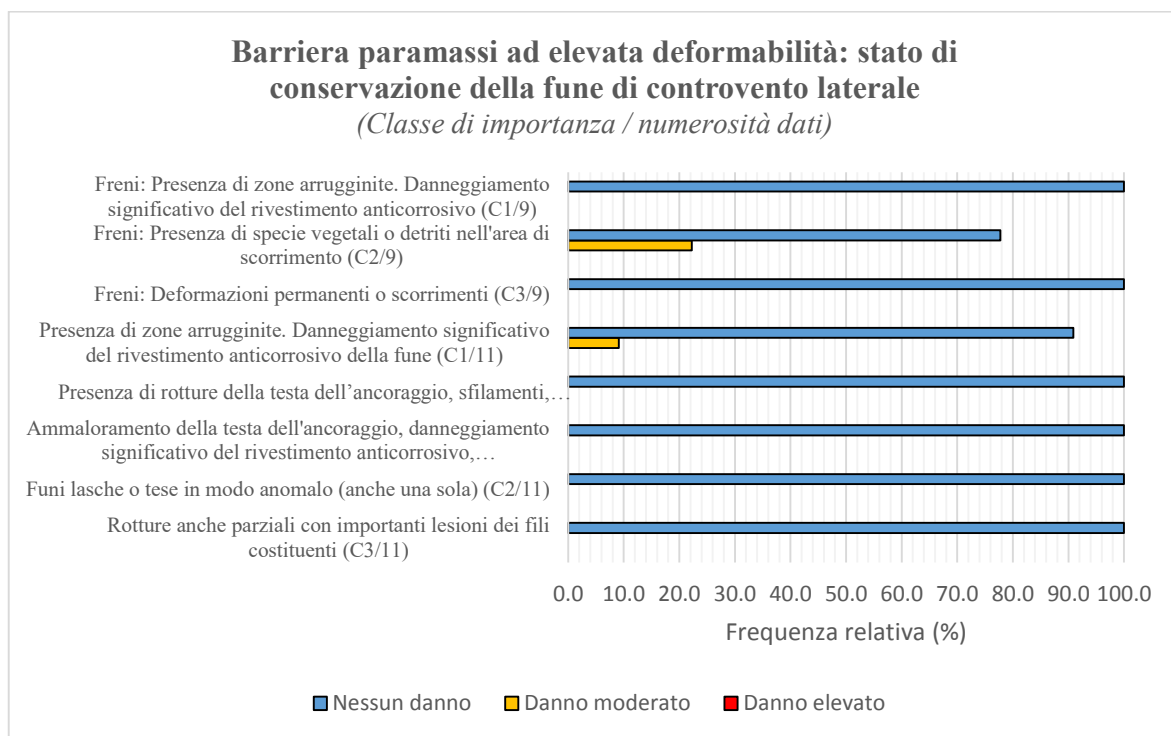


Figura 117: Frequenze relative dei livelli di danno delle criticità delle funi di controvento laterale delle barriere ad elevata deformabilità.

6.2.5.4 - Barriere paramassi a ridotta deformabilità

Con riferimento a quanto introdotto nel paragrafo 6.2.5, le barriere paramassi a ridotta deformabilità lungo il tratto di S.S. 34 oggetto di studio si presentano in numero inferiore rispetto alle barriere elastoplastiche. Tutte le opere censite, salvo 2 che risultano non pienamente indagabili, presentano una funzionalità nei confronti della mitigazione del rischio gravemente compromessa (Figura 118).

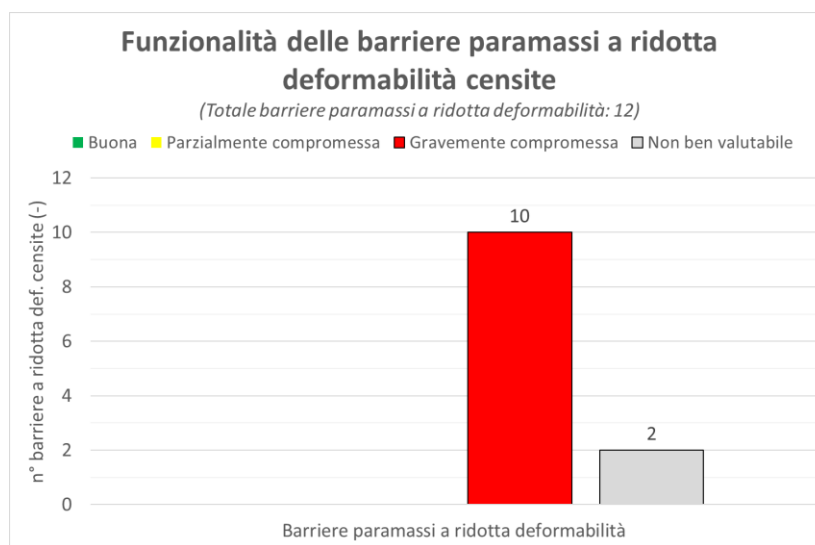


Figura 118: Funzionalità alla mitigazione del rischio delle barriere paramassi a ridotta deformabilità nel tratto di S.S. 34 dal km 16+300 al km 39+300.

Nonostante nessuna specie vegetale interagisca in maniera rilevante con tali barriere, più del 60% di queste ultime presentano importanti vuoti al piede (Figura 119).

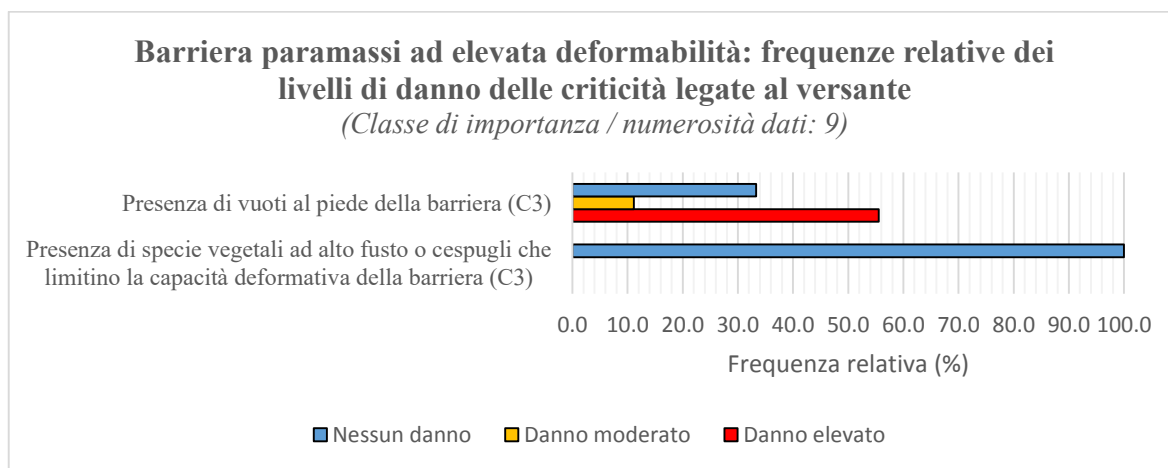


Figura 119: Frequenze relative dei livelli di danno delle criticità legati ai versanti delle barriere paramassi a ridotta deformabilità.

Le funi metalliche longitudinali, che costituiscono la struttura di intercettazione in unione con la rete secondaria, si presentano fortemente ammalorate (Figura 120). Circa il 60% di esse mostra gravi danneggiamenti della connessione fune-montante o elementi mancanti di giunzione, ammaloramenti della testa dell'ancoraggio, forte interazione con la vegetazione circostante e la presenza di funi lasche o tese in modo anomalo. In aggiunta, quasi il 70% presenta zone arrugginite.

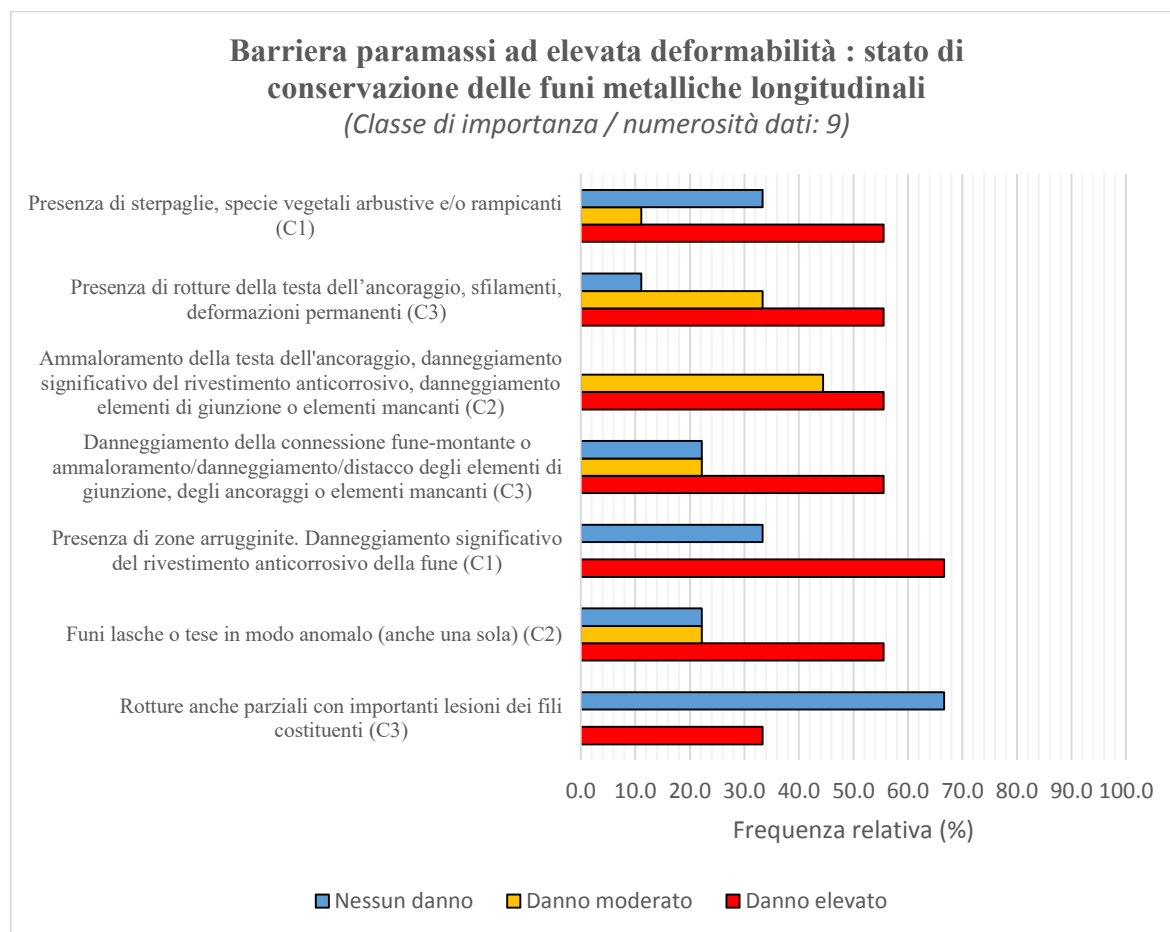


Figura 120: Frequenze relative dei livelli di danno delle criticità delle funi metalliche longitudinali delle barriere paramassi a ridotta deformabilità.

Analogamente a quanto già introdotto per le reti secondarie delle barriere paramassi ad elevata deformabilità, nel caso delle barriere a ridotta deformabilità rilevate, all'incirca il 56% delle reti presenta perforazioni e/o deformazioni e soltanto il 44% interagisce in maniera importante con la vegetazione circostante.

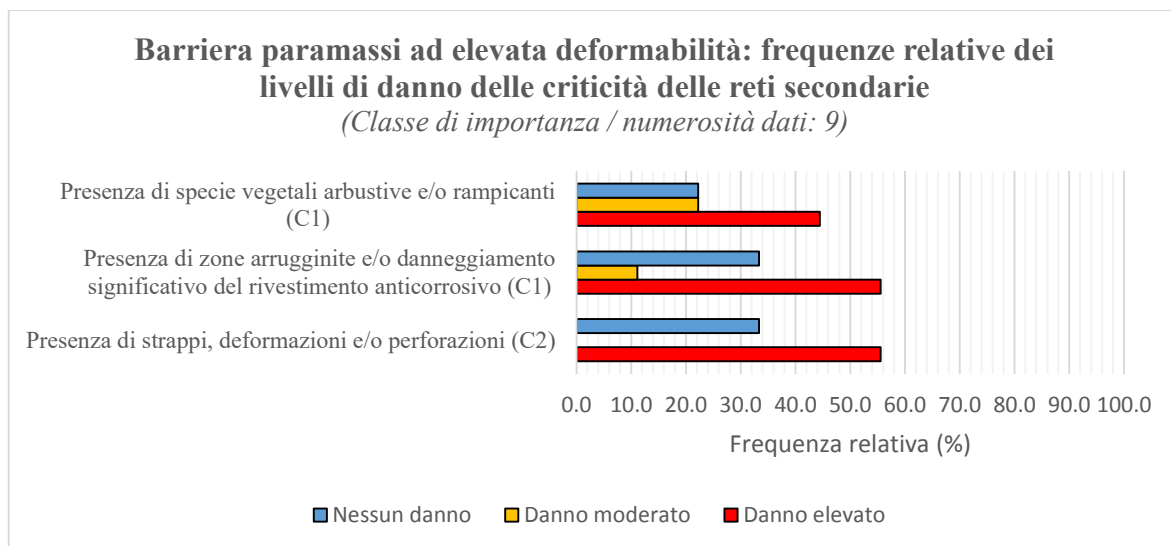


Figura 121: Frequenze relative dei livelli di danno delle criticità delle reti secondarie delle barriere paramassi a ridotta deformabilità.

La struttura di supporto della maggior parte delle barriere a ridotta deformabilità, nello specifico circa il 78%, si presenta fortemente arrugginita e con danni agli ancoraggi dei montanti (Figura 122). Tuttavia, ciò che compromette gravemente la funzionalità dell'opera risultano essere danni importanti al montante (e.g. deformazione, abbattimento, etc.) o danneggiamenti al vincolo di base (cerniera o incastro). Nel caso in analisi, mediamente circa il 30% dei montanti presenta tali criticità.

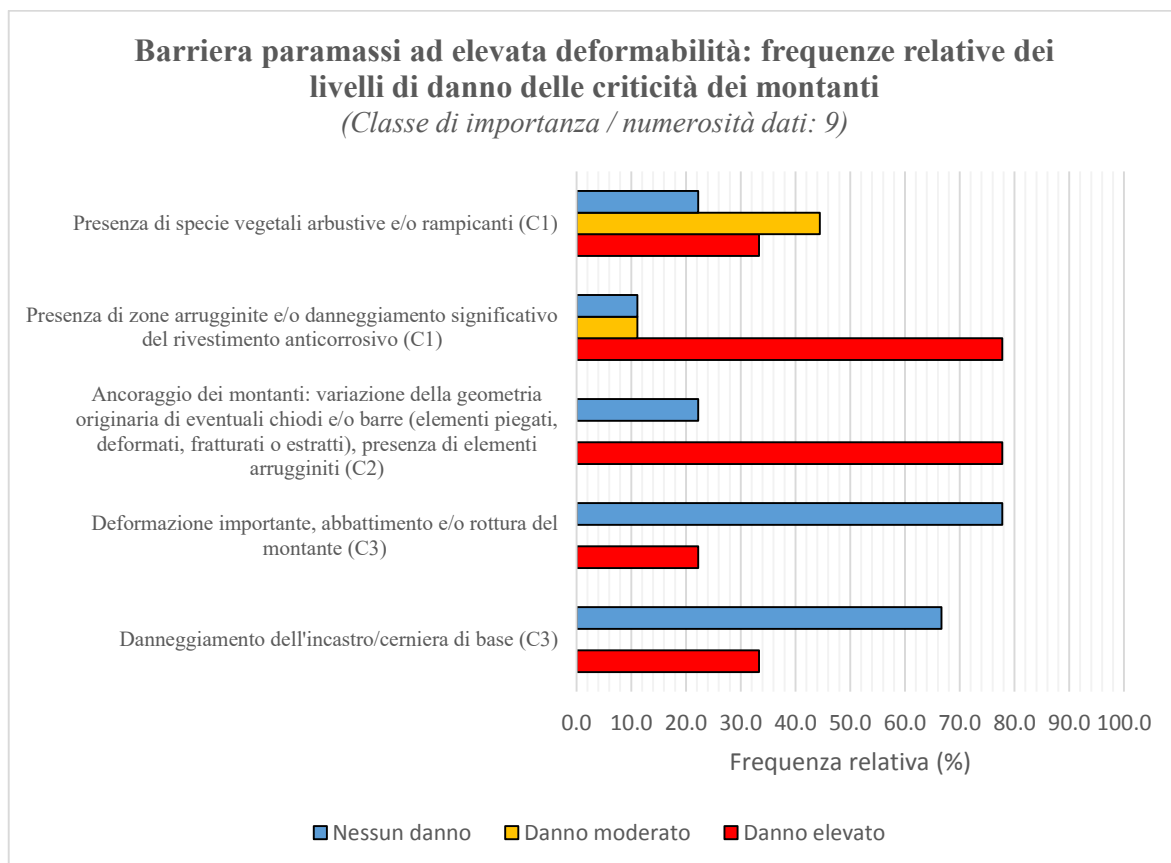


Figura 122: Frequenze relative dei livelli di danno delle criticità dei montanti delle barriere paramassi a ridotta deformabilità.

6.2.6 - Evidenze riassuntive

Dai risultati di dettaglio riportati all'interno dei parr. 6.2.5.1, 6.2.5.3, 6.2.5.3 e 6.2.5.4 si nota come le opere censite presentino una frequenza relativa dei livelli di danno dei singoli elementi principali differenti le une dalle altre. Con riferimento alla Figura 123, si può osservare la distribuzione media dei valori dei livelli di danno attribuiti ai macro-elementi che sono risultati indagabili dai sopralluoghi in campo, indipendentemente dalle classi di importanza delle singole problematiche. In generale, si evidenzia che le funi di sostegno inferiore ed i relativi elementi di giunzione con la rete di contenimento presentano una frequenza relativa media di grave danneggiamento pari circa al 40%, a differenza della corrispettiva macro-categoria nelle reti rinforzate, che risulta essere inferiore al 10%. Analoghe considerazioni possono essere effettuate per le frequenze relative medie della rete di contenimento ed i corrispettivi elementi di giunzione tra pannelli di rete delle due tipologie di opere in aderenza citate. In tal caso, le reti a cortina presentano una frequenza relativa media dei gravi danneggiamenti pari a circa il 30%, mentre i rafforzamenti corticali soltanto del 10%.

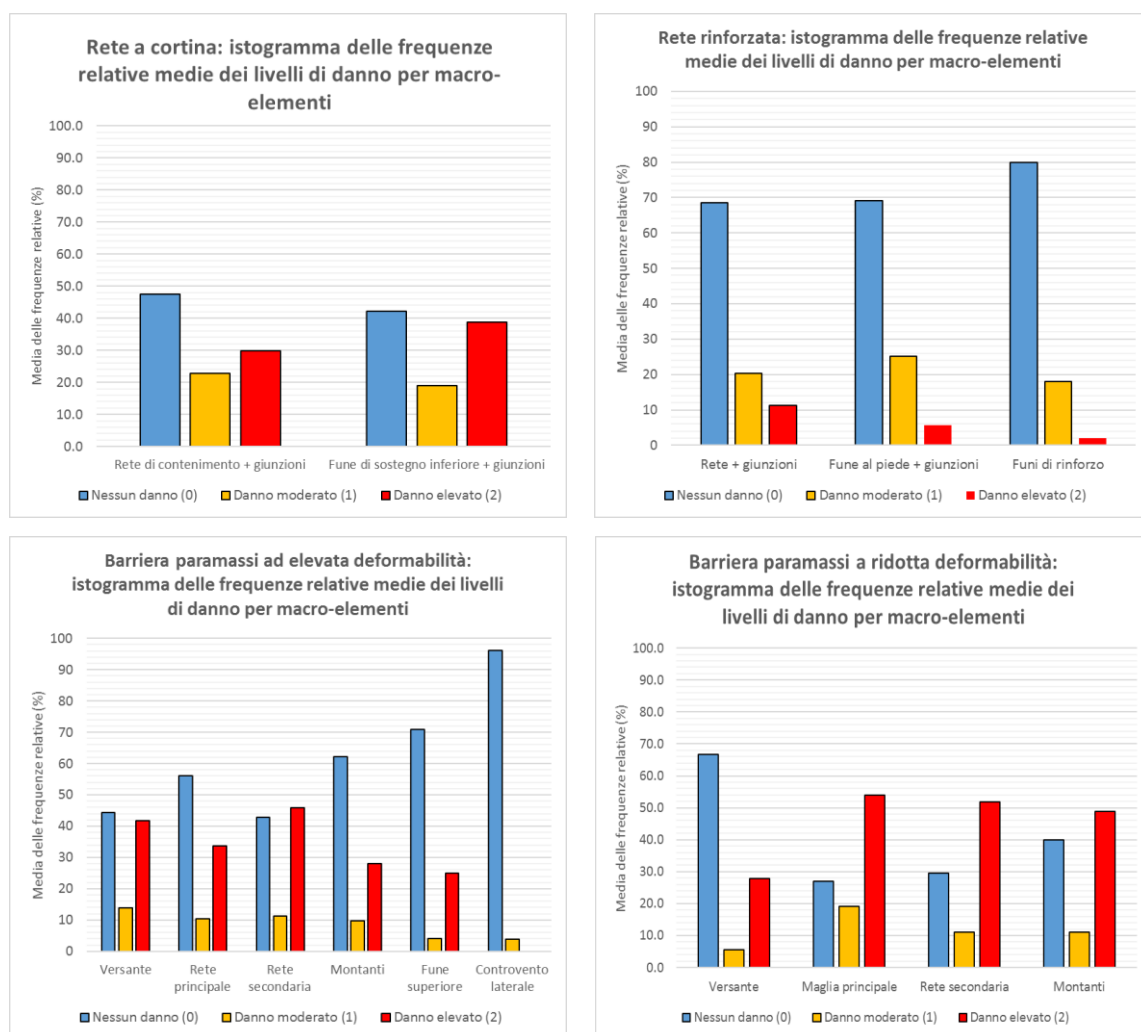


Figura 123: Istogrammi delle frequenze relative medie dei livelli di danno per macro-elementi.

Relativamente alle barriere paramassi, le problematiche dei versanti alle quali è stato attribuito un livello di danno pari a 2 presentano una frequenza relativa media superiore nel caso delle barriere ad alta deformabilità (più del 40%) rispetto a quelle a ridotta deformabilità (circa il 30%). La struttura di contenimento in entrambi le tipologie di opere è risultata, in media, maggiormente danneggiata nel caso delle barriere a ridotta deformabilità, così come la struttura di supporto.

In Figura 124 si riportano gli istogrammi delle frequenze relative medie dei livelli di danno suddivise per classi di importanza delle singole problematiche con riferimento all'intera considerata. In tale maniera è possibile osservare le frequenze relative medie di danno corrispondenti alle classi che, in maniera differente, influiscono sulla funzionalità del sistema. Relativamente alle reti a cortina, in media le opere presentano circa il 30% di problematiche che compromettono gravemente la funzionalità, a differenza delle reti rinforzate che presenta soltanto il 5%. Le barriere paramassi ad alta deformabilità, invece, mostrano una frequenza relativa media che influisce drasticamente sulla funzionalità dell'opera nettamente inferiore rispetto a quelle a ridotta deformabilità.

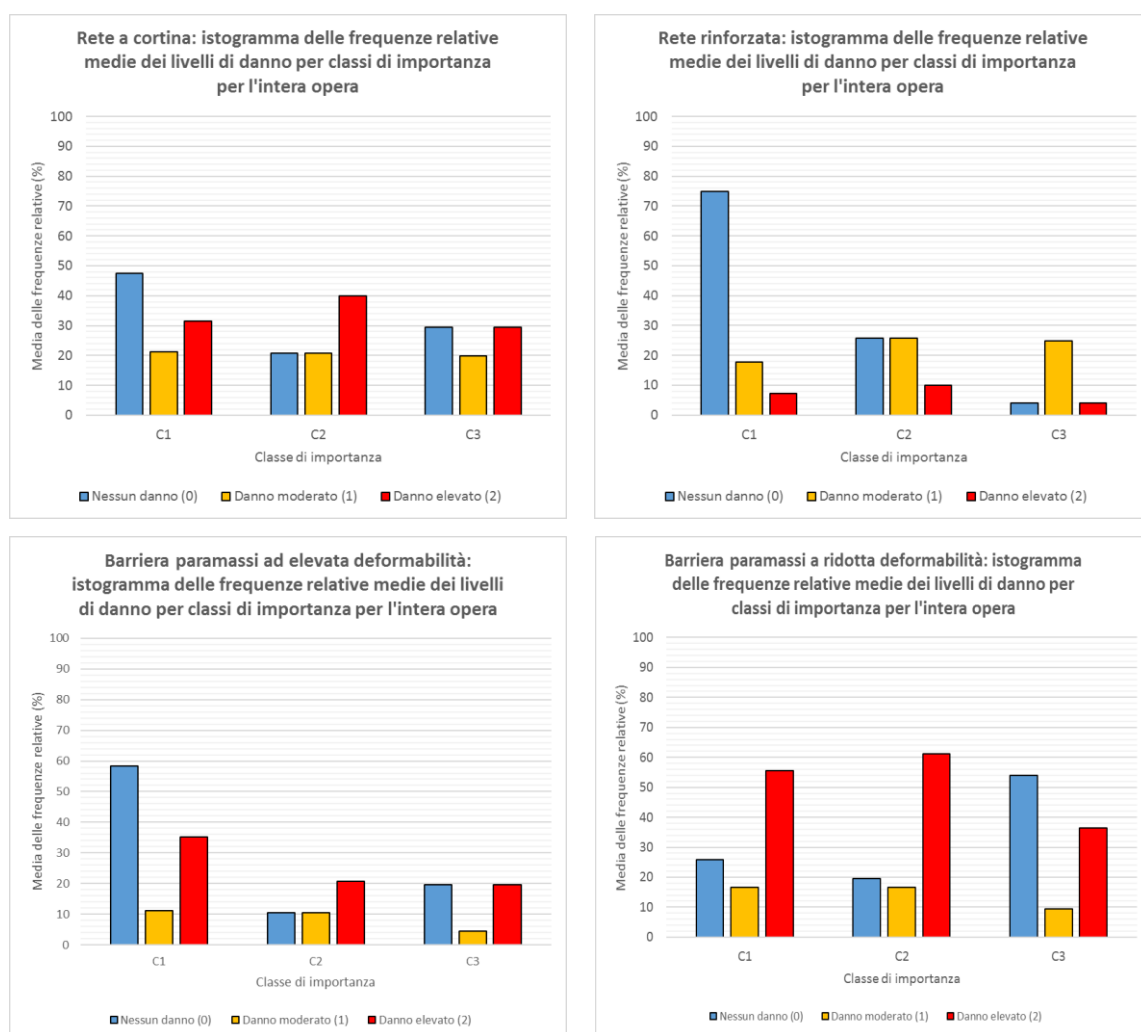


Figura 124: Istogrammi delle frequenze relative medie suddivise per classi di importanza per l'intera opera considerata.

Tra le principali problematiche prestazionali riscontrate (vedi Capitolo 5), sia nelle reti in aderenza che per le barriere paramassi è stata osservata l'errata installazione delle morsettature delle funi che risultano, da un esame visivo, in un numero non idoneo e mal distanziati (vedi par. 3.2.1.3). Si ricorda, infatti, che in accordo con la norma UNI 13411-5, il montaggio errato ridurrebbe del 60% la resistenza dell'insieme rispetto al carico di rottura della fune. Tali elementi di giunzione, inoltre, si presentano perlopiù in un evidente stato di ammaloramento, corrosi e/o arrugginiti, con conseguente alterazione delle relative proprietà meccaniche.

Una ulteriore criticità rilevata che accomuna le due tipologie di opera è l'elevata interazione con la vegetazione circostante, non soggetta a manutenzione ordinaria di pulizia dei versanti, che implica una riduzione di efficienza e/o di efficacia dell'opera. Relativamente a fenomeni di impatto, nelle quasi totalità delle barriere paramassi sono stati riscontrati accumuli di specie vegetali ed arbustive, di materiale detritico e/o di blocchi per i quali non è stata attuata nessuna manutenzione straordinaria mirata alla loro rimozione ed alla sostituzione/recupero dell'opera. Le deformazioni indotte da tali accumuli riduce la capacità energetica di assorbimento dell'opera, oltre che l'altezza di intercettazione della struttura che rischia in questo modo di essere non efficace. Nelle reti in aderenza, invece, l'accumulo di materiale al piede dell'opera (rete a cortina) o nel campo delimitato da 4 chiodi (rete rinforzata) induce la deformazione della componente oltre che l'eventuale possibilità di sfilamento degli ancoraggi e, nel caso delle reti a cortina, lo spanciamento della restante porzione soprastante di rete.

Durante la campagna di rilievo, non di rado sono stati osservati interventi di manutenzione non idonei al recupero delle prestazioni originarie dell'opera a seguito di un impatto, soprattutto nel caso delle barriere paramassi. In tal caso, infatti, le cause di una errata manutenzione nascono dall'arbitrarietà di scelta di intervento ritenuto più idoneo da parte di personale non qualificato e/o dalle tempistiche previste.

CONCLUSIONI

Nel presente elaborato si è cercato di ampliare ed approfondire un argomento tutt'oggi molto limitato in letteratura, relativo alla conoscenza delle criticità che nel tempo influenzano il comportamento e la funzionalità delle principali opere di protezione passiva contro il fenomeno della caduta massi: barriere paramassi e reti in aderenza. A tal fine, si sono sfruttati gli studi disponibili in bibliografia ma soprattutto quelli condotti durante il Contratto di Ricerca tra il DIATI e l'Unione dei Comuni del Lago Maggiore.

Il presente lavoro di tesi, infatti, nasce dall'affiancamento agli studi svolti nell'ambito del Contratto di Ricerca in essere n° 21 del 28/07/2018 *“Redazione degli studi e delle indagini sull'assetto geomorfologico dei versanti e dei progetti di messa in sicurezza dei versanti lungo la S.S. 34 del Lago Maggiore nel tratto da Ghiffa a Cannobio”* dal Dipartimento di Ingegneria dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) del Politecnico di Torino, avente come affidatario l'Ente Unione dei Comuni del Lago Maggiore. La collaborazione con tale Contratto di Ricerca ha previsto, attraverso un'opportuna campagna di rilievo, lo studio dello stato di conservazione di 32 barriere paramassi e di 53 reti in aderenza (30 reti a cortina e 23 reti rinforzate), con conseguente giudizio critico relativo alla funzionalità dell'opera considerata, tramite l'applicazione di un algoritmo di calcolo sviluppato dal Politecnico di Torino nell'ambito del Progetto RED.

La metodologia standardizzata messa a punto del Politecnico di Torino è stata applicata a larga scala nell'ambito del Contratto di Ricerca sopracitato. Si sono verificate, dunque, le criticità riportate e l'applicabilità della metodologia, cercando di migliorare i caratteri di validità generale che tale metodo si prefigge. La procedura prevista dal metodo citato è stata automatizzata mediante applicativo nel seguente elaborato, che altrimenti sarebbe risultata essere cartacea.

Al fine di agevolare fornire una codifica ed una descrizione di ciò che è necessario verificare nelle barriere paramassi e nelle reti in aderenza in relazione alle problematiche prestazionali di tali opere, nel seguente elaborato si è prevista una suddivisione delle problematiche in 5 macro-categorie: quelle legate al contesto circostante all'opera, alla progettazione ed esecuzione, ad impatti, all'usura e corrosione degli elementi costitutivi ed all'errata manutenzione. Tuttavia, è bene evidenziare sia che le problematiche prestazionali riportate non risultano indipendenti l'una dalle altre e che spesso può sussistere una relazione di causa-effetto tra le diverse categorie, sia che ogni criticità evidenziata influenzerà in maniera differente il comportamento e l'efficienza globale della relativa opera.

Uno degli aspetti che maggiormente contribuisce alla perdita prestazionale di un'opera di difesa consiste nella manutenzione non corretta, o addirittura assente, della stessa. In genere, l'attività di manutenzione delle opere di difesa si basa su una sorveglianza programmata, a cadenza prestabilita, delle opere e delle relative componenti, dalla quale potrà scaturire la necessità di interventi di tipo straordinario. La manutenzione straordinaria di un'opera contro la caduta massi, laddove questa non venga direttamente sostituita a causa di un impatto, consta nel ripristino della geometria iniziale dell'opera e nella sostituzione degli elementi danneggiati e/o deformati. Per quanto riguarda la manutenzione ordinaria, invece, questa prevede la possibile sostituzione di elementi arrugginiti o corrosi ed il mantenimento, nell'area in cui è collocata l'opera, di una corretta gestione e pulizia dalla vegetazione al fine di un idoneo comportamento dell'opera stessa.

Tra le problematiche principali nell'ottica manutentiva delle reti in aderenza e barriere paramassi si evidenzia innanzitutto la possibilità di interazione con specie vegetali arbustive a medio/alto fusto presenti sul versante in cui sono collocate. Tale interazione nelle barriere paramassi provoca una riduzione della capacità deformativa della struttura di intercettazione e/o deformazioni importanti della medesima. Nelle reti a cortina, invece, comporta uno spanciamento e/o deformazione della rete di contenimento che ne influisce la corretta aderenza al versante. In aggiunta, risulta importante sottolineare anche gli eventuali accumuli di detrito e/o sterpaglie arbustive, non soggetti a rimozione, nella struttura di contenimento e nella rete rispettivamente delle barriere paramassi e delle reti in aderenza. Per quanto riguarda queste ultime, l'accumulo di materiale al piede dell'opera (rete a cortina) o nel campo delimitato da 4 chiodi (rete rinforzata) induce la deformazione della componente oltre che l'eventuale possibilità di sfilamento degli ancoraggi e, nel caso delle reti a cortina, lo spanciamento della restante porzione soprastante di rete. Relativamente alle barriere paramassi, invece, la presenza di materiale stoccato (anche di origine antropica) può comportare principalmente una riduzione dell'altezza nominale di intercettazione, se non di quella residua, la deformazione delle reti principale e secondaria, la non attivazione dei dissipatori di energia, laddove presenti nel caso di impatto ed il disallineamento dei montanti che induce uno stato di sollecitazione che potrebbe danneggiare il sistema. Dunque, in casi di impatti la barriera paramassi deve essere soggetta a manutenzione straordinaria mirata alla rimozione del blocco impattante ed alla sostituzione/recupero dell'opera.

Non di rado si osservano nella pratica operativa interventi di manutenzione non idonei al recupero delle prestazioni originarie dell'opera a seguito di un impatto, soprattutto nel caso delle barriere paramassi. In tal caso, infatti, le cause di una errata manutenzione nascono

dall'arbitrarietà di scelta di intervento ritenuto più idoneo da parte di personale non qualificato e/o dalle tempistiche da rispettare.

Un ulteriore fenomeno da monitorare tramite visite periodiche dell'opera e a cui porre rimedio è quello della corrosione e/o ossidazione degli elementi metallici di un'opera. Tale fenomeno può interessare qualsiasi componente di una rete in aderenza e di una barriera paramassi e sopraggiungere per cause differenti (e.g. corrosione localizzata di reti che perdono il rivestimento anticorrosivo a causa di impatto), ma particolare attenzione deve essere posta sui morsetti di giunzione che ricoprono un ruolo importante nel corretto comportamento del sistema. Infatti, una riduzione delle loro proprietà meccaniche o una riduzione della coppia di serraggio nel tempo potrebbe compromettere, in caso di impatto o sollecitazione, lo sfilamento della fune giuntata.

BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

ANAS, 2001. "La protezione del corpo stradale contro la caduta massi", Commissione di Studio Dott. Ing. Lieggio M., Dott. Ing. Mazziotta F., Dott. Ing. Mancina M., Prof. Ing. Peila D.,

APAT, 2002. "Manuali e linee guida 10/2002: Atlante delle opere di sistemazione dei versanti", a cura di: APAT - Servizio Stampa ed Editoria.

APAT, 2006, "Manuali e Linee Guida 39/2006: Fenomeni di dissesto geologico-idraulico dei versanti", a cura di: APAT - Servizio Stampa ed Editoria, Roma.

Boriani, A., Origoni Giobbi, E., Borghi, A. & Caironi, V., 1990. The evolution of the "Serie dei Laghi" (Strona -Ceneri and Scisti dei Laghi): the upper component of the Ivrea-Verbano crustal section; Southern Alps, North Italy and Ticino, Switzerland. *Tectonophysics*, pp. 103-118.

Bottero, D., Cavallo, C., De Stefanis, E., Gorziglia, G., Possi, F., 2007. "Progetto IFFI: primi risultati in Liguria", Regione Liguria, Settore politiche dell'assetto del territorio, pp. 20-25.

Brogini, V., 2010. "Tesi magistrale: analisi del rischio da frane di crollo in presenza di sistemi di protezione passive nella provincia autonoma di Bolzano", *Università degli Studi di Bologna*.

Calvello M., 2013. "Sistemi di classificazione dei fenomeni franosi", *Università degli Studi di Salerno*.

Cargnel, O., 2012. "Importanza della gestione e manutenzione delle opere di difesa da caduta massi". *Geologia dell'Ambiente*, pp. 183-189.

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. et Bellester-Munoz, F., 2017. "Energy dissipating devices in falling rock protection barriers", *Springer-Verlag Wien*, pp. 603-619.

Carretta, N., 2016. "Tesi magistrale: Confronto tra le tecniche di remote sensing per la caratterizzazione di un ammasso roccioso presso le Gole di Scascoli, Loiano (BO)", *Università degli Studi di Bologna*.

Chaussod, A., 2015. "Tesi Magistrale: Barriere paramassi a rete: studio della gestione della manutenzione e sviluppo dell'App SICBarP", *Politecnico di Torino*.

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.

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

Edizioni, S., 2017. *La legge per tutti: Informazione e consulenza legale*. [Online] Available at: https://www.laleggepertutti.it/149557_caduta-di-massi-e-frane-sulla-strada-la-responsabilita

Fanti, R., 2015. "I fenomeni franosi: descrizione e monitoraggio". *Dipartimento di Scienza della Terra, Protezione Civile, Università degli Studi di Firenze*.

Facciorusso, J., Midiai, C., Vannucchi, G., 2011. "Dispense di geotecnica", *Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale – Sezione geotecnica*, pp. 3-9.

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.

Gennai, S., 2018. *ALTALEX*. [Online] Available at: <https://www.altalex.com/documents/news/2018/02/09/responsabilita-della-pa-per-danni-connessi-alla-manutenzione-delle-strade>

Gottardi G., Govoni L., Mentani A., Ranalli M., 2011. "The effectiveness of protection system toward rockfall risk mitigation", *Vogt, Schuppener, Straub & Bräu*, pp. 157-164.

Guillemin, P., 2009. "Maintenance des ouvrages de protection contre le instabilités rocheuses: Pathologies et gestion des ouvrages", Parigi.

Guillemin, P., 2010. "Maintenance des ouvrages de protection contre les eboulements rocheux". *Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur*, pp. 827-834.

Hungr, O., Bovis, M. E. G. S., 2001. Review of the classification of landslides of the flow. *Environmental and Engineering Geoscience*, VII, 3, pp. 221-238.

Hungr, O., Leroueil, S. & Picarelli, L., 2014. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, pp. 167-194.

ISPRA, 2002. "Atlante delle opere di sistemazione dei versanti", Manuali e Linee Guida 10/2002.

Luciani, A., 2015. "Tesi Magistrale: Studio del comportamento di barriere paramassi a rete e del loro degrado nel tempo", *Politecnico di Torino*.

Luciani A., Peila D., 2017. "Maintenance of rockfall net fences", *6th Interdisciplinary Workshop on Rockfall Protection*, Barcelona.

Luciani, A., Peila, D., Barbero, M., 2016. “Studio numerico dell’influenza dell’ammaloramento delle barriere paramassi a rete”, *Geingegneria Ambientale e Mineraria (GEAM)*, LIII, vol. 1, pp 31-38.

Luciani A., Barbero M., Martinelli D., Peila D., 2016. “Maintenance and risk management of rockfall protection net fences through numerical study of deteriorations”, *Natural Hazards and Earth System Sciences*.

Luciani, A., Todaro, C., Peila, D., “Maintenance and risk management of rockfall protection net fences through numerical study of damage influence”, *Frattura ed Integrità Strutturale*, 43, 241-250, 2018.

Malvisi, G., 2017. “Normative europee riferite alle problematiche di consolidamento e protezione dalla caduta massi”. Firenze: ETS Società d'ingegneria.

Marotto, A., 2014. “Tesi magistrale: Bosco e dinamica dei crolli in roccia in ambiente dolomitico: caso studio di un versante del Monte Antela (Vodo di Cadore, Belluno)”. Padova: *Università degli Studi di Padova*.

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

Millemaci, P., Isoli, I. & Coretta, M., 2017. “Pericolosità e rischio idrogeologico nel tratto compreso tra il Comune di Ghiffa ed il confine di Stato di Piaggio Valmara”, Cannobio.

Novotny, J., 2013. “Varnes landslide classification”, *Charles University in Prague, Faculty of Science*, Czech Republic.

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

Paldino, D., 2017. “Qualificazione ai sensi delle norme vigenti: test su prodotti e relative certificazioni”. Incofil Tech Srl.

Parisi, D., 2016. “Tesi Magistrale: Studio del fenomeno franoso che insiste sul versante a monte dell'abitato di Siror: verifiche di stabilità ed elaborazione dei dati di monitoraggio”, *Università degli Studi di Padova*

Peila, D., 2017. “Tecnologia ed aspetti progettuali di interventi di protezione contro la caduta massi” (in stampa).

Peila, D., Oggeri, O., 2009. “Full-scale testing of draped nets for rock fall protection”, *Canadian Geotechnical Journal*, 46, pp. 306-317.

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

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.

- Piano Regolatore Generale Comunale del Comune di Cannobio, 2011.
- Piano Regolatore Generale Comunale del Comune di Cannero Riviera, 2004.
- Piano Regolatore Generale Comunale (Variante Strutturale) del Comune di Ghiffa, 2018.
- Piano Regolatore Generale Comunale (Variante Strutturale) del Comune di Oggebbio, 2015.
- Reggiani, T., 2007. *Argomenti di ingegneria della manutenzione*. Roma: Consiglio dell'Ordine degli Ingegneri di Roma.
- Rinaldi, M., 2005. “*Processi di versante e dinamica fluviale*”, Università degli Studi di Firenze, Dispensa del corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente ed il Territorio.
- Robles, J. M., Pena, A. & Pinto, H., 2016. “Dynamic Barriers for protection against rocks falls”, *Revista de la construccion*.
- Valfrè, A., 2017. “Dimensionamento di reti metalliche in aderenza per scarpate rocciose mediante modellazioni numeriche”, Asti: SAFE s.r.l..
- Varnes J. David, “Slope movement types and processes”, *Washington Transportation Research Board*, U.S. Nation Academic of Science, Special Report., n° 176, 1978.
- Volta, F., 2011. “Tesi magistrale: il ruolo delle barriere paramassi nella mitigazione del rischio da frana nella provincia autonoma di Bolzano”, *Università degli Studi di Bologna*.
- Volkwein A, Gerber W., 2011. “Stronger and lighter evolution of flexible rockfall protection systems”, *IABSE-IASS London symposium report: taller, longer, lighter*.
- Volkwein, A., Gerber, W., Klette, J. & Spescha, G., 2019. Review of Approval of Flexible Rockfall Protection. *Geosciences*, pp. 1-17.
- Shaw, B. A. & Kelly, R. G., 2006. What is corrosion?. *Electrochemical Society Interface*.
- Spagna, V., 2013. “Geologia delle frane: riconoscimento, prevenzione, difesa”, a cura di Palermo: Dario Flaccovio Editore s.r.l..
- Wyllie, D.C., Mah, C.W., 1984. “Rock Slope Engineering”, III, *Taylor & Francis e-Library*.
- Werner, G. & Baumann, R., 2018. “Basi per la valutazione qualitativa delle reti paramassi e delle relative fondazioni”, Guida pratica, Ufficio federale dell'ambiente, Berna. Studi sull'ambiente n. 1805: 42 pagg.
- Xu, H., Yu, Z., Gentilini, C., 2018. “An energy allocation based design approach for flexible rockfall protection barriers”. *Energy Structures*, 173, pp. 831-852
- Yu, Z. et al., 2019. Studies on flexible rockfall barriers for failure modes, mechanisms and design strategies: a case study of Western China. *Landslides*, XVI(2), pp. 347-362.

Zeppilli, V., 2015. *Studio Cataldi - Il diritto quotidiano*. [Online]
Available at: <https://www.studiocataldi.it/articoli/18764-la-proprieta-delle-scarpate-stradali-chi-deve-provvedere-alla-manutenzione-e-come-si-determinano-i-confini.asp>

<https://www.eota.eu>

<https://www.certifico.com>

<https://www.geostru.eu/it>

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

www.rockfallblog.com

RIFERIMENTI NORMATIVI

Codice Civile italiano, R.D. 16 marzo 1942, .262 “*Approvazione del testo del Codice Civile*”.

Decreto Legislativo 30 aprile 1992, n°285, Nuovo Codice della strada: Testo aggiornato alle modifiche introdotte con la Legge 19 luglio 2015 (in G.U. 03/08/2015 n.175).

Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018. “*Norme Tecniche per le Costruzioni*” (NTC2018).

D.P.R. 207/2010 “*Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE*” (oggi abrogato in alcuni punti dal D. Lgs. 50/2018 “*Nuovo Codice dei contratti pubblici*”).

EAD 340059-00-0106 (2018) “*Falling Rock Protection Kits*”.

EAD 230005-00-0106 (2016) “*Wire Rope Net Panels*”.

EAD 230004-00-106 (2016) “*Wire Ring Mesh Panels*”.

EAD 230008-00-0106 (2016) “*Double twisted steel wire mesh reinforced or not with ropes*”.

Linee Guida del C.S.LL.PP., con parere n.69 nell’adunanza del 2 luglio 2013.

Regolamento n. 305/2011/UE.

UNI 11211-4: 2018 “*Opere di difesa dalla caduta massi - Parte 4: Progetto definitivo ed esecutivo*”.

UNI EN 13411-5: 2009 “*Estremità per funi di acciaio - Sicurezza - Parte 5: Morsetti per funi*”.

UNI EN 13306: 2010 “*Manutenzione: Terminologia di manutenzione*”.

UNI 11437: 2012 “*Opere di difesa dalla caduta massi – Prove su reti per rivestimento di versanti*”.

UNI EN ISO 9223: 2012 “*Protezione dei materiali metallici contro la corrosione*”.

UNI ISO 17746: 2016 “*Pannelli e rotoli di rete in fune d’acciaio*”.

UNI 11063: 2017 “*Manutenzione - Definizione di manutenzione ordinaria e straordinaria*”.

ALLEGATI

ALLEGATO A.1: Template del verbale di sopralluogo di una barriera paramassi

VERBALE DI SOPRALLUOGO - SCHEDA DESCRITTIVA E STATO DI CONSERVAZIONE	
BARRIERA PARAMASSI	
Operatore	
Data (GG/MM/AAAA)	
Comune - Località	
Codice Barriera	

<i>Collocamento geografico dell'opera:</i>		
(cartografia)		
Punto di collocazione dell'opera		
In caso di prossimità ad un elemento stradale: Tratto strada da km ^(*)		(*) riferimento alle progressive ettometriche stradali ANAS
a km ^(*)		

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 type="checkbox"/> Ad elevata deformabilità;
Lunghezza complessiva dell'opera (m)	
Numero campate (-)	
Altezza barriera (m)	
<i>Informazioni di dettaglio sulla barriera paramassi:</i>	
Tipo di prodotto	
Produttore	
Anno di installazione	
Energia di progetto (kJ)	
Realizzazione opera con riferimento alla Linea Guida ETAG027 (Guide Line for European Technical Approval of Falling Rock Protection Kits)	<input type="checkbox"/> Pre-ETAG027; <input type="checkbox"/> Post-ETAG027;
Manuale di manutenzione	<input type="checkbox"/> DISPONIBILE; <input type="checkbox"/> NON DISPONIBILE;
Verbale di collaudo	<input type="checkbox"/> DISPONIBILE; <input type="checkbox"/> NON DISPONIBILE;
<i>Informazioni relative alle singole componenti della barriera paramassi:</i>	
Montante:	
	Interasse dei montanti (m):
Base e fondazione dei montanti:	
Rete principale (tipologia):	
Rete secondaria (tipologia):	
Fune longitudinale inferiore (tipologia e diametro):	
Fune longitudinale superiore (tipologia e diametro):	
Fune di controvento di monte (tipologia e diametro):	
Fune di controvento laterale (tipologia e diametro):	

Altre funi (tipologia e diametro):		
Freni (tipologia)	Fune longitudinale inferiore:	
	Fune longitudinale superiore:	
	Controventi laterali:	
	Altre funi:	
Ancoraggio fune superiore (tipo e distanza dal montante):		
	Distanza dal montante (m):	-
Ancoraggio fune inferiore (tipo e distanza dal montante):		
	Distanza dal montante (m):	
Ancoraggio laterale sinistro (tipo e distanza dal montante):		
	Distanza dal montante (m):	
Ancoraggio laterale destro (tipo e distanza dal montante):		
	Distanza dal montante (m):	

<i>Osservazioni generali:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Inquadramento del contesto circostante ed individuazione delle criticità; • Osservazioni qualitative sull'installazione e sul posizionamento del sistema di difesa realizzato indipendentemente dallo stato di conservazione; • Presenza di altre opere di difesa; • Eventi pregressi; 	

La barriera ha subito impatti/danni?		
	Se è sì, data presunta del danno:	
	Indicazioni parti danneggiate:	

La barriera ha subito manutenzione?		
	Se è sì, data presunta di avvenuta manutenzione:	
	Indicazioni zone mantenute:	


CHECK LIST dello stato di conservazione dell'opera			
Componente	Controllo eseguito	Stato conservazione (*)	Note
Versante	Presenza di vuoti al piede della barriera.		
	Presenza di specie vegetali ad alto fusto o cespugli che limitino la capacità deformativa della barriera.		
Rete principale	Lacerazioni della rete.		
	Rottura giunzioni rete-funi.		
	Danneggiamento\corrosione\mancanza di elementi di giunzione tra i pannelli di rete.		
	Presenza di detrito nella rete.		
	Deformazioni.		
	Presenza di sterpaglie, specie vegetali arbustive e/o rampicanti nella rete.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.		
Rete secondaria Indicare se NON prevista <input type="checkbox"/>	Presenza di strappi, deformazioni e/o perforazioni.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.		
	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti		
Montanti	Danneggiamento della cerniera di base.		
	Deformazione importante, abbattimento e/o rottura del montante.		
	Ancoraggio dei montanti: variazione della geometria originaria di eventuali chiodi e/o barre (elementi piegati, deformati, fratturati o estratti), presenza di elementi arrugginiti.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.		
	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti.		


(*)
Legenda:

0 Nessun danno;

1 Danno moderato;

2 Danno intenso;

 Componente non del tutto visibile;

 Componente non presente;

CHECK LIST dello stato di conservazione dell'opera			
Componente	Controllo eseguito	Stato conservazione (*)	Note
Funi longitudinali superiori Indicare se i "Freni" NON sono presenti <input type="checkbox"/>	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti.		
	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o ammaloramento/danneggiamento/distacco degli elementi di giunzione, degli ancoraggi o elementi mancanti.		
	Funi lasche o tese in modo anomalo (anche una sola).		
	Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.		
	Freni: Deformazioni permanenti o scorrimenti.		
	Freni: Presenza di specie vegetali nell'area di scorrimento.		
	Freni: Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.		
Funi longitudinali inferiori Indicare se i "Freni" NON sono presenti <input type="checkbox"/>	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti.		
	Funi lasche o tese in modo anomalo (anche una sola).		
	Danneggiamento della connessione fune-piede del montante o ammaloramento/danneggiamento/distacco degli elementi di giunzione, degli ancoraggi o elementi mancanti.		
	Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.		
	Freni: Deformazioni permanenti o scorrimenti.		
	Freni: Presenza di specie vegetali o detriti nell'area di scorrimento.		
	Freni: Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.		
Funi di controvento laterale	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti.		
	Funi lasche o tese in modo anomalo (anche una sola).		
	Ammaloramento della testa dell'ancoraggio, danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo, danneggiamento elementi di giunzione o elementi mancanti.		
	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti, deformazioni permanenti.		

(*)
Legenda:

0 Nessun danno;

1 Danno moderato;

2 Danno intenso;

Componente non del tutto visibile;

Componente non presente;

CHECK LIST dello stato di conservazione dell'opera			
Componente	Controllo eseguito	Stato conservazione (*)	Note
Funi di controvento laterale Indicare se i "Freni" NON sono presenti <input type="checkbox"/>	Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune.		
	Freni: Deformazioni permanenti o scorrimenti.		
	Freni: Presenza di specie vegetali o detriti nell'area di scorrimento.		
	Freni: Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.		
Funi di controvento di monte Indicare se i "Freni" NON sono presenti <input type="checkbox"/>	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti.		
	Funi lasche o tese in modo anomalo (anche una sola).		
	Ammaloramento della testa dell'ancoraggio, danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo, danneggiamento elementi di giunzione o elementi mancanti.		
	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti, deformazioni permanenti.		
	Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune.		
	Freni: Deformazioni permanenti o scorrimenti.		
	Freni: Presenza di specie vegetali o detriti nell'area di scorrimento.		
	Freni: Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.		
Altre funi (e.g. di chiusura laterali, di trasmissione) Indicare se NON sono previste altre funi <input type="checkbox"/> Qualora presenti, indicare se i "Freni" NON sono presenti <input type="checkbox"/>	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti		
	Fune lasca o tesa in modo anomalo.		
	Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune.		
	Freni: Deformazioni permanenti o scorrimenti.		
	Freni: Presenza di specie vegetali o detriti nell'area di scorrimento.		
	Freni: Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.		

(*)
Legenda:

0 Nessun danno;

1 Danno moderato;

2 Danno intenso;

Componente non del tutto visibile;

Componente non presente;

Conclusioni sullo stato di conservazione

ALLEGATO FOTOGRAFICO	
1) Foto d'insieme della barriera:	
2) Foto di una campata:	
	NOTE
3) Dettagli montante con fondazione:	
	NOTE
4) Dettagli ancoraggi:	
	NOTE
5) Rete principale e secondaria:	
	NOTE
6) Eventuali particolari e/o impatti:	
	NOTE

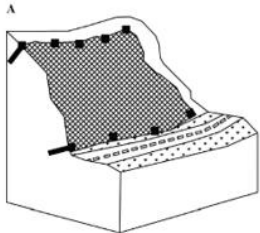
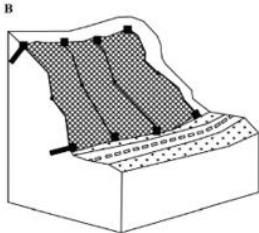
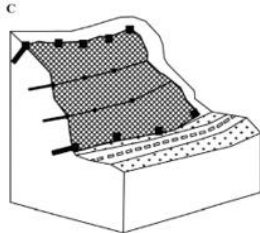
ALLEGATO A.2: Template del verbale di sopralluogo di una rete a cortina

VERBALE DI SOPRALLUOGO - SCHEDA DESCRITTIVA E STATO DI CONSERVAZIONE	
RETE A CORTINA	
Operatore	
Data (GG/MM/AAAA)	
Comune - Località	
Codice Rete a Cortina	

Collocamento geografico dell'opera:

(Cartografia)

Punto di collocazione dell'opera		
In caso di prossimità ad un elemento stradale: Tratto strada da km ^(*)		(*) riferimento alle progressive ettometriche stradali ANAS
a km ^(*)		

DESCRIZIONE DELLA RETE A CORTINA	
<i>Informazioni di carattere generale sulla rete a cortina:</i>	
<p align="center">Tipologia di rete a cortina</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;">  <p>(A) Semplice;</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(B) con funi verticali;</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>(C) con funi orizzontali;</p> </div> </div>	<input type="checkbox"/> Semplice (A); <input type="checkbox"/> Con funi verticali (B); <input type="checkbox"/> Con funi orizzontali (C);
Lunghezza complessiva dell'opera (m)	
<i>Informazioni di dettaglio sulla rete a cortina:</i>	
Tipo di prodotto	
Produttore	
Anno di installazione	
Resistenza a trazione della rete (kN) <small>(se disponibile, allegare scheda tecnica del prodotto)</small>	
Resistenza a taglio della rete (kN) <small>(se disponibile, allegare scheda tecnica del prodotto)</small>	
Resistenza sfilamento della rete (kN) <small>(se disponibile, allegare scheda tecnica del prodotto)</small>	
Massimo volume accumulabile al piede (m ³)	
Manuale di manutenzione	<input type="checkbox"/> DISPONIBILE; <input type="checkbox"/> NON DISPONIBILE;
Verbale di collaudo	<input type="checkbox"/> DISPONIBILE; <input type="checkbox"/> NON DISPONIBILE;

<i>Informazioni relative alle singole componenti della rete a cortina:</i>	
Tipologia maglia della rete (in questi campi si deve fornire una descrizione sintetica della tipologia della maglia della rete (e.g. a singola torsione, a maglia esagonale e doppia torsione, reti in pannelli di fune) e delle caratteristiche geometriche e di resistenza):	
Cuciture e giunzioni tra le reti (presenza, tipologia, n° al metro):	
Ancoraggi principali (tipologia, diametro (mm), lunghezza (m), interasse (m), presenza di piastra e/o golfari):	
Fune di sostegno sommitale (tipologia):	
Fune di sostegno al piede (tipologia):	
Funi di sostegno intermedie (tipologia):	
Eventuali prove eseguite durante la costruzione e/o il collaudo:	

<i>Osservazioni generali:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Inquadramento del contesto circostante ed individuazione delle criticità; • Osservazioni qualitative sull'installazione e sul posizionamento del sistema di difesa realizzato indipendentemente dallo stato di conservazione; • Presenza di altre opere di difesa; • Eventi pregressi; 	

La rete ha subito impatti/danni?	
	Se è sì, data presunta del danno:
	Indicazioni parti danneggiate:

La rete ha subito manutenzione?	
	Se è sì, data presunta di avvenuta manutenzione:
	Indicazioni zone mantenute:


CHECK LIST dello stato di conservazione dell'opera			
Componente	Controllo eseguito	Stato conservazione (*)	Note
Rete	Il detrito forma un accumulo rilevante al piede.		
	Presenza di detriti nella rete.		
	Presenza di sterpaglie, specie vegetali arbustive e/o rampicanti che interagiscono con la rete.		
	Lacerazioni della rete.		
	Deformazioni e/o spancamenti.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento del rivestimento anticorrosivo della rete.		
Fune di sostegno sommitale Spuntare la casella se MANCANTE <input type="checkbox"/>	Fune mancante.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune.		
	Ancoraggio mancante.		
	Elementi mancanti nelle giunzioni.		
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi.		
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra.		
	Sfilamento degli ancoraggi.		
Fune di sostegno al piede Spuntare la casella se MANCANTE <input type="checkbox"/>	Fune mancante.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune.		
	Fune non visibile perché coperta da detrito e/o vegetazione.		
	Ancoraggio non visibile.		
	Ancoraggio mancante.		
	Elementi mancanti nelle giunzioni.		
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi.		
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra.		
	Sfilamento degli ancoraggi.		


(*)
Legenda:

0 Nessun danno;

1 Danno moderato;

2 Danno intenso;

 Componente non del tutto visibile;

 Componente non presente;


CHECK LIST dello stato di conservazione dell'opera			
Componente	Controllo eseguito	Stato conservazione (*)	Note
Funi di sostegno intermedie Spuntare la casella se MANCANTI <input type="checkbox"/>	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune.		
	Fune non visibile perché coperta da detrito e/o vegetazione.		
	Fune mancante.		
	Ancoraggio non visibile.		
	Ancoraggio mancante.		
	Elementi mancanti nelle giunzioni.		
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi.		
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra.		
	Sfilamento degli ancoraggi.		
Elementi di giunzione tra i pannelli della rete	Elementi mancanti.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione.		
Elementi di giunzione rete-fune superiore	Elementi mancanti.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione.		
Elementi di giunzione rete-fune inferiore (se presente)	Elementi mancanti.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione.		
Elementi di giunzione rete-funi intermedie (se presenti)	Elementi mancanti.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione.		


(*)
Legenda:

0 Nessun danno;

1 Danno moderato;

2 Danno intenso;

 Componente non del tutto visibile;

 Componente non presente;

Conclusioni sullo stato di conservazione

ALLEGATO FOTOGRAFICO	
1) Foto d'insieme della rete:	
2) Foto di un pannello:	
	NOTE
3) Foto della fune di sostegno superiore con ancoraggi ed elementi di connessione:	
	NOTE
4) Foto della fune di sostegno al piede con ancoraggi ed elementi di connessione:	
	NOTE
5) Foto di eventuali funi laterali	
	NOTE
6) Foto degli ancoraggi principali:	
	NOTE
7) Foto di eventuali particolari e/o impatti:	
	NOTE

ALLEGATO A.3: Template del verbale di sopralluogo di una rete rinforzata

VERBALE DI SOPRALLUOGO - SCHEDA DESCRITTIVA E STATO DI CONSERVAZIONE	
RETE RINFORZATA	
Operatore	
Data (GG/MM/AAAA)	
Comune - Località	
Codice Rete Rinforzata	

Collocamento geografico dell'opera:

Punto di collocazione dell'opera		
In caso di prossimità ad un elemento stradale:		(*) riferimento alle progressive ettometriche stradali ANAS
Tratto strada da km ^(*)		
a km ^(*)		

DESCRIZIONE DELLA RETE RINFORZATA

Informazioni di carattere generale sulla rete rinforzata:

Maglia di chiodi elemento singolo:	<input type="checkbox"/> 2x2 m; <input type="checkbox"/> 4x4m; <input type="checkbox"/> Altro; <input type="checkbox"/> 3x3 m; <input type="checkbox"/> 4x4 m;
	Se è "Altro", specificare:
Funi:	<input type="checkbox"/> Quadrate; <input type="checkbox"/> A losanghe;
Numero di chiodi:	
Numero di pannelli:	
Lunghezza complessiva dell'opera (m)	

Informazioni di dettaglio sulla rete rinforzata:

Tipo di prodotto	
Produttore	
Anno di installazione	
Resistenza a trazione della rete (kN) <small>(se disponibile, allegare scheda tecnica del prodotto)</small>	
Resistenza a taglio dell'ancoraggio (kN) <small>(se disponibile, allegare scheda tecnica del prodotto)</small>	
Resistenza sfilamento dell'ancoraggio (kN) <small>(se disponibile, allegare scheda tecnica del prodotto)</small>	
Massimo volume accumulabile al piede (m ³)	
Manuale di manutenzione	<input type="checkbox"/> DISPONIBILE; <input type="checkbox"/> NON DISPONIBILE;
Verbale di collaudo	<input type="checkbox"/> DISPONIBILE; <input type="checkbox"/> NON DISPONIBILE;

<i>Informazioni relative alle singole componenti della rete rinforzata:</i>	
Tipologia maglia della rete (in questi campi si deve fornire una descrizione sintetica della tipologia della maglia della rete (e.g. a singola torsione, a maglia esagonale e doppia torsione, reti in pannelli di fune) e delle caratteristiche geometriche e di resistenza):	
Cuciture e giunzioni tra le reti (presenza, tipologia, n° al metro):	
Ancoraggi principali (tipologia, diametro (mm), lunghezza (m), interasse (m), presenza di piastra e/o golfari):	
Fune di sostegno sommitale (tipologia):	
Fune di sostegno al piede (tipologia):	
Funi di rinforzo (tipologia):	
Eventuali prove eseguite durante la costruzione e/o il collaudo:	

<i>Osservazioni generali:</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Inquadramento del contesto circostante ed individuazione delle criticità; • Osservazioni qualitative sull'installazione e sul posizionamento del sistema di difesa realizzato indipendentemente dallo stato di conservazione; • Presenza di altre opere di difesa; • Eventi pregressi; 	

La rete ha subito impatti/danni?	
	Se è sì, data presunta del danno:
	Indicazioni parti danneggiate:

La rete ha subito manutenzione?	
	Se è sì, data presunta di avvenuta manutenzione:
	Indicazioni zone mantenute:


CHECK LIST dello stato di conservazione dell'opera			
Componente	Controllo eseguito	Stato conservazione (*)	Note
Rete	Il detrito forma un accumulo rilevante da un campo definito da quattro chiodi.		
	Presenza di detriti e sterpaglie nella rete.		
	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti che interagiscono con la rete.		
	Lacerazioni della rete.		
	Deformazioni e/o spanciamenti.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento del rivestimento anticorrosivo della rete.		
Fune di sostegno sommitale Spuntare la casella se MANCANTE <input type="checkbox"/>	Fune mancante.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune.		
	Ancoraggio mancante.		
	Elementi mancanti nelle giunzioni.		
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi.		
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra.		
	Sfilamento degli ancoraggi.		
Fune di sostegno al piede Spuntare la casella se MANCANTE <input type="checkbox"/>	Fune mancante.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune.		
	Fune non visibile perché coperta da detrito e/o vegetazione.		
	Ancoraggio mancante.		
	Elementi mancanti nelle giunzioni.		
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi.		
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra.		
	Sfilamento degli ancoraggi.		


(*)
Legenda:

0 Nessun danno;

1 Danno moderato;

2 Danno intenso;

 Componente non del tutto visibile;

 Componente non presente;


CHECK LIST dello stato di conservazione dell'opera			
Componente	Controllo eseguito	Stato conservazione (*)	Note
Funi di rinforzo	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune.		
	Fune mancante.		
	Ancoraggio mancante.		
	Elementi mancanti nelle giunzioni.		
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi.		
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra.		
	Sfilamento degli ancoraggi.		
Elementi di giunzione tra i pannelli della rete	Elementi mancanti.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione.		
Elementi di giunzione rete-fune superiore (se presente)	Elementi mancanti.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione.		
Elementi di giunzione rete-fune inferiore (se presente)	Elementi mancanti.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione.		


(*)
Legenda:

0 Nessun danno;

1 Danno moderato;

2 Danno intenso;

 Componente non del tutto visibile;

 Componente non presente;

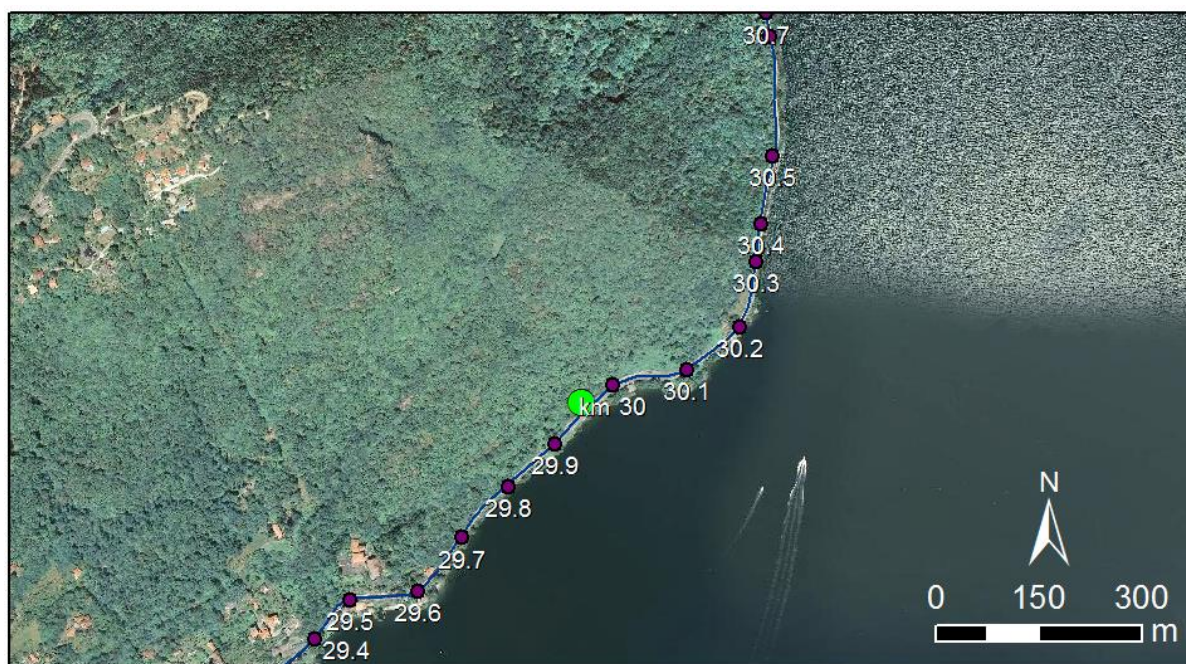
Conclusioni sullo stato di conservazione

ALLEGATO FOTOGRAFICO	
1) Foto d'insieme della rete:	
2) Foto di un pannello:	
	NOTE
3) Foto della fune di sostegno superiore con ancoraggi ed elementi di connessione:	
	NOTE
4) Foto delle eventuali funi laterali:	
	NOTE
5) Foto della fune di sostegno inferiore con ancoraggi ed elementi di connessione:	
	NOTE
6) Foto degli ancoraggi principali:	
	NOTE
7) Foto di eventuali particolari e/o impatti sulla rete:	
	NOTE

ALLEGATO A.4: Esempio di compilazione del verbale di sopralluogo di una barriera paramassi

VERBALE DI SOPRALLUOGO - SCHEDA DESCRITTIVA E STATO DI CONSERVAZIONE	
BARRIERA PARAMASSI	
Operatore	Politecnico di Torino - DIATI
Data (GG/MM/AAAA)	03/10/2018 - 12/10/2018 - 20/02/2019
Comune - Località	Cannobio (VB) - Puncetta
Codice Barriera	BP_CAN1

Collocamento geografico dell'opera:



Ortofoto ICE 2009-2011 (collocazione puntuale, in verde, dell'opera senza rappresentazione delle eventuali opere di protezione limitrofe)

Punto di collocazione dell'opera		Strada Statale S.S. 34 del Lago Maggiore
In caso di prossimità ad un elemento stradale:		
Tratto strada da km ^(*)	29+930	
a km ^(*)	29+960	^(*) riferimento alle progressive ettometriche stradali ANAS

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. 30
Numero campate (-)	5
Altezza barriera (m)	ca. 4-5

<i>Informazioni di dettaglio sulla barriera paramassi:</i>	
Tipo di prodotto	MAC.RO. SYSTEM
Produttore	Maccaferri
Anno di installazione	2017
Energia di progetto (kJ)	2000
Realizzazione opera con riferimento alla Linea Guida ETAG027 (Guide Line for European Technical Approval of Falling Rock Protection Kits)	<input type="checkbox"/> Pre-ETAG027; <input checked="" type="checkbox"/> Post-ETAG027;
Manuale di manutenzione	<input type="checkbox"/> DISPONIBILE; <input checked="" type="checkbox"/> NON DISPONIBILE;
Verbale di collaudo	<input type="checkbox"/> DISPONIBILE; <input checked="" type="checkbox"/> NON DISPONIBILE;

<i>Informazioni relative alle singole componenti della barriera paramassi:</i>		
Montante:		Profilo a doppio T del tipo HE
	Interasse dei montanti (m):	ca. 6-7
Base e fondazione dei montanti:		Non ben indagabile a causa della presenza di vegetazione.
Rete principale (tipologia):		Rete ad anelli metallici.
Rete secondaria (tipologia):		Rete a singolo filo a maglia esagonale (doppia torsione).
Fune longitudinale inferiore (tipologia e diametro):		Fune spiroidale in filo d'acciaio.
Fune longitudinale superiore (tipologia e diametro):		Fune spiroidale in filo d'acciaio.
Fune di controvento di monte (tipologia e diametro):		Fune spiroidale in filo d'acciaio.
Fune di controvento laterale (tipologia e diametro):		Fune spiroidale in filo d'acciaio.
Altre funi (tipologia e diametro):		Non presenti.
Freni (tipologia)	Fune longitudinale inferiore:	Non ben indagabile a causa della presenza di vegetazione.
	Fune longitudinale superiore:	Non presenti.
	Controventi di monte:	Non presenti.
	Controventi laterali:	A deformazione di materiale.
	Altre funi:	Non presenti.
Ancoraggi controvento di monte (tipo e distanza dal montante):		Non ben indagabile a causa della presenza di vegetazione.
	Distanza dal montante (m):	Non ben indagabile.
Ancoraggio laterale sinistro (tipo e distanza dal montante):		Fune spiroidale con redancia.
	Distanza dal montante (m):	ca. 1.5 - 2.5
Ancoraggio laterale destro (tipo e distanza dal montante):		Fune spiroidale con redancia.
	Distanza dal montante (m):	ca. 1.5 - 2.5

Osservazioni generali:

<ul style="list-style-type: none"> • Inquadramento del contesto circostante ed individuazione delle criticità; • Osservazioni qualitative sull'installazione e sul posizionamento del sistema di difesa realizzato indipendentemente dallo stato di conservazione; • Presenza di altre opere di difesa; • Eventi pregressi; 	<p>L'opera in analisi è collocata a monte di una scarpata di controripa in roccia della S.S. 34 soggetta a fenomeni di crollo antecedenti e successivi ai vari sopralluoghi effettuati, i quali verranno descritti nel dettaglio in seguito nella presente sezione. La scheda in analisi, quindi, ha lo scopo di studiare lo stato di conservazione della barriera in analisi allo stato dell'arte più recente (sopralluogo 20/02/2019).</p> <p>Con riferimento alla cartografia "Sud: Carta geomorfologica e del dissesto" ed alla "Carta geologica-strutturale" del Comune di Cannobio, aggiornate al 2010 e contenute all'interno del PRGC del Comune citato, è possibile inquadrare il contesto circostante all'opera in analisi ed individuare eventuali criticità cartografate. Nel dettaglio, da un punto di vista geologico e geomorfologico, l'area in cui è collocata l'opera in esame è caratterizzata dalla presenza di ortogneiss granodioritici, affioranti e subaffioranti, con pendenze fino a 75° tra la porzione di versante compreso tra la S.S. 34 e ca. la quota 220 m s.l.m. Al di sopra della quota indicata, il territorio si presenta con pendenza prevalevole tra 30° e 45°, zone a pendenza localizzate più elevata. Tra le quote 240 m s.l.m. e 250 m s.l.m. si sviluppa un orlo di scarpata in roccia a monte del tratto compreso tra i km ca. 29+690 e il km ca. 29+990. La porzione di territorio a valle di tale tratto presenta stillicidi diffusi.</p> <p>Da un esame visivo, l'opera appare adeguatamente posizionata per mitigare il rischio dovuto ad eventuali fenomeni franosi derivanti dalla parete rocciosa soprastante (vedasi "Allegato fotografico, sezione 1"). Non risulta, invece, possibile stabilire visivamente se l'opera sia adeguatamente installata. In generale, secondo quanto riportato all'interno della "Tabella delle criticità e degli interventi" fornita dall'Unione dei Comuni del Lago Maggiore, la condizione del versante compreso dal km 29+660 al km 30+000 presenta una morfologia complessa ed acclività elevata, con presenza di emergenze di substrato roccioso disarticolate soggette a possibili fenomeni di distacchi e cadute di blocchi anche plurimetrici ad alta energia, coperture detritiche localmente soggette a fenomeni di erosione superficiale di magnitudo modesta.</p> <p>Come citato all'inizio della seguente sezione ed in accordo secondo quanto cartografato dai progetti IFFI e SIFraP che individuano un'area a monte del km 29+950 soggetta a crolli e/o ribaltamenti, l'opera in analisi è collocata in un versante in cui il 18 marzo 2017 è avvenuto un fenomeno franoso sulla scarpata di controripa in roccia della S.S. 34, intorno al km 29+950. Tale fenomeno, secondo quanto riportato all'interno della "Relazione illustrativa sulla pericolosità e rischio idrogeologico del tratto compreso tra il Comune di Ghiffa ed il confine di Stato di Piaggio Valmara", redatto e fornito dall'Unione dei Comuni del Lago Maggiore, ha visto un distacco e successivo crollo di una porzione di roccia ortogneissica di circa 90 m³, facente parte di un emergente piccola parete rocciosa posta tra 60 e 70 m di quota al di sopra del piano viabile. L'emergenza rocciosa, di altezza di 6/8 m, risulta dislocata dall'intersezione di 3 set di discontinuità principali, di cui le superfici di scistosità, sub parallele al pendio, fortemente distaccate e altre due superfici di frattura molto aperte che tendono a frazionare l'ammasso in blocchi grossolanamente parallelepipedi. Tra gli interventi per mitigare il rischio sulla S.S. 34 derivato dai crolli, sono stati previsti interventi di difesa passiva sul versante e sul percorso di frana quali la posa di barriere paramassi ad alta resistenza di cui una al piede dell'affioramento roccioso e un'altra al termine del percorso di frana da collocarsi in posizione ottimale per l'arresto di eventuali porzioni di roccia ancora presenti o mobilizzabili nell'ambito del detrito presente. I restanti interventi non sono stati sufficienti a contenere l'evento di crollo del 06/11/2018 (vedasi "Allegato fotografico, sezione 6"), il quale ha comportato la posa in opera di una rete TECCO (vedasi scheda RaC_CAN16) a difesa del versante.</p>
--	--

Osservazioni generali:

- Inquadramento del contesto circostante ed individuazione delle criticità;
- Osservazioni qualitative sull'installazione e sul posizionamento del sistema di difesa realizzato **indipendentemente dallo stato di conservazione;**
- Presenza di altre opere di difesa;
- Eventi pregressi;



Evento franoso del 18 marzo 2017 (Fonte foto: La Stampa).

Relativamente alla presenza di ulteriori opere di difesa e con riferimento all'Allegato fotografico, sezione 1, a valle della barriera in analisi è presente una barriera IPER-EL, fortemente degradata e in parte smantellata dopo l'evento del novembre 2018 (vedasi scheda BP_CAN2), ed una rete TECCO messa in opera successivamente all'evento citato (vedasi scheda RaC_CAN16).


La barriera ha subito impatti/danni?		Da un esame visivo, no.
	Se è sì, data presunta del danno:	-
	Indicazioni parti danneggiate:	-
La barriera ha subito manutenzione?		Dai vari sopralluoghi effettuati, sì.
	Se è sì, data presunta di avvenuta manutenzione:	fine 2018/ inizio 2019
	Indicazioni zone mantenute:	Chiusura di un lieve vuoto al piede della campata centrale causato dal crollo del 11/2018 (vedasi "Allegato fotografico, sezione 6").


CHECK LIST dello stato di conservazione dell'opera			
Componente	Controllo eseguito	Stato conservazione (*)	Note
Versante	Presenza di vuoti al piede della barriera.	0	
	Presenza di specie vegetali ad alto fusto o cespugli che limitino la capacità deformativa della barriera.	1	Presenza della base di un tronco a valle della prima campata (vedasi "Allegato fotografico, sezione
Rete principale	Lacerazioni della rete.	0	
	Rottura giunzioni rete-funi.	0	
	Danneggiamento\corrosione\mancanza di elementi di giunzione tra i pannelli di rete.	0	
	Presenza di detrito nella rete.	0	
	Deformazioni.	0	
	Presenza di sterpaglie, specie vegetali arbustive e/o rampicanti nella rete.	0	
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.	0	
Rete secondaria Indicare se NON prevista <input type="checkbox"/>	Presenza di strappi, deformazioni e/o perforazioni.	0	
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.	0	
	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti	0	
Montanti	Danneggiamento della cerniera di base.	0	
	Deformazione importante, abbattimento e/o rottura del montante.	0	
	Ancoraggio dei montanti: variazione della geometria originaria di eventuali chiodi e/o barre (elementi piegati, deformati, fratturati o estratti), presenza di elementi arrugginiti.	0	
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.	0	
	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti.	0	

(*) Legenda:	0	Nessun danno;
-----------------	---	---------------

1	Danno moderato;
---	-----------------

2	Danno intenso;
---	----------------

	Componente non del tutto visibile;
---	------------------------------------

	Componente non presente;
---	--------------------------


CHECK LIST dello stato di conservazione dell'opera			
Componente	Controllo eseguito	Stato conservazione (*)	Note
Funi longitudinali superiori Indicare se i "Freni" NON sono presenti <input type="checkbox"/>	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti.	0	
	Danneggiamento della connessione fune-testa del montante o ammaloramento/danneggiamento/distacco degli elementi di giunzione, degli ancoraggi o elementi mancanti.	0	
	Funi lasche o tese in modo anomalo (anche una sola).	0	
	Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.	0	
	Freni: Deformazioni permanenti o scorrimenti.	0	
	Freni: Presenza di specie vegetali nell'area di scorrimento.	0	
	Freni: Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.	0	
Funi longitudinali inferiori Indicare se i "Freni" NON sono presenti <input type="checkbox"/>	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti.	0	
	Funi lasche o tese in modo anomalo (anche una sola).	0	
	Danneggiamento della connessione fune-piede del montante o ammaloramento/danneggiamento/distacco degli elementi di giunzione, degli ancoraggi o elementi mancanti.	0	
	Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.	0	
	Freni: Deformazioni permanenti o scorrimenti.		
	Freni: Presenza di specie vegetali o detriti nell'area di scorrimento.		
	Freni: Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.		
Funi di controvento laterale	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti.	0	
	Funi lasche o tese in modo anomalo (anche una sola).	0	
	Ammaloramento della testa dell'ancoraggio, danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo, danneggiamento elementi di giunzione o elementi mancanti.	0	
	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti, deformazioni permanenti.	0	


(*)
Legenda:

0 Nessun danno;

1 Danno moderato;

2 Danno intenso;

 Componente non del tutto visibile;

 Componente non presente;

CHECK LIST dello stato di conservazione dell'opera			
Componente	Controllo eseguito	Stato conservazione (*)	Note
Funi di controvento laterale Indicare se i "Freni" NON sono presenti <input type="checkbox"/>	Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune.	0	
	Freni: Deformazioni permanenti o scorrimenti.	0	
	Freni: Presenza di specie vegetali o detriti nell'area di scorrimento.	0	
	Freni: Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.	0	
Funi di controvento di monte Indicare se i "Freni" NON sono presenti <input type="checkbox"/>	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti.	0	
	Funi lasche o tese in modo anomalo (anche una sola).	0	
	Ammaloramento della testa dell'ancoraggio, danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo, danneggiamento elementi di giunzione o elementi mancanti.		
	Presenza di rotture della testa dell'ancoraggio, sfilamenti, deformazioni permanenti.		
	Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune.	0	
	Freni: Deformazioni permanenti o scorrimenti.		
	Freni: Presenza di specie vegetali o detriti nell'area di scorrimento.		
	Freni: Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.		
Altre funi (e.g. di chiusura laterali, di trasmissione) Indicare se NON sono previste altre funi <input checked="" type="checkbox"/> Qualora presenti, indicare se i "Freni" NON sono presenti <input checked="" type="checkbox"/>	Rotture anche parziali con importanti lesioni dei fili costituenti		
	Fune lasca o tesa in modo anomalo.		
	Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo della fune.		
	Freni: Deformazioni permanenti o scorrimenti.		
	Freni: Presenza di specie vegetali o detriti nell'area di scorrimento.		
	Freni: Presenza di zone arrugginite. Danneggiamento significativo del rivestimento anticorrosivo.		

(*)
Legenda:

0 Nessun danno;

1 Danno moderato;

2 Danno intenso;

Componente non del tutto visibile;

Componente non presente;

Conclusioni sullo stato di conservazione

La barriera paramassi oggetto di studio, la quale risulta certificata secondo i riferimenti e le procedure contenute all'interno della Linea Guida ETAG027, risulta dai vari sopralluoghi effettuati essere stata mantenuta a seguito dell'evento di crollo del 06/11/2018. Le componenti dell'opera in esame non presentano particolari criticità, fatta eccezione per la fune di controvento di monte che non risulta ben visibile da bordo strada e, dunque, limitatamente indagabile.

In ultima analisi, quindi, nonostante la parziale visibilità della fune di controvento di monte, è possibile affermare che l'opera presenta un buono stato di conservazione.

ALLEGATO FOTOGRAFICO

1) Foto d'insieme della barriera:

(A)



(B)



NOTE

(A): Panoramica d'insieme dell'opera collocata a protezione della parete in roccia a monte precedente al crollo avvenuto il 6 novembre 2018.

(B): Inquadratura d'insieme dell'opera successivamente al crollo del novembre 2018 ed alla posa in opera della Rete TECCO (vedasi scheda RaC_CAN16) a valle.

2) *Dettaglio campata:*



NOTE

Dettaglio di una campata della barriera in esame dove è possibile osservare la base di un tronco a valle che potrebbe limitare lievemente la capacità deformativa dell'opera a seguito di un evento di crollo. In aggiunta, si evidenzia la presenza di freni a deformazione di materiale sia nella fune di sostegno superiore che nella fune di controvento laterale.

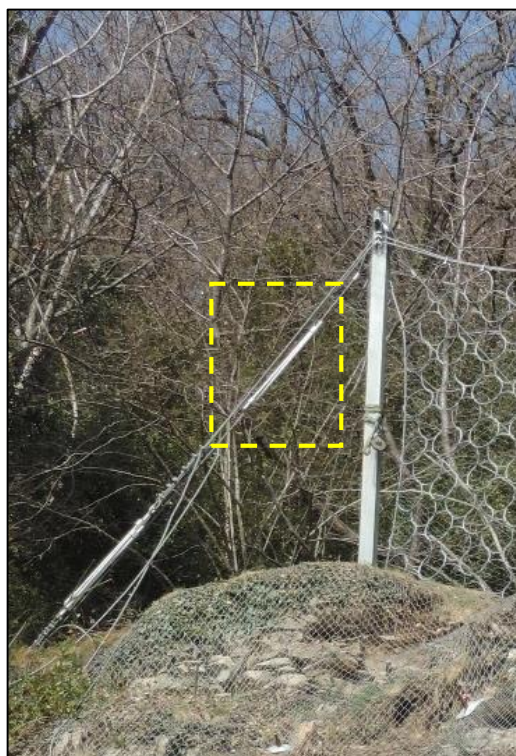
3) *Rete principale e secondaria*



NOTE

Dettaglio della rete primaria ad anelli metallici e della rete secondaria a doppia torsione.

4) *Fune di controvento laterale sinistro:*



NOTE

Dettaglio della fune di controvento laterale sinistro in cui si osserva il dissipatore d'energia a deformazione di materiale.

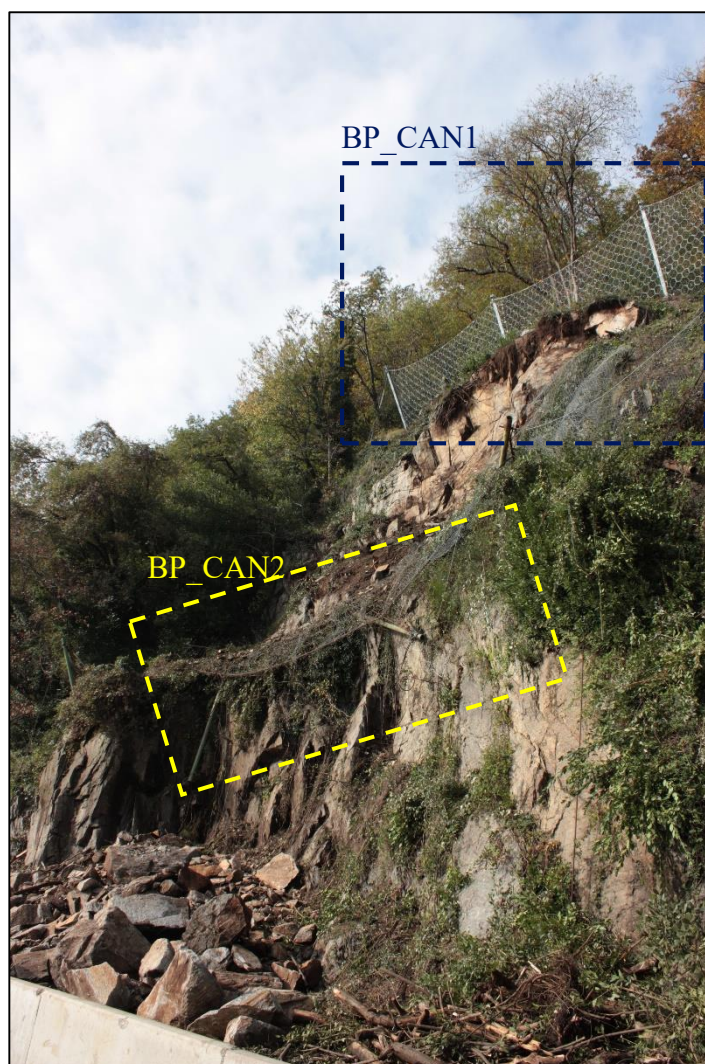
5) *Fune di controvento laterale destro:*



NOTE

Dettaglio della fune di controvento laterale destro in cui si osserva il dissipatore d'energia a deformazione di materiale.

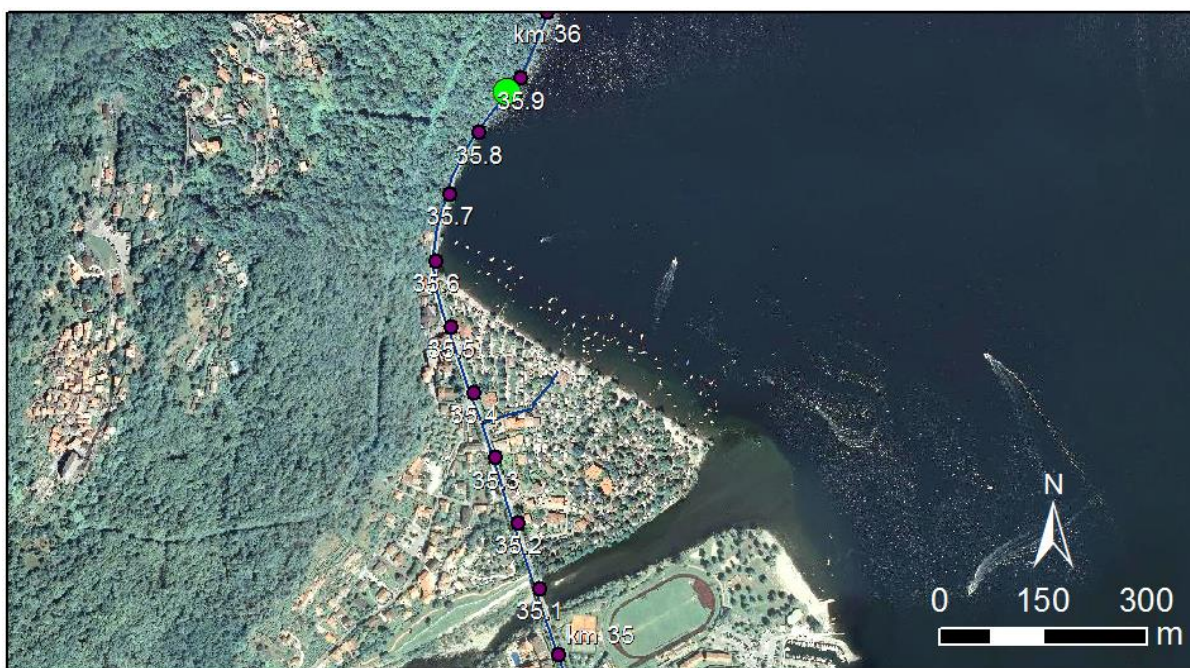
6) *Fenomeno franoso di crollo in roccia del 6 novembre 2018:*



ALLEGATO A.5: Esempio di compilazione del verbale di sopralluogo di una rete a cortina

VERBALE DI SOPRALLUOGO - SCHEDA DESCRITTIVA E STATO DI CONSERVAZIONE	
RETE A CORTINA	
Operatore	Politecnico di Torino - DIATI
Data (GG/MM/AAAA)	17/10/2018
Comune - Località	Cannobio (VB)
Codice Rete a Cortina	RaC_CAN8

Collocamento geografico dell'opera:



Ortofoto ICE 2009-2011 (collocazione puntuale, in verde, dell'opera senza rappresentazione delle eventuali opere di protezione limitrofe)

Punto di collocazione dell'opera		Strada statale S.S. 34 del Lago Maggiore
In caso di prossimità ad un elemento stradale:		
Tratto strada da km ^(*)	ca.35+800	
a km ^(*)	ca. 35+930	(*) riferimento alle progressive ettometriche stradali ANAS

DESCRIZIONE DELLA RETE A CORTINA



Informazioni di carattere generale sulla rete a cortina:

Tipologia di rete a cortina	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;"> (A) Semplice; </div> <div style="text-align: center;"> (B) con funi verticali; </div> <div style="text-align: center;"> (C) con funi orizzontali; </div> </div>	<input checked="" type="checkbox"/> Semplice (A); <input type="checkbox"/> Con funi verticali (B); <input type="checkbox"/> Con funi orizzontali (C);
Lunghezza complessiva dell'opera (m)	ca. 130 m

<i>Informazioni di dettaglio sulla rete a cortina:</i>	
Tipo di prodotto	Nessuna informazione.
Produttore	Nessuna informazione.
Anno di installazione	Nessuna informazione.
Resistenza a trazione della rete (kN) (se disponibile, allegare scheda tecnica del prodotto)	Nessuna informazione.
Resistenza a taglio della rete (kN) (se disponibile, allegare scheda tecnica del prodotto)	Nessuna informazione.
Resistenza sfilamento della rete (kN) (se disponibile, allegare scheda tecnica del prodotto)	Nessuna informazione.
Massimo volume accumulabile al piede (m ³)	Nessuna informazione.
Manuale di manutenzione	<input type="checkbox"/> DISPONIBILE; <input checked="" type="checkbox"/> NON DISPONIBILE;
Verbale di collaudo	<input type="checkbox"/> DISPONIBILE; <input checked="" type="checkbox"/> NON DISPONIBILE;

<i>Informazioni relative alle singole componenti della rete a cortina:</i>	
Tipologia maglia della rete (in questi campi si deve fornire una descrizione sintetica della tipologia della maglia della rete (e.g. a singola torsione, a maglia esagonale e doppia torsione, reti in pannelli di fune) e delle caratteristiche geometriche e di resistenza):	Rete a singolo filo a maglia esagonale (doppia torsione).
Cuciture e giunzioni tra le reti (presenza, tipologia, n° al metro):	Giunzioni realizzate mediante legature in filo d'acciaio e/o con filo passante intermedio.
Ancoraggi principali (tipologia, diametro (mm), lunghezza (m), interasse (m), presenza di piastra e/o golfari):	Barra armata non ripiegata.
Fune di sostegno sommitale (tipologia):	Non ben indagabile a causa della presenza di vegetazione.
Fune di sostegno al piede (tipologia):	Fune spiroidale in filo d'acciaio (diametro 8 mm).
Funi di sostegno intermedie (tipologia):	Non presenti.
Eventuali prove eseguite durante la costruzione e/o il collaudo:	Nessuna informazione.

Osservazioni generali:	
<ul style="list-style-type: none"> • Inquadramento del contesto circostante ed individuazione delle criticità; • Osservazioni qualitative sull'installazione e sul posizionamento del sistema di difesa realizzato indipendentemente dallo stato di conservazione; • Presenza di altre opere di difesa; • Eventi pregressi; 	<p>Con riferimento alla cartografia “Sud: Carta geomorfologica e del dissesto” ed alla “Carta geologica-strutturale” del Comune di Cannobio, aggiornate al 2010 e contenute all'interno del PRGC del Comune citato, è possibile inquadrare il contesto circostante all'opera in analisi ed individuare eventuali criticità cartografate. Nel dettaglio, da un punto di vista geologico, l'area in cui è collocata l'opera in esame è caratterizzata dalla presenza di paragneiss a grana medio-grossa, affiorante e subaffiorante, con presenza una linea tettonica o faglia di bassa temperatura, prevalentemente fragile e avente direzione E-W, in prossimità del km ca. 36+000. Dal punto di vista geomorfologico, non è cartografata alcuna forma geomorfologica rilevante. Dal punto di vista altimetrico, un esteso tratto del versante di controripa in roccia è interessato da pendenza molto elevate. Nello specifico, dal km 35+590 (in corrispondenza all'incirca della fine del centro abitato di Cannobio) sino al km ca. 36+000 il versante presenta pendenza molto elevate (tra 60° e 75°), con zone subverticali e limitate porzioni a pendenza inferiore ma pur sempre elevata (45°-60°). Considerando la porzione di S.S. 34 compresa tra le progressive ANAS citate, al di sopra della quota ca. 210 m s.l.m., il territorio presenta acclività variabile da media/elevata a molto elevata. Nel dettaglio, si osservano pendenza tra i 45° ed i 75° a monte del tratto di S.S.34 compreso tra ca. 35+670 e ca. 35+730 (tra le quote ca. 210 m s.l.m. e ca. 230 m s.l.m. con zone a pendenza minore), a monte del tratto tra ca. 35+770 e ca. 35+860 (tra le quote ca. 210 m s.l.m. e ca. 260 m s.l.m. con zone a pendenza minore), a monte del tratto tra ca. 35+860 e ca. 35+920 (tra le quote ca. 230 m s.l.m. e ca. 240 m s.l.m.) ed a monte del tratto tra ca. 35+950 e ca. 35+980 (ad una quota media di ca. 240 m s.l.m.). Infine, si evidenzia la presenza di un corso d'acqua (Rio dei Monti/Valletto di S. Agata) al km 35+670.</p> <p>Da un esame visivo, l'opera non risulta adeguatamente posizionata per tutta la lunghezza del versante interessato. Dai vari sopralluoghi effettuati, infatti, e con riferimento all'Allegato fotografico, la rete a cortina in analisi si interrompe in prossimità circa del km 35+930, lasciando privo di protezione la porzione di versante a Nord della rete in analisi, fino a circa 36+200. Nulla può essere dedotto relativamente all'estensione a monte dell'opera a causa della presenza di vegetazione. In aggiunta, visivamente l'opera non appare adeguatamente installata dato che si osservano ancoraggi non idonei della fune di sostegno al piede (vedasi “Allegato fotografico, sezione 2”). Infine, secondo quanto riportato all'interno della “Tabella delle criticità e degli interventi” redatta e fornita dall'Unione dei Comuni del Lago Maggiore, si riporta che i fronti di controripa in ammasso roccioso in prossimità del km 35+900, di altezza massima 5 m, sono soggetti a potenziali fenomeni di distacco di elementi lapidei pluri-decimetrici.</p> <p>Relativamente alla presenza di ulteriori opere di difesa, il versante del tratto di statale S.S. 34 che intercorre tra i km 35+590 ed il km 36+000 presenta un elevato numero di opere di difesa. Nel dettaglio, nelle aree limitrofe alla rete indagata si osserva:</p> <ul style="list-style-type: none"> – A Sud della rete (antecedente al km 35+800): rete rinforzata, analizzata all'interno della scheda RRinf_CAN6. – A monte della rete: presenza di tre differenti barriere paramassi, di seguito elencate. <ul style="list-style-type: none"> – Barriera paramassi ad elevata deformabilità con rete principale romboidale e secondaria a doppia torsione (da km 35+790 a km 35+820), analizzata all'interno della scheda BP_CAN4. Nel dettaglio, soltanto una campata delle tre campate della barriera citata si trova a monte della rete oggetto di studio. – Barriera paramassi ad elevata deformabilità con rete principale ad anelli e secondaria a doppia torsione (da km 35+850 a km 35+900), analizzata all'interno della scheda BP_CAN5; – Barriera paramassi deformabile con montanti tubolari, rete principale parasiluri e secondaria a doppia torsione, in uno stato di totale perdita della funzionalità (da km 35+700 a km 35+900), analizzata all'interno della scheda BP_CAN3.

Osservazioni generali:	
<ul style="list-style-type: none"> • Inquadramento del contesto circostante ed individuazione delle criticità; • Osservazioni qualitative sull'installazione e sul posizionamento del sistema di difesa realizzato indipendentemente dallo stato di conservazione; • Presenza di altre opere di difesa; • Eventi pregressi; 	<p>Un'analisi storica dei dissesti storici reperiti ha evidenziato il verificarsi di un fenomeno di colamento rapido e crollo e/o ribaltamento, censito nelle cartografie IFFI e SifraP alla progressiva ca. 35+830. In aggiunta, da fonti cronachistiche sono stati reperite informazioni in merito ad un evento di crollo avvenuto nel gennaio 2015 in prossimità del km 35+750 con interessamento della S.S.34 ed uno smottamento del terreno in corrispondenza del km 35+820 nell'ottobre del 2014.</p>  <p><i>Fenomeni di crollo del 14 gennaio 2015, in prossimità del km 35+750 (Fonte: Verbania Notizie).</i></p>  <p><i>Smottamento del 14 ottobre 2015, in prossimità del km 35+820 (Fonte: Verbania Notizie).</i></p>

La rete ha subito impatti/danni?		Da un esame visivo, sì.
	Se è sì, data presunta del danno:	Nessuna informazione.
	Indicazioni parti danneggiate:	(vedasi "Allegato fotografico, sezione 3")
La rete ha subito manutenzione?		Da un esame visivo, no.
	Se è sì, data presunta di avvenuta manutenzione:	-
	Indicazioni zone mantenute:	-

CHECK LIST dello stato di conservazione dell'opera			
Componente	Controllo eseguito	Stato conservazione (*)	Note
Rete	Il detrito forma un accumulo rilevante al piede.	0	
	Presenza di detriti nella rete.	0	
	Presenza di sterpaglie, specie vegetali arbustive e/o rampicanti che interagiscono con la rete.	2	(vedasi "Allegato fotografico, sezione 1").
	Lacerazioni della rete.	2	(vedasi "Allegato fotografico, sezione 3")
	Deformazioni e/o spancamenti.	2	(vedasi "Allegato fotografico, sezione 3")
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento del rivestimento anticorrosivo della rete.	2	
Fune di sostegno sommitale Spuntare la casella se MANCANTE <input type="checkbox"/>	Fune mancante.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune.		
	Ancoraggio mancante.		
	Elementi mancanti nelle giunzioni.		
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi.		
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra.		
	Sfilamento degli ancoraggi.		
Fune di sostegno al piede Spuntare la casella se MANCANTE <input type="checkbox"/>	Fune mancante.	-	
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune.	2	(vedasi "Allegato fotografico, sezione 2").
	Fune non visibile perché coperta da detrito e/o vegetazione.	1	
	Ancoraggio non visibile.	1	
	Ancoraggio mancante.	2	Ancoraggio non idoneo (vedasi "Allegato fotografico, sezione 2").
	Elementi mancanti nelle giunzioni.	2	
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi.	2	(vedasi "Allegato fotografico, sezione 2").
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra.	2	Ancoraggi non idonei (vedasi "Allegato fotografico, sezione 2").
	Sfilamento degli ancoraggi.	2	(vedasi "Allegato fotografico, sezione 2").

(*)
Legenda:

0 Nessun danno;

1 Danno moderato;

2 Danno intenso;

Componente non del tutto visibile;

Componente non presente;

CHECK LIST dello stato di conservazione dell'opera			
Componente	Controllo eseguito	Stato conservazione (*)	Note
Funi di sostegno intermedie Spuntare la casella se MANCANTI <input checked="" type="checkbox"/>	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune.		
	Fune non visibile perché coperta da detrito e/o vegetazione.		
	Fune mancante.		
	Ancoraggio non visibile.		
	Ancoraggio mancante.		
	Elementi mancanti nelle giunzioni.		
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi.		
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra.		
	Sfilamento degli ancoraggi.		
Elementi di giunzione tra i pannelli della rete	Elementi mancanti.	1	Apertura tra due pannelli di rete (vedasi "Allegato fotografico, sezione 3").
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione.	1	
Elementi di giunzione rete-fune superiore	Elementi mancanti.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione.		
Elementi di giunzione rete-fune inferiore (se presente)	Elementi mancanti.	2	Presenza di vuoti al piede della rete (vedasi "Allegato fotografico, sezione 3").
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione.	0	
Elementi di giunzione rete-funi intermedie (se presenti)	Elementi mancanti.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione.		

(*)
Legenda:

0 Nessun danno;

1 Danno moderato;

2 Danno intenso;

Componente non del tutto visibile;

Componente non presente;

Conclusioni sullo stato di conservazione

La rete a cortina oggetto di analisi è situata in un versante che presenta un elevato tasso di vegetazione interagente con la rete. Nel dettaglio, la rete, fortemente arrugginita, non risulta ben aderente al versante, con presenza di spancamenti ed importanti lacerazioni e deformazioni (vedasi “Allegato fotografico, sezione 3”). La fune di sostegno al piede risulta anch’essa arrugginita, con ancoraggi al piede non idonei, assenza di elementi di giunzione con la rete e presenza di vuoti al piede (vedasi “Allegato fotografico, sezione 2 e sezione 3”). La fune di sostegno superiore risulta parzialmente visibile a causa della presenza di una fitta vegetazione e, dunque, non ben indagabile.

In conclusione, nonostante la fune di sostegno superiore risulti parzialmente visibile, è possibile concludere che l’opera in esame gode di uno stato critico di conservazione.

ALLEGATO FOTOGRAFICO

1) Foto d'insieme della rete:



2) Foto della fune di sostegno al piede con ancoraggi:



NOTE

Ancoraggio con barra armata non ripiegata (non idonea).

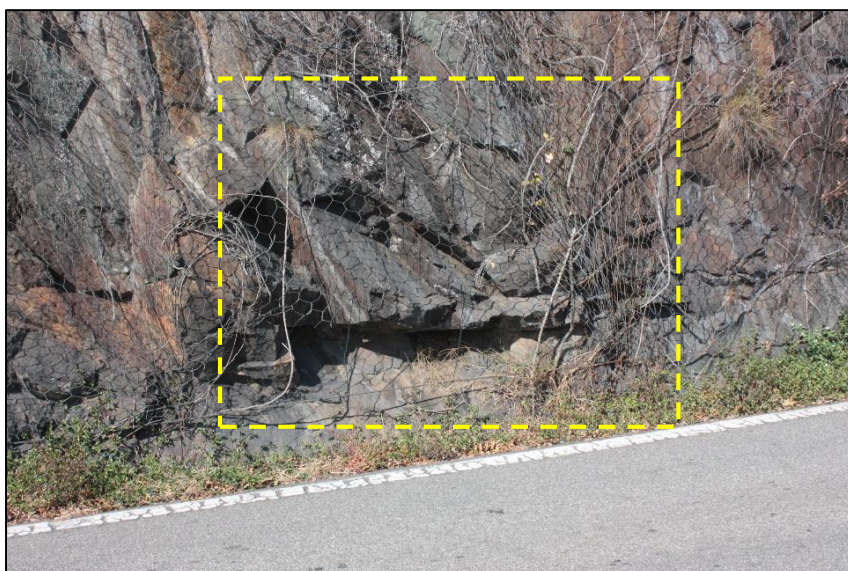
3) Foto di eventuali particolari:



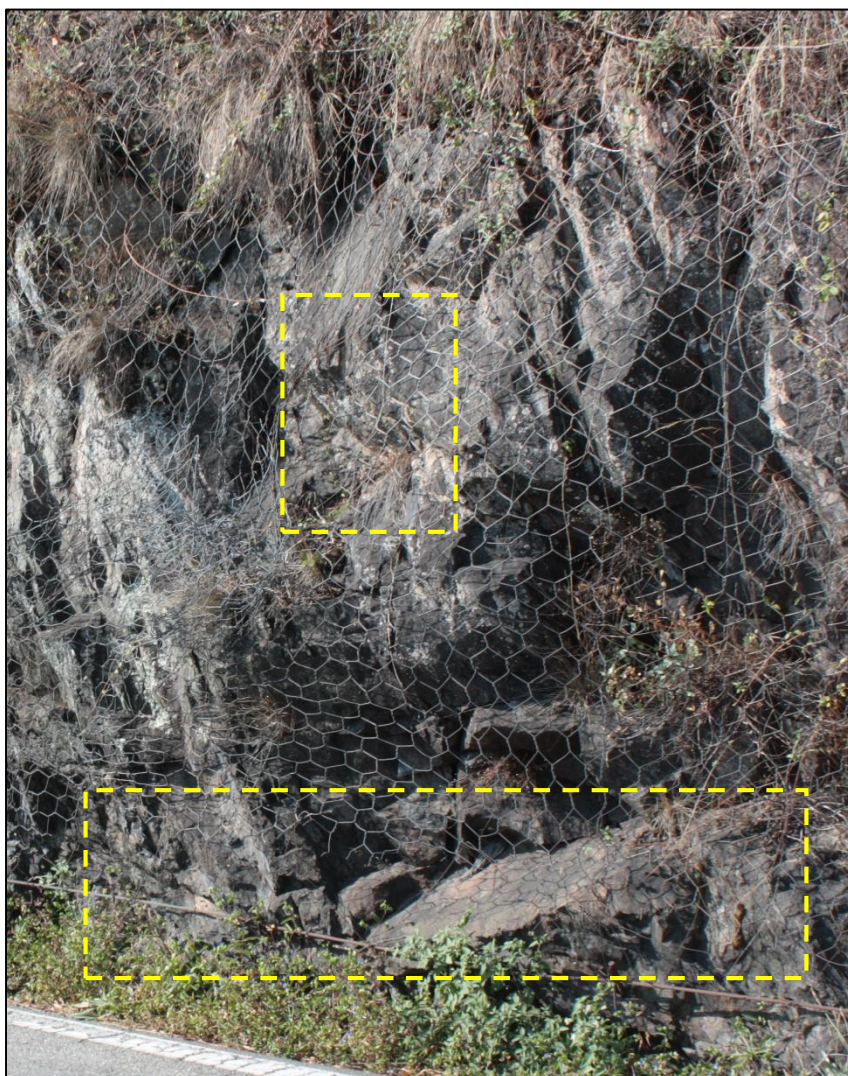
NOTE

Dettaglio della presenza di spancamenti della rete e di presenza di detriti al suo interno.

Interruzione della rete a cortina lungo il versante intorno al km 35+930.



Dettaglio della presenza di una importante lacerazione al piede della rete.

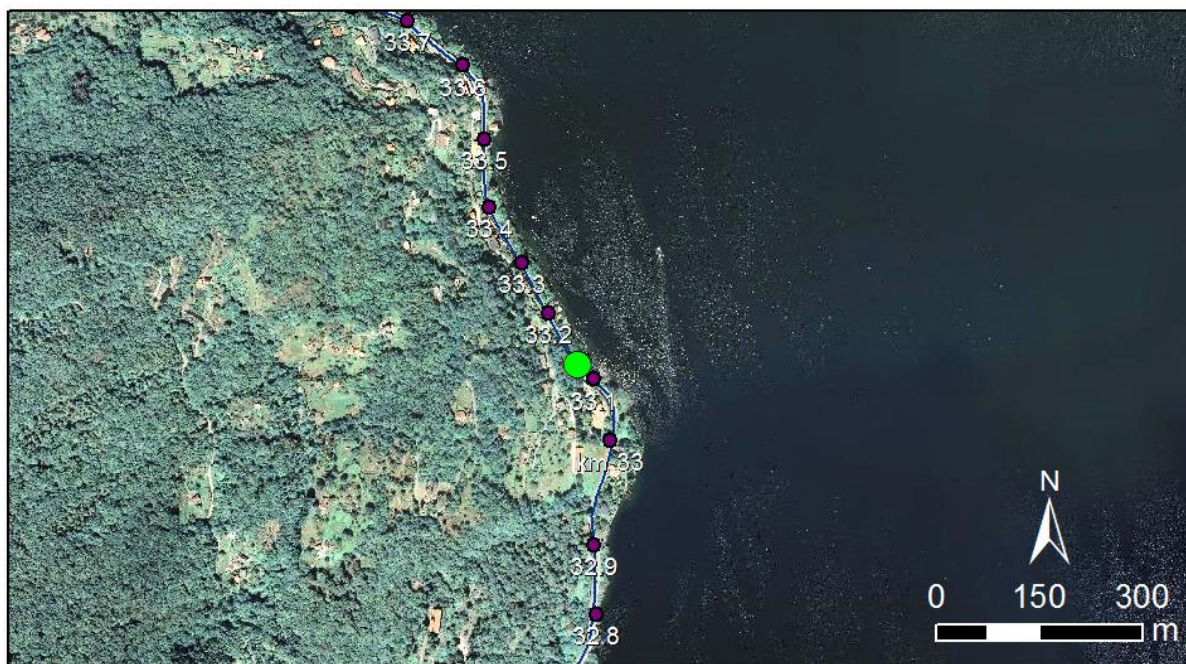


Dettaglio della presenza di una apertura nella giunzione tra due pannelli e distacchi della rete al piede.

ALLEGATO A.6: Esempio di compilazione del verbale di sopralluogo di una rete rinforzata

VERBALE DI SOPRALLUOGO - SCHEDA DESCRITTIVA E STATO DI CONSERVAZIONE	
BARRIERA RETE RINFORZATA	
Operatore	Politecnico di Torino - DIATI
Data (GG/MM/AAAA)	12/10/2018
Comune - Località	Cannobio (VB)
Codice Rete a Cortina	RRinf_CAN4

Collocamento geografico dell'opera:



Ortofoto ICE 2009-2011 (collocazione puntuale, in verde, dell'opera senza rappresentazione delle eventuali opere di protezione limitrofe)

Punto di collocazione dell'opera		Strada Statale S.S. 34 del Lago Maggiore
In caso di prossimità ad un elemento stradale: Tratto strada da km ^(*)	33+115	(*) riferimento alle progressive ettometriche stradali ANAS
a km ^(*)	33+160	

DESCRIZIONE DELLA RETE RINFORZATA	
Informazioni di carattere generale sulla rete rinforzata:	
Maglia di chiodi elemento singolo:	<input type="checkbox"/> 2x2 m; <input type="checkbox"/> 4x4m; <input checked="" type="checkbox"/> Altro; <input type="checkbox"/> 3x3 m; <input type="checkbox"/> 4x4 m;
	Se è "Altro", specificare: 2.80 x 2.80 m
Funi:	<input type="checkbox"/> Quadrate; <input checked="" type="checkbox"/> A losanghe;
Numero di chiodi:	Non ben indagabile.
Numero di pannelli:	Non ben indagabile.
Lunghezza complessiva dell'opera (m)	42

<i>Informazioni di dettaglio sulla rete rinforzata:</i>	
Tipo di prodotto	Nessuna informazione.
Produttore	Nessuna informazione.
Anno di installazione	Nessuna informazione.
Resistenza a trazione della rete (kN) (se disponibile, allegare scheda tecnica del prodotto)	Nessuna informazione.
Resistenza a taglio dell'ancoraggio (kN) (se disponibile, allegare scheda tecnica del prodotto)	Nessuna informazione.
Resistenza sfilamento dell'ancoraggio (kN) (se disponibile, allegare scheda tecnica del prodotto)	Nessuna informazione.
Massimo volume accumulabile al piede (m ³)	Nessuna informazione.
Manuale di manutenzione	<input type="checkbox"/> DISPONIBILE; <input checked="" type="checkbox"/> NON DISPONIBILE;
Verbale di collaudo	<input type="checkbox"/> DISPONIBILE; <input checked="" type="checkbox"/> NON DISPONIBILE;

<i>Informazioni relative alle singole componenti della rete rinforzata:</i>	
Tipologia maglia della rete (in questi campi si deve fornire una descrizione sintetica della tipologia della maglia della rete (e.g. a singola torsione, a maglia esagonale e doppia torsione, reti in pannelli di fune) e delle caratteristiche geometriche e di resistenza):	Rete a singolo filo a maglia esagonale (doppia torsione) avente dimensione caratteristica pari a 8 cm.
Cuciture e giunzioni tra le reti (presenza, tipologia, n° al metro):	Giunzioni realizzate mediante legature in filo d'acciaio ogni 20 cm.
Ancoraggi principali (tipologia, diametro (mm), lunghezza (m), interasse (m), presenza di piastra e/o golfari):	Barra cementata (chiodo) con golfaro.
Fune di sostegno sommitale (tipologia):	Non ben indagabile a causa della presenza di vegetazione.
Fune di sostegno al piede (tipologia):	Fune spiroidale in filo d'acciaio.
Funi di sostegno intermedie (tipologia):	Funi spiroidali in filo d'acciaio (diametro 12 mm).
Eventuali prove eseguite durante la costruzione e/o il collaudo:	Nessuna informazione.

Osservazioni generali:	
<ul style="list-style-type: none"> Inquadramento del contesto circostante ed individuazione delle criticità; Osservazioni qualitative sull'installazione e sul posizionamento del sistema di difesa realizzato indipendentemente dallo stato di conservazione; Presenza di altre opere di difesa; Eventi pregressi; 	<p>La rete rinforzata in analisi è collocata a protezione di una scarpata di controripa in roccia della S.S. 34 di altezza limitata e con la presenza di alberi ad alto fusto nella zona di monte.</p> <p>Con riferimento alla cartografia "Sud: Carta geomorfologica e del dissesto" ed alla "Carta geologica-strutturale" del Comune di Cannobio, aggiornate al 2010 e contenute all'interno del PRGC del Comune citato, è possibile inquadrare il contesto circostante all'opera in analisi ed individuare eventuali criticità cartografate. Nel dettaglio, da un punto di vista geologico, l'area in cui è collocata l'opera in esame è caratterizzata dalla presenza di paragneiss a grana media-grossa. In aggiunta, tra le quote ca 240 m s.l.m. e ca. 270 m s.l.m. è presente una lente di depositi glaciali e fluvio-glaciali. Dal punto di vista geomorfologico, non è cartografata alcuna forma geomorfologica rilevante. Dal punto di vista altimetrico, il versante di controripa della S.S. 34 si presenta a pendenza compresa tra 45°-60° con zone fino anche a 75°. La porzione di versante a monte del settore di controripa, invece, è caratterizzato da basse acclività, anche minori di 15°, fino a ca. la quota 220 m s.l.m. Al di sopra di quest'ultima, il versante ripresenta pendenze molto elevate, anche fino a 75°.</p> <p>Da un esame visivo, l'opera non risulta adeguatamente installata (vedasi "Allegato fotografico, sezione 4"). Si osserva, infatti, come il montaggio delle funi di rinforzo crei all'interno del golfare dell'ancoraggio una zona critica di sollecitazione delle funi stesse. Per quanto riguarda il posizionamento, visivamente non è possibile stabilirne la piena adeguatezza, non potendone determinare l'estensione a monte. Tuttavia, da vari sopralluoghi effettuati in campo si evidenzia l'assenza di opere di protezione nelle porzioni di versante antecedenti e successive all'opera in esame, nel dettaglio dal km 33+050 al km 33+070 e dal km 33+250 al km 33+600.</p> <p>Relativamente alla presenza di ulteriori opere di difesa, nelle zone limitrofe non si osserva nessun'altra opera di protezione.</p> <p>Un'analisi storica dei dissesti storici reperiti non ha evidenziato importanti fenomeni pregressi nell'area in cui è collocata l'opera in esame.</p>

La rete ha subito impatti/danni?		Da un esame visivo, no.
	Se è sì, data presunta del danno:	-
	Indicazioni parti danneggiate:	-

La rete ha subito manutenzione?		Da un esame visivo, no.
	Se è sì, data presunta di avvenuta manutenzione:	-
	Indicazioni zone mantenute:	-

CHECK LIST dello stato di conservazione dell'opera			
Componente	Controllo eseguito	Stato conservazione (*)	Note
Rete	Il detrito forma un accumulo rilevante da un campo definito da quattro chiodi.	0	
	Presenza di detriti e sterpaglie nella rete.	0	
	Presenza di specie vegetali arbustive e/o rampicanti che interagiscono con la rete.	1	A monte della rete vi è l'interazione con alberi ad alto fusto (vedasi "Allegato fotografico, sezione 1")
	Lacerazioni della rete.	0	
	Deformazioni e/o spancamenti.	0	
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento del rivestimento anticorrosivo della rete.	0	
Fune di sostegno sommitale Spuntare la casella se MANCANTE <input type="checkbox"/>	Fune mancante.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune.		
	Ancoraggio mancante.		
	Elementi mancanti nelle giunzioni.		
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi.		
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra.		
	Sfilamento degli ancoraggi.		
Fune di sostegno al piede Spuntare la casella se MANCANTE <input type="checkbox"/>	Fune mancante.	-	
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune.	0	
	Fune non visibile perché coperta da detrito e/o vegetazione.	0	
	Ancoraggio mancante.	0	
	Elementi mancanti nelle giunzioni.	0	
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi.	1	
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra.	0	
	Sfilamento degli ancoraggi.	0	

(*)
Legenda:

0 Nessun danno;

1 Danno moderato;

2 Danno intenso;

Componente non del tutto visibile;

Componente non presente;


CHECK LIST dello stato di conservazione dell'opera			
Componente	Controllo eseguito	Stato conservazione (*)	Note
Funi di rinforzo	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento significativo della fune.	0	Montate in maniera non corretta (vedasi "Allegato fotografico sezione 4").
	Fune mancante.	0	
	Ancoraggio mancante.	0	
	Elementi mancanti nelle giunzioni.	0	
	Presenza di zone arrugginite negli ancoraggi.	1	
	Danneggiamento della testa degli ancoraggi principali e/o della piastra.	0	
	Sfilamento degli ancoraggi.	1	Lievi sfilamenti (vedasi "Allegato fotografico, sezione 4").
Elementi di giunzione tra i pannelli della rete	Elementi mancanti.	0	
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione.	0	
Elementi di giunzione rete-fune superiore (se presente)	Elementi mancanti.		
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione.		
Elementi di giunzione rete-fune inferiore (se presente)	Elementi mancanti.	1	Rete non legata alla fune ma soltanto risvoltata su di essa (vedasi "Allegato fotografico, sezione 3").
	Presenza di zone arrugginite e/o danneggiamento degli elementi di giunzione.	0	


(*)
Legenda:

0 Nessun danno;

1 Danno moderato;

2 Danno intenso;

 Componente non del tutto visibile;

 Componente non presente;

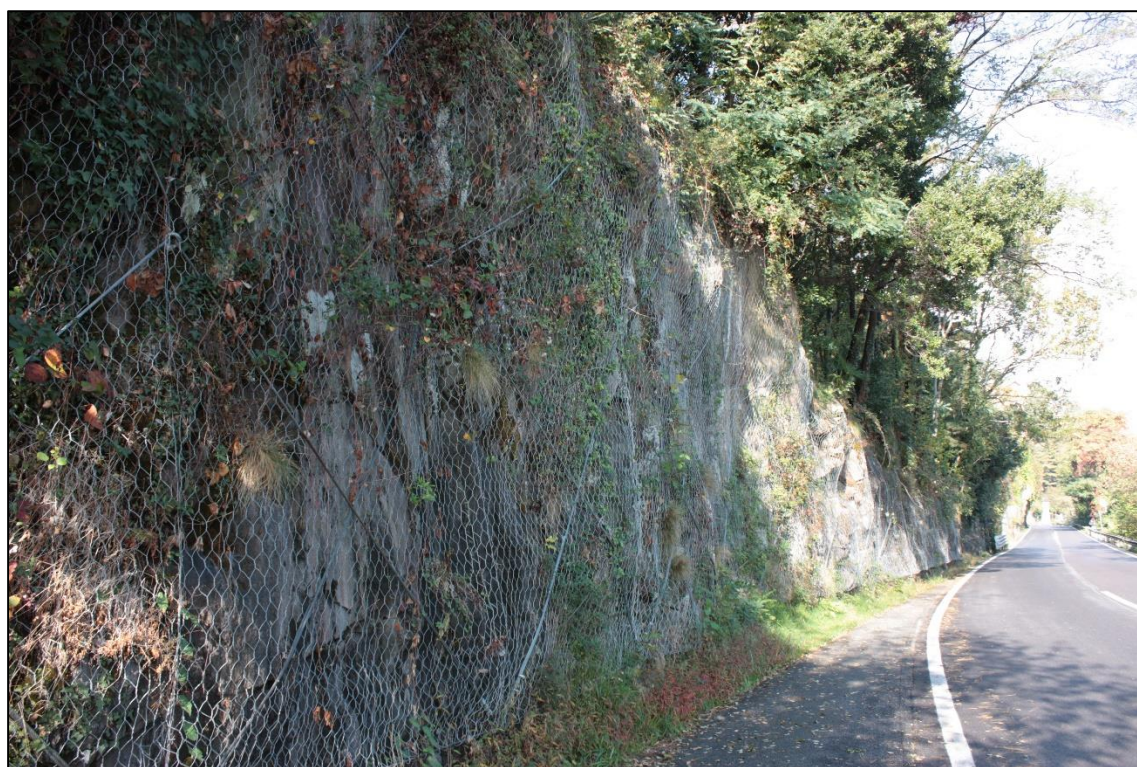
Conclusioni sullo stato di conservazione

La rete rinforzata oggetto di studio è situata in un versante che presenta un basso tasso di vegetazione sulla parete esposta. Nella parte sommitale, tuttavia, la rete interagisce con specie vegetali ad alto fusto. Tale opera non presenta particolari criticità dei relativi elementi costituenti, fatta eccezione per alcuni ancoraggi delle funi di rinforzo (le quali non risultano adeguatamente montante, vedasi “Allegato fotografico, sezione 4”) e della fune di sostegno al piede, che risultano lievemente arrugginiti, e di alcuni sfilamenti degli ancoraggi delle funi di rinforzo (vedasi “Allegato fotografico, sezione 4”). La fune di sostegno superiore risulta non del tutto visibile a causa della fitta presenza di vegetazione e quindi solo parzialmente investigabile.

In ultima analisi, quindi, nonostante la fune di sostegno superiore risulti parzialmente visibile a causa della presenza di vegetazione, è possibile affermare che l'opera gode di un buono stato di conservazione

ALLEGATO FOTOGRAFICO

1) Foto d'insieme della rete:



2) Foto di un pannello:



NOTE

Modesta presenza di specie vegetali che interagiscono con la rete. La giunzione tra un pannello di rete ed il successivo avviene senza sovrapposizione tramite legature in filo d'acciaio ogni 20 cm.

3) Foto della fune di sostegno al piede:



NOTE

La rete è semplicemente risvoltata al piede senza la presenza di elementi di giunzione con la fune di sostegno inferiore.

4) Foto degli ancoraggi principali:



NOTE

Dettaglio del corretto numero di morsetti di giunzione delle funi rinforzo e di sostegno al piede.

Lieve sfilamento dell'ancoraggio delle funi di rinforzo. L'ancoraggio risulta essere poco arrugginito. È possibile osservare anche l'errata installazione delle funi di rinforzo. Quest'ultime, infatti, all'interno dell'anello in acciaio avvitato nella barra non dovrebbero compiere nessuna curvatura al fine di non creare nessun punto critico della fune in caso di sollecitazione.